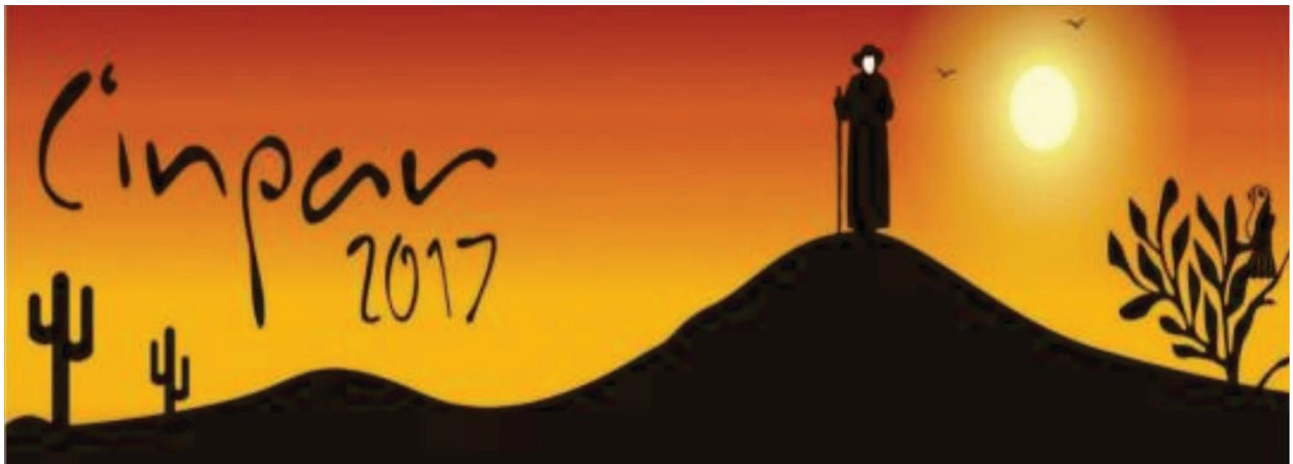


XIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS

Volume II
Materiais

ISBN: 978-85-65425-32-2

07 a 09 de Setembro de 2017
Centro de Convenções do Cariri
Crato - Ceará - Brasil

REALIZAÇÃO

Universidade Regional do Cariri - URCA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI

UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ

Faculdade Paraíso - CE

APRESENTAÇÃO

Para o especialista em patologia das construções é fundamental o conhecimento da tecnologia dos materiais utilizados, os métodos de ensaios a serem realizados, os sistemas de medições da geometria das estruturas, das diversas deformações e, obviamente, os recursos da resistência dos materiais e do cálculo estrutural. Muitos desses métodos apresentam uma acelerada evolução e é bastante intensa a velocidade com que aparecem novos materiais e técnicas para o estudo das patologias, assim como para a execução dos trabalhos de reabilitação e reforços. Considerando a importância do conhecimento das manifestações patológicas nas estruturas, suas causas e principais técnicas empregadas na recuperação destas estruturas, as instituições de ensino superior URCA, UFCA, UVA e FAP promoveram no período de 7 a 9 de setembro de 2017, o **XIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS - CINPAR 2017**.

O CINPAR 2017 representa uma importante etapa para aquisição de novos conhecimentos, técnicas e tecnologias que sejam de grande valia para a realização dos trabalhos de restauração e recuperação das estruturas. Tem por objetivo geral promover a divulgação de novos conhecimentos sobre as manifestações patológicas das estruturas, suas causas e efeitos, assim como os mais modernos procedimentos e materiais utilizados na recuperação das estruturas.

Dentre os pesquisadores/palestrantes que compatilharam seus conhecimentos, estiveram presentes:

- Prof. Angel Oshiro (Argentina)
- Prof. Eduardo Ballan Ballan (Espanha)
- Prof. Elton Bauer (Brasil)
- Prof. Esequiel Mesquita (Brasil)
- Prof. Gibson Meira (Brasil)
- Prof. Humberto Varum (Portugal)
- Profª Irani Clezar Mattos (Brasil)
- Prof. Jefferson Luiz Alves Marinho (Brasil)
- Prof. Marcelo Marquez Marambio (Chile)
- Profª Maria Positieri (Argentina)

COMITÊ ORGANIZADOR

Presidente Geral: Francisco Carvalho de Arruda – UVA – IEMAC (Brasil)

Vice-presidente: Humberto Varum – FEUP (Portugal)

Presidente Local: Jefferson Luiz Alves Marinho – ITEC – URCA (Brasil)

Janeide Ferreira Alencar de Oliveira – ITEC – URCA (Brasil)

Antonia Fabiana de Almeida – UFCA (Brasil)

Sofia Leão Carvalho – FAP (Brasil)

COMITÊ CIENTÍFICO

Presidente: Jefferson Luiz Alves Marinho – ITEC – URCA (Brasil)

Alexandre Araujo Bertini – UFC (Brasil)

Angel Oshiro – UTN – FRC (Argentina)

Antonia Fabiana de Almeida – UFCA (Brasil)

Antonio Nobre Rabelo – URCA (BRASIL)

Eduardo Ballán – UCJC (España)

Enio Pazini Figueiredo – ECC-UFG (Brasil)

Esequiel Mesquita – Universidade Do Porto (Portugal)

Francisco Carvalho de Arruda Coelho – UVA (Brasil)

Gibson Rocha Meira – IFPB (Brasil)

Humberto Varum – FEUP (Portugal)

Jefferson Heráclito Alves de Souza – URCA (Brasil)

José Luís Rangel Paes – Universidade Federal de Viçosa (Brasil)

Maria Josefina Positieri – UTN – FRC (Argentina)

Renato de Oliveira Fernandes – URCA (Brasil)

Soledad Gómez Lorenzini – PUC (Chile)

SUMÁRIO

EFEITO DAS ADIÇÕES MINERAIS EM CIMENTOS FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍON CLORETO 6

ESTUDO DA FORMA DO AGREGADO GRAÚDO E SUA INFLUÊNCIA NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO 15

POROSIDADE DO CONCRETO VERSUS FORMA DO AGREGADO GRAÚDO 35

ESTUDO COMPORTAMENTAL DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTOS QUANTO A SUSCETIBILIDADE A FISSURAÇÃO 54

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO NATURAL PELO AGREGADO RECICLADO NO CONCRETO, QUANTO À PENETRAÇÃO DE CLORETOS, AVALIADA POR MEIO DA MIGRAÇÃO IÔNICA 73

AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM CONCRETOS CONTENDO AGREGADO RECICLADO 93

DURABILIDADE DE ESTRUTURAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ATAQUES DE ÍONS SULFATOS 109

CONSTRUÇÃO DE PAREDES EM CONCRETO: POTENCIALIDADE NA INDUSTRIALIZAÇÃO DE ESTRUTURAS ARMADAS PARA VEDAÇÃO DE EDIFICAÇÕES 117

EFEITO DA ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA NA CORROSIBILIDADE DO CONCRETO ARMADO, AVALIADA POR MEIO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA E DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE CORROSÃO 138

SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO: MÉTODOS EXECUTIVOS, PROJETOS E PATOLOGIAS. 157

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA APLICADOS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES DE ALVENARIA ESTRUTURAL 173

INFLUÊNCIA DO USO DO AGREGADO RECICLADO DE PRÉ-MOLDADO NA CONSISTÊNCIA E RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO 189

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO MATERIAL POZOLÂNICO NO CONCRETO PARA AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE EM SOLUÇÃO SALINA 200

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE PREENCHIMENTO DE JUNTAS DE ARGAMASSA EM ALVENARIA ESTRUTURAL 211

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE PRODUTO DE CURA QUÍMICA FORMADOR DE MEMBRANA NA PROFUNDIDADE CARBONATADA DO CONCRETO 227

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO PRODUZIDO COM A CINZA DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA- DE-AÇÚCAR EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND 250

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE METACAULIM E SÍLICA ATIVA CONTRA AÇÃO DE CO_2 E ÍONS CLORETO EM MATRIZES CIMENTÍCIAS 262

BLOCOS DE CONCRETO INCORPORADOS COM RESÍDUO DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS 285

INVESTIGAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO MANUFATURADO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE PETRÓLEO EM PÓ 298

AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DO CPR AO CONCRETO BASE POR MEIO DO ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA (PULL-OFF) 308

SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND(CPII-Z) POR RESÍDUO RESULTANTE DO BENEFICIAMENTO E POLIMENTO DE BLOCOS DE GRANITO: AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL 323

ANÁLISE DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO, DAS MATÉRIAS PRIMAS E DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BLOCOS CERÂMICOS DESTINADOS A ALVENARIA ESTRUTURAL DE DUAS FÁBRICAS LOCALIZADAS NO NORDESTE DO BRASIL 333

CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DO PÓ RESULTANTE DA SECAGEM DA LAMA DO BENEFICIAMENTO DO GRANITO EM CONCRETO SIMPLES 355

AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE QUANTO À CARBONATAÇÃO DE CONCRETOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO CERÂMICO 365

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO TÊXTIL TRACIONADOS – UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA 385

INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES MINERAIS QUIMICAMENTE ATIVAS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL UTILIZADO EM RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL 402

ANÁLISE DA QUALIDADE DE CONCRETOS ATRAVÉS DOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA E ULTRASSOM 417

AVALIAÇÃO REOLÓGICA E DA DIFUSÃO DE ÍONS CLORETO EM CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS COM METACAULIM 428

ESTUDIO DE LA PERLITA COMO ADICION Y COMO REEMPLAZO DEL CEMENTO EN EL HORMIGON 449

PRODUÇÃO DE CONCRETO PARA PISO INTERTRAVADO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU INSERVÍVEL 459

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS 472

TELHAS DE ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE LAMA DE MARMORARIA PARA DIMINUIÇÃO DE MANCHAMENTOS SUPERFICIAIS 484

ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DE AREIA DE RIO POR RESÍDUO PROVENIENTE DA ESCARIFICAÇÃO DE PNEU 498

INFLUÊNCIA DA ADERÊNCIA GRAUTE/ BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONJUNTO 514

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE ADITIVO ENDURECEDOR DE SUPERFÍCIE NO INCREMENTO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DO EMBOÇO 533

ISBN: 978-85-65425-32-2

EFEITO DAS ADIÇÕES MINERAIS EM CIMENTOS FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍON CLORETO

Effect Of Cement Type On Chloride Ion Penetration

Tiago AGRA[1], **Eliana** MONTEIRO[2], **Natália** LIMA[3]
[1] UFPE, Recife, Brasil, tiagoagraengenharia@gmail.com
[2] UPE, Recife, Brasil, eliana@poli.br
[3] UNICAP, Recife, Brasil, nataliamvlima@hotmail.com

Resumo: A difusão de cloretos em pastas de cimento desperta grande interesse, pois tem relação direta com a corrosão das armaduras. A corrosão prematura de armaduras do concreto armado é um problema evidenciado em todo mundo, trazendo elevados custos de manutenção/recuperação, sendo a contaminação por cloreto um dos principais efeitos causadores. As referências bibliografias mostram, de modo geral, que os cimentos com adição de escórias e pozolanas, em longo prazo, são mais duráveis e vantajosos, pois são mais compactos, ocasionando redução das vias de penetração, possibilitando potencialmente melhor desempenho em obras que ficarão expostas à ação de cloretos. Este estudo apresenta os resultados da resistividade elétrica e resistência à compressão do cimento Portland de Alto Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV), de mesma classe de resistência, com o objetivo de verificar a influência das adições com relação à facilidade de penetração dos íons cloreto no concreto. Com relação à difusibilidade dos íons cloretos, os cimentos CP III e CP IV apresentaram valores de carga passante (Coulombs) de 1248 C e 4643 C, sendo classificados de baixa e elevada penetração aos íons cloreto, respectivamente. Em suma, abstraindo-se de outras características não estudadas, a amostra de cimento CP III apresentou melhor contribuição para resistir ao ingresso de íons cloretos, gases ou líquidos, quando comparada com a amostra de CP IV, em igualdade de condições.

Palavras-chave: Corrosão. Difusão de Ions cloreto. Durabilidade. Cimento pozolânico. Cimento de alto-forno.

Abstract: The choice of cement type is an important step for the durability of civil construction building, since each type has specific properties that may indicate better effectiveness in combating harmful actions. Premature corrosion of reinforced concrete steel is a worldwide problem, bringing to high spending maintenance / recovery, with chloride contamination being one of the main causative effects. The bibliographic references, in general, that the cements with addition of slag and pozzolans, in the long term, are more durable and advantageous, because they are more compact, a factor that directly influences the reduction of the penetration course, better performance in works that will be exposed to the action of chlorides. This work presents the results of the diffusibility of chloride ions and compressive strength of blast-furnace slag (CP III) and Pozzolanic (CP IV) Portland

cements, of the same resistance class, in order to verify the influence of the additions with respect to the facility Penetration of the chloride ions in the concrete. In relation to the diffusibility of chloride ions, the CP III and CP IV cements showed throughput values (Coulombs) of 1248 C and 4643 C, being classified as low and high penetration to chloride ions, respectively. In summary, apart from other characteristics not studied, the cement sample CP III presented a better contribution to the durability of the concrete when compared to the sample of CP IV, in equal conditions.

Keywords*:* Corrosion. Diffusion of chloride ions. Durability. Pozolan Cement. Blast-furnace slag Cement.

1. Introdução

As abordagens modernas não baseiam apenas, de forma simplista, na resistência à compressão como único indicador de durabilidade. Elas se atêm, atualmente, as características e propriedades do material especificadas em função de uma vida útil almejada considerando determinado ambiente (BAROCHEL, CAPRA, LAURENS, 2014).

Em virtude da observação de diversos casos de deterioração prematura, por carência ou falta de estudo, é de extrema importância a busca de melhorias no desempenho das obras e verificação do comportamento frente aos agentes agressivos. O conhecimento adquirido há mais de um século, além da experiência com as construções já executadas, mostra que, sempre que o estado da arte é respeitado, as obras em concretos são extremamente duráveis e resistentes ás agressões do meio ambiente (OLLIVIER, VICHOT, 2014).

O crescente aumento de estruturas com manifestações patológicas precoce, impõe a necessidade de melhorar o planejamento em projetos, fiscalização, execução e manutenção, pois o alto custo de reparo/recuperação, e os transtornos causados, determinam a inevitabilidade de projetar visando a durabilidade. A compreensão dos mecanismos e das manifestações patológicas, possibilitam o planejamento mais eficaz na elaboração de estruturas com melhor interação com meio, levando em consideração ações especificas delimitadoras de cada obra. Nenhum material é propriamente durável. Como resultado de interações ambientais, a microestrutura e, consequentemente, suas propriedades mudam com o tempo. O material atinge sua vida útil quando suas propriedades, sob determinadas condições de uso a capacidade de resistir (MEHTA, 2014).

A corrosão das armaduras promove expansão das barras, reduzindo sua seção efetiva, ocasionando fissuras, podendo refletir no desempenho estrutural. O mecanismo de corrosão que causa maiores prejuízos e, portanto, o mais estudado, é a corrosão por ação de cloretos, que tem como principais fontes de contaminação: água de amassamento, aditivos, agregados contaminados, e a penetração de soluções de sais de degelo ou de água do mar (DOMINICINI, CALMON, 2015). O mercado mundial de recuperação e manutenção estrutural do concreto armado vem crescendo e exigindo, segundo Ribeiro (2014), a criação de novas soluções para minimização dos problemas e diminuição nos custos de reparo.

Os tipos de cimento/adições estão completamente atrelados ao bom funcionamento estrutural, em função de sua composição química, pois podem oferecer eficiência diversas com relação aos requisitos de desempenho e durabilidade das obras. A

ISBN: 978-85-65425-32-2

reatividade das pozolanas e escórias, contidas nos cimentos em estudo, se processa após algumas semanas, reforça os efeitos de hidratação do clínquer, conduzindo, em logo prazo a uma porosidade de mesma ordem de grandeza, porém, diminui o tamanho dos poros maiores, o que é favorável no que tange à durabilidade (FELDMAN, 1983).

Nas décadas anteriores, o conhecimento na área tecnológica do cimento era reduzido, assim como a compreensão dos mecanismos de deterioração. Com o avanço da tecnologia foi possível o aprimoramento dos materiais de construção, em especial o cimento, exigindo a compreensão de suas propriedades para aplicação de modo a satisfazer de projeto. A indústria brasileira disponibiliza atualmente diversos tipos de cimento, classificados em função de sua composição conforme Tabela 1, que mostra os tipos de cimentos comercialmente mais vendidos no país. Os cimentos que possuem maiores teores de adições são o CPIII (entre 35% a 70% de escória) e o CPIV (entre 15% a 50% de pozolanas).

Tabela 1 – Componentes do cimento (Fonte: ABNT NBR (Norma citada em cada linha))

	Norma	**Componentes (% massa)**				
		Clínquer + Gesso		**Adições**		
		Limite inferior	**Limite superior**	**Carbonáticas**	**Escória**	**Pozolana**
CP I	**NBR 5732**	100%	100%	0%	0%	0%
CP I S	**NBR 5733**	95%	99%	-	-	1%-5%
CP II-E	**NBR 11578**	56%	94%	0%-10%	6%-34%	-
CP II-F	**NBR 11578**	90%	94%	6%-10%	-	-
CP II-Z	**NBR 11578**	86%	94%	0%-10%	-	6%-14%
CP III	**NBR 5735**	25%	65%	0%-5%	35%-70%	-
CP IV	**NBR 5736**	45%	85%	0%-5%	-	15%-50%
CP V (ARI)	**NBR 5733**	95%	100%	0%-5%	-	-

Buscando o desenvolvimento sustentável para prolongar a vida útil das estruturas, redução dos custos de manutenção e prevê os riscos de degradação, o presente trabalho visa a análise da influência das adições minerais, escória de alto-forno e pozolana de cimentos comerciais, na velocidade da difusão dos cloretos em concreto para escolha do aglomerante que ofereça melhores propriedades frente à ação prejudicial da penetração de cloretos em concreto. Foram realizados ensaios de resistência mecânica à compressão (NBR 5739, 2007) e teste de indicação elétrica para

ISBN: 978-85-65425-32-2

medição da capacidade do concreto de resistir à penetração de íon cloreto (ASTM C1202, 2010).

2. Revisão bibliográfica

O estudo sobre a difusão de cloretos pela pasta de cimento desperta grande atenção porque tem relação direta com a facilidade de penetração dos íons no concreto. Para dosagens de concreto que são normalmente empregadas na prática, o teor crítico de cloretos que inicia a corrosão se encontra na ordem de 0,4% em relação ao consumo de cimento. Entretanto, esse valor crítico depende de fatores como: grau de carbonatação, qualidade do concreto e umidade relativa (MEHTA, 2014). Além disso, a difusão é maior quando aumentamos a relação a/c e o tipo da adição do cimento, pois tem relação direta com a frequência de poros contínuos com diâmetros maiores (FELDMAN, 1983).

Os cloretos livres, ou também cloretos solúveis em água, dissolvidos nos poros, são aqueles que ficam sob a forma iônica, de fácil mobilidade, já o fixo é quimicamente ligado à matriz cimentícia, formando os cloroaluminatos. A quantidade total de cloretos no concreto é a soma dos cloretos livres e fixos.

Alguns pesquisadores consideram que apenas os cloretos livres são os responsáveis por iniciar o processo de corrosão, pois somente neste estado seria possível sua penetração pelo cobrimento do concreto (MARTÍN-PÉREZ *et al*., 2000), entretanto, Camacho *et al*. (2016), Liu *et al*. (2016), e Meijers *et al*. (2005) salientam que os cloretos combinados aumentam a reserva de íons disponível em contato com o aço, podendo ser liberados por processos como a redução do pH. Assim, a capacidade dos produtos da hidratação do cimento, principalmente do C3A, de combinar-se com íons cloreto, formam o cloroaluminato, tem um efeito importante na difusão, removendo íons da solução dos poros e desacelerando a taxa de penetração.

Crauss (2010) estudou concretos de mesma classe de resistência confeccionados com CPIV, CPII-F e CPV (porém não comparou com o CPIII) e verificou que frente a penetração de cloreto, o cimento pozolânico ofereceu menor penetração do íon devido ao refinamento dos poros promovidos pela adição pozolânica, em sua composição, verificando também que na medida em que aumentamos a resistência mecânica é reduzida sua capacidade de penetração. Pereira *et al*. (2012) analisou a capacidade de proteção de alguns cimentos (CPII-Z, CPIII e CPIV), em relação à corrosão por íons cloretos através do ensaio de potencial de corrosão e absorção capilar. Nessa avaliação os resultados evidenciaram melhor desempenho do cimento CP III, pois apresentou menor, corrosão por íons cloreto e absorção capilar. Além disso, Pereira *et al*. (2010) observaram que à proporção que se diminui a relação a/c, maior será a proteção proporcionada à armadura, devido à diminuição do ta¬manho dos poros e, por consequência, maior será a re¬sistência à penetração de fluídos e agentes agressivos.

Segundo Barochel-bouny, Capra e Laurens (2014), de modo geral, os concretos preparados com adições minerais (escória de alto-forno, metacaulim, cinza volante, sílica ativa, fileres etc.) limitam, a difusão de íons cloreto. Medeiros-Junior (2015) em seu estudo com cimentos comerciais, mostrou que os que possuem maiores teores de adições, CPIII (65% de escória de alto-forno) e CPIV (35% de pozolana), contribuíram mais para elevar a resistividade elétrica do concreto, além de promover, ao longo do tempo, evolução na

ISBN: 978-85-65425-32-2

redução da porosidade devido à progressiva hidratação dos compósitos cimentícios. Sabe-se que as escórias e pozolanas refinam os poros do concreto e reduzem a permeabilidade e mobilidade dos íons dentro da microestrutura do concreto (Medeiros-Junior *et al*, 2014). Tumidajski e Chan (1996) *apud* (PEREIRA, 2012) estudaram concretos com incorporação de escória de alto-forno em substituição parcial do cimento Portland e verificou que são mais eficientes em prevenir o ingresso de íons cloretos do que os concretos com outros cimentos.

Camacho *et al*. (2016) verificou que a carbonatação tem uma influência negativa sobre o coeficiente de difusão dos cloretos, funcionando como um "caminho privilegiado" para a penetração dos mesmos. J. Liu *et al*. (2016) analisou que quando ocorre a carbonatação de estruturas contaminadas por cloretos, pode ocorrer também o aumento de cloretos livres devido à instabilidade dos cloroaluminatos promovida pela redução do pH no interior do concreto.

3 Resultados e discussão

3.1 Caracterização dos materiais de partida

A distribuição percentual da composição dos componentes em massa dos cimentos em estudo, pode ser observada na Tabela 2. Os resultados dos ensaios de caracterização no estado fresco e endurecido são apresentados na Tabela 3. O teor de argamassa foi fixado em 50,5%, com valor de relação água/cimento igual a 0,50.

Tabela 2 – Composição % em massa dos cimentos em estudo

	Norma	**Componentes (% massa)**			
		Clínquer + Gesso	**Adições**		
			Carbonáticas	**Escória**	**Pozolana**
CP III	**NBR 5735**	45%	5%	50%	-
CP IV	**NBR 5736**	50%	5%	-	45%

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 3 – Características da argamassa da pesquisa

Parâmetros		CP III	CP IV
Traços unitário em massa	Cimento	1	1
	Areia de Quartzo	1,204	1,204
	Areia artificial	0,802	0,802
	Pedrisco	0,884	0,884
	Brita 1	2,061	2,061
	Água	0,5	0,5
Aditivo plastificante 94 (%)		1,2	1,2
Consumo (Kg/m³)		363	363
Teor de Argamassa (%)		50,5	50,5
Umidade (%)		8,38	8,38
Massa específica (Kg/m³)		2420	2370
Teor de Ar (%)		1,2	0,9
Abatimento (mm)		145	150
Resistência à compressão (Mpa)	7 dias	36,2	41,2
	28 dias	52,1	50,4

Procedeu-se, posteriormente, a moldagem de corpos de prova cilíndricos (10x20 cm) para realização dos seguintes ensaios no estado endurecido:

- Determinação da resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias;
- Determinação da penetração de íons cloreto aos 28 dias;

Logo após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida e desmoldados após 24 h e mantidos em cura até a idade de ensaio.

2.2 Difusibilidade de íons cloreto

Para investigar o comportamento dos concretos confeccionados frente à difusibilidade dos íons cloreto, adotou-se o método ASTM C – 1202 (2010) - “Standard Test Method for Eletrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration”, sendo as medidas realizadas após cura de 28 dias. A difusão de cloretos tem sido investigada também como parâmetro da durabilidade pelo fato de serem íons pequenos que indicariam a maior ou menor vulnerabilidade do concreto aos agentes agressivos em geral. O procedimento para medir a difusão dos cloretos consiste em submeter uma faixa, com 5 cm de altura e 10 cm de diâmetro, da amostra de concreto (topos do corpo de prova cilíndrico de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura) à passagem de corrente elétrica, por um período de 6 h, sob uma diferença de potencial de 60 V. O corpo de prova tem uma das extremidades imersas em solução de hidróxido de sódio e a outra em solução de cloreto de

ISBN: 978-85-65425-32-2

sódio, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4. A carga total passante é relacionada com a resistência do concreto à penetração de íons cloretos.

Figura 1 – Amostras preparadas para o ensaio (Autores)

Figura 2 – Células preenchidas com as soluções (Autores)

Os resultados obtidos são semi-quantitativos, tendo em vista a amplitude das faixas classificatórias apresentadas na ASTM C 1202 (2010) (Tabela 4).

Tabela 4 - Critério de classificação para difusibilidade de cloretos (ASTM C 1202 (2010))

Carga passante (Coulombs)	Penetração dos íons cloreto
> 4000	Elevada
2000-4000	Moderada
1000-2000	Baixa
100 - 1000	Muito baixa
< 100	Desprezível

Os resultados de difusibilidade de íons cloreto obtidos com os corpos de prova moldados com os cimentos CP III RS e CP IV, na idade de 28 dias, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da difusibilidade dos íons cloreto

	CP III	CP IV
Penetração Íons Cloreto Carga (C)	1248	4643
Classificação	Baixa	Elevada

ISBN: 978-85-65425-32-2

4. Considerações finais

Em suma, abstraindo-se de outras características não estudadas, a amostra do cimento CP III (Alto-forno) apresentou melhor contribuição frente à difusão de íons cloreto em concreto, quando comparada com a amostra de CP IV (Pozolânico), em igualdade de condições. Através dos resultados experimentais sobre a difusibilidade de íons cloreto em cimentos com escória de alto-forno e pozolânicos, pode-se extrair a seguinte conclusão:

- Com relação à difusibilidade de íons cloreto, os cimentos CP III e CP IV apresentaram valores de carga passante (Coulombs) de 1248 C e 4643 C, sendo classificados de baixa e elevada penetração, respectivamente. Esses valores mostram que os cimentos de escória de alto-forno, geralmente, são mais eficientes em resistir o ingresso de íons cloretos, gases ou líquidos, pois são menos porosos, devido à maior colmatação dos poros, e menor mobilidade de cloretos livres em sua microestrutura. O maior teor de C_3A, em cimentos de alto-forno, favorece, em condições normais, maior potencial de absorção de cloreto fixo, cloroaluminato, ligado à matriz cimentícia, diminuindo a quantidade de cloretos livres disponível, que é o principal responsável pelo processo corrosivo por contaminação de cloretos.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos, 2007.

_____.NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, 2015.

ASTM C1202. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, 2010.

BAROCHEL-BOUNY, V.; CAPRA, B.; LAURENS, S.. A durabilidade das armaduras e do concreto de cobrimento. In: OLLIVIER, J.P.; VICHOT, A, 2014. Durabilidade do Concreto: Bases Científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. Tradução: O. Cascudo e H. Carasek. São Paulo: IBRACON, 2014. p. 255-326.

CAMACHO, Gustavo; MALHEIRO, Raphaele; CAMÕES Aires; MEIRA Gibson. Ação Combinada da Carbonatação e dos Iões Cloreto em Betões com Cinzas Volantes. In: II congresso luso-brasileiro de materiais de construção sustentáveis, 2016, João Pessoa, Brasil.

CRAUSS, C.. Penetração de cloretos em concretos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial. 2010. 100f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Centro de tecnologia do programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Santa maria, Santa Maria - RS, 2010.

DOMINICINI, W. K.; CALMON, J. L.. Estudo sobre a modelagem de penetração de cloretos em estruturas de concreto armado. In: 57º Congresso Brasileiro do Concreto. Bonito MS, IBRACON, 2015.

ISBN: 978-85-65425-32-2

FELDMAN, R.F. – Significance of porosity measurements on blended cement performance, in: 1st Intern. Conf. on the use of fly ash, silica fume, salg and other mineral by-products in concrete, Montebello, 1983, Malhotra, Ed., ACI, SP-79,1,pp.415-433.

J. LIU, MING-FANG BA, YIN-GANG DU, ZHI-MIN HE, JIAN-BIN CHEN. Effects of chloride ions on carbonation rate of hardened cement paste by X-ray CT techniques. Construction and Building Materials (2016).

J. LIU, Q. QIU, X. CHEN, X. WANG, F. XING, N. HAN. Degradation of fly ash concrete under the coupled effect of carbonation and chloride aerosol ingress, Corrosion Sci. (2016).

MARTÍN-PÉREZ, B. *et al*. A study of the effect of chloride binding on service life predictions. Cement and Concrete Research, 30, pp. 1215 - 1223, 2000.

MEDEIROS- Junior, R.A.; LIMA, M. G.. Variação da resistividade elétrica do concreto com o formato de corpos de prova para diferentes tipos de cimento, Revista de Engenharia e Tecnologia, V. 7, n. 1, 2015.

MEDEIROS-JUNIOR, R.A.; LIMA, M.G.; MEDEIROS, M.H.F.; REAL, L.V. Investigação da resistência à compressão e da resistividade elétrica de concretos com diferentes tipos de cimento. Revista ALCONPAT, v.4, n.2, p.116-132, 2014.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. CONCRETO – Estrutura, Propriedades e Materiais. Editora PINI ou Editado pelo IBRACON. 4a Edição, 2014.

MEIJERS, S.J.H. *et al*. Computational results of a model for chloride ingress in concrete including convection, drying-wetting cycles-and carbonation. Materials and Structures, 38, pp. 145-154, 2005.

OLLIVIER, J.P.; VICHOT, A. Durabilidade do Concreto: Bases Científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. Tradução: O. Cascudo e H. Carasek. São Paulo: IBRACON, 2014.

PEREIRA, Eduardo; MENEGHETTI, Leila Cristina; RESENDE, Andréa; FABRO, Gilmar. Avaliação do grau de corrosão das armaduras para diferentes espessuras de cobrimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza.

PEREIRA, VICTOR CORREIA DE OLIVEIRA; ALMEIDA, KALLINE; MONTEIRO, ELIANA CRISTINA BARRETO. Avaliação da corrosão em argamassas de cimento portland utilizando a técnica de potencial de corrosão. Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, 2012.

RIBEIRO, Daniel Verás. Corrosão em Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ESTUDO DA FORMA DO AGREGADO GRAÚDO E SUA INFLUÊNCIA NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO

Study Of The Shape Of The Aggregate And Its Influence Without Modulus Of Elasticity Of The Concrete

Danillo DE ALMEIDA E SILVA[1], **Prof. André** LUIZ BORTOLACCI GEYER[2], **Prof. João** DA COSTA PANTOJA[3]

[1] Mestrando em Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG), Brasil, arq.danillo@gmail.com1

[2] Professor Doutor, Departamento de Construção Civil da Escola de Engenharia Civil / Universidade Federal de Goiás (UFG), Brasil, andre.geyer@hotmail.com2

[3] Professor Doutor, Departamento de Arquitetura FAU/UNB, Brasília, joaocpantoja@gmail.com3

Resumo: O presente trabalho apresenta um estudo sobre a influência da forma do agregado graúdo britado e sua relação com módulo de elasticidade do concreto, além de fazer uma análise e classificação da forma do agregado graúdo para uso em concreto.

O estudo para a classificação da forma do agregado graúdo é relativamente novo, Powers (1953) foi o primeiro a propor um método de classificação para a forma do agregado. Atualmente existem alguns métodos, alguns propostos por alguns pesquisadores e outros exigidos por normas como NBR 7809 (ABNT, 2005) entre outras.

No desenvolvimento da metodologia da pesquisa, foram descritas a caracterização da forma, parâmetros estabelecidos por normas nacionais, internacionais, além de outras referências que estabeleceram diretrizes para classificação da forma do agregado graúdo britado. Com base nessas referências, estabeleceram-se critérios e parâmetros para determinar a forma do agregado graúdo britado em 4 (quatro) categorias: forma *cúbica*, forma *alongada*, forma *lamelar* e forma *alongada-lamelar*.

O presente artigo apresenta os resultados e análise dos corpos de prova submetidos aos ensaios de módulo de elasticidade apenas.

Analisando os resultados dos ensaios observa-se que quanto maior a relação a/c, maior é seu módulo de elasticidade (GPa) e menor sua resistência em (MPa). Os concretos dosados que possuem menor quantidade de água, menor relação a/c, também possuem maiores valores da resistência à compressão, esse fator produz uma microestrutura com quantidades e diâmetros de poros menores, o que acarreta em menor deformação do concreto, ou seja, menor módulo de deformação.

Os concretos produzidos com agregados irregulares (formas lamelares) produziram maiores índices de vazios ocasionados pelo aumento da a/c, esses vazios permitem uma maior elasticidade do concreto. Eles funcionam como concentradores de tensões, permitindo que o concreto trabalhe quando sujeito a esforços, porém, os torna mais frágeis rompendo a baixa resistência.

Palavras-chave: módulo de elasticidade, forma do agregado, agregado graúdo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Abstract: The present work presents a study on an influence of the shape of the aggregate and its relation with the modulus of elasticity of the concrete, besides making an analysis and classification of the form of the aggregate large for use in concrete.

The study for a classification of aggregate shape is quite new, Powers (1953) was the first to a ratio of classification method to aggregate form. There are some methods, some proposed by some researchers and others required by standards such as NBR 7809 (ABNT, 2005) among others.

In the development of the research methodology, the characterization of the form, parameters defined by national, international norms, as well as other references to the curriculum guidelines for the classification of the shape of the aggregate gross crushed were described. Based on these references, criteria and parameters were used to determine the shape of aggregate crushed in four (4) categories: cubic form, elongated shape, lamellar form and elongated-lamellar form.

The present article presents the results and analysis of the specimens submitted to the modulus of elasticity tests only.

Analyzing the results of the tests it is observed that the higher the a / c ratio, the greater its modulus of elasticity (GPa) and the lower its resistance in (MPa). Concretes with a smaller amount of water, lower ratio a/c, also have higher values of compressive strength, this factor produces a microstructure with smaller pore diameters and quantities, which results in less concrete deformation, that is, smaller Forming module.

The concretes produced with irregular aggregates (lemellar forms) produced higher indices of voids caused by the increase of a / c, these voids allow a greater elasticity of the concrete. They act as stress concentrators, allowing the concrete to work when subjected to effort, yet makes it more brittle by breaking the low resistance.

Keyword: Modulus of elasticity, shape of the aggregate, large aggregate.

1. Introdução

O desempenho das edificações está intimamente relacionado com certas características de seus materiais e componentes. O estudo mais aprofundado de certas características se faz necessário para uma melhor compreensão e análise da qualidade e durabilidade das edificações.

O conhecimento das características dos agregados, bem como de suas propriedades físicas e mecânicas, pode permitir uma melhor previsão de seu comportamento como componente para construção civil. Com a evolução da tecnologia, os critérios de qualificação e seleção dos agregados avançam, e, estão plenamente à disposição da engenharia de construção (TANNÚS *et al*., 2007).

O módulo de elasticidade do concreto é, portanto, um dos parâmetros utilizados nos cálculos estruturais, que relaciona a tensão aplicada à deformação instantânea obtida, conforme a NBR 8522 (2008). O módulo de elasticidade permite ter uma melhor noção do comportamento da estrutura com relação à desforma ou a outras características desejadas do concreto.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Os concretos com agregados britados geralmente apresentam maiores módulos de elasticidade, resistência à tração na flexão e resistência à tração direta, propriedades estas que são influenciadas pela aderência do agregado pasta de cimento, portanto, pela rugosidade e angulosidade das partículas (EDUARDO, 2002 *apud* ALMEIDA, 1990).

Tanto a forma quanto a textura do agregado graúdo influencia o módulo de elasticidade do concreto, pois quanto mais áspero e anguloso for o agregado maior será o módulo de elasticidade do concreto (NEVILLE, 1997).

Isabel (2002) cita que os agregados graúdos britados geralmente apresentam maior módulo de elasticidade comparado com agregados naturais (seixo rolado).

Os materiais constituintes do concreto possuem módulos de elasticidade muito diferentes dos módulos de elasticidade do concreto. Os agregados graúdos têm um módulo variando a partir de 35 GPa e a pasta de cimento variando partir 16 GPa. A deformação do concreto provavelmente será um valor intermediário entre o módulo do agregado e do módulo da pasta (Helene e Neto, 2002).

Mehta e Monteiro (2008) citam que a fase agregado é predominantemente responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Por sua vez, estas propriedades dependem da densidade e da resistência do agregado. O tamanho e a forma do agregado graúdo podem afetar a resistência do concreto de modo indireto, pois quanto maior o tamanho do agregado no concreto maior será a facilidade da formação de um filme de água se acumular próximo à superfície do agregado, enfraquecendo assim a zona de transição pasta-cimento.

O módulo de deformação de um material é determinado de forma geral pela sua composição e apenas indiretamente relacionada com as demais propriedades mecânicas (GOMES 2008, *apud* VAN VLACK, 1970).

Gomes ainda afirma que em materiais heterogêneos e multifásicos, como o concreto, características como fração volumétrica, massa especifica, módulo de deformação dos principais constituintes e características da zona de transição influenciam fortemente o comportamento elástico do compósito. Como a massa específica é inversamente proporcional à porosidade, naturalmente os fatores que afetam a porosidade dos componentes do concreto (agregado e pasta de cimento) e zona de transição são extremamente importantes.

Metha e Monteiro (2008) afirmam que entre as características do agregado graúdo que afetam o módulo de deformação do concreto, a porosidade é a mais importante, uma vez que esta determina a rigidez do agregado. Sabe-se que a rigidez controla a capacidade do agregado em restringir deformações do concreto. Pressupõe-se, então, que agregados mais densos e com alto módulo de deformação resultarão em concretos com módulos de deformação maiores.

No entanto, a influência dos agregados no valor do módulo de deformação do concreto é evidenciada em idades mais avançadas, já que nas primeiras idades, a pasta de cimento, por ser o ligante dos agregados e por apresentar módulo baixo, exerce grande influência no módulo de deformação na mistura.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Estudos realizados por (SBRIGHI e FRAZÃO, 1984) determinaram que para uma determinada trabalhabilidade, quanto menor o índice de forma do agregado graúdo, maior será a resistência à compressão do concreto.

Para Metha e Monteiro (2008), as características do agregado britado dependem da microestrutura da rocha matriz, expressas pela sua porosidade, massa específica e composição mineralógica, bem como de sua exposição prévia (grau de intemperismo). Calcários laminados, arenitos e folhelhos tendem a produzir fragmentos alongados e achatados.

Como metodologia da pesquisa, foram utilizados parâmetros estabelecidos por normas nacionais, internacionais, além de outras referências que estabeleceram diretrizes para classificação da forma do agregado graúdo britado. Com base nessas referências, estabeleceram-se critérios e parâmetros para determinar a forma do agregado graúdo britado em 4 (quatro) categorias: forma *cúbica*, forma *alongada*, forma *lamelar* e forma *alongada-lamelar*.

Foi utilizado o método EPUSP-IPT, como método de dosagem para a produção dos concretos com forma *cúbica*, *alongada*, *lamelar* e *alongada-lamelar*, e, posterior análise dos resultados.

Foram realizados os ensaios à compressão simples e tração por compressão diametral para os concretos produzidos aos 7, 14 e 28 dias.

Analisando o comportamento da forma dos agregados, percebe-se a influência que as mesmas exercem no concreto fresco e endurecido.

A forma equidimencional determina baixa porosidade, menor consumo de cimento, melhores características mecânicas e durabilidade do concreto, maior fluidez e economicidade e com tudo a textura superficial áspera melhora a aderência do cimento.

As partículas irregulares têm influência negativa nas propriedades do concreto. Os agregados graúdos irregulares provocam acúmulo de água, aparecimento de bolhas e consequentemente um aumento na porosidade do concreto, que provoca baixa resistência e diminui a vida útil da estrutura do concreto.

Isabel (2005) sugere a determinação da razão entre a maior e a menor dimensão da partícula. Os dados experimentais indicam que, quando a maior parte das partículas tem uma razão menor do que 3:1, a forma das partículas tem pouca influência na qualidade do concreto. A resistência do concreto é afetada se mais de 50% das partículas tiverem uma relação de 5:1, o que pode provocar baixa compacidade e elevado índice de vazios, resultando em baixa resistência e menor durabilidade do concreto.

As partículas lamelares e alongadas são frágeis e facilmente quebráveis, prejudicando a obtenção de maiores resistências no concreto. Além disso, a angulosidade acentuada das partículas provoca o aumento no consumo de água necessária para uma dada trabalhabilidade. Por fim, com o aumento no tamanho e quantidade de partículas lamelares e alongadas, associadas a acúmulo de água próximo à superfície do agregado, enfraquecem a aderência na zona de transição (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Fowler (2005) disse que as partículas lamelares ou planas, orientadas na vertical podem causar uma fraqueza estrutural na compressão e também diminuir a resistência do concreto.

Rao (2001): partículas de formas equidimencionais são geralmente preferíveis ao invés de partículas planas ou alongadas para uso como agregados em concreto, pois apresentam menos área de superfície por unidade de volume e geralmente produzem melhor empacotamento das partículas. As partículas lamelares produzem uma mistura com baixa trabalhabilidade com determinado teor de água, o que leva à compactação pobre e um alto conteúdo de vazios, resultando em baixa resistência e durabilidade.

Alguns pesquisadores fazem referência do índice de partículas lamelares ou que podem ocasionar perda da qualidade do concreto. Neville (1997) afirma que é indesejável a presença de mais de 10% a 15% de partículas irregulares no concreto. Metha e Monteiro (2008). As partículas indesejadas devem ser evitadas ou limitadas a no máximo 15% em massa (ISABEL, 2005). A resistência do concreto é afetada se mais de 50% das partículas tiverem uma relação de 5:1, o que as classifica segundo a tabela 2.1 como forma alongada-lamelar, e que pode provocar baixa compacidade e elevado índice de vazios, resultando em baixa resistência e menor durabilidade do concreto.

Fowler (2002): as partículas lamelares apresentam maior área de superfície e produzem uma mistura com baixa trabalhabilidade com determinado teor de água, o que leva à compactação pobre e um alto conteúdo de vazios, resultando em baixa resistência e durabilidade.

2. Metodologia

2.1 Método de classificação e separação das quatro formas do agregado graúdo britado.

A fim de caracterizar adequadamente a forma de um agregado graúdo, são necessárias as informações de três dimensões da partícula: maior dimensão (comprimento), a dimensão intermediária (largura), e menor dimensão (espessura). A forma equidimencional são índices que são expressos em termos de três dimensões.

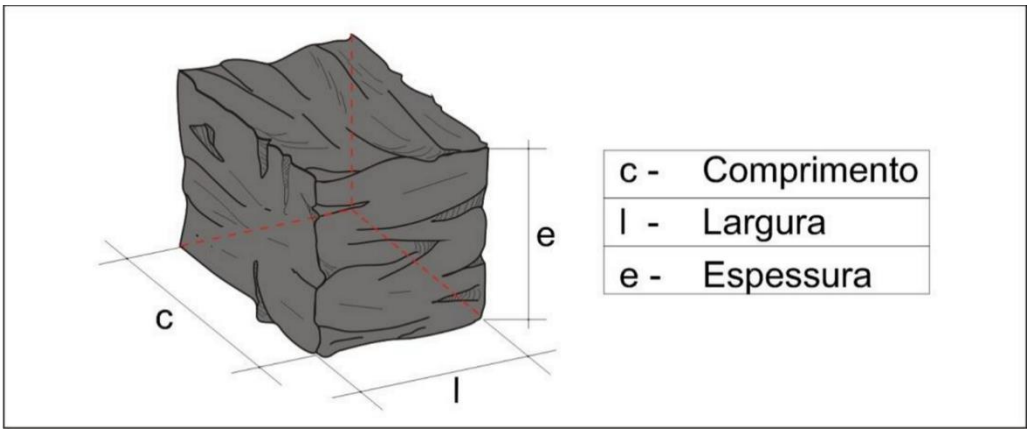


Figura 2.1 Forma equidimencional (forma cúbica).

ISBN: 978-85-65425-32-2

A figura 2.1 apresenta a forma cúbica e suas respectivas dimensões comprimento, largura e espessura.

Os métodos utilizados para caracterização da forma do agregado graúdo britado, para o proposto trabalho, tiveram como referência a NBR 7809 (ABNT, 2005) – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro, que determina parâmetros de aceitação para o agregado graúdo como forma ideal e forma inadequada, BS 812: SECTION 105.1 (BS,1989), que determina o índice de achatamento, BS 812: SECTION 105.2 (BS, 1990), que determina o índice de alongamento. Com base nas referidas normas, foram classificadas quatro formas para o agregado graúdo britado, tendo como referência a proporção de suas dimensões, sendo considerado como forma ideal partículas com índice *c/e* < 1,8 mm, formas aceitáveis *c/e* >1,8 a < 3,0 mm e forma inadequada *c/e* > 3,0 mm.

Tabela 2.1 Determinação do índice de forma.

Forma	Razão	Índice
Cúbica	*c/e* < e *l/e* <	1,8
Alongada	*c/e* > e *l/e* <	1,8
Lamelar	*c/e* > e *l/e* >	2,4
Alongada-Lamelar	*c/e* > e *l/e* >	3,0

A tabela 2.1 apresenta a interpretação da forma do agregado graúdo britado, com base nas normas e outras referências, e seguiu a seguinte ordem:

Para análise do agregado em análise, define-se seus eixos e se obtém a maior dimensão denominada *comprimento*, dimensão intermediária denominada *largura* e menor dimensão, a *espessura*. A classificação do agregado graúdo britado é dada conforme o grau de cubicidade da partícula, e, conforme as normas analisadas, as partículas de um agregado podem ser classificadas em cúbica, alongada, lamelar e alongada lamelar.

Figura 2.2 Forma cúbica.

Figura 2.2 forma cúbica: partícula que possui as três dimensões semelhantes e pouca variação entre suas dimensões. Quando observadas, assemelham a um cubo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2.3 Forma alongada.

Figura 2.3 forma alongada: partícula em que uma dimensão é significativamente maior do que as outras duas dimensões.

Figura 2.4 Forma lamelar.

Figura 2.4 forma lamelar: partícula em que duas dimensões são aproximadas, e significativamente menores em relação.

Figura 2.5 Forma alongada-lamelar.

Figura 2.5 forma alongada-lamelar: partícula que tem três dimensões significativamente diferentes, por exemplo: o comprimento consideravelmente superior a largura e a largura superior a espessura.

Esta parte do programa experimental teve como propósito, classificar e separar as partículas em quatro categorias, tendo como parâmetros a tabela 4.4, que analisa a proporção entre suas dimensões, comprimento, largura e espessura, e com base na classificação de sua forma, analisar sua granulometria, massa específica, massa unitária e índice de forma.

ISBN: 978-85-65425-32-2

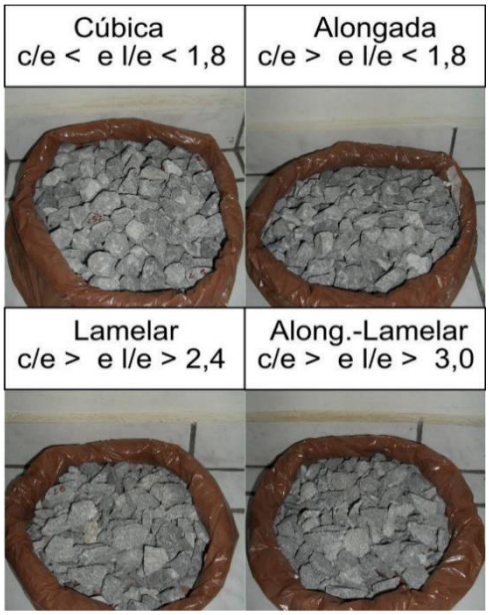


Figura 2.6 Análise 1.

A figura 2.6 apresenta o agregado graúdo classificado, separado e catalogado com base na sua forma.

2.2 Ensaios e procedimentos

Após a classificação e separação dos agregados em quatro categorias: forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar, pelo método proposto, as mesmas foram submetidas a ensaios para uma melhor compreensão de suas características como granulometria, massa específica, massa unitária, módulo de finura e índice de forma.

Pode-se avaliar que o processo de britagem exerce influência nas propriedades físicas do agregado graúdo britado, tais como: massa especifica, massa unitária, modulo de finura e índice de forma.

Tabela 2.2 Ensaios dos agregados.

Ensaios	Cúbica	Alongada	Lamelar	Along.Lamelar
Módulo de finura	7,58	7,44	7,33	7,10
DMC (mm)	25	25	25	25
Massa unitária (kg/dm³)	1,413	1,367	1,358	1,279
Massa específica (kg/dm³)	2,57	2,58	2,63	2,72
Índice de forma	1,52	2,10	2,71	6,07

Na Tabela 2.2 são apresentados os resultados para a forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O agregado graúdo selecionado para o programa experimental foi o granulito proveniente da pedreira Anápolis, devido ao processo de britagem e origem da rocha.

Rocha de origem metamórfica de alto grau de metamorfismo, com textura granuloblástica e estrutura gnáissica, que se assemelha ao granito (rocha ígnea rica em quartzo, feldspato e mica), devido à sua mineralogia e textura.

O processo de britagem se dá por britador primário (britador de mandíbulas). Após a britagem primária é transportado por esteiras para o britador secundário (britador de cone). A rocha fica no processo de britagem secundário até adquirir granulométrica desejada, e em seguida transportada por esteiras para o britador terciário (britador de cone) e quando adquirida a granulometria requerida é transportada por caminhões para o consumidor final.

Tabela 2.3 Porcentagem das formas.

Análise 1-10 kg (Agregado graúdo entre 19 mm a 25mm)				
Forma	N de Partículas	Índice	Peso (kg)	%
Cúbica	C331	1,52	3,35	33,50%
Alongada	A363	2,10	3,11	31,10%
Lamelar	L204	2,71	1,61	16,10%
Alongada-Lamelar	AL365	6,07	1, 93	19,30%
TOTAL	1.263 (Partículas)	3,20	10,00	100,00%

Na Tabela 2.3 são apresentadas as porcentagens que compreendem cada forma do agregado em uma amostragem.

Após a separação nas formas cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar, foi constatado que nas amostragens a forma alongada-lamelar, a forma indesejável para produção de concreto está presente em cerca de 20% do agregado graúdo britado selecionado para o experimento.

Na figura 2.1 são apresentados os resultados dos ensaios em forma de gráficos para a forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar. Segundo os resultados, o índice de forma e massa específica aumenta com a irregularidade do agregado graúdo, e, a massa unitária, módulo de finura diminui com o aumento da irregularidade do agregado graúdo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

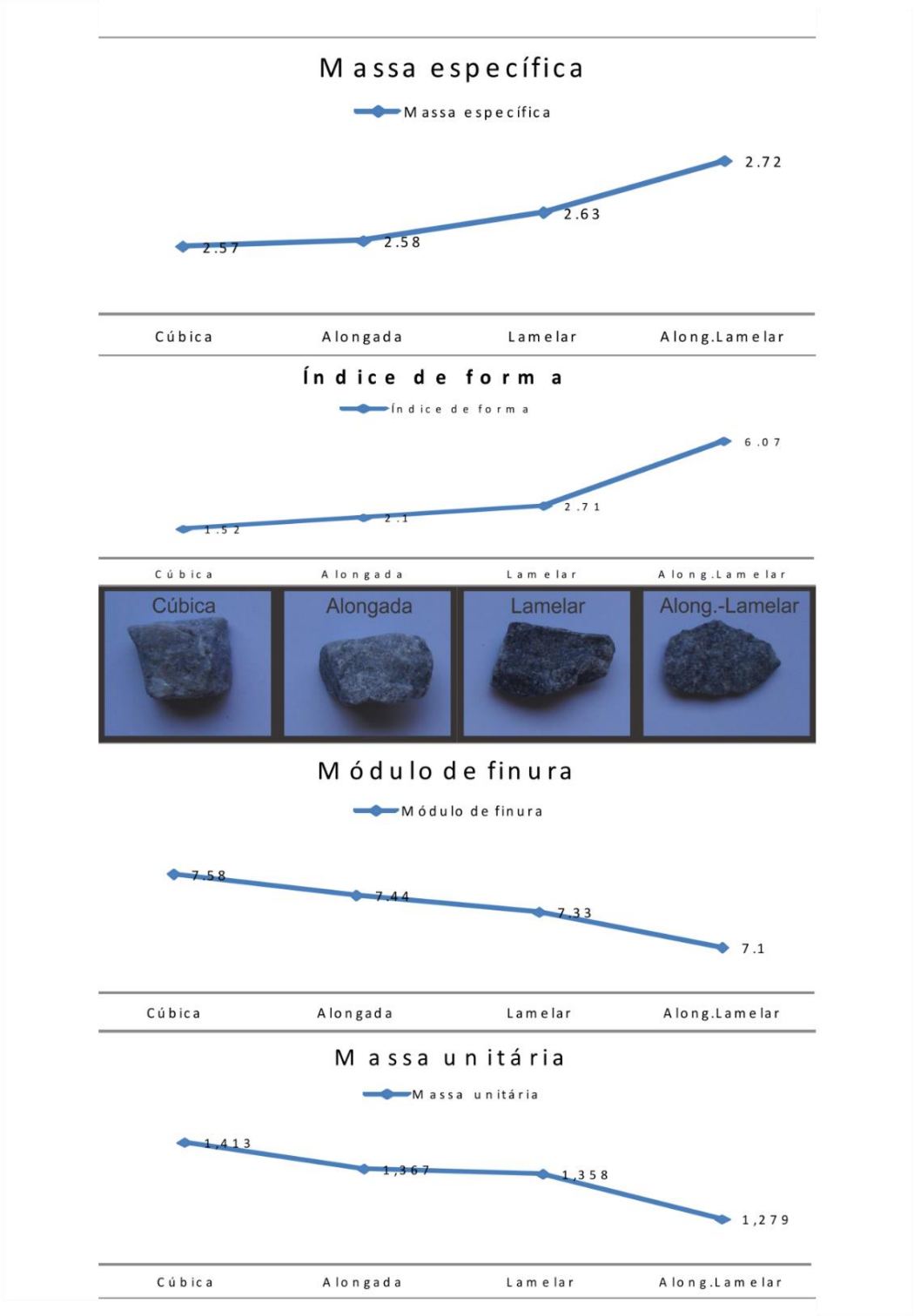


Figura 2.7 Gráfico comparativo da forma do agregado.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3 Programa experimental

3.1 Dosagem do Concreto

Todo o programa experimental – Dosagem, moldagem dos corpos-de-prova e ensaios mecânicos – foi realizado no laboratório de concreto do CMEC - Curso de Mestrado de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Goiás.

Foram moldados, para a realização dos ensaios experimentais, corpos-de-prova cilíndricos, nas dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para o ensaio de resistência à compressão, tração diametral, módulo de elasticidade conforme a NBR 5739 (ABNT, 1980). Contudo são apresentados os resultados dos ensaios do módulo de elasticidade rompidos aos 28 dias.

Foram definidas 3 dosagens para cada forma, sendo traços 1:3,5 1:5 e 1:6,5.

O propósito do programa experimental é comparar os resultados dos módulos de elasticidade dos traços produzidos com agregados de forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar.

Na figura 3.1 é apresentado fluxograma do programa experimental.

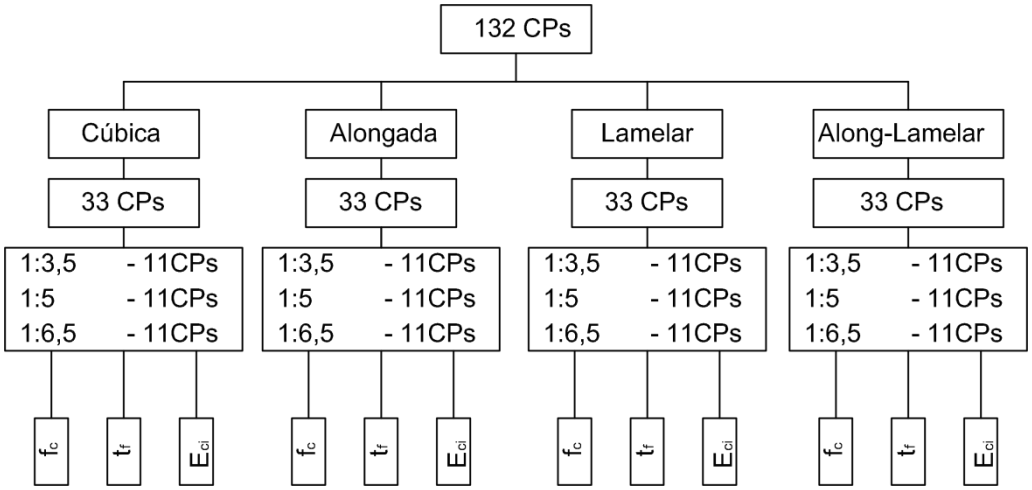


Figura 3.1 Fluxograma do programa experimental

A tabela 3.1 apresenta a legenda utilizada nos traços para cada forma.

Forma/Agregado	1:3,5	1:5	1:6,5
Cúbica	C-I	C-II	C-III
Alongada	A-I	A-II	A-III
Lamelar	L-I	L-II	L-III
Along.-lamelar	AL-I	AL-II	AL-III

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2 Produção dos concretos

As confecções dos concretos seguiram a seguinte sequência na colocação dos materiais na betoneira: brita II + areia + 30% de água → 30s betoneira ligada + cimento e adicionar água aos poucos até a consistência desejada. A trabalhabilidade foi avaliada pelo Abatimento do Tronco de Cone de Abrams que foi fixado em 9 ±1 cm.

Figura 3.2 Mistura dos materiais.

Figura 3.3 Abatimento do tronco de cone de brams.

A figura 3.2 apresenta a mistura dos materiais na betoneira. A figura 3.3 apresenta o ensaio de abatimento do tronco de cone de Abrams, para a trabalhabilidade desejada. Após a avaliação da trabalhabilidade pelo abatimento do tronco de cone de Abrams, que se manteve dentro do esperado, partimos para a moldagem dos CPs de 10x20 cm e posterior cura em câmara úmida.

Figura 3.4 Moldagem CPs.

Figura 3.5 Cura Câmara úmida.

A figura 3.4 apresenta a moldagem dos CPs 10x20 cm. A figura 3.5 apresenta cura dos CPs na câmara úmida. Após a moldagem dos CPs, foram encaminhados para cura na para câmara úmida e posterior ensaios. Foram realizados ensaios de compressão simples e

ISBN: 978-85-65425-32-2

tração diametral dos traços produzidos com agregados de forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar.

3.3 Módulo de Elasticidade

Através deste ensaio, prescrito pela ABNT NBR 8522 (2003), o Módulo de Elasticidade Inicial (Eci) é obtido relacionando tensões e deformações do corpo de prova feito por uma amostra do concreto empregado, neste caso o corpo-de-prova cilíndrico é de 10x20 cm.

Segundo o procedimento desta norma, deve-se inicialmente romper dois corpos-de-prova com o intuito de se obter a resistência à compressão (fc). Obtido o valor da resistência à compressão estimada, fc, determinam-se os níveis de carregamento para o cálculo das deformações em mais três corpos. A figura 62 resume a forma e intensidade do carregamento aplicado.

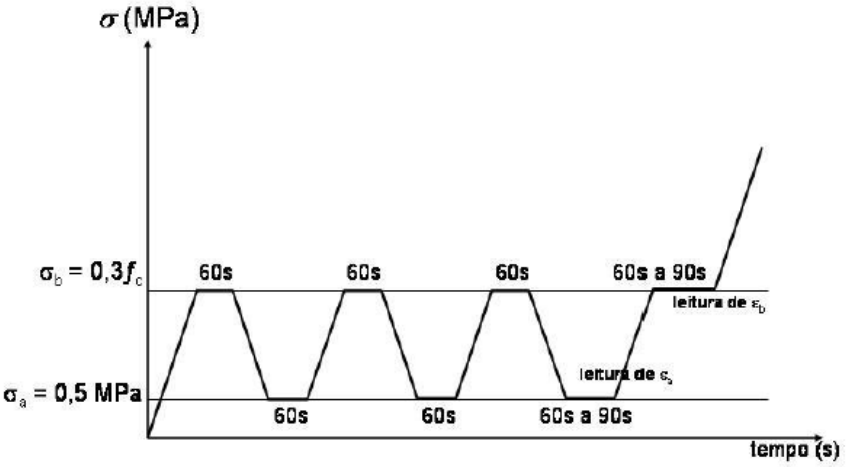


Figura 3.2 Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade (Fonte: NBR 8522/03)

Após as leituras das deformações e tensões aplicadas, usa-se a equação 1 no cálculo de Eci.

$$E_{ci} = (\sigma_b - \sigma a)/(\varepsilon_b - \varepsilon_a) x 10^3$$

Onde:

σb = Tensão maior em mega pascal (σb = 0,3fc);

σa = Tensão menor em mega pascal (σb = 0,5 Mpa);

εb = Deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão maior;

εa = Deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão menor.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4 Resultados e discussão

Analisando os resultados dos ensaios observa-se que com uma maior relação a/c, maior é seu módulo de elasticidade (GPa) e menor sua resistência em (MPa). Os concretos dosados que possuem menor quantidade de água, menor relação a/c, também possuem maiores valores da resistência à compressão, esse fator produz uma microestrutura com quantidades e diâmetro de poros menores, o que acarreta em menor deformação do concreto, ou seja, menor módulo de deformação.

4.1 Apresentação dos resultados

As tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam os resultados dos ensaios do módulo de elasticidade dos concretos produzidos com suas respectivas formas.

Tabela 4.1 Resultado módulo de elasticidade: Forma cúbica

Corpos-de-prova		MPa	GPa	Média GPa
Traço C - I	C I - 1	34,1	22,6	23,3
	C I - 2	36,7	26,3	
	C I - 3	33,1	21,1	
Traço C - II	C II - 1	25,5	27,2	28,4
	C II - 2	25,3	29,8	
	C II - 3	25,2	28,2	
Traço C - III	C III - 1	18,1	35,9	37,5
	C III - 2	18,3	41,5	
	C III - 3	18,1	35,1	

Tabela 4.2 Resultado módulo de elasticidade: Forma alongada

Corpos-de-prova		MPa	GPa	Média GPa
Traço A - I	A I - 1	35	23,1	25,1
	A I - 2	35,7	26,8	
	A I - 3	37,1	25,1	
Traço A - II	A II - 1	25,5	28,2	26,3
	A II- 2	25,6	27,7	
	A II - 3	22,2	22,9	
Traço A - III	A III - 1	16,6	35,9	35.4
	A III - 2	16,6	33,6	
	A III - 3	17,1	36,7	

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 4.3 Resultado módulo de elasticidade: Forma lamelar

Corpos-de-prova		MPa	GPa	Média GPa
Traço L - I	L I - 1	30,6	17,9	21,8
	L I - 2	31,3	24,3	
	L I - 3	31,1	23,2	
Traço L - II	L II - 1	21,8	31,6	27,4
	L II - 2	22	35,5	
	L II - 3	22	25,1	
Traço L - III	L III - 1	15,5	34,3	39,0
	L III - 2	14,5	45,1	
	L III - 3	15,9	37,5	

Tabela 4.4 Resultado módulo de elasticidade: Forma alongada-lamelar

Corpos-de-prova		MPa	GPa	Média GPa
Traço AL - I	AL I - 1	28,5	22,2	19,7
	AL I - 2	30	17,9	
	AL I - 3	24,3	19	
Traço AL - II	AL II - 1	21	29,8	32,8
	AL II - 2	18,5	33,6	
	AL II - 3	19,4	35,1	
Traço AL - III	AL III - 1	12	43,9	44,3
	AL III - 2	12,5	42,7	
	AL III - 3	12	46,4	

Os concretos produzidos com agregados graúdos irregulares apresentaram maiores níveis de deformações em relação aos concretos com agregado cúbico e alongado.

Tanto a forma quanto a textura do agregado graúdo influenciam o módulo de elasticidade do concreto, pois quanto mais áspero e anguloso for o agregado, maior será o módulo de elasticidade do concreto. Neville (1997)

Para uma determinada trabalhabilidade, quanto menor o índice de forma do agregado graúdo, maior será a resistência à compressão do concreto. Sbrighi e Frazão (1984).

De acordo com Fowler (2002), as partículas lamelares apresentam maior área de superfície e produzem uma mistura com baixa trabalhabilidade com determinado teor de água, o que leva à compactação pobre e um alto conteúdo de vazios, resultando em baixa resistência e durabilidade.

ISBN: 978-85-65425-32-2

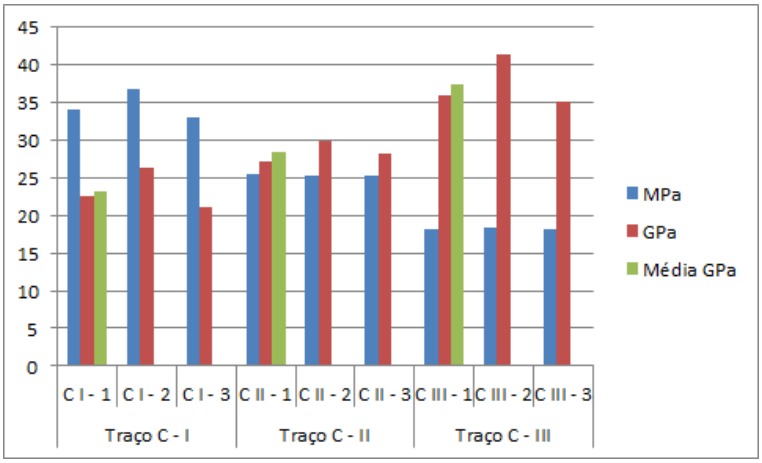


Figura 4.1. Comparativo dos resultados Forma Cúbica Mpa x GPA

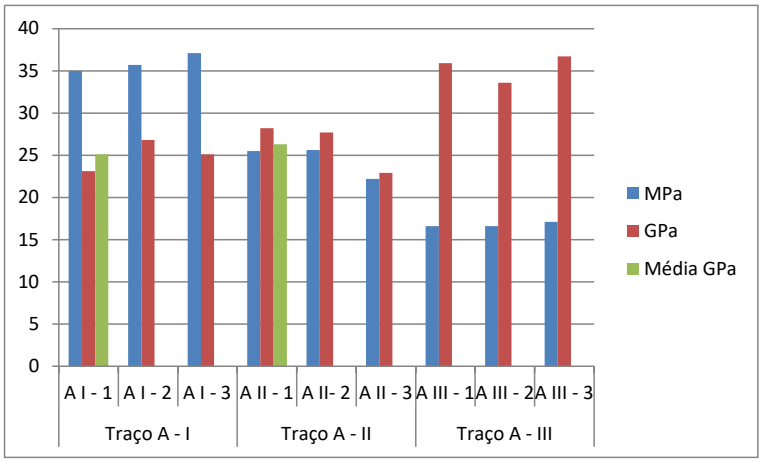


Figura 4.2. Comparativo dos resultados Forma Alongada Mpa x GPA

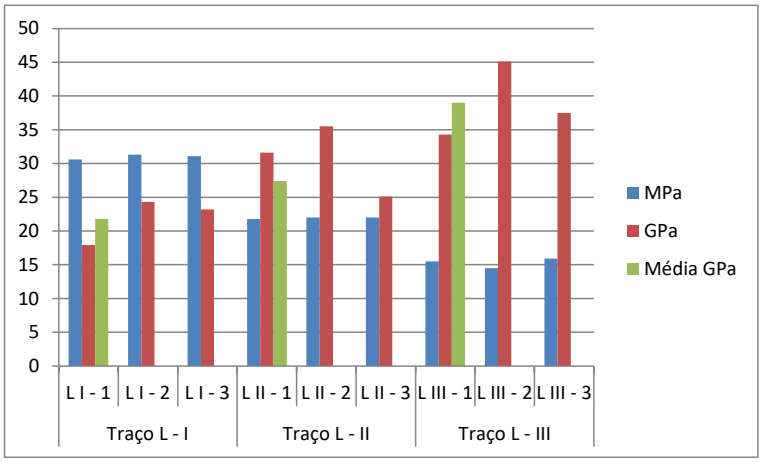


Figura 4.3. Comparativo dos resultados Forma Lamelar Mpa x GPA

ISBN: 978-85-65425-32-2

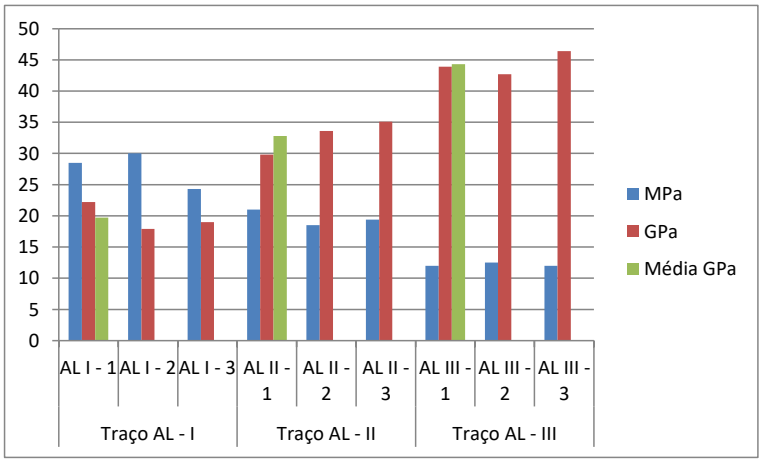


Figura 4.4 Comparativo dos resultados Forma Alongada-Lamelar Mpa x GPA

5. Conclusão

A Elasticidade descreve materiais que retornam à sua forma de repouso depois que as tensões aplicadas são removidas e plasticidade descreve materiais que se deformam permanentemente após uma tensão aplicada superar um determinado limite de elasticidade.

O concreto é um material heterogêneo, logo o que determina o seu comportamento elástico são a fração volumétrica, a densidade e o módulo dos principais componentes, além das características da zona de transição na interface. Uma vez que a densidade é inversamente proporcional à porosidade, naturalmente os fatores que afetam a porosidade do agregado, da matriz pasta de cimento e da zona de transição na interface são importantes. No concreto, a relação direta entre resistência e módulo de elasticidade advém do fato de que ambos são afetados pela porosidade das fases constituintes, porém não no mesmo grau.

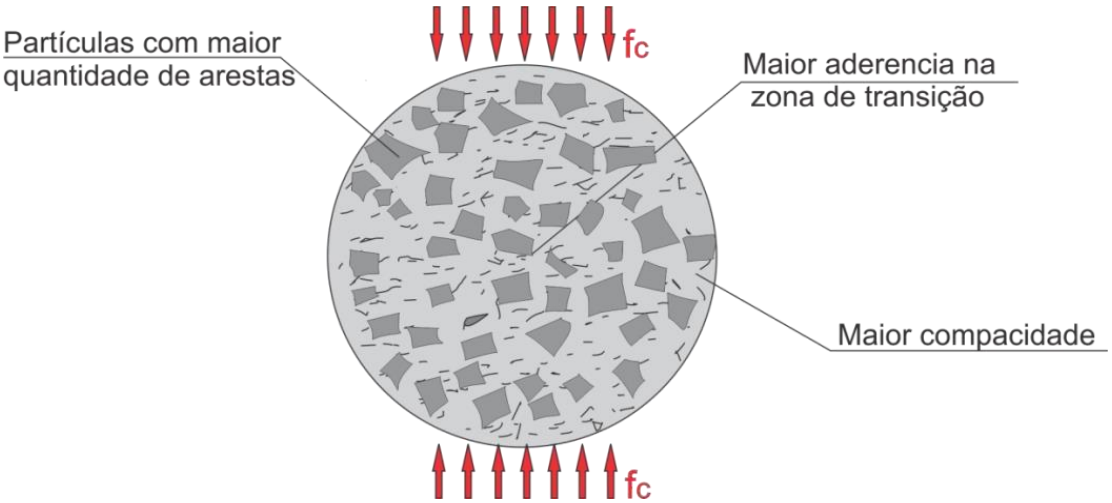


Figura 5.1 Detalhe esquemático forma cúbica.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Na figura 5.1 apresenta detalhe esquemático do arranjo entre agregado e pasta de cimento ocasionado pelas partículas cubicas.

Os concretos produzidos com agregados com baixo índice de forma (Forma cúbica e alongada) apresentaram alta resistência à compressão e baixo módulo de elasticidade. A forma equidimencional dos agregados permitiu uma maior compacidade entre agregados e pasta de cimento, somado a baixa relação a/c que provocou baixa porosidade do concreto, elevando sua resistência à compressão. Esse fator produz uma microestrutura com quantidades e diâmetro de poros menores, o que acarreta em menor deformação do concreto.

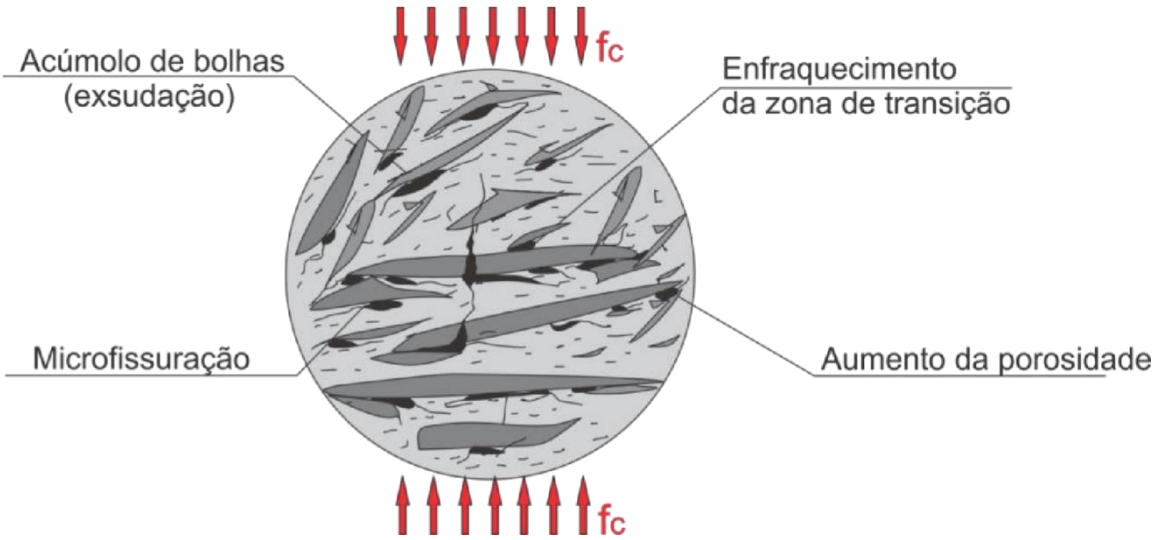


Figura 5.2 Detalhe esquemático forma alongada-lamelar.

Na figura 5.2 apresenta detalhe esquemático do arranjo entre agregado e pasta de cimento ocasionado pelas partículas irregulares.

Os concretos produzidos com agregados com forma irregulares (alongada-lamelar e formas lamelar) produzem maiores índices de vazios ocasionados pelo aumento da a/c, esses vazios permitem uma maior elasticidade do concreto, funcionando como concentradores de tensões permitindo que o concreto trabalhe quando sujeito a esforços, porém, os torna mais frágeis, rompendo a baixa resistência.

6 Referências bibliográficas

ISABEL, M, G, F. Caracterização petrográfica, química e física de agregados graníticos em concreto: estudo de caso de obra. Departamento de Geologia, Porto, 2005. Tese de Doutorado (Doutorado em Geologia) Faculdade de Ciência da Universidade de Porto, 2005

FOWELER. D. W. ERDOĞAN. S. T. Determination of aggregate shape properties using x-ray tomographic methods and the effect of shape on concrete rheology. International Center for Aggregates Research, The University of Texas at Austin, AUGUST 2005.

ISBN: 978-85-65425-32-2

RAO, C., Tutumluer, E., Stefanski, J.A. Coarse Aggregate Shape and Size Properties Using a New Image Analyzer, Journal of Testing and Evaluation 29, Sep 2001, pp. 97-97.

Silva, D. A., Estudo da influência do índice de forma do graúdo nas propriedades mecânicas do concreto. Dissertação de (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2012

Silva, D. A, Geyer. Bortolacci, Analise e classificação da forma do agregado grúde britado para concreto. Outubro, 2013. Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, ISSN 2175-8182.

Santos, A. M; Cabral. M, C. C; Monteiro. E. B; Helene, Paulo. R. L. A – Analise do Módulo de Elasticidade e Dinâmico para Diferentes Dosagens de Concreto, Outubro, 2013. Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, ISSN 2175-8182.

Silva, D. A, Geyer. Bortolacci, Infuência da forma do agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto. Outubro, 2013. Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, ISSN 2175-8182.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809: AGREGADO GRAÚDO - Determinação do Índice de Forma Pelo Método do Paquímetro. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.211: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão Rio de Janeiro, 2005.

AMERICAN CONCRET INSTITUTE. ACI 213R-87, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. USA. 1987

ASTM D 4791 Standard Test Method for Flat and Elongate Particles in Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials, 2005.

ASTM D 5821 Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate, American Society for Testing and Materials, 2001.

BS 812. Testing aggregates, Part 105. (Methods for Determination of Particle Size and Shaper), British Standard, 1989. Section 105.1 - Flakiness índex.

BS 812. Testing aggregates, Part 105. (Methods for Determination of Particle Size and Shaper), British Standard, 1990. Section 105.2 - Elongation índex of coarse aggregate.

ISBN: 978-85-65425-32-2

BS 812. Testing aggregates, Part 1. (Methods for sampling), British Standard, 1975.

FABRO F.; GAVA G. P. GRIGOLI H. B.; MENEGHETTI L. C. Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. Revista Ibracon Estruturas e Materiais, v. 4, (Junho, 2011) p. 191-212.

NUNES, M. F., MARQUES, E. P. Agregados para a construção civil. In: Materiais de construção civil e princípios da ciência e eng. de materiais. 2007, v. 1, pg. 481 – 524.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3ª ed. São Paulo: Pini, 2008.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2ª ed. São Paulo: Pini. 1997.

PARAGUASSU, A. B; FRAZÃO, E. B. Materiais Rochosos para Construção. In: Antônio Manoel dos Santos Oliveira; Sérgio Nertan Alves de Brito (Org.) Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Eng. Ambiental, v. único, 1998. p. 331342.

Filho. G. D; Controle do Módulo de Elasticidade do Concreto na Estrutura com o uso de Célula de Fluência, MONOGRAFIA, Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Especialista em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, São Paulo 2010.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

POROSIDADE DO CONCRETO VERSUS FORMA DO AGREGADO GRAÚDO

Porosity Of Concrete Versus Shape Of The Aggregate

Danillo DE ALMEIDA E SILVA[1] , **Prof. André** LUIZ BORTOLACCI GEYER[2], **Prof. João** DA COSTA PANTOJA[3]

[1] Mestrando em Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG), Brasil, arq.danillo@gmail.com1

[2] Professor Doutor, Departamento de Construção Civil da Escola de Engenharia Civil / Universidade Federal de Goiás (UFG), Brasil, andre.geyer@hotmail.com2

[3] Professor Doutor, Departamento de Arquitetura FAU/UNB, Brasília, joaocpantoja@gmail.com3

Resumo: A porosidade do concerto está intimamente relacionada com a durabilidade e desempenho das edificações. O estudo mais aprofundado dos fatores relacionados à quantidade de vazios presentes no concreto endurecido se faz necessário para uma melhor compreensão e análise da qualidade e durabilidade das edificações.

O presente trabalho descreve uma análise e classificação da forma do agregado graúdo britado para uso em concreto e sua relação com a porosidade do mesmo. As referências quanto à determinação da forma do agregado graúdo são baseadas em normas regulamentadoras, com o intuito de definirem parâmetros de comparações.

O estudo para a classificação da forma do agregado graúdo é relativamente novo e Powers (1953) foi o primeiro a propor um método de classificação para a forma do agregado.

No desenvolvimento da metodologia da pesquisa, foram descritas a caracterização da forma, parâmetros estabelecidos por normas nacionais, internacionais, e referências que estabeleceram diretrizes para classificação da forma do agregado graúdo britado. Com base nas referências, estabeleceram-se critérios e parâmetros para determinar a forma do agregado graúdo britado em 4 (quatro) categorias: forma *cúbica*, forma *alongada*, forma *lamelar* e forma *alongada-lamelar*.

Foi utilizado o método EPUSP-IPT, como método de dosagem para a produção dos concretos com forma *cúbica*, *alongada*, *lamelar* e *alongada-lamelar*, e, posterior análise dos resultados. Foram realizados os ensaios à compressão simples e tração por compressão diametral para os concretos produzidos aos 7, 14 e 28 dias.

Para a resistência à compressão, as formas cúbicas e alongadas apresentaram maiores resistências e consequentemente menores índices de vazios e para a resistência a tração, as formas lamelares apresentaram as maiores resistências. As formas irregulares apresentam maiores áreas de aderência entre pasta de cimento e agregado, favorecendo áreas de ancoragem para a zona de transição, com isto aumentando sua resistência à tração.

Palavras-chave: Porosidade, influência da forma, agregado graúdo

ISBN: 978-85-65425-32-2

Abstract: The porosity of the concert is closely related to the durability and performance of the ratings. Further study of the factors related to the number of voids. There is no need for a more accurate and improved analysis of the quality and durability of the buildings.

The present work describes an analysis and classification of the form of the aggregate grates crushed for use in concrete and its relation with the porosity of the same. As references for determining the shape of the aggregate, they are based on regulatory standards, in order to define the parameter of comparisons.

The study for the classification of aggregate shape is quite new and Powers (1953) was the first to a ratio of classification method to aggregate form.

In the development of the research methodology, the characterization of the form, parameters established by national and international norms, and references for the qualifier of guidelines for the classification of the shape of the aggregate heavy crushed were described. Based on the references, criteria and parameters were created to determine the shape of the aggregate crushed in 4 (four) categories: cubic form, elongated shape, lamellar form and elongated-lamellar form.

The EPUSP-IPT method was used as the dosage method for the production of cubic, elongated, lamellar and elongated-lamellar concretes, and subsequent analysis of the results. The tests were carried out with simple compression and diametral compression traction for concretes produced at 7, 14 and 28 days.

For compressive strength, such as cubic and elongated forms we present higher strengths and consequently lower void indices and for tensile strength, as lamellar forms presented the highest strengths. As irregular forms, larger areas of adhesion between cement and aggregate masses, developmental areas for a transition zone, with their tensile strength.

Keyword: Porosity, influence of shape, large aggregate.

1. Introdução

A porosidade do concreto está intimamente relacionada com a durabilidade e desempenho das edificações, e um estudo mais aprofundado dos fatores relacionados à quantidade de vazios presentes no concreto endurecido se faz necessário para uma melhor compreensão e análise da qualidade e durabilidade das edificações.

O conhecimento de certas características dos agregados é uma exigência para a dosagem dos concretos. A massa específica, a porosidade, a composição granulométrica, a forma e a textura superficial dos agregados determinam as propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido.

Estudos realizados por (SBRIGHI e FRAZÃO, 1984) determinaram que para uma determinada trabalhabilidade, quanto menor o índice de forma do agregado graúdo, maior será a resistência à compressão do concreto.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a influência da forma do agregado graúdo britado e sua relação com a porosidade, que são os “vazios do concreto”.

Segundo (METHA e MONTEIRO, 2008) as características do agregado britado dependem da microestrutura da rocha matriz, expressas pela sua porosidade, massa específica e

ISBN: 978-85-65425-32-2

composição mineralógica, bem como de sua exposição prévia (grau de intemperismo). Calcários laminados, arenitos e folhelhos tendem a produzir fragmentos alongados e achatados.

Como metodologia da pesquisa, foram utilizados parâmetros estabelecidos por normas nacionais, internacionais, além de outras referências que estabeleceram diretrizes para classificação da forma do agregado graúdo britado. Com base nessas referências, estabeleceram-se critérios e parâmetros para determinar a forma do agregado graúdo britado em 4 (quatro) categorias: forma *cúbica*, forma *alongada*, forma *lamelar* e forma *alongada-lamelar*.

Foi utilizado o método EPUSP-IPT, como método de dosagem para a produção dos concretos com forma *cúbica*, *alongada*, *lamelar* e *alongada-lamelar*, e, posterior análise dos resultados.

Foram realizados os ensaios à compressão simples e tração por compressão diametral para os concretos produzidos aos 7, 14 e 28 dias.

Analisando o comportamento da forma dos agregados, percebe-se a influência que as mesmas exercem no concreto fresco e endurecido.

A forma equidimencional determina baixa porosidade, menor consumo de cimento, melhores características mecânicas e durabilidade do concreto, maior fluidez e economicidade e com tudo, a textura superficial áspera melhora a aderência do cimento.

As partículas irregulares têm influência negativa nas propriedades do concreto, os agregados graúdos irregulares provocam acúmulo de água, aparecimento de bolhas e consequentemente um aumento na porosidade do concreto, que provoca baixa resistência e diminui a vida útil da estrutura de concreto.

Isabel (2005) sugere a determinação da razão entre a maior e a menor dimensão da partícula. Os dados experimentais indicam que, quando a maior parte das partículas tem uma razão menor do que 3:1, a forma das partículas tem pouca influência na qualidade do concreto. A resistência do concreto é afetada se mais de 50% das partículas tiverem uma relação de 5:1, o que pode provocar baixa compacidade e elevado índice de vazios, resultando em baixa resistência e menor durabilidade do concreto.

As partículas lamelares e alongadas são frágeis e facilmente quebráveis, prejudicando a obtenção de maiores resistências no concreto. Além disso, a angulosidade acentuada das partículas provoca o aumento no consumo de água necessária para uma dada trabalhabilidade. Por fim, com o aumento no tamanho e quantidade de partículas lamelares e alongadas, associadas a acúmulo de água próximo à superfície do agregado, ocorre o enfraquecimento da aderência na zona de transição (METHA e MONTEIRO, 2008).

Fowler (2005) refere que as partículas lamelares ou planas, orientadas na vertical podem causar uma fraqueza estrutural na compressão e também diminuir a resistência do concreto.

Rao (2001) afirma que as partículas de formas equidimensional são geralmente preferíveis ao invés de partículas planas ou alongadas para uso como agregados em concreto, pois apresentam menos área de superfície por unidade de volume e geralmente produzem melhor empacotamento das partículas. As partículas lamelares produzem uma mistura com

ISBN: 978-85-65425-32-2

baixa trabalhabilidade com determinado teor de água, o que leva à compactação pobre e um alto conteúdo de vazios, resultando em baixa resistência e durabilidade.

Alguns pesquisadores fazem referência do índice de partículas lamelares ou que podem ocasionar perda da qualidade do concreto. Neville (1997) disse que é indesejável a presença de mais de 10% a 15% de partículas irregulares no concreto. Metha e Monteiro (2008) afirma que as partículas indesejadas devem ser evitadas ou limitadas a no máximo 15% em massa. Para Isabel (2005), a resistência do concreto é afetada se mais de 50% das partículas tiverem uma relação de 5:1, o que as classifica segundo a tabela 2.1 como forma alongada-lamelar, e que pode provocar baixa compacidade e elevado índice de vazios, resultando em baixa resistência e menor durabilidade do concreto.

Fowler (2002) acredita que as partículas lamelares apresentam maior área de superfície e produzem uma mistura com baixa trabalhabilidade com determinado teor de água, o que leva à compactação pobre e um alto conteúdo de vazios, resultando em baixa resistência e durabilidade.

2. Metodologia

2.1 Método de classificação e separação das quatro formas do agregado graúdo britado

A fim de caracterizar adequadamente a forma de um agregado graúdo são necessárias as informações de três dimensões da partícula, maior dimensão (comprimento), da dimensão intermediária (largura), e menor dimensão (espessura). A forma equidimicional são índices que são expressos em termos de três dimensões.

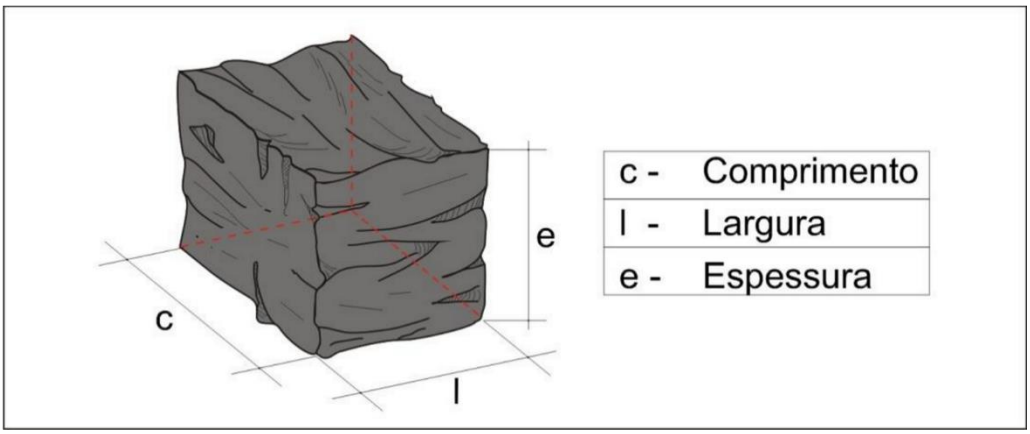


Figura 2.1 Forma equidimencional (forma cúbica).

A figura 2.1 apresenta a forma cúbica e suas respectivas dimensões comprimento, largura e espessura.

Os métodos utilizados para caracterização da forma do agregado graúdo britado, para o proposto trabalho, tiveram como referência a NBR 7809 (ABNT, 2005) – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro, que determina parâmetros de aceitação para o agregado graúdo como forma ideal e forma inadequada, BS 812: SECTION 105.1

ISBN: 978-85-65425-32-2

(BS,1989), que determina o índice de achatamento, BS 812: SECTION 105.2 (BS, 1990), que determina o índice de alongamento. Com base nas referidas normas, foram classificadas quatro formas para o agregado graúdo britado, tendo como referência a proporção de suas demissões, sendo considerado como forma ideal partículas com índice *c/e* < 1,8 mm e formas aceitáveis *c/e* >1,8 a < 3,0 mm e forma inadequada *c/e* > 3,0 mm.

Tabela 2.1 Determinação do índice de forma.

Forma	Razão	Índice
Cúbica	*c/e* < e *l/e* <	1,8
Alongada	*c/e* > e *l/e* <	1,8
Lamelar	*c/e* > e *l/e* >	2,4
Along.-Lamelar	*c/e* > e *l/e* >	3,0

A tabela 2.1 apresenta a interpretação da forma do agregado graúdo britado, com base nas normas e outras referências, e seguiu a seguinte ordem:

Para análise do agregado em análise, define-se seus eixos e se obtém a maior dimensão denominada *comprimento*, dimensão intermediaria denominada *largura* e menor dimensão, *espessura*. A classificação do agregado graúdo britado é dada conforme o grau de cubicidade da partícula, e, conforme as normas analisadas, as partículas de um agregado podem ser classificadas em cúbica, alongada, lamelar e alongada lamelar.

Figura 2.2 Forma cúbica.

Figura 2.2 forma cúbica: partícula que possui as três dimensões semelhantes e pouca variação entre suas dimensões. Quando observadas, assemelham a um cubo.

Figura 2.3 Forma alongada.

Figura 2.3 forma alongada: partícula em que uma dimensão e significativamente maior do que as outras duas dimensões.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2.4 Forma lamelar.

Figura 2.4 forma lamelar: partícula em que duas dimensões são aproximadas, e significativamente menor em relação a terceira.

Figura 2.5 Forma alongada-lamelar.

Figura 2.5 forma alongada-lamelar: partícula que tem três dimensões significativamente diferentes, por exemplo: o comprimento consideravelmente superior a largura e a largura superior a espessura.

Esta parte do programa experimental teve como propósito, classificar e separar as partículas em quatro categorias, tendo como parâmetros a tabela 2.1 que analisa a proporção entre suas dimensões, comprimento, largura e espessura, e com base na classificação de sua forma analisar sua granulometria, massa específica, massa unitária e índice de forma.

ISBN: 978-85-65425-32-2

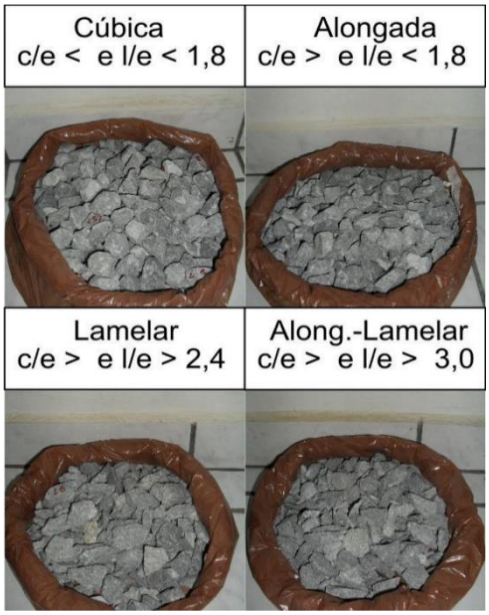


Figura 2.6 Análise 1.

A figura 2.6 apresenta o agregado graúdo classificado, separado e catalogado com base na sua forma.

2.2 Ensaios e procedimentos

Após a classificação e separação dos agregados em quatro categorias: forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar, pelo método proposto, as mesmas foram submetidas a ensaios para uma melhor compreensão de suas características como granulometria, massa específica, massa unitária, módulo de finura e índice de forma.

Pode-se avaliar que o processo de britagem exerce influência nas propriedades físicas do agregado graúdo britado, tais como: massa especifica, massa unitária, módulo de finura e índice de forma.

Tabela 2.2 Ensaios dos agregados.

Ensaios	Cúbica	Alongada	Lamelar	Along.Lamelar
Módulo de finura	7,58	7,44	7,33	7,10
DMC (mm)	25	25	25	25
Massa unitária (kg/dm³)	1,413	1,367	1,358	1,279
Massa específica (kg/dm³)	2,57	2,58	2,63	2,72
Índice de forma	1,52	2,10	2,71	6,07

Na Tabela 2.2 são apresentados os resultados para a forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada lamelar.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O agregado graúdo selecionado para o programa experimental foi o granulito proveniente da pedreira Anápolis, devido ao processo de britagem e origem da rocha.

Rocha de origem metamórfica de alto grau de metamorfismo, com textura granuloblástica e estrutura gnáissica, que se assemelha ao granito (rocha ígnea rica em quartzo, feldspato e mica), devido à sua mineralogia e textura.

O processo de britagem se dá por britador primário (britador de mandíbulas), após a britagem primária é transportado por esteiras para o britador secundário (britador de cone). A rocha fica no processo de britagem secundárioa até adquirir granulometria desejada, e em seguida, é transportada por esteiras para o britador terciário (britador de cone) e quando adquirida a granulometria requerida, é transportada por caminhões para o consumidor final.

Tabela 2.3 Porcentagem das formas.

Análise 1-10 kg (Agregado graúdo entre 19 mm a 25mm)				
Forma	N de Partículas	Índice	Peso (kg)	%
Cúbica	C331	1,52	3,35	33,50%
Alongada	A363	2,10	3,11	31,10%
Lamelar	L204	2,71	1,61	16,10%
Alongada-Lamelar	AL365	6,07	1, 93	19,30%
TOTAL	1.263 (Partículas)	3,20	10,00	100,00%

Na Tabela 2.3 são apresentadas as porcentagens que compreendem cada forma do agregado em uma amostragem.

Após a separação nas formas cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar, foi constatado que nas amostragens a forma alongada-lamelar, forma indesejável para produção de concreto, está presente em cerca de 20% do agregado graúdo britado selecionado para o experimento.

Na figura 2.1 são apresentados os resultados dos ensaios em forma de gráficos para a forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar. Segundo os resultados, o índice de forma e massa específica aumenta com a irregularidade do agregado graúdo, e, a massa unitária, módulo de finura diminui com o aumento da irregularidade do agregado graúdo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

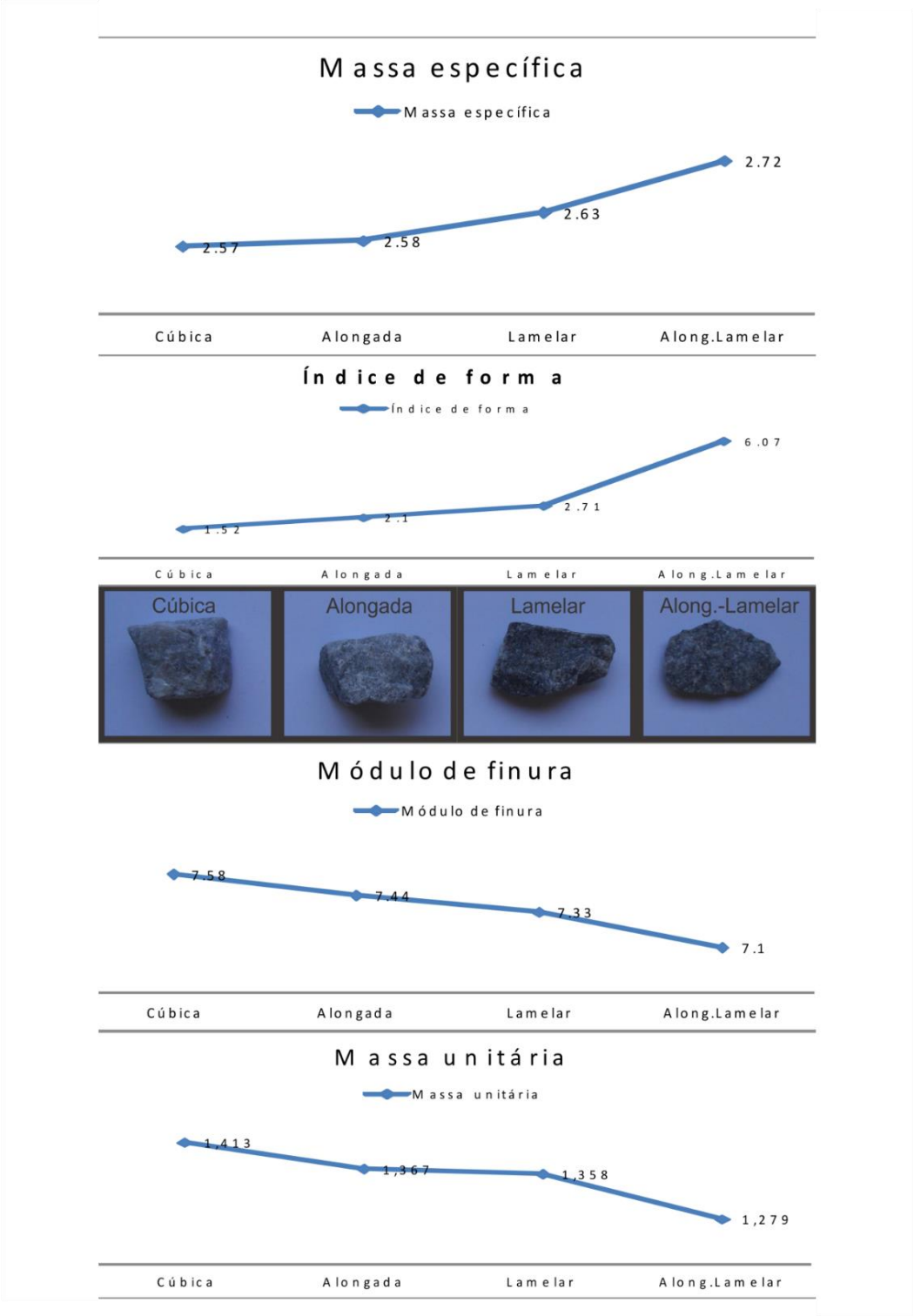


Figura 2.1 Gráfico comparativo da forma do agregado.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3 Programa experimental

3.1 Dosagem

Todo o programa experimental dosagem, moldagem dos corpos-de-prova e ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção EEC/UFG. Foram moldados, para a realização dos ensaios experimentais, corpos-de-prova cilíndricos (10x20) para o ensaio de resistência à compressão e tração diametral, conforme a NBR 5739 (ABNT, 1980).

Na figura 3.1 é apresentado o fluxograma do programa experimental.

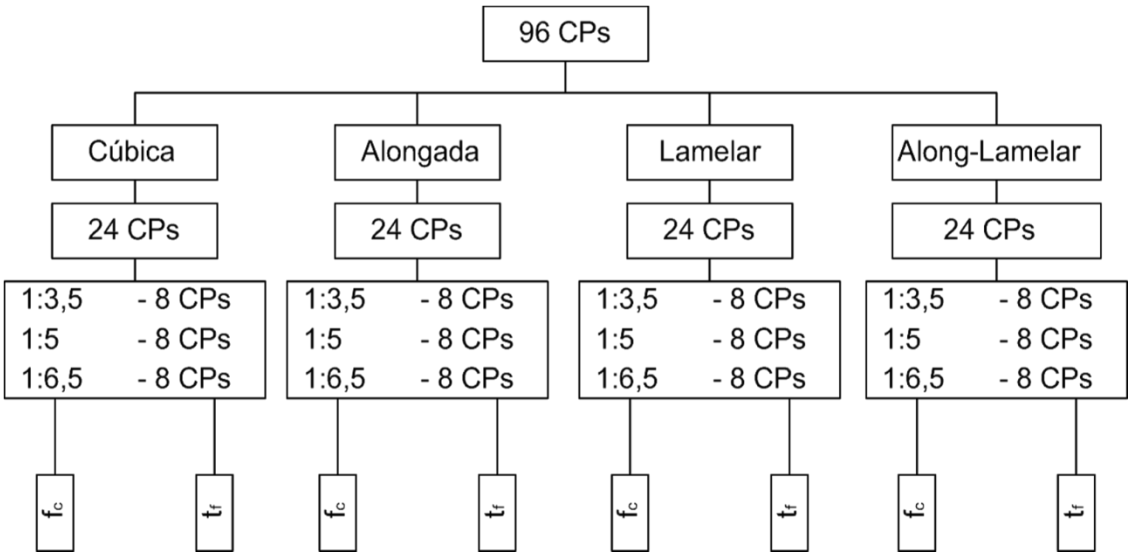


Figura 3.1 Fluxograma do programa experimental.

Foram definidos 12 traços divididos entre a forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar. Seguem as informações da dosagem utilizada para os traços com agregados de forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada lamelar. Para a produção dos traços, se fixou o Abatimento do Tronco de Cone de Abrams em 9 ±1cm, sem o uso de aditivo.

Foi definido em laboratório o teor de argamassa da forma cúbica (alfa em 0,52). Conforme o índice de forma do agregado aumenta, e consequentemente, a irregularidade do agregado graúdo, variou-se o teor de alfa em +0,01 para cada forma, para o traço de forma alongada estabelecemos o teor de argamassa (alfa em 0,53), forma lamelar (alfa em 0,54) e forma alongada-lamelar (alfa em 0,55). Este procedimento foi necessário para se manter o mesmo acabamento nos concretos com diferentes agregados.

A tabela 3.1 apresenta a legenda utilizada nos traços para cada forma.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Forma/Agregado	1:3,5	1:5	1:6,5
Cúbica	C-I	C-II	C-III
Alongada	A-I	A-II	A-III
Lamelar	L-I	L-II	L-III
Alongada-lamelar	AL-I	AL-II	AL-III

3.2 Produção dos concretos

As confecções dos concretos seguiram a seguinte sequência na colocação dos materiais na betoneira: brita II + areia + 30% de água → 30s betoneira ligada + cimento e adicionar água aos poucos até a consistência desejada. A trabalhabilidade foi avaliada pelo Abatimento do Tronco de Cone de Abrams que foi fixado em 9 ±1 cm.

Figura 3.2 Mistura dos materiais.

Figura 3.3 Abatimento do tronco de cone de brams.

A figura 3.2 apresenta a mistura dos materiais na betoneira. A figura 3.3 apresenta o ensaio de abatimento do tronco de cone de Abrams, para a trabalhabilidade desejada. Após a avaliação da trabalhabilidade pelo abatimento do tronco de cone de Abrams, que se manteve dentro do esperado, partimos para a moldagem dos CPs de 10x20 cm e posterior cura em câmara úmida.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 3.4 Moldagem CPs.

Figura 3.5 Cura Câmara úmida.

A figura 3.4 apresenta a moldagem dos CPs 10x20 cm. A figura 3.5 apresenta cura dos CPs na câmara úmida. Após a moldagem dos CPs, foram encaminhados para cura na para câmara úmida e posterior ensaios. Foram realizados ensaios de compressão simples e tração diametral dos traços produzidos com agregados de forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar.

Figura 3.6 Ensaio Compressão.

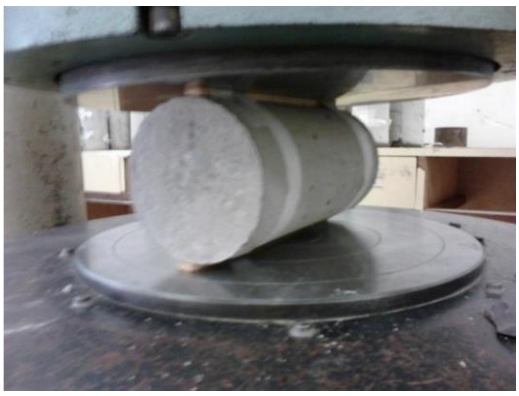


Figura 3.7 Ensaio Tração Diametral.

A figura 3.6 apresenta ensaio à compressão dos CPs. A figura 3.7 apresenta ensaio à tração dos CPs. Foram realizados os mesmos procedimentos para produção dos concretos com forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar.

4 Resultados e discussão

4.1 Concreto fresco

Todos os ensaios de *slump teste* obtiveram o resultado esperado, porém, conforme o índice de forma dos agregados aumentava, aumentava a necessidade de água para a mesma trabalhabilidade.

Concluímos que, para agregados com alto índice de forma, é necessário um alto consumo de cimento para uma boa trabalhabilidade, sabendo que as partículas lamelares e

ISBN: 978-85-65425-32-2

alongada-lamelares apresentam maior área superficial e se colocam como barreiras, impedindo a movimentação da pasta de cimento.

As tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 apresentam a/c das dosagens.

Tabela 4.1 Ensaios slump C-I, A-I, L-I e AL-I

TRAÇO I	alfa	a/c	slump
C-I	0,52	0,426	10 cm
A-I	0,53	0,445	10 cm
L-I	0.54	0,458	10 cm
AL-I	0,55	0,468	10 cm

Tabela 42. Ensaios slump C-II, A-II, L-II e AL-II

TRAÇO II	alfa	a/c	slump
C-II	0,52	0,544	10 cm
A-II	0,53	0,556	10 cm
L-II	0.54	0,580	10 cm
AL-II	0,55	0,598	10 cm

Tabela 43. Ensaios slump C-III, A-III, L-III e AL-III

TRAÇO III	alfa	a/c	slump
C-III	0,52	0,657	9 cm
A-III	0,53	0,714	9 cm
L-III	0.54	0,735	9 cm
AL-III	0,55	0,785	9 cm

As misturas dos concretos apresentaram ótima trabalhabilidade e consistência, isto é, fluidez suficiente para mobilidade desejada. Com isto, o abatimento do tronco de Cone - *slump test* permaneceu dentro do esperado entre 9 ±1 cm, para todos os traços. A figura 4.1 apresenta o resultado dos abatimentos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

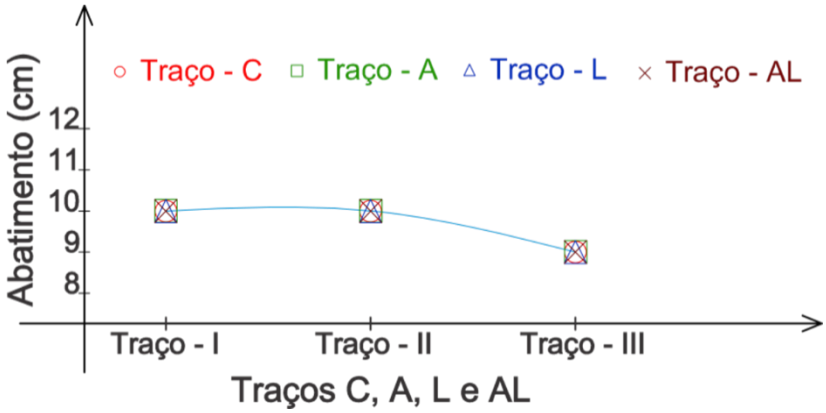


Figura 4.1. Ensaio Slump test

4.2 Resistência à compressão

Os concretos produzidos com formas cúbicas e alongadas apresentaram os melhores resultados a compressão simples. A forma equidimencional (forma com menor índice de irregularidades) proporciona um melhor empacotamento das partículas diminuindo o índice de vazios no concreto, e aumentando a sua resistência.

A forma equidimencional tem como características alta quantidade de arestas que apresentam maior aderência entre pasta de cimento/agregado e consequentemente maior compacidade. A influência da forma e da textura é mais significativa em concretos com maiores resistências (Neville, 1997).

Na figura 4.2 apresenta o diagrama comparativo para resistência à compressão aos 28 dias, dos agregados de forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma alongada-lamelar

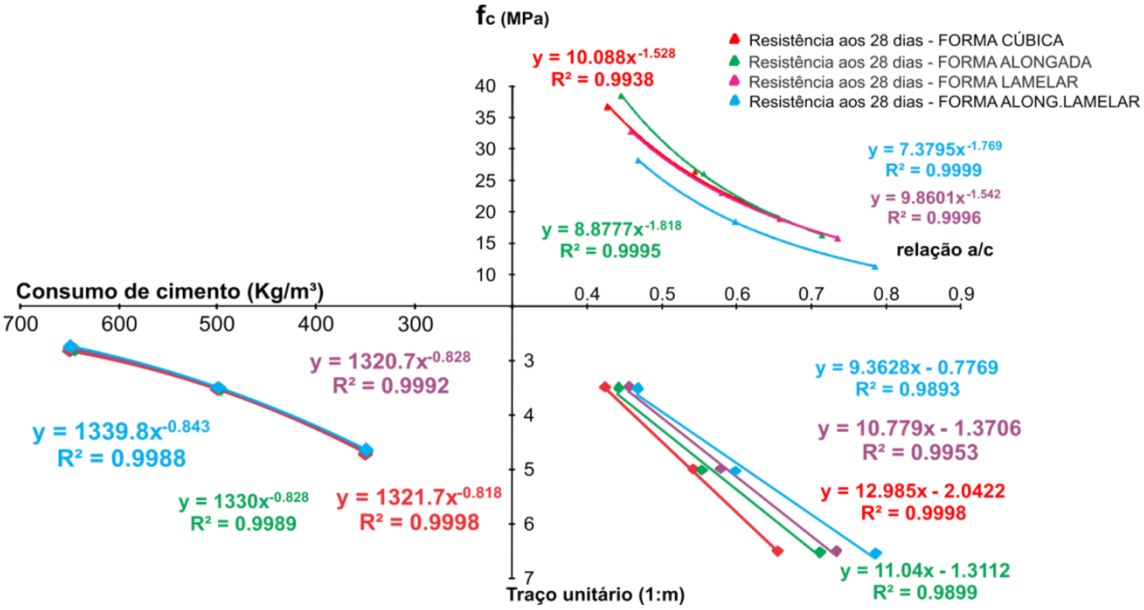


Figura 4.2 Diagrama comparativo das dosagens para compressão.

ISBN: 978-85-65425-32-2

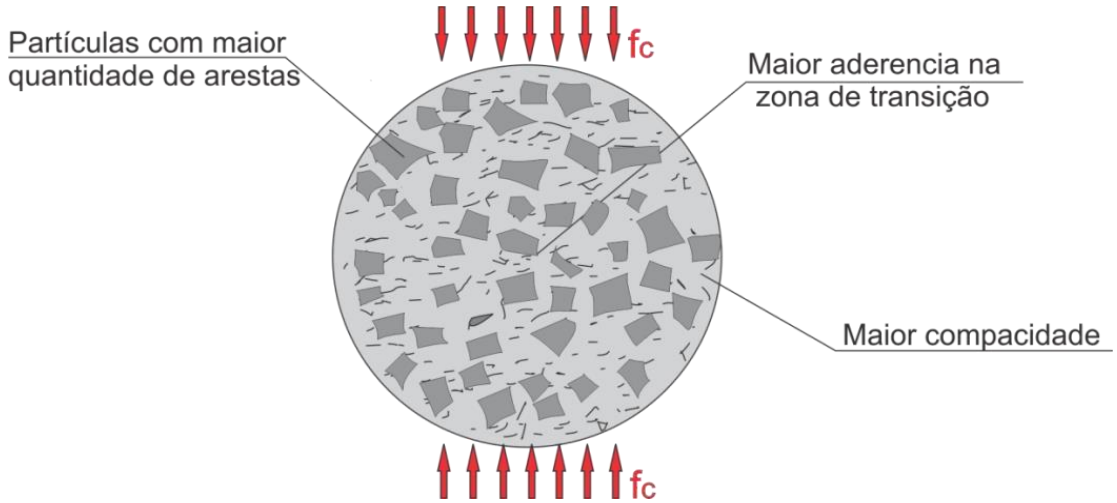


Figura 4.3 Detalhe esquemático forma cúbica.

A figura 4.3 apresenta detalhe esquemático do arranjo entre agregado e pasta de cimento ocasionado pelas partículas cúbicas.

A água de exsudação interna tende a se acumular em torno das partículas irregulares (Metha e Monteiro, 2008). Nessas regiões, a zona de transição na interface pasta-agregado tende a ser fraca e com grande tendência à microfissuração. Estas interpretações podem ser observadas nos resultados do concreto produzido com formas lamelares e alongada-lamelar, no qual o alto índice de irregularidade e o alto consumo de cimento é presente.

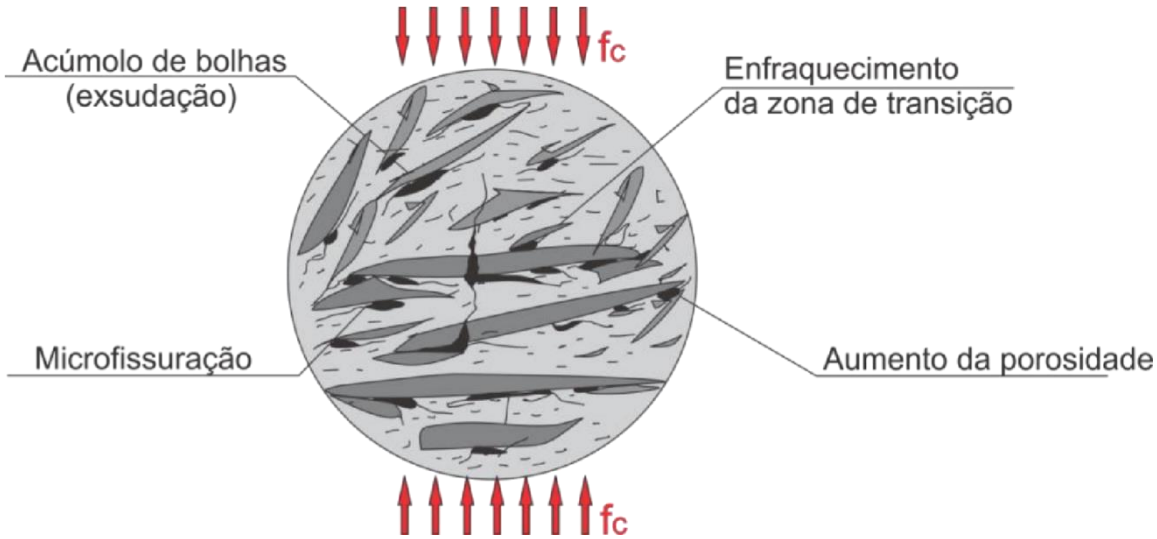


Figura 4.4 Detalhe esquemático da forma alongada-lamelar.

A figura 4.4 apresenta detalhe esquemático do arranjo entre agregado e pasta de cimento ocasionado pelas partículas irregulares.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Partículas irregulares funcionando como pequenas vigas apoiadas sobre outras partículas podem causar um enfraquecimento no concreto endurecido (Marques e Fowler, 2007). Estes fatores causam perda da qualidade nos concretos com altas porcentagens de formas irregulares.

4.3 Tração por compressão diametral

Partículas angulosas têm maior área superficial (Fabro, 2011). A forma angular e uma superfície rugosa, como a maioria das partículas britadas, proporcionam concretos com maiores resistências do que partículas arredondadas e lisas.

A justificativa para isto é a maior aderência mecânica desenvolvida entre a pasta matriz e as partículas angulares e rugosas.

A figura 4.6 apresenta o diagrama comparativo para resistência à tração aos 28 dias dos agregados de forma cúbica, forma alongada, forma lamelar e forma longada-lamelar.

A figura 4.7 apresenta detalhe esquemático do arranjo entre agregado e pasta de cimento ocasionado pelas partículas irregulares para os ensaios à tração por compressão diametral.

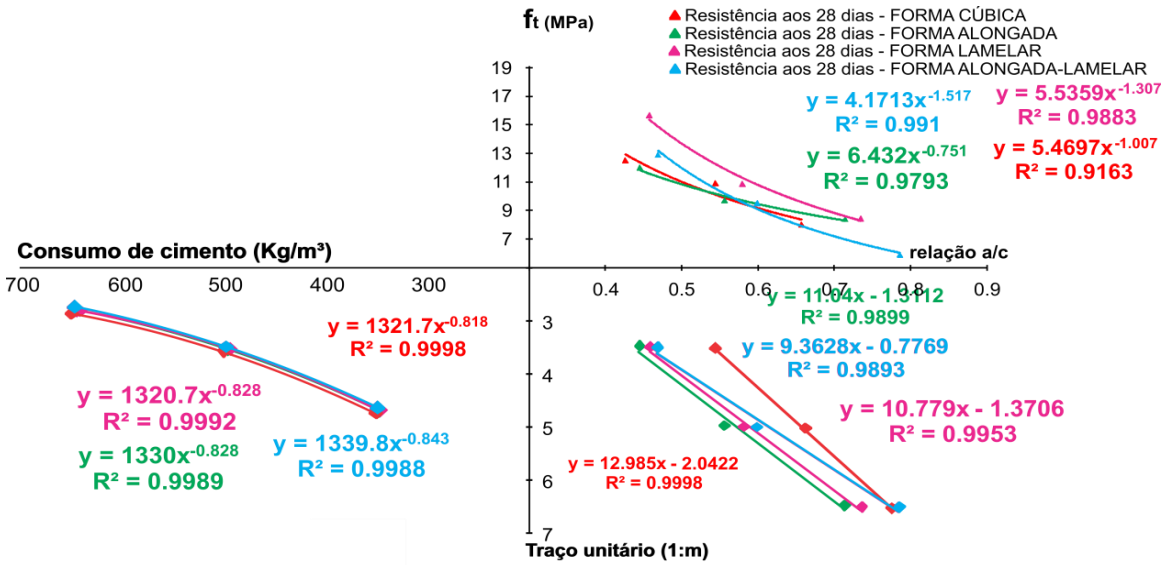


Figura 4.6 Diagrama comparativo das dosagens para tração

ISBN: 978-85-65425-32-2

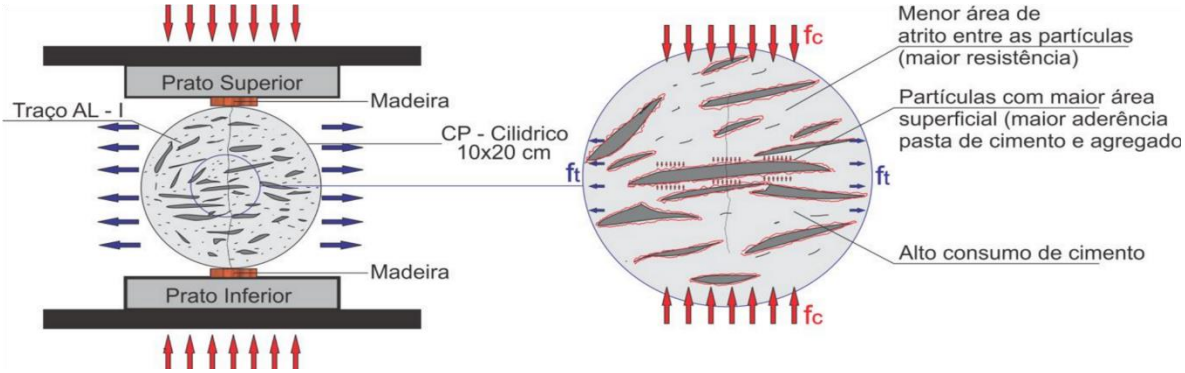


Figura 4.7 Detalhe da compressão diametral

5 Conclusão

5.1 Concreto fresco

Após a análise dos resultados dos ensaios de Abatimento de tronco de cone de Abrams, com uma mesma consistência, para todas as dosagens, pode-se observar que quanto maior o índice de irregularidade do agregado espessura / comprimento maior será a necessidade de água para a mesma trabalhabilididade.

As formas irregulares funcionam como barreiras dificultando a mobilidade da pasta de cimento, devido ao seu alto índice de área superficial característica da forma alongada-lamelar. Esta é uma forma indesejada para o concreto, com índice >3,0 c/e que em porcentagem superior a 50% de uma amostragem, podem provocar queda da qualidade do concreto, como no caso do concreto de forma alongada-lamelar com 100% dos agregados graúdos e índice de 6,07 c/e.

O aumento da quantidade de água para manter a trabalhabilidade do concreto fresco ocasiona altos índices de vazios no concreto endurecido e assim provoca a fragilidade na zona de transição entre a pasta de cimento e agregado, com isto diminuindo a durabilidade das estruturas e vida útil das edificações.

5.2 Resistência à compressão

Quanto à Resistência à compressão, os concretos com formas alongada e cúbica obtiveram as maiores resistências com um menor consumo de cimento. A forma cúbica e forma alongada apresentaram os menores índices de forma, ficando o mais próximo da forma equidimencional, apresentando maior quantidade de arestas e vértices que ocasionam melhor aderência, devido ao intertravamento mecânico entre pasta e agregado.

As formas cúbicas e alongadas apresentaram maiores resistências e consequentemente menores índices de vazios.

5.3 Resistência à tração

Quanto à resistência à tração por compressão diametral, os concretos com agregados lamelares e alongada-lamelar apresentaram melhores desempenhos para uma dada resistência. Estre processo ocorreu pelo fato das partículas irregulares serem planas e

ISBN: 978-85-65425-32-2

chatas, e apresentarem maior área superficial e consequentemente maior área de aderência entre pasta e agregado.

As formas irregulares apresentam maiores áreas de aderência para pasta de cimento e agregado, favorecendo grandes áreas de ancoragem para a zona de transição, o que ocasiona o elo fraco do concreto, com isto aumentando sua resistência a tração.

6 Referências bibliográficas

ISABEL, M, G, F. Caracterização petrográfica, química e física de agregados graníticos em concreto: estudo de caso de obra. Departamento de Geologia, Porto, 2005. Tese de Doutorado (Doutorado em Geologia) Faculdade de Ciência da Universidade de Porto, 2005

FOWELER. D. W. ERDOĞAN. S. T. Determination of aggregate shape properties using x-ray tomographic methods and the effect of shape on concrete rheology. International Center for Aggregates Research, The University of Texas at Austin, AUGUST 2005.

RAO, C., Tutumluer, E., Stefanski, J.A. Coarse Aggregate Shape and Size Properties Using a New Image Analyzer, Journal of Testing and Evaluation 29, Sep 2001, pp. 97-97.

Silva, D. A., Estudo da influência do índice de forma do graúdo nas propriedades mecânicas do concreto. Dissertação de (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2012

Silva, D. A, Geyer. Bortolacci, Analise e classificação da forma do agregado grúde britado para concreto. Outubro, 2013. Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, ISSN 2175-8182.

Silva, D. A, Geyer. Bortolacci, Infuência da forma do agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto. Outubro, 2013. Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, ISSN 2175-8182.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809: AGREGADO GRAÚDO - Determinação do Índice de Forma Pelo Método do Paquímetro. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.211: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

AMERICAN CONCRET INSTITUTE. ACI 213R-87, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. USA. 1987

ASTM D 4791 Standard Test Method for Flat and Elongate Particles in Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials, 2005.

ASTM D 5821 Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate, American Society for Testing and Materials, 2001.

ISBN: 978-85-65425-32-2

BS 812. Testing aggregates, Part 105. (Methods for Determination of Particle Size and Shaper), British Standard, 1989. Section 105.1 - Flakiness índex.

BS 812. Testing aggregates, Part 105. (Methods for Determination of Particle Size and Shaper), British Standard, 1990. Section 105.2 - Elongation índex of coarse aggregate.

BS 812. Testing aggregates, Part 1. (Methods for sampling), British Standard, 1975.

FABRO F.; GAVA G. P. GRIGOLI H. B.; MENEGHETTI L. C. Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. Revista Ibracon Estruturas e Materiais, v. 4, (Junho, 2011) p. 191-212.

NUNES, M. F., MARQUES, E. P. Agregados para a construção civil. In: Materiais de construção civil e princípios da ciência e eng. de materiais. 2007, v. 1, pg. 481 – 524.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3ª ed. São Paulo: Pini, 2008.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2ª ed. São Paulo: Pini. 1997.

PARAGUASSU, A. B; FRAZÃO, E. B. Materiais Rochosos para Construção. In: Antônio Manoel dos Santos Oliveira; Sérgio Nertan Alves de Brito (Org.) Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Eng. Ambiental, v. único, 1998. p. 331342.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

ESTUDO COMPORTAMENTAL DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTOS QUANTO A SUSCETIBILIDADE A FISSURAÇÃO

Behavioral Study Of Stabilized Rendering Mortars As The Susceptibility Of Fissuration

Valéria OLIVEIRA [1], **Elton** BAUER [2], **Mayara** SANTOS[3]

[1] Instituto Federal de Rondônia, Rondônia, Brasil, valeria.oliveira@ifro.edu.br 1

[2] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, elbauerlem@gmail.com 2

[3] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, mayjordana@gmail.com 3

Resumo: As argamassas estabilizadas são produzidas e dosadas em centrais de concreto, entregues úmidas e prontas para o uso. Podem ser empregadas por um período de tempo superior que as argamassas convencionais ou industrializadas dependendo dos parâmetros de mistura empregados em sua produção. O objetivo principal desta pesquisa foi o estudo comportamental das argamassas estabilizadas de revestimentos quanto a suscetibilidade a fissuração. O programa experimental realizou os ensaios de resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade e retração por secagem. Os resultados possibilitaram verificar a influência dos materiais constituintes no comportamento e propriedades das argamassas estabilizadas. Quanto aos critérios de suscetibilidade à fissuração, as argamassas estabilizadas estudadas classificaram-se em média suscetibilidade quando avaliadas pelo módulo de elasticidade e baixa suscetibilidade quando avalidas conforme a retração por secagem. Contudo, quando se correlacionou o módulo de elasticidade com a resistência à tração na flexão – E/Rt, as possibilidades de fissuração se elevaram para os incrementos do aditivo estabilizador de hidratação (AEH), uma vez que as argamassas das séries 95/20 apresentaram os piores resultados. As demais argamassas se enquadraram na média suscetibilidade à fissuração.

Palavras-chave: Argamassas estabilizadas, Comportamentos, Suscetibilidade à fissuração.

Abstract: Stabilized mortars are produced and dosed in concrete plants, delivered wet and ready for use. They can be used for a longer period of time than conventional or industrialized mortars depending on the mixing parameters employed in their production. The main objective of this research was the behavioral study of stabilized mortars of renderings for susceptibility to cracking. The experimental program carried out the tests of tensile strength in flexion, modulus of elasticity and dimensional variation. The results allowed to verify the influence of the constituent materials on the behavior and properties of the stabilized mortars. Regarding the criteria of susceptibility to cracking, the stabilized mortars studied were classified as medium susceptibility when evaluated by modulus of elasticity and low susceptibility when evaluated according to dimensional variation. However, when the modulus of elasticity was correlated with the tensile strength in the E / Rt flexion, the possibilities of cracking increased to the Hydration stabilizer additive (AEH) increments, since the mortars of the 95/20 series

ISBN: 978-85-65425-32-2

presented the worst results. The other mortars were within the average susceptibility to cracking.

Key words: Stabilized mortars, Behavior, Susceptibility to cracking.

1. Introdução

As argamassas estabilizadas são produzidas e dosadas em centrais de concreto, entregues úmidas nos canteiros de obra, prontas para o uso, e que podem ser empregadas por um período de tempo superior ao das argamassas convencionais ou industrializadas. Para Bauer et. al (2015), as argamassas estabilizadas para revestimento cada vez mais se apresentam como opção de emprego nos canteiros de obra. Essas argamassas são produzidas são fornecidas em canteiros de obras diariamente, sendo estocadas em containers. Assim, estas argamassas representam para o setor da construção civil um aumento de produtividade, contudo novas tecnologias quando não empregadas de forma adequada ou o não conhecimento dos efeitos e mecanismos destes produtos podem gerar manifestações patológicas, tais como a fissuração.

Neste contexto a ABNT NBR 13281:2005 especifica os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos e se aplica igualmente à argamassa industrializada, dosada em central e preparada em obra, porém não normatiza por requisitos de aplicação quanto aos tipos de substratos, revestimentos internos ou externos das construções, zonas bioclimáticas ou orientações de fachadas, de maneira que não orienta especificidades para os projetos de edificações.

Já a ABNT NBR 13749:2013 define que os materiais e as respectivas proporções de dosagem das argamassas devem ser compatíveis com o acabamento e as condições de exposição previstas e ter resistência mecânica compatível com o acabamento decorativo selecionado, porém menciona traços de argamassas mistas.

Visto a importância do estudo das argamassas, verifica-se que há uma clara indefinição do que se esperar de uma argamassa, quais as condições de exposição a considerar para que os desempenhos dos sistemas de revestimentos tenham os desempenhos especificados. Neste sentido, Bauer (2013) define que as propriedades ou características que a argamassa deve atender para que o sistema de revestimento tenha o desempenho especificado sejam representados por parâmetros exigenciais.

No caso do estado fresco os parâmetros exigenciais são a consistência, a trabalhabilidade e a plasticidade, bem como a retenção de água. No estado endurecido, os parâmetros exigenciais podem ser expressos por exigências de retração por secagem, módulo de elasticidade, e pela relação do módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão.

Ressalta-se que o surgimento de fissuras num revestimento de argamassa resulta da combinação inadequada da elasticidade e da resistência à tração e pode ser causado por fenômenos diversos como a retração de secagem, retração térmica ou ainda ações externas ao revestimento (SILVA et. al, 2015). A fissuração nos revestimentos é um fenômeno complexo, pois pode ter origem nos procedimentos de projeto e/ou de

ISBN: 978-85-65425-32-2

execução, na seleção dos materiais constituintes e até mesmo no proporcionamento dos materiais (SILVA, 2006).

No que se refere às argamassas estabilizadas, objeto de estudo deste trabalho, os parâmetros exigenciais quanto a suscetibilidade a fissuração são mais complexos em virtude do tempo de estabilização. Algumas questões são relevantes quanto a manutenção das propriedades no estado fresco ao longo do tempo de estabilização (2 a 3 dias), além do questionamento quanto a garantia das adequadas propriedades, no estado endurecido, quando se modifica o tempo para a hidratação do cimento.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi o estudo comportamental das argamassas estabilizadas de revestimentos quanto a suscetibilidade a fissuração, e como esses comportamentos se relacionam aos materiais e formulações destas argamassas.

1.1.1 Objetivos específicos

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- Investigar a suscetibilidade à fissuração das argamassas estabilizadas, conforme a variação de suas formulações, para um conjunto de materiais (cimento, areia, aditivo estabilizador de hidratação e aditivo incorporador de ar);
- Examinar a interferência destes materiais nos principais comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas quanto a suscetibilidade à fissuração.

2. Argamassas estabilizadas

As argamassas estabilizadas são dosadas e produzidas por centrais de concreto. São entregues úmidas nos canteiros de obra, prontas para o uso. Podem ser empregadas por um período de tempo superior que as argamassas convencionais ou industrializadas (BAUER et. al, 2015).

O tempo superior de utilização (tempo de estabilização) é obtido a partir da inclusão do AEH (aditivo estabilizador de hidratação), que dependendo do teor deste aditivo, dos materiais combinados (cimento, areia e aditivo incorporador de ar), da formulação, permite a aplicação da argamassa estabilizada por até 72 horas e, consequentemente promovem ganhos de produtividade (MACIOSKI, COSTA e CASALI, 2015).

As principais dificuldades na produção destas argamassas estão associadas à ausência de referências específicas (formulação, controle e recebimento na obra), risco de futuras manifestações patológicas, e adequação da dosagem quando há modificação dos insumos (tipo de cimento, areia e aditivos) (BAUER et. al, 2015).

Quanto aos parâmetros exigenciais cabe destacar a necessidade da manutenção, ao longo do tempo de estabilização, da consistência, trabalhabilidade, plasticidade e retenção de água e o que estas exigências podem afetar as propriedades no estado endurecido.

2.1 Matérias-primas das argamassas estabilizadas

ISBN: 978-85-65425-32-2

As argamassas estabilizadas são constituídas de cimento, areias de granulometria fina, aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (IAR).

2.1.1 – Cimento

Os tipos de cimentos utilizados, geralmente os mais utilizados pelas concreteiras, no caso de Brasília-DF, o CP V e o CP II -F 40. No caso do Sul do Brasil, ainda são utilizados o CPII F – 32 ou CPII Z-32 (TREVISOL, 2015; JANTSCH, 2015).

No caso específico dos CP V, estes são utilizados pelas concreteiras em virtude da obtenção de maiores resistências à compressão, para o concreto, nas primeiras idades. Todavia, Carvalho Jr. (2005) comenta que o cimento CP V não tem seu uso recomendado para a execução das argamassas, pois sua maior finura pode conduzir mais facilmente a fissuração (comparando-se com a utilização de outros cimentos, considerando-se o mesmo consumo).

Silva (2006) comenta que o uso de cimento em dosagens elevadas provoca elevadas resistências mecânicas podendo ser danoso já que o módulo de elasticidade aumenta, não sendo compatível com as deformações da base e pode provocar fissurações.

Quanto ao tempo de estabilização das argamassas, este é obtido conforme o teor percentual do aditivo estabilizador de hidratação sobre a massa do cimento empregado na dosagem das argamassas estabilizadas. Desta forma cabe destacar como se dá a evolução da hidratação do cimento, figura 1 (NELSON, 1990 *apud* OGBONNA, 2009). Cinco principais reações ocorrem: período pré-indução, período de indução, aceleração, desaceleração e estado estável.

Da figura 1 entende-se que após o contato do cimento com a água, observa-se uma alta liberação de calor (estágio 1- pré-indução), seguida de uma baixa e constante quantidade de calor liberada, correspondente ao período de dormência (estágio 2 - indução), na sequência, ocorre a retomada da aceleração da hidratação, observada uma forte evolução de calor (estágio 3 – aceleração). Nos períodos posteriores, observa-se a desaceleração das reações de hidratação do cimento e, portanto o decréscimo da quantidade de calor liberada (estágios 4 e 5 – desaceleração e estado estável).

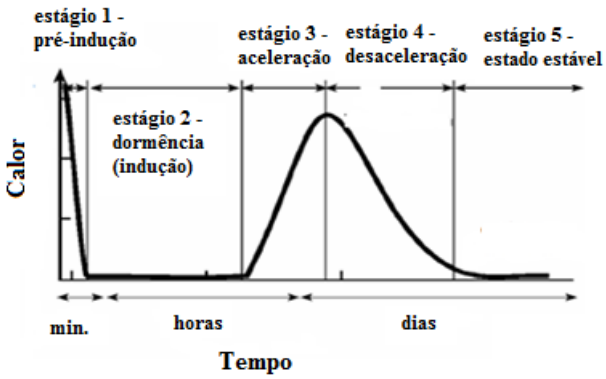


Figura 1 - Evolução da hidratação do cimento. Fonte: adaptada de Nelson E. B (1990, *apud* Ogbonna, 2009).

ISBN: 978-85-65425-32-2

O AEH age no período de indução, promovendo assim maiores tempos de aplicação para as argamassas estabilizadas. Conforme Cheung *et al* (2010), o retardo é composto por dois efeitos, o aumento do período de indução e a variação da umidade, ou da taxa de hidratação do cimento depois de incorporado a argamassa ou o concreto.

2.1.2 – Agregado miúdo

De forma, a substituir a cal, as concreteiras utilizam areias de granulometrias mais finas (módulo de finura de 1,55) e contínuas. Conforme Paes *et al* (1999), os finos têm, em função de sua alta área específica, papel de plastificantes nas argamassas.

Neste sentido, Baía e Sabbatini (1998) citam que a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que tem granulometria contínua e classificada com módulo de finura entre 1,8 e 2,8.

Silva (2006) comenta que granulometria das areias influencia na aderência, que as areias grossas prejudicam aspectos reológicos das argamassas como a trabalhabilidade na execução, reduz a extensão de aderência e prejudicam o envolvimento do grão pela pasta de cimento e que as areias finas aumentam o consumo de água e podem provocar fissuração na argamassa.

2.1.3 – Aditivo retardador das argamassas estabilizadas (AEH)

Ao contrário dos retardadores convencionais, o AEH empregado na produção das argamassas estabilizadas pode ser utilizado em altas doses, sem efeitos adversos, tais como o desenvolvimento de resistências fracas resultantes quando da utilização de retardadores normais (RIXOM e MAILVAGANAM, 1999).

A figura 2, mostra diferentes teores de retardadores AEH sobre a taxa de hidratação do cimento ao longo do tempo, de forma que com 0% do aditivo; a hidratação é retomada com 2 horas, para o teor de 0,18% m.c. aproximadamente com 30 horas, para 0,33% m.c aproximadamente 42 horas e para 0,65% m.c mais de 72 horas.

Conforme Ramos, Gaio e Calçada (2013), o aumento o teor de aditivo indica alteração na cinética do aumento de temperatura com o tempo, de forma que quanto maior o teor de aditivo, menor a temperatura atingida durante a hidratação e mais lento é o ganho e a dissipação do calor gerado. No entanto, quando se trata do estado endurecido, estudos ainda se fazem necessários de como se dar o comportamento destas argamassas, conforme os tempos de estabilização propostos, como o tempo superior do retardo de pega do cimento, repercute nos resultados das resistências mecânicas, aderência e suscetibilidade à fissuração.

ISBN: 978-85-65425-32-2

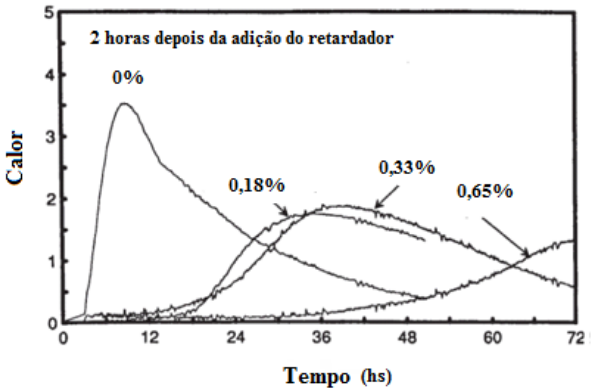


Figura 2 - O efeito de concentrações variadas de retardador AEH sobre a taxa de hidratação do cimento. Fonte: adaptado de Rixom e Mailvaganam, 1999.

2.1.4 – Aditivo incorporador de ar (IAR)

O aditivo incorporador de ar é um agente tensoativo que diminui a tensão superficial da água para facilitar a formação de bolhas e garantir que elas sejam estáveis. Os agentes tensoativos se concentram nas interfaces ar/água e tem propriedades hidrofóbicas (repelentes à água) e hidrófilas (atraem água) que são responsáveis pela dispersão e estabilização das bolhas de ar. (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Estes aditivos diminuem a tensão superficial fortemente, aumentando a molhagem das superfícies. Conforme Resende (2010), os aditivos incorporadores de ar também têm sido utilizados na composição de argamassas preparadas em obras, por agir como plastificante, melhorando a trabalhabilidade; diminuir a relação a/c, aumentar a resistência à compressão e à tração; diminuir a exsudação e reduzir a fissuração.

Os IAR são empregados nas argamassas estabilizadas no intuito de melhorar a plasticidade, uma vez que a incorporação de ar aumenta a estrutura interna (coesão) e também, porque o teor de finos, proveniente dos cimentos, é inferior em comparação as argamassas mistas. A presença de incorporador de ar nas pastas é responsável pela melhor estruturação do sistema cimentício, tornando-a mais viscosa ([RIXON e MAILVAGANAN, 1999).

3. Suscetibilidade à fissuração de argamassas

O surgimento de fissuras num revestimento de argamassa resulta da combinação inadequada da elasticidade e da resistência à tração e pode ser causado por fenômenos diversos como a retração ou ainda ações externas ao revestimento (SILVA *et. al*, 2015). No meio técnico a retração dos compósitos de cimento é definida como o fenômeno que está associado ao processo de redução de volume aparente que sofrem as pastas de cimento, as argamassas e os concretos, antes, durante e depois da pega, quando expostos a condições de secagem ambiental, sem que haja qualquer tipo de carregamento.

Os revestimentos para paredes, como todas as argamassas, sofrem variação dimensional por retração desde o momento que são aplicados até a sua estabilização. Estas variações

ISBN: 978-85-65425-32-2

são provocadas por um conjunto de fatores físico-químicos ao nível da fase evolutiva (matriz de cimento) da argamassa que são restringidas pela fase estável (os agregados) e, em geral, também pelo suporte ao qual o revestimento está aderente, que geralmente é muito mais rígido (VEIGA, 1998).

Conforme Veiga (1998), a relação entre a retração e o campo de tensões resultantes não depende apenas da lei que rege a evolução do módulo de elasticidade na camada, pois as causas da fissuração e os fatores que influenciam o fenômeno são tão numerosos e complexos que é difícil avaliar com base num critério único e tendo apenas em conta as características do revestimento, a sua maior ou menor tendência para fissurar sob as ações a que está sujeito durante a sua vida útil.

Muitas pesquisas desenvolvidas nos últimos anos correlacionam as propriedades de módulo de elasticidade com a resistência à tração na flexão e com a retração, utilizando o método desenvolvido pelo CSTB (1993). Dentre os autores destes estudos pode-se citar Rodrigues Filho (2013), Silva (2011), Carvalho Jr. (2005), Bastos (2001) e Veiga (1998).

O CSTB (1993) desenvolveu um método que se fundamenta no princípio de que a tendência à fissuração aumenta com o aumento da retração de secagem, com o aumento do módulo de elasticidade e no quanto maior for a resistência de tração na flexão desenvolvida na argamassa devido à retração restringida. Quanto maior for a retração e o módulo de elasticidade, maior é a tensão de tração induzida. Por outro lado, quanto maior for a resistência à tração, maior é a capacidade de resistir, sem fissurar, às tensões geradas.

Admitindo que, para não haver fissuração, tem que ser $\varepsilon r \leq E/Rt$ durante o tempo o qual se prolonga a retração e que, quanto maior for o afastamento entre as duas curvas $\varepsilon r(t)$ e $E/Rt(t)$ maior é o coeficiente de segurança em relação à fissuração por retração. No Quadro 1 estão dispostos os critérios de avaliação de suscetibilidade à fissuração de argamassas de reboco.

Quadro 1 - Critérios de avaliação de suscetibilidade à fissuração de revestimento de argamassa. Fonte: Adaptada do CSTB (1993).

CARACTERÍSTICA (28 DIAS)	**CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FISSURAÇÃO**		
	BAIXA SUSCETIBILIDADE	**MÉDIA SUSCETIBILIDADE**	**ALTA SUSCETIBILIDADE**
Retração por secagem - mm/m	$Dl/l \leq 0,7$	$0,7 < Dl/l < 1,2$	$Dl/l \geq 1,2$
Módulo de elasticidade - (MPa)	$E \leq 7000$	$7000 < E < 12000$	$E \geq 12000$
Módulo de elasticidade/resistência à tração na flexão – E/Rt	$E/Rt \leq 2500$	$2500 < E/Rt < 3500$	$E/Rt \geq 3500$

ISBN: 978-85-65425-32-2

Outro critério utilizado é do ductilidade, que relaciona a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão - Rt/Rc, utilizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de Portugal, também empregado por Rodrigues Filho (2013), Silva (2011) e Veiga (1998). Nele tem-se que a resistência à tração é muito inferior à resistência à compressão para argamassas de revestimento, portanto quanto mais próximo de 1 esta relação, mais dúctil é a argamassa. Este critério é justificado já que a variação entre a ruptura por tração e compressão se deve, principalmente, à fragilidade. E, avalia a suscetibilidade à fissuração, baseado no conceito da ductilidade, que, se trata da capacidade do revestimento absorver sem ruptura as deformações impostas pelos mecanismos de retração retringida.

4. Métodos e materiais

Objetivou-se investigar os comportamentos das argamassas e verificar os requisitos exigenciais para os sistemas de revestimento, as análises foram realizadas em séries com variações intencionais dos aditivos e parâmetros E distintos, assim foram realizados os ensaios de resistências à tração na flexão, módulo de elasticidade dinâmico e retração por secagem e desta forma foram estudados os critérios de avaliação de suscetibilidade à fissuração de revestimento de argamassa adaptada do CSTB (1993).

Esta etapa pode ser resumida, conforme suas variáveis independentes, condições fixas e variáveis dependentes descritas na sequência:

- Variáveis independentes: parâmetro E e o teor dos aditivos
- Condição fixa: Foi determinada, uma consistência inicial de preparo65±5mm.
- Variáveis dependentes: No estado fresco, o teor de ar incorporado gravimétrico. No estado endurecido, as propriedades avaliadas: resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade dinâmico e retração por secagem.

4.1 Métodos

O programa experimental proposto, a fim de elencar os principais comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas quanto a suscetibilidade à fissuração. Para o estudo das formulações e determinação do teor de água, considerando uma penetração de cone inicial de 65±5mm, foi utilizado o método de dosagem de Selmo (1989).

O método baseado nos conceitos de Selmo (1989), leva em conta o parâmetro de dosagem “E”. O método consiste na fixação da quantidade de agregados miúdos e cal para se determinar a quantidade de cimento para um determinado valor de parâmetro “E”, utilizando a equação 1. Uma vez determinada as quantidades consideradas apropriadas de cal e água, é possível calcular o valor “real” do parâmetro “E” da mistura para determinadas consistências e trabalhabilidades. Este método permite montar curvas de correlações entre o parâmetro E com a relação cal/cimento e com a relação a/c, de forma a obter rapidamente o teor de água necessário para se obter uma consistência pré-determinada.

ISBN: 978-85-65425-32-2

$$E=\frac{(areia+cal)}{cimento} \qquad (1)$$

4.1.1. – Preparação e nomenclaturas das argamassas

As argamassas foram nomeadas conforme o parâmetro E utilizado, bem como pelos teores dos aditivos, conforme elencados no quadro 2. O exemplo E6 40/20, indica que a argamassa utiliza o parâmetro E6, o teor de AEH igual a 0,40% sobre a massa do cimento e 0,20% de IAR sobre a massa do cimento. Os aditivos individuais seguiram o parâmetro E, a sigla do aditivo e seu teor. Exemplo: AEH 40 indica o aditivo retardador e seu teor de 0,40% sobre a massa do cimento.

Quadro 2 - Nomenclatura das argamassas.

Parâmetro E	Teor de AEH (%m.c)	Teor de IAR (%m.c)	Nome das argamassas
E5,50	0,40	0,10	E5,5 40/10
	0,95	0,20	E5,5 95/20
E5,75	0,40	0,20	E5,75 40/20
E6,00	0,40	0,20	E6 40/20
E6,50	0,40	0,20	E6,5 40/20
E7,00	0,40	0,10	E7 40/10
	0,95	0,20	E7 95/20

Os procedimentos de produção das argamassas adotados foram detalhados abaixo:

- Pesagem dos materiais em quantidades definidas pelo traço adotado;
- Colocação e pré-mistura de todo o material anidro no misturador horizontal mecânico;
- Adição de água aos poucos, com o misturador ligado;
- Adição dos aditivos AEH e IAR, com o misturador ligado;
- Com equipamento desligado, retirou-se uma parcela da amostra para fazer a primeira aferição do ensaio de penetração de cone;
- Adição da demanda de água necessária para obtenção de penetração de cone de 65±5 mm.
- Encontrado o valor da penetração do cone deixou-se o equipamento misturando por mais 10 minutos;
- Após a produção da argamassa e repouso de 30 minutos, os ensaios no estado fresco e as moldagens necessárias, para os ensaios no estado endurecido, foram realizados.

As moldagens foram realizadas para seis corpos de prova: três prismas para os ensaios de resistência à tração na flexão e três para os ensaios de módulo de elasticidade. As geometrias dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios das argamassas no estado

ISBN: 978-85-65425-32-2

endurecido foram empregados corpos de prova prismáticos com seção de 4 cm de largura x 4 cm de altura x 16 cm de comprimento. O equipamento de mistura das argamassas utilizou uma quantidade de material seco de 40 kg e a homogeneização ocorreu em um misturador horizontal mecânico, da marca ANVI, capacidade de 160 kg, figura 3.

Figura 3 - Foto do equipamento misturador horizontal.

4.1.1.1 – Consistência – Penetração de cone

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma internacional ASTM C780:2014, com o objetivo de se avaliar a consistência da argamassa através da resistência de penetração de um cone de metálico. Para a avaliação do índice de consistência, após 30 minutos do preparo, foi utilizada a média de três ensaios realizados para a obtenção dos resultados.

4.1.1.2 – Teor de ar gravimétrico

Os procedimentos para realização desse ensaio foram realizados conforme a ABNT NBR 13278:2005. Para a avaliação do teor de ar incorporados foram utilizadas as médias de três ensaios realizados para a obtenção dos resultados, após 30 minutos do preparo.

4.1.1.3 – Resistência à tração na flexão

O método de ensaio de tração na flexão foi realizado conforme procedimentos da ABNT NBR 13279:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão). Os equipamentos e acessórios utilizados para o desenvolvimento dos ensaios foram: Prensa Hidráulica com capacidade para 5000 KN, marca Dynatest, balança digital (precisão de 0,01g) e paquímetro digital. Posicionamento no dispositivo de ensaio conforme norma ABNT NBR 13279:2005. O dispositivo de carga possui dois suportes de aço em forma de roletes distantes entre si 97,62mm e um terceiro rolete, na parte superior, centralizado entre os roletes do suporte. Aplicação da carga até a ruptura em uma taxa de carregamento de 50 ± 10 N/s. Para efeitos dos cálculos, o desvio absoluto máximo da série de corpos de prova é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou menos. Logo, os resultados foram obtidos conforme a equação recomendada na ABNT NBR 13279:2005, considerando o conceito de desvio absoluto máximo e descartando os valores superiores a 0,30 MPa.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.1.1.5 – Módulo de elasticidade

Os ensaios para obtenção do modulo de elasticidade foram realizados utilizando o equipamento Sonelastic. Esse teste foi repetido por três vezes em cada corpo de prova. O método da excitação por impulso é normatizado pela ASTM E1876:09: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration.

O ensaio de módulo dinâmico realizados nos corpos–de-prova seguem os seguintes procedimentos:

- Posicionamento do corpo-de-prova deitado;
- Depois de posicionado o sensor acústico do equipamento, por meio de uma haste é provocado um impacto no corpo de prova que é captado pelo sensor do equipamento e assim, se obtém os resultados dos módulos de elasticidade.

4.1.1.6 – Retração por secagem

As medidas da retração por secagem, de argamassas no estado endurecido, foram realizadas de acordo com os procedimentos da NBR 15261:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)). A medida da variação dimensional dos corpos de prova é realizada utilizando o aparelho comparador. Os equipamentos e acessórios utilizados no ensaio de variação dimensional foram aparelho comparador de comprimento marca SOLOTEST com relógio comparador da marca DIGIMESS com precisão de 1 µm; balança digital com precisão de 0,01 g; paquímetro digital (curso 400 mm) e recipiente plástico para armazenamento dos corpos de prova nas condições padronizadas temperatura 23 ± 2ºC e umidade relativa 50 ± 5%). As moldagens seguiram os seguintes procedimentos:

- Moldou-se a argamassa em cada forma com 2 camadas de 25 golpes utilizando um soquete de plástico com 150 mm de comprimento e faces de 13 mm e 25 mm;
- Rasou-se após o adensamento da 2ª camada para retirar o excesso da argamassa;
- Acondicionou-se o conjunto em saco plástico hermético por 48 horas e após, desformou-se os corpos de prova.

O ensaio de retração por secagem das argamassas seguiu as seguintes etapas:

- Realizou-se a 1ª leitura com 48 horas utilizando o aparelho comparador de comprimento, em seguida registrou-se a massa do prisma e seu comprimento inicial;
- Após as medições colocaram-se os prismas em um recipiente de plástico para manutenção da umidade relativa e temperatura definidas;
- Fizeram-se as leituras 3 vezes por semana, respeitando as datas de 7 e 28 dias.

4.2 Materiais

A escolha dos materiais empregados nesta pesquisa justificou-se por serem compatíveis e comercialmente empregados no DF e entorno, sendo assim, eles apresentam as características desejáveis para a pesquisa desenvolvida. O cimento CP V foi selecionado para a confecção das argamassas em virtude de ser o mais utilizado pelas empresas

ISBN: 978-85-65425-32-2

produtoras no DF em virtude da produção dos concretos usinados. Os percentuais apresentados para este cimento foram 60,24% de CaO e 21,91% de SiO2.

O AEH utilizado trata-se de um aditivo plastificante e retardador de pega para argamassa dosada em central. Quanto ao IAR, são aditivos incorporadores de ar. A escolha dos teores de IAR e AEH foi definida a partir de teores usuais empregados nas concreteiras, e se fez variações dentro da faixa limite por uso dos fabricantes. Para o AEH o teor mínimo foi de 0,40% e o médio de 0,95%. O IAR utilizou o teor mínimo de 0,20. Os ensaios de caracterização dos aditivos foram realizados no LEM (Laboratório de Materiais de Construção) da UnB e conforme as prescrições da ABNT NBR 10908:2009 - Aditivos para argamassa e concreto - Ensaios de caracterização. As caracterizações físicas apresentadas são informadas no quadro 3. Os teores de sólidos dos AEH; 38,4%. Os IAR representou 5,8. Quanto ao pH se mostrou neutro, próximo a sete. No caso dos incorporadores de ar resultaram em basicidade de uma solução aquosa.

Quadro 3 – Características físicas dos aditivos.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DETERMINADAS	AEH	IAR
Massa específica (g/cm^3)	1,17	1,01
pH	6,98	9,82
Teor de sólidos (%)	38,3	5,8

O agregado miúdo selecionado foi uma areia natural lavada de rio, de granulometria fina. A areia fina visualmente apresentou resíduos de folhagens, gravetos e para ser utilizada na confecção das argamassas, procedeu-se o peneiramento das amostras na peneira de 1,2 mm. O agregado apresentou granulometria bem graduada (granulometria contínua) e uniformidade média, conforme demonstrado no quadro 4.

Quadro 4 – Caracterização física dos agregados miúdos.

CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS	AF
Massa específica (g/cm^3)	2,61
Módulo de finura	1,55
Dmáx. (mm)	1,20
Material pulverulento retido na peneira 0,075mm (%)	7,9

5. Resultados

O quadro 5 mostra os parâmetros de mistura e os resultados de ar incorporados encontrados conforme as séries estudadas. As séries 40/10, por utilizarem o menor teor de IAR apresentaram os menores ar incorporados, variando de 9% a 10%. As séries 40/20 resultaram ar incorporados variando de 15% a 16%. Já as séries 95/20 apresentaram os

ISBN: 978-85-65425-32-2

maiores ar incorporados, variando de 16% a 20 %. De forma, que os teores de ar incorporados obtidos foram dependentes dos incrementos dos aditivos associados. Também, verificou-se que o parâmetro E não influencia no teor de ar incorporado, uma vez que quando se compara o E7 com o E5,5 os valores foram similares.

Quadro 5 - Parâmetros de mistura.

SÉRIE	TRAÇOS (CIMENTO:AREIA)	A/C	TEOR DE AR INCORPORADO (%)
E5,5 40/10	1:5,5	1,13	10%
E7 40/10	1:7,0	1,50	9%
E5,75 40/20	1:5,75	1,07	16%
E6 40/20	1:6,0	1,10	15%
E6,5 40/20	1:6,5	1,29	15%
E5,5 95/20	1:5,5	0,92	20%
E7 95/20	1:7,0	1,32	16%

A figura 4 mostra a relação água/cimento *versus* o parâmetro E. A relação água/cimento reduziu conforme se incrementou os aditivos associados, assim observado quando se caminha da direita para esquerda no gráfico da figura 4. A série 95/20 apresentou os menores resultados quanto a relação água/cimento devido o maior teor dos aditivos combinados. Quanto a relação teor de ar incorporado *versus* água/cimento (figura 5), os comportamentos mostraram-se dependentes dos teores dos aditivos associados, de forma que a séries 40/10, por utilizar o menor teor de IAR apresentou os menores ar incorporados e relações a/c de 1,13 a 1,50. As séries 40/20 resultaram relação a/c de 1,07 a 1,29. Já as séries 95/20 apresentaram os maiores ar incorporados e as menores relações a/c, variando de 0,92 a 1,32.

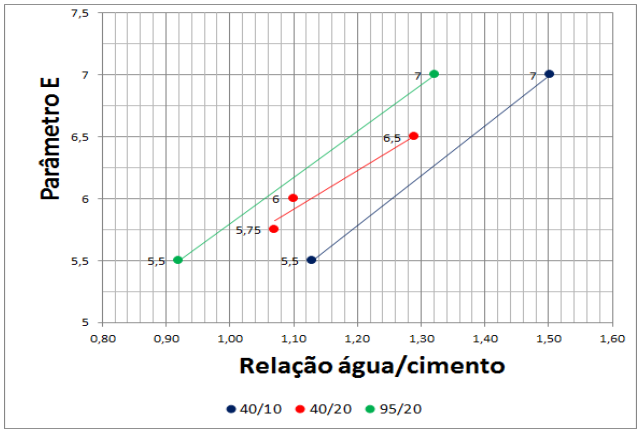


Figura 4 – Relação água/cimento *versus* parâmetro E.

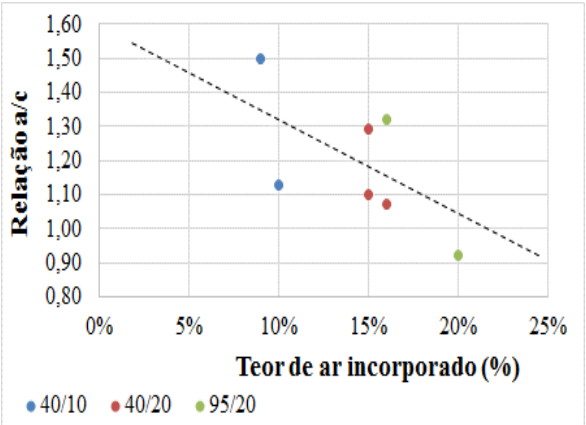


Figura 5 – Teor de ar incorporado *versus* relação água/cimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

As resistência à tração na flexão mostraram forte influência do parâmetro E, de forma que quanto menor E, maior valor para a propriedade mecânica, quadro 6.

Quadro 6 – Resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade.

CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS	TEOR DOS ADITIVOS AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,80	1,90	3,00	2,50	2,30	2,60	1,90
Módulo de elasticidade (GPa)	9,52	6,55	10,49	9,39	7,22	9,98	8,41

Quando se relacionou as resistência à tração na flexão com a relação água/cimento, observou-se aumento das propriedades mecânicas conforme a redução do teor de água, figura 6. Os valores obtidos para os ensaios de módulo de elasticidade dinâmico aumentaram conforme as reduções do parâmetro "E" (superiores consumos do aglomerante), assim, demonstrado no quadro 6. No entanto, o maior teor do AEH das séries 95/20 elevaram os módulos de elasticidade. O menor teor de água incide em maior resistência mecânica e maior módulo de elasticidade, no entanto a de se verificar o teor do AEH. Os resultados dos módulos de elasticidade mostraram-se compatíveis com os valores obtidos para as resistências á tração na flexão, conforme a figura 8.

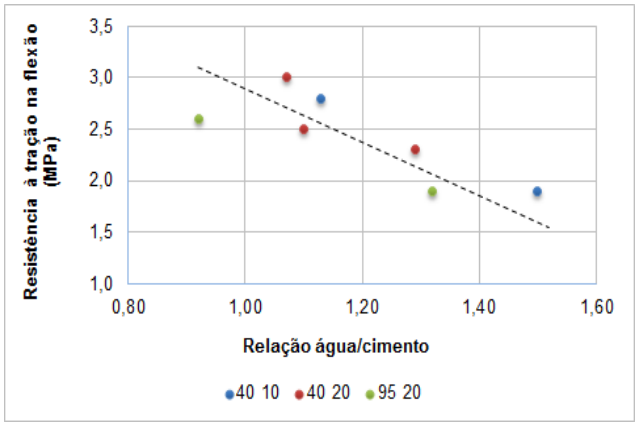


Figura 6 – Relação água/cimento *versus* resistência à tração na flexão

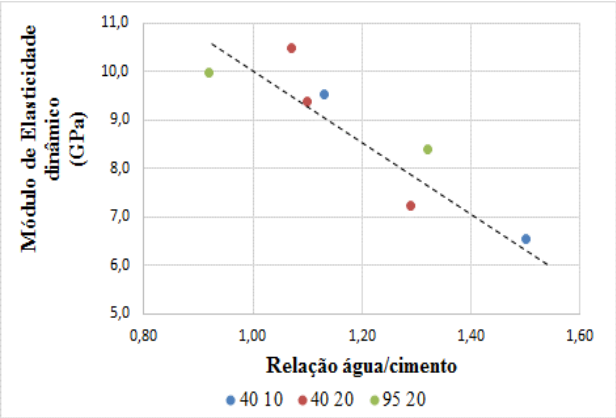


Figura 7 – Relação água/cimento *versus* Módulo de elasticidade.

ISBN: 978-85-65425-32-2

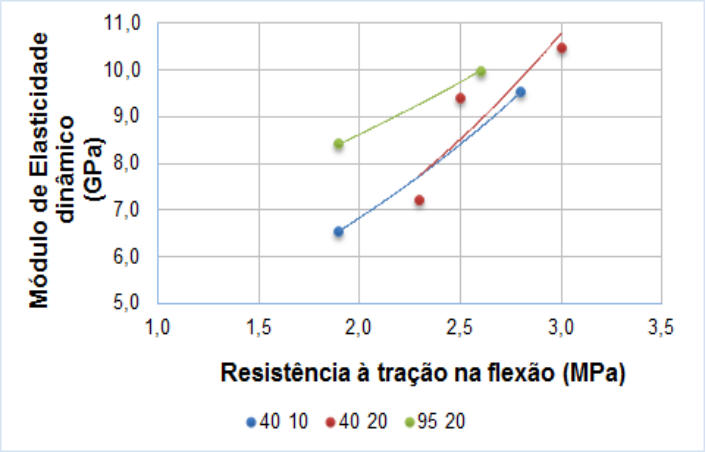


Figura 8 - Resistência à tração na flexão *versus* módulo de elasticidade.

Quanto aos critérios de classificação quanto à fissuração verificaram-se que as argamassas quando analisadas pelo módulo de elasticidade apresentaram média suscetibilidade à fissuração, com exceção da E740/10 que se enquadra em baixa suscetibilidade, conforme o quadro 7. Da mesma forma, quando se correlacionou o módulo de elasticidade com a resistência à tração na flexão – E/Rt, as possibilidades de fissuração se elevaram para os incrementos do AEH, uma vez que as argamassas das séries 95/20 apresentaram os piores resultados. Os resultados para as séries E5,5 40/10, E6,5 40/20 e E5,5 95/20 mostraram-se muito próximos a 3500, de forma que as resistências à tração na flexão precisariam ser elevadas para a redução da suscetibilidade à fissuração.

Quadro 7. Suscetibilidade à fissuração quanto ao módulo de elasticidade e relação E/Rt.

CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS	TEOR DOS ADITIVOS AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Módulo de elasticidade (MPa)	9520	6550	10490	9390	7220	9980	8410
Suscetibilidade à fissuração quanto ao Módulo de elasticidade	Média	Baixa	Média	Média	Média	Média	Média
E/Rt	3400	3447	3497	3756	3139	3838	4426
Suscetibilidade à fissuração quanto a relação E/Rt	Média	Média	Média	Alta	Média	Alta	Alta

Quanto a retração por secagem, os valores obtidos ocorreram conforme as séries dos aditivos associados, quadro 8. Para os incrementos do AEH, série 95/20, incidiram os melhores resultados da retração por secagem das argamassas, porém ressalta-se que o tempo de desforma provavelmente influenciou os valores obtidos, uma vez que estas séries foram possíveis de desformar somente no quarto dia após a produção. As argamassas estudadas, apresentaram média suscetibilidade à fissuração quando avaliadas pela

ISBN: 978-85-65425-32-2

retração por secagem, com exceção das séries E5,5, E7 95/20 e E6,5 40/20, para as quais os valores obtidos para retração por secagem, aos 28 dias, foram inferiores a 0,70 mm/m e assim, se enquadraram em baixa suscetibilidade à fissuração.

Quadro 8 – Retração por secagem.

CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS	TEOR DOS ADITIVOS AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Retração (mm/m)	0,41	0,91	0,74	1,06	0,65	0,36	0,22
Suscetibilidade à fissuração quanto a Retração por secagem	Baixa	Média	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa

6. Conclusões

No geral, as argamassas demonstraram média suscetibilidade à fissuração quando avaliadas pelo método do CSTB (1993). Este método baseia-se no princípio de que a tendência à fissuração aumenta quanto maior for a retração por secagem e o módulo de elasticidade, e maior será a resistência de tração induzida, e quanto maior for a resistência à tração, maior será a capacidade do revestimento se deformar sem fissurar. Porém, apesar da série 95/20 apresentar baixa retração por secagem, seu módulo de elasticidade não reduziu de forma relevante.

A ABNT NBR 13281:2005 contribuiu para os desempenhos dos sistemas de revestimentos quando classificou por classes as propriedades, no entanto vale ressaltar a importância de se incluir o módulo de elasticidade, bem como a retração por secagem nesta classificação, além de prever condições e especificidades de projetos e regiões climáticas do Brasil.

Agradecimentos

A Universidade de Brasília, a Universidade Federal da Bahia e ao Instituto Federal de Rondônia.

Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. C780: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. ASTM Internacional, West Conshohocken, 2014.

____.ASTM E1876. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. EUA. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10908: Aditivos para argamassa e concreto - Ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2008.

ISBN: 978-85-65425-32-2

____. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

____. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

____. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos– Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

____. NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

____. NBR 15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

BAÍA, L.L.M; SABBATINI, F.H. Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa. 4a edição. Editora O Nome da Rosa, São Paulo, 2008.

BASTOS, P.K.X. Retração e Desenvolvimento de Propriedades Mecânicas de Argamassas Mistas de Revestimento. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BAUER, E. Relatório técnico: n.º 12120173.a. Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BAUER, E; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M.L. M; CALDAS, L.R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Porto Alegre, RS, 2015.

CARVALHO JR, A.N. avaliação da aderência dos revestimentos Argamassados: uma contribuição à identificação Do sistema de aderência mecânico. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2005.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification CSTB desenduits monocouches d'imperméabilisation – Cahier MERUC. Livraison 341, cahier 2669-3, juillet-août 1993. Paris.

CHEUNG, J.; JEKNAVORIAN, A.; ROBERTS, L.; SILVA, D. Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement. Cement and Concrete Research. 2011.

JANTSCH, A.C.A. Análise da Permeabilidade de Argamassas Estabilizadas Submetidas a Tratamento Superficial com Aditivos Cristalizantes. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ISBN: 978-85-65425-32-2

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. (traduzido), 2a. edição. Bookman, Porto Alegre, 2013.

OGBONNA, J. The Secondary Effects of Lignosulfonate Cement Retarder on Cement Slurry Properties. Journal of Engineering and Applied Sciences. VOL. 4, N° 9, November 2009 ISSN 1819-6608.

OLIVEIRA, R.P.; GASTALDINI, A.L.G; ANTES, L.H.; RUVIARO, A.S. Influência do Teor de Finos do Agregado Reciclado na Fissuração e Resistência de Aderência à Tração das Argamassas de Revestimento. XI Simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassas, Porto Alegre, 2015.

PAES, I.N.L.; ANDRADE, M.A.S.; ANGELIM, R.R.; HASPARIK, N.P.; OLIVEIRA, R.A; PASSOS, J.S.; THON, D.G; CARASEK, H. O efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento. III Simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassas. Fls 335-347. Vitória, ES, 1999.

PAES, I. N. L. Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PEREIRA, C. H. A. F. Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

RAMOS, M.G.; GAIO, A. E.; CALÇADA, L.M.L; Estudo da influência da dosagem no tempo de início de pega da argamassa estabilizada. Seminário de Pesquisa e Extensão e Inovação do IFSC. Santa Catarina, 2013

RESENDE, P.S.O. Efeito do Ar Incorporado em Argamassas de Revestimentos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. Chemical admixtures for concrete, 3th Ed. E & FN Spon, Londres, 1999

RODRIGUES FILHO, H.E. Avaliação dos Requisitos Normativos das Argamassas Industrializadas Associados a Critérios de Emprego e Utilização. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SELMO, S. M. S. Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo dos edifícios. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

ISBN: 978-85-65425-32-2

SILVA, A; SOARES, A; FLORES-COLEN, I; BRITO, J. Avaliação de propriedades mecânicas de argamassas de revestimento através do módulo de elasticidade dinâmico. Universidade Técnica de Lisboa, PATORREB. Lisboa. 2015.

SILVA, F. G. S. Proposta de Metodologias Experimentais Auxiliares à Especificação e Controle das Propriedades Físico-Mecânicas dos Revestimentos em Argamassa. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, N. G. Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

TREVISOL JR., L.A. Estudo Comparativo entre as Argamassas: Estabilizada Dosada em Central, Industrializada e Produzida em Obra por meio de Ensaios Físicos nos Estados Fresco e Endurecido. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia para para Desenvolvimento (Institutos Lactec), Curitiba, 2015.

VEIGA, M. R. Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. Tese de doutorado, Universidade do Porto, Portugal, 1998.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO NATURAL PELO AGREGADO RECICLADO NO CONCRETO, QUANTO À PENETRAÇÃO DE CLORETOS, AVALIADA POR MEIO DA MIGRAÇÃO IÔNICA

Influence Of The Replacement Of The Natural Aggregate By The Recycled Aggregate In The Concrete, As To The Penetration Of Chlorides Evaluated By Means Of The Ionic Migration

SILVA, G. A. O.[1], **AMORIM JÚNIOR, N. S.[2]**, RIBEIRO, D. V.[3]

[1] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, guilhermeoliveira.09@hotmail.com

[2] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, nilson.amorim18@gmail.com

[3] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, verasribeiro@hotmail.com

Resumo: A quantidade de resíduos de construção civil gerados aumentou drasticamente na última década e, consequentemente, aumentaram as preocupações sociais e ambientais sobre a reciclagem deste material. A utilização desses resíduos no concreto como substituto aos agregados naturais (AGN) é reconhecida como uma prática viável de utilizar de maneira eficaz estes resíduos. Estes agregados são conhecidos como agregados reciclados de concreto (AGR) e para a sua utilização em estruturas, é necessário o estudo prévio acerca da durabilidade desses artefatos. Com isso, este estudo avalia as propriedades relacionadas à penetração de cloretos, por meio da técnica de migração iônica, em concretos contendo agregado reciclado, além da realização de uma extensa caracterização dos materiais constituintes das misturas. Foram utilizados, neste trabalho, artefatos com relação água/cimento igual 0,45 e substituição do AGN por AGR em teores iguais a 0%, 50% e 100%. Com base nos resultados das investigações experimentais, observou-se que os concretos contendo agregados reciclados apresentaram uma maior difusão de íons cloro devido à maior porosidade relacionada aos agregados provenientes de resíduo de construção civil, indicando uma antecipação do início do processo de corrosão da armadura gerado pela migração de cloretos.

Palavras-chave: RCC, Concreto, Migração de cloretos.

Abstract: Civil construction waste has increased dramatically in the last decade and, consequently, increased social and environmental concerns about the recycling of this material. The use of these wastes in concrete as substitutes for natural aggregates (NA) is recognized as a viable practice to use these wastes effectively. These aggregates are known as recycled aggregates of concrete (RAC) and for their use in structures, it is necessary the prior study on the durability of these artifacts. Therefore, this study evaluates the properties related to the penetration of chlorides, through the ion migration technique, in concrete containing recycled aggregate, besides the accomplishment of an extensive characterization of the materials constituting the mixtures. In this work, artifacts with water/cement ratio of 0,45 and substitution contents equal to 0%, 50% and 100% of NA by

RAC were used. Based on the results of the experimental investigations, the concrete containing recycled aggregates obtained a greater diffusion of chlorine ions due to the greater porosity related to the aggregates from the construction residue, indicating an anticipation of the beginning of the process of corrosion of the reinforcement generated by the migration of Chlorides.

Keywords: Construction waste, Concrete, Chlorides Migration.

1. Introdução

A indústria da construção civil consome consideráveis quantidades de recursos naturais e, como tal, tem um impacto significativo sobre o ambiente (BRIBIÁN *et al*., 2011; NORTON; SKATES, 2011). No entanto, como o setor da construção desempenha um papel significativo no desenvolvimento econômico em todos os países, é necessário garantir a sua sustentabilidade sem reduzir o ritmo das suas atividades.

O uso dos agregados provenientes da reciclagem de resíduos de construção civil (RCC) tem se tornado uma realidade em alguns países do mundo, inclusive no Brasil. A maior aplicação deste tipo de agregado tem sido em camadas de pavimentação, entretanto, seu uso na fabricação de concreto tem aumentado. Um exemplo vem da Alemanha, onde já se demonstrou a viabilidade do uso do concreto com agregado reciclado em funções estruturais, já se tendo, inclusive, normas reguladoras para o uso do mesmo, tais como as Normas DIN 4226-100 e DIN 1045-2 (WEIL *et al*., 2006; XIAO *et al*., 2006).

Segundo Cabral (2007), existem fatores limitantes para a expansão da utilização dos agregados reciclados, tais como: a variabilidade dos seus componentes e, consequentemente, das suas características e a possível contaminação dos RCC por agentes agressivos, que podem vir a minorar o desempenho mecânico e a durabilidade dos concretos confeccionados com os agregados reciclados. É necessário, portanto, estudar o comportamento dos concretos com agregado reciclado submetidos a estes agentes de degradação como, por exemplo, os íons cloro, que são considerados os mais problemáticos dentro do processo da corrosão de armaduras, e o dióxido de carbono, o principal responsável pela carbonatação do concreto (BERTOLINI *et al*., 2007; METHA; MONTEIRO, 2014).

Diversas pesquisas (ANDRADE, 1993; CASTELLOTE *et al*. 2001; TONG; GJØRV, 2001; SILVA, 2017; PINTO, 2016; RIBEIRO *et al*.,2012) vêm utilizando os ensaios de migração para avaliar a resistência do concreto à penetração de íons cloreto. Esses ensaios têm por objetivo avaliar a capacidade do concreto em inibir o ataque por cloretos (MEDEIROS *et al*., 2012 e são utilizados para avaliar a penetrabilibidade dos cloretos por meio da avaliação da carga total passante, conforme a ASTM C 1202/12, e o coeficiente de difusão de cloretos no estado estacionário, conforme a proposta de Andrade (1993). No entanto, os ensaios podem apresentar variações no procedimento a ser adotado e nos parâmetros a serem coletados, tendo em vista que os ensaios de migração também podem ser utilizados para calcular o coeficiente de difusão no estado não-estacionário (CASTELLOTE *et al*. 2001; TONG; GJØRV, 2001).

O ensaio de migração tem como princípio a aplicação de uma diferença de potencial entre duas células: uma contendo uma solução de cloretos, célula catódica, e outra sem

ISBN: 978-85-65425-32-2

cloretos, célula anódica, entre as quais é colocada a amostra de concreto a ser analisada.

De acordo com Geiker *et al*. (1995 *apud* MEDEIROS, 2008), a diferença de potencial empregada para a aceleração da penetração de cloretos deve ser entre 12 e 15 V, pois, assim, a diferença de potencial não é alta o suficiente para causar aquecimento do sistema, o que poderia afetar na mobilidade dos íons.

Para a realização deste método, é necessário preencher a célula positiva, célula anódica, com água destilada, de modo a evitar a corrosão induzida pela deposição do cloro. Já na célula negativa, célula catódica, utiliza-se uma solução composta por cloreto de sódio (NaCl) a uma concentração de 1 M.

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

Os concretos foram produzidos com um cimento Portland CP V-ARI, da marca Nacional, comercialmente encontrado no Estado da Bahia, Brasil. A brita utilizada é de origem basáltica e a areia é natural, proveniente de jazida localizada no município de Camaçari, situado na região metropolitana de Salvador, Bahia. Para as misturas foi utilizada a água, proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Salvador, fornecida pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (Embasa).

O agregado reciclado empregado neste trabalho é proveniente da Unidade de Valorização de Resíduos no Centro de Tratamento de Resíduos Grajaú (CTR Grajaú) e é produzido a partir da britagem dos resíduos de construção civil gerados na cidade de São Paulo, Brasil. O CTR Grajaú é a maior central de tratamento de resíduos de construção civil da América do Sul, com produção de 500 mil t/ano (350 t/h).

2.2 Métodos

2.2.1 - Caracterização dos materiais constituintes e dosagem do concreto

Para a caracterização física do cimento foram avaliados parâmetros como: a distribuição do tamanho de partículas por meio de sedigrafia a laser (aparelho Horiba CAPA-700); área superficial específica por BET (aparelho Gemini 2370 V1.02 – Micrometrics) e; massa específica por picnometria a gás hélio (aparelho Micromeritics AccuPyc II 1340).

No caso da caracterização dos agregados, foram empregados os métodos prescritos nas Normas Brasileiras vigentes, para determinar: a distribuição granulométrica, bem como a dimensão máxima característica e o módulo de finura - NBR NM 248:2003 (“Agregados – Determinação da composição granulométrica”); a massa específica da areia - NBR NM 52:2009 (“Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente”); a massa específica da brita e do agregado reciclado – NBR NM 53:2009 (“Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”); a massa unitária - NBR NM 45:2006 (“Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios”); o teor de material pulverulento – NBR NM 46:2003 (“Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem”); a absorção de água do agregado reciclado - NBR NM

ISBN: 978-85-65425-32-2

53:2009 ("Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água"); e o índice de forma do agregado reciclado - NBR 7809:2006 ("Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio").

Para a dosagem dos concretos deste estudo foi adotado o método ACI, por meio da curva de Abrams, com um valor de abatimento pré-fixado, neste caso de 100 ± 20 mm. Obteve-se, assim, o traço de referência: 1,00 : 1,58 : 2,10 : 0,45 (cimento : areia : brita : água). Foram utilizados, ainda, dois diferentes teores de substituição (50% e 100%) de agregado graúdo natural (AGN) pelo agregado graúdo reciclado (AGR).

Foram moldados corpos de prova cilíndricos, com diâmetro de 10 cm e altura de 20cm, para a determinação das propriedades físicas e mecânicas e para a realização do ensaio de migração iônica. Os corpos de prova permaneceram em cura imersa até o momento do ensaio, 28 dias, com controle de temperatura e umidade (25 ± 1°C e 80 ± 5%).

Para a moldagem dos corpos de prova foi realizada uma substituição volumétrica do agregado natural pelo agregado reciclado. Este procedimento tem como objetivo evitar uma distorção entre os volumes do concreto convencional e o contendo agregado reciclado. A Equação (1) mostra o cálculo para substituição volumétrica, onde M_{AR} é a massa do agregado reciclado, M_{AN} a massa do agregado natural, ρ_{AR} a massa específica do agregado reciclado e ρ_{AN} a massa específica do agregado natural.

$$M_{AR} = \frac{M_{AN} \cdot \rho_{AR}}{\rho_{AN}} \qquad (1)$$

Para esta pesquisa foram elaboradas três dosagens, sendo os consumos de material, por metro cúbico (m^3) de concreto, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Consumo de materiais por m^3 de concreto contendo diversos teores de agregado reciclado e utilizados no presente trabalho.

Nomenclatura	Relação água/cimento	Teor de RCC	Consumo dos Materiais (kg/m³)			
			Cimento	Areia	Brita	Agregado reciclado
REF45	0,45	0%	471	744	988	-
45T50		50%	471	744	494	456
45T100		100%	471	744	-	912

Quanto à metodologia de dosagem, devido à elevada taxa de absorção dos agregados reciclados, foi adotada uma pré-molhagem dos mesmos. Alguns autores (LEITE 2001; VIEIRA 2003) utilizaram em suas pesquisas, teores de pré-molhagem em torno de 40% a 50% do total da água absorvida pelo agregado em 24 horas. Assim, foi adotada, nesta pesquisa, uma compensação de água por 10 minutos com 50%, em massa, da absorção do agregado. Utilizou-se esse valor porque, segundo estudos realizados por Troian

ISBN: 978-85-65425-32-2

(2010), dentre os teores de pré-molhagem avaliados, este foi o que apresentou melhores resultados, quanto às propriedades mecânicas dos concretos.

2.2.2 - Caracterização do concreto

2.2.2.1 - Densidade e porosidade aparentes

Para determinação da densidade e porosidade aparentes dos concretos, foi utilizado o princípio de Arquimedes. A técnica consiste em comparar as massas dos corpos de prova, com 28 dias de idade, antes e depois da imersão em água. As amostras são pesadas ainda secas (Ms) e, então, imersas em água por 24 horas. Após esse período, determinam-se a massa imersa (Mi) e a massa úmida (Mu). Com estes valores é possível calcular a porosidade aparente (Pa) e a densidade aparente (Da), através das Equações (2) e (3):

$$P_A = 100.\frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \quad (2)$$

$$D_A = \rho\,\frac{M_s}{M_u - M_i} \quad (3)$$

Onde ρ é a densidade do líquido utilizado (no caso, a água, ρ é igual a 1,0 g/cm³).

2.2.2.2 - Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por ascensão capilar foi determinada utilizando-se as prescrições da NBR 9779:2012 (“Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade”).

Durante o ensaio, determina-se a massa saturada (Msat) dos corpos de prova com intervalos de tempo normalizados pela NBR 9779:1995 (“Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção da água por capilaridade”). Assim, a absorção de água por capilaridade (C) pode ser calculada com o auxílio da Equação (4), onde (S) representa a área da seção transversal do corpo de prova, expresso em cm². A absorção (C) é expressa em g/cm².

$$C = \frac{M_{sat} - M_s}{S} \quad (4)$$

2.2.2.3 - Resistência à compressão axial do concreto

Os ensaios de resistência à compressão axial seguem as recomendações da NBR 5739:2007 (“Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”), para corpos de prova com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

Os ensaios de compressão axial foram realizados nas idades de 3, 7 e 28 dias, utilizando-se 5 corpos de prova por idade. O limite de resistência à compressão é calculado utilizando-se a Equação (5).

ISBN: 978-85-65425-32-2

$$R_c = \frac{4.P}{\pi.d^2} \quad (5)$$

Onde Rc é a resistência limite à compressão; P é carga máxima suportada pelo corpo de prova; e d representa o diâmetro do corpo de prova.

2.2.3 - Ensaio de migração de cloretos

Para o ensaio de migração de cloretos foi utilizado um aparato sugerido por Andrade (1993) e desenvolvido por Ribeiro (2010), baseando-se na Norma ASTM C 1202/12 ("*Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*"). Essa norma preconiza a utilização do processo de saturação a vácuo das amostras antes da execução dos ensaios de migração. De forma alternativa, as amostras ensaiadas foram saturadas por meio da imersão em água, como realizado por Ribeiro (2010) e Santos (2006) durante 24 horas.

Para a execução desse ensaio, foram utilizados 4 (quatro) corpos de prova, com diâmetro de 100 mm e espessura de 40 mm, para cada mistura. Na Figura 1 é possível ver o aparato utilizado para a realização dos ensaios de migração de cloretos neste trabalho.

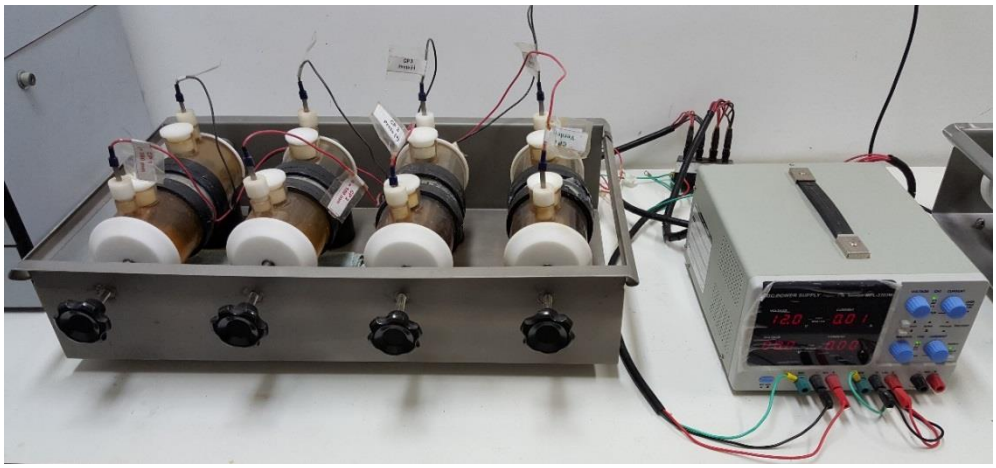


Figura 1 – Aparato utilizado no ensaio de migração de cloretos, utilizando amostras com diâmetros iguais a 100 mm.

O ensaio tem início quando os corpos de prova atingem a idade de 28 dias, com a aplicação de uma tensão de 12 Volts no sistema, por meio de eletrodos posicionados nas extremidades do aparato, que estão conectados a fios de cobre provenientes de uma fonte de tensão controlada.

Durante a execução deste ensaio foi verificada, diariamente, a condutividade elétrica da solução da célula anódica. Assim, obteve-se a evolução de sua condutividade elétrica, utilizando o condutivímetro digital portátil tipo caneta modelo 42 da marca Homis e, em seguida, fez-se uma estimativa da concentração de cloretos, empregando a correlação

ISBN: 978-85-65425-32-2

obtida experimentalmente entre a concentração de íons cloreto (Cl^-) e a condutividade elétrica (Figura 2). A condutividade foi verificada a uma temperatura de 21ºC.

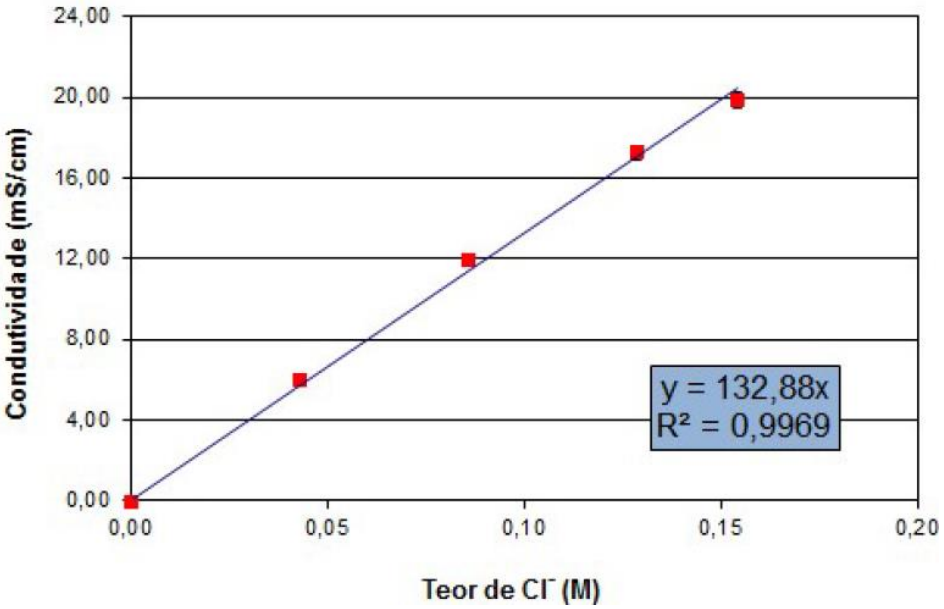


Figura 2 – Curva de condutividade elétrica em função da concentração de cloretos

Nos primeiros momentos, a quantidade de íons cloro passantes pela célula anódica (com água destilada) é insignificante e não obedece a um fluxo constante, devido, principalmente, às reações destes íons com os aluminatos presentes no cimento, sendo caracterizada como fase não estacionária. Este tempo corresponde ao chamado *time lag* e define o tempo necessário para que os íons cloro atravessem a amostra, saturando-a (CASTELLOTE *et al*., 2001; RIBEIRO, 2010). Após a adsorção dos cloretos na rede capilar e o esgotamento da reserva de aluminatos, com a formação do sal de Friedel, o fluxo iônico passa a ser constante, o que corresponde ao período estacionário. Assim, o *time lag* (τ) caracteriza o período de tempo em que a difusão se mantém no regime não estacionário e, no caso do transporte dos cloretos, é definido como o tempo em que estes íons levam para estabelecer um fluxo constante através do concreto, em ensaios de migração ou difusão (CASTELLOTE *et al*., 2001; RIBEIRO, 2010). O *time lag* é obtido por meio da interseção entre o prolongamento da reta que caracteriza o regime estacionário e o eixo das abscissas (tempo), de acordo com a Figura 3.

ISBN: 978-85-65425-32-2

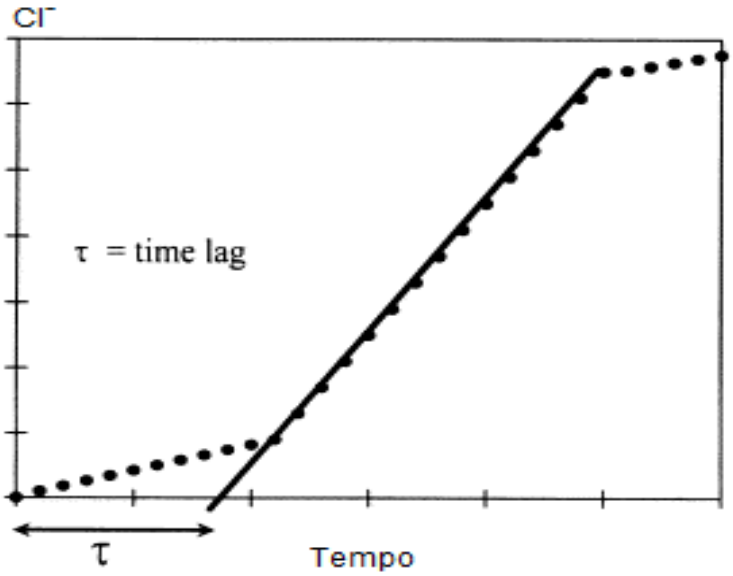


Figura 3 – Determinação do *time lag* (CASTELLOTE *et al.*, 2001)

A partir dos ensaios de migração, pode-se calcular o coeficiente de difusão no estado estacionário (ou coeficiente de difusão efetivo), através da equação de Nerst-Plank, modificada (Equação 6).

$$D_s = \frac{J_{Cl} R T l}{z F C_{Cl} \gamma \Delta\theta} \qquad (6)$$

Em que Ds é o coeficiente de difusão no estado estacionário (cm²/s); J_{Cl} é o fluxo de íons (mol/(s.cm²)), R é a constante de gases (1,9872 cal/(mol.K)), T é a temperatura (K), l é a espessura do corpo de prova (cm), z é a valência dos íons (para cloretos, igual a 1), F é a constante de Faraday (23063 cal/(volt.eq)), C_{Cl} é a concentração de cloretos na célula catódica (mol/cm³), γ é o coeficiente de atividade da solução da célula catódica (0,657 para o Cl^-), ΔΦ é a média da tensão que efetivamente atravessa o corpo de prova durante o estado estacionário (V).

O coeficiente de difusão no estado não-estacionário (D_{ns}) pode ser calculado, a partir de ensaios de migração, por meio da Equação 7, proposta por Castellote *et al.* (2001).

$$D_{ns} = \frac{2l^2}{\tau v^2}\left[v.coth\frac{v}{2} - 2\right] \qquad (7)$$

Em que $v = \frac{ze\Delta\Phi}{kT}$, *k* é a constante de Boltzmann (1,38x10^{-23} J/K), *e* é a carga do elétron (1,6x10^{-19} C), ΔΦ é a média da tensão que efetivamente atravessa o corpo de prova durante o estado não-estacionário (V).

ISBN: 978-85-65425-32-2

3. Resultados e discussões

3.1 Caracterização dos materiais constituintes do concreto

Os resultados de caracterização física dos materiais constituintes utilizados são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Caracterização física dos insumos utilizados na confecção dos corpos de prova e limites estabelecidos pela normatização brasileira.

Características	Cimento	Areia	Brita	Agregado reciclado	Limites NBR 15116**
Área específica (Blaine, cm²/g)	4255	-	-	-	-
Diâmetro médio das partículas (D50, mm)	0,009	0,42	15,6	14,8	-
Massa específica (g/cm³)	3,162	2,68	2,73	2,52	-
Dimensão máxima característica (mm)	-	1,18	19,0	19,0	-
Módulo de finura	-	1,32	6,98	6,94	-
Massa unitária solta (kg/dm³)	-	1,46	1,47	1,27	-
Material pulverulento (%)	-	2,20	0,38*	2,02	≤ 10,0
Absorção de água (%)	-	-	0,43	4,48	≤ 7,0
Índice de forma	-	-	2,29	2,00	-

*resultado obtido após lavagem

**NBR 15116:2004 ("Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos").

3.2 Caracterização do concreto no estado endurecido

3.2.1 - Porosidade e densidade aparentes

Os resultados obtidos aos 28 dias para a densidade e porosidade aparentes dos concretos moldados são apresentados na Figura 4.

Observa-se que, com a substituição da brita pelo agregado reciclado, houve um decréscimo da densidade aparente e um aumento da porosidade aparente desses concretos quando comparado aos valores obtidos nas dosagens de referência. Isto é explicado pelo fato de que quase 50% do agregado reciclado utilizado nesse estudo é composto por concreto e

ISBN: 978-85-65425-32-2

argamassa. De acordo com Etxeberria *et al.* (2006), quando o agregado reciclado é composto basicamente por pasta/argamassa antiga aderida em sua superfície, a porosidade é muito elevada. Deste modo, à medida que se aumenta o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, a porosidade dos concretos produzidos tende a aumentar, uma vez que se aumenta gradativamente o teor de pasta no concreto, aumentando-se o volume de poros, visto que claramente a argamassa é mais porosa que o agregado natural.

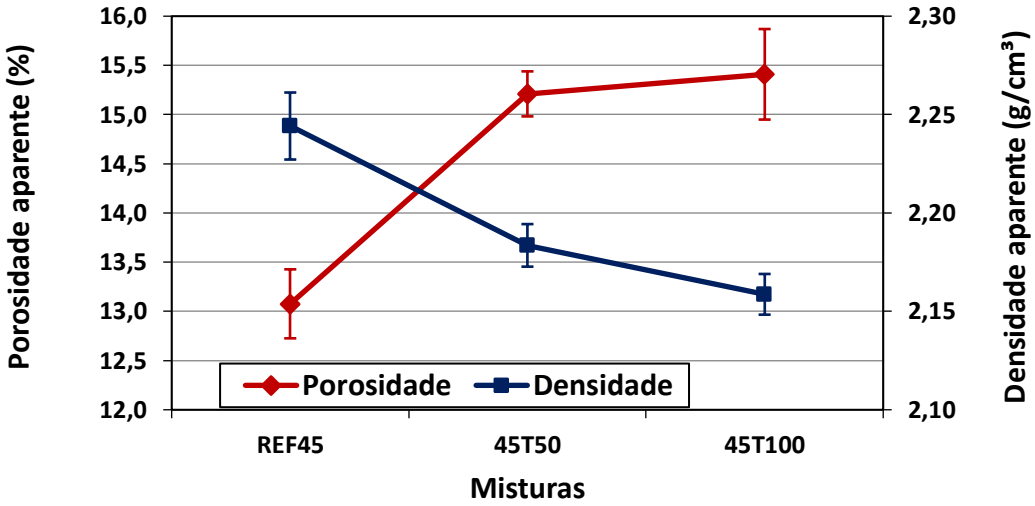


Figura 4 – Densidade e porosidade aparentes dos corpos de prova de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores, ensaiados aos 28 dias de idade

3.2.2 - Absorção de água por capilaridade

A Figura 5 apresenta os valores de coeficientes de absorção capilar obtidos para os concretos contendo agregado reciclado, submetidos ao ensaio de absorção de água por capilaridade durante 72 horas.

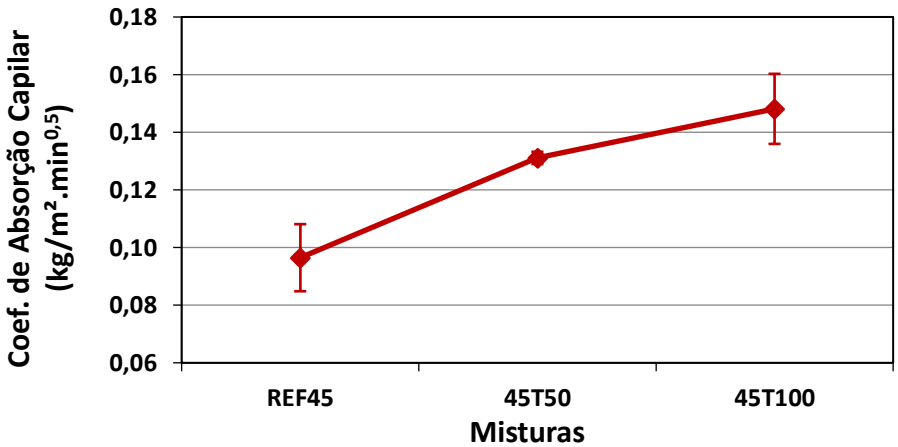


Figura 5 – Coeficiente de absorção capilar de concretos avaliados aos 28 dias

ISBN: 978-85-65425-32-2

Observa-se que a absortividade do concreto aumenta em função do aumento da substituição da brita pelo agregado graúdo reciclado (AGR), quando comparado aos valores obtidos na referência. Analisando o fator "teor de agregado reciclado", a quantidade de água absorvida aumenta devido, provavelmente, a um aumento na quantidade, comprimento e interconectividade dos capilares dentro da matriz do concreto, resultante da porosidade da argamassa aderida aos agregados naturais originais (GOMES; BRITO 2009).

3.2.3 - Resistência mecânica

As médias dos resultados de resistência à compressão dos concretos aos 3, 7 e 28 dias de idade são apresentadas na Figura 6.

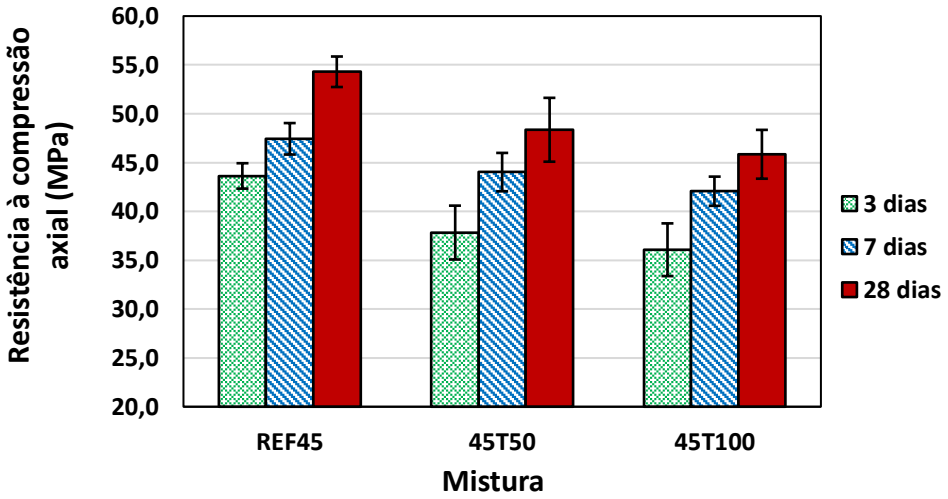


Figura 6 – Resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores, avaliados nas idades de 3, 7 e 28 dias de idade

A resistência à compressão das misturas diminuiu com o aumento do teor de agregados reciclados. Esse comportamento foi observado por Gómez-Soberón (2002), Topçu e Sengel (2004) e Tu *et al.* (2006), que verificaram que a resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados geralmente é inferior à de concretos produzidos com agregados naturais, para um mesmo consumo de cimento. Segundo dados extraídos dos referidos trabalhos, essas reduções podem atingir até a ordem de 45% da resistência dos concretos de referência. Esta redução na resistência mecânica se dá em função do aumento da porosidade e, consequentemente, maior concentração de tensões no material.

O efeito isolado do fator "agregado graúdo reciclado" em relação ao comportamento da resistência mecânica do concreto é apresentado no Quadro 3, onde se observa que a resistência à compressão das misturas diminuiu com o aumento do teor de agregados reciclados. Observa-se que paras as misturas 45T50 e 45T100 a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado reciclado acarretou na diminuição da resistência do concreto em, aproximadamente, 7% e 11%, respectivamente, aos 28 dias.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 3 - Resistência relativa à compressão, aos 28 dias, dos concretos contendo agregado reciclado em substituição ao agregado graúdo natural

Teor de substituição	Resistência relativa
0%	1,00
50%	0,93
100%	0,89

3.2.4 - Ensaio de migração de cloretos

A Figura 7 mostra a evolução da concentração de cloretos na câmara anódica durante os ensaios de migração. Foram utilizadas quatro amostras para mistura e os resultados apresentados representam a média dos valores obtidos, com seus respectivos desvios padrões. A concentração de íons cloreto (Cl^-) aumenta com o tempo, uma vez que a tensão elétrica aplicada força estes íons a migrarem em direção ao polo positivo do sistema.

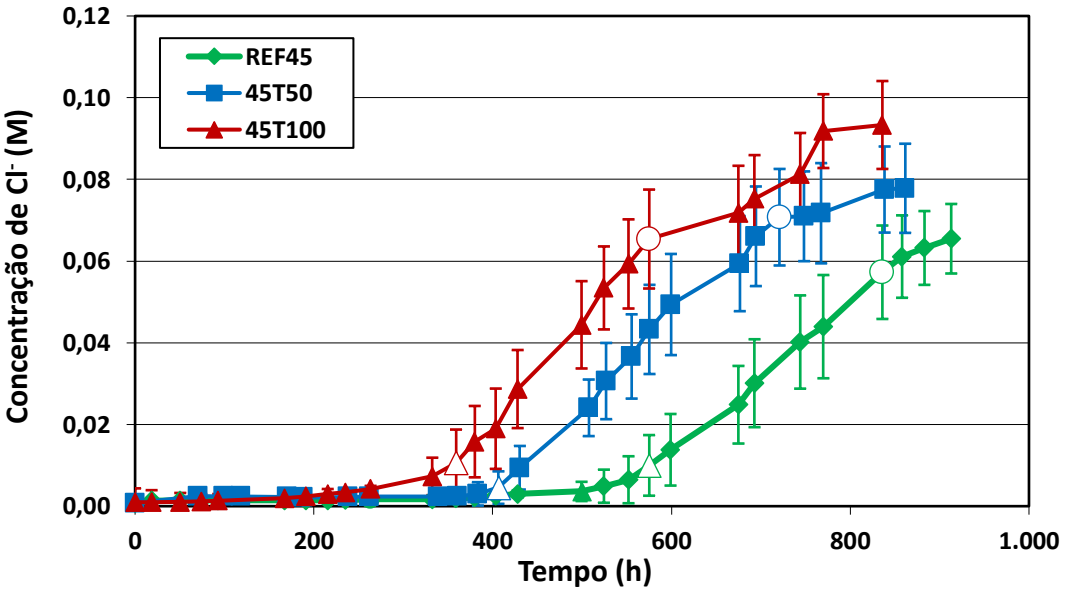


Figura 7 – Evolução da concentração de cloreto na solução presente na célula anódica, em função do tempo, para ensaios de migração de cloretos (**Δ** = início do estado estacionário e ○ = final do estado estacionário), para as misturas de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores.

Inicialmente, há um período em que a quantidade de cloretos que passa para a câmara anódica é desprezível, o chamado *time lag*. Este período de tempo será usado a seguir para estimar os valores de coeficiente de difusão no estado não estacionário, Dns. Após este período, o fluxo de íons cloro através da amostra torna-se constante e corresponde ao período de estado estacionário.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Como pode ser visto na Figura 8, o *time lag* diminui com o aumento do teor de substituição do agregado graúdo natural (AGN) pelo agregado graúdo reciclado (AGR), sendo uma provável consequência do aumento da quantidade de zonas de transição, associada à porosidade da argamassa aderida na superfície do agregado reciclado, podendo fazer com que a passagem dos íons cloro seja facilitada. Portanto, essas zonas possuem grande importância nos estudos de durabilidade, já que é através delas que ocorre a penetração preferencial dos cloretos (OTSUKI; MIYAZATO; YODSUDJAI, 2003; SHI *et al.*, 2012; RIBEIRO, 2010).

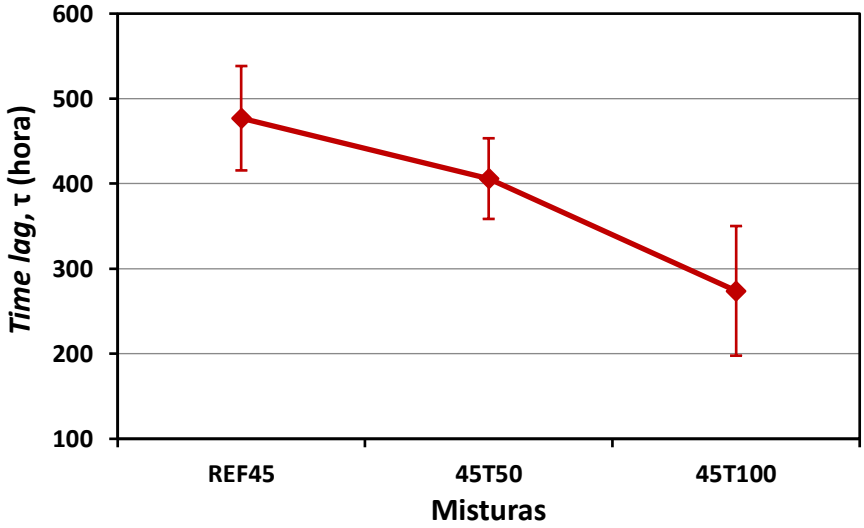


Figura 8 – Valores de *time lag*, estimados a partir de ensaios de migração de cloretos, para os concretos avaliados

Após o *time lag*, o sistema inicia o regime estacionário, que corresponde ao aumento do fluxo de íons cloro através da amostra a uma taxa constante até a estabilidade da concentração dos cloretos (CASTELLOTE *et al.*, 2001). De acordo com Ribeiro (2010), esse fluxo de íons cloro (J_{Cl}) representa a velocidade na qual os íons são conduzidos através do concreto. A Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.**9 apresenta os valores de f luxo de íons, que representa a taxa de difusão de cloretos, no regime estacionário em função do teor de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado.

É possível observar também, um crescimento no fluxo de íons à medida que se aumenta o teor de substituição do AGN pelo AGR no concreto, o que indica uma menor durabilidade do material quanto à penetração de íons cloro, uma vez que a incorporação do agregado graúdo reciclado na matriz de cimento acarretou em uma aceleração do processo de penetração de cloretos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

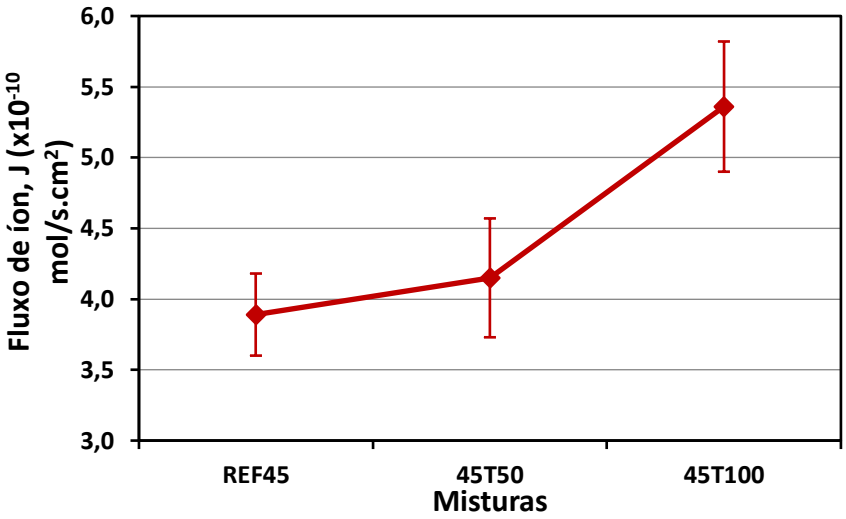


Figura 9 – Fluxo de íons cloreto (J_{Cl}), estimado a partir de ensaios de migração de cloretos, para as misturas de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores.

De forma complementar, na Figura 10 são apresentados os valores dos coeficientes de difusão nos estados estacionário e não estacionário, obtidos para os concretos estudados.

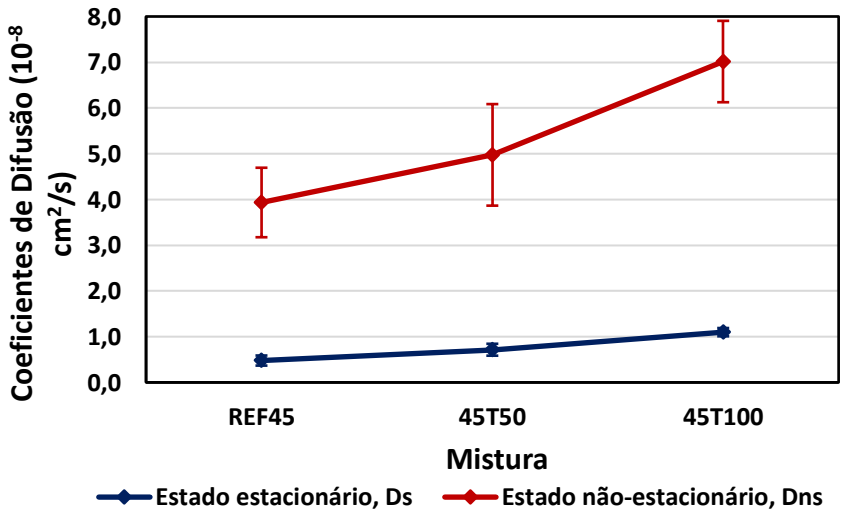


Figura 10 – Coeficientes de difusão nos estados estacionário e não estacionário, calculados a partir de ensaios de migração de cloretos, para as misturas de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores.

Os resultados dos coeficientes de difusão nos estados estacionário e não estacionário estão relacionados com os parâmetros já analisados anteriormente, como o fluxo de íons e o *time lag*.

ISBN: 978-85-65425-32-2

De acordo com Silva *et al.* (2015), é possível que o processo de britagem ao qual é submetido o agregado graúdo reciclado cause microfissuras internas, gerando uma microestrutura mais porosa. Xiao *et al*. (2012) concluíram que a largura dessas fissuras na antiga argamassa aderida na superfície do agregado é correlacionável com o coeficiente de difusão de cloretos, isto é, a difusividade aumentou à medida que a largura da fenda aumentou.

O Quadro 4, proposto por Nilsson *et al.* (1998 *apud* GJORV, 2015), apresenta uma classificação da resistência do concreto a penetração de íons cloro em função do coeficiente de difusão no regime não estacionário.

Quadro 4 - Resistência à penetração do cloreto de vários tipos de concreto (NILSSON *et al*, 1998 *apud* GJORV, 2015)

Difusividade do cloreto, Dns($\times 10^{-8}$ cm²/s)	**Resistência à penetração do cloreto**
> 15	Baixa
10 - 15	Moderada
5 - 10	Alta
2,5 - 5	Muito alta
< 2,5	Extremamente alta

O Quadro 5 resume a classificação das misturas analisadas, de acordo com os limites estabelecidos por Nilsson *et al.* (1998 *apud* GJORV, 2015), quanto à resistência à penetração de cloreto no concreto.

Quadro 5 - Classificação das misturas analisadas, de acordo com os limites estabelecidos por Nilsson *et al*. (1998 *apud* GJORV, 2015), quanto a resistência à penetração do cloreto dos concretos.

Mistura	**Difusividade média do cloreto, Dns (10^{-8} cm²/s)**	**Resistência à penetração do cloreto**
REF45	3,93	Muito alta
45T50	4,97	Muito alta
45T100	7,02	Alta

Afim de se obterem parâmetros mais sensíveis à prática da construção civil, quanto à utilização do agregado graúdo reciclado no concreto, tentou-se relacionar os resultados de penetração de cloretos obtidos com o tempo de vida útil deste material. Para esse fim, foi utilizada a segunda Lei da Difusão de Fick (Equações 8 e 9), de acordo com o proposto por Ribeiro *et al.* (2012) e Medeiros e Helene (2009).

ISBN: 978-85-65425-32-2

$$PC = 2(z)\sqrt{D_s.t} \qquad \text{Equação 8}$$

$$erf(z) = 1 - \frac{C_{cl} - C_o}{C_s - C_o} \qquad \text{Equação 9}$$

Sendo que PC (penetração de cloretos) é a profundidade em que a concentração de cloretos atinge o limite em que ocorre a despassivação da armadura (cm); D_s é o coeficiente de difusão no estado estacionário (cm²/ano); t é o tempo de vida útil (anos); erf(z) é função Gaussiana de erros; C_{cl} é a concentração de cloretos em função da profundidade e do tempo, em relação à massa de cimento (%); C_s é a concentração de cloretos na superfície (%) e C_o é a concentração inicial de cloretos (neste caso, 0%).

Tendo como base os trabalhos de Medeiros e Helene (2009) e Ribeiro *et al.* (2012), foram fixados alguns parâmetros: C_s = 1,8% e C_{Cl} = C_{dep} = 0,4% em massa de cimento, sendo C_{dep} a concentração limite de cloretos para despassivar o aço.

No presente estudo, definiu-se como vida útil, o tempo necessário para que o cloreto alcance a armadura em uma quantidade suficientemente nociva para iniciar o processo de corrosão, em estruturas com um cobrimento de concreto igual a 4 cm (valor mínimo exigido pelas normas, para ambientes agressivos, com presença de cloretos). Os resultados obtidos são apresentados na Figura 11. Estes valores são melhor visualizados na Figura 12.

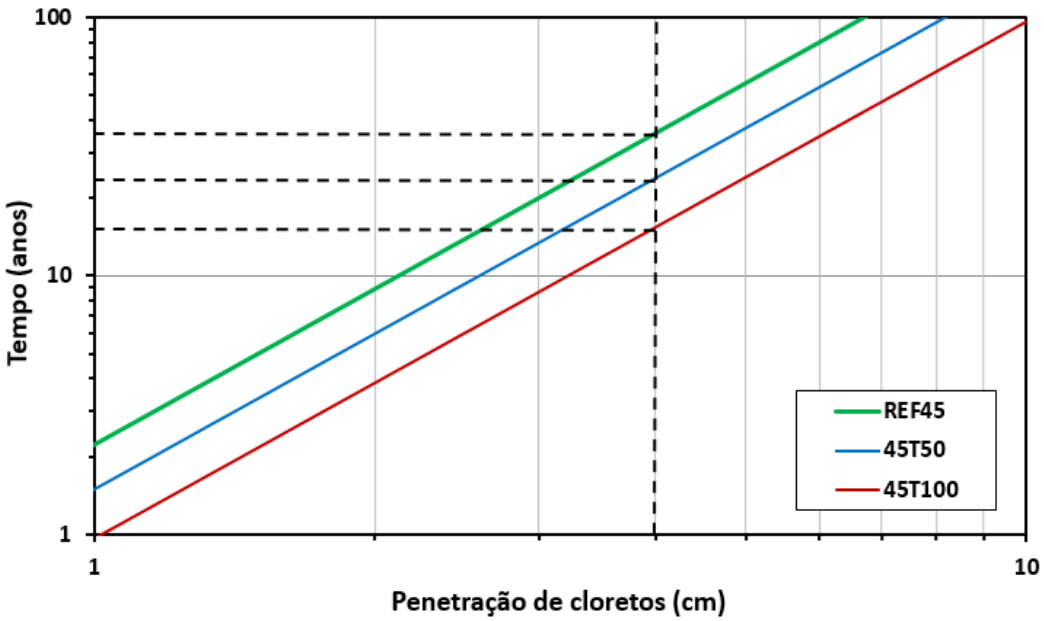


Figura 11 – Relação entre o tempo de vida útil e a penetração de cloretos (espessura em que a concentração de cloretos atinge 0,4%) para as misturas de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores.

ISBN: 978-85-65425-32-2

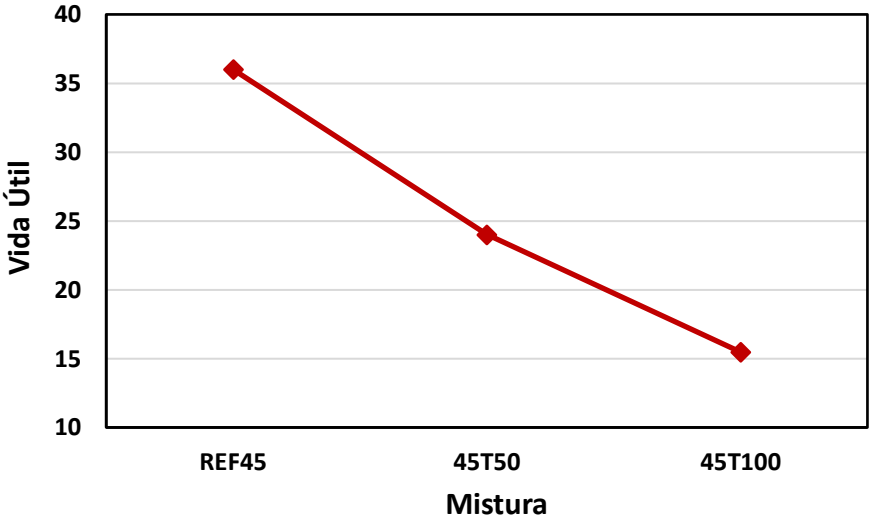


Figura 12 – Vida útil do concreto contendo agregado reciclado em diversos teores.

As amostras de referência (sem agregado reciclado) apresentaram 36 anos de vida útil e a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado diminuiu a estimativa de vida útil do concreto para 24 e 16 anos para as amostras 45T50 e 45T100, respectivamente.

4. Conclusões

Após a análise dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- O *time lag* diminuiu com o aumento do teor de substituição do AGN pelo AGR, sendo uma provável consequência do aumento da porosidade proveniente do agregado reciclado;
- O aumento da porosidade das amostras contendo agregado reciclado é um dos principais responsáveis pelo aumento do fluxo de íons e, consequentemente, dos coeficientes de difusão nos estados estacionário e não estacionário;
- Amostras de concreto contendo agregado reciclado apresentaram uma menor vida útil, atingindo um valor inferior à metade do obtido para as amostras de referência, quando a agregado reciclado substituiu integralmente o agregado natural.

Referências

ANDRADE, C. Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements. Cement and Concrete Research, p. 724-742, 1993.

ANDRADE, C. Calculation of diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements. Cement and Concrete Research, v.23, n. 3, p. 724-742, 1993.

BERTOLINI, L.; CARSANA, M.; PEDEFERRI, P. Corrosion behaviour of steel in concrete in the presence of stray current. Corrosion Science, p. 1056–1068, 2007.

ISBN: 978-85-65425-32-2

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. Life Cycle Assessment of Building Materials: Comparative Analysis of Energy and Environmental Impacts and Evaluation of the Eco-Efficiency Improvement Potential, Building and Environment, Vol. 46, No. 5, 2011, pp. 1133-1140.

CABRAL, A. E. B. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 254. 2007.

CASTELLOTE, M.; ANDRADE, C.; ALONSO, C. Measurement of the steady and non-steady-state chloride diffusion coefficients in a migration test by means of monitoring the conductivity in the anolyte chamber Comparison with natural diffusion tests. Cement and Concrete Research, p. 1411 –1420, 2001.

CASTELLOTE, M.; ANDRADE, C.; ALONSO, C. Measurement of the steady and non-steady-state chloride diffusion coefficients in a migration test by means of monitoring the conductivity in the anolyte chamber. Comparison with natural diffusion tests. Cement and Concrete Research, v.31, n. 10, p. 1411–1420, 2001.

ETXEBERRIA, M.; E.VÁZQUEZ; MARÍ, A. Microstructure analysis of hardened recycled aggregate concrete. Magazine of Concrete Research, p. 683–690, 2006.

GOMES, B.; BRITO, J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates - durability performance. Materials and Structures, v. 42, p. 663–675, 2009.

GÓMEZ-SOBERÓN, J. M. V. Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate - An experimental study. Cement and Concrete Research , p. 1301– 1311, 2002.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 290. 2001.

MEDEIROS, M. H. F. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 218. 2008.

MEDEIROS, M. H. F.; BORBA, A. Y.; HOPPE FILHO, J.; HELENE, P. R. L. Ensaio de migração de cloretos para concreto: influência do número de fatias extraídas. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, p. 475-481, 2012.

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption. Construction and Building Materials, v. 23, p. 1476–1484, 2009.

ISBN: 978-85-65425-32-2

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2ª. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

NORTON, B.; SKATES, H. Technologies for Sustainable Buildings, World Renewable Energy Congress 6, El-sevier, New York, 2000.

OTSUKI, N.; MIYAZATO, S. I.; YODSUDJAI, W. Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 15, p. 443-451, 2003.

PINTO, S. A. Correlações entre ensaios de penetração de cloretos e análise da influência do uso da sílica ativa na durabilidade do concreto armado. Dissertação (Mestrado) Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Salvador, p. 123. 2016.

RIBEIRO, D. V. Influência da adição da lama vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, p. 224. 2010.

RIBEIRO, D. V.; LABRINCHA, J. A.; MORELLI, M. R. Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete. Cement and Concrete Research, v. 42, p. 124-133, 2012.

SANTOS, L. Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília. Brasília, p. 161. 2006.

SHI, X.; XIE, N.; FORTUNE, K.; GONG, J. Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview. Construction and Building Materials, v. 30, p. 125–138, 2012.

SILVA, G. A. O. Avaliação da durabilidade de concretos contendo agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCC). Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Salvador, p. 217. 2017.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; NEVES, R.; DHIR, R. Carbonation behaviour of recycled aggregate concrete. Cement and Concrete Composites , p. 22–32, 2015.

TONG, L.; GJøRV, O. E. Chloride diffusivity based on migration testing. Cement and Concrete Research, p. 973–982, 2001.

TONG, L.; GJØRV, O.E. Chloride diffusivity based on migration testing. Cement and Concrete Research. v.31, n. 7, p. 973-982, 2001.

TOPÇU, I. B.; SENGEL, S. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. Cement and Concrete Research , p. 1307–1312, 2004.

ISBN: 978-85-65425-32-2

TROIAN, A. Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloretos. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2010.

TU, T. Y.; CHEN, Y. Y.; HWANG, C. L. Properties of HPC with recycled aggregates. Cement and Concrete Research, p. 943–950, 2006.

VIEIRA, G. L. Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre , p. 150. 2003.

WEIL, M.; JESKE, U.; SCHEBEK, L. Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values. Waste Management and Research, p. 197–206, 2006.

XIAO, J.; SUN, Y.; FALKNER, H. Seismic performance of frame structures with recycled aggregate concrete. Engineering Structures , p. 1–8, 2006.

XIAO, J.; YING, J.; SHEN, L. FEM simulation of chloride diffusion in modeled recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, v. 29, p. 12-23., 2012.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM CONCRETOS CONTENDO AGREGADO RECICLADO

Evaluation Of The Carbonation Depth On Concrete Containing Recycled Aggregate

SILVA, G. A. O.[1], AMORIM JÚNIOR, N. S.[2], RIBEIRO, D. V.[3]

[1] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, guilhermeoliveira.09@hotmail.com

[2] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, nilson.amorim18@gmail.com

[3] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, verasribeiro@hotmail.com

Resumo: A geração de resíduos de construção civil (RCC) aumentou consideravelmente na última década e, consequentemente, aumentaram as preocupações sociais e ambientais sobre a reciclagem deste material. A utilização desses resíduos, em substituição aos agregado naturais (AGN) no concreto, apresenta-se como uma alternativa de reciclagem, de redução de custos e de matéria-prima. No entanto, para a utilização de concretos contendo agregado reciclado (AGR) em elementos estruturais é necessário o estudo prévio acerca da durabilidade desses artefatos. Com isso, este estudo avalia as propriedades relacionadas à penetração de CO_2, por meio da avaliação da profundidade de carbonatação, verificada pela aspersão de fenolftaleína, em concretos contendo agregado reciclado, além da realização de uma extensa caracterização dos materiais constituintes das misturas. Foram utilizados, neste trabalho, artefatos com relação água/cimento de 0,45 e teores de substituição iguais a 0%, 50% e 100% do AGN pelo AGR. Com base nos resultados das investigações experimentais, os concretos contendo agregados reciclados, obtiveram uma maior profundidade de carbonatação devido à maior porosidade relacionada aos agregados provenientes de resíduo de construção civil.

Palavras-chave: RCC, Concreto, Carbonatação.

Abstract: Generation of construction waste has increased considerably in the last decade and, consequently, increased social and environmental concerns about the recycling of this material. The use of these residues, replacing the natural aggregates (NA) in concrete, presents itself as an alternative of recycling, reduction of costs and raw material. However, for the use of concrete containing recycled aggregate of concrete (RAC) in structural elements it is necessary to study the durability of these artifacts. This study evaluates the properties related to CO_2 penetration by assessing the carbonation depth verified by the phenolphthalein spray in concretes containing recycled aggregate, as well as the extensive characterization of the materials constituting the mixtures. In this work, artifacts with water/cement ratio of 0,45 and substitution contents equal to 0%, 50% and 100% of NA by RAC were used in this work. Based on the results of the experimental investigations, the concrete recycled added, obtained a greater depth of carbonation due to the greater porosity related to the aggregates of civil construction waste.

Keywords: Construction waste, Concrete, Carbonation.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

A viabilidade técnica de reinserção do material reciclado como agregado em novas matrizes cimentícias é o objeto de várias pesquisas. Grande parte delas tem como foco principal as questões relacionadas à resistência mecânica destes novos compostos (BAZUCO, 1999; LEITE, 2001; BUTTLER, 2003; CABRAL, 2007; LOVATO, 2007), confirmando que, se inserido até determinado limite (aproximadamente 30%, em massa), em substituição ao agregado graúdo natural, é possível usar este agregado graúdo reciclado para a confecção de concretos para fins estruturais.

O concreto confeccionado com resíduo de construção civil (RCC) tende a apresentar uma microestrutura mais porosa, pois, além do agregado de RCC ser, de maneira geral, mais poroso do que um agregado natural, devido à presença de cerâmica e argamassa, a interação que ocorre entre a pasta e os agregados reciclados tende a gerar um concreto mais permeável (CABRAL, 2007). Deste modo, além de observar a resistência à compressão e à tração, propriedades básicas para a verificação do desempenho de concreto armado, também é de suma importância a observação da durabilidade do novo produto, principalmente quando se pretende adotar o resíduo para a confecção de um concreto estrutural.

A hidratação do cimento gera, genericamente, silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), que conferem resistência ao material, e hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), principal responsável pela geração de um ambiente alcalino (pH em torno de 12,5 a 13). No concreto armado, a elevada alcalinidade gera uma camada passivante ao longo das barras de aço, que as protegem do fenômeno da corrosão.

Dentre os várias agentes de deterioração do concreto, o CO_2 é um dos principais e sua reação com os compostos do concreto (carbonatação) afeta a integridade do aço no concreto armado. A ação deste agente agressivo altera química e fisicamente a microestrutura do concreto, tornando as armaduras vulneráveis à corrosão, influenciando diretamente na durabilidade deste material.

O fenômeno da carbonatação pode ser ocasionado pelas reações químicas provenientes da interação entre os principais constituintes presentes na atmosfera, como o CO_2 (gás carbônico) com os produtos da hidratação do cimento, que se encontram no líquido intersticial dos poros (CUNHA; HELENE, 2001).

Um dos fenômenos associados à carbonatação é a redução do pH da solução dos poros do concreto de 12,6 a menos de 9,0, aproximadamente. Em consequência disso, o filme de óxidos passivantes do aço pode ser destruído e pode ocorrer uma corrosão acelerada (PAPADAKIS *et al*., 1992).

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

Os artefatos de concreto foram produzidos com um cimento Portland CP V-ARI, da marca Nacional, comercialmente encontrado no Estado da Bahia, Brasil. A brita utilizada é de origem basáltica e a areia é natural, proveniente de jazida localizada no município de Camaçari, situado na região metropolitana de Salvador, Bahia. Para as misturas foi

ISBN: 978-85-65425-32-2

utilizada água proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Salvador, fornecida pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (Embasa).

O agregado reciclado empregado neste trabalho é proveniente da Unidade de Valorização de Resíduos no Centro de Tratamento de Resíduos Grajaú (CTR Grajaú) e é produzido a partir da britagem dos resíduos de construção civil gerados na cidade de São Paulo, Brasil. O CTR Grajaú é a maior central de tratamento de resíduos de construção civil da América do Sul, com produção de 500 mil t/ano (350 t/h).

2.2 Métodos

2.2.1 - Caracterização dos materiais constituintes e dosagem do concreto

Para a caracterização física do cimento foram avaliados parâmetros como: a distribuição do tamanho de partículas por meio de sedigrafia a laser (aparelho Horiba CAPA-700); área superficial específica BET (aparelho Gemini 2370 V1.02 – Micrometrics) e massa específica por picnometria a gás hélio (picnômetro Micromeritics AccuPyc II 1340).

No caso da caracterização dos agregados, foram empregados os métodos prescritos nas Normas Brasileiras vigentes, para determinar: a distribuição granulométrica, bem como a dimensão máxima característica e o módulo de finura - NBR NM 248:2003 (“Agregados – Determinação da composição granulométrica”); a massa específica da areia - NBR NM 52:2009 (“Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente”); a massa específica da brita e do agregado reciclado – NBR NM 53:2009 (“Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”); a massa unitária - NBR NM 45:2006 (“Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios”); o teor de material pulverulento – NBR NM 46:2003 (“Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem”); a absorção de água do agregado reciclado - NBR NM 53:2009 (“Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”); e o índice de forma do agregado reciclado - NBR 7809:2006 (“Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio”).

Para a dosagem dos concretos que foram empregados neste estudo, foi adotado o método ACI, por meio da curva de Abrams, com um valor de abatimento pré-fixado, neste caso de 100 ± 20 mm. Foram moldados corpos de prova cilíndricos, com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, para a determinação das propriedades físicas e mecânicas e para a realização do ensaio de carbonatação. Os corpos de prova permaneceram em cura imersa até o momento do ensaio, 28 dias, com controle de temperatura e umidade (25 ± 1 °C e 80 ± 5%) do ambiente.

Para esta pesquisa foram elaboradas três dosagens, sendo o consumo de material por metro cúbico (m^3), bem como as características das misturas, apresentados no Quadro 1.

Foram avaliados, para a relação água/cimento 0,45, dois diferentes teores de substituição (50% e 100%) de agregado graúdo natural (AGN) pelo agregado graúdo

ISBN: 978-85-65425-32-2

reciclado (AGR), além dos corpos de prova de referência, com 0% de substituição do AGN pelo AGR.

Quadro 1 - Consumo de materiais por m^3 e característica das misturas de concreto utilizadas nesta etapa do projeto

Nomenclatura	Relação água/cimento	Teor de RCC	Consumo dos Materiais (kg/m³)			
			Cimento	Areia	Brita	Agregado reciclado
REF45	0,45	0%	471	744	988	-
45T50		50%	471	744	494	456
45T100		100%	471	744	-	912

Para a moldagem dos corpos de prova foi realizada uma substituição volumétrica do agregado natural pelo agregado reciclado. Este procedimento tem como objetivo evitar uma distorção entre os volumes do concreto convencional e o contendo agregado reciclado. A Equação (1) mostra o cálculo para substituição volumétrica, onde MAR é a massa do agregado reciclado, MAN a massa do agregado natural, ρ_{AR} a massa específica do agregado reciclado e ρ_{AN} a massa específica do agregado natural.

$$M_{AR} = \frac{M_{AN} \cdot \rho_{AR}}{\rho_{AN}} \quad (1)$$

Quanto à metodologia de dosagem, devido à elevada taxa de absorção dos agregados reciclados, foi adotada uma pré-molhagem dos mesmos. Alguns autores (LEITE 2001; VIEIRA 2003) utilizaram em suas pesquisas, teores de pré-molhagem em torno de 40% a 50% do total da água absorvida pelo agregado em 24 horas. Assim, foi adotada, nesta pesquisa, uma compensação de água por 10 minutos com 50%, em massa, da absorção do agregado. Utilizou-se esse valor porque, segundo estudos realizados por Troian (2010), dentre os teores de pré-molhagem avaliados, este foi o que apresentou melhores resultados, quanto às propriedades mecânicas dos concretos.

2.2.2 - Caracterização do concreto

2.2.2.1 - Densidade e porosidade aparentes

Para determinação da densidade e porosidade aparentes dos concretos, foi utilizado o princípio de Arquimedes. A técnica consiste em comparar as massas dos corpos de prova, com 28 dias de idade, antes e depois da imersão em água. As amostras são pesadas ainda secas (Ms) e, então, imersas em água por 24 horas. Após esse período, determinam-se a massa imersa (Mi) e a massa úmida (Mu). Com estes valores é possível calcular a porosidade aparente (Pa) e a densidade aparente (Da), através das Equações (2) e (3), respectivamente:

ISBN: 978-85-65425-32-2

$$P_A = 100.\frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \quad (2)$$

$$D_A = \rho\ \frac{M_s}{M_u - M_i} \quad (3)$$

Onde ρ é a densidade do líquido utilizado (no caso, a água, ρ é igual a 1,0 g/cm³).

2.2.2.2 - Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por ascensão capilar foi determinada utilizando-se as prescrições da NBR 9779:2012 ("Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade").

Durante o ensaio, determina-se a massa saturada (Msat) dos corpos de prova com intervalos de tempo normalizados pela NBR 9779:1995 ("Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção da água por capilaridade"). Assim, a absorção de água por capilaridade (C) pode ser calculada com o auxílio da Equação (4), onde (S) representa a área da seção transversal do corpo de prova, expresso em cm². A absorção (C) é expressa em g/cm².

$$C = \frac{M_{sat} - M_s}{S} \quad (4)$$

2.2.2.3 - Resistência à compressão axial do concreto

Os ensaios de resistência à compressão axial seguem as recomendações da NBR 5739:2007 ("Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos"), para corpos de prova com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

Os ensaios de compressão axial foram realizados nas idades de 3, 7 e 28 dias, utilizando-se 5 corpos de prova por idade. O limite de resistência à compressão é calculado utilizando-se a Equação (5).

$$R_c = \frac{4.P}{\pi.d^2} \quad (5)$$

, em que Rc é a resistência limite à compressão; P é carga máxima suportada pelo corpo de prova; e d representa o diâmetro do corpo de prova.

2.2.3 – Avaliação da profundidade de carbonatação

Para determinar a profundidade de carbonatação com maior precisão, é necessário um estudo de seções microscópicas, com o auxílio de prismas de Nicol. Deste modo, o carbonato de cálcio sofre dupla refração que produz uma cor clara, podendo contrastar com a pasta de cimento endurecida, que aparece escuro, como material opticamente isotrópico (HELENE, 1999 *apud* RIBEIRO, 2010). No entanto, por não ser uma técnica

ISBN: 978-85-65425-32-2

muito acessível, tradicionalmente se utilizam outras técnicas para a determinação da profundidade de carbonatação.

Neste estudo foi utilizado o método mais tradicional para a determinação da profundidade da carbonatação, que consiste na pulverização de uma solução de fenolftaleína, que apresenta uma coloração róseo-avermelhada com valores de pH iguais ou superiores ao valor aproximado de 9 e incolor abaixo desse valor.

De acordo com Ribeiro (2010), a determinação da profundidade de carbonatação, por meio desta técnica, deve ser cuidadosa e nunca sobre os corpos de prova serrados, molhados ou alterados por deficiência de técnicas de amostragem. Deve-se, então, quebrar uma porção local e imediatamente aplicar o indicador.

No presente estudo, o ensaio foi baseado nos procedimentos estabelecidos pela ISO 1920-12:2015 ("*Testing of concrete – Part 12: Determination of the carbonation resistance of concrete – Accelerated carbonation method*") e em uma metodologia aplicada por Barin (2008) e Tasca (2012) e apresentada por Campos (2015).

Foram moldados corpos de prova cilíndricos com 100 mm x 200 mm (diâmetro x altura), que permaneceram em cura úmida até os 27 dias, quando foram cortados para a extração de uma fatia com altura de 60 mm, totalizando duas fatias por mistura. As extremidades dos corpos de prova foram desprezadas, utilizando-se o disco central por cilindro, para tentar alcançar a maior uniformidade de mistura nas amostras, conforme mostra a Figura 1.

Após o corte, os discos foram mantidos por 14 dias em laboratório com umidade relativa do ar de (75 ± 5)% e temperatura ambiente de (22 ± 2)ºC, para redistribuição da umidade e para permitir a desobstrução dos poros preenchidos com água durante a cura, completando, assim, a idade de 42 dias das amostras. Em seguida, os discos foram selados na sua face lateral com parafina, para garantir a penetração do CO_2 somente nas faces planas superior e inferior dos discos, e permitindo a medição da profundidade carbonatada ao final do ensaio.

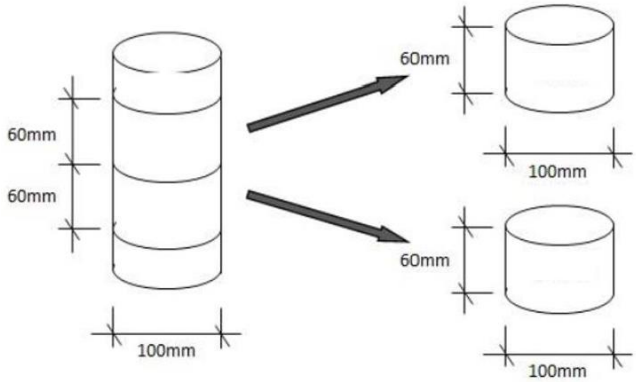


Figura 1 – Esquema de obtenção das amostras para o ensaio de carbonatação (CAMPOS, 2015)

Após o processo de preparação das amostras, elas foram colocadas em câmara de carbonatação da marca QUIMIS, sob temperatura de (27 ± 2)ºC, concentração de CO_2 de (3,0 ± 0,5)% e umidade relativa de (65 ± 5)%, onde permaneceram até o final do

ISBN: 978-85-65425-32-2

ensaio, de acordo com a ISO 1920-12:2015. As medidas foram feitas ao final de 9 e 15 semanas de exposição.

O procedimento de aspersão da solução aquoalcóolica, contendo 1 g de fenolftaleína dissolvida em 100 ml de uma solução composta de 70 ml de etanol e 30 ml de água deionizada foi realizado após o período de exposição ao CO_2, quando os corpos de prova foram retirados da câmara e rompidos à tração por compressão diametral, dividindo os discos em duas metades.

A seguir, foi removido com pincel qualquer excesso de material pulverulento sobre as superfícies e aspergido o indicador químico a base de fenolftaleína. Após dez minutos da aspersão da solução, foram feitas fotografias com câmera digital e, com o auxílio do programa computacional de desenho técnico AutoCAD, foi medida a profundidade de carbonatação devido à reação concreto-solução.

O indicador químico fenolftaleína, possui pH de viragem em torno de 9, permitindo identificar visualmente as regiões com diferentes níveis de pH existente num exemplar parcialmente carbonatado. Em áreas carbonatadas o pH é reduzido para em torno de 9, mantendo a área aspergida incolor e nas áreas não carbonatadas o pH permanece elevado, em torno de 13, gerando uma área com coloração vermelho-carmim após a aspersão do indicador. Vale ressaltar que este é um método de medição indireta, ou seja, a superfície que apresenta a cor vermelho carmim não indica necessariamente ausência de carbonatação, mas, pH superior a 9. Apesar disso, segundo Pauletti (2009), não existe problema algum em se fazer uso desses indicadores quando os ensaios de carbonatação são realizados de forma comparativa.

3. Resultados e discussões

3.1 Caracterização dos materiais constituintes do concreto

Os resultados de caracterização física dos materiais constituintes utilizados são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Caracterização física dos insumos utilizados na confecção dos corpos de prova e limites estabelecidos pela normatização brasileira

Características	Cimento	Areia	Brita	Agregado reciclado	Limites NBR 15116**
Área específica (Blaine, cm²/g)	4255	-	-	-	-
Diâmetro médio das partículas (D50, mm)	0,009	0,42	15,6	14,8	-
Massa específica (g/cm³)	3,162	2,68	2,73	2,52	-
Dimensão máxima característica (mm)	-	1,18	19,0	19,0	-

ISBN: 978-85-65425-32-2

Módulo de finura	-	1,32	6,98	6,94	-
Massa unitária solta (kg/dm³)	-	1,46	1,47	1,27	-
Material pulverulento (%)	-	2,20	0,38*	2,02	≤ 10,0
Absorção de água (%)	-	-	0,43	4,48	≤ 7,0
Índice de forma	-	-	2,29	2,00	-

*resultado obtido após lavagem

**NBR 15116:2004 ("Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos")

3.2 Caracterização do concreto no estado endurecido

3.2.1 - Porosidade e densidade aparentes

Os resultados obtidos aos 28 dias para a densidade e porosidade aparentes dos concretos moldados são apresentados na Figura 2.

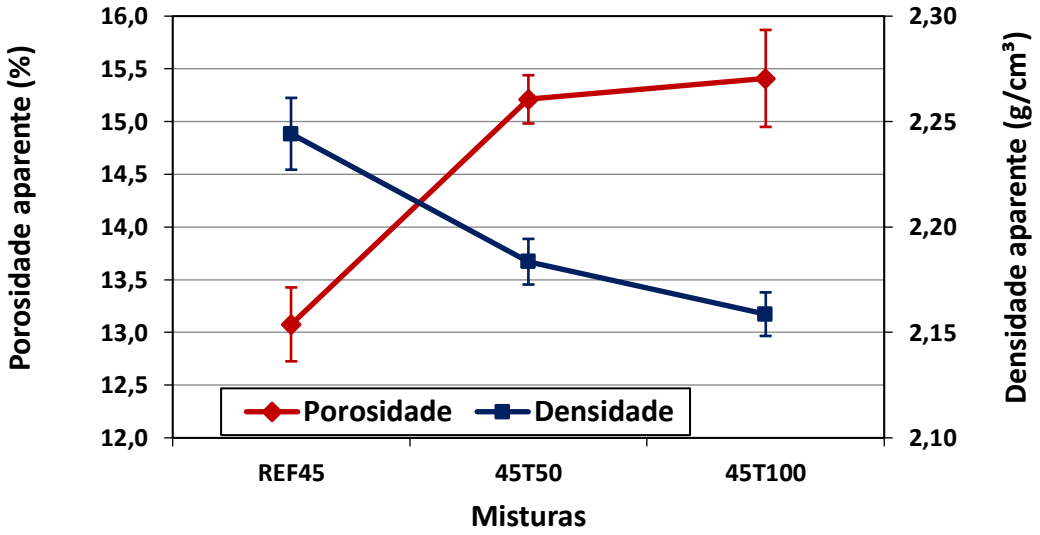


Figura 2 – Densidade e porosidade aparentes dos corpos de prova de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores, ensaiados aos 28 dias de idade

Observa-se que, com a substituição da brita pelo agregado reciclado, houve um decréscimo da densidade aparente e um aumento da porosidade aparente desses concretos quando comparado aos valores obtidos nas dosagens de referência. Isto é explicado pelo fato de que quase 50% do agregado reciclado utilizado nesse estudo é composto por concreto e argamassa. De acordo com Etxeberria *et al.* (2006), quando o agregado reciclado é

ISBN: 978-85-65425-32-2

composto basicamente por pasta/argamassa antiga aderida em sua superfície, a porosidade é muito elevada. Deste modo, à medida que se aumenta o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, a porosidade dos concretos produzidos tende a aumentar, uma vez que se aumenta gradativamente o teor de pasta no concreto, aumentando-se o volume de poros, visto que claramente a argamassa é mais porosa que o agregado natural.

3.2.2 - Absorção de água por capilaridade

A Figura 3 apresenta os valores de coeficientes de absorção capilar obtidos para os concretos contendo agregado reciclado, submetidos ao ensaio de absorção de água por capilaridade durante 72 horas.

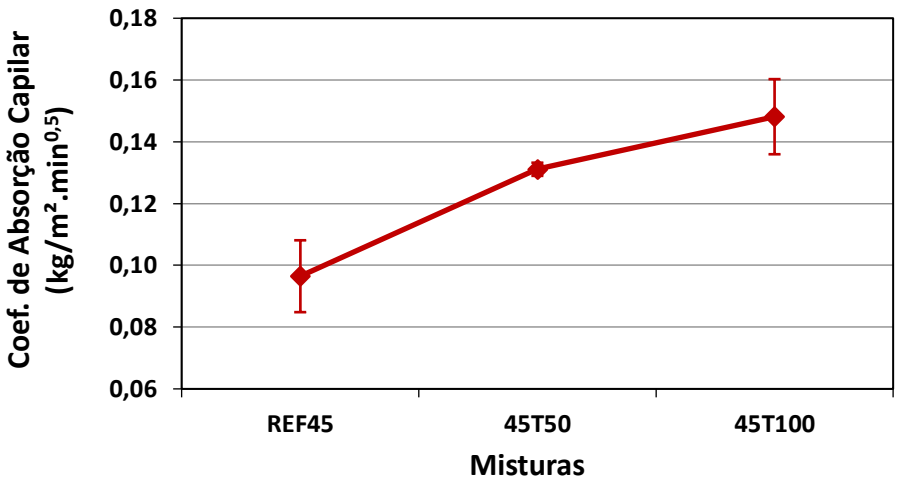


Figura 3 – Coeficiente de absorção capilar de concretos avaliados aos 28 dias

Observa-se que a absortividade do concreto aumenta em função do aumento da substituição da brita pelo agregado graúdo reciclado (AGR), quando comparado aos valores obtidos na referência. Analisando o fator “teor de agregado reciclado”, a quantidade de água absorvida aumenta devido, provavelmente, a um aumento na quantidade, comprimento e interconectividade dos capilares dentro da matriz do concreto, resultante da porosidade da argamassa aderida aos agregados naturais originais (GOMES; BRITO 2009).

3.2.3 - Resistência mecânica

As médias dos resultados de resistência à compressão dos concretos aos 3, 7 e 28 dias de idade são apresentadas na Figura 4.

ISBN: 978-85-65425-32-2

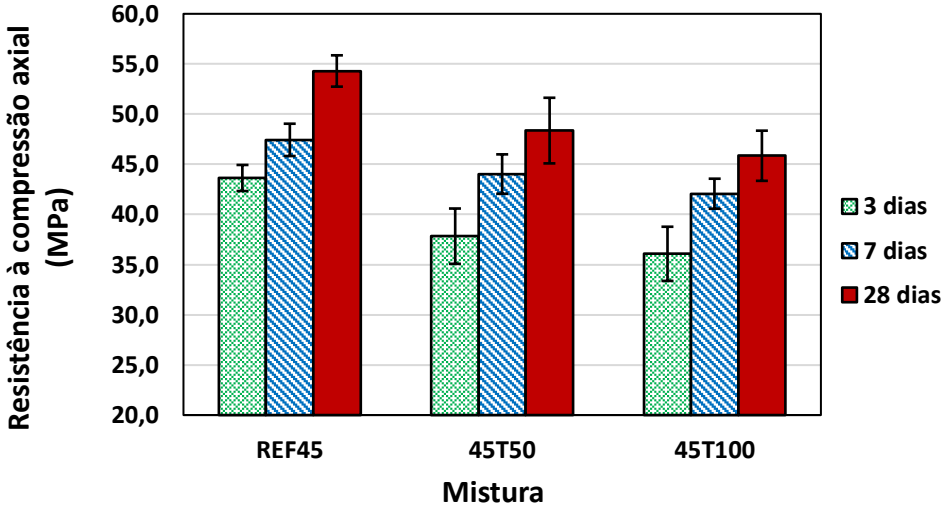


Figura 4 – Resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores, avaliados nas idades de 3, 7 e 28 dias de idade

A resistência à compressão das misturas diminuiu com o aumento do teor de agregados reciclados. Esse comportamento foi observado por Gómez-Soberón (2002), Topçu e Sengel (2004) e Tu *et al.* (2006), que verificaram que a resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados geralmente é inferior à de concretos produzidos com agregados naturais, para um mesmo consumo de cimento. Segundo dados extraídos dos referidos trabalhos, essas reduções podem atingir até a ordem de 45% da resistência dos concretos de referência. Esta redução na resistência mecânica se dá em função do aumento da porosidade e, consequentemente, maior concentração de tensões no material.

O efeito isolado do fator “agregado graúdo reciclado” em relação ao comportamento da resistência mecânica do concreto é apresentado no Quadro 3, onde se observa que a resistência à compressão das misturas diminuiu com o aumento do teor de agregados reciclados. Observa-se que paras as misturas 45T50 e 45T100 a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado reciclado acarretou na diminuição da resistência do concreto em, aproximadamente, 7% e 11%, respectivamente, aos 28 dias.

Quadro 3 - Resistência relativa à compressão, aos 28 dias, dos concretos contendo agregado reciclado em substituição ao agregado graúdo natural

Teor de substituição	Resistência relativa
0%	1,00
50%	0,93
100%	0,89

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2.4 – Avaliação da profundidade de carbonatação

Com o objetivo de verificar a influência do agregado reciclado na durabilidade dos concretos, um dos parâmetros mais importantes a ser analisado é a carbonatação. Para isso, neste estudo, foram utilizados dois corpos de prova para cada idade avaliada (9 e 15 semanas) de exposição ao CO_2. Os corpos de prova foram rompidos por tração na compressão diametral e, na sua superfície de fratura, foi borrifada uma solução aquosa-alcóolica, contendo 1 g de fenolftaleína dissolvida em 100 ml de uma solução composta de 70 ml de etanol e 30 ml de água deionizada, que, quando em contato com a amostra, apresenta coloração róseo-avermelhada para valores de pH iguais ou superiores a, aproximadamente, 9 e, incolor, abaixo desse valor. Assim, a região carbonatada apresenta-se incolor.

Nas Figuras 5 e 6 pode-se observar a profundidade de carbonatação para os diferentes teores de substituição do agregado graúdo natural (AGN) pelo agregado graúdo reciclado (AGR) após 9 (nove) e 15 (quinze) semanas, respectivamente, de exposição ao CO_2 na câmara de carbonatação.

Figura 5 – Profundidades de carbonatação do concreto, identificadas por aspersão de solução aquosa-alcóolica contendo 1% de fenolftaleína, após 9 semanas de exposição ao CO_2 na câmara de carbonatação, das amostras de concreto REF45, 45T50 e 45T100.

ISBN: 978-85-65425-32-2

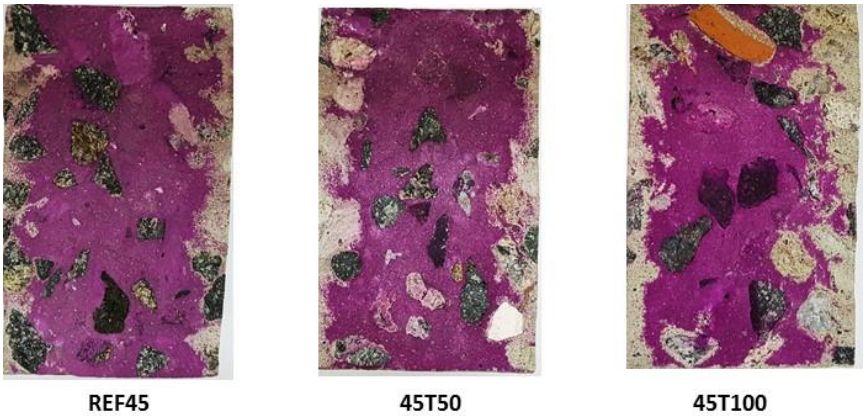


Figura 6 – Profundidade de carbonatação do concreto, identificadas por aspersão de solução aquosa-alcóolica contendo 1% de fenolftaleína, após 15 semanas de exposição ao CO_2 na câmara de carbonatação, das amostras de concreto REF45, 45T50 e 45T100.

A Figura 7 apresenta valores médios das profundidades de carbonatação, obtidas por meio da aspersão de uma solução aquosa-alcóolica de fenolftaleína.

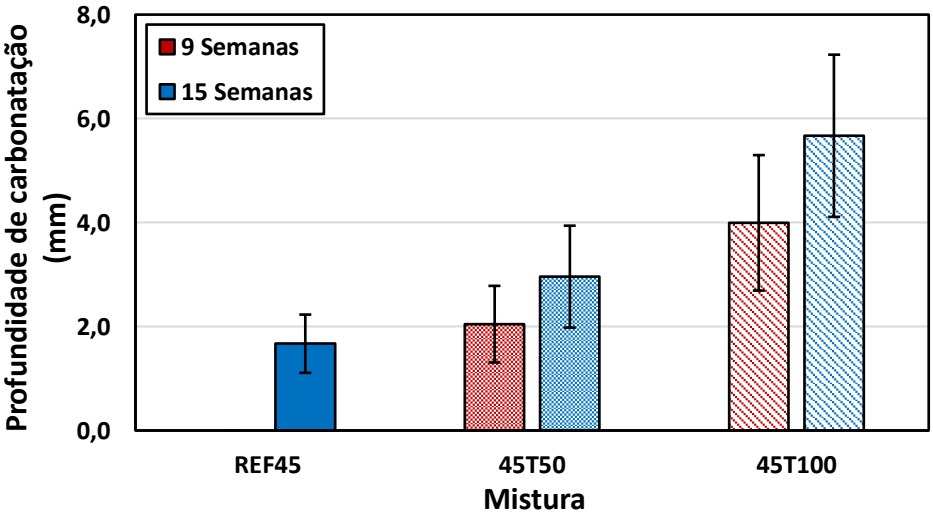


Figura 7 – Profundidade de carbonatação dos corpos de prova de concreto contendo agregado reciclado em diversos teores, após 9 e 15 semanas de exposição à câmara de carbonatação, obtida por meio da aspersão de uma solução aquo-alcóolica de fenolftaleína.

Nas amostras REF45 não foi possível identificar visualmente indícios de carbonatação após 9 (nove) semanas de exposição ao CO_2 na câmara de carbonatação. No entanto, para as misturas 45T50 e 45T100 foram obtidas profundidades de carbonatação médias de 2,12 mm e 3,97 mm, respectivamente. Após 15 (quinze) semanas de exposição ao CO_2 foram obtidos os valores de profundidade de carbonatação iguais a 1,67, 2,96 e 5,67, respectivamente, para as amostras REF45, 45T50 e 45T100. Observa-se que há uma

ISBN: 978-85-65425-32-2

tendência de aumento da profundidade de carbonatação à medida que se aumenta o teor de substituição do AGN pelo AGR.

Wu e Song (2006 *apud* LI, 2008) avaliaram a resistência à carbonatação do concreto contendo AGR, por meio de testes realizados em condições de carbonatação acelerada. Eles verificaram que, quanto maior for o teor de incorporação do agregado graúdo reciclado, maior será a profundidade de carbonatação. Os autores afirmam ainda, que, para um teor de substituição de 60% de AGN pelo AGR, a profundidade de carbonatação é 62% maior do que em um concreto de referência. A alta porosidade do agregado reciclado e a zona de interface entre a antiga argamassa aderida em sua superfície e o antigo agregado são os grandes responsáveis por este fenômeno, fazendo com que o concreto fique mais permeável (OTSUKI; MIYAZATO; YODSUDJAI, 2003; WU; SONG, 2006 *apud* LI, 2008).

A taxa e a extensão do processo de carbonatação dependem dos valores relativos de permeabilidade da nova argamassa e das propriedades do agregado reciclado utilizado (THOMAS *et al*., 2013). Werle, Kazmierczak e Kulakowski (2011) verificaram que concretos contendo agregado reciclado de resistência inferior ao novo concreto apresentam maior velocidade de carbonatação, acarretando em um maior coeficiente de difusão, além de uma maior dispersão de resultados.

4. Conclusões

Após a análise dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- Os concretos produzidos com agregado reciclado (AGR) apresentaram uma menor resistência à compressão axial, no entanto, esta redução não afeta a possibilidade de aplicação, mesmo quando o AGN é substituído integralmente pelo AGR;
- Os concretos produzidos com agregado reciclado (AGR) apresentaram uma maior porosidade aparente, quando comparados com os concretos de referência, acarretando em uma menor densidade aparente e em uma maior absortividade;
- A substituição do agregado graúdo natural (AGN) pelo agregado graúdo reciclado (AGR) promoveu o aumento profundidade de carbonatação do concreto, como consequência de uma maior porosidade e presença de mais zonas de interface.

Referências

ANDRADE, C. Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements. Cement and Concrete Research, p. 724-742, 1993.

ANDRADE, C. Calculation of diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements. Cement and Concrete Research, v.23, n. 3, p. 724-742, 1993.

BERTOLINI, L.; CARSANA, M.; PEDEFERRI, P. Corrosion behaviour of steel in concrete in the presence of stray current. Corrosion Science, p. 1056–1068, 2007.

ISBN: 978-85-65425-32-2

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. Life Cycle Assessment of Building Materials: Comparative Analysis of Energy and Environmental Impacts and Evaluation of the Eco-Efficiency Improvement Potential, Building and Environment, Vol. 46, No. 5, 2011, pp. 1133-1140.

CABRAL, A. E. B. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 254. 2007.

CASTELLOTE, M.; ANDRADE, C.; ALONSO, C. Measurement of the steady and non-steady-state chloride diffusion coefficients in a migration test by means of monitoring the conductivity in the anolyte chamber Comparison with natural diffusion tests. Cement and Concrete Research, p. 1411 –1420, 2001.

CASTELLOTE, M.; ANDRADE, C.; ALONSO, C. Measurement of the steady and non-steady-state chloride diffusion coefficients in a migration test by means of monitoring the conductivity in the anolyte chamber. Comparison with natural diffusion tests. Cement and Concrete Research, v.31, n. 10, p. 1411–1420, 2001.

CUNHA, A. C. Q. da; HELENE, P. R. Despassivação das Armaduras de Concreto por Ação da Carbonatação. São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica, 2001.

ETXEBERRIA, M.; E.VÁZQUEZ; MARÍ, A. Microstructure analysis of hardened recycled aggregate concrete. Magazine of Concrete Research, p. 683–690, 2006.

GOMES, B.; BRITO, J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates - durability performance. Materials and Structures, v. 42, p. 663–675, 2009.

GÓMEZ-SOBERÓN, J. M. V. Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate - An experimental study. Cement and Concrete Research , p. 1301– 1311, 2002.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 290. 2001.

MEDEIROS, M. H. F. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 218. 2008.

MEDEIROS, M. H. F.; BORBA, A. Y.; HOPPE FILHO, J.; HELENE, P. R. L. Ensaio de migração de cloretos para concreto: influência do número de fatias extraídas. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, p. 475-481, 2012.

ISBN: 978-85-65425-32-2

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption. Construction and Building Materials, v. 23, p. 1476–1484, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2ª. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

NORTON, B.; SKATES, H. Technologies for Sustainable Buildings, World Renewable Energy Congress 6, El-sevier, New York, 2000.

OTSUKI, N.; MIYAZATO, S. I.; YODSUDJAI, W. Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 15, p. 443-451, 2003.

RIBEIRO, D. V. Influência da adição da lama vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, p. 224. 2010.

RIBEIRO, D. V.; LABRINCHA, J. A.; MORELLI, M. R. Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete. Cement and Concrete Research, v. 42, p. 124-133, 2012.

SANTOS, L. Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília. Brasília, p. 161. 2006.

SHI, X.; XIE, N.; FORTUNE, K.; GONG, J. Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview. Construction and Building Materials, v. 30, p. 125–138, 2012.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; NEVES, R.; DHIR, R. Carbonation behaviour of recycled aggregate concrete. Cement and Concrete Composites , p. 22–32, 2015.

TONG, L.; GJøRV, O. E. Chloride diffusivity based on migration testing. Cement and Concrete Research, p. 973–982, 2001.

TONG, L.; GJØRV, O.E. Chloride diffusivity based on migration testing. Cement and Concrete Research. v.31, n. 7, p. 973-982, 2001.

TOPÇU, I. B.; SENGEL, S. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. Cement and Concrete Research , p. 1307–1312, 2004.

TROIAN, A. Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloretos. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2010.

ISBN: 978-85-65425-32-2

TU, T. Y.; CHEN, Y. Y.; HWANG, C. L. Properties of HPC with recycled aggregates. Cement and Concrete Research, p. 943–950, 2006.

VIEIRA, G. L. Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre , p. 150. 2003.

WEIL, M.; JESKE, U.; SCHEBEK, L. Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values. Waste Management and Research, p. 197–206, 2006.

XIAO, J.; SUN, Y.; FALKNER, H. Seismic performance of frame structures with recycled aggregate concrete. Engineering Structures , p. 1–8, 2006.

XIAO, J.; YING, J.; SHEN, L. FEM simulation of chloride diffusion in modeled recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, v. 29, p. 12-23., 2012.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

DURABILIDADE DE ESTRUTURAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ATAQUES DE ÍONS SULFATOS

Durability Of Cement Structures Subjected To Sulfate Ion Attack

A. B. L. SILVA[1], R. A. OLIVEIRA[2], F. C. ZARZAR JÚNIOR[3]

[1] Universidade Católica de Pernambuco, Rua do Príncipe, 526, Boa Vista, Recife-PE, CEP 50050-900, Brasil, arturbuarquegp@gmail.com

[2] Universidade Católica de Pernambuco, Rua do Príncipe, 526, Boa Vista, Recife-PE, CEP 50050-900, Brasil, romildealmeida@gmail.com

[3] Universidade Católica de Pernambuco, Rua do Príncipe, 526, Boa Vista, Recife-PE, CEP 50050-900, Brasil, fczj@yahoo.com

Resumo: A agressividade do meio onde as estruturas de concreto estão inseridas pode reduzir a vida útil das mesmas de maneira significativa. Existe uma preocupação sistemática dos pesquisadores com relação à durabilidade dos materiais, principalmente em relação a resistência do concreto exposto à soluções agresivas de sulfatos, uma vez que estruturas de base cimentícia expostas a esses meios apresentaram sinais de deterioração. Os íons sulfatos reagindo com os produtos de hidratação do cimento formam gipsita e etringita secundária que, por apresentar características expansivas, levam à deterioração do concreto. Casos de ataques de sulfatos recorentes em estruturas de base cimentícia em ambientes isentos desses íons têm sido registrados na literatura. Ataques dessa natureza têm suposta origem da ação de íons sulfatos internos ao concreto, provenientes de seus constituintes, sejam eles os agregados, a água de amassamento ou até mesmo o proprio cimento. São apresentados resultados de expansão linear de corpos-de-prova executados com embasamento na norma NBR 13583:2014, realizados com a finalidade de avaliar as ações tipo de cimento com o ataque por sulfatos.

Palavras-chave: Ataque por sulfatos, ensaio acelerado, durabilidade ao ataque por sulfatos

Abstract: The aggressiveness of the medium where the concrete structures are inserted can significantly reduce their useful life. There is a systematic concern of the researchers regarding the durability of the materials, especially in relation to the resistance of the concrete exposed to the aggressive solutions of sulfates, since cement-based structures exposed to these media presented signs of deterioration. The sulfate ions reacting with the cement hydration products form gypsum and secondary etringite which, because of the expansive characteristics, leads to the deterioration of the concrete. Cases of sulphate attacks on cement-based structures in environments free of these ions have been reported in the literature. Attacks of this nature have supposed origin of the action of internal sulfates ions to the concrete, coming from their constituents, be they the aggregates, the water of kneading or even the own cement. Results of linear expansion of test specimens executed based on the norm NBR 13583:2014 are presented, with the purpose of evaluating the type actions of cement with the attack by sulfates.

Keywords: Sulfate attack, accelerated test, sulfate attack durability

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

A etringita é um mineral que se forma já nas primeiras fases da mistura do cimento com água, a mesma tem influência não apenas na hidratação do cimento, mas, sobretudo tem papel vital na durabilidade do concreto. O entendimento do seu comportamento é de extrema importância, apesar de não estar completamente dominado, sendo um assunto que ocasiona debate.

A formação do mineral etringita, também conhecido pela denominação "sal de Candlot" é um produto da reação formada durante o período inicial de hidratação do cimento, pela combinação de sulfatos encontrados em solução aquosa e o aluminato tricálcio (C_3A) ou ferroaluminato de cálcio (C_4AF), a mesma está mais propriamente ligada ao fenômeno de pega do cimento. Segundo Ribeiro (1997) a formação de etringita pode ser apresentada esquematicamente pela seguinte reação química:

$$6CaO + Al_2O_3 + 3SO_3 + 32H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaOSO_3.32H_2O \text{ ou}$$
$$6C + A + 3S + 32H \rightarrow 3C_6AS_3H_{32}$$

A geração desse mineral pode ser processada de duas maneiras. Na primeira que ocorre de forma imediata (dentro de horas ou dias) e homogenamente distribuída em uma argamassa ou concreto denominada etringita primária, a expansão volumétrica ocasionada na geração desses cristais não provoca tensões que ocasionaria rupturas localizadas no concreto ou argamassa.

O segundo caso de geração é conhecido como formação de etringita secundária, ou etringita tardia, essa formação ocorre associada com problemas preexistentes como fissuras e escamações no concreto endurecido, entretanto de acordo com Collepardi (1999) não são necessariamente as causas desses problemas. No processo de formação da etringita tardia, relacionada à fonte de sulfatos, temos:

<u>Ataque sulfático externo</u>, quando a penetração de íons sulfatos ocorre do meio externo e penetram na estutura do concreto;

<u>Ataque sulfático interno</u>, ocorre quando o ataque acontece em um meio externo livre de sulfato, pela liberação tardia de sulfatos de agregados ou de fases mineralógicas do clínquer contaminado contendo SO_3.

Analisando os problemas proveniente do processo de formação de etringita secundária resultantes de sulfatos internos, mais especificamente de sulfatos encontrados no clínquer Portland, dois modelos de cura são possíveis descreve Klemm e Miller (1997):

- <u>Concreto submetido à cura térmica;</u>
- <u>Concreto submetido à cura sob condições naturais.</u>

O primeiro processo de cura, a térmica a vapor é mais utilizada na fabricação de produtos de concreto e argamassa pré-moldados, com o objetivo de acelerar o desenvolvimento da

ISBN: 978-85-65425-32-2

resistência mecânica inicial. Camarini e Cincotto (1997) afirma que esse procedimento segue ciclos de cura com vários períodos.

Collepardi (1999) conceitua que após a cura a temperaturas elevadas, a formação de etringita ocorre dentro da matriz do gel de C-S-H, porém esses cristais não são detectados por difração de raios X, sendo possivelmente microcristalinos, mal orientados e com conteúdos de água variáveis ou baixos. De acordo com esse modelo, quando o material é submetido a condições de temperatura ambiente e umidade elevada, ocorre recristalização da etringita gerando grandes aglomerados nos poros e fraturas do concreto ou fendas que rodeiam as partículas de agregados.

A etringita encontrada em concreto endurecido não é um problema apenas do tratamento térmico. Acontece também em concretos não tratados termicamente, que são expostos a condições normais de variação climática. O conteúdo de etringita formado durante a hidratação decresce com a temperatura acima de 70º C, dependendo das características do cimento não ocorre etringita na pasta após a cura a temperatura elevada. O vapor gerado pelo processo de cura destrói a etringita que foi formada no estágio plástico do concreto fresco. Scrivener e Lewes (1997) relatam que a formação de etringita secundária depende do conteúdo de SO_3 no cimento.

Em testes realizados em laboratório, Kehlam (1997) concluiu que a temperatura de cura é claramente o fator determinante para o desenvolvimento de expansões em argamassas e concretos. A partir dos resultados foi possível observar que cimentos preparados a partir de clínqueres com maior teor de SO_3 não apresentam expansões anômalas sob condições normais de cura, a temperatura ambiente.

A paritr da revisão bibliográfica realizada foi possível observar que a formação de etringita secundária pode ocorrer em fraturas e poros, após cura térmica ou não, porém sua formação não tem influência direta na expansão que ocasiona eventual fratura ou escamação. Baltic *et al.* (2000) relatam que esses fenômenos de deterioração estrutural ou fadiga podem estar associados a outros fatores como reações álcali-agregado, ciclos de exposição a umidade e secagem, ações de cargas dinâmicas, zona de transição fraca na interface com agregado ou com o aço, coeficiente de dilatação térmica dos agregados, entre outros, que causam padrões específicos de microfissuras e espaços para a cristalização da etringita.

A ocorrência de etringita em concretos mais porosos ocorre sob a forma de cristais delgados e curtos. Segundo Souza (2006) no interior de poros e fraturas, os cristais são mais desenvolvidos e, em alguns casos formam-se densas aglomerações desses cristais, essa característica é um indicativo de que a etringita cristalizada se ajusta ao espaço disponível, sem exercer nenhuma ação expansiva.

Collepardi (1999) é categórico ao afirmar que na ausência de um ou dois dos seguintes elementos, não ocorre a formação de etringita secundária, são eles: presença de microfissuras, exposição à água e liberação tardia de sulfatos (meio interno e externo).

A forma mais abrangente de ataque por sulfatos, segundo estudos de várias décadas, é a resultante do ingresso de íons sulfato de uma fonte externa para o interior da pasta de cimento hidratada. Onde os sulfatos difundem-se no interior do concreto, e demais materiais de base cimentícia, através dos seus poros. No interior da pasta de cimento hidratada, os

ISBN: 978-85-65425-32-2

sulfatos reagem com o cálcio para formar gipsita e com as fontes de cálcio e alumínio para formar etringita. Estes compostos formados são prejudiciais à estrutura cimentícia. Esse modelo de ataque ao cimento por águas sulfatadas é bastante conhecido e se medidas preventivas não forem tomadas ocorre comprometimento da obra decorrente da expansão causada pela formação de componentes deletérios.

Embora o mecanismo efetivo do ataque do concreto por sulfatos não esteja totalmente esclarecido até hoje, os pesquisadores são unânimes em considerar que as fases de aluminato de cálcio do clínquer são as principais responsáveis pelo fenômeno. Desta forma, cimentos produzidos com clínqueres de baixo teor em aluminato tricálcio (C_3A), são potencialmente inibidores da reação com sulfatos. Existe unanimidade em aceitar que o aumento do teor de escória ou pozolana leva ao aumento da resistência aos sulfatos do concreto. Esse incremento de resistência é atribuído principalmente a:

- Combinação da escória ou da pozolana, com o hidróxido de cálcio, formando C-S-H e deixando menor quantidade de $Ca(OH)_2$ livre;
- Refinamento da estrutura dos poros, dificultando a difusibilidade iônica;
- Modificação da química do sistema, com formação de monosulfoaluminato no lugar de etringita, e consequentemente com expansão insignificante.

Sendo assim, os cimentos com escória ou pozolanas possuem melhor resistência aos sulfatos por apresentarem baixo teor de C_3A e pequena liberação de $Ca(OH)_2$ durante a hidratação, componentes esses imprescindíveis para reagir com sulfatos para formar a etringita expansiva.

2. Materiais e Métodos

A maioria dos métodos existentes, onde se verifica a suscetibilidade de materiais de base cimentícia ao ataque por sulfatos, utiliza corpos-de-prova prismáticos, geralmente submersos em soluções ricas em sulfatos de sódio ou magnésio, e que tem como parâmetro a expansão ou a perda de resistência no ensaio a compressão. Para comprovar a resistência aos sulfatos corpos-de-provas foram submetidos ao método de ensaio ABNT NBR 13583:2014 – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento portland expostas à solução de sulfato de sódio.

O método tem por objetivo avaliar a resistência da argamassa aos sulfatos por meio da medição da variação dimensional em barras prismáticas de dimensões 25x25x285 mm submetidos a condições agressivas de cura em solução aquosa sulfatada.

Foram confeccionadas oito barras com argamassa de traço 1:3,2 e relação água/cimento igual a 0,60 para cada tipo de cimento. Após cura ao ar em câmera úmida por 48 horas (cura inicial), as barras são desmoldadas, permanecendo imersas em água saturada com cal durante o periodo de 12 dias (cura intermediária).

Após os períodos de cura inicial e intermediária, as barras são separadas em duas séries, de quatro corpos-de-prova, sendo uma série armazenada em um recipiente contendo água com cal e a outra série sendo armazenada em recipiente com concentração de 100g de sulfato/l de água. Ambos os recipientes são submetidos a uma temperatura de 40ºC ± 2ºC por 42 dias. As leituras dos comprimentos das barras são feitas nas idades de 7, 14, 21,

ISBN: 978-85-65425-32-2

28, 35 e 42 dias. O resultado do ensaio acelerado é a diferença entre a expansão na solução agressiva e na água saturada de cal. Foram selecionadas três amostras de cimento de tipos diferentes com as mesmas resistências à compressão conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Indentificação dos cimentos analisados

Amostra	Tipo de Cimento
I	CP II-Z-32
II	CP II-F-32
III	CP IV-32

A determinação da variação dimensional foi realizada com auxílio do extensômetro, onde foram obtidas as dimensões dos corpos-de-prova prismáticos (2,5x2,5x28,5) cm, lembrando que para encaixe no extensômetro necessitou do auxílio de pinos em seus eixos principais, conforme recomenda a ABNT NBR 13583:2014.

3. Resultados e Discussão

Os resultados do ensaio de determinação da reatividade ao taque por sulfatos das três amostras segundo o procedimento descritos na NBR 13583:2014.

Para determinação da porcentagem de variação dimensional, é calculada a diferença entre o valor medido (em milímetros) na idade correspondente a cada ciclo, e a leitura relativa à medida inicial (em milímetro) ocorrida antes da barra entrar em contato com a solução de sulfato, o resultado é dividido pelo comprimento efetivo (em milímetros) e multiplicado por 100. Vale ressaltar também que o resultado é obtido a partir da média aritmética das expansões individuais, em porcentagem, dos quatro corpos-de-prova ensaiados.

Sendo os resultados das expansões verificadas nas barras de argamassa confeccionadas com os cimentos em estudo costantes no Quadro 2.

Quadro 2 – Expansão média das barras de argamassa por idade de cura

Idade (dias)	Amostras		
	I (CP IV-32)	II (CP II-Z-32)	III (CP II-F-32)
7	0,0071	0,0080	0,0073
14	0,0042	0,0082	0,0122
21	0,0053	0,0092	0,0204
28	0,0020	0,0084	0,0286
35	0,0042	0,0085	0,0408
42	0,0041	0,0137	0,0585

ISBN: 978-85-65425-32-2

Os resultados obtidos demostram que as três amostras apresentam comportamento distintos quanto ao ensaio de expansibilidade linear, ocasionado pelo ataque por íons sulfatos em ensaio acelerado.

O ensaio realizado com argamassa utilizando cimento CP II-F-32 apresentou uma curva crescente bem definida apresentando o maior valor de expansão aos 42 dias de ensaio, conforme Figura 1. As amostras contendo cimento tipo CP II-Z-32 e CP IV-32 não apresentaram diferença acentuada de expansão linear se comparada com os valores de referência para cada idade analisada, o que demonstra que neste ensaio a amostra III que utiliza o cimento CP II composto com Fíler foi a que apresentou uma maior reatividade ao ataque por sulfatos no ensaio acelerado.

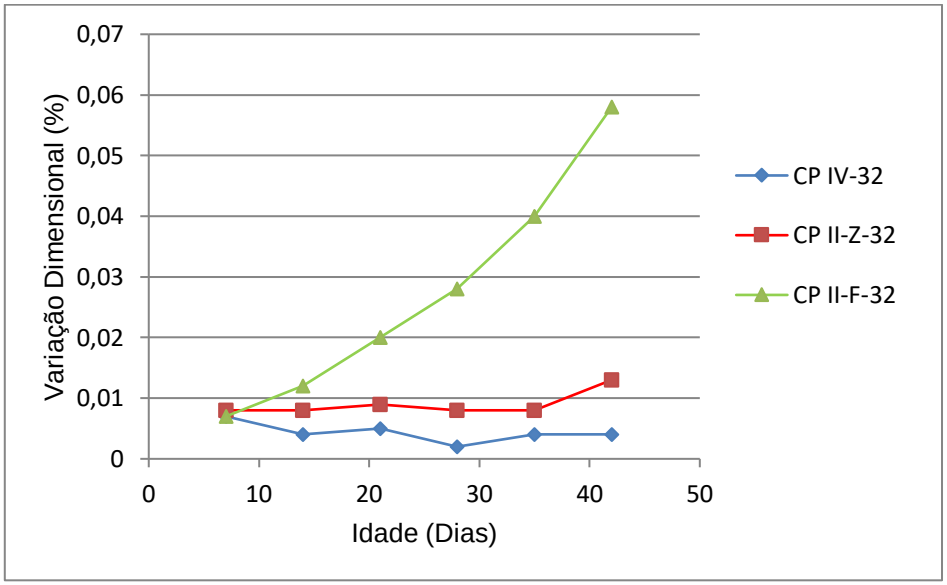


Figura 1 – Variação dimensional para as três amostras

Assim, a amostra I (CP IV-32), apresentou expansão média das barras inferior à amostra II (CP II-Z-32). Essas duas amostras são resistentes a sulfatos, fato não observado para a amostra III (CP II-F-32). Essa amostra exibiu expansão aos 42 dias de cura em solução de sulfato de sódio superior ao limite máximo de 0,030% adotado empiricamente como critério preliminar para definir um cimento resistente aos sulfatos. No entanto, a NBR 5737 - Cimentos Resistentes a Sulfatos – Especificação, não define um valor de expansão limite para esse ensaio.

Os dados obtidos demostram que os três tipos de cimento (amostras I, II, III), produzidos com quantidades de clínquer destintas, apresentaram um comportamento diferenciado, sendo a amostra I e II resistente ao ataque por íons sulfatos e a amostra III não resistente.

4. Conclusões

O ataque ao concreto por íons sulfatos pode provocar comprometimento de sua estrutura, sendo o fenômeno causado pela cristalização do mineral etringita, após o processo de hidratação do cimento (etringita tardia). A etringita ($C_3A.3CaSO_4.32H_2O$) origina-se da

ISBN: 978-85-65425-32-2

reação de sulfatos dissolvidos na água com o aluminato tricálcio do cimento, cuja cristalização é acompanhada de expansão, proporcionando fissurações e deterioração do concreto.

A formação de etringita secundária é função do conteúdo de aluminato tricálcio do cimento, teor de sulfato disponível e presença de água. Sendo assim, cimento que contenha em sua composição baixo teor de aluminato tricálcio pode ser considerado resistente a ataque de sulfatos. Cimentos com baixo teor de aluminato tricálcio podem ser obtidos pela fabricação de clínqueres contendo teores baixos de aluminato tricálcio ou através da adição de escória granulada de alto-forno ou pozolanas ao cimento.

Os resultados obtidos com a análise de cinco amostras de cimento confirmam a importância do conteúdo de aluminato tricálcio no cimento. Em condições de excesso de íons sulfato e umidade, a inibição da expansão causada pela formação de etringita foi observada em duas amostras. A amostra III foi a única que apresentou problemas de durabilidade, tendo-se estimado um maior teor de aluminato tricálcio nessa amostra.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). Cimentos Portland Resistentes a Sulfatos. NBR 5737. Rio de Janeiro.

_____. (2014). Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. NBR 13583. Rio de Janeiro.

Baltic, O. R., Milanesi, C. A., Maiza, P. J., Marfil, S. A. (2000). Cement and Concrete Research, nº30. p. 1407-1412.

Camarini, G., Cincotto, M. A. (1997). Proceedings of 10th International Congress on the Chemistru of Cement. Gotemburgo, Suécia, 4iv 063 p.4.

Collepardi, M. (1999). Proceedings of 2nd CANMET/ACI International Conference. Gramado, Rio Grande do Sul.

Kehlam, S. (1997). Proceedings of 10th International Congress on the Chemistry of Cement. Gotemburgo, Suécia, 4iv 060 p.8.

Klemm, W. A., Miller, F. M. (1997). Proceedings of 10th International Congress on the Chemistry of Cement. Gotemburgo, Suécia, 4iv 059 p.10.

Ribeiro, M. S. S. (1997). Associação técnica da indústria de cimento ATIC. Portugal, nº 20.

Scrivener, K., Lewes, M. (1997). Proceedings of 10th International Congress on the Chemistry of Cement. Gotemburgo, Suécia, 4iv 061 p.8.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Souza, R. B. (2006). Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfates – métodos de ensaio acelerado. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil.

ISBN: 978-85-65425-32-2

CONSTRUÇÃO DE PAREDES EM CONCRETO: POTENCIALIDADE NA INDUSTRIALIZAÇÃO DE ESTRUTURAS ARMADAS PARA VEDAÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Construction Of Concrete Walls: Potential In The Industrialization Of Armed Structures For Building Fences

João Victor da CUNHA OLIVEIRA[1], Leila Soares Viegas Barreto CHAGAS[2], Frankslale Fabian Diniz de Andrade MEIRA[3]

[1] Instituto Federal da Paraiba, Campus Campina Grande, Brasil, joaovictorwo@gmail.com[1]

[2] Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, Brasil, leila_viegas@hotmail.com[2]

[3] Instituto Federal da Paraiba, Campus Campina Grande, Brasil, frankslale.meira@ifpb.edu.br[3]

Resumo: A utilização de tecnologias tem sido uma prática frequente na indústria da construção civil, e a industrialização do canteiro de obras tem sido uma saída para empresas que buscam agilidade em seus cronogramas, não apenas em obras a serem vendidas para um público alvo, como também em obras públicas. Dessa forma, a industrialização da construção através de obras executadas com paredes de concreto tornou-se uma opção para aumentar a racionalização no processo construtivo. A proposta desse estudo é apresentar um sistema construtivo constituído por paredes de concreto voltado à habitação de interesse social, que é considerado ainda no Brasil inovador por não ser de uso convencional, e por utilizar insumos industrializados que possuem controle ambiental rígido em sua produção, pode vir a ser considerado sustentável, apresentando as expectativas de seu uso abrangente na indústria da construção civil. A obra foi executada na Cidade de Santa Rita-PB, e no decorrer do trabalho são apresentadas as principais características desse sistema construtivo e as vantagens e as desvantagens quanto ao uso de paredes em concreto, identificando os aspectos econômicos e técnicos que viabilizam seu uso. Sobre os aspectos econômicos identificados, conclui-se que não se pode restringir os mesmos somente ao custo, devendo-se levar em consideração também o custo x benefício, o tempo de execução e a redução de desperdícios. Conclui-se em relação aos aspectos técnicos que os mesmos favorecem o uso da escolha da construção industrializada direcionada para habitações de interesse social.

Palavras-chave: Construção industrializada. Habitação de interesse social. Paredes em concreto.

Abstract: The use of technologies has been a frequent practice in the construction industry, and the industrialization of the construction site has been an outlet for companies that looking for agility in their schedules, not only in works to be sold to a target audience, but also in public works. In this way, the industrialization of the construction through works executed with concrete walls became an option to increase the rationalization in the constructive process. The proposal of this study is to present a constructive system

ISBN: 978-85-65425-32-2

constituted by walls of concrete aimed at housing of social interest, which is still considered innovative in Brazil because it is not of conventional use, and because it uses industrialized inputs that have rigid environmental control in their production, can be considered sustainable, presenting the expectations of its comprehensive use in the construction industry. The work was carried out in the Santa Rita-PB city, and in the course of the work the main features of this construction system are presented and the advantages and disadvantages of using concrete walls, identifying the economic and technical aspects that enable its use. About the economic aspects identified, it can be concluded that they can not be restricted only to cost, and must also take into account the cost x benefit, the time of execution and the reduction of waste. We conclude with regard to the technical aspects that they favor use of the choice of industrialized construction directed to housing of social interest.

Keywords: Industrialized construction. Social interest housing. Walls in concrete.

1. Introdução

Durante muitos anos houve uma acomodação por parte da indústria da construção civil por acreditar se tratar de uma atividade artesanal, rústica, sendo considerada cautelosa e até imprópria para a inserção de novos sistemas construtivos.

Conforme El Debs (2000), a construção civil apresenta características de uma indústria atrasada, quando comparada a outros setores industriais, por apresentar, de maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade. Tais citações são justificadas pelas muitas resistências que aparecem para a inserção de novas tecnologias, mas paulatinamente elas vêm sendo superadas.

Nos dias atuais, a redução dos custos e os prazos de execução, bem como o aumento das margens de lucro, são os objetivos principais dos donos de empresas construtoras, onde na indústria da construção civil, na grande maioria dos empreendimentos, a rapidez na construção e o emprego de novas tecnologias são exigências de mercado, o que o torna mais competitivo.

De acordo com Sabbatini (1989), evoluir no sentido de aperfeiçoar-se como indústria é um caminho natural do setor da construção civil, pois o desafiador cenário globalizado estimula a padronização das diretrizes de desenvolvimento para o futuro de todas as indústrias do país principalmente a construção civil.

O desafiador cenário globalizado estimula a padronização das diretrizes de desenvolvimento para o futuro de todas as indústrias do país principalmente a construção civil.

As mudanças sofridas pela indústria da construção civil na última década foram tão consideráveis que a mesma já pode ser considerada um dos principais e mais importantes setores econômicos do país, pois representou aproximadamente 8,6% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro no ano de 2016 (FIESP, 2017).

Sendo a engenharia civil uma indústria que engloba a concepção, o projeto, construção e manutenção de todos os tipos de infraestrutura necessários ao bem-estar e ao

ISBN: 978-85-65425-32-2

desenvolvimento da sociedade, além da preservação do ambiente natural é de grande importância que a mesma amplie seus sistemas construtivos.

Desta forma, esta área dedica-se à criação de edifícios, pontes, túneis, usinas geradoras de energia, indústria e inúmeros outros tipos de estrutura, como a que será abordada neste trabalho: Construção industrializada.

O sistema consiste na moldagem de paredes e lajes maciças de concreto armado com telas metálicas centralizadas. A estrutura é dimensionada para cada projeto específico de arquitetura do edifício.

O processo de produção do sistema construtivo permite o controle geométrico das peças e a obtenção de superfícies aptas a receberem o acabamento. A espessura das paredes e das lajes é de 10 cm.

Construções em parede de concreto foram bastante utilizadas nas décadas de 70 e 80, todavia esse método ainda não se consolidou no Brasil, uma vez que o seu uso em obras de pequeno porte inviabiliza-se por motivo de baixo custo-benefício. Nessa época já haviam sido experimentadas construções industrializadas que utilizavam concreto celular e convencional.

Atualmente, a indústria da construção brasileira é beneficiada pela grande demanda por edificações, especialmente no seguimento de habitação popular, com volume muito grande de unidades habitacionais.

Esse cenário exige das construtoras que foquem em obras duráveis, em curto prazo para execução com segurança estrutural e dentro de padrões técnicos consagrados. Para superar esses obstáculos, a resposta foi a construção em parede de concreto.

Diferente da construção convencional onde todas as tarefas das obras são executadas através do elemento humano, a construção industrializada utiliza equipamentos automatizados para fabricação e montagem dos seus componentes ou elementos construtivos.

Este trabalho consiste em apresentar a construção industrializada bem como as características construtivas desse sistema e as expectativas de seu uso abrangente na indústria da construção civil através de estudo de caso em uma obra localizada no município de Santa Rita, Paraíba. O empreendimento faz parte do Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal.

2. Referencial teórico

2.1 Construção industrializada

A industrialização da construção civil pode ser definida como a “utilização de tecnologias que subsistem a habilidade do artesanato pelo uso da máquina” (ROSSO, 1980).

De acordo com Rosso (1980), existem dois tipos de industrialização dentro da construção civil. O primeiro, chamado de Industrialização Fechada, é menos flexível, onde a indústria disponibiliza no mercado o produto final, ou seja, um módulo inteiro de uma construção. Dessa forma, o arquiteto que necessita adaptar seu projeto ao módulo que é fornecido, não possibilitando flexibilidade de criação. O outro tipo, chamado de Industrialização Aberta, é

ISBN: 978-85-65425-32-2

mais flexível, e a indústria fornece ao mercado componentes pré-fabricados que podem ser combinados de diversas maneiras para compor um edifício. Esse segundo tipo de industrialização, que é o foco do presente trabalho, garante ao arquiteto grande liberdade de criação, definindo apenas o método construtivo a ser utilizado.

Segundo Lima, Marcandier e Moreira (2007) a prática de construção nas cidades brasileiras ainda é inteiramente centrada no processo construtivo que pode-se denominar de convencional: estruturas de concreto armado moldadas *in loco* com vedações de tijolo cerâmico, às quais os demais elementos (como esquadrias, acabamentos, tubulações e equipamentos) são acrescidos posteriormente e mediante desmanches parciais do que foi executado. As principais desvantagens desse processo estão no alto consumo de recursos naturais não renováveis, no pesado trabalho manual de canteiro de obra e na grande quantidade de resíduos sólidos gerados pelo desperdício.

Já o sistema de construção de paredes de concreto utilizando fôrmas para suas moldagens é um método que utiliza fôrmas pré-fabricadas, onde todas as paredes são moldadas em uma única etapa de concretagem já com as instalações elétrica e hidráulica, elementos de fixação, caixas de portas e janelas embutidos na estrutura. Outra grande característica do sistema é a vedação. Este sistema é recomendado para obras de grandes dimensões, que fazem o mesmo serviço repetidas vezes, como é o caso da obra que será apresentada neste trabalho.

2.2 Habitações de interesse social

Todo projeto surge de uma necessidade, seja pessoal, empresarial ou governamental. No caso de habitações de interesse social, o artigo 6º da CF - Constituição Federal de 88 destaca a Moradia como direito humano fundamental com o intuito de demonstrar que esse direito tem caráter imediato e é fundamental. Entre tantos materiais utilizados, o homem se valia do material que seu poder aquisitivo pudesse adquirir, então entres ricos e pobres começaram a surgir, mansões e favelas.

Junqueira e Vita (2002) observam que hoje a aquisição da habitação faz parte do conjunto de aspirações principais de uma parcela significativa da população brasileira, embora venha perdendo importância relativa para a educação, saúde e previdência privada. Esta perda de importância relativa não foi devido à realização da aspiração da moradia pela população, mas em grande parte, devido à deficiência crescente destes serviços públicos.

Para Fernandes (2003), a habitação desempenha três funções diversas: social, ambiental e econômica. Como função social, tem de abrigar a família e é um dos fatores do seu desenvolvimento. Segundo Abiko (1995), a habitação passa a ser o espaço ocupado antes e após as jornadas de trabalho, acomodando as tarefas primárias de alimentação, descanso, atividades fisiológicas e convívio social. Assim, entende-se que a habitação deve atender aos princípios básicos de habitabilidade, segurança e salubridade da população.

O redirecionamento das políticas de desenvolvimento urbano e habitacional, a partir da segunda metade dos anos 70, apontou para um novo padrão de intervenção pública que priorizava a regularização urbanística e fundiária das favelas. A partir deste conceito surgem as habitações de interesse social. A Lei Federal de Parcelamento (Lei nº 6.766), em 1979, foi outro elemento importante para este processo de redirecionamento da política

ISBN: 978-85-65425-32-2

habitacional, possibilitando regras específicas para o parcelamento do solo em áreas de interesse social.

A produção de unidades habitacionais do ponto de vista arquitetônico e urbanístico ainda é um tema de grande polêmica, pois o poder público prioriza a questão econômica e a parte prática do processo, o que leva sempre a repetições de projetos das unidades residenciais, o que gera o esquecimento da estética, isto é, da beleza arquitetônica da qual todos deveriam ter acesso. Os métodos de produção em larga escala da grande maioria das habitações de interesse social que devem ser criados de modo a satisfazer a imensa demanda são vistos como o grande ponto para a ausência com a preocupação arquitetônica.

Viabilizar financeiramente o atendimento de trabalhadores de baixa renda, garantindo dignidade e qualidade arquitetônica não é uma prioridade das políticas governamentais. São poucos os arquitetos que estão na busca de um caminho de substituição da produção repetitiva e massificada nos projetos arquitetônicos por uma produção habitacional e urbana personalizada e caracterizada para o interesse social.

Moradias voltadas para a habitação social apresentam também deficiências no acesso à infraestrutura ou adensamento excessivo, são famílias que não necessitam, apenas de uma nova moradia, mas sim de intervenções para condições dignas para sua habitação, que precisam de uma ação articulada com as políticas urbana, fundiária e de saneamento, que apenas podem ser implementadas pelo poder público, e a terra urbanizada, provida de serviços, equipamentos e infraestrutura. A qualidade final da unidade residencial sofre a influência direta dos materiais e componentes utilizados durante as etapas do processo construtivo, facilitando inclusive para o surgimento de patologias como fissuras, por exemplo.

2.3 Obras públicas

A contratação de obras públicas é um procedimento formal, desencadeado em etapas sucessivas no sentido de buscar a seleção da proposta mais vantajosa para a Administração. Nesse processo, o gestor público estará vinculado aos Princípios Constitucionais que pautam a sua atuação, elencados, expressamente, no caput do art. 37 da nossa Carta Magna: Legalidade, Impessoalidade, Moralidade, Publicidade e Eficiência (BRASIL, 1988).

A Lei 8.666/1993 rege a licitação e os contratos administrativos, sendo por ela estabelecidos os procedimentos, modalidades, regras, princípios, responsabilidades, sanções administrativas e penais e também os recursos possíveis. As modalidades de licitação também encontram-se dispostas na referida lei, atualizadas pela Lei 9.648/1998, sendo que a modalidade pregão foi estabelecida pela Lei 10.520/2002. Assim, antes de adquirir um produto ou contratar um serviço ou até mesmo se manifestar para eventual aquisição, o gestor público, deve seguir as normativas previstas na Lei Federal nº 8.666/93, chamado licitação, isso inclui serviços de engenharia para obras públicas.

Em se tratando de obras privadas, a indústria da construção civil, devido à concorrência, tem investido cada vez mais em qualidade para atender às mudanças, mudanças que são impostas pelo mercado e que a cada dia vem exigindo melhorias acerca dos materiais

ISBN: 978-85-65425-32-2

utilizados, melhorias na relação com os clientes e margens de lucro cada vez mais reduzidas, e melhorias que objetivam maior eficiência dos processos produtivos através de alterações em todas as etapas de seu processo de produção.

Para elevar os padrões de qualidade do setor da construção civil voltado para obras, não só privadas, mas também públicas, é preciso que todos os envolvidos estejam comprometidos com a qualidade de seus processos e produtos e com a qualidade do produto final, tendo como objetivo final à satisfação do usuário.

O setor público também deve acompanhar essa evolução assim como o setor privado, visto que as obras públicas representam uma enorme parcela dos investimentos fixos nacionais. Constitui-se, portanto, em um dos mais importantes motores da economia nacional, principalmente devido a sua grande contribuição para a geração de empregos.

Entretanto, a falta de racionalização, a inadequação dos processos construtivos, a deficiência em equipamentos, a insatisfatória formação de quadros técnico e pessoal especializado, e a falta de normalização e certificação de conformidade de materiais e dos elementos de construção conduziram o setor das obras públicas e construção civil à baixa produtividade e à deficiência de qualidade.

Sempre quando existe um relato sobre obra pública, perceb-se a impossibilidade de não mencionar-se o desperdício de recursos que existe no Brasil, que é de fato notório e está materializado pelo número de obras inacabadas, pela má qualidade que são construídas paralelas aos custos exorbitantes, como também pela grande quantidade de materiais que são desperdiçados para construí-las, sendo esse um problema encontrado na maioria dos municípios do País.

Para que uma obra pública de habitação social tenha qualidade é necessário possuir um bom projeto. Todo bom projeto, por mais simples que seja, deve ser executado através de uma boa administração voltada para o planejamento, integração, elaboração, análise e implantação, de forma interdependente, interatuante e interrelacionada. Essas atividades de administração são exercidas de forma integrada, simultânea, com o mesmo grau de importância e complementares entre si (CAVALCANTE, 2000).

Portanto, fica evidenciada que a atuação dos órgãos de controle (Tribunais de Contas, órgãos de controle externo) contribui expressivamente para minimização das irregularidades ocorridas nas obras públicas. A atuação mais efetiva dos órgãos de Controle Interno, na fase de execução das obras públicas, certamente contribuiria sobremaneira no aperfeiçoamento dos procedimentos de fiscalização das obras, tornando-as mais eficientes e com maior qualidade, sejam elas construídas utilizando sistemas construtivos convencionais ou utilizando sistemas construtivos inovadores, como é o caso de construções de habitação social utilizando paredes em concreto.

2.4 Modelo e características do método construtivo

Segundo Vieira (2010), no passado o processo construtivo era escolhido, basicamente, mediante a análise de dois elementos, a seguir dispostos: a cultura da empresa e o custo gerado. No entanto, hoje esta decisão é tomada tendo como foco, além dos itens acima

ISBN: 978-85-65425-32-2

mencionados, a tipologia da estrutura, a qualidade final do produto e, principalmente, a produtividade do processo construtivo.

O método é inspirado em experiências consagradas e bem-sucedidas de construções industrializadas em concreto celular (sistema Gethal) e concreto convencional (sistema Outinord), que eram mundialmente conhecidas nas décadas de 70 e 80. Porém, devido à falta de escala e de continuidade de obras nesses padrões, principalmente com as limitações financeiras da época, essas tecnologias não se consolidaram no mercado nacional. Com o crescimento do mercado imobiliário brasileiro e as contínuas medidas públicas para ampliar a oferta de moradias, o sistema parede de concreto representa uma solução factível para produção em larga escala. (Revista Téchne, 2009).

O método construtivo denominado Parede de Concreto, é caracterizado pela substituição dos tradicionais pilares e vigas, pelas paredes em concreto, que desempenham função estrutural e de vedação. Os elementos estruturais são moldados *in loco*, com a utilização de formas completamente moduladas, que permitem a moldagem, e concretagem, de todas as paredes e lajes de um ciclo construtivo em uma única etapa.

A norma para paredes de concreto moldadas *in loco*, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) entrou em vigor no dia 10 de maio de 2012, um mês após sua publicação. A NBR 16.055/2012 ("Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações - Requisitos e Procedimentos") normatiza o dimensionamento e a execução do sistema, que ainda não era normatizado, apesar de ser usado há cerca de 30 anos no Brasil. (Revista Téchne, 2009). “Essa tecnologia, que deu base à chamada construção industrializada, oferece condições técnicas e econômicas perfeitas para a produção de unidades habitacionais em grande escala, sem comprometer sua qualidade e seu conforto”. (ABCP, 2008).

A armação adotada na prática no sistema parede de concreto é a tela soldada posicionada no eixo vertical da parede. Bordas, vãos de portas e janelas recebem reforços de telas ou barras de armadura convencional. Em edifícios mais altos, as paredes devem receber duas camadas de telas soldadas, posicionadas verticalmente, e reforços verticais nas extremidades das paredes. As armaduras devem atender a três requisitos básicos: resistir a esforços nas paredes, controlar a retração do concreto e estruturar e fixar as tubulações de elétrica, hidráulica e gás (ABCP, 2007).

Em relação às fôrmas, seu sistema é composto de estruturas provisórias, cujo objetivo é moldar o concreto fresco. É compreendido por painéis de fôrmas, escoramento, cimbramento, aprumadores e andaimes, incluindo seus apoios, bem como as uniões entre os diversos elementos. O sistema de fôrmas deve ser projetado e construído de modo a ter: resistência a ações a que possa ser submetido durante o processo de construção; rigidez suficiente para assegurar que as tolerâncias especificadas para a estrutura das paredes de concreto e nas especificações de projeto sejam satisfeitas e a integridade dos elementos estruturais não seja afetada e estanqueidade e conformidade com a geometria das peças que estão sendo moldadas (NBR 16055 - 18.2.1).

O material utilizado no sistema de fôrmas deve atender aos requisitos de 18.2.1 e às normas do produto. (NBR 16055 - 18.2.2). O sistema de fôrma pode ser constituído de madeira, aço, plástico ou de uma composição de materiais, como por exemplo, chapa de uma

ISBN: 978-85-65425-32-2

madeira leve estruturada com perfil de aço. Porém, no Brasil, em obras de edificações prediais é possível observar a predominância do uso de fôrmas fabricadas com chapas e perfis estruturados de alumínio nas construções de parede de concreto, e antes da concretagem, já são embutidos nas paredes as instalações elétricas e hidráulicas, caixilhos de portas e janelas, elementos de fixação para cobertura e outros específicos de cada projeto.

Segundo a Norma comentada (Coletânea de Ativos):

[...] para o sistema construtivo em paredes de concreto, devem ser avaliados os requisitos de segurança estrutural e contra incêndio, bem como de estanqueidade. Os requisitos relativos aos desempenhos térmico, acústico, lumínico e de durabilidade e manutenabilidade podem ser avaliados para o sistema, de forma independente ou na edificação pronta, considerando a interferência de outros sistemas (ABCP, 2008).

Esse sistema construtivo é baseado em conceitos de industrialização, com processos padronizados e repetitivos, mecanização de material, e qualificação de mão de obra. O controle exercido durante todo o processo construtivo será diferencial para os resultados de qualidade tecnológica obtida, além de influenciar diretamente produtividade e custo. Além da economia de material, visto que não há chapisco, emboço ou reboco, e forro de gesso apenas onde julgar necessário devido às instalações. O acabamento final do revestimento é aplicado diretamente sobre o concreto de paredes e fundo de laje.

A baixa geração de resíduos no canteiro também se deve ao fato de que a obra não requer cortes e tantas outras manipulações que geram entulhos. Por ser um método construtivo considerado novo no país, ainda não há dados quantitativos acerca de seus resíduos produzidos, mas visualmente no canteiro de obras percebe-se que são mínimos e quase inexistentes.

3. Metodologia

Este trabalho é de natureza prática respaldado em bibliografia especializada sobre o tema, por se tratar de um levantamento das principais informações acerca do sistema construtivo utilizando paredes em concreto, sendo a análise qualitativa escolhida por investigar uma realidade que não pode ser quantificada.

À princípio foi realizado um levantamento histórico da obra, através de projetos e memorial descritivo, e pesquisas das normas da ABNT. Com base nesses dados, foram explanadas todas as etapas do que se refere ao presente trabalho objetivando os necessários esclarecimentos sobre o tema abordado, pois “emprega estratégias de investigação que envolvem coleta de dados simultânea ou sequencial para melhor entender os problemas da pesquisa” (CRESWELL, 2007).

Para a realização do estudo utilizou-se como objeto a obra localizada no município de Santa Rita, Paraíba. O empreendimento faz parte do Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV, do Governo Federal, e é voltado para a habitação popular com renda de até três salários mínimos. A obra contempla 576 unidades habitacionais, dividas em 18 blocos de 4 pavimentos, térreo mais três. Cada bloco possui 32 apartamentos, sendo 8 por pavimento,

ISBN: 978-85-65425-32-2

divididas em 32 unidades com 44,00 m², sendo 1 unidade dessas adaptada para Portadores de Necessidades Especiais-PNE.

A escolha da obra como amostra para este trabalho ocorreu devido ao seu método construtivo que não é um método convencional, pois utiliza em sua execução fôrmas pré-fabricadas, onde todas as paredes são moldadas em uma única etapa de concretagem já com as instalações elétricas e hidráulicas, elementos de fixação, caixas de portas e janelas embutidos na estrutura.

Este trabalho contou ainda com o auxílio da utilização de bibliografias direcionadas ao assunto, como forma de garantir a veracidade das observações e conclusões expostas, e visitas *in loco* foram realizadas para execução de registros fotográficos, comprovando que uma das vantagens quanto ao uso do sistema é uma obra mais enxuta, com menos desperdícios de materiais e uma menor quantidade de produção de resíduos.

4. Resultados

4.1 Descrição da obra

O cronograma apertado e a racionalização do canteiro de obras foram motivos pelos quais a empresa optou por executar a obra utilizando paredes em concreto. Durante as visitas realizadas, os responsáveis técnicos afirmaram que entre as variáveis para optarem pelo sistema construtivo de paredes em concreto, influenciaram a:

- Rapidez de execução;
- Diminuição do efetivo de funcionários e diminuição de consumo de água na obra;
- Redução de manifestações patológicas posteriores devido ao surgimento de umidade, pois a incorporação de ar cria uma barreira que evita a condensação de umidade por dentro das paredes, o que poderia causar bolor até nos móveis;
- Possibilidade de mudanças, pois o material das fôrmas e seu fechamento, assim como o tipo de concreto utilizado, são alguns itens que podem mudar de acordo com o planejamento de obra para obra e também a redução da quantidade de entulhos.

Os empresários construtores informaram também que o que mais os motivou pela decisão no uso do sistema construtivo foram as características construtivas da obra a ser executada: a necessidade de construção em grande escala pelo porte e pela quantidade de unidades residenciais, a necessidade de se construir com velocidade para a rapidez do retorno financeiro e a necessidade de padronização do projeto.

A obra, segundo seus cronogramas físicos que são utilizados, está com o prazo de execução para 18 meses, sendo a previsão de entrega em junho de 2017. Com efetivo inicial de 50 funcionários, atualmente a obra emprega 102 pessoas, incluindo o setor administrativo.

O complexo contempla 576 unidades habitacionais, dividas em 18 blocos de 4 pavimentos, térreo mais três. Cada bloco possui 32 apartamentos, sendo 8 por pavimento, divididas em 32 unidades com 44,00 m².

Com efetivo inicial de 50 funcionários, atualmente a obra emprega 102 pessoas, incluindo setor administrativo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A capacidade construtiva é de 01 pavimento à cada 5 dias por equipe, onde a montagem leva de 3 à 4 dias e a concretagem 1 dia e a desforma 1 dia. A equipe é formada por 22 funcionários, entre eles: pedreiros, serventes, armador, eletricista, encanador e encarregado.

A obra que consiste em construção de casas populares em paredes de concreto utilizando o método de construções industrializadas é do governo do Estado da Paraíba, sendo administrada pela CEHAP – Companhia Estadual de Habitação Popular e financiada aos compradores pelo Banco do Brasil (Figura 1).

Figura 1 – Planta Baixa Predial

Em razão da menor espessura das paredes quando comparado ao sistema em alvenaria convencional, o sistema em paredes de concreto permite obter ganho de área útil para a mesma área total da unidade. Sendo assim, não há justificativa para não se construir de forma adaptável para todas as necessidades, então, há uma unidade residencial por prédio que é adaptada para PNE - Portadores de necessidades especiais (Figura 2).

Figura 2 – Unidade residencial para portadores de necessidades especiais: Cadeirantes

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.2 Aspectos relacionados à sustentabilidade

A execução das unidades residenciais do Conjunto habitacional optando por construções industrializadas, utilizando paredes em concreto, exerce um papel fundamental principalmente em ganhos sociais em países em desenvolvimento como o Brasil, pois interfere diretamente nos quesitos minimização de perdas, eficiência e durabilidade dos produtos (Figura 3).

Quando em uma obra há a opção pela industrialização já há um uso reduzido de materiais e, consequentemente de consumo de energia, a obra se torna uma construção menos agressiva à natureza, as peças que compõem seus sistemas dispensam o uso de placas, tábuas e ripas de madeira, o concreto é executado de forma que se permita um controle de traço e consumo de material (água, areia, brita, aditivo e cimento) e, contudo, há uma redução substancial do desperdício no canteiro de obras (Figura 4).

Figura 3 – Eficiência construtiva durante todas as etapas do processo construtivo

Figura 4 – Construção industrializada sem desperdício

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.3 Aspectos econômicos que viabilizam o uso de paredes em concreto

Em relação aos aspectos econômicos, os sistemas construtivos que utilizam paredes em concreto, apresentam um custo abaixo do sistema convencional quando se leva em consideração o custo benefício. Outro ponto que gera economia é a redução de materiais desperdiçados, reduzindo consideravelmente a produção de resíduos nas obras, o que ocorreu no Conjunto residencial (Figura 5).

Figura 5 – Redução de materiais desperdiçados no canteiro de obras

O tempo total de construção é outro grande atrativo em relação aos aspectos econômicos que viabilizam o uso das paredes em concreto. A possibilidade de realizar tarefas simultâneas, como preparação de terreno e fabricação do concreto para as paredes, além da eficiência apresentada na construção, traz resultados muito mais rápidos para a finalização da obra (Figura 6).

Figura 6 – Atividades sendo realizadas de forma simultânea

ISBN: 978-85-65425-32-2

Com relação às construções tradicionais, o tempo é reduzido à metade ou até menos quando empregado o uso de paredes em concreto na construção, principalmente quando um bom planejamento for realizado.

A opção por escolhas de paredes em concreto para a execução de unidades residenciais do Conjunto Rosa Luxemburgo para interesse social, possui um maior potencial econômico e durabilidade do que as construções convencionais, por causa do uso altamente potencializado e otimizado dos materiais.

4.4 Aspectos técnicos que viabilizam o uso de paredes em concreto

Em relação aos aspectos técnicos que viabilizam o uso de paredes em concreto na obra do Conjunto residencial utilizada como objeto de estudo, uma grande ênfase em tal tópico é o aumento da racionalização construtiva gerando rapidez de execução, rígido controle de qualidade do processo e dos materiais utilizados (Figura 7) e coordenação modular.

Figura 7 – Controle rígido do concreto utilizado

A opção pelo uso de paredes em concreto no Conjunto habitacional proporcionou muita praticidade (Figura 8), pois por ser um material de qualidade, é incrivelmente receptivo às necessidades do projetista, sendo deste modo economicamente realizável, pois não necessita nos projetos de configurações complexas.

Outro aspecto técnico importante a ser observado em obras construídas com paredes de concreto é a alta resistência ao fogo, que obtém melhor desempenho quando comparadas com as alvenarias convencionais que são construídas com blocos cerâmicos. Em termos de planejamento, controle e agilidade não há a menor dúvida sobre a adoção do sistema de construção industrializada utilizando paredes em concreto, pois apresenta um resultado bem mais satisfatório que outros métodos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 – Praticidade construtiva em obras com paredes em concreto

4.5 Vantagens

Em relação ao uso de paredes em concreto, uma das vantagens quanto ao seu uso é a execução da obra que é realizada em curto prazo quando comparada ao sistema construtivo convencional em alvenaria, pois há comprovadamente baixo custo na mão de obra, mesmo com os altos valores gastos com as fôrmas (1 milhão de reais, podendo reutilizar 200 vezes), pois a equipe de trabalho é bem menor, gerando menos encargos trabalhistas para a empresa executora e gerando baixa manutenção após a entrega da obra, pois atualmente estão 102 pessoas envolvidas no processo construtivo, incluindo setor administrativo.

Para a execução de 01 pavimento há cada 5 dias por equipe, a montagem leva de 3 a 4 dias, a concretagem 1 dia e a desforma 1 dia, sendo necessários 22 funcionários, entre eles: pedreiro, servente, armador, eletricista, encanador e encarregado (Figura 9). Os responsáveis técnicos, devido à sua experiência em obras, afirmam que é possível diminuir até 50% do tempo que se levaria em uma obra convencional, onde se economiza em despesas com o canteiro de obras e o dono da empresa executora obtêm um retorno financeiro mais rápido.

Figura 9 – Parte da equipe iniciando a construção de um pavimento

ISBN: 978-85-65425-32-2

O acabamento final também é considerado como vantagem, pois como é resultado de um processo monitorado e pouco sujeito a improvisações, a própria obra ganha em qualidade. As paredes em concreto não necessitam de revestimento de argamassa, apenas de pintura ou textura diretamente sobre o concreto acabado, sendo essa uma vantagem quando comparada com as obras em alvenaria convencional. Outra vantagem é que todas as instalações elétricas e hidráulicas podem ser embutidas nas paredes e não ficam aparentes.

Acerca da mão de obra, ela precisa ser um pouco mais qualificada que a mão de obra utilizada para a construção convencional, pois é necessário um treinamento prévio sobre a execução de paredes em concreto, isso gera mais tranquilidade sobre a qualidade do produto final (Figura 10).

Figura 10 – Mão de obra utilizada para construção de paredes e concreto

Em relação à cobertura de possíveis falhas visuais nas paredes, as mesmas podem ser corrigidas utilizando a própria textura que é utilizada para revestimento, o que se torna uma vantagem, pois as possíveis falhas não ficam aparentes.

4.6 Desvantagens

O modelo construtivo de paredes de concreto moldadas *in loco*, exige a aplicação de fôrmas que auxiliam na contenção do concreto, ferragem, tubulação de hidráulica e elétrica, caixas de passagem, quadro de energia, sendo considerada uma desvantagem. Outros aspectos construtivos considerados desvantagens são:

- Investimento inicial alto;
- Os projetos não pode ser alterado;
- Custo elevado das formas.

Durante a execução da concretagem, erros como a falta de vibração do concreto, causando o aparecimento de bolhas de ar ou o excesso de vibração do concreto, induzindo a segregação entre o material graúdo e miúdo, são os principais responsáveis pelo

ISBN: 978-85-65425-32-2

aparecimento de fissuras. Outro erro, por vezes cometido, é a imperícia durante a execução das instalações prediais e armações de parede, de maneira que no ato da concretagem estas saiam da posição desejada. Consequentemente, ocorre o entupimento das instalações e a armadura surge na superfície do concreto.

A consequência da imperícia na execução das etapas de uma obra de parede de concreto é a geração de um retrabalho com alto grau de dificuldade. Na maioria das situações, a solução do erro cometido envolve: uma operação de quebra de parte do concreto, o reparo em si e o preenchimento da abertura novamente com concreto. Estas operações são difíceis de executar, pois se trabalha com arremates de concreto e não de alvenaria. O resultado destas operações “extras” é a elevação dos custos com material e mão de obra.

As fôrmas utilizadas no conjunto Rosa Luxemburgo, por exemplo, foram compradas ao custo de 1 milhão de reais; a justificativa para tal valor é o reuso das mesmas por 200 vezes, mas na prática não atendeu 50% do prometido (Figura 11), por esse motivo atualmente na obra *in loco* também são encontradas fôrmas alugadas, ao custo de R$ 80.000/mês.

O custo para aquisição das fôrmas que é extremamente elevado, acaba por se tornar uma desvantagem quanto à escolha de se construir utilizando paredes em concreto, pois é o que geralmente impede que pequenos construtores possam conseguir aplicar este método construtivo, onde no caso da obra do conjunto Rosa Luxemburgo também se tornou um problema.

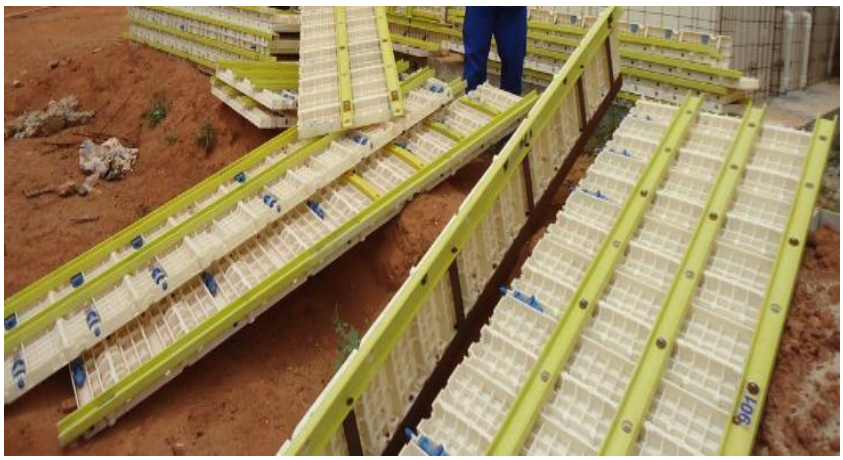


Figura 11 – Fôrmas compradas que apresentaram problemas

Outra desvantagem a ser apresentada é a questão do transporte das fôrmas, que mesmo sendo de reponsabilidade do fabricante ou locatário, seu recebimento deve ser observado para que sejam identificados possíveis danos causados no ato no transporte, para tanto é necessária uma logística por parte dos envolvidos no processo.

Segundo os responsáveis técnicos da obra, as fôrmas alugadas atenderam e atendem melhor às necessidades da obra (Figura 12), pois os defeitos apresentados pelas compradas eram referentes ao travamento, o que prejudicaria nas medidas das paredes após a retirada das mesmas, fato que não ocorreu com as fôrmas alugadas.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 12 – Fôrmas alugadas que são utilizadas atualmente

Acerca da mão de obra, ela precisa ser um pouco mais qualificada que a mão de obra utilizada para a construção convencional, pois é necessário um treinamento prévio para a perfeita execução das paredes em concreto, pois qualquer erro humano interfere na qualidade final da obra. Sendo assim, a opção quanto ao uso de paredes de concreto em obras pode ser considerada desvantagem por limitar o tipo de mão de obra e pode ser considerada uma vantagem, pois eleva a qualidade da construção.

Outra desvantagem a ser analisada é questão arquitetônica das obras de parede de concreto. Não que este processo construtivo seja limitado quanto à competência para construir projetos de diferentes formas, porém, uma vez construído, não há como fazer mudanças internas na organização das paredes.

Como neste processo construtivo cada parede faz parte da estrutura da edificação, não é permitido, por exemplo, retirar paredes, abrir portas e janelas fora do projeto, ou ainda, executar uma abertura na parede divisória entre a sala e a cozinha para que haja uma comunicação entre ambos (estilo americano).

No entanto, esta limitação arquitetônica não é peculiaridade do processo construtivo de parede de concreto, também sendo característica do seu principal concorrente nas obras de baixo padrão: a construção de alvenaria estrutural.

O Quadro 1 abaixo apresenta um resumo acerca das vantagens e desvantagens quanto à opção pelo uso do sistema construtivo em paredes de concreto.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 1 – Vantagens e Desvantagens quanto à opção pelo uso das paredes de concreto em unidades residenciais

Vantagens	Desvantagens
Curto prazo de execução = retorno mais rápido do lucro	Alto custo para aquisição das fôrmas
Baixo custo com mão de obra (equipe de trabalho menor)	Fôrmas podem apresentar defeitos de fábricas (ocorreu na obra, mas foi resolvido)
Mão de obra qualificada (mais qualidade)	Mão de obra qualificada (limitação de mão de obra)
Obra de execução prática e eficiente (canteiro de obra limpo e maior controle de qualidade dos materiais e do processo)	Limitação para futuras reformas no imóvel (semelhante à alvenaria estrutural)
As paredes em concreto não necessitam de revestimento de argamassa, apenas de pintura ou textura	
Falhas visuais nas paredes podem ser corrigidas utilizando a própria textura que é utilizada para revestimento	

5. Conclusões

Conclui-se através da obra utilizada como objeto de estudo, que a opção pelo sistema construtivo em construção industrializada executada com paredes de concreto quando comparadas aos métodos de construção tradicionais e outros materiais de construção, apresentam inúmeras características positivas, mesmo sendo apresentavas algumas desvantagens quanto ao seu uso.

Os sistemas construtivos em paredes de concreto quando comparados com os sistemas construtivos tradicionais, diante dos valores apresentados com os gastos das fôrmas pode parecer que são mais onerosos, mas em relação ao custo benefício em termos de agilidade e confiabilidade percebe-se que o sistema em paredes de concreto utilizado para a execução das unidades residenciais apresenta algumas vantagens em relação aos aspectos técnicos e econômicos e um melhor resultado final satisfatório em relação a outros sistemas existentes considerados convencionais, como é o caso da construção em alvenaria; fator decisivo para a empresa vencedora da licitação do projeto das unidades residenciais do Conjunto Rosa Luxemburgo optar pelo uso da construção em paredes em concreto.

Também foi possível concluir que a viabilidade econômica não pode se basear somente no custo final gasto pela empresa construtora executora, pois deve-se avaliar muitos aspectos

ISBN: 978-85-65425-32-2

como tempo de execução da obra, otimização da obra e confiabilidade no sistema empregado.

Acerca da viabilidade técnica quanto à opção pelo uso da execução de paredes em concreto, através da obra estudada, percebe-se que o treinamento e conscientização das equipes de trabalho são elementos suficientes para enquadrá-los dentro deste sistema de gestão pela qualidade, pois quando se executa obras utilizando sistemas construtivos convencionais, a dificuldade para gerir sistemas de conscientização para execução de sistemas de gestão da qualidade é bem maior, pois a mão de obra empregada para se trabalhar com um sistema construtivo não usual precisa ser bem mais qualificada.

Acerca da opção pelo uso de paredes em concreto para a construção do Conjunto Rosa Luxemburgo, é importante cada vez mais divulgar a potencialidade do uso do sistema construtivo escolhido, pois essa escolha fornece diversas oportunidades arquitetônicas e inúmeras outras vantagens, que fazem da construção de paredes em concreto um sistema construtivo extremamente competitivo, onde no Brasil seu uso ainda não fornece tanta credibilidade e confiabilidade por parte de muitos construtores e projetistas, devido à cultura que a indústria da construção civil apresenta de que o confiável é apenas o convencional.

A utilização de novos sistemas construtivos e o aumento da competitividade na indústria da construção obriga a indústria da construção a se atualizar constantemente, melhorando a sua eficiência e as condições de trabalho através do desenvolvimento e inovação tecnológica, de novos sistemas e processos construtivos, como foi o caso da obra escolhida como objeto de estudo para este trabalho.

Referências Bibliográficas

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. Parede de Concreto - Coletânea de ativos 2007/2008.

_____. - Coletânea de ativos 2008/2009.

Abiko, A. K. Introdução à gestão habitacional. São Paulo: EPUSP, 1995. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/12.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16055: Parede de concreto moldada *in loco* para a construção de edificações – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

Brasil. Constituição Federal de 05 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/legislacao/>.

Brasil. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Parcelamento do Solo Urbano. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm>.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Brasil. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8666cons.htm>.

Brasil. Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9648cons.htm>.

Brasil. Lei nº 10.520, de 17 de julho de 2002. Modalidade de licitação denominada pregão para aquisição de bens e serviços comuns. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10520.htm>.

Calvacante, J. S. A nova face da relação: estado e sociedade. Revista de pós-graduandos de sociologia da UFPB. V. 3. João Pessoa, 2000.

CreswelL, John W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativos, quantitativos e misto. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

El Debs, M. K. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. São Carlos, 2000.

Fernandes, M. Agenda Habitat para municípios. Rio de Janeiro: IBAM, 2003.

Fiesp, Observatório da Construção - Cai participação da cadeia produtiva da construção na atividade econômica do brasil. 2017. Disponivel em: <http://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/cai-participacao-da-cadeia-produtiva-da-construcao-na-atividade-economica-do-brasil/>. Acesso em 05 de agosto de 2017.

Junqueira, A. C.; Vita, M. Os desejos da classe média. Revista Veja. São Paulo: abril, ed. 1739, ano 35, n. 7, p. 98-105, 20 fev. 2002.

Lima, F. Marcandier, R.; Moreira, L. Interface Digital IDA: Apoio ao Projeto com Sistemas Construtivos Alternativos. – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: <https://goo.gl/v0Shcx> Acesso em 28 de agosto de 2016.

Rosso, T. Racionalização da construção. São Paulo: Ed. FAU-USP, 1980.

Revista Téchne. Paredes de Concreto, 2009. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/146/imprime141977.asp>. Acesso em 20 de junho de 2017.

Sabbatini, F. H. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma tecnologia. São Paulo, 1989.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Viera, G. Industrialização da construção civil para o segmento econômico. Disponível em < https://goo.gl/3V71mL>. Acesso em 04 de julho de 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

EFEITO DA ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA NA CORROSIBILIDADE DO CONCRETO ARMADO, AVALIADA POR MEIO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA E DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE CORROSÃO

Effect Of The Addition Of Silica Fume On The Corrosivity Of The Reinforced Concrete, Evaluated By Means Of The Electrical Resistivity And Determination Of Corrosion Potential

Daniel ANDRADE MOTA[1], **Igor MACHADO DA SILVA PARENTE[2], Daniel** VÉRAS RIBEIRO[3]

[1] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, danielandrademota@gmail.com

[2] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, igor_parente@hotmail.com

[3] Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, verasribeiro@hotmail.com

Resumo: A corrosão das armaduras é o principal processo que, de maneira precoce, degrada as estruturas de concreto armado expostas a ambientes com altos índices de cloretos. Devido aos riscos às vidas humanas e ao alto custo relacionado à sua recuperação, muitos estudos têm sido realizados com o intuito de desenvolver e validar técnicas confiáveis para avaliar o processo corrosivo, além de desenvolver formas de mitigá-lo. No presente estudo, foi avaliada a influência da adição da sílica ativa, nos teores de 5, 10 e 15%, em relação à massa de cimento, sobre as características de corrosibilidade do concreto, utilizando, para isso, as técnicas de resistividade elétrica e potencial de corrosão. Os resultados obtidos demonstram a eficácia da sílica ativa como inibidor de processos corrosivos, reduzindo o potencial de corrosão e aumentando a resistividade elétrica do concreto.

Palavras-chave: concreto, corrosão, sílica ativa, resistividade elétrica, potencial de corrosão.

Abstract: Corrosion of reinforcement is the main process that, in an early stage, degrades reinforced concrete structures exposed to environments with high chloride ions indexes. Due to the risks to human lives and the high cost related to its recovery, many studies have been carried out with the aim of developing and validating reliable techniques to evaluate the corrosive process, besides developing ways to mitigate it. In the present study, the influence of the addition of active silica on the concrete's corrosivity characteristics was evaluated in 5, 10 and 15% of the cement mass, using the electrical resistivity techniques and corrosion potential. The results obtained demonstrate the efficacy of the silica fume as an inhibitor of corrosive processes, reducing the corrosion potential and increasing the electrical resistivity of the concrete.

Keywords: concrete, corrosion, silica fume, electrical resistivity, corrosion potential.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

1.1 Corrosão das armaduras induzida por íons cloreto

A presença de cloretos no concreto pode ocorrer devido a diversos fatores: uso de aditivos aceleradores de pega, agregados e/ou água de mistura contaminados, tratamentos de limpeza e atmosfera exposta a ambiente industrial e/ou névoa marinha. A penetração desses íons na matriz cimentícia ocorre pela ação de um mecanismo duplo, havendo primeiro a sucção e depois a difusão. Sua influência é extremamente danosa, visto que, além de aumentar a condutividade do eletrólito, eles participam diretamente na formação dos produtos de corrosão (RIBEIRO e CUNHA, 2014).

Este fenômeno é particularmente nocivo ao concreto armado, uma vez que, pequenas quantidades de cloretos livres serão capazes de provocar graves problemas corrosivos. (ALMEIDA e SALES, 2014). Os ânions Cl^- atuam sem serem consumidos na reação, conforme apresentado nas Equações 1 e 2:

$$Fe^{3+} + 3Cl^- \rightarrow FeCl_3 + H_2O \quad (1)$$

$$FeCl_3 + 3OH^- \rightarrow 3Cl^- + Fe(OH)_3 \quad (2)$$

Além da concentração de íons cloro, a umidade é um fator preponderante sobre a intensidade da corrosão. Além de aumentar a disponibilidade de eletrólito, a presença de umidade influencia na deposição de partículas de cloretos sobre a superfície metálica (METHA e MONTEIRO, 2008).

Como se trata de um mecanismo eletroquímico, para que ocorra a corrosão, é necessária a coexistência de alguns fatores, como a presença de um eletrólito, diferença de potencial, oxigênio e agentes agressivos (SANTOS, 2015). Sendo assim, pesquisadores têm utilizado técnicas complementares para obtenção de dados sobre o processo corrosivo e a qualidade do concreto, tais como potencial de corrosão e a determinação da resistividade elétrica, respectivamente (RIBEIRO *et al.*, 2012; MADANI, 2014; SENGUL, 2014).

1.2 Corrosibilidade do concreto armado

1.2.1 – Resistividade elétrica superficial do concreto

A resistividade elétrica (ρ) expressa uma medida de impedimento ao fluxo de corrente e é uma propriedade do meio onde se observa esse fluxo, independentemente da geometria e dimensões do corpo em estudo (GIROTTO e SANTOS, 2002; POLDER, 2001).

Pode-se dizer que a resistividade é uma propriedade do concreto, que indica sua capacidade de resistir à passagem de corrente elétrica. O fluxo de corrente nesse elemento é de natureza eletrolítica e se dá através dos íons presentes na solução evaporável contida na rede de poros e em outros espaços vazios, como microfissuras (ROUGEAU e GUIRAUD, 2014; POLDER, 2001; SANTOS, 2006).

De acordo com Ramezanianpour *et al.* (2011), a resistividade elétrica do concreto varia com a condutividade da solução presente nos seus poros. A presença de sais na solução

ISBN: 978-85-65425-32-2

intersticial do concreto, como cloretos, nitratos e sulfatos, facilita a mobilidade de cargas elétricas através da difusão iônica, uma vez que são eletrólitos fortes (POLDER, 2001).

Devido à extensa gama de fatores que a influencia, a resistividade elétrica do concreto pode variar ao longo de várias ordens de grandeza e, por esse motivo, é bastante utilizada para mensurar as condições desse elemento. Quando seco, o concreto se comporta como isolante elétrico, podendo apresentar resistividade elétrica de até 10.000 KΩ.cm. Quando saturado e na presença de íons, esse valor pode cair para 1 KΩ.cm, fucionando como um semicondutor (POLDER, 2001; PLOOY *et al.*, 2013).

Valores de referência da resistividade elétrica do concreto, em relação ao risco de ocorrência da corrosão, são sugeridos por órgãos normalizadores internacionais, como a norma CEB-192, da FIB ("*Fédération Internationale du Béton*") e o boletim europeu CE-COST 509 ("*Corrosion and protection of metals in contact with concrete*"), conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Valores de resistividade elétrica do concreto e sua relação com o risco de ocorrência da corrosão

Resistividade elétrica superficial (KΩ.cm)		**Risco de corrosão**
CEB-192	**COST 509**	
> 20	> 100	Desprezível
10 a 20	50 a 100	Baixo
-	10 a 50	Moderado
5 a 10	< 10	Alto
< 5	-	Muito Alto

1.2.2 – Potencial de corrosão

A técnica de potencial de corrosão é utilizada a fim de monitorar, de maneira contínua, o processo corrosivo em armaduras de aço incorporadas ao concreto, sendo aplicada para medidas em laboratório e campo devido à praticidade e demanda de simples aparato para sua realização, além de ser uma técnica não destrutiva (RIBEIRO, 2010; SANTOS, 2006). A partir desse ensaio, é possível indicar alterações no processo eletroquímico de corrosão e, através dos resultados obtidos, faz-se o mapeamento dos valores através de isolinhas de potenciais, utilizadas para identificar áreas propensas à ocorrência de processos corrosivos (GONZALEZ *et al.,* 2004).

A avaliação do processo corrosivo é feita através da análise qualitativa dos potenciais eletroquímicos das barras de aço, em relação a um eletrodo estável de referência. Este valor de potencial indica a tendência do metal em reagir com o meio, neste caso, o eletrólito presente nos vazios do concreto.

A limitação dessa técnica está relacionada à não percepção da taxa de corrosão, uma vez que os valores obtidos indicam apenas o balanço entre as reações anódicas e catódicas, o

ISBN: 978-85-65425-32-2

que não possibilita a determinação da velocidade com que o processo corrosivo está a ocorrer, indicando apenas a possibilidade de ocorrência de corrosão (RIBEIRO, 2010).

Dentro dessa técnica, a norma americana ASTM C 876/91 (Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete) estipula valores limites de potencial eletroquímico e sua relação com o processo corrosivo, conforme Quadro 2. Segundo Polder (2001), em relação à corrosão ativa do metal, medidas de resistividade elétrica podem ser utilizadas para determinar locais em que o processo corrosivo esteja atuando de maneira mais intensa.

Quadro 2 – Limites de potencial de corrosão de acordo com a norma ASTM C 876/91

Tipo de eletrodo	Probabilidade de ocorrer corrosão		
	< 10%	**10% – 90%**	**> 90%**
ENH*	> 0,118 V	0,118 a -0,032 V	< -0,032 V
$Cu/CuSO_4,Cu^{2+}$	> -0,200 V	-0,200 a -0,350 V	< -0,350 V
Hg, Hg_2Cl_2/KCl (sol. saturada)**	> -0,124 V	-0,124 a -0,274 V	< -0,274 V
Ag,AgCl/KCl (1M)	> -0,104 V	-0,104 a -0,254 V	< -0,254 V

**Eletrodo normal de hidrogênio*

*** Eletrodo de calomelano saturado*

1.3 Sílica ativa

A sílica ativa é um subproduto gerado na produção de silício-metálico e suas ligas, insumos muito utilizados por indústrias metalúrgicas, químicas e eletrônicas. Sua composição química, assim como propriedades físicas, varia conforme o tipo de liga produzido, e o processo e matéria-prima utilizados. A quantidade de resíduo gerado pode chegar a cerca de 55% da quantidade de liga metálica produzida (DAL MOLIN, 2011). De acordo com o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico, desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia, foram produzidas, no ano de 2014, 127 mil toneladas da liga ferro-silício, somente no Brasil.

A adição de sílica ativa ao concreto tem demonstrado influência positiva sobre suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Sua ação pozolânica, vinculada à extrema finura (efeito microfíler), confere à matriz cimentícia uma microestrutura mais compacta e densa, com menos poros e maior capacidade de resistir a esforços mecânicos e à ação de agentes agressivos (METHA e MONTEIRO, 2008), refletindo em maior durabilidade.

Vieira *et al.* (2007) citam pesquisas realizadas com microssílica, nas quais foi observado que, em relação a um concreto sem adição, melhores resultados foram obtidos em ensaios

ISBN: 978-85-65425-32-2

de permeabilidade, penetração de íons cloreto, absorção de água e perda de massa, em decorrência de ação química.

Resultados obtidos por Metha e Monteiro (2008) indicam reduções superiores a 80% na espessura da zona de transição em concretos com adição de sílica ativa, em relação a um concreto de referência, sem adições. Esses autores concluíram que o teor ótimo de adição de sílica ativa varia de 7% a 10% da massa de cimento, podendo chegar a teores de 15% em algumas situações especiais. Valores muito semelhantes, variando de 8% a 10%, foram sugeridos por Aïtcin (1998).

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

O concreto foi produzido com um cimento CP V-ARI RS, o qual não possui adições pozolânicas, eliminando a possibilidade de influência de outras adições reativas. A sílica ativa utilizada foi proveniente do município de Pojuca-BA. O agregado miúdo utilizado foi proveniente de jazida, localizada no município de Camaçari-BA. O agregado graúdo (brita) utilizado foi de origem basáltica, comercialmente disponível na cidade de Salvador-BA. As barras de aço utilizadas como armadura foram do tipo CA-50, nervuradas, com 6,3 mm de diâmetro e densidade de 7,85 g/cm³. Foi necessário utilizar um aditivo superplastificante para que a relação água/cimento se mantivesse inalterada. Esse aditivo não altera de forma significativa o tempo de pega, é isento de cloretos e composto basicamente por naftaleno sulfonado.

2.2 Métodos

2.2.1 – Caracterização dos materiais e dosagem do concreto

Foram realizadas medições da massa específica da areia (NBR NM 52:2009), brita (NBR NM 53:2009), cimento e sílica ativa (Picnômetro a gás hélio *AccuPyc* II 1340, *Micromeritics*).

A composição química do cimento e da sílica ativa foi determinada utilizando a técnica de fluorescência de raios-X (FRX). Já a identificação das fases e o grau de cristalinidade da cinza foram obtidos por meio da técnica de difração de raios-X (DRX), utilizando um difratômetro *D2 Phaser*, *Brucker*. A área superficial foi estimada utilizando um analisador de área superficial específica da marca *Quantachrome*, modelo Nova1000e.

Utilizando-se o traço, em massa, de 1 : 1,83 : 2,37 : 0,6 (cimento : areia : brita : água), foram preparadas quatro composições distintas de concreto: uma sem adições, utilizada como referência, e outras três contendo adição de 5%, 10% e 15% de sílica ativa, em relação à massa de cimento. As misturas foram preparadas em betoneira elétrica e os corpos de prova adensados com o auxílio de mesa vibratória. Após 24 horas eles foram desmoldados e dispostos em cura úmida até completarem 28 dias.

Foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura para os ensaios de determinação da densidade e porosidade aparentes do concreto, além de 3 corpos de prova com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura para os ensaios de resistividade elétrica e propagação da onda ultrassônica, e 4 corpos de prova prismáticos de 5x7x9 cm³ para os ensaios de potencial de corrosão, contendo duas barras de aço de

ISBN: 978-85-65425-32-2

6,3 mm de diâmetro cada, inseridas no momento da moldagem, e dispostas conforme ilustrado nas Figuras 3C e 3D.

2.2.2 – Resistividade elétrica do concreto

Para a medição da resistividade elétrica do concreto, baseada no princípio de *Wenner*, utilizaram-se dois equipamentos distintos, de fabricantes diferentes, mostrados na Figura 1.

(A) (B)

Figura 1 – Equipamentos utilizados para medição da resistividade elétrica do concreto. (A) *Resipod – Proceq* e (B) *Surf – Giatec Scientific*

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos para cada traço de concreto, com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Os corpos de prova ficaram em cura submersa até o momento do ensaio, que foi realizado à temperatura de 23±1°C.

Conforme procedimento proposto pela AASHTO TP 95-14 (“Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration”) foram feitas marcas no topo dos corpos de prova, referentes às posições relativas entre 0°, 90°, 180° e 270°. Foi marcado, também, o ponto médio da sua altura, para que o eixo entre os eletrodos internos pudesse ser alinhado nesta posição, conforme mostrado na Figura 2.

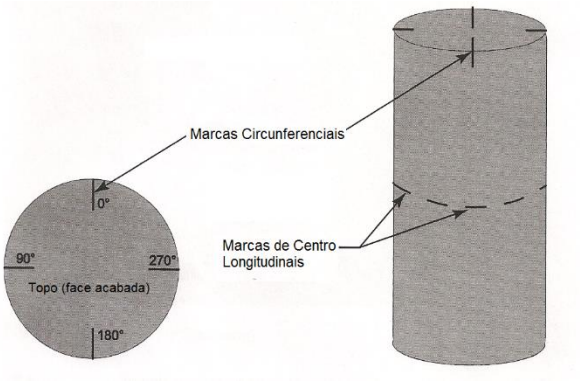


Figura 2 – Demarcação de corpo de prova para padronização das medidas de resistividade elétrica (AASHTO TP 95-14)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Foi utilizada a norma americana AASHTO TP 95-14 que apresenta uma proposta de correlação qualitativa entre a penetração de íons cloreto e a resistividade elétrica, para medidas realizadas em amostras de concreto cilíndricas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. O boletim europeu CE-COST 509, por sua vez, correlaciona a resistividade elétrica do concreto ao risco de corrosão. Estas correlações são apresentadas nos Quadros 3 e 4, respectivamente.

Quadro 3 – Correlação entre resistividade elétrica superficial e penetração de cloretos (AASHTO TP 95-14)

Resistividade elétrica superficial (KΩ.cm)	Intensidade de penetração de cloretos
< 12	Forte
12 – 21	Moderada
21 – 37	Fraca
37 – 254	Muito Fraca
> 254	Desprezível

Quadro 4 – Correlação entre resistividade elétrica superficial e o risco de corrosão (CE-COST 509)

Resistividade elétrica superficial (KΩ.cm)	Risco de corrosão (CE-COST 509)
-	Muito Alto
<10	Alto
10 a 50	Moderado
50 a 100	Baixo
> 100	Desprezível

Após os 28 dias de cura, os corpos de prova foram expostos em ambiente de laboratório até o início do ensaio. Durante esse período, a resistividade elétrica do concreto foi avaliada. Ao completar 80 dias de idade, os corpos de prova foram submetidos a aplicação do método de envelhecimento por ciclos, em que os mesmos passaram por ciclos de molhagem e secagem, sendo um semiciclo de imersão parcial em solução com 3% de cloreto de sódio (NaCl) com duração de dois dias, e posterior semiciclo de secagem em estufa ventilada a 50ºC, com duração de 5 dias. Ao final de cada ciclo, ou seja, a cada retirada da imersão em solução salina, foram tomadas as medidas de resistividade elétrica.

2.2.3 – Potencial de corrosão

Foi avaliado o potencial de corrosão das armaduras inseridas em corpos de prova prismáticos com dimensões de 5x7x9 cm^3. Foram utilizadas duas barras de aço em cada

ISBN: 978-85-65425-32-2

amostra, do tipo CA-50, com 6,3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, segundo metodologia adotada por Ribeiro (2010).

Com o intuito de padronizar as condições de superfície, as barras de aço foram submetidas a um processo de limpeza, segundo norma ASTM G-1/03 ("Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens"). Após o procedimento de limpeza e secagem, as barras foram pesadas e parcialmente revestidas com fita isolante, a fim de se delimitar as áreas que estiveram expostas ao ataque dos agentes agressores, conforme esquema mostrado na Figura 3.

Logo após o desmolde, fios flexíveis foram conectados às pontas expostas das barras de aço e a conexão foi envolvida com fita isolante. A face dos corpos de prova que continham as armaduras expostas, bem como, as pontas destas armaduras, foram protegidas com resina epóxi em caráter de proteção contra a corrosão, conforme mostrado na Figura 4.

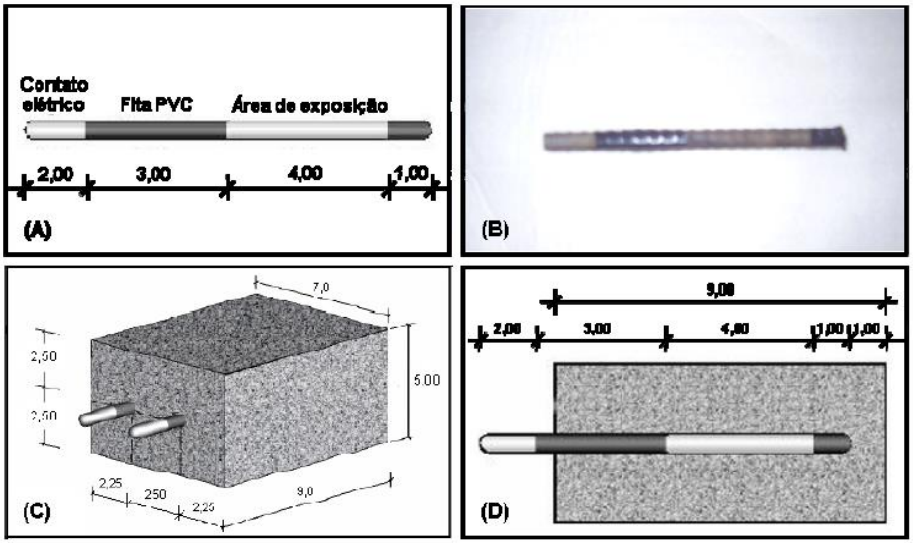


Figura 3 – (A) e (B) Esquema de delimitação da barra com fita isolante comum; (C) e (D) esquema do posicionamento das barras de aço no corpo de prova (RIBEIRO, 2010)

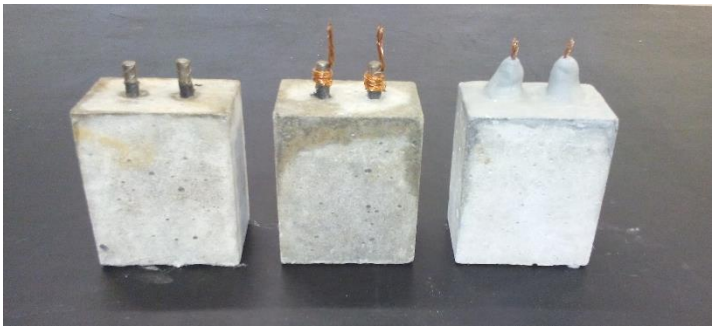


Figura 4 – Conexão dos fios de cobre às barras de aço e proteção com resina epóxi

ISBN: 978-85-65425-32-2

Após os 28 dias de cura, os corpos de prova foram expostos a ambiente de laboratório até o início do ensaio. Durante esse período foi avaliado o potencial de corrosão das barras metálicas.

Com o ensaio em andamento, foi utilizado o mesmo método de envelhecimento por ciclos aplicado aos corpos de prova destinados aos ensaios de resistividade elétrica. Ao final de cada semiciclo, ou seja, a cada retirada da estufa e a cada imersão da solução salina, foram tomadas as medidas do potencial de corrosão das barras metálicas, utilizando o eletrodo de calomelano saturado como referência. As medidas foram realizadas conforme mostrado na Figura 5. A célula eletroquímica montada para a medida do potencial de corrosão foi composta pelo eletrodo de trabalho (barra de aço imersa no corpo de prova) e pelo eletrodo de referência.

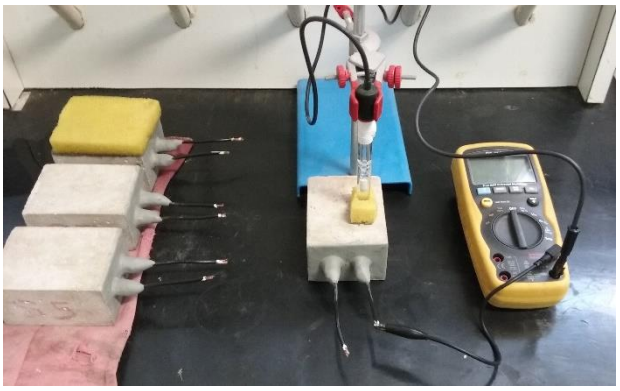


Figura 5 – Esquema de montagem do circuito para medição do potencial de corrosão

O ensaio foi interrompido quando o potencial de corrosão medido atingiu, por dois semiciclos secos consecutivos, valor inferior a -0,274 V, o que significa uma probabilidade de corrosão maior que 90% para a referência do calomelano saturado.

Após o término do ensaio, as armaduras foram extraídas dos corpos de prova e limpas, conforme preconiza a ASTM G-1/03 ("*Standard practice for preparing, cleaning, and evaluatingcorrosion test specimens*"). Após limpeza, elas foram pesadas, para avaliação da perda de massa devido à corrosão. A partir disso, a taxa de corrosão foi calculada, de acordo com a Equação 3.

$$TC = \frac{K.W}{A.T.D} \qquad (3)$$

Em que "K" é uma constante (para TC (µm/ano), correspondente a $8{,}76 \times 10^7$; para TC (g/m².ano), K = $8{,}76 \times 10^7$.D); "W" é a perda de massa (g); "A" é a área de exposição (cm²); "T" é o tempo de exposição (h); e "D" a densidade (para o aço CA-50, D é igual a 7,85 g/cm³).

ISBN: 978-85-65425-32-2

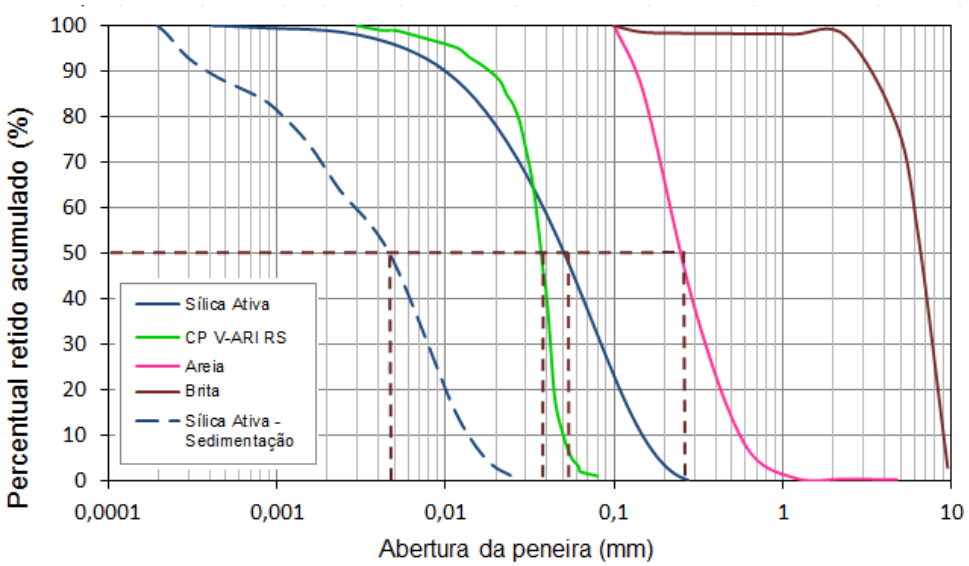
3. Resultados e Discussões

3.1 Caracterização dos materiais

A areia apresentou massa específica igual a 2,66 Kg/dm³ e dimensão máxima característica igual a 1,18 mm. A massa específica da brita foi igual a 2,87 Kg/dm³ e sua dimensão máxima característica igual a 9,5 mm. O cimento apresentou densidade igual a 3,14 Kg/dm³ e área superficial específica BET de 7,48 m²/g, enquanto a sílica ativa apresentou densidade igual a 2,35 Kg/dm³ e área superficial específica BET igual a 14,86 m²/g. A Figura 6 ilustra, de forma comparativa, a distribuição do tamanho das partículas destes quatro materiais.

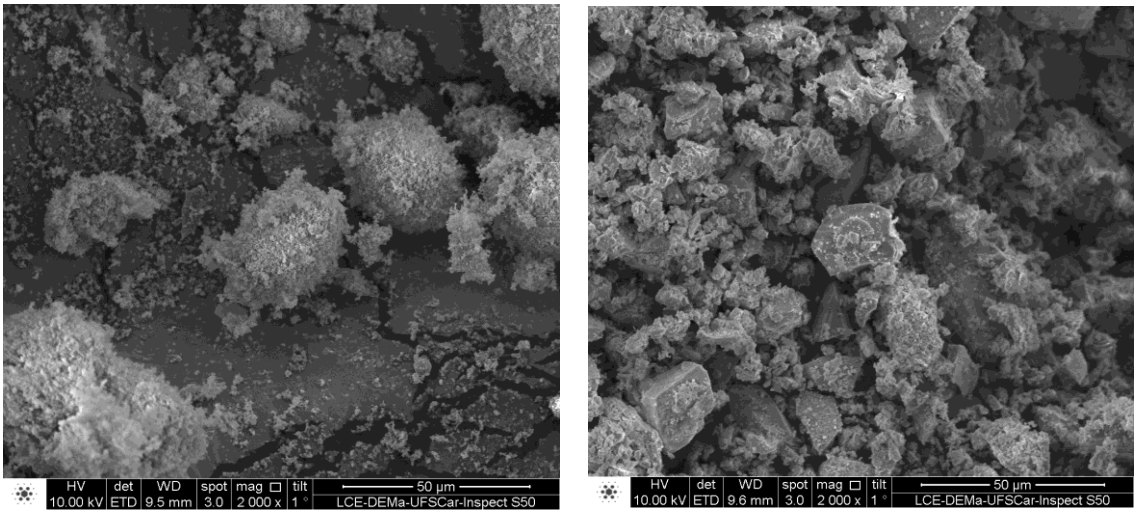
Devido a aglomeração existente na sílica ativa, a sedigrafia a laser não demonstrou uma grande eficiência na determinação da sua curva granulométrica, pois, o banho ultrassônico, utilizado para dispersão dos grãos, não forneceu energia suficiente para desagregar estes grãos aglomerados. Assim, utilizou-se adicionalmente o ensaio descrito na NBR 7181:1984 (Solo - Análise granulométrica). Este resultado também está plotado na Figura 6, representado pela linha tracejada azul, e indica que a sílica ativa é o material mais fino dentre os utilizados, conforme era esperado.

Figura 6 – Distribuição do tamanho de partículas dos materiais utilizados



A Figura 7 mostra como, de fato, há considerável aglomeração das partículas de sílica ativa. É possível notar nas micrografias como a amostra de sílica ativa possui grãos menores que os grãos de cimento, no entanto, estes apresentam-se aglomerados, mascarando os resultados de sedigrafia.

ISBN: 978-85-65425-32-2



(A) (B)

Figura 7 – Micrografias de amostras da sílica ativa (A) e cimento (B)

A alta concentração de sílica nas três adições utilizadas, principalmente na sílica ativa (79%), é um bom indicativo do potencial pozolânico desses materiais, pelo fato deste ser o principal composto que participa das reações pozolânicas. Assim como a finura, a reatividade da pozolana com o hidróxido de cálcio é diretamente proporcional ao teor de sílica em estado amorfo presente no material (SHARMA *et al*., 1993). O Quadro 5 apresenta a composição química dos materiais utilizados, determinada pela técnica de fluorescência de raios X (FRX).

Quadro 5 – Composições químicas do cimento e sílica ativa, em óxidos, obtidas por FRX.

Material	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	ZnO	SO_3	MnO	Outros
Cimento	19,1	4,8	3,2	61,1	2,7	-	3,4	-	5,7
Sílica Ativa	79,0	-	-	-	-	16,9	-	4,1	0,0

A Figura 8 mostra o difratograma da sílica ativa, obtido por meio da técnica de difração de raios X. A predominância da Tridimita, um mineral silicato, polimorfo do quartzo, confirma a informação da análise química sobre a presença da sílica. Destaca-se que a região de maior *background* se encontra na faixa dos picos de Tridimita, o que indica o grau de amorfização dessa fase, calculado em 71,4%.

ISBN: 978-85-65425-32-2

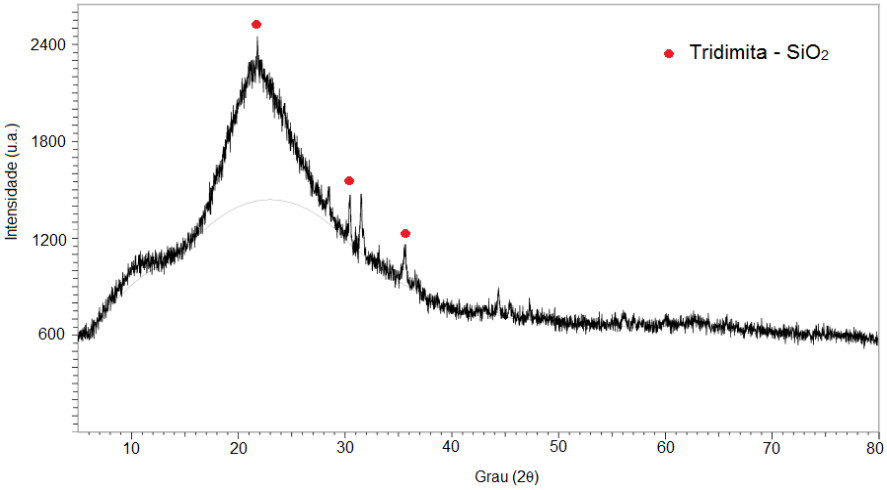


Figura 8 – Difratograma de raios X da sílica ativa

3.2 Caracterização do concreto

Na caracterização do concreto utilizado foram realizados ensaios de determinação da porosidade e densidade aparentes, utilizando-se uma técnica baseada no princípio de Arquimedes. Além desses resultados, foram calculadas a resistência à compressão e a velocidade do pulso ultrassônico que estão apresentadas no Quadro 6, juntamente com os demais resultados.

Quadro 6 – Valores de resistência mecânica, porosidade e densidade aparentes e velocidade da onda ultrassônica para as amostras analisadas aos 28 dias de idade

Mistura	Porosidade aparente (%)	Densidade aparente (g/cm^3)	Resistência à compressão (MPa)	Velocidade da onda ultrassônica (m/s)
Referência	17,84 ± 0,30	2,21 ± 0,01	25,5 ± 0,81	3812 ± 42,1
5% SA	17,01 ± 0,06	2,28 ± 0,02	31,3 ± 0,88	3900 ± 97,0
10% SA	16,80 ± 0,12	2,32 ± 0,02	35,7 ± 0,95	4000 ± 116,5
15% SA	16,72 ± 0,05	2,37 ± 0,02	41,3 ± 0,60	4100 ± 47,3

Os resultados mostram que, conforme se aumenta a proporção da adição de sílica ativa na mistura, cresce, também, o percentual de incremento de resistência, que chegou ao valor máximo de 62,2% para a mistura contendo 15% de adição. As amostras contendo 5% e 10% de sílica ativa apresentaram um incremento na resistência mecânica de 23% e 40,2%, respectivamente. De acordo com Metha e Monteiro (2008), a sílica amorfa é a principal responsável pelas reações pozolânicas, que geram o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) complementar, principal responsável pela resistência mecânica das matrizes cimentícias.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Isso ocorre, pois a reação pozolânica da sílica ativa promove um efeito físico relacionado à resistência à corrosão, que é a redução da interconectividade dos poros, ou seja, o refinamento dos poros aumenta a impermeabilidade do concreto, consequentemente, reduz a penetração de agentes agressivos.

A partir da análise do Quadro 5, observa-se que, conforme cresce o teor de adição de sílica ativa, há um acréscimo na densidade aparente, ao tempo que ocorre uma redução da porosidade. Observa-se, também, que, quanto maior o teor de sílica ativa adicionada ao concreto, menor é sua absortividade. Esse comportamento se deve ao refinamento, aumento de tortuosidade e tamponamento dos poros, causado pelos efeitos filler e pozolânico desta adição (VIEIRA, 2007).

A partir da análise do ensaio de ultrassom, é possível observar que as misturas contendo adição apresentaram maiores velocidades de propagação da onda ultrassônica em relação à referência. Isso era esperado, uma vez que a adição de materiais finos, com propriedades pozolânicas, tende a compactar a microestrutura do concreto, aumentando sua densidade. Para as misturas contendo sílica ativa, quanto maior o teor de adição, maior a compacidade microestrutural, elevando a velocidade de propagação do pulso ultrassônico.

3.3 Análise da corrosibilidade do concreto armado

3.3.1 – Resistividade elétrica do concreto

Como foi dito anteriormente, após os 28 dias em cura imersa, os corpos de prova foram expostos a ambiente de laboratório, com temperatura controlada em 23±1°C, até completarem 80 dias de idade. Após essa idade, deu-se início ao ensaio de envelhecimento por ciclos, conforme descrito no item 2.2.2.

Não foi possível a tomada de dados após os ciclos secos, pois, devido à alta resistividade apresentada pelos corpos de prova, a intensidade da corrente elétrica resultante não atingiu um valor mínimo que pudesse ser lido pelo aparelho utilizado.

O gráfico da Figura 9 mostra a evolução da resistividade elétrica observada para as misturas contendo sílica ativa, além do valor de referência. A linha vertical preta marca o início da exposição dos corpos de prova ao ensaio de envelhecimento acelerado por ciclos, aos 80 dias de idade, realizado simultaneamente aos corpos de prova utilizados para o ensaio de potencial de corrosão.

ISBN: 978-85-65425-32-2

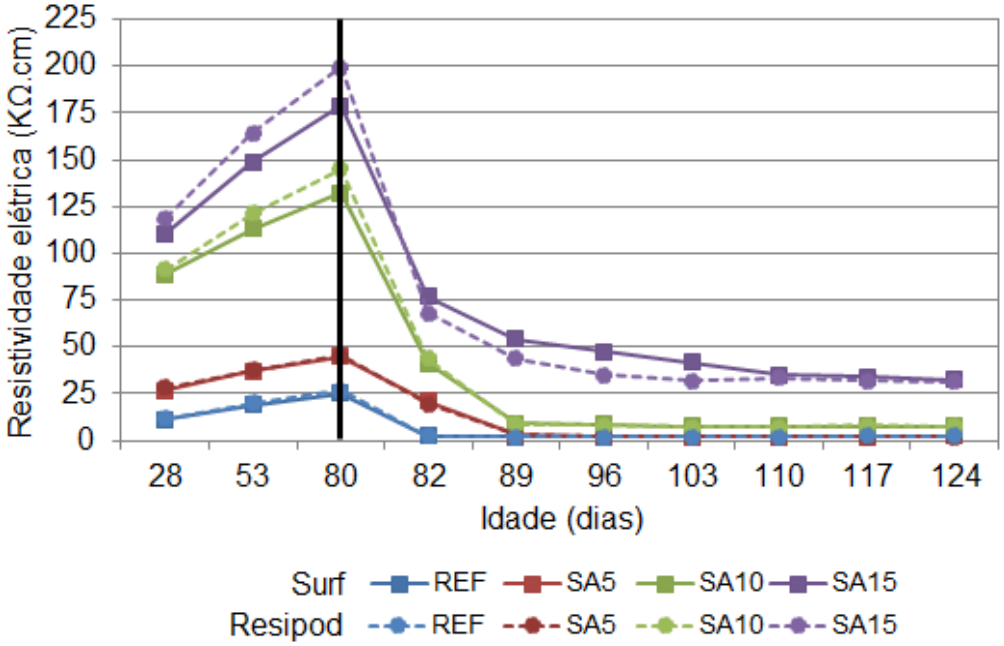


Figura 9 – Resistividade elétrica do concreto para diferentes teores de adição de sílica ativa, em função da idade, para os dois equipamentos utilizados.

Pode-se observar que, para todas as amostras, a resistividade elétrica foi incrementada até o 80º dia. Esse fato está atrelado à redução, por evaporação da água, do volume de eletrólito presente nos poros do concreto, vinculado ao progresso das reações de hidratação.

A partir do início da exposição dos corpos de prova ao ensaio de envelhecimento por ciclos, pode-se observar forte queda nos valores de resistividade para todas as amostras, fruto da saturação dos poros e aumento da atividade iônica do eletrólito, devido à absorção de íons cloreto. Nota-se claramente que a adição de sílica ativa promove um contínuo aumento nos valores de resistividade elétrica, principalmente a partir de uma adição de 10% (SA10 e SA15), devido a uma maior densificação do concreto promovida pela presença dessa adição.

O quadro 7 mostra uma classificação dos concretos analisados em termos de risco de corrosão e penetrabilidade a íons cloreto, de acordo com os limites estabelecidos pelas normas CE-COST 509 e AASHTO TP 95-14, respectivamente, aos 80 dias.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 7 – Classificação dos concretos analisados quanto ao risco de corrosão (CE-COST 509) e penetração de cloretos (AASHTO TP 95-14) em função dos resultados de resistividade elétrica.

Misturas	Resistividade elétrica superficial (KΩ.cm)	Risco de corrosão (CE-COST 509)	Penetração de cloretos (AASHTO TP 95-14)
REF	11,3	Moderado	Forte
SA5	138,1	Desprezível	Muito Fraca
SA10	687,6	Desprezível	Desprezível
SA15	879,6	Desprezível	Desprezível

Observa-se que, quanto maior o teor de adição de sílica ativa, até o limite estudado de 15%, menor é o risco de corrosão e menor é a penetrabilidade a íons cloro, conforme esperado.

3.3.2 – Potencial de corrosão

A partir dos resultados obtidos no ensaio de potencial de corrosão é possível avaliar a provável iniciação da corrosão, até o momento em que os valores de potencial ultrapassam o limite -274 mV, pois, de acordo com a ASTM C 876/9, este ponto caracteriza uma probabilidade maior que 90% para ocorrência da corrosão.

Os limites indicados nesta norma estão representados na Figura 10 pela linha tracejada de cor laranja, representando o potencial limite de passivação (-124 mV), e linha na cor vermelha, representando o potencial limite que indica o início do processo corrosivo (-274 mV). O ensaio de envelhecimento por ciclos, iniciado aos 80 dias de idade, está representado pela linha vertical preta.

É possível observar que, antes do início do ensaio de envelhecimento por ciclos, as barras de aço presentes em todas as misturas atingiram o potencial de segurança, superior a -124 mV, indicando a formação do filme passivo.

Após os 80 dias, observa-se variação nos valores do potencial elétrico, que se mostraram menos negativos após os semiciclos secos e mais negativos após os semiciclos úmidos.

Como pode ser visto na Figura 10, as barras imersas nas misturas de concreto contendo sílica ativa apresentaram maior tempo de ensaio, indicando que a frente de cloretos levou mais tempo para chegar até a superfície destas barras em concentração suficiente para provocar sua despassivação. Essa informação corrobora com os resultados obtidos nos ensaios físicos, mecânicos e de resistividade elétrica. Quanto maior o teor de SA adicionado (até 15%), maior foi o tempo para a iniciação da corrosão.

ISBN: 978-85-65425-32-2

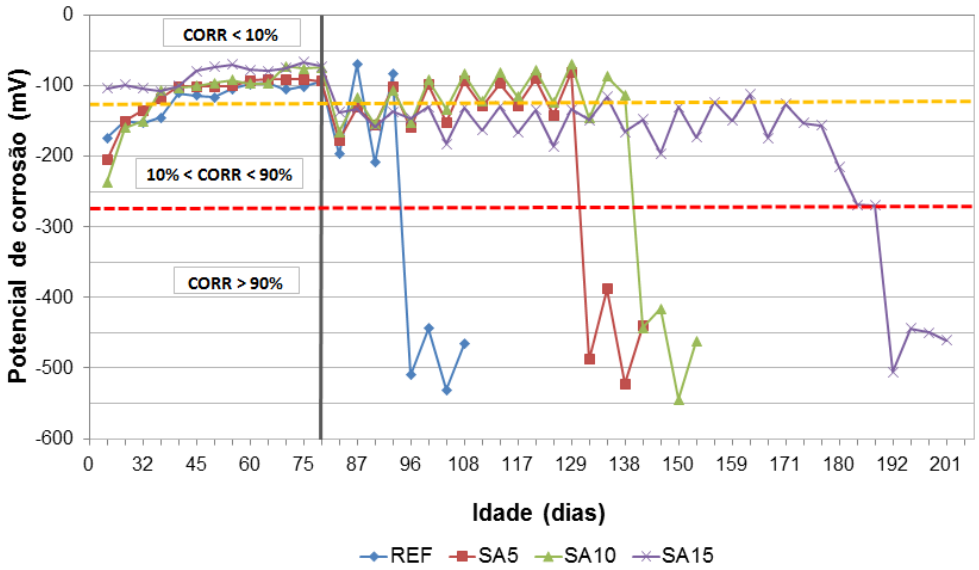


Figura 10 – Potenciais de corrosão de barras metálicas imersas em corpos de prova de concreto, para diferentes teores de adição de sílica ativa, em função da idade

Após o término do ensaio, as barras foram limpas com ácido e pesadas e, com os valores de perda de massa, área de exposição (7,91 cm²) e do tempo de ensaio (3408 horas), foi possível estimar a taxa de corrosão, utilizando a Equação 3. A Figura 11 mostra os valores calculados para todas as amostras.

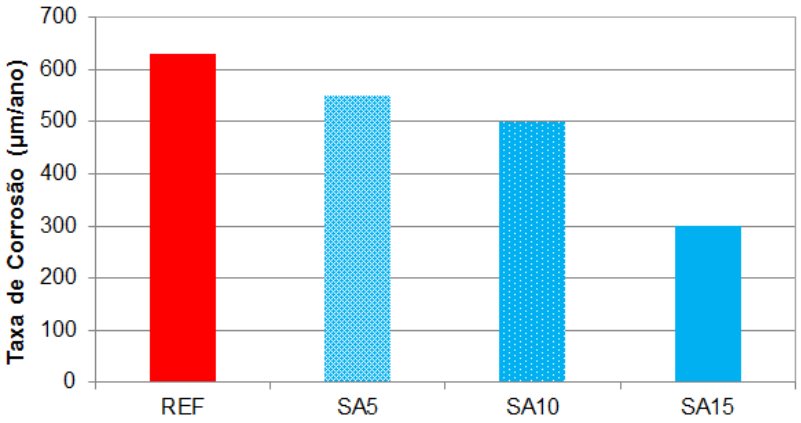


Figura 11 – Taxa de corrosão das barras de aço inseridas nos corpos de prova de concreto, para as misturas contendo sílica ativa.

A partir da análise da Figura 11 observa-se que as misturas contendo sílica ativa apresentaram taxa de corrosão inferior à da referência, como era esperado, indicando uma menor perda de massa metálica ao longo do tempo de ensaio.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- A adição de sílica ativa proporcionou a compactação da microestrutura do concreto, promovendo melhoria nas suas características físicas e, quanto maior a quantidade adicionada deste material (entre os teores de 5%, 10% e 15%), maior a durabilidade observada;
- A adição de sílica ativa incrementou a resistividade elétrica do concreto em grande intensidade. Quanto maior o teor de adição, maior o incremento observado;
- A resistividade elétrica é uma propriedade diretamente influenciada pelas características microestruturais da matriz cimentícia;
- A resistividade elétrica é diretamente proporcional ao período de iniciação da corrosão, e inversamente proporcional à taxa de corrosão, mostrando-se como um parâmetro confiável, para a caracterização do concreto;
- O teor de eletrólito nos poros do concreto, bem como, a concentração de sais, influencia fortemente as medidas de resistividade elétrica e potencial de corrosão;
- As medidas de potencial de corrosão e resistividade elétrica se complementam na caracterização do concreto armado quanto à ocorrência da corrosão.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal da Bahia, ao Laboratório de Ensaios em Durabilidade dos Materiais pelo suporte técnico e à agência financiadora, CAPES.

Referências

Aïtcin, P.C. (1998). High-Performance Concrete, Université de Sherbrooke, Québec, Canada.

Almeida, F.C.R., Sales, A. (2014). Efeito da ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto. In: Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria controle e métodos de análise. cap.4, ed. Campus, Elsevier, coordenado por RIBEIRO, D.V. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - ABNT. (1984). Solo - análise granulométrica. NBR 7181. 16p.

Dal Molin, D.C.C. (2011). Concreto: Ciência e Tecnologia. v. 1, cap. 8. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON.

Girotto, E.M., Santos, I.A. (2002). Medidas de resistividade elétrica DC em sólidos: como efetuá-las corretamente. Quimica Nova, v. 25, n. 4, p. 639-647.

Gonzalez, J.A., Miranda, J.M., Feliu, S. (2004). Considerations on reproducibility of potential and corrosion rate measurements in reinforced concrete. Corrosion Science, v. 46, p. 2467–2485.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Madani, H., Bagheri, A., Parhizkar, T., Raisghasemi, A. (2014). Chloride penetration and electrical resistivity of concretes containing nanosilica hydrosols with different specific surface áreas, Cement & Concrete Composites, v.53, p.18–24.

Mehta P.K., Monteiro P.J.M. (2008). Concreto: estrutura, propriedades e materiais. PINI, São Paulo-SP.

Pinto, S.A. (2016). Correlações entre ensaios de penetração de cloretos e análise da influência do uso da microssílica na durabilidade do concreto armado. Salvador. 119p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia.

Plooy, R, Lopes, S.P., Villain, G., Dérobert, X. (2013). Development of a multi-ring resistivity cell and multi-electrode resistivity probe for investigation of cover concrete condition, NDT&E International, v. 54, p. 27–36.

Polder, R.B. (2001). Test methods for on site measurement of resistivity of concrete - a RILEM TC-154 technical recommendation. Construction and Building Materials, v.15, p.125-131.

Ramezaniampour, A.A.; Pilvar, A.; Mahdikhani, M.; Moodi, F. (2011). Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength. Construction and Building Materials, v. 25, p. 2472–2479.

Ribeiro, D.V. (2010). Influência da adição da lama vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado. São Carlos. 222p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos.

Ribeiro, D.V., Labrincha, J.A., Morelli, M.R. (2012). Efeito da adição da lama vermelha na corrosibilidade do concreto armado avaliado por meio de técnicas eletroquímica, IBRACON Structures and Materials Journal, vol. 5, nº 4.

Ribeiro, D.V., Cunha, M.P.T. (2014). Deterioração das Estruturas de Concreto Armado. In: Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria controle e métodos de análise. cap.6, ed. Campus, coordenado por RIBEIRO, D.V., Rio de Janeiro.

Ribeiro, D.V., Cunha, M.P.T. (2014). Técnicas de avaliação e monitoramento da corrosão em estruturas de concreto armado. In: Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria controle e métodos de análise. cap.8, ed. Campus, coordenado por D.V. RIBEIRO, Rio de Janeiro.

Rougeau, P., Guiraud, P. (2014). A durabilidade no contexto normativo europeu. In: Durabilidade do concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. 1. ed, cap. 7. Ed. J.P. OLLIVIER e A. VICHOT, Tradução: O. Cascudo e H. Carasek. São Paulo: IBRACON.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Santos, L. (2006). Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto. Brasília, 2006. 178p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília.

Santos, A.V. (2015). Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido à carbonatação. Revista online IPOG – Especialize.

Sengul, O. (2014). Use of electrical resistivity as an indicator for durability, Construction and Building Materials, v.73, p.434–441.

Sharma, R.C., Jain, N.K., Ghosh, S.N. (1993). Semi-theoretical method for assessment of reactivity of fly ash. Cement and Concrete Research, v. 23, p. 41-45.

Vieira, F.P., Kulakowski, M.P., Dal Molin, D., Vilela, A.C.F. (2007). Estudos de durabilidade em concretos e argamassas com adição de microssílica. Porto Alegre, 2007. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO: MÉTODOS EXECUTIVOS, PROJETOS E PATOLOGIAS.

Waterproofing Systems: Executive Methods, Projects And Pathologies

Jomil da Silva Borges Júnior[1], **Amanda Evelyn Barbosa de Aquino**[2], Wendel Melo Prudêncio de Araújo[3]

[1] Universidade Estadual do Piauí,Tresina-Pi, Brasil, jomil_jr034@hotmail.com

[2] Universidade Federal do Piauí,Tresina-Pi, Brasil, amandabarbosaeng@gmail.com

[3] Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Teresina-Pi,Brasil, wendelprudencio@hotmail.com

Resumo: O mercado da construção civil está cada vez mais exigente, sempre focando na qualidade, conforto, economia e prazo de execução das edificações. Pensando nisso, as técnicas de impermeabilização vêm, cada vez mais, sendo exploradas e difundidas, mesmo entre as pequenas construções, onde as fiscalizações são mais difíceis. O mesmo procura elencar, através de uma revisão bibliográfica a importância dos projetos de impermeabilização, citando alguns detalhes que estes agregam, tais como: qual sistema deve ser utilizado em cada situação, cuidados que devem ser tomados antes, durante e depois das execuções, e patologias associadas às falhas no sistema. Dessa forma o presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de contribuir com a dispersão acerca das técnicas de impermeabilização, sendo de suma importância o profissional saber selecionar a melhor opção, de acordo com a necessidade de cada situação construtiva.

Palavras-chave: Sistemas, Impermeabilização, Patologias.

Abstract: The construction market is increasingly demanding, always focusing on the quality, comfort, economy and execution time of the buildings. With this in mind, waterproofing techniques are increasingly being exploited and diffused even among small buildings, where inspections are more difficult. It also seeks to list, through a bibliographical review, the importance of waterproofing projects, citing some details that they add, such as: which system should be used in each situation, what should be done before, during and after the executions, and Pathologies associated with system failures. In this way the present work was developed in order to contribute to the dispersion of waterproofing techniques, being of the utmost importance that the professional know how to select the best option according to the need of each constructive situation.

***Keywords*:** Systems, Waterproofing, Pathologies

1. Introdução

A construção civil vem avançando a passos largos em termos de técnicas construtivas. Paralelo a esse crescimento os padrões e as exigências com as condições de utilização das edificações aumentam a cada dia e, com isso o desenvolvimento de novos sistemas construtivos. A impermeabilização é uma das fases de construção em uma edificação, que

ISBN: 978-85-65425-32-2

consiste em um procedimento para o emprego de materiais específicos com o propósito de preservar as diversas áreas de uma edificação, contra a ação de águas que podem ser ,por exemplo, pluviais, de lavagem, condensação (IBI, 2016).

Um sistema de impermeabilização bem executado é crucial para que seja garantida tanto a estética quanto as condições de habitabilidade da construção. Além disso, a durabilidade da edificação é prolongada, principalmente em áreas molháveis que são as mais influenciadas por terem contato direto com a água. Em contrapartida, a diminuição do retrabalho, que gera ainda mais imperfeições, é reduzida.

O risco de surgimento de patologias provenientes da falta de um sistema de impermeabilização bem executado, como o surgimento de fungos, eflorescências, rachaduras, manchas d'água, lodos e até a corrosão de armaduras, é elevado, segundo Oliveira (2013). Isso pode ocorrer devido tanto aos materiais utilizados, como à forma de execução.

Dentre as causas possíveis para falhas nos sistemas de impermeabilização, encontra-se o desconhecimento técnico, uma vez que tal assunto é pouco difundido nos cursos de graduação, e a busca pela informação, quando existe, acaba sendo feita aos próprios fornecedores, sem que se avaliem as opções existentes, resultando em aumento de gastos com, muitas vezes, apenas, a "maquiagem" do problema (Associação das Empresas Impermeabilização do estado do Rio de Janeiro, 2015). A desinformação fica evidente frente à diversidade de produtos que são encontrados no mercado da construção civil, o que tem gerado confusão por parte não só dos leigos quanto também dos construtores.

O aumento da cobrança, tanto por parte da responsabilidade do construtor em relação ao cliente, como da promulgação da Norma de Desempenho, tornou-se fator preponderante para a maior fiscalização e cuidados com esta etapa, que está quase que onipresente em uma edificação bem executada. Com isso, esse trabalho tem como objetivo as definições e características gerais dos Sistemas de Impermeabilização, verificando recomendações técnicas, métodos executivos, materiais empregados com a finalidade de ter conhecimento das principais patologias que podem acometer, enfatizando formas de prevenção.

2. Sistemas de Impermeabilização

Segundo Arantes (2007) impermeabilização é definida como "o sistema construtivo que protege a edificação contra as condições do meio em que está edificada", visando, conjunta ou isoladamente, a durabilidade da edificação; o conforto e saúde do usuário; e a proteção ao meio ambiente.

De acordo com a NBR 9575/2010 o Sistema de Impermeabilização é um conjunto de produtos e serviços destinados a conferir estanqueidade a partes de uma construção. Vários são os elementos utilizados para a execução dos sistemas de impermeabilização, e estes, por sua vez, são definidos, em sua maioria da seguinte forma:

- Acrílico para impermeabilização: polímeros obtidos através de monômeros acrílicos e de seus derivados.

ISBN: 978-85-65425-32-2

- Aditivo impermeabilizante: produto adicionado à argamassa ou ao concreto até a quantidade de 1% em relação ao peso do produto final, para promover propriedades impermeabilizantes.
- Argamassa modificada com polímero: tipo de impermeabilização dosada em obra, aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros.
- Argamassa polimérica: tipo de impermeabilização industrializada, aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes.
- Armadura para impermeabilização: componente da camada impermeável destinado a absorver esforços mecânicos, o qual deve ser compatível com o tipo de impermeabilização.
- Asfalto modificado com adição de polímeros: produto obtido pela modificação do cimento asfáltico de petróleo com polímeros, de modo a serem obtidas determinadas características físico-químicas.
- Asfalto elastomérico: produto obtido pela adição de polímeros elastoméricos no cimento asfáltico de petróleo, em temperatura adequada.
- Asfalto plastomérico: produto obtido pela adição de polímeros plastoméricos no cimento asfáltico de petróleo, em temperatura adequada.
- Asfalto modificado sem adição de polímeros: produto obtido pela modificação do cimento asfáltico de petróleo com reações físico-químicas, de modo a serem obtidas determinadas características.
- Asfalto oxidado: produto obtido pela passagem de uma corrente de ar através de uma massa de cimento asfáltico de petróleo, em temperatura adequada.

2.1. Forma de atuação da água nas construções

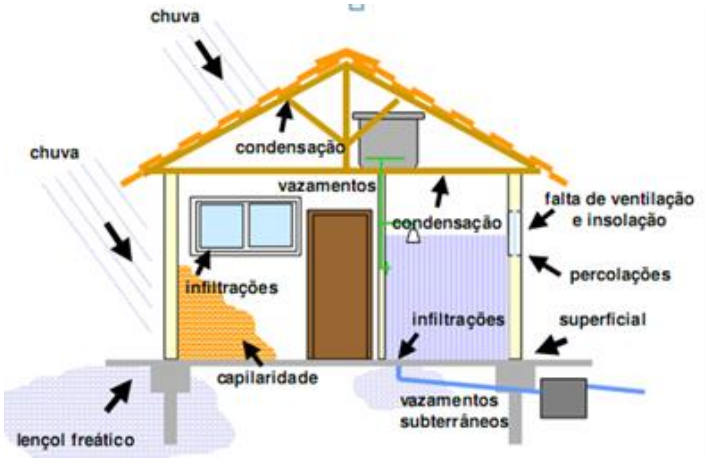
A água é um insumo bastante utilizado na indústria da construção civil, especialmente no Brasil, em que o uso de sistemas construtivos inovadores é inócuo, e o sistema tradicional trabalha excessivamente com a produção de argamassas e concretos durante a execução e a moldagem das peças. De uma forma geral, a construção civil utiliza materiais porosos em que a infiltração de água pode ocorrer com certa facilidade, requerendo cuidados durante a construção.

A água é um dos maiores causadores de patologias, de forma direta ou indireta, quer se encontre no estado de gelo, no líquido ou mesmo enquanto vapor de água. Pode ser vista como um agente de degradação ou como meio para a instalação de outros agentes Queruz (2007).

Os fluidos, principalmente a água, podem atingir a edificação de diferentes formas: percolação, infiltração, capilaridade, vazamentos ou quando condensada, conforme figura 1.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 3: Formas de atuação da água nas edificações.

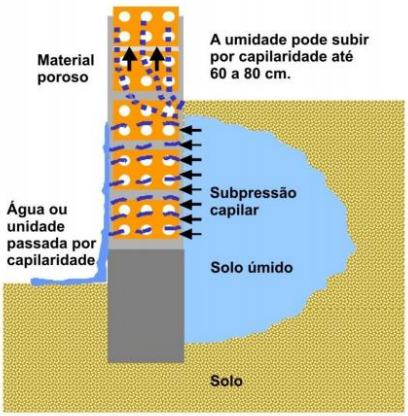


Fonte: Casa D'água p.4 (2014)

2.1.1 Capilaridade

O efeito de capilaridade consiste na ascensão da água no sentido vertical, vencendo até mesmo a força da gravidade, o que ocorre segundo Verçoza (1985) devido à viscosidade da água que gera uma tensão superficial provocando o aparecimento de pequenas mísulas nas áreas de contato do líquido com a superfícies que o contém, como exemplo prático mais comum de sua ocorrência em alvenarias de embasamento sem as devidas medidas preventivas, conforme figura 2.

Figura 4: Efeitos da água em alvenaria



Fonte: Casa d'água p. 10 (2014)

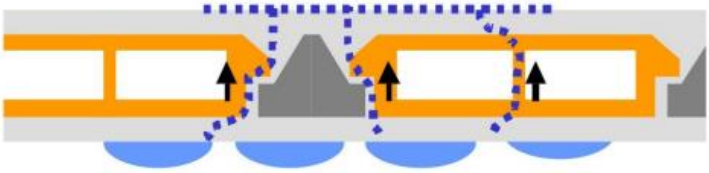
2.1.2 Condensação

Os efeitos da condensação ocorrem com a evaporação da água líquida ao estado gasoso. Esta, por sua vez, ascende às lajes, forros e coberturas, onde se acumula e acaba por precipitar, retornando à forma líquida. Muitas vezes, antes desta precipitação a água na

ISBN: 978-85-65425-32-2

forma gasosa penetra os materiais da construção (que como já mencionado, são porosos) encharcando-os e tornando o meio propenso a ação de intemperes, Verçoza (1985). conforme figura 3.

Figura 5: Condensação de água em laje

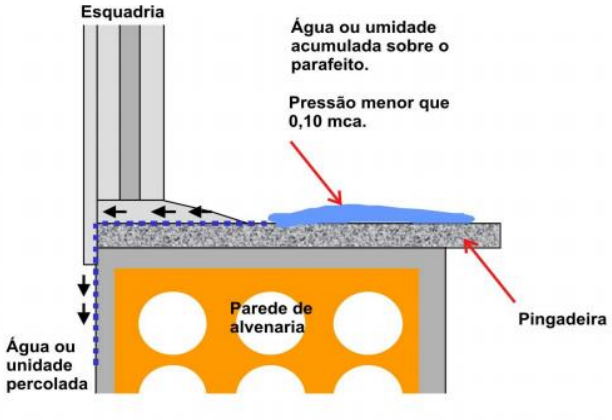


Fonte: Casa D'água. P. 10 (2014)

2.1.3 Percolação

Segundo Verçoza (1985) a passagem da água de grão a grão é chamada de percolação e é bastante comum na construção civil por conta da porosidade dos elementos que a compõe. Esta nada mais é que uma outra forma de capilaridade que ocorre não somente em sentido ascendente, como nas demais direções, conforme pode ser visto na figura 4.

Figura 6: Percolação da água em Peitoril



Fonte: Casa D'água p. 9 (2014)

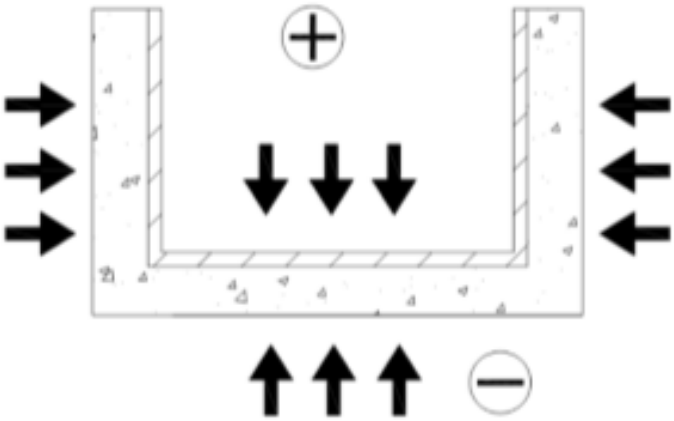
2.1.4 Pressão Hidrostática

O efeito da pressão hidrostática ocorre em estruturas que apresentem acúmulos de água, principalmente os reservatórios e piscinas, podendo gerar pressões positivas, ou melhor, aquelas no sentido da impermeabilização e acima de 1kPa, tendo como exemplo os reservatórios elevados; ou em efeito contrário, as estruturas que estão expostas às pressões inversas ao sentido das impermeabilizações, denominadas pressões negativas, também superiores a 1kPa, como o exemplo dos banheiros e subsolos. Existem ainda as estruturas que estão sob efeito de pressões bilaterais, recebendo efeitos internos e

ISBN: 978-85-65425-32-2

externos, exemplo dos reservatórios enterrados Soares (2014), conforme mostrado na figura 5.

Figura 7: Efeito de Pressões Bilaterais em estruturas.



Fonte: Soares (2014)

2.2 Fatores que Influenciam a Escolha dos Impermeabilizantes

O tipo de impermeabilização a ser escolhida é influenciado por uma série de eventos, dentre eles estão: o tipo de solo na qual a edificação está locada; a profundidade do lençol freático, a existência ou não de vazamentos nas redes hidráulicas, o tipo de revestimento, seja de fachada, seja exposto às áreas úmidas, a exposição constante e variável ao sol, chuva, vento e demais fenômenos da natureza.

Outro fator bastante importante é a intensidade do tráfego de pessoas e o intemperismo aos quais o sistema está sujeito. Essas divisões de intensidade fizeram com que a norma 9952/2014, Mantas Asfálticas para Impermeabilização, classificassem essas intensidades e dividissem as mantas conforme uso adequado. Segundo Soares (2014), as mantas asfálticas são classificadas em três tipos:

- Tipo A: Máximo desempenho e durabilidade;
- Tipo B: Alto desempenho e durabilidade;
- Tipo C: Médio desempenho e durabilidade.

2.3 Classificações

Segundo a NBR 9575/2010 a impermeabilização também divide-se em dois grandes grupos, os rígidos, os quais na maioria das vezes são incorporados à própria massa, possuindo em média o mesmo módulo de elasticidade que os concretos e argamassas; e os flexíveis, que são compostos pelas mantas e membranas e possuem alta resistência mecânica, fora a capacidade de expandir-se junto à estrutura. Existem ainda mais algumas subdivisões feitas pela norma, tais como: quanto à aderência, ao material e à forma de aplicação.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 6 Classificação dos principais sistemas de impermeabilização.

SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	ADERÊNCIA	FLEXIBILIDADE	MÉTODO DE EXECUÇÃO	MATERIAL
com argamassa impermeáveis	aderente	Rígido	*in loco*	argamassa
com argamassa poliméricas	aderente	Rígido	*in loco*	argamassa
com bloqueadores hidráulicos	aderente	Rígido	*in loco*	cristalizante
com cimento de pega ultrarápida	aderente	Rígido	*in loco*	cristalizante
com membranas asfálticas	aderente	fléxivel	*in loco*	asfáltico
com mantas asfálticas	aderente ou independente	fléxivel	pré-moldado	asfáltico
com membrana acrílica	aderente	fléxivel	*in loco*	polimérico
com membrana de poliuretano	aderente	fléxivel	*in loco*	polimérico
com membrana polimérica	aderente	fléxivel	*in loco*	polimérico

Stahlberg (2010).

3.0 Projeto de Impermeabilização

Os projetos de impermeabilização vêm aos poucos entrando no mercado da construção civil. Estes, por sua vez, detalham por meio de memoriais descritivos, desenhos precisos, especificações dos materiais e serviços a serem realizadas, planilhas de quantitativos, estimativa de custos e indicação das formas de medição. Graças a esses detalhes é possível eliminar a maioria dos erros provenientes de execuções sem projetos de impermeabilização.

Segundo o Instituto Brasileiro de Impermeabilização (2016), para que se possa garantir um serviço confiável, devem-se garantir três precauções básicas, dentre elas, um projeto específico, um prestador de serviço bem recomendado e a fiscalização constante do contratante. Recai, a partir desses três fatores, ao contratante, a maior responsabilidade, visto que o mercado oferece condições para suas execuções.

Os projetos de impermeabilização, segundo o IBI (2016), devem seguir especificações da NBR 13531/95 - Elaboração de Projetos de Edificações e da NBR 9575/10. Seu conteúdo deve dispor de informações gráficas e descritivas que detalhem todos os sistemas empregados.

3.1 A escolha da Impermeabilização

Os critérios de escolha do sistema de impermeabilização se tornaram mais exigentes com o surgimento da norma de desempenho. Antigamente, como explica Bernehoetf (2006) só

ISBN: 978-85-65425-32-2

era levado em conta a funcionalidade (capacidade estanque) e a questão econômica. Porém, com a adição da norma, mais dois fatores tiveram que ser adotados, a durabilidade e manutenibilidade passaram a serem critérios.

O tipo de impermeabilização escolhida para cada edificação varia de acordo com as solicitações impostas, tanto interna como externamente. Além disso, existe o fator custo, prazo e a mão-de-obra para implantação que devem ser devidamente posto em balança de forma a filtrar a melhor escolha.

A manutenibilidade é um fator de peso na escolha do sistema adequado. Visto que os sistemas tradicionais, segundo Bernehoeft (2006), não são manuteníveis, pois necessitam de proteções mecânicas, incapacitando seu acesso.

Outra informação da NBR 15575/13, importante a ser levado em conta, na hora da escolha do sistema de impermeabilização adequado. Esta, por sua vez, classifica a vida útil de projeto, em mínima, intermediária e superior (Bernehoeft, 2006), conforme Tabela 2.

Tabela 2: Tempos de vida útil estimado de projeto

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos Internos	≥13
Vedação vertical externa	≥40
Vedação vertical interna	≥20
Cobertura	≥20
Hidrossanitário	≥20
* Considerando a periodicidade e processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operações e Manutenções entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 5674	

Fonte: NBR 15575/2013

3.1 Detalhes de Projetos de Impermeabilização

Para uma vedação eficiente o sistema de impermeabilização deve ser executado em etapas e sob vistoria de profissional habilitado. Essas etapas possuem funções específicas e devem ser corretamente dimensionadas e planejadas.

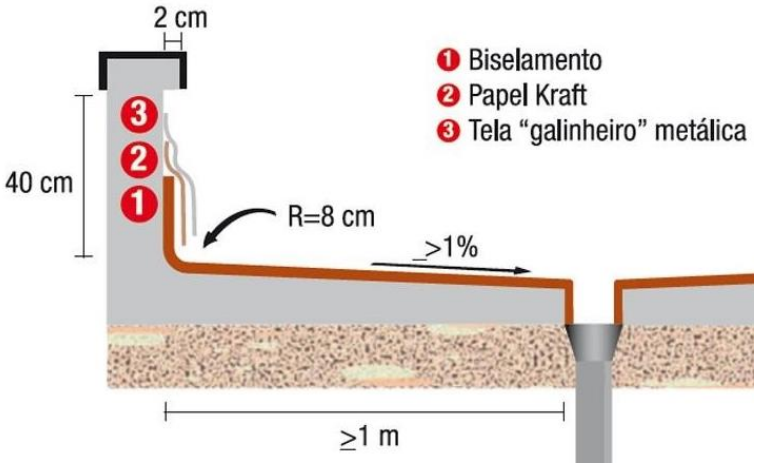
O projeto deve ser o mais abrangente possível, contemplando uma grande riqueza de informações. Dentre elas, devem constar: as definições usadas em projeto, classificação dos tipos (rígido ou flexível), tipos de substrato, serviços auxiliares, tipos de impermeabilização contra água de percolação e tipos de impermeabilização contra águas de condensação.

A continuidade do sistema e os reforços executados em pontos de fragilidade garantem o aumento da eficiência e vida útil da impermeabilização. Para tal deve ser devidamente prevista a sobreposição de rebarbas de mantas, regularizações e limpezas de camadas berço e de amortecimento, proibição do tráfego de pessoas que possam acarretar em

ISBN: 978-85-65425-32-2

perfurações nos sistemas, assentamento de mantas iniciando da parte mais baixa (onde há maior acúmulo de pressões), arredondamento de arestas, preparação de superfícies, execução de pingadeiras e assentamento de soleiras, principalmente, em locais de desníveis entre áreas secas e molhadas, detalhes mostrados na figura 06.

Figura 8: Detalhamento de projeto

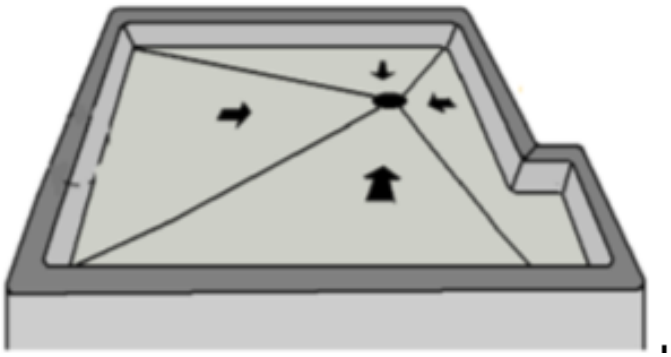


Fonte: Camba, Duarte, Oliveira (2016).

3.2.1 Caimentos e Ralos

Os caimentos são mecanismos de escoamento e destinação da água que fica de alguma forma retida ou acumulada nas edificações. Estes são determinados e devidamente executados seguindo as especificações de projetos de impermeabilização, compatibilizado com o projeto hidrossanitário que dimensiona e localiza os ralos e outros mecanismos de escape, conforme figura 07.

Figura 9: Detalhe de caimento de laje com um coletor.



Fonte: Casa D'água (2014)

Segundo a NBR 9575/2010, os caimentos devem ser executados na base da camada impermeabilizante e com inclinação mínima de 1% para áreas horizontais externas e de

ISBN: 978-85-65425-32-2

0,5% para calhas e áreas horizontais internas. Estes podem ser encontrados em lajes, peitoris, soleiras, bordas de piscinas, rufos, calhas, ralos, dentre outros.

3.2.2 Camadas Berço e Amortecimento

Ações físicas são danosas a sistemas expostos, causando efeitos como puncionamentos dinâmicos e estáticos, além da abrasão, que podem provocar desde a perfuração até o descolamento das mantas e membranas. Segundo Arantes (2007) a proteção mecânica deve ser devidamente prevista levando-se em conta as solicitações que a região está sujeita.

As proteções mecânicas agem também na proteção dos sistemas contra o efeito de raios ultravioletas. Estes raios incidindo diretamente em mantas e em seus aditivos poliméricos, promovem sua contínua polimerização. Sua flexibilidade torna-se, então, comprometida e como ela diminui, as mantas resistem menos aos efeitos solicitantes.

Existe ainda uma prática muito comum antes da execução da camada amortecedora. Isto ocorre por conta do atrito existente entre a proteção e a impermeabilização que pode ser minimizado mediante execução de uma camada separadora, geralmente, composta de papelão betumado ou filme de polietileno, detalhes na Figura 08.

Figura 10 - Execução de camada separadora sobre manta

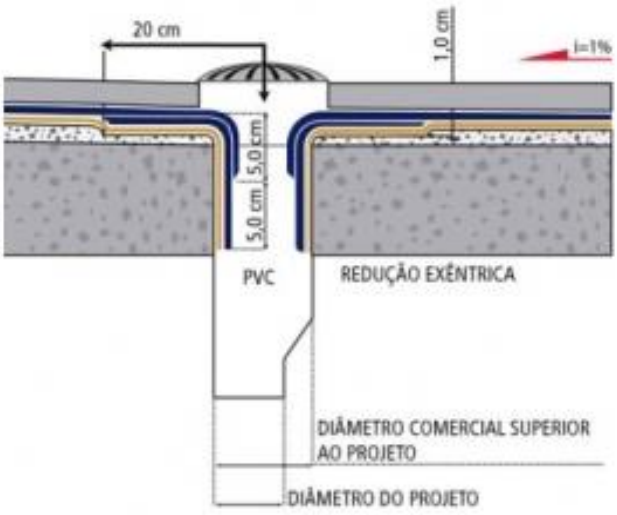
Fonte: Estantec Impermeabilizações (2016)

3.2.3 Ralos

As saídas e entradas de água nos reservatórios e demais áreas molháveis geram pontos de fragilidade nos sistemas de impermeabilização. Estes, por sua vez, devem ser devidamente tratados de forma a evitar a completa inviabilização da estanqueidade, sendo o uso de mantas o meio mais comum. Segundo Soares (2014), o tratamento dos ralos é um dos pontos mais críticos nos sistemas de impermeabilização. Este deve ser executado de maneira cuidadosa e seguindo alguns detalhes, conforme figura

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 9 - Detalhe de impermeabilização em ralos



Fonte: Jacomini (2013)

3.2.4 Reforços

A fissuração em estruturas de concreto armado é algo comum e que afeta na efetividade dos sistemas de impermeabilização. Este fator associado à existência de pontos de vulnerabilidade e requer o uso de reforços, tais como: véus de poliéster, ou de fibra de vidro, telas de metálicas, feltro asfáltico, feltro mineralizado, véu de vidro, tecido de vidro, fibras vegetais, dentre muitos outros, conforme Figura 10.

Figura 10 - Aplicação de tela vertical em ponto de fragilidade

Fonte: Umidade Zero (2014).

Verçoza (1985) explica que o uso de reforços tem três funções principais:

1. Aumentar a resistência à tração dos sistemas. Existem muitos materiais que fissuram com a dilatação, exemplo dos materiais betuminosos. Com isso, o uso de películas de reforços funciona como a ferragem das estruturas de concreto armado. **2.** Evitar que os

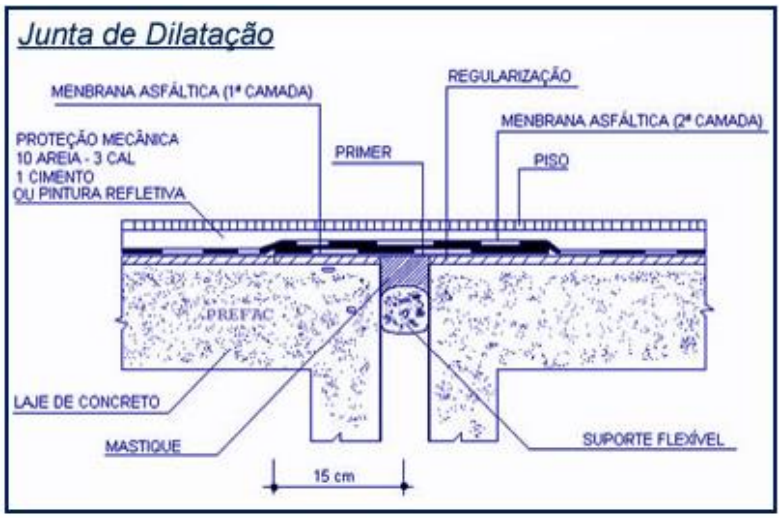
ISBN: 978-85-65425-32-2

materiais escorram. Isto se dá, principalmente, nos asfaltos moldados à quente, pois em processo de resfriamento, ficando fino em cima e grosso embaixo. Efeito este que é contido pelos reforços. **3.** Aumento da espessura das camadas protetoras. Esse efeito evita que os materiais impermeabilizantes, em sua maioria sendo plásticos, refugam para os lados.

3.2.5 Juntas de Dilatação e Juntas de Trabalho.

As juntas de dilatação, segundo Verçoza (1985), são cortes executados nas fachadas de prédio e grandes edificações de forma a reduzir o volume dilatado ou retraído por conta de variações de calor, além de retrações hidráulicas. Estas, por sua vez, possuem dimensões médias de 2 a 4 centímetros e desta forma divide grandes segmentos, permitindo que porções menores possam se expandir sem forçar os demais. Estes vazios, no entanto, devem ser tratados, com calafetes que não impeçam a liberdade de movimentação, conforme figura 11.

Figura 11: Detalhamento de junta de dilatação



Fonte: Prefac Impermabilizações (2014).

Alguns construtores executam erroneamente o tratamento das juntas, apenas passando por cima delas o sistema de impermeabilização e dessa forma garantem a estanqueidade apenas momentânea. Em contrapartida, o correto a ser feito, segundo Verçoza (1985) é impermeabilização dentro da própria junta, com a execução de um fundo maleável, seja ele de corda, tubo flexível com diâmetro maior que a abertura, assentados sempre sobre pressão. Sobre esta base deve ser feita a aplicação de material vedante, mástiques de silicone ou poliuretano.

O ideal na execução de juntas de impermeabilização é que as mesmas sejam feitas antes da concretagem e em espessuras adequadas, pois juntas muito finas podem ocorrer pressões altas com a ruptura das arestas. Além disso, o correto é que o nível das arestas

ISBN: 978-85-65425-32-2

seja nivelado, dessa forma pode ser evitado o corte das películas, em casos de juntas trabalhadas com borrachas e tiras de PVC.

4.0 Erros mais Comuns

A pressa, desinformação e falta de projetos geram erros grotescos quando da execução de impermeabilizações, sendo bastante danosos às edificações. Alguns deles podem repercutir em pouco tempo, outros, no entanto, podem demorar anos para aparecerem.

Alguns exemplos de erros comuns são:

- Quando na execução de mantas asfálticas, acontece a não sobreposição de bordas, gerando pontos de fragilidade;
- Chumbamento incorreto de mantas, acarretando a diminuição do tempo de vida útil do sistema que sofrerá os efeitos da gravidade mais acentuados;
- Rasgos e furos em pisos e contrapisos após a execução de todo o sistema;
- Falta de controle de aderência, seja da impermeabilização no substrato, seja da camada de amortecimento na impermeabilização;
- Não execução de pingadeiras em peitoris e chapins de concreto;
- Não impermeabilização da tampa de reservatórios, pela falsa ideia que o mesmo não entrará em contato direto com a água;
- Caimento executado de forma insuficiente, ou não executado;
- Calhas mal executadas, visto que a aderência de folhas de lítio em argamassa, quando não preparadas apresentam descolamento e infiltrações;
- Ralos executados sem rebaixos, ou sem controle adequado;
- Baldrame não impermeabilizado, ou apenas até altura insuficiente para o total controle de umidade ascendente;
- Traços mal dimensionados, com fator de água/cimento mais alto do que o recomendado;
- Tráfego de pessoas não interrompido antes da execução da proteção mecânica.
- Execução de biselamento de emendas de mantas antes do teste de estanqueidade, medida que pode mascarar possíveis problemas.

Apesar da grande quantidade de erros que podem ocorrer provenientes de erros de execução, segundo Mawakdye (1993, *apud* DELESDERRIER, 2015 p. 52), em pesquisa realizada com 378 empresas brasileiras relacionadas à construção civil, falhas provenientes de projetos mal executados apontam uma das maiores causas dos defeitos, conforme mostrado na tabela 3.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 3 Origem de problemas em edificações

Descrição	%
Falhas de projeto	15
Falhas de especificações	15
Durabilidade	16
Mão de obra	16
Serviços de Terceiros	16
Uso e Manutenção	12
Materiais	9
Outros	1
Total	**100**

Fonte: MAWAKDYE (1993)

5.0 Conclusão

Com esse trabalho foi possível constatar que mesmo com a existência de projetos de impermeabilização, normas técnicas, cartilhas informativas e mão de obra especializada a existência de patologias em edificações ainda é comum. Como principal causa estão os vícios de construção, as falhas ou incompatibilidade de projetos, desconhecimento de informações técnicas dos materiais. A contratação de projetos de impermeabilização contraria vícios de construção, aumentando a vida útil das edificações e diminuindo a possibilidade de patologias. Além disso, é possível analisar efetivamente quais as opções viáveis, técnica e economicamente.

A presença de um profissional especialista no assunto também é deveras importante. Este pode fazer inspeções, recomendações de execução e constatações de problemas e soluções, principalmente no que tange às reformas e manutenções. Em suma, o conhecimento técnico da etapa de impermeabilização é extremamente importante a todos os profissionais da construção civil. Visto que em termos econômicos e construtivos, esta etapa, que é uma das menos onerosas em termos orçamentários, pode, quando não recebe a devida atenção, apresentar aumento de custos e atrasos de obra.

Referências Bibliográficas

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575/2010. Sistemas de Impermeabilização – Seleção e Projeto. setembro 2010. p.2.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575/2013. Norma de Desempenho. Julho 2013.

ALMEIDA, I.M.F. (2008) Caracterização de Patologias. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ARANTES, Y. K. UMA VISÃO GERAL SOBRE IMPERMEABILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2007. 67 fls. Tese (Doutorado) - Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia - UFMG, Belo Horizonte, 2007.

BERNHOEFT, L.F. A importância da presença de especialista em impermeabilização na equipe multi disciplinar de projetos para durabilidade das edificações.

CAMBA, L.; DUARTE, M.; OLIVEIRA, T. IMPERMEABILIZAÇÃO DE LAJES. 2016. Disponível em: <http://trabalhoepcimpermeabilizacao.blogspot.com.br/2016/06/impermeabilizacao-de-lajes.html>. Acesso em: 15 jan. 2017.

CASA D'ÁGUA. SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO. Disponível em: <http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/PALESTRA-SISTEMAS-DE-IMPERMEABILIZAcaO.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2016. p 4 -10.

CINPAR, Universidade de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/cinpar_2010/Topico 1/CINPAR. 2010. p.13. Acesso em: 03 fev. 2017.

MAWAKDYE (1993, *apud* DELESDERRIER., 2015, p.52). ESTUDO DE FALHAS EM OBRAS DE EDIFICAÇÕES ORIUNDAS DA FALTA DE COMPATIBILIDADE ENTRE PROJETOS. 2015. 73 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ESTANTEC. Etapas de Impermeabilização. Disponível em: <http://estantec.com.br/2016/etapas-impermeabilizacao/>. Acesso em: 15 jan. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO - Projeto, Produtos e Aplicação. Disponível em <http://www.ibibrasil.org.br/projetos/> Acesso em 29/11/2016.

JACOMINI, J. Tipo de Telhado. 2013. Disponível em: <http://casadosgansos.blogspot.com.br/2013_05_01_archive.html>. Acesso em: 29 nov. 2016.

OLIVEIRA, F.H. *et al*., 2012. Rehabilitation of Existing Reinforced Concrete Structures. Earthq. Eng. & Struc. Dyn., 21 (1), p.1-19.

OLIVEIRA, D.F. LEVANTAMENTO DE CAUSAS DE PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2013. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PREFAC IMPERMEABILIZAÇÕES. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO. Disponível em: <http://www.prefac.com.br/espec.htm>. Acesso em: 30 nov. 2016.

QUERUZ, F. Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belga. Santa Maria: UFSM. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 150p.

ISBN: 978-85-65425-32-2

SOARES, F. F. A IMPORTÂNCIA DO PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. 2014. 127 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

STAHLBERG, F. L. B. Fluxograma para seleção de sistemas de impermeabilização para edifícios de múltiplos pavimentos. 2010. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

UMIDADE ZERO. Impermeabilização de Laje com Manta Asfáltica. Disponível em: <http://www.umidadezero.com/site/view_ps.asp?cod=37>. Acesso em: 23 dez. 2016.

Varum, H., Oliveira, J., Rodrigues, H. (2014). Seismic Behavior of RC Buildings: Lessons of Recent Earthquakes in Europe. International Congress about Pathology and Structures Rehabilitation – CINPAR 2014, Santiago, Chile; junho 2014.

VERÇOZA, E.J. Impermeabilização na Construção. Porto Alegre: Sagra, 1985. 150 p.

ISBN: 978-85-65425-32-2

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA APLICADOS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Evaluation Of The Tensile Strength Of Mortar Coatings Applied On The Facades Of Structural Masonry Buildings

Nathan B. Lima[1], Manoely S. Oliveira[2], Romilde O. Almeida[3] e Nathalia B.D. Lima[4,*]

[1] Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, e-mail: limanathan7@gmail.com

[2] Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, e-mail: manoely.oliveira@hotmail.com

[3] Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil , e-mail: romildealmeida@gmail.com.

[4] Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, e-mail: nathalia.lima@pq.cnpq.br

Resumo: Os revestimentos de fachada representam importante papel no desempenho das vedações verticais, exercendo significante contribuição na impermeabilização e proteção à penetração de agentes externos, diminuindo a ocorrência de manifestações patológicas. Assim, foram avaliados neste trabalho os aspectos da aplicação de emboço em fachadas de edificações de alvenaria estrutural realizada: (i) com a adição de uma camada de chapisco e (ii) sem a adição de uma camada de chapisco. A metodologia consistiu em utilizar as mesmas condições de preparação das argamassas e de sua aplicação. As análises foram realizadas considerando 24 amostras, dentre as quais 12 amostras corresponderam à sistemas com adição da camada de chapisco e 12 corresponderam à sistemas sem adição da camada de chapisco. Os resultados dos ensaios mostraram que a média da resistência à tração dos sistemas considerados com a adição da camada de chapisco apresentou o valor de 0,56 MPa, já para a situação sem a aplicação desta camada, o valor obtido foi de 0,57 MPa. Estes resultados indicam que em termos de resistência à tração, parece, não ser necessária a aplicação da camada de chapisco antes da aplicação da camada de emboço como revestimento em fachadas de edificação de alvenaria estrutural. Os resultados também mostraram que para as análises sem a adição da camada do chapisco houve um coeficiente de variância de 22%, o que pode ser traduzido como uma alta dispersão dos resultados dos ensaios. O mesmo foi constatado para as amostras com adição de chapisco, em que foi encontrado um coeficiente de variância de 20%. Finalmente, foi verificado que a aderência do emboço nas fachadas das edificações parece estar relacionada ao desempenho mecânico do traço da argamassa de assentamento e da aderência com interação da camada de chapisco na estrutura.

Palavras-chave: argamassa; chapisco; emboço; resistência à tração; aderência.

Abstract: The facade coatings play an important role in the performance of vertical fences, and contribute to the follow aspects of structures: waterproofing and protection of the external agent penetration. Therefore, they are employed to reduce the likelihood of pathological manifestations**.** Then, they were evaluated the aspects of the application of

plastering coatings on façades of structural masonry buildings carried out by: (i) with the addition of a roughcast layer and (ii) without the addition of the roughcast layer. In this work the same conditions of processing of the mortars and their application were employed. Further, the analyzes were performed from 24 samples, in which 12 samples corresponded to the systems with the addition of the roughcast layer and 12 corresponded to the systems without the addition of this layer. The results revealed that the mean of the tensile strength of the case with the roughcast presented the value of 0.56 MPa, whereas in the case without the application of this layer, the corresponding value was 0.57 MPa. These results indicate that in terms of tensile strength property, it does not seem necessary to apply the roughcast layer prior to the plastering layer application as a coating on structural masonry building facades. Furthermore, the analyzes revealed that for the case without the addition of the roughcast layer, there was a coefficient of variance of 22%, which can be interpreted as a high dispersion of the results of the tests. The same was verified for samples with the addition of a slab, in which a coefficient of variance of 20% was found. Finally, the adhesion of the plastering in the façades of the buildings seems to be related to the mechanical performance of the trace quantity of mortar applied, and their adhesion to the interaction of the roughcast layer in the structure.

Keywords: mortar; roughcast; plastering; tensile strength; adhesion.

1. Introdução

As vedações verticais exercem relevante papel quanto ao uso e, muitas vezes, estabilidade das edificações. Uma vez que as mesmas são responsáveis por funções de sumo valor. É possível citar como exemplos destas funções: estanquedade à água; proteção à insolação e à acústica; a capacidade de suporte de esforços relativos ao uso. Quando as vedações verticais possuem função estrutural, estas podem fornecer estabilidade a permissividade de fixação de peças suspensas e a compartimentação em casos de incêndio.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) determina que mesmo sem função estrutural, as vedações podem atuar como contraventamento de estruturas reticulares ou podem sofrer as ações decorrentes das deformações estruturais, requerendo assim, uma análise do desempenho dos elementos que compõem a fachada. Neste contexto, a análise dos seus demais componentes, bem como de sua interação com as vedações verticais, é de fundamental relevância.

O revestimento de fachada, um dos subsistemas das vedações verticais, realiza, segundo Cândia e Franco (2000), grande importância no desempenho das vedações verticais dos edifícios. Os autores mencionam sua significância em termos de estanqueidade, bem como isolamento termo acústico e estética. Esta proteção aos agentes agressivos proporcionada pelos revestimentos de fachada à edificação lhe propicia menor probabilidade à ocorrência de manifestações patológicas e, desta forma, maior durabilidade.

No Brasil, os revestimentos argamassados constituem um dos subsistemas mais utilizados em fachadas de obras, tendo, geralmente, em sua composição uma camada inicial denominada de chapisco, que serve para regularização da base e incremento à

ISBN: 978-85-65425-32-2

rugosidade à mesma para aplicação da camada posterior, o emboço, como mostrado na Figura 1.

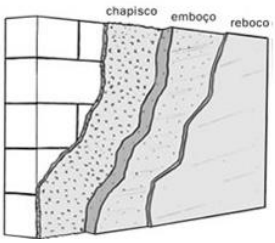


Figura 1 – Camadas do revestimento em argamassa.
Fonte: Manual de revestimentos de argamassa ABCP (2003)

Uma das propriedades que mais se espera obter ao utilizar o chapisco é o incremento na resistência à aderência, proporcionado devido ao aumento da rugosidade em relação à da base, para aplicação do emboço. Nesse contexto, a utilização de chapisco apenas deveria ser necessária em superfícies de substrato onde não existisse uma porosidade ou rugosidade necessárias à efetivação da aderência do emboço no substrato, mas na prática das construções a realidade é outra, e seu uso é constante, independentemente do tipo de substrato sobre o qual está sendo aplicado.

Scartezini e Carasek (2003), reportaram que a influência do tipo de substrato da resistência à aderência dos revestimentos argamassados. Neste estudo, conforme pode ser observado na Figura 2, os autores aplicaram diferentes tipos de preparo da base em dois tipos de substratos diferentes: um constituído por blocos de concreto e outro de bloco cerâmico, tendo chegado à conclusão que para os materiais empregados na análise a resistência à aderência da argamassa aplicada sobre os blocos de concreto era muito superior à sobre os blocos cerâmicos, independente do tipo de preparo empregado. Além disso, Scartezini e Carasek (2003) também observaram que o substrato chapiscado apresentou resultados superiores em relação às bases preparadas com umedecimento da base e sem nenhum preparo nos blocos cerâmicos, enquanto, nos blocos de concreto, os resultados mostraram que para este tipo de superfície não é necessária a preparação da base, enfatizando que o chapisco não melhora a capacidade de aderência desse sistema.

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define no item 3.1.6.2 que o chapisco é o termo relativo ao acabamento rústico de baixa rugosidade, sem regularização após a aplicação em uma superfície. É conhecido que para realizar a aplicação de chapisco em superfícies, é importante a utilização de um revestimento argamassado, uma vez que aumenta a aderência mecânica deste revestimento sobre a superfície de aplicação.

A utilização de chapisco é necessária em superfícies de substrato onde não exista uma porosidade ou rugosidade onde possa dar aderência para aplicação do emboço no substrato. Assim, aplica-se o chapisco em superfícies como paredes de concreto onde foram acrescentados, por exemplo, minerais ou aditivos químicos na composição do traço do concreto. Este procedimento geralmente resulta em uma redução na porosidade, e, portanto, na aderência do revestimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

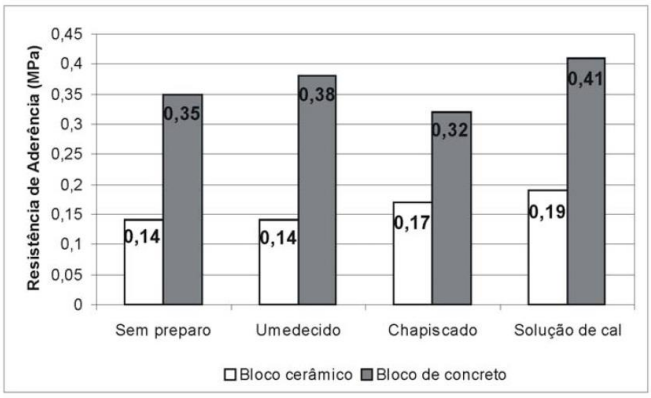


Figura 2 – Resultados médios da determinação da resistência à aderência dos revestimentos.
Fonte: Scartezini e Carasek (2003)

Segundo Carasek (1996), a influência do substrato, por si só apresenta elevada variação em um mesmo lote, devido à queima heterogênea. Isto implica em uma alta variabilidade da sua capacidade de sucção de água, tal característica influência de forma direta a aderência do material empregado.

Em edificações que focam na metodologia construtiva de alvenaria estrutural com a utilização de blocos de concreto, o revestimento de fachada comumente também é utilizada uma camada de chapisco antes da execução do emboço. Esta estratégia, em um primeiro momento, visa melhorar as propriedades de aderência mecânica do revestimento e minimizar os efeitos dos movimentos de tração e cisalhamento da interface substrato/revestimento provocados, segundo Cândia (2000), devido à exposição da fachada a condições severas do meio ambiente, tais quais mudanças de temperatura e umidade.

É importante ressaltar que a aplicação do revestimento de fachada deve atender os requisitos de fabricação dos insumos utilizados e de procedimentos de execução na aplicação da metodologia construtiva, além de satisfazer às normativas vigentes.

Além disso, é importante ressaltar as implicações de Cândia (1998) e Moura (2007), que reiteram que outros fatores além das características superficiais dos substratos - assim como as características reológicas das argamassas, as técnicas de execução e as condições ambientais do local onde se situa o edifício (tais quais umidade do ar, temperatura e ventilação) - também que influenciam o desempenho dos revestimentos de argamassa.

A partir da tendência da revisão dos processos construtivos pelo setor da construção civil, tem havido um maior estímulo à redução ou até mesmo a eliminação de processos construtivos que atualmente são empregados nas construções de empreendimentos, visando desta forma, uma maior eficiência, bem como menor tempo de execução e redução do custo do processo de aplicação com a maior eficiência possível.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Desta forma, este trabalho tem como objetivo comparar as resistências à tração de revestimentos em argamassa com e sem a aplicação da camada de chapisco em fachadas de uma edificação em alvenaria estrutural com utilização de blocos de concreto e, desta maneira, verificar a possibilidade da não utilização desta camada na obra sem comprometer a qualidade do produto final, o que implicaria na redução de custos relativos tanto à compra de materiais quanto à execução. Assim, foram avaliados neste trabalho o efeito da aplicação de revestimento de emboço realizado de duas formas: (i) com a aplicação de uma camada de chapisco e (ii) sem aplicação desta camada de chapisco. Neste sentido, foram analisadas as propriedades mecânicas de tração após o assentamento do revestimento e foi determinada a resistência de aderência a tração dos revestimentos aplicados sobre substratos inorgânicos não metálicos, nas fachadas de edificações em alvenaria estrutural com utilização de blocos de concreto. Neste sentido, foram considerados os padrões de exigência da NBR 13749 (ABNT, 2013) e da NBR 13528 (ABNT, 2010) nas análises realizadas.

2. Metodologia

Com o objetivo de realizar a comparação entre o revestimento de fachada aplicado ao emboço feito diretamente nas faces externas da edificação em relação ao mesmo, aplicado na face externa da mesma edificação, foram utilizadas as mesmas condições, tais como: quantidade de insumos e teor de umidade. Entretanto, os revestimentos aplicados divergiram entre si em relação a adição de chapisco sobre a alvenaria antes de sua aplicação como emboço. Assim, foi realizada a comparação experimental do desempenho mecânico da aderência do revestimento sobre a fachada da edificação, levando-se em consideração a classe de resistência dos blocos de concreto aplicados nos revestimentos.

Nas análises realizadas, foi considerada a umidade relativa dos lotes utilizados na edificação na realização do ensaio de tração para verificação da aderência. Finalmente, foram realizados testes de aderência a tração em duas paredes experimentais, onde para isto foram empregados blocos de concreto de resistência à compressão de 4 MPa no substrato.

2.1 Materiais Empregados

Foram utilizados os seguintes materiais: chapisco e emboço, cujos traços são apresentados no Quadro 1; Foram utilizados insumos com as mesmas especificações técnicas para fabricação das argamassas, tais quais a granulometria da areia; o cimento utilizado foi o CP II Z 32 RS da marca POTY e a cal utilizada foi a CH I da marca MASSICAL, a pesagem de todos antes da mistura para a fabricação; a dosagem correta da quantidade de água no traço de antes da aplicação e a homogeneidade das propriedades mecânicas da aderência dos mesmos; parede de alvenaria com blocos de concreto com fbk estimado de 4,0 MPa. Também foi utilizado um transdutor de forca marca Alfa Instrumentos, modelo Z2T, com faixa nominal de 2000 kgf e instrumentação eletrônica associada digital da marca Alfa Instrumentos, modelo 3105C faixa nominal de cinco dígitos e 1 ponto. O equipamento de corte utilizado e uma furadeira de impacto marca Bosch, modelo GSB 13 RE acoplada a

ISBN: 978-85-65425-32-2

uma serra copo de 53 mm de diâmetro interno. O quadro 2 mostra o traço do chapisco e do emboço aplicado ao revestimento.

Quadro 1 – Traço do chapisco e do emboço.

MATERIAL ARGAMASSA	PROPORÇÃO		
	CIMENTO	AREIA	CAL
Chapisco	1	3	0
Emboço	1	1	6

2.2 Procedimentos de avaliação

O método de avaliação das amostras com e sem adição de uma camada de revestimento de chapisco foi empregado considerando os parâmetros da NBR 13749(ABNT, 2013) e da NBR 13528 (ABNT, 2010). Neste contexto, foram realizados ensaios para verificar a resistência à tração do revestimento. O Quadro 2 apresenta os limites de resistência à aderência à tração. O pano estudado foi composto por 12 (doze) corpos de prova para o ensaio realizado em revestimento de paredes de argamassa constituídas por sistemas inorgânicos.

Para aprovação do pano, cerca de 66,7% dos corpos de prova devem apresentar resultados iguais ou superiores ao mostrado no Quadro 2. Assim, a figura 3 mostra a montagem de balanças para execução do revestimento das fachadas das edificações.

Quadro 2 – Limites de Resistência de Aderência à Tração (Ra).

	LOCAL	ACABAMENTO	Ra (MPa)
PAREDE	INTERNA	PINTURA OU BASE PARA REBOCO	≥ 0,20
	EXTERNA	PINTURA OU BASE PARA REBOCO	≥ 0,30
TETO			≥ 0,20

Fonte: NBR 13749 (ABNT,2013).

ISBN: 978-85-65425-32-2

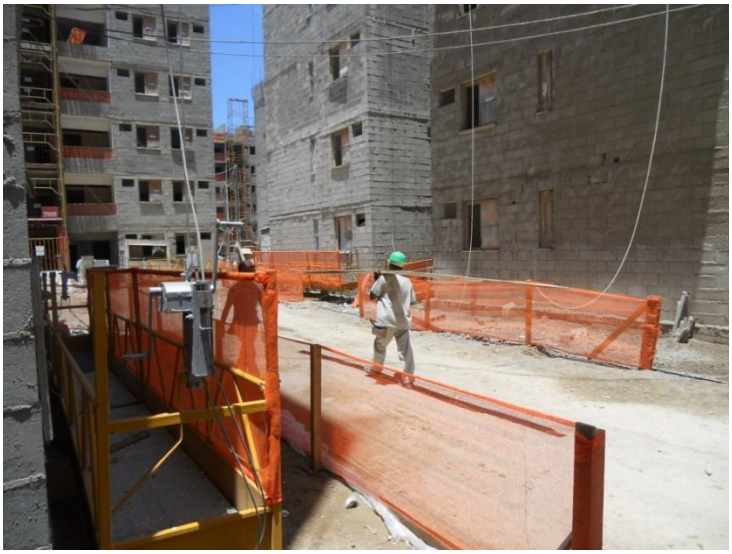


Figura 3 – Fachadas das edificações.

3. Resultados e Discussão

Após a preparação dos materiais realizou-se a etapa de aplicação de chapisco nas edificações no substrato, como pode ser visto nas figuras 4 e 5. É importante ressaltar que a seleção dos insumos para a fabricação do chapisco e da argamassa para aplicação no emboço pode ser considerada um ponto fundamental na qualidade do revestimento. Isto porque o desempenho mecânico está relacionado às condições de aplicação e às condições de fabricação de todas as partes integrantes de do processo construtivo. Desta forma, foram utilizados insumos com as mesmas especificações técnicas, no caso, estas condições foram: a granulometria da areia utilizada; a pesagem do todos os insumos antes da mistura para a fabricação do chapisco; a dosagem correta da quantidade de água no traço de antes da aplicação e a homogeneidade das propriedades mecânicas da aderência dos mesmos. É importante ressaltar que a umidade relativa de cada insumo antes da mistura para aplicação no revestimento determinará a qualidade do revestimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 4 – Aplicação de chapisco no pano da fachada.

Figura 5 – Aplicação de chapisco no pano da fachada

Após a aplicação da camada de chapisco, foi executada a camada do revestimento argamassado do tipo emboço na edificação. Este procedimento foi considerado, levando em consideração a possibilidade de haver uma maior aderência para aplicação do emboço em relação ao bloco de concreto. As figuras 6-8 apresentam a aplicação do revestimento argamassado sobre a camada de chapisco na edificação.

ISBN: 978-85-65425-32-2

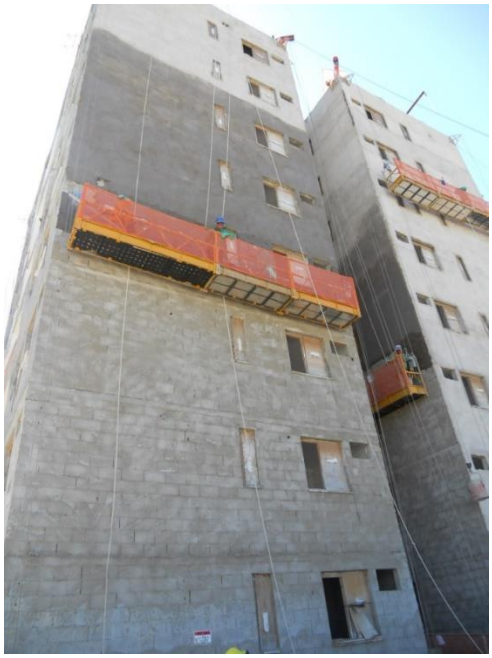


Figura 6 – Aplicação do emboço sobre o chapisco.

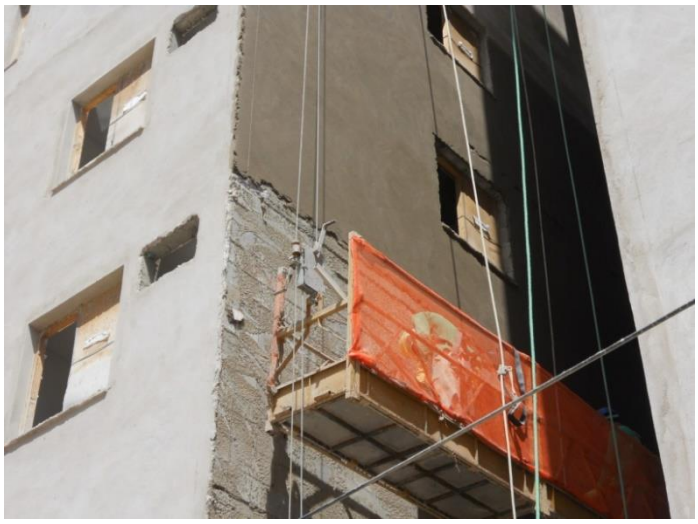


Figura 7 – Aplicação do emboço sobre o chapisco.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 – Aplicação do emboço sobre o chapisco

Em seguida a aplicação do revestimento de fachada foi executada em duas camadas, uma de chapisco e outra de emboço, foi realizado um processo de cura. Segundo NEVILLE, 2013, a cura é o nome dado aos procedimentos utilizados para promover a hidratação do cimento e, com isso o desenvolvimento da sua resistência. Os procedimentos de cura consistem em controle de temperatura e de movimento de água de dentro para fora do concreto e vice-versa, que afetam não somente a resistência do concreto como também a durabilidade. Neste sentido, a figura 9 apresenta o revestimento totalmente aplicado na edificação.

Figura 9 – Revestimento argamassado aplicado.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O desempenho da aderência do pano de fachada sem a utilização do chapisco foi considerado a partir da capacidade de fixação da argamassa do emboço na superfície porosa do bloco de concreto. Segundo Carasek, 2012, os resultados de resistência da aderência para um mesmo revestimento ensaiado na região da junta de assentamento da alvenaria deve ser superior ao ensaiado sobre o bloco, seja cerâmico ou de concreto. Assim, quando se ensaiam revestimentos cuja base é uma alvenaria esta pode ser considerada mais uma razão para a ocorrência de dispersão dos resultados. Isto pode ser explicado pelo fato dos ensaios serem realizados sobre substratos distintos, os quais apresentam diferentes porosidades, rugosidade e absorção de água. A figura 10 mostra como foi realizado o ensaio para verificação dos limites de aderência da camada de revestimento sobre alvenaria de blocos de concreto sem a utilização da camada de chapisco.

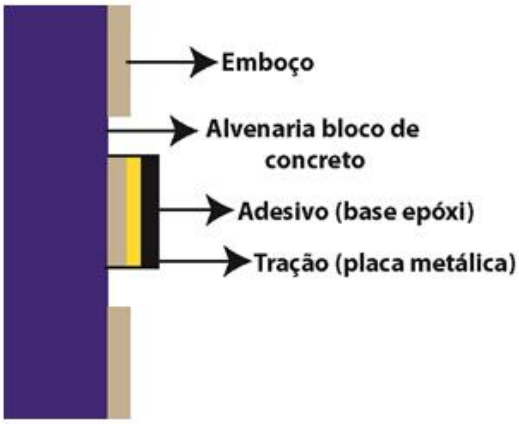


Figura 10 – Verificação dos limites de aderência sem aplicação de chapisco no revestimento.

Posteriormente, a partir dos dados obtidos pelos ensaios realizados, foram escolhidas doze amostras de forma aleatória, onde foi medido o limite da força de tração da aderência, bem como foi definida a forma de ruptura de cada amostragem. Estes resultados são apresentados no quadro 3.

Um aspecto que afeta de forma significativa os resultados de dispersão é a umidade do revestimento no momento do ensaio. Caso o revestimento estiver úmido na hora do ensaio, o resultado de aderência será menor comparado ao revestimento que estiver seco (Carasek, 2008). Desta forma, é importante levar em consideração a umidade do revestimento para a realização do ensaio de determinação da tração de aderência. Também deve-se ter cautela ao realizar o ensaio após a ocorrência de chuvas sobre o pano de fachada a ser analisado porque os resultados poderão ser inferiores comparados ao revestimento seco. Por outro lado, se um mesmo pano de revestimento apresenta condições heterogêneas de umidade, então haverá uma tendência de os resultados de resistência de aderência apresentarem alta dispersão.

Em seguida, foi avaliado o desempenho mecânico dos emboços. A figura 11 apresenta tal análise considerando a camada de chapisco aplicado nas alvenarias de blocos de concreto

ISBN: 978-85-65425-32-2

antes da aplicação da camada de emboço. Por sua vez, o quadro 4 apresenta os resultados dos ensaios de doze amostras escolhidas de forma aleatória do pano de fachada.

Quadro 3 – Resultados dos ensaios de resistência à tração sem aplicação de chapisco

Amostra	TENSÃO Ra	FORMA DE RUPTURA (%)				
Número	(MPa)	Ruptura emboço	Ruptura interface chapisco / emboço	Ruptura chapisco	Ruptura substrato	Ruptura interface substrato / emboço
1	0,60	100	0	0	0	0
2	0,33	0	0	0	0	100
3	0,33	0	0	0	0	100
4	0,55	100	0	0	0	0
5	0,71	40	0	0	60	0
6	0,53	50	0	0	50	0
7	0,60	20	0	0	80	0
8	0,49	25	0	0	75	0
9	0,65	100	0	0	0	0
10	0,54	100	0	0	0	0
11	0,58	0	0	0	0	100
12	0,75	0	0	0	0	0
MÉDIA	0,56	45	0	0	22	25

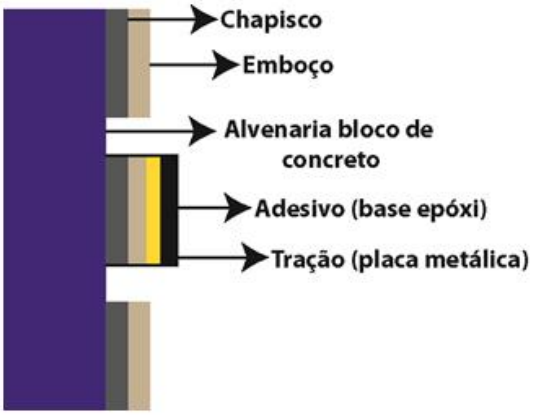


Figura 11 – Verificação dos limites de aderência com aplicação de chapisco no revestimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 4 – Resultados dos ensaios de resistência à tração com a aplicação de chapisco

Amostra	TENSÃO Ra	FORMA DE RUPTURA (%)				
Número	(MPa)	Ruptura emboço	Ruptura interface chapisco / emboço	Ruptura chapisco	Ruptura substrato	Ruptura interface substrato / emboço
1	0,52	100	0	0	0	0
2	0,43	100	0	0	0	0
3	0,51	0	0	100	0	0
4	0,53	0	0	80	0	0
5	0,68	20	20	60	0	0
6	0,54	40	0	30	30	0
7	0,67	100	0	0	0	0
8	0,59	100	0	0	0	0
9	0,54	0	0	100	0	0
10	0,34	80	0	20	0	0
11	0,77	0	0	0	100	0
12	0,66	100	0	0	0	0
MÉDIA	0,57	55	2	33	11	0

A análise das médias dos valores de resistência à tração apresenta o valor de 0,56 MPa, como pode ser visto no Quadro 3, para o ensaio realizado com o emboço sem a aplicação de chapisco e o valor médio de 0,57 MPa, como pode ser visto no Quadro 4, para o ensaio com a aplicação de substrato formado por chapisco e emboço. Para as análises sem a adição do chapisco houve um coeficiente de variância de 22%, o que pode ser traduzido como uma alta dispersão dos resultados dos ensaios. O mesmo foi constatado para as amostras com adição de chapisco, em que foi encontrado um coeficiente de variância de 20%.

A figura 12 mostra os resultados da aderência a tração do revestimento de fachada considerando duas situações: (i) com aplicação da camada de chapisco e (ii) sem a aplicação da camada de chapisco.

A homogeneidade dos resultados indica um maior controle na produção e seleção dos insumos do revestimento e também mostram as mesmas condições de aplicação do revestimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

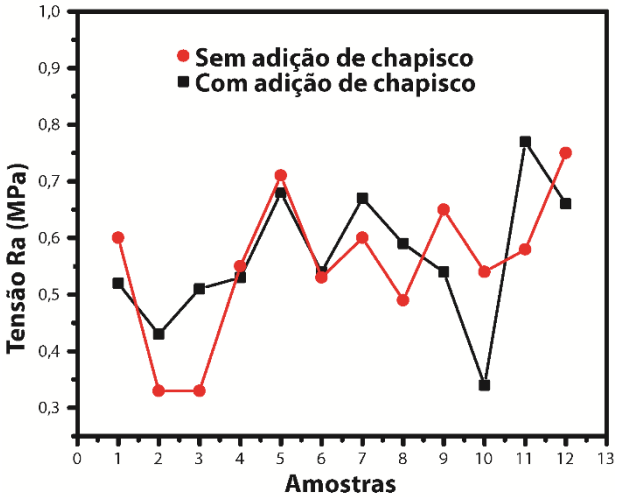


Figura 12 – Verificação dos limites de aderência dos doze pontos de arrancamento com e sem aplicação de chapisco no revestimento.

Finalmente, a aderência do emboço nas fachadas das edificações parece estar relacionada ao desempenho mecânico do traço da argamassa de assentamento e da aderência com interação da camada de chapisco na estrutura. Desta forma a superfície onde foi aplicado o revestimento parece influenciar na resistência da aderência do mesmo. Levando em consideração que todos os ensaios foram realizados em amostras de blocos de concreto de classe B com resistências ≥ 4 MPa, nos paramentos da NBR 6136 (ABNT, 2014), a classificação do local de aplicação do revestimento (substrato) reverbera na qualidade da aplicação do revestimento, uma vez que o nível de porosidade das paredes da edificação parece estar relacionado à porosidade dos blocos e da argamassa de assentamento dos blocos. Esta por sua vez parece estar relacionada à classe de resistência pelo qual o bloco pertence.

4. Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho indicam que a média dos valores de resistência à tração para os sistemas considerados com a adição da camada de chapisco foi de 0,56 MPa, já para a situação sem a aplicação desta camada, o valor médio obtido foi de 0,57 MPa. Estes resultados indicam que em termos de ensaios de resistência à tração, parece, não ser necessária a aplicação da camada de chapisco antes da aplicação da camada de emboço como revestimento em fachadas de edificação de alvenaria estrutural.

Em relação as análises sem a adição da camada de chapisco houve um coeficiente de variância de 22%, o que pode ser traduzido como uma alta dispersão dos resultados dos ensaios. O mesmo foi constatado para as amostras com adição da camada de chapisco, em que foi encontrado um coeficiente de variância de 20%.

Finalmente, foi verificado que a aderência do emboço nas fachadas das edificações parece estar relacionada ao desempenho mecânico do traço da argamassa de assentamento e da aderência com interação da camada de chapisco na estrutura.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e à FACEPE.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação, 2013.

_____. NBR- 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, 2013.

_____. NBR-13528: Revestimento de paredes argamassas inorgânicas – Determinação da resistência à tração, 2010.

_____. NBR-12118: Blocos Vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaios, 2012.

_____. NBR-13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia, 2013.

_____. NBR-6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria-Requisitos, 2014.

Carasek, H., Costa, E.B.C., Alves, A., Melo, T. Influência da umidade nas propriedades dos revestimentos de argamassa. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 12. 2008, Fortaleza. Antac, 2008.

Carasek, H., Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. São Paulo, 1996. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Civil. São Paulo, 1996.

Scartezini, Luís Maurício e Casarek, Helena, Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas. Anais do Simpósio Brasileiro de Tecnologia Argamassa, p. 569-581, São Paulo, 2003.

Manual de revestimentos de argamassa, Associação Brasileira de Cimento Portland http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf, visualizado em 10/06/2017.

Carasek, H., Avaliação de resultados do ensaio de resistência de aderência de revestimentos de argamassa. Revista téchne Edição 185 - Junho/2012 http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/185/artigo286939-2.aspx

ISBN: 978-85-65425-32-2

Moura, C. B., Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

Candia, M. C. e Franco, L. S.. Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa. São Paulo. Boletim Técnico – Escola Politécnica de São Paulo, 1998.

Candia, M.C. Franco, L.S. Avaliação do tipo de preparo da base nas características superficiais do substrato e dos revestimentos de argamassa. Encontro Nacional detecnologia do ambiente construído, Salvador, 8, 900-907,2000.

Neville, A. M., Brooks, J.J.. Tecnologia do concreto, 2ª edição Ed.Bookman, Porto Alegre, 2013.

ISBN: 978-85-65425-32-2

INFLUÊNCIA DO USO DO AGREGADO RECICLADO DE PRÉ-MOLDADO NA CONSISTÊNCIA E RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO

Influence Of The Use Of The Aggregate Recycled Of Precast In The Concistency And Mechanical Resistance Of The Concrete

Danielle ALVES CABRAL [1], **Andrêza** LEITE DE ARAÚJO[2], **Antonio** WAGNER DE LIMA [3]

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras-PB, Brasil, daniellea.cabral@outlook.com

[2] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras-PB, Brasil, alaraujocivil@gmail.com

[3] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras-PB, Brasil, wagnercivil@yahoo.com.br

Coautores

Jorge LUCAS PINHEIRO[1], **Cícero** DE SOUZA NOGUEIRA NETO[2]

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras-PB, Brasil, j.l.p@hotmail.com.br

[2] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras-PB, Brasil, cicero.nogueira@ifpb.edu.br

Resumo: O presente trabalho analisa a influência dos agregados miúdos reciclados de peças pré-moldadas na trabalhabilidade e na resistência mecânica à compressão do concreto, estudando os efeitos da reutilização dos agregados reciclados. Foi coletado o material (blocos rejeitados) cedido pela indústria BRISEPAL IND E COM DE BRITA SERRARIA E PREMOLDADOS LTDA fabricante de peças pré-moldadas para fins da construção civil, com sede na cidade de Cajazeiras-PB. O material foi fragmentado e moído para obtenção do agregado reciclado no laboratório de recursos naturais do Instituto Federal do Rio Grande do Norte- IFRN- Campus Natal Central. Ensaios de granulometria foram realizados para a brita, a areia e o material triturado, com finalidade de obtenção dos dados usados para calcular a dosagem do traço, o qual foi calculado para obtenção da resistência característica de 25,0 MPa, com resistência à compressão aos 28 dias de 34 MPa e *slump* de 60 mm +/- 20 mm. A partir disso, foi produzido o concreto com agregado natural (CAN), utilizando como agregado miúdo a areia lavada. Também foi confeccionado o concreto com agregado reciclado (CAR) substituindo totalmente a areia pelo material obtido da fragmentação dos pré-moldados. Ensaios quanto à trabalhabilidade (determinação da consistência) em estado fresco de ambos os concretos, pelo método do abatimento do tronco de cone (Slump test) foram executados. Os ensaios de resistência à compressão efetuaram-se aos 7, 14, 21, 28, 90 e 365 dias dos dois concretos (CAN e CAR). Feita a avaliação dos dados adquiridos no slump test, ficou evidente que o CAN apresentou um abatimento superior ao do CAR. Já a respeito dos testes de resistência a compressão foi observada uma pequena variância entre as resistências do CAN e CAR, entretanto nos cinco testes realizados para cada concreto o CAR se sobressaiu.

Palavras-chave: Reciclagem, Pré-moldados, Concreto.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Abstract: The present work analyzes the influence of the recycled smalls aggregates of precast parts on the workability and the mechanical resistance to concrete compression, studying the effects of the reuse of the recycled aggregates. The material (rejected blocks) was collected from the industry BRISEPAL IND E COM DE BRITA SERRARIA AND PREMOLDADOS LTDA manufacturer of precast parts for civil construction purposes, based in the city of Cajazeiras-PB. The material was fragmented and ground to obtain the recycled aggregate in the natural resources laboratory of the Federal Institute of Rio Grande do Norte - IFRN - Campus Natal Central. Granulometry tests were performed for the gravel, sand and crushed material, to obtain the data used to calculate the dosage of the trace, which was calculated to obtain the characteristic resistance of 25.0 MPa, with compressive strength at 28 days of 34 MPa and slump of 60 mm +/- 20 mm. From this, the concrete with natural aggregate (CAN) was produced, using as a small aggregate the washed sand. Also was made the concrete with recycled aggregate (CAR) by totally replacing the sand with the material obtained from the precast fracture. Tests on the workability (determination of the consistency) in the fresh state of both concretes by the method of the rebate of the trunk of cone (Slump test) were executed. The compressive resistance tests were carried out at 7, 14, 21, 28, 90 and 365 days of the two concretes (CAN and CAR). After evaluating the data acquired in the slump test, it was evident that the CAN presented a rebate higher than the CAR. Regarding the tests of compressive resistance, a small variance was observed between the resistances of the CAN and CAR, however in the five tests performed for each concrete the CAR stood out.

Keywords: Recycle, Precast, Concrete.

1. Introdução

O ramo da construção civil se expandiu com grande velocidade ao longo dos anos. Com isso, tornou-se um dos mais importantes setores da economia, sendo responsável por boa parte do PIB (Produto Interno Bruto) dos países e, consequentemente, essencial ao desenvolvimento de um país. Além desse benefício, o ramo trouxe consigo a capacidade de propiciar empregos, sendo uma das características sociais mais relevantes da construção.Simultaneamente ao crescimento, foram surgindo as necessidades de inovações nas tecnologias da construção e nos produtos utilizados por ela, com a finalidade de possibilitar a aceleração da evolução das obras, por meio de uma maneira de construir economicamente, durável, estruturalmente segura e sustentável.

As peças pré-moldadas, também chamadas de peças pré-fabricadas, surgiram com esse intuito. Com isso, a demanda por esse método de construção é imensa. Porém, não é só a demanda por pré-moldados que vem aumentando. A procura pelos recursos naturais tem aumentado em proporções muito maiores, pois são os elementos principais da construção civil. A areia, por exemplo, é um deles. Esta se encontra disponível na natureza em grande abundância em leito de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. Mas, assim como todo recurso, ela é finita. Além disso, a exploração da areia remete a vários problemas ambientais, tais como: Exposição do solo, decorrente da retirada da cobertura vegetal; diminuição da infiltração da água no solo devido à compactação pela utilização de equipamentos pesados (para

ISBN: 978-85-65425-32-2

extração de rios); alteração na qualidade da água, devido à utilização de óleos dos equipamentos utilizados no empreendimento; entre outros problemas.

O projeto tem a importância de analisar uma das alternativas de reciclagem de resíduos sólidos, por meio da qual seja possível o conhecimento dos benefícios obtidos no concreto produzido a partir da reutilização desses resíduos da construção civil. A fim de diminuir a poluição gerada por eles e suas consequências como, por exemplo, as enchentes. Além disso, com a adesão a esta alternativa, minimizar a exploração dos recursos naturais e, como consequência disso, a redução dos impactos ambientais gerados por essa extração.

Esse projeto foi idealizado visando a importância da reciclagem de peças pré-moldadas da construção civil danificadas por manuseio inadequado ou eventuais perdas na produção. É comum ver essas peças em lixões ou em entulhos urbanos, sem nenhum uso, gerando acúmulo, em virtude da gestão ineficiente dos resíduos gerados. Encontrar uma forma de reaproveitar esse resíduo da construção é imprescindível para os ganhos sociais no meio ambiente, os ganhos técnicos e, consequentemente, econômicos.

2. Revisão bibliográfica

Concreto produzido utilizando-se agregados obtidos por reciclagem de concretos originais e antigos, ou por combinação destes com agregados convencionais. O concreto de agregado reciclado algumas vezes é denominado como concreto novo. (GONÇALVES, 2001).

As principais medidas para a redução dos resíduos na fonte incluem modificações no produto, tais como substituição do produto ou mudança na composição do produto; modificações de material, tais como purificação do material ou substituição do material e modificações na tecnologia, tais como modificações no processo, modificações no layout, tubulações ou equipamentos ou ainda modificações no cenário operacional e modificações nas práticas operacionais, tais como a adoção de práticas de gerenciamento, prevenção de perdas, segregação de fluxo de resíduos, aperfeiçoamentos do manejo de material ou plano de produção (SCHALCH *et al*. 2002).

A utilização do concreto reciclado oriundo do beneficiamento do resíduo de construção e demolição (RCD), em substituição a agregados naturais pode ser transformado em um co-produto, além de permitir a preservação de fontes naturais de extração e redução de locais de disposição de resíduo. Dentre os diversos materiais que constituem os RCD, uma forte opção para a reciclagem é a utilização do resíduo de concreto oriundo da demolição de construções, rejeitos de concreteiras e indústrias de pré-fabricados, pois estes mateirais apresentam homogeneidade e presença insignificante de contaminantes quando comparados aos demais resíduos de construção e demolição (CAVALHEIRO, 2011).

A linha de produção de agregados reciclados consiste em nada mais que operações unitárias empregadas pela engenharia de minas no tratamento de minérios: cominuição (fragmentação), separação de tamanho e concentração que pode ser feita por britagem ou moagem. Na reciclagem do RCD, a britagem é usada em geral quando se pretende obter majoritariamente grãos de maior dimensão (agregados graúdos). Já a moagem parece ser mais usada em obras, quando se visa obter principalmente grãos mais finos (agregados miúdos) (TENÓRIO, 2007).

ISBN: 978-85-65425-32-2

A maior influência da qualidade do agregado reciclado está relacionada à relação água/cimento da dosagem. (RAVINDRARAJAH & TAM, 1985)

Os equipamentos de cominuição comumente usados em usinas são o britador de impacto e o de mandíbulas; em obras são os britadores demandíbula de pequeno porte e os moinhos-argamassadeiras. Além destes existem outros tipos não tão comuns. São exemplos o britador giratório (COELHO, 2001 *apud* BUTTLER, 2003).

Os agregados reciclados tanto miúdos quanto graúdos, tendem a uma composição granulométrica um pouco mais grossa que os agregados naturais, resultando em um módulo de finura um pouco maior (BAZUCO, 1999;LIMA, 1999, BANTHIA e CHAN, 2000, citado por LEITE, 2001). Devido a isso a granulometria dos agregados exerce influência sobre a trabalhabilidade dos concretos no estado fresco, além de ser importante parâmetro para dosagem das misturas (BARRA, 1996, citado por LEITE,2001)

3. Metodologia

Ao decorrer do processo da pesquisa em busca dos resultados acima citados foi realizado o aprofundamento bibliográfico detalhado relacionado com a fabricação do concreto, bem como, dos testes propostos. Com isso, foi realizada uma visita à indústria BRISEPAL IND E COM DE BRITA SERRARIA E PREMOLDADOS LTDA fabricante de peças pré-moldadas para fins da construção civil, com sede na cidade de Cajazeiras-PB. Em seguida, com o consentimento do chefe da empresa coletaram-se os resíduos (blocos rejeitados), mostrado na figura 1, e os mesmos foram levados ao laboratório.

Figura 11 - Material rejeitado
Fonte - LEITE, 2017

O material foi fragmentado por meio do britador de mandíbulas e em seguida com intuito de particular os fragmentos em porções menores, realizou-se a moagem através do moinho de martelos. O produto final desses procedimentos é retratado na Figura 2. Ambos os aparelhos foram disponibilizados pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte- IFRN.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 12 - Material triturado
Fonte - LEITE, 2017

Com o material fragmentado foram realizados ensaios granulométricos para os dois agregados miúdos (Areia lavada e o material triturado) e para brita, conforme preconiza a NBR NM 248(ABNT 2003). A Figura 3 reporta a pesagem do agregado miúdo reciclado.

Figura 13 - Pesagem do agregado reciclado para ensaio de granulometria
Fonte - LEITE, 2017

Com os resultados dos ensaios foram preenchidas as Tabela 7,

Tabela **8** e Tabela 9, com a finalidade de obtenção da curva granulométrica dos materiais, o módulo de finura dos agregados miúdos (areia e material triturado) e a dimensão máxima do agregado graúdo (brita).

Com o módulo de finura e a dimensão máxima característica encontrada, foi possível a realização do cálculo da dosagem do traço do concreto, oqual foi calculado para obtenção da resistência característica de 25,0 MPa, com resistência à compressão aos 28 dias de 34 MPa e abatimento de 60 mm +/- 20 mm.

Essa dosagem foi realizada de acordo com prescrições da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, indicando um traço de 1 : 1,69 : 2,66 : 0,6.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 7 - Granulometria e módulo de finura da areia

Peneira	*Abertura (mm)*	*Massa Retida (g)*	*% Retida*	*∑ % Retida*	*% Passante*
4	4,8	5,15	1,03	1,03	98,97
10	2,4	7,5	1,50	2,53	97,47
16	1,2	9,18	1,84	4,37	95,63
30	0,6	25,66	5,15	9,52	90,48
50	0,3	102,18	20,50	30,02	69,98
100	0,15	277,73	55,71	85,73	14,27
200	0,075	57,8	11,59	97,32	2,68
Prato		13,35	2,68	100,00	0,00
Total		498,55			
Módulo de Finura		2,31			

Fonte - LEITE, 2017

Tabela 8 - Granulometria e módulo de finura do agregado reciclado

Peneira	*Abertura (mm)*	*Massa Retida (g)*	*% Retida*	*∑ % Retida*	*% Passante*
4	4,8	0	0	0	100
10	2,4	0	0	0	100
16	1,2	79,5	15,92	15,92	84,08
30	0,6	107,65	21,56	37,48	62,52
50	0,3	114,88	23,01	60,49	39,51
100	0,15	102,05	20,44	80,93	19,07
200	0,075	55,24	11,06	91,99	8,01
Prato		40,02	8,01	100	0
Total		499,34			
MÓDULO DE FINURA		2,87			

Fonte - LEITE, 2017

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 9 - Granulometria e dimensão máxima característica da brita

Peneira	*Abertura (mm)*	*Massa Retida (g)*	*% Retida*	*∑ % Retida*	*% Passante*
2”	50	0	0	0	100
1 ½”	37,5	0	0	0	100
1”	25	48	1,92	1,92	98,08
¾”	19	141	5,64	7,56	92,44
3/8”	9,5	2232	89,32	96,88	3,12
Nº 4	4,75	76	3,04	99,92	0,08
Prato		2	0,08	100,00	0
Total		2.499 g			
Dimensão máxima		25 mm			

Fonte: LEITE, 2017

Com o traço calculado a areia e o agregado reciclado foram peneirados na peneira Nº 10 com abertura de 2,4 mm e, em seguida, foram pesadas as quantidades necessárias de cada material (areia, agregado reciclado, brita, cimento e água) estabelecidas pela dosagem. Dando seguimento o concreto com agregado natural (CAN) e o concreto com agregado reciclado (CAR) foram fabricados, conforme NBR 12655(ABNT 2015). Processo de fabricação esta ilustrada na Figura 4.

Figura 14 - Produção do concreto
Fonte - LEITE, 2017

Em respeito a ME 404 (DNER 2000), testes com a finalidade de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ou slump test) dos dois tipos de concreto produzidos foram realizados, ilustrado na Figura 5.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 15 - Ensaio de abatimento de tronco de cone
Fonte - LEITE, 2017

Em seguida, houve a confecção dos corpos-de-prova, de ambos os concretos, seguindo a NBR 5738 (ABNT 2015). Ainda respeitando essa norma, os processos de cura dos mesmos foram executados. Seguindo a NBR 5739 (ABNT 2007) foram realizados os ensaios de compressão dos corpos-de-prova dos concretos aos 7, 14, 21, 28, 90 e 365 dias como mostra a Figura 6.

Figura 16 - Ensaio de compressão
Fonte - LEITE, 2017

4. Resultados e discussões

4.1 Abatimento do tronco de Cone (*slump test*)

Quanto ao abatimento do tronco de cone, o CAR apresentou *slump* de 15 mm enquanto o CAN mostrou *slump* de 40 mm.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.2 Resistência à compressão

Em relação a resistência mecânica, os valores para os referidos concretos em estudos estão dispostos na tabela 4.

Tabela 10 - Resistência à compressão dos concretos estudados

PERÍODO EM DIAS	RESISTÊNCIA (Mpa)	
	CAN	CAR
7	28,6	29,1
14	33,1	32,3
21	33,3	33,6
28	34,4	35,2
90	40,8	42,8
365	42,1	44,3

Fonte - LEITE, 2017

5. Análise dos resultados

Em relação ao abatimento, constatou-se que ambos ficaram abaixo do estipulado na dosagem, sendo que o CAN ficou resquardado pela margem de erro. Já o CAR, apresentou *slump* muito abaixo do determinado em traço e esse valor já era esperado pelo fato do CAR apresentar um maior teor de finos em virtude das particulas de cimento anidro presentes no agregado reciclado alem deste ter fornecido um módulo de finura maior que o módulo de finura da areia natural utilizada.

Quanto a resistência mecânica, notou-se que, em todas as idades, o CAR apresentou volores maiores de resistência à compressão. Esse comportamento é explicado por três fatores principais, a saber: A existência de partículas de cimento anidro presentes no agregado reciclado que, em contato com a água, entra em processo de hidratação e produz mais gel de C-S-H e, consenquentemente contribuindo para aumentar a resistência do concreto. Outro faror importante que ajuda a explicar esse ganho relativo de resistência mecânica é o módulo de finura do agregado reciclado que é superior. Isso significa menos trabalhabilidade, como foi evidenciado no slump test, porem maior empacotamento das partículas e, consequentemente uma densificação da zona de transição. Essa redução na espessura da zona de transição, sob a ótipca da engenharia estrutural e de materiasis, ganha ainda mais importância que o próprio efeito de ganho de resistência, uma vez que está intimamente ligada ao aumento da durabilidade dos elementos estruturais de concreto armado, reduzindo a eficiência dos agentes agressivos nos mais diversos dodelos de manifestações patológicas nessas peças.

ISBN: 978-85-65425-32-2

6. Conclusões

Tendo em vista um melhor desenvolvimento sustentável, o ramo da construção civil está cada vez mais se modernizando, para diminuir ou até mesmo eliminar possíveis problemas ambientais provenientes de sua atividade. Este trabalho utilizou resíduos de construção e demolição (RCD) na produção do concreto como uma maneira de aproveitar materiais que anteriormente eram rejeitados.

A reciclagem desses materiais é uma forma eficaz de encerrar seu ciclo de vida, impedindo de serem destinados a lugares inapropriados, que prejudicariam o meio ambiente.

O trabalho demonstrou que o concreto reciclado tem um bom resultado nas questões estudadas, trabalhabilidade e resistência mecânica. Através dos dados apresentados é possível concluir que a inserção dessa reciclagem de resíduos para substituição do agregado miúdo é positiva, desde que possua oferta de resíduos e sejam cumpridas as normas ambientais. Assim, a areia pode ser substituída integralmente por esses agregados miúdos originados a partir da reciclagem dos resíduos de concreto pré-

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN e a empresa BRISEPAL IND E COM DE BRITA SERRARIA E PREMOLDADOS LTDA

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003. 6p.

_____. NBR NM 12655. Concreto de cimento Portland- Preparo, controle, recebimento e aceitação- Procedimento. Rio de Janeiro. 2015. 22p.

_____. NBR NM 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. 2015. 13p.

_____. NBR NM 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2007. 13p.

BUTTLER, A. M. Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) São Carlos, SP, Universidade de São Paulo – USP, 535p. 2007.

CABRAL, A. E. B. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) São Carlos, SP, Universidade de São Paulo - USP, 280p. 2007.

ISBN: 978-85-65425-32-2

CAVALHEIRO A. P. Contribuição para a implementação de agregado reciclado de concreto em uma empresa de pré-fabricados de concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) São Leopoldo, RS, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 159p. 2011.

DNER ME 404. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro. 2000. 8p.

GONÇALVES, R.D.C. “Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estrturas). São Carlos, SP, Universidade de São Paulo – USP, 2001.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Porto Alegre, RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, 290p. 2001.

MERCOSUL NM 23. Cimento Portland e outros materiais em pó- Determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 2001. 12p.

RAVINDRARAJAH, R.S. ; TAM, C.T. “Propriedades de concreto feito com concreto triturado como agregado grosso”, Revista de Pesquisa, vol 37, nº130 Março, 1985.

RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002 Publicada no DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96.

RESOLUÇÃO Nº 431, DE 24 DE MAIO DE 2011Publicada no DOU nº 99, de 25/05/2011, pág. 123.

RESOLUÇÃO Nº 448, DE 18 DE JANEIRO DE 2012 Publicada no DOU Nº 14, quinta-feira, 19 de janeiro de 2012.

SCHALCH, V., LEITE, W. C. A., FERNANDES JR., J. L., CASTRO, M. C. A. A. Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Disciplina do curso de Pós-graduação em Hidráulica e Saneamento. São Carlos (Apostila), 91p. 2002. Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo.

TENÓRIO, J. J. L. Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Alagoas, AL, Universidade Federal de Alagoas- UFAL, 157p.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO MATERIAL POZOLÂNICO NO CONCRETO PARA AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE EM SOLUÇÃO SALINA

Use Of Ceramic Residue As Pozolanic Material In The Concrete For Durability Evaluation In Maritime Atmosphere

Iolanda ANDRADE MATOS[1], **Marília** PEREIRA DE OLIVEIRA[2], **Alisson** GADELHA DE MEDEIROS[3], **Renata Cristina** DE OLIVEIRA MORATO[4]

[1] UFERSA, Mossoró-RN, Brasil, landa_matos@hotmail.com

[2] UFERSA, Mossoró-RN, Brasil, marilia@ufersa.edu.br

[3] UFERSA, Mossoró-RN, Brasil, alisson.gadelha@ufersa.edu.br

[4] UFERSA, Mossoró-RN, Brasil, renatamorat@gmail.com

Resumo: Construções expostas à maré estão sujeitas a penetração de íons cloreto no concreto que podem atingir a profundidade do aço, corroendo-o e causando danos a estrutura. Uma das principais causas da redução desse tempo de vida está relacionada à penetração de cloretos no concreto que acabam atingindo a armadura, degradando o aço e diminuindo a resistência da estrutura. Diante disso, diversos estudiosos vêm desenvolvendo pesquisas sobre a possibilidade de aumentar a vida útil do concreto com a utilização de materiais pozolânicos. A utilização de pozolana para a produção de concreto não é algo tão recente, uma vez que Gregos e Romanos já utilizavam em suas construções. Nas últimas décadas, muitos pesquisadores agregaram valor pozolânico a materiais que eram descartados na natureza como resíduo inutilizável. Dentre esses materiais está o resíduo cerâmico originado a partir da fabricação de telhas, blocos e tijolos a base de cerâmica. Resultados de pesquisas mostraram que uma substituição parcial do cimento de até 15% (quinze por cento), garante durabilidade ao concreto sem diminuir propriedades importantes do concreto como a resistência a compressão. Logo, para este trabalho foram confeccionados alguns corpos de provas de concreto com substituição de 15% do cimento por resíduo cerâmico que foram submersos a uma solução salina com uma porcentagem de 3,5% de cloreto de sódio e comparados com outros corpos de provas com 0% (zero por cento) de resíduo cerâmico em idades de 7; 56 e 84 dias através de ensaios de resistência a compressão simples, ultrassom, aspersão de nitrato de prata, absorção e porosidade. Os resultados obtidos mostraram que o concreto contendo resíduo de cerâmica foi menos resistente e mais poroso na primeira semana, porém nas semanas seguintes a resistência a compressão aumentou e a porosidade diminuiu.

Palavras-chave: Penetração de cloretos. Pozolana. Propriedades do concreto.

Abstract: Construction exposed to the tide is subject to penetration of chloride ions in the concrete that can reach the depth of the steel, corroding it and causing structure damage. One of the main causes of the reduction of this life time is related to the penetration of

ISBN: 978-85-65425-32-2

chlorides in the concrete that end up reaching the armature, degrading the steel and reducing the resistance of the structure. Therefore, several scholars have been researching the possibility of increasing the useful life of concrete with the use of pozzolanic materials. The use of pozzolan for the production of concrete is not something so recent, since Greeks and Romans already used in their constructions. In the last decades, many researchers have added pozzolanic value to materials that were discarded in nature as unusable waste. Among these materials is the ceramic residue originated from the manufacture of ceramic tiles, blocks and bricks. Research results have shown that a partial replacement of the cement of up to 15% (15%), guarantees durability to the concrete without diminishing important properties of the concrete as the resistance to compression. Therefore, for this work, some specimens of concrete with a 15% substitution of the cement by ceramic residue were made, which were submerged in a saline solution with a percentage of 3.5% of sodium chloride and compared with other bodies of tests with 0% (zero percent) of ceramic residue at ages 7; 56 and 84 days by tests of resistance to simple compression, ultrasound, silver nitrate spray, absorption and porosity. The results showed that the concrete containing ceramic residue was less resistant and more porous in the first week, but in the following weeks the compressive strength increased and the porosity decreased.

Keywords: Penetration of chlorides. Pozolana. Properties of concrete.

1. Introdução

Diversos estudiosos vêm desenvolvendo pesquisas sobre a possibilidade de aumentar a vida útil do concreto com a utilização de materiais pozolânicos. A utilização de pozolana para a produção de concreto não é algo tão recente, uma vez que Gregos e Romanos já utilizavam em suas construções (FONSECA, 2010). Nas últimas décadas, muitos pesquisadores agregaram valor pozolânico a materiais que eram descartados na natureza como resíduo inutilizável. Dentre esses materiais está o resíduo cerâmico (RC) originado a partir da fabricação de telhas, blocos e tijolos a base de cerâmica. Investigações mais recentes identificaram que os resíduos de indústrias cerâmicas, quando diminuídos de granulometria, apresentam uma boa atividade pozolânica, podendo ser usado para produção de concretos, diminuindo assim, os impactos ambientais (VIEIRA, 2005). Ainda, resultados de pesquisas mostraram que uma substituição parcial do cimento de até 15% (quinze por cento), garante durabilidade ao concreto sem diminuir propriedades importantes do concreto como a resistência a compressão.

Neste trabalho foi realizado um estudo laboratorial em um concreto que teve sua composição de cimento substituída parcialmente por RC. Para isso foram confeccionados corpos de provas de concreto com substituição de 15% do cimento por RC, que ficaram submersos em solução salina composta por 3,5% de cloreto de sódio e comparados com corpos de provas com 0% (zero por cento) de RC, sujeitos as mesmas condições ambientais. Realizou-se ensaios de resistência a compressão, ultrassom, aspersão de nitrato de prata e absorção e porosidade para a verificação da penetração de cloretos e qualidade do concreto.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

Cimento: o cimento utilizado foi o CPV-ARI RS, da marca Mizu. O motivo da escolha desse cimento foi o fato do mesmo ser o único cimento encontrado em Mossoró, cuja composição não apresenta outra adição pozolânica.

Agregado miúdo: como agregado miúdo foi utilizado a areia lavada do laboratório de materiais de construção da UFERSA. O material foi oriundo do rio Açu, Açu-RN.

Agregado Graúdo: o agregado graúdo utilizado foi brita granítica, proveniente do laboratório de materiais de construção da UFERSA, comprado na cidade de Caicó-RN.

Água: foi utilizada água potável da torneira do laboratório da UFERSA proveniente do sistema de abastecimento da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Resíduo Cerâmico: for utilizado como substituição parcial do cimento resíduo de cerâmica vermelha (RCV), provenientes das perdas que ocorrem durante o processo de fabricação dos componentes, como tijolo, telha e lajota. Os RCV foram oriundos da cidade de Assú/RN.

2.2 Metódos

2.2.1 – Beneficiamento do Resíduo Cerâmico

O resíduo foi coletado em uma fábrica materiais de cerâmica vermelha. Após a coleta, o mesmo foi submetido ao processo de moagem no moinho de abrasão *Los Angeles* no laboratório de Solos da UFERSA para torna-lo um material fino. Em seguida foi passado na peneira 75 mm, a de fim aumentar seu efeito *filler.*

A massa específica do Resíduo Cerâmico utilizado foi em média e 2,66 g/cm³ e a massa unitária de e 0,90 g/cm³. No ensaio para determinação de superfície específica pelo método de *Blaine* o valor médio de duas cápsulas foi equivalente a 2729 cm²/g. A massa específica e a superfície específica (*Blaine*) do resíduo cerâmico apresentam valores baixos em relação aos valores do cimento utilizado que de acordo as especificações da marca são de 3,14 g/cm³ e 4,060 cm²/g.

2.2.2 – Dosagem do concreto

Foi utilizado o traço experimental do trabalho de Vieira (2006) 1:1,55:2,19 em massa, com o fator água/aglomerante fixado em 0,5 (Quadro 1). Para o concreto com substituição parcial de 15% de RC foi utilizado mesmo traço.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 1 - Traço e proporção em massa

Mistura	Proporção Unitária (em massa)			
	Cimento	**RC**	**Areia**	**Brita**
RC0	1	0	1,55	2,19
RC15	0,85	0,15	1,55	2,19

Fonte: Autoria (2017).

2.2.3 – Ensaios

Com base na literatura, a cerâmica vermelha possui características de um material pozololânico, podendo assim, atribuir valor de durabilidade ao concreto. Para uma melhor investigação, foram realizados os seguintes ensaios, com tais objetivos (Figura 1):

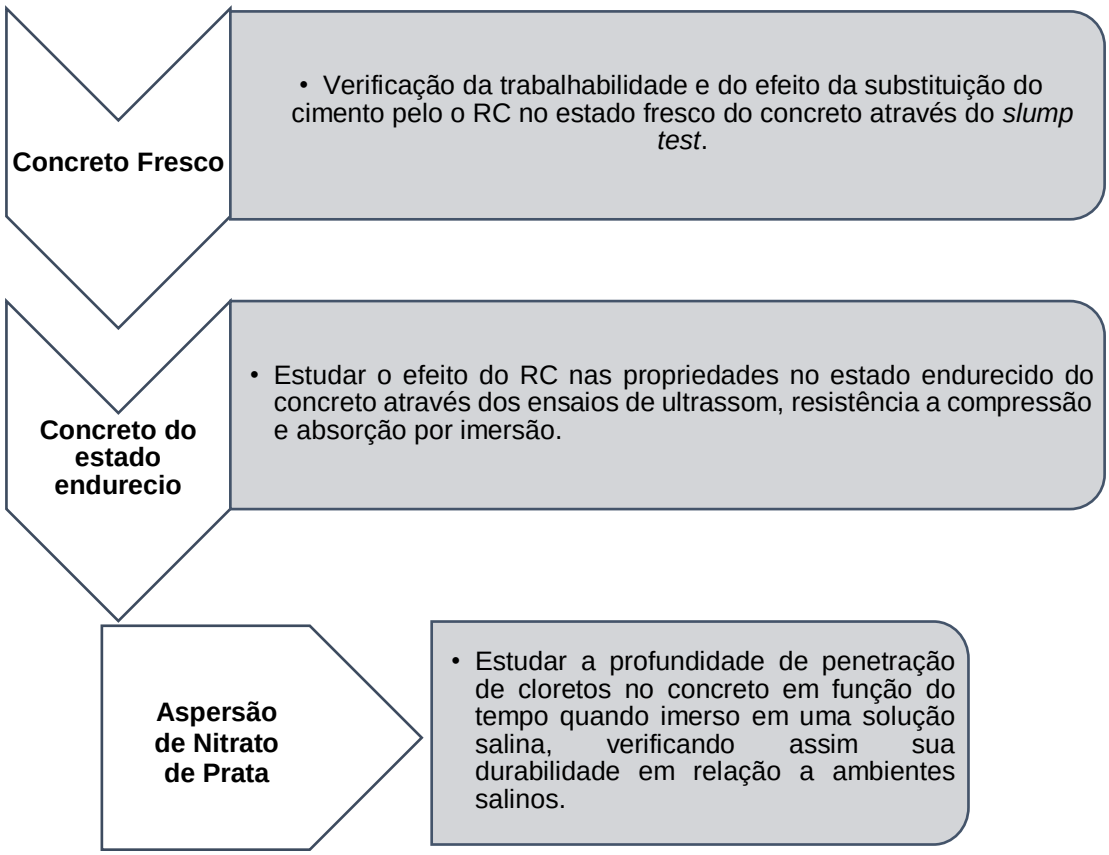


Figura 1 - Fluxograma das etapas que compõem a metodologia da análise de durabilidade desta pesquisa. Fonte: Autoria (2017).

ISBN: 978-85-65425-32-2

3. Resultados e discussão

3.1 Slump Test

Para a realização desse ensaio foi utilizada NBR NM 67/1998, o qual determina a consistência do concreto fresco através do abatimento do tronco de cone. Os resultados obtidos podem ser vistos na Quadro 2.

Quadro 2 - Resultado do ensaio Slump Test

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	
Corpo de prova	Abatimento em mm
CRC0	95
CRC15	30

Fonte: Autoria (2017).

A substituição parcial do cimento pelo RC tornou o concreto menos trabalhável, característica percebível durante o ensaio do abatimento de tronco e durante a moldagem.

3.2 Resistência a compressão simples

A variação de resistência à compressão simples de concretos com a substituição parcial do cimento por 15% de RC as idades de 7; 56 e 84 dias, podem ser vistas Quadro 3 e na Figura 2.

Quadro 3 - Dados de ensaio de resistência a compressão simples.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES (MPa)		
Idade	CRC0	CRC15
7 dias	38,30	30,33
56 dias	38,56	37,76
84 dias	39,29	40,01

Fonte: Autoria (2017).

ISBN: 978-85-65425-32-2

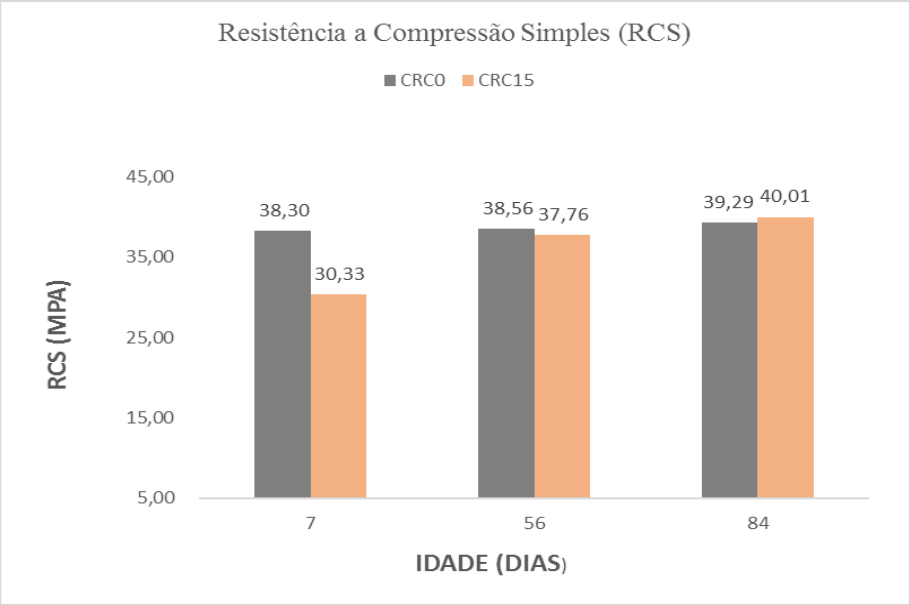


Figura 2 - Resistências a compressão simples
Fonte: Autoria (2017).

Observa-se que o concreto com substituição parcial se mostrou menos resistente que o CRC0 na primeira semana após a cura, porém sua resistência foi aumentando ao longo do tempo, ultrapassando ainda a resistência do concreto referência na idade de 84 dias. Logo, o resíduo cerâmico possui características de adições minerais que desenvolvem efeito pozolânico nas idades mais avançadas.

3.3 Propagação de onda ultrassônica

Os dados foram obtidos (Quadro 4) a partir da média de três corpos de provas para cada tipo de concreto.

Quadro 4 - Dados do ultrassom

ENSAIO DE ULTRASSOM (m/s)		
Idade	CRC0	CRC15
7 dias	4446,00	3405,00
56 dias	4471,30	4296,67
84 dias	4560,00	4566,33

Fonte: Autoria (2017).

As ondas ultrassônicas se propagaram melhor no CRC0 na primeira semana, demonstrando assim, que o CRC15 é um concreto mais poroso em sua idade inicial, porém aos 56 dias e 84 dias as ondas se propagaram melhor no CR15. O que condiz com o ensaio

ISBN: 978-85-65425-32-2

de resistência a compressão simples, uma vez que a resistência está correlacionada com a porosidade do concreto.

3.4 Absorção e porosidade

Os resultados obtidos através dos ensaios de absorção e porosidade estão apresentados na Quadro 5 e na Figura 3 e 4.

Quadro 5 - Dados do ensaio de absorção e porosidade

Ensaio de Absorção e Porosidade (%)				
Idade	RC0		RC15	
	Absorção	Porosidade	Absorção	Porosidade
7 dias	5,72	14,90	6,47	16,88
56 dias	4,62	11,79	5,05	12,92
84 dias	4,53	11,79	4,97	12,70

Fonte: Autoria (2017).

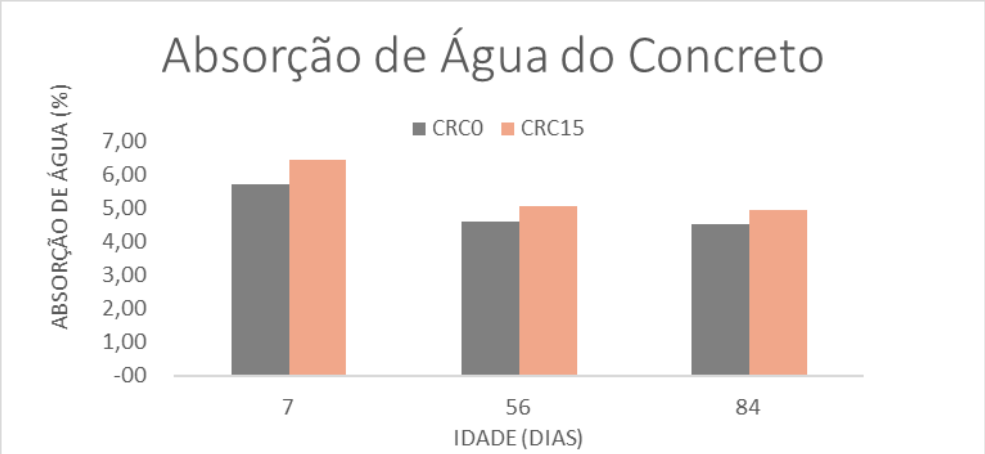


Figura 3 – Absorção em porcentagem da água do CRC0 e CRC15

Fonte: Autoria (2017).

ISBN: 978-85-65425-32-2

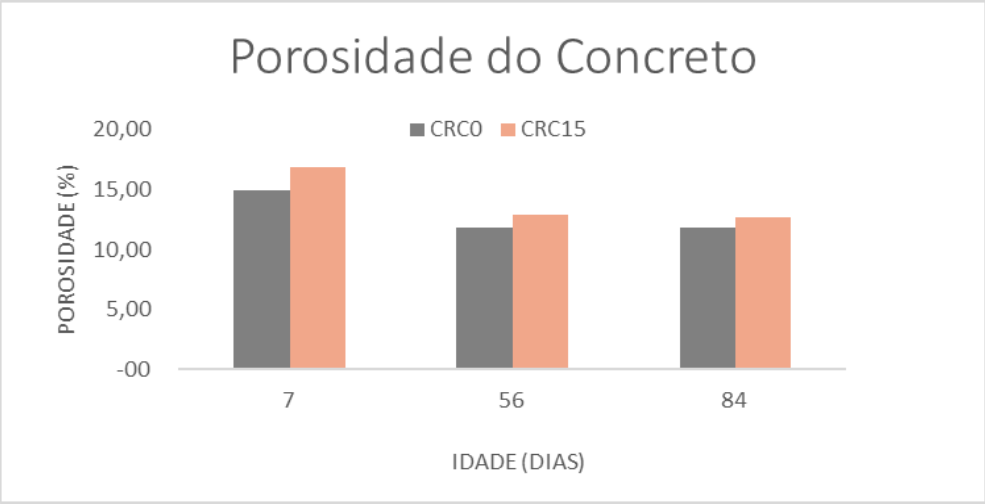


Figura 4 – Porosidade em porcentagem do CRC0 e CRC15.
Fonte: Autoria (2017).

Apesar do CRC15 ser um concreto mais poroso que o CRC0, os dados mostram que com o passar do tempo sua porosidade diminui aproximadamente 23%, enquanto o CRC0 diminuiu apenas 21 %. O resíduo cerâmico é um material poroso, fato que contribuiu para uma maior absorção do CRC15 em relação ao CRC0.

3.5 Ensaio de penetração de cloretos por aspersão de nitrato de prata

Na data de cada ensaio, os corpos de provas foram rompidos diametralmente e sobre a superfície de ruptura foi borrifada uma solução de nitrato de prata (Figura 5).

Figura 5 – Corpos de prova rompido diametralmente e aspergido com solução de nitrato de prata. Fonte: Autoria (2017).

As regiões livres do corpo de prova que continham uma maior concentração de cloretos livres, em relação à massa do cimento adquirem coloração esbranquiçada. Utilizando um paquímetro de precisão, obtiveram-se os resultados de profundidade de penetração que podem ser vistos nos Quadros de 6 a 7 e na Figura 6:

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 6 - Penetração de cloretos aos 7 dias

Medidas do ensaio de Aspersão de Nitrato aos 7 dias				
Corpo de Prova	Média	Desvio padrão (s)	Menor	Maior
CRC0	0,42 mm	1,22 mm	0,00 mm	3,50 mm
CRC15	1,40 mm	0,94 mm	0,25 mm	4,50 mm

Fonte: Autoria (2017).

Quadro 7 - Penetração de cloretos aos 56 dias

Medidas do ensaio de Aspersão de Nitrato aos 56 dias				
Corpo de Prova	Média	Desvio padrão (s)	Menor	Maior
CRC0	5,29 mm	2,82 mm	0,00 mm	13,13 mm
CRC15	10,42 mm	1,84 mm	6,73 mm	4,50 mm

Fonte: Autoria (2017).

Quadro 8 - Penetração de cloretos aos 84 dias

Medidas do ensaio de Aspersão de Nitrato aos 84 dias				
Corpo de Prova	Média	Desvio padrão (s)	Menor	Maior
CRC0	7,73 mm	2,30 mm	4,68 mm	11,60 mm
CRC15	14,28 mm	4,25 mm	8,05mm	21,60 mm

Fonte: Autoria (2017).

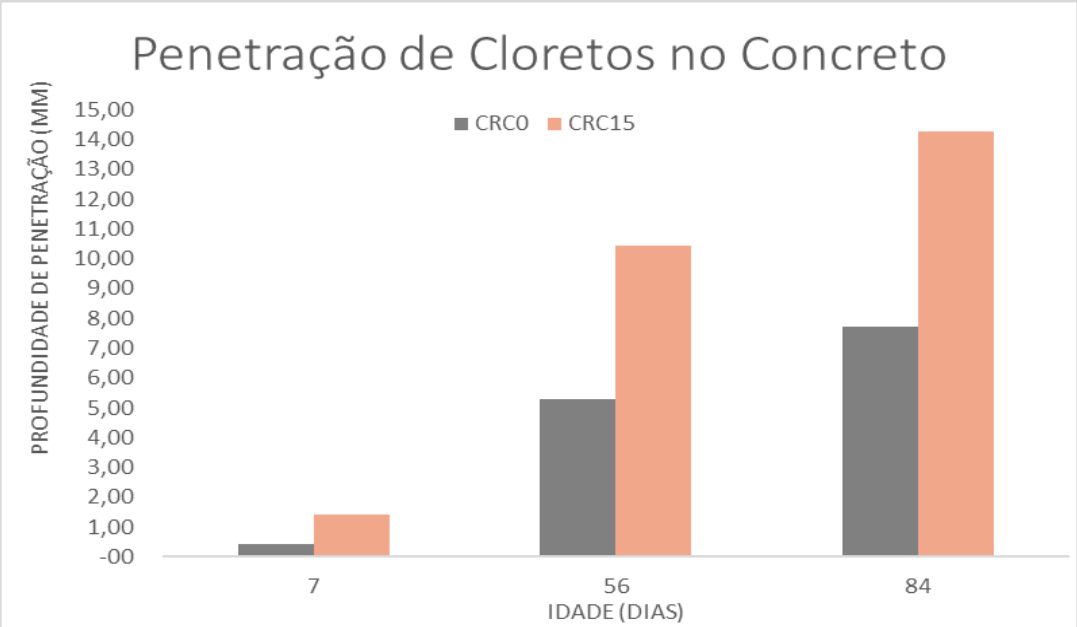


Figura 6 – Profundidade de penetração de cloretos.

Fonte: Autoria (2017).

ISBN: 978-85-65425-32-2

No ensaio de absorção e porosidade foi visto que o concreto contendo resíduo cerâmico apresentou uma maior porosidade e absorção em relação ao concreto de referência. Devido a essa maior absorção e porosidade a solução salina foi mais absorvida no concreto CRC15, justificando assim, as medidas de penetração maiores nos corpos de prova com RC.

5. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo utilizar resíduo cerâmico como material pozolânico no concreto para a avaliação de durabilidade quanto à penetração de íons cloreto através de solução salina. Para o estudo dessa avaliação, foram confeccionados corpos de prova de concreto convencional e corpos de provas de concreto com substituição parcial do cimento por resíduo cerâmico. Ambos os concretos foram submersos em solução salina com as mesmas proporções de cloreto de sódio (3,5%) e submetidos aos mesmos ensaios em idades de 7; 56; 84 dias.

Dos resultados obtidos, pôde-se verificar que a substituição parcial do cimento por Resíduo Cerâmico na idade inicial do concreto foi mais baixa e apresentou uma maior porosidade, porém, após 7 semanas foi notado que a qualidade do concreto aumentou, tornando-o viável a utilização do Resíduo Cerâmico como material pozolânico para aumento de durabilidade do concreto.

A principal conclusão obtida em relação ao concreto CRC0 e CRC15 quanto ao ensaio realizado no estado fresco é sobre à trabalhabilidade que resultou em:

- Uma trabalhabilidade em termos de abatimento do tronco de cone de 95 mm para o CRC0 e 30 mm para o CRC15, ou seja, houve uma perda de abatimento de mais de 60%.

Quanto as principais conclusões obtidas a respeito dos concretos no estado endurecido são:

- O concreto CRC0 aos 7 dias apresentou uma resistência média de 38 MPa, já para o CRC15 foi obtido um média de 30 MPa, resultando em uma diferença de resistência de 21%. Porém, após 7 e 11 semanas o CRC15 apontou um ganho de 20% e 25% respectivamente em relação a idade inicial de 1 semana. Uma possível causa para o ganho dessa resistência seja o desenvolvimento da atividade pozolânica do resíduo cerâmico.
- O ensaio de velocidade de propagação do pulso ultrassônico mostrou-se coerente em relação aos resultados adquiridos no ensaio de resistência a compressão, ou seja, nas primeiras idades as ondas se propagaram melhor no CRC0 do que no CRC15, porém após 11 semanas as ondas tiveram uma propagação melhor no CRC15.
- O teste de absorção e porosidade mostrou uma maior absorção e porosidade no CRC15, porém houve um decréscimo nas demais idades.
- Com o ensaio de penetração de íons cloretos, as medidas obtidas foram maiores no CRC15. Resultado que se mostra coerente com os demais ensaios, pois inicialmente (na primeira idade) devido a maior porosidade o concreto CRC15 absorveu uma quantidade maior de solução salina que o CRC0.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Em idade inicial, após cura, a substituição parcial de 15% do cimento pelo Resíduo Cerâmico demonstrou que o CRC15 é um concreto mais poroso que o CRC0 e com menor resistência, porém após 7 semanas sua resistência aumentou aproximadamente 20% e diminuiu sua porosidade em torno de 23% o que o torna um concreto bom e de maior durabilidade.

Apesar dessa pesquisa ter revelado o resíduo cerâmico como um material de atividade pozolânica com potencial de substituição do cimento em concretos para elevação de durabilidade, os resultados observados apontam para a necessidade da realização de avaliações mais abrangentes. Como sugestões para trabalhos futuros seria de grande relevância:

- Fazer um estudo no qual a imersão em solução salina fosse apenas após CRC15 alcançar seu valor máximo de resistência;
- Testar outras porcentagens de substituição parcial do cimento por RC;
- Fazer um estudo de viabilidade econômica para o beneficiamento desse resíduo e
- Testar adição de resíduo cerâmico com finura próxima a do cimento comparado por *Blaine*.

Referências Bibliográficas

____NBR 67/1998. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 8 p.

Fonseca, G.C. (2010) Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Vieira, A. A. P. (2005). Estudo do Aproveitamento de Resíduos de Cerâmica Vermelha Como Substituição Pozolânica em Argamassas e Concretos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

ISBN: 978-85-65425-32-2

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE PREENCHIMENTO DE JUNTAS DE ARGAMASSA EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Evaluation Of The Effect Of Filling Of Argamassa Joints In Structural Masonry

Denis Sousa LÚCIO[1], Adriane Maria Wanderley OLIVEIRA[1], Anna Gabriela Fechine LEITE[3]

[1] Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ), João Pessoa-PB, Brasil, densousa@outlook.com

[2] Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, Brasil, adrianewoliveira@gmail.com

[3] Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, annagfechine@hotmail.com

Resumo: A execução de alvenaria estrutural tem registros em obras históricas, como as Pirâmides de Guizé, Farol de Alexandria, Catedral de Reims e outras. Até então, essas obras eram construídas com base em experiências e processos de erros e acertos. Foi no século XIX que se iniciaram as pesquisas de caráter científico acerca do assunto. No Brasil, apesar de um desenvolvimento lento e tardio, a alvenaria estrutural ganhou impulso tanto do ponto de vista de execução quanto do ponto de vista normativo. No processo executivo de estruturas de alvenaria estrutural, o preenchimento das juntas de argamassa pode ser fator determinante no rendimento da obra, bem como na resistência da estrutura. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo analisar comparativamente, com foco na resistência à compressão, os efeitos da execução de prismas de alvenaria com três tipos de configurações: com juntas de argamassa de assentamento totalmente preenchidas; com juntas parcialmente preenchidas (juntas longitudinais) e com juntas parcialmente preenchidas com adição de revestimento nos blocos. Foram montados 12 prismas de blocos cerâmicos de cada configuração que, após 28 dias, foram sujeitos a ensaios de compressão. Verificou-se que executar totalmente as juntas de assentamento reflete a maior resistência e que a diferença entre se executar parcialmente as juntas e parcialmente com revestimento é um acréscimo de apenas 5%. Portanto, o ganho de tempo em não se executar na totalidade as juntas de argamassa não é compensado pela aplicação do revestimento nos prismas, pois há perda considerável de resistência.

Palavras-chave: Prismas. Juntas de Assentamento. Argamassa. Blocos Cerâmicos.

Abstract: The execution of structural masonry is recorded in historical buildings such as the Pyramids of Giza, Lighthouse of Alexandria and Notre-Dame Cathedral of Reims. Until then, those structures were built on the basis of experiments, mistakes and successes. First scientific researches on the subject were conducted in the 19th century. In Brazil, despite the slow and late development, structural masonry gained momentum in terms of execution and legislation. In the building process of structural masonry structures, filling the joints with mortar can be a determining factor for work efficiency and strength of the structure. In this vein, this work aims to carry out comparative analyses of the effects of executing masonry prisms in three different shapes, focusing on the compressive strength. The three shapes

ISBN: 978-85-65425-32-2

are: mortar joints fully filled; mortar joints partially filled (longitudinal joints) and mortar joints partially filled in masonry prisms with coating application. Twelve masonry prisms were casted for each shape and, at the age of 28 days, they were subject to compressive strength test. It has been shown that completely filled joints provide higher strength to the prisms, while the difference between partially filled joints and partially filled joints in coated prisms is the gain of 5% in compressive strength. Therefore, saving time in the partial filling of joints is not offset by coating application, because there is considerable loss in strength.

KeyWords: Masonry prisms. Mortar joints. Mortar. Ceramic Blocks.

1. Introdução

A alvenaria estrutural é uma tecnologia construtiva utilizada desde antigamente e que deixa suas marcas até os dias de hoje. Apesar de um desenvolvimento um tanto lento e tardio, a alvenaria estrutural atualmente ganhou impulso no Brasil, o que pode ser evidenciado principalmente com aumento de empresas que fabricam os blocos, tanto de concreto quanto blocos cerâmicos.

Os avanços normativos também pesaram para o maior avanço da alvenaria estrutural no país. Recentemente, a ABNT, através do Comitê Brasileiro de Construção (ABNT/CB-02) publicou duas novas normas referentes a projeto, controle e execução de obras de alvenaria estrutural. São elas: a ABNT NBR 15961-1:2011 - Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 1 e a ABNT NBR 15961-2:2011 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 2. Em 2010, também vieram as normas para blocos cerâmicos: a ABNT NBR 15812-1:2010 - Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 1 e a ABNT NBR 15812-2:2010 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 2: Execução e controle de obras.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo no qual a parede atua como elemento resistente da estrutura e como vedação. As paredes são compostas por blocos (unidades) unidos por juntas de argamassa e preenchidos ou não por graute, podendo conter armadura com função estrutural ou com função apenas construtiva. Juntos, esses componentes são capazes de resistir a cargas além de seu peso próprio.

O método de executar com alvenaria estrutural apresenta vantagens quando comparado aos modelos tradicionais de construção, principalmente pela sua simplicidade e por proporcionar a racionalização do processo. Segundo Mata (2006, p. 7) “é possível se obter uma economia global de até 30% em comparação com os sistemas construtivos convencionais”. Outras características importantes são estética, solidez, durabilidade, baixa manutenção, versatilidade, boas características acústicas e proteção ao fogo.

A resistência à compressão é a característica primordial dentro do conceito de alvenaria estrutural. Uma das maneiras de se avaliar tal resistência é através de ensaios experimentais de prismas ou mini-paredes sob compressão axial, nos quais é utilizada a mesma composição do que será aplicado na obra.

De acordo com a ABNT NBR 15812-1 (2010), prismas são corpos de provas obtidos pela superposição de blocos unidos por junta de assentamento, grauteados ou não. Já

ISBN: 978-85-65425-32-2

mini-paredes são um conjunto de unidades de alvenaria ligadas por argamassa, onde os blocos são dispostos alternadamente, utilizando-se também meio-bloco.

No procedimento de construção, o preenchimento das juntas de argamassa pode ser fator determinante na produtividade da obra, bem como na resistência da estrutura. O argamassamento parcial, ou seja, execução apenas das juntas longitudinais, é também utilizado, pois promove maior rapidez no processo de execução. Para executar as juntas transversais, o operário necessita trocar o tipo de ferramenta utilizada, saindo da colher de pedreiro para a palheta, tornando o serviço mais lento.

Nesse sentido, existe a preocupação com a possibilidade de haver uma perda de resistência devido a não execução das juntas transversais que pode ser ou não compensada quando se faz o revestimento nas paredes de alvenaria estrutural.

O presente trabalho tem por objetivo analisar comparativamente, com foco na resistência à compressão, os efeitos da execução de prismas de alvenaria com três tipos de configurações: com juntas de argamassa de assentamento totalmente preenchidas; com juntas parcialmente preenchidas (juntas longitudinais) e com juntas parcialmente preenchidas com adição de revestimento nos blocos.

2. Objetivos

O objetivo deste artigo é avaliar e comparar o efeito da execução de prismas de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com juntas de argamassas preenchidas totalmente, parcialmente e parcialmente com revestimento, do ponto de vista de resistência à compressão

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Definições básicas

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo no qual a alvenaria atua como elemento resistente e como elemento de vedação. É constituída de um conjunto de unidades chamadas de blocos as quais são unidas entre si por juntas de argamassa e preenchidas ou não com graute, podendo conter armadura com função estrutural ou não.

A característica mais marcante quando se trata de alvenaria estrutural é a transferência de cargas através de tensões de compressão. Embora também possam existir tensões de tração, estas geralmente não apresentam valores muito elevados e, caso apresentem, tornariam o sistema economicamente inviável.

Conforme Nessralla (2013), existem quatro maneiras de determinar a resistência à compressão de alvenarias: ensaios em unidades (blocos), ensaios de prismas, ensaios em pequenas paredes, mas em escala real; e ensaios em paredes na escala real.

Para a realização desses ensaios, deve-se levar em conta a disponibilidade de materiais, equipamentos, relação custo-benefício e precisão nos resultados. Além disso, uma mão-de-obra especializada é determinante para todos os ensaios.

Nas construções em alvenaria estrutural, por suas vantagens frente aos sistemas construtivos tradicionais e sua simplicidade, encontra-se um vasto campo para trabalhar no

ISBN: 978-85-65425-32-2

sentido do aumento da racionalização, nível de industrialização, produtividade e qualidade, o que resulta em um aumento de produtividade no decorrer da obra.

3.2 Blocos cerâmicos

Blocos são as unidades básicas que constituem a alvenaria estrutural responsáveis por proporcionar a resistência ao sistema.

Segundo Nessralla (2013), o tipo de bloco mais utilizado em alvenaria estrutural no Brasil é o bloco cerâmico. De acordo com Fonseca e Roman (1994 e 1983 *apud* NESSRALLA, 2013), há vários motivos pelos quais é mais vantajoso optar pelo bloco cerâmico, a saber: facilidade na qualificação da mão-de-obra; boa aderência às argamassas e colas, permitindo o uso de qualquer tipo de revestimento; excelente durabilidade, exigindo pequena ou nenhuma manutenção; alta resistência à chama; fácil transporte e fácil manuseio para o pedreiro; boas características de isolamento térmico e acústico.

Os blocos cerâmicos provêm da argila, portanto todas as suas propriedades são influenciadas pela composição e fabricação dessa matéria-prima. Segundo Rizzati (2003 *apud* NASCIMENTO, 2015, p. 35),"a argila para a fabricação de blocos deve ter plasticidade quando misturada com água, de maneira que possa ser moldada e, ainda, deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada a altas temperaturas". Conforme Gomes (1983 *apud* NASCIMENTO, 2015, p. 35), "a produção de blocos cerâmicos deve reunir a experiência estrutural e a tecnologia das argilas, de forma que estes componentes apresentem resistência e durabilidade necessária e proporcionem o conforto ambiental desejado".

De acordo com a ABNT NBR 15270-2 (2005), bloco cerâmico é o componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. Eles podem ser de paredes vazadas, de paredes maciças ou perfurados.

Outra característica mecânica importante do bloco é sua resistência à tração. Apesar de na alvenaria atuar predominantemente esforços de compressão, podem surgir tensões de tração nos blocos, tornando importante a determinação da sua resistência à tração.

A determinação desta propriedade pode ser realizada de forma indireta por meio de ensaio de compressão, similar ao ensaio de compressão diametral realizado em corpos-de-prova de concreto. No ensaio, para a aplicação da carga de compressão, são posicionadas barras de aço de seção transversal cilíndrica com diâmetro entre 1/12 a 1/8 da altura da amostra e com comprimento maior que a largura do bloco.

3.3 Argamassa

A argamassa de assentamento tem a função de unir os blocos, transmitir e uniformizar as tensões entre as várias unidades da alvenaria. Além disso, absorve pequenas deformações e impede a entrada de água e vento nas edificações. São comumente constituídas por areia, cimento, cal e água.

A resistência à compressão não é primordial quando se trata de argamassas de assentamento. Esta deve ser suficiente para resistir aos esforços cuja parede está submetida e não deve ser superior à resistência da própria parede. Para desempenhar

ISBN: 978-85-65425-32-2

corretamente as funções que lhes cabem, devem apresentar boas características de trabalhabilidade, plasticidade, resistência e durabilidade.

Hendry (2001 *apud* NESSRALLA, 2013) diz que a argamassa corresponde a 7% do volume total da construção, mas sua influência nas características finais supera significativamente este valor.

A norma ABNT NBR 15812-1 (2010) especifica que argamassas de assentamento, quando utilizadas em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, devem apresentar resistência à compressão com valor mínimo de 1,5 MPa e máximo igual a 70% da resistência característica à compressão do bloco (fbk), referida na área liquida.

Quanto à trabalhabilidade, a norma ABNT NBR 8798 (1985) indica o valor de 230 ± 10 mm com relação ao ensaio de consistência pelo método da ABNT NBR 7215 (1996). Essa propriedade é medida no máximo após 15 minutos do amassamento com a quantidade máxima de água a ser empregada para a consistência das argamassas de assentamento, quando utilizadas em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.

O valor ideal para espessura da junta de assentamento da argamassa é de 1 cm, pois a espessura da junta pode interferir nas propriedades da parede. Valores menores são capazes de aumentar a resistência, mas não conseguem absorver as imperfeições que ocorrem nas unidades.

Segundo Mata (2006), as argamassas podem ser classificadas com relação ao tipo de aglomerante empregado como: argamassa de cal; argamassas de cimento Portland com aditivos e sem aditivos; argamassas com cimentos de alvenaria e argamassas de cimento e cal (mistas).

As argamassas de cimento Portland com aditivos comumente usam aditivos plastificantes, geralmente incorporadores de ar, com a finalidade de melhorar as características de trabalhabilidade e retenção de água. No Brasil, esse tipo de argamassa não é habitualmente utilizado, pois perde em relação a custo para as argamassas tradicionais de cal e cimento. Além disso, qualquer erro de dosagem dos aditivos pode acarretar sérias consequências.

O tipo mais adequado de argamassa para alvenaria estrutural é a mista de cal e cimento. A cal tem alta retenção de água, baixa resistência à compressão, boa trabalhabilidade e deformabilidade. Já o cimento, apresenta elevada resistência à compressão. Portanto, há um encaixe perfeito de propriedades entre os dois aglomerantes utilizado.

Os demais tipos de argamassas não são indicados para uso em alvenaria estrutural.

3.4 Prismas

Prismas de alvenaria são a forma mais simples e econômica para a verificação das propriedades mecânicas de uma parede de alvenaria estrutural. De acordo com a ABNT NBR 15812-1 (2010), prismas são corpos de provas obtidos pela superposição de blocos unidos por junta de assentamento, grauteados ou não.

Os prismas podem ter formas, tamanhos e modos de assentamento diferentes. São compostos por dois ou mais blocos estruturais, assentados com argamassa na superfície

ISBN: 978-85-65425-32-2

total ou apenas na face lateral da seção transversal dos blocos. E conforme solicitação de projeto, os prismas podem ser grauteados ou não.

O tipo de assentamento pode alterar a resistência dos prismas, pois a não execução das juntas transversais na face de assentamento dos blocos provoca concentrações de tensões nas paredes laterais dos blocos, ocasionando a redução da resistência do prisma ou da parede. É essa problemática, juntamente com a possibilidade do aumento de resistência pelo revestimento, que está sendo investigada nesse trabalho.

Os prismas tem geralmente uma unidade de largura, uma unidade de comprimento e altura variando entre 1,5 e 5 vezes a espessura. Na maioria das vezes são construídos com junta a prumo, mas podem ter junta amarrada, que representa melhor as condições da obra.

Para que a junta possa acomodar as pequenas deformações do conjunto, absorver imperfeições da unidade e reter água suficiente à sua hidratação, é necessário que ela tenha uma espessura mínima. Recomenda-se o valor de 10mm para esta espessura.

Os corpos de prova de prismas representam o índice de qualidade da peça estrutural (alvenaria), pois normalmente tais corpos-de-prova rompem com tensões maiores do que as tensões reais de ruptura das peças estruturais em ensaios à compressão.

Segundo Cheema e Klingner (1986 *apud* CASALI, 2003), os modos de ruptura dos prismas não grauteados são: ruptura por tração, onde a tensão de tração principal no bloco é maior que a sua resistência à tração; ruptura por esmagamento, onde a tensão principal de compressão no bloco é maior que a sua resistência à compressão; ruptura por esmagamento da argamassa, onde a tensão de compressão axial na argamassa é maior que a resistência da argamassa confinada.

3.5 Resistência à compressão

Segundo a ABNT NBR 15812-1 (2010), a resistência das paredes equivale aproximadamente a 70% da resistência dos prismas, tanto para blocos de concreto quanto para blocos cerâmicos. No entanto, se as juntas possuírem argamassamento parcial, ou seja, argamassa apenas nas juntas longitudinais, a resistência à compressão da alvenaria deve ser corrigida por um fator 1,15 vezes a razão da área de argamassamento parcial pela área de argamassamento total.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a relação entre os prismas de blocos estruturais cerâmicos e os próprios blocos é determinada por um coeficiente de eficiência que varia entre 0,5 e 0,9.

A resistência característica dos prismas, obtida nos ensaios, deve ser igual ou superior à resistência característica especificada pelo projetista estrutural. De acordo com a ABNT NBR 15812-2 (2010), para amostragem menor do que 20 e maior do que 06 corpos de prova, a resistência característica é calculada de acordo com a Equação 1 abaixo:

$$f\mathrm{ek,est} = 2\left[\frac{fe(1)+fe(2)+\cdots+fe(i-1)}{i-1}\right] - fei\ (MPa) \qquad (1)$$

ISBN: 978-85-65425-32-2

Onde,

i = n/2, se n for par;

i =(n-1)/2, se n for ímpar;

$fek \geq \emptyset\, fe(1)$, onde Ø é tabelado (Quadro 1);

$fek \leq 0{,}85\, fem$;

fem é a média dos resultados da amostra;

fe(1), fe(2) ..., fe(i) são os valores de resistência à compressão dos corpos de prova ordenados crescentemente;

fek, est é a resistência característica estimada da amostra em MPa;

n é o número de corpos de provas.

Quadro 1 - Valores de Ø em função da quantidade de corpos de provas (prismas)

Nº de elementos	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ø	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99

Fonte: ABNT NBR 15812-2 (2010).

4. Metodologia

Primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão, procurando aprofundar os conhecimentos técnicos através de artigos, dissertações, livros, publicações, sites, etc.

As normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) serviram de base para execução dos procedimentos presentes nesse trabalho, bem como foram fundamentais para o entendimento de vários conceitos relacionados ao assunto.

De posse de todas as informações técnicas necessárias, procedeu-se para a parte prática do trabalho.

4.1 Montagem dos prismas

A avaliação do efeito do posicionamento das juntas de argamassa foi contemplada através da análise de três configurações de prismas não grauteados (Figura 1), que foram submetidos a ensaios de resistência à compressão.

Nos prismas tipo 1, não foram executadas as juntas transversais, apenas as longitudinais; nos prismas tipo 2 todas as juntas foram executadas; e nos prismas tipo 3 foi realizado o revestimento em conjunto com as juntas longitudinais.

ISBN: 978-85-65425-32-2

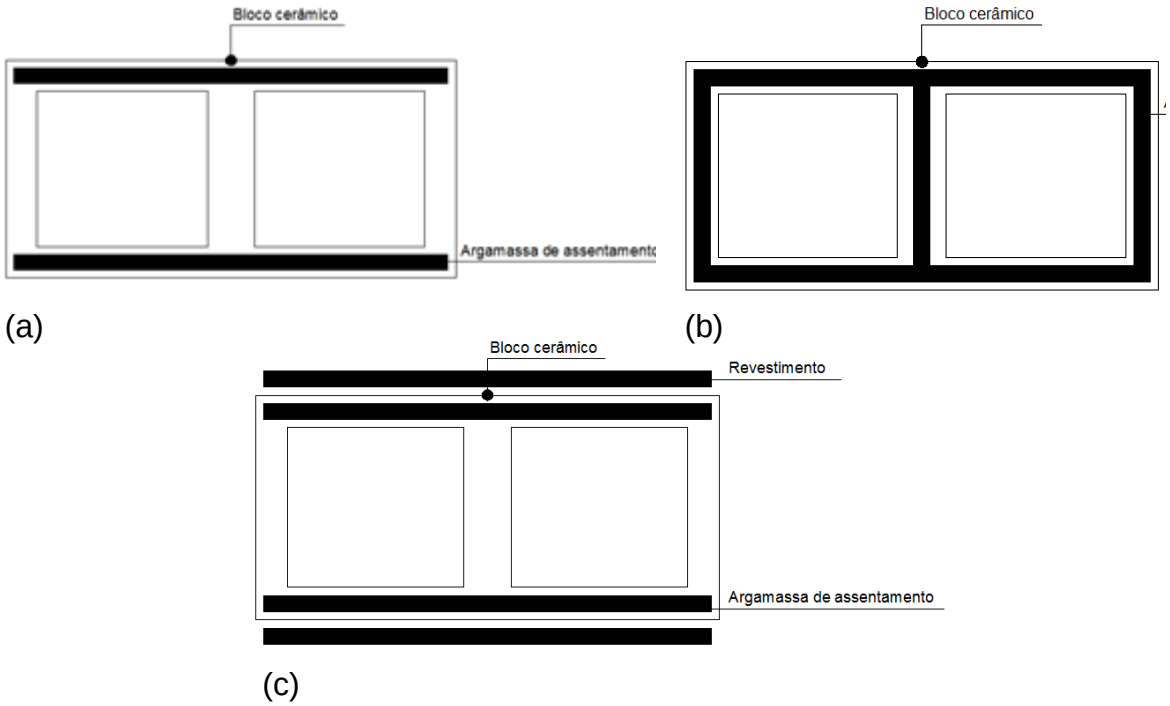


Figura 17 – Configurações ilustrativas dos prismas que foram estudados

(a) Tipo 1 (b) Tipo 2 (c) Tipo 3

4.2 Materiais

Os prismas foram executados com blocos cerâmicos estruturais da família 15x30 (comprimento 29cm, largura 14cm, altura 19cm). Foi realizada a verificação dimensional dos blocos e as medidas estavam todas conformes.

Os blocos cerâmicos estruturais usados no experimento deste artigo foram adquiridos no depósito Shalon, localizado na rua Juarez Távora, no bairro da Torre – João Pessoa/PB. O fabricante dos blocos é a Cerâmica Cincera.

A ABNT NBR 15812-2 (2010) recomenda que sejam utilizados 12 corpos de provas de prisma para o ensaio de resistência à compressão, sendo cada prima composto por dois blocos.

Com relação à argamassa para assentamento das juntas, foi utilizado o traço (em volume) 1:1:5 (cimento, cal e areia) e para a argamassa de revestimento, o traço (em volume) 1:2:9 (cimento, cal e areia), configurando juntas de espessura 10 +/- 3mm.

A areia foi disponibilizada pelo próprio laboratório onde ocorreram os experimentos: LABEME (Laboratório de Ensaios de Estruturas e Materiais). Os aglomerantes, assim como os blocos, foram adquiridos no depósito Shalon. O cimento utilizado foi da marca Cimpor e especificação CPII-Z-32 e a cal hidratada, da marca Rebocal.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.3 Aparelhagem

Na montagem dos prismas, foram utilizadas as seguintes ferramentas: colher de pedreiro, palheta e prumo de face. Para a confecção da argamassa, utilizou-se pá, carro de mão e betoneira.

Para os ensaios de resistência à compressão foi utilizada uma prensa, cuja capacidade máxima é de 1000 kN, recentemente calibrada. A norma ABNT NBR 15812-2 (2010) recomenda que a altura mínima disponível na prensa seja igual ao dobro da altura de fabricação dos blocos, mais a espessura da argamassa de assentamento e dos capeamentos das faces, acrescida de 1 cm.

4.4 Execução

O primeiro passo foi a execução dos prismas, de acordo com os esquemas apresentados na seção 4.1, seguindo também o correto traço e espessuras da argamassa e revestimento. Para garantir a exata espessura exigida para a junta de argamassa foram utilizadas formas de madeira com 1,5 cm.

A Figura 2 apresenta as etapas de montagem dos prismas: (a) colocação da argamassa no primeiro bloco com auxílio da palheta, (b) assentamento do segundo bloco sobre a argamassa utilizando a forma de espessura de 1,5cm, (c) utilização do prumo de face para garantir a planicidade do prisma e (d) acabamento das juntas.

(a) (b) (c) (d)

Figura 2 - Etapas de montagem dos prismas

Um dia após cada montagem, foi realizado o capeamento das duas faces dos prismas, conforme mostrado na Figura 2.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 3 – Capeamento dos prismas

Após 28 dias, executou-se os ensaios de compressão (Figura 4), regulando os comandos da prensa de forma que o carregamento foi aplicado a qualquer velocidade constante até 50% da carga de ruptura prevista, e depois ocorreu a uma velocidade que permitiu que a ruptura acontecesse entre 1 e 2 minutos. O tempo médio de rompimento dos prismas foi de 3 a 4 minutos.

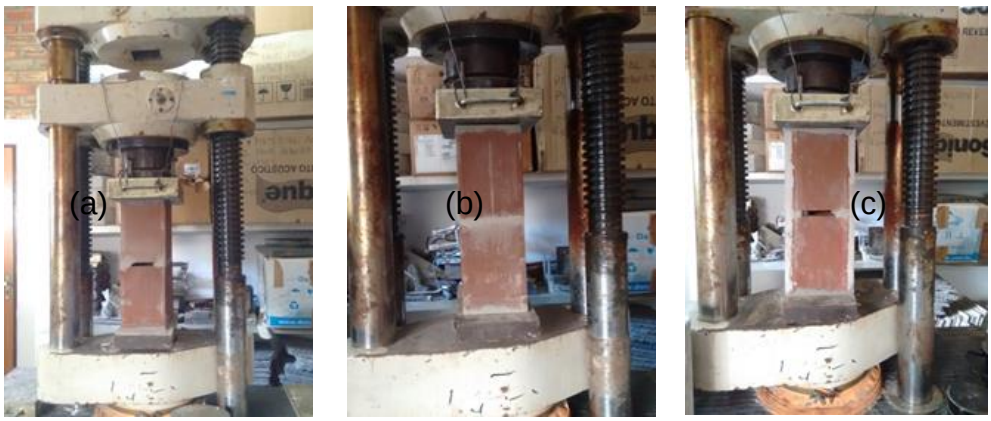


Figura 4 – Ensaios de compressão (a) Prismas tipo 1 (b) Prismas tipo 2 (c) Prismas tipo 3

5. Resultados e Discussões

5.1 Ensaios de compressão

Os ensaios de compressão aconteceram para cada tipo de montagem de prismas. Sobre o valor da carga lida, inicialmente em kg, foi descontado do valor da aferição mais o peso da máquina para obter-se a carga de ruptura (em kg). Em seguida, multiplicando esta por 10, foi obtida a carga em N, e dividindo pela área da seção, obteve-se o valor de resistência do prisma.

A análise foi feita igualmente para os três tipos: dos 12 corpos de provas de cada amostra, os 06 menores valores (fe(i)), organizados em ordem crescente, foram utilizados para o

ISBN: 978-85-65425-32-2

cálculo da resistência à compressão da amostra (fek, est), de acordo com a Equação 1. Este valor deve atender aos seguintes critérios:

$$fek \geq \emptyset\, fe(1), \text{ onde } \emptyset = 0{,}98 \quad (2)$$

$$fek \leq 0{,}85\, fem \quad (3)$$

Onde, fem é a média da resistência à compressão dos 12 corpos de prova.

Para a amostra de prismas tipo 1, o valor de fek, est calculado foi de 2,17 MPa, conforme Equação 1, e as condições referentes às Equações 2 e 3 foram atendidas.

Para os primas tipo 2, valor de fek, est a ser considerado é de 2,94 MPa.

Por fim, para os prismas tipo 3, duas análises foram feitas. A primeira foi considerando a área da seção de aplicação da carga como sendo a área total (bloco + reboco) e na segunda análise levou-se em conta apenas a área do bloco. O fek, est para a primeira análise do tipo 3 resultou em 1,89 MPa. Na segunda análise, o valor da resistência foi de 2,30 MPa.

Diante desses valores, observou-se que pelo fato de o revestimento ser constituído de uma argamassa de capacidade inferior a do bloco, considerar a área total no cálculo da resistência significa enfraquecer o conjunto como um todo. Por outro lado, considerando que o revestimento seja interpretado como algo extra, que está presente na estrutura, mas não faz parte dos cálculos, a tensão é calculada em relação apenas à área do bloco e será essa a utilizada para caracterizar os prismas tipo 3. Sendo assim, o valor de 2,30 MPa também satisfaz as Equações 2 e 3.

Para os prismas tipo 2, nos quais o assentamento da argamassa foi total, o valor característico da resistência à compressão do prisma deve variar entre 0,5 e 0,9 da resistência característica do bloco, intervalo que representa o fator de eficiência (Figura 5) Ou seja, a resistência do prisma deve ser, no mínimo, 3 MPa, considerando que o bloco possua resistência de 6MPa, conforme informação do fabricante. O valor experimental (2,94 MPa) está bem próximo, portanto, do limite inferior da faixa.

O fator de eficiência estimado para os prismas tipo 1 e tipo 3, comparando com o bloco de 6 MPa são 0,36 e 0,38, respectivamente. São valores bem próximos, representando a pouca variação de resistência entre as montagens 1 e 3, mas abaixo da eficiência dos prismas tipo 2.

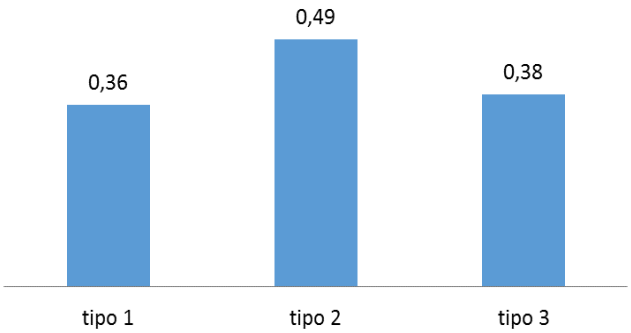


Figura 5 – Fator de eficiência estimado dos prismas

ISBN: 978-85-65425-32-2

Comparando os prismas tipo 1, onde a argamassa foi colocada apenas longitudinalmente, com os prismas tipo 2, obteve-se a seguinte relação:

$$\frac{fek,est\ (tipo\ 2)}{fek,est\ (tipo\ 1)} = \frac{2{,}94}{2{,}17} = 1{,}36. \tag{4}$$

Agora, comparando com os prismas tipo 3, obtemos:

$$\frac{fek,est\ (tipo\ 3)}{fek,est\ (tipo\ 1)} = \frac{2{,}30}{2{,}17} = 1{,}05. \tag{5}$$

Por fim, fazendo a comparação entre os prismas tipo 2 e tipo 3, temos:

$$\frac{fek,est\ (tipo\ 2)}{fek,est\ (tipo\ 3)} = \frac{2{,}94}{2{,}30} = 1{,}28. \tag{6}$$

Observando as Equações 4, 5 e 6, percebemos que a razão de resistência entre os prismas tipo 1 e 3 é representada por um fator de apenas 1,05. Já quando se comparou as amostras tipo 1 e 2 e tipo 2 e 3, a razão variou de 1,36 para 1,28, respectivamente. Isto é, o prisma tipo 3 aproximou-se em capacidade resistente do prisma tipo 1.

Considerando as médias dos ensaios, a razão de resistência para os tipos 1 e 3, 1 e 2 e 2 e 3 é de, respectivamente, 1,26, 1,56 e 1,24.

A Figura 6 abaixo resume os dados referentes à razão resistência.

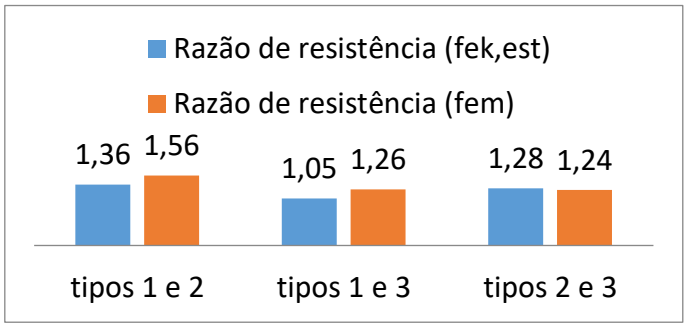


Figura 6 – Razão de resitência entre os primas

5.2 Padrão de fissuração observado

De um modo geral, a diferença nas propriedades de deformabilidade entre o bloco e a argamassa induz o aparecimento de tensões laterais que provocam a ruptura do material.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quando o prisma é submetido à compressão, a argamassa, por ser mais flexível que o bloco, tende a se deformar mais. Porém, o atrito bloco/argamassa reduz essa deformação, ocasionando o surgimento de tensões de compressão na argamassa e, para manter o equilíbrio, surgem tensões de tração no bloco.

Na Figura 7 que segue, há quatro imagens que representam as fissuras que ocorreram nos ensaios de compressão dos prismas tipo 1. Pode-se observar a ocorrência de fissuração vertical nas duas primeiras fotos, devido às tensões de tração; e fissuração nas juntas de argamassa, devido às tensões de compressão, nas imagens de baixo. O fato de as juntas transversais não conterem argamassa também contribui para o surgimento das fissuras verticais, pois o bloco fica mais susceptível à ruptura.

Figura 7 – Fissuras no rompimento dos prismas tipo 1

A Figura 8 traz a representação das fissuras do rompimento dos prismas tipo 2. Nesse caso, as juntas transversais foram executadas e pode-se observar que a presença de fissuração vertical é menor que no caso dos prismas tipo 1. A predominância de ruptura na junta de argamassa é observada e nota-se também um despedaçamento maior do bloco. Isso se deve ao fato de as juntas terem sido todas preenchidas, tornando a junta mais resistente e o bloco mais vulnerável à ruptura.

Na Figura 9 estão representadas as fissuras dos prismas tipo 3. Nota-se que o revestimento é realmente o ponto fraco, pois as rupturas aconteceram nele, e em praticamente todas as amostras. Fissuração vertical também foi observada em alguns prismas, se assemelhando ao padrão de ruptura dos prismas tipo 1, devido ao argamassamento nos dois casos terem sido parciais.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 – Fissuras no rompimento dos prismas tipo 2

Figura 9 – Fissuras no rompimento dos prismas tipo 3

6. Conclusão

Dos valores de fek,est calculados para os três tipos de prismas, bem como dos valores de resistência característica da alvenaria, conclui-se que a melhor montagem, do ponto de vista de resistência é a que utilizou junta de argamassa total, ou seja, a configuração dos prismas tipo 2, conforme esperado. Os fatores diferença entre os tipos 1 e 2 e 3 e 2, considerando tanto o fek,est quanto o fem caracterizam a superioridade resistente dos prismas tipo 2 em relação aos outros.

Essa vantagem dos prismas tipo 2 também pode ser evidenciada pelo fator de eficiência que apresentou-se superior aos valores dos tipos 1 e tipos 3.

Comparando as montagens 1 e 3, a razão de resistência demonstrou que não houve ganho de resistência apreciável ao acrescentar o revestimento no prisma, sendo o acréscimo de apenas 5%. Fica nítida uma proximidade de resistência entre os dois tipos de prismas quando observa-se o fator de eficiência, pois os valores são praticamente iguais.

Ficou evidente, portanto, que a montagem tipo 2 é realmente tida como a melhor configuração para se executar um projeto de alvenaria estrutural. O acréscimo de 5% na capacidade resistente do prisma 1 devido ao acréscimo da argamassa de revestimento não

ISBN: 978-85-65425-32-2

supre, do ponto de vista de projeto e execução, as perdas devido à ausência das juntas transversais de assentamento.

Conclui-se que a ruptura por tração foi predominante no rompimento dos primas tipos 1 e 3 e a ruptura por esmagamento do bloco ficou mais evidenciada nos prismas tipo 2.

Portanto, o tipo de assentamento é um fator que pode alterar a resistência do prisma. A ausência de argamassa nas juntas transversais da face de assentamento dos blocos provoca concentrações de tensões nas paredes laterais. Essa situação causa a redução na resistência do prisma ou parede, que não é compensada quando se acrescenta a execução de um revestimento.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-15961-1: Alvenaria Estrutural – Blocos de concreto . Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR-15961-2: Alvenaria Estrutural – Blocos de concreto . Parte 1: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR-15812-1: Alvenaria Estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR-15812-2: Alvenaria Estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 1: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR-7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR-7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR-15270-2: Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR-8798: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

CASALI, J.M. (2003). Estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Gradução em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

FONSECA, J. F.; FERNÁNDEZ, T. H.; BERNARDIN, A. M. Manual para a produção de cerâmica vermelha. Florianópolis: UFSC/SEBRAE, 1994, 81 f.

ISBN: 978-85-65425-32-2

GOMES, N.S. A resistência das paredes de alvenaria. 1983. 190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

HENDRY, A. W. Masonry Walls: materials and construction. Elsevier: Construction and Building Materials, Edinburgh, v. 15, n. 8, p. 323-330, junho 2001.

MATA, R.C. (2006). Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

NASCIMENTO, M.R. do. (2015) O uso de argamassa de assentamento como preenchimento de alvenaria estrutural cerâmica. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

NESSRALLA, M.A. (2013). Resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural: bloco cerâmico de 44cm. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civi. Universidade Federal de Santa Catarina.

RAMALHO, M. A., Côrrea, M.R.S. Projetos de edifícios de alvenaria estrutural. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2003.

RIZZATTI, E. Influência da Geometria do Bloco Cerâmico no Desempenho Mecânico da Alvenaria Estrutural sob Compressão. 2003. 176p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

ROMAN, H.R. Determinação das Características Físicas e Análise Estatística da Capacidade Resistente de Tijolos Cerâmicos Maciços. Porto Alegre, 1983. 102p. Dissertação (Mestrado) - escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ISBN: 978-85-65425-32-2

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE PRODUTO DE CURA QUÍMICA FORMADOR DE MEMBRANA NA PROFUNDIDADE CARBONATADA DO CONCRETO

Influence Of Application Of Liquid Membrane-Forming Compounds For Curing On The Carbonated Depth Of Concrete

Alisson Rodrigues de Oliveira DIAS[1], Daniel Mendes PINHEIRO[2], Wilton Luis LEAL FILHO[3]
[1] Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, rodrigues_alisson@live.com
[2] Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, Brasil, wilton.leal.eng@gmail.com
[3] Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, Brasil, daniel_mendespinheiro@hotmail.com

Resumo: A água vem se tornando um material mais escasso, e cada vez mais se evita seu desperdício, seja em atividades diárias ou em grandes obras. Recentemente, vem se popularizando a substituição das técnicas de cura úmida para um sistema de cura alternativo que não haja consumo de água. Um desses métodos alternativos se dá por meio do cobrimento da superfície do concreto através da utilização de produtos químicos formadores de membranas, recebendo também, o nome de cura química. O propósito deste trabalho é realizar ensaios experimentais, a fim de avaliar a influência da cura química no processo de carbonatação das peças de concreto, principalmente em áreas de condições ambientais severas. Para isso foram desenvolvidos durante este estudo, as etapas de moldagem, cura durante os sete primeiros dias, rompimento de corpos de prova e análise da profundidade carbonatada com aplicação de solução alcóolica de fenolftaleína a 1%, submetendo-os a três tipos de curas diferentes: por molhagens diárias, química e ao ar livre. Foi possível observar que a cura química apresentou resultados significativamente próximos ao da cura úmida convencional, sendo viável a sua substituição, levando-se em conta, evidentemente, o tipo de controle das estruturas curadas.

Palavras-chave: concreto, cura química, carbonatação, condições ambientais severas

Abstract: The water is becoming scarcer and more and more waste is avoided, whether in daily activities or major works. Recently, has become popular the replacement of water curing techniques for an alternative curing system that does not consume water. One of these alternative methods is by covering the surface of the concrete through the use of liquid membrane-forming compound, also known as curing compound. The purpose of this work is to perform experimental tests in order to evaluate the influence of curing compound on the carbonation process of concrete parts, especially in areas with severe environmental conditions. To this, was developed the steps of molding, curing during the first seven days, breaking of specimens and analysis of the carbonated depth with the application of alcoholic solution of phenolphthalein at 1%, subjecting them to three types of different cures : water conventional, compound and in the open air. It was possible to observe that the curing compound presented results that were significantly close to the conventional water curing,

ISBN: 978-85-65425-32-2

and its substitution was feasible, taking into account, of course, the type of control of the cured structures.

Keywords: concrete, curing compound, carbonation, severe environment conditions

1. Introdução

Quando o concreto é exposto ao meio ambiente, ocorre a evaporação da água utilizada no amassamento. Essa perda de umidade irá reduzir o fator água/cimento inicial da mistura, afetando o processo de hidratação do cimento e, portanto, diminuindo a qualidade do concreto. Dessa forma, se faz necessário a realização de certas operações de cura, que segundo Helene (2013), é o conjunto de procedimentos adotados para proteger a superfície dos elementos estruturais, evitando evaporações precoces. A NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto - Procedimento (ABNT, 2004) corrobora a importância da proteção da superfície das estruturas quando afirma que a secagem é um dos agentes deletérios mais comuns ao concreto em seu início de vida.

A água vem se tornando um material mais escasso, e cada vez mais se evita seu desperdício, seja em atividades diárias ou em grandes obras. Na construção civil, já se fala sobre atividades que permitam o reuso da mesma, e, recentemente, vem se popularizando a substituição das técnicas de cura úmida para um sistema de cura alternativo que não haja consumo de água, não apenas para poupar o meio ambiente, mas também para promover a execução de obras mesmo em áreas remotas onde há escassez deste material, afirma Patil e Vyawahare (2014). Um desses métodos alternativos se dá por meio do cobrimento da superfície do concreto através da utilização de produtos químicos formadores de membranas, recebendo também, o nome de cura química.

Com essas alterações nos métodos de execução, surge portanto, uma necessidade de se fazer investigações relativas às características deste tipo de cura, dentre elas, o efeito na profundidade carbonatada da superfície do concreto. Portanto, o propósito deste trabalho é realizar ensaios experimentais, a fim de avaliar a influência da cura química no processo de carbonatação das peças de concreto. Para isso foram desenvolvido durante este estudo, as etapas de moldagem, cura durante os sete primeiros dias, rompimento de corpos de prova e análise da profundidade carbonatada com aplicação de solução alcóolica de fenolftaleína a 1%, submetendo-os a três tipos de curas diferentes: por molhagens diárias, química e ao ar livre.

2. Cura do concreto

Os efeitos negativos de uma cura inadequada não são percebidos a olho nu e muitas vezes só irão se manifestar anos depois, por isso é tão negligenciada, afirma Helene (2013).

Segundo YE (2006) e ACI Committee 308R (2001), a região do concreto que sofrerá esses efeitos se estende da superfície da peça a uma profundidade que pode variar entre 5 e 20 milímetros, assim, como consequência de um processo de cura mal feito, o concreto poderá apresentar trincas e fissuras (ASTM C156, 2005), superfícies porosas proporcionando baixa resistência ao ataque dos agentes agressivos (HELENE, 2013) e corrosão da armadura (ABCP, 2002).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Elementos estruturais não submetidos à cura adequada possuem uma camada superficial frágil, permitindo que ocorra o processo de carbonatação de forma acelerada. As armaduras do concreto armado ou protendido estão protegidas da corrosão devido à alcalinidade da água presente no concreto afirma Battagin (2002), porém quando ocorre o processo de carbonatação, esse ambiente alcalino pode ser neutralizado pela ação do gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera. O gás reage com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) presente no concreto, dando origem ao carbonato de cálcio ($CaCO_3$), reduzindo o pH do concreto e despassivando a armadura.

Visto a necessidade da realização do processo de cura nos primeiros dias do concreto, esta pode ser realizada de três maneiras, que podem ser descritos de um modo geral como cura por molhagem, cura por membrana e cura acelerada. O primeiro método consiste em embeber o concreto em água, sendo o mais empregado nas obras e com o uso de aspersores. O segundo método consiste em impedir a perda de água pela superfície, sem a possibilidade de ingresso de água do exterior para o concreto. Segundo Neville (1997) as técnicas usadas para alcançar esses resultados incluem, dentre outras: o cobrimento da superfície do concreto com mantas ou papel reforçado e a utilização de compostos aplicados por pulverização formadores de membrana. Já a cura acelerada é realizada por meio de métodos que aceleram o ganho de resistência através do fornecimento de calor e umidade.

Vários graus de eficiências podem ser alcançados por meio de vários métodos de cura, pois dependem entre outras coisas, do material utilizado, do método de construção e da utilização prevista para o concreto endurecido (NAHATAA *et al*, 2013). Além de fatores ambientais como velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura atmosférica, que são mais difíceis de serem controlados e por isso influem diretamente na escolha do método.

2.1 Cura úmida

Este método consiste, de modo geral, em embeber o concreto em água. É desejável que “a superfície do concreto esteja continuamente em contato com água durante um período de tempo estabelecido, iniciando-se tão logo a superfície do concreto não seja mais danificada pelo contato com a água” (NEVILLE, 1997). Sendo que não deve haver gotejamento de água para evitar cavitação nos blocos (ABCP, 2002).

É fundamental que a água de cura seja isenta de substâncias que possam atacar o concreto endurecido. Além do que, o ACI Committee 308R (2001) recomenda que a diferença entre as temperaturas da água e do concreto não ultrapasse 11°C, para evitar choque térmico ou gradientes acentuados de temperatura.

Este método é o mais empregado nas obras e em grande maioria faz-se uso de aspersores, durante o período designado. Porém, é bastante negligenciado, pois comumente este processo acaba limitando-se apenas à molhagem de estruturas recém concretadas poucas vezes ao dia e por um curto período de tempo, geralmente devido a não contratação de um trabalhador propriamente para esta atividade, tornando-se, portanto, uma atividade de segundo plano.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.2 Cura por membranas

Com base em Kosmakta *et al* (2003) e Neville (1997), pode-se definir a cura por membranas como sendo aquelas que agem de forma a reduzir a perda da água pela superfície do concreto. As técnicas usadas incluem cobrimento da superfície do concreto com mantas ou papéis reforçados impermeáveis e a utilização de compostos químicos aplicados, em grande maioria, por pulverização e que formam uma membrana protetora na superfície. As mantas podem ser negras, o que é preferível em tempo frio, ou brancas, que têm a vantagem de refletir a radiação solar no tempo quente. Já para os compostos químicos, pode ser adicionado um pigmento branco ou de alumínio para reduzir a absorção da radiação solar, além de servir para indicar as regiões em que o produto não foi adequadamente aplicado.

O método que faz uso desses compostos formadores de membrana é conhecido como cura química e sua eficácia depende da qualidade dos produtos utilizados, do tempo transcorrido até o início da aplicação e da uniformidade da aplicação do produto na superfície (PEINADO, 2013). Uma das vantagens deste tipo em relação à realizada por molhagem é que não há a necessidade de adições periódicas do agente de cura na superfície da estrutura (KOSMAKTA, 2003), gerando economia de recursos.

Akinwumi e Gbadamosi (2014) não recomendam o uso dos métodos de cura química para misturas em que o fator água/cimento é menor que 0.4, isto porque, esses concretos não possuem água suficiente para uma completa hidratação.

A cura química é mais indicada para grandes áreas de concreto as quais estão expostas a grandes períodos de luz solar, ventos fortes e outras influências ambientais, sugere Kishore (2016). Indicando ainda para pavimentos de concreto, pistas de aeroportos, tabuleiro de pontes, pisos de indústrias, barragens etc. Thomaz (2016) alerta que, no caso de emboços que receberão revestimento cerâmico fixado com argamassa colante, a cura química deve ser evitada ou utilizada com muito cuidado. Isto porque a película formada pelos produtos químicos tende a prejudicar ou mesmo impedir a aderência.

3. Materiais e métodos

3.1 Materiais

Na realização do processo químico foi utilizado um agente de cura de pronto uso a base de resinas sintéticas e aditivos especiais que atende à norma ASTM C309 e, segundo catálogo, quando aplicado sobre o concreto forma um filme protetor não aderente, transparente e brilhoso, que tem a finalidade de evitar a evaporação rápida de água da massa do concreto, exposto ao calor e vento, impedindo a diminuição da resistência, evitando a formação de trincas, fissuras e carbonatação.

A membrana formada pelos produtos químicos é constituída normalmente por emulsões de água ou solventes com base de resina acrílica, estireno e butadieno, ou ainda dispersões de ceras. Após o composto ser aplicado, a água ou solvente evapora, deixando para trás a cera ou resina que forma a membrana sob a superfície (VANDENBOSSCHE, 1999).

Os produtos químicos formadores de membrana são classificados de acordo com a cor adquirida após a aplicação e quanto ao tipo de constituinte sólido presente no líquido. O

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 1 mostra a tabela elaborada por Vandenbossche (1999) contendo a classificação feita pelo *American Society for Testing and Materials* (ASTM) C309 e *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) M148, que são equivalentes. O produto utilizado se classifica, portanto, como Tipo 1 (cor) e Classe B (material).

Quadro 1 – Classificação dos produtos químicos formadores de membrana segundo a ASTM C 309 e AASHTO M 148

Cor		Material	
Tipo	Descrição	Classe	Descrição
1	Transparente antes da secagem	A	Sem restrições
1-D	Transparente após secagem	B	Resina
2	Pigmentada		

Fonte – Vandenbossche (1999), traduzido por autores, 2017.

Sua aplicação deve ser realizada em uma única demão, com o uso de pulverizadores de baixa pressão para grandes áreas para garantir a uniformidade e velocidade da aplicação, tão logo finalizado o processo de concretagem e imediatamente após o desaparecimento da água de exsudação. Em casos onde as áreas são pequenas, o composto pode ser aplicado com uso de pincel ou rolo de pintura (ACI Committee 308R, 2001). O Quadro 2 apresenta as demais características do produto químico utilizado.

Quadro 2 – Características e propriedades do produto

Base química	Aparência	Tempo de secagem	Temperatura de aplicação	Embalagem	Rendimento
Emulsão de resinas sintéticas	Líquido leitoso transparente	30 à 40 minutos	Entre 5°C e 29°C	Balde de 20Kg	Em média 250gr/m²

Fonte – Os autores, 2017.

3.2 Métodos

Para avaliação da influência da cura sobre a durabilidade das estruturas de concreto, considerando o aspecto da carbonatação, foram moldados 36 corpos de prova, de dimensões 10x20cm, no Labaratório de Materiais de Construção do Centro de Tecnologias da Universidade Federal do Piauí – UFPI, segundo as recomendações da NBR 5738 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2003), utilizando cimento Portland CPII-E-32 RS obtido no comércio local, seixo, areia e água, provenientes do próprio laboratório.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A confecção dos corpos de prova foi realizada utilizando traço 1:2:3 (volume) e fator água/cimento igual a 0,55, com utilização de betoneira. No dia seguinte a moldagem, foram retirados dos moldes e dado início aos processos de cura. Para o estudo foram comparados três processos: químico, úmido por molhagem e secagem ao ar livre. As aplicações destes métodos foram realizadas de forma a melhor representar os sistemas de cura realizados nos canteiros de obras, se dando da seguinte maneira, respectivamente: aplicação de produto químico formador de membrana; molhagem dos corpos de prova com aspersão de água e secagem natural sem aplicação de produtos ou água.

Na Figura 1 é possível observar a aparência da superfície dos corpos de prova durante a aplicação do produto químico antes do processo de secagem ocorrer por completo, pois nesse último estágio a membrana é transparente e imperceptível.

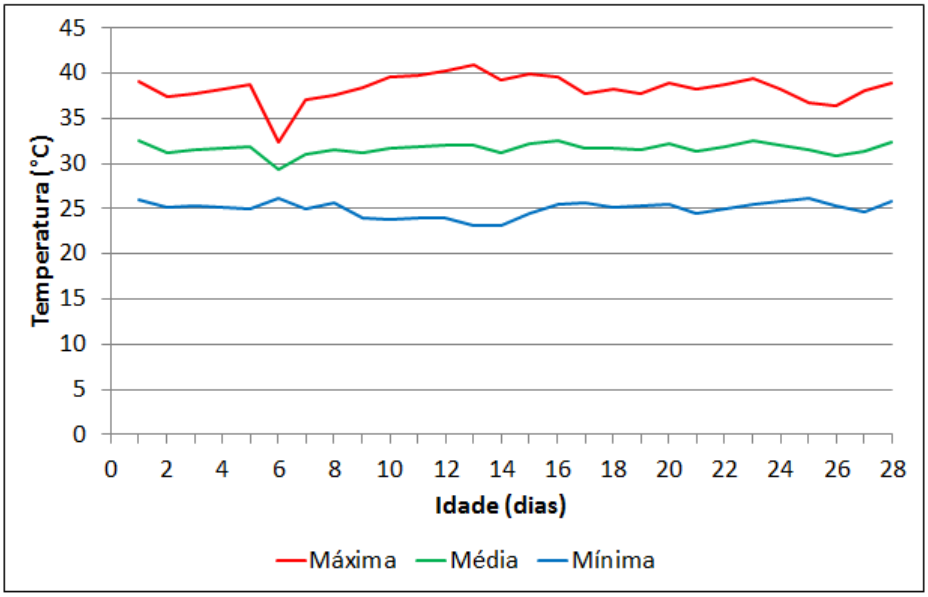
Figura 1 – Aparência da aplicação do produto na peça: imediatamente após a aplicação (à esquerda) e após 10 minutos de secagem (à direita). **Fonte** – Os autores, 2017.

Os corpos de prova foram ensaiados nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias, onde foi realizada a verificação da profundidade da seção carbonatada através de fragmentos resultantes da ruptura, com a aplicação de solução alcóolica de fenolftaleina a 1%, segundo as recomendações da CPC-18 – *Measurement of hardened concrete carbonation depth* (RILEM, 1988).

As condições climáticas as quais foram expostos os corpos de prova, podem ser visualizadas nos Quadros 3 a 6. Os resultados obtidos, portanto, servem como referência para condições ambientais severas com temperatura média de 31,7 °C e umidade relativa média de 25%, com baixa incidência de chuvas.

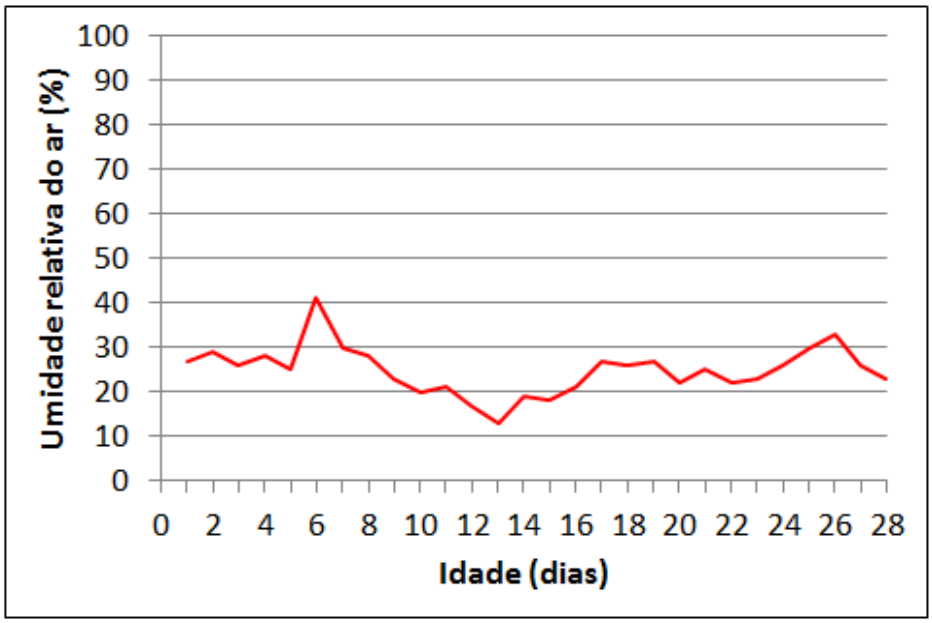
ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 3 – Variação da temperatura durante o processo de exposição dos corpos de prova



Fonte – Dados da Rede do INMET, 2017.

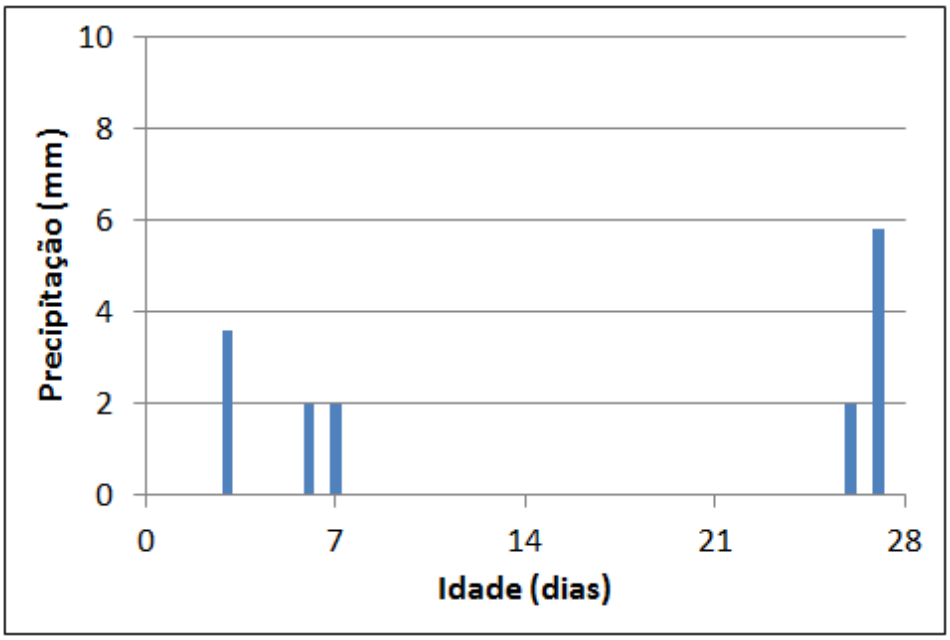
Quadro 5 – Variação da umidade relativa do ar durante o processo de exposição dos corpos de prova



Fonte – Dados da Rede do INMET, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 6 – Precipitação diária durante o processo de exposição dos corpos de prova



Fonte – Dados da Rede do INMET, 2017.

4. Resultados e discussões

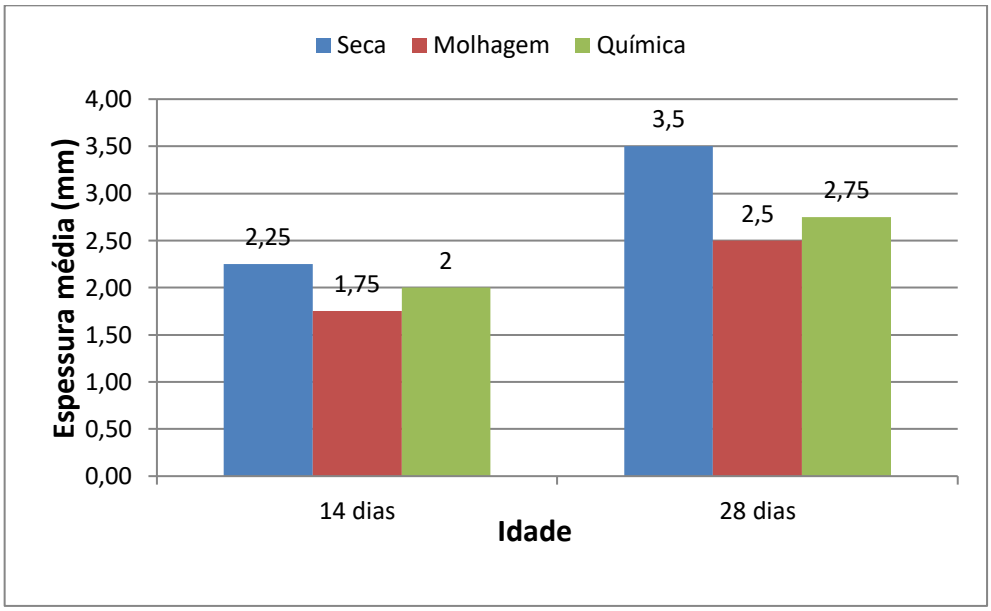
Para os corpos de prova ensaiados nas idades de 3 e 7 dias, não houve variação na profundidade da seção carbonatada. Os resultados encontrados para 14 e 28 dias podem ser vistos no Quadro 7.

Devido às condições severas de exposição ao qual foram submetidos os corpos de prova, os mesmos apresentaram valores relativamente altos para as baixas idades ensaiadas. Corroborando a importância do alto controle e aplicação dos processos de cura em concordância com as condições ambientais locais.

Aos 28 dias de idade, a cura por molhagem apresentou melhor resultado em profundidade carbonatada, seguida pela química. Pode-se constatar então, que a membrana superficial formada pelo produto químico aplicado foi capaz de proteger a superfície da peça do contato com o gás carbônico atmosférico, impedindo a ocorrência das reações responsáveis por reduzir o pH do concreto e despassivação a armadura.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 6 – Comparação da espessura média carbonatada



Fonte – Os autores, 2017.

5. Conclusões

Os resultados obtidos pela cura seca (ao ar livre) mostram o quão necessária é a aplicação dos métodos de cura nas idades iniciais do concreto, principalmente quando em exposição à condições ambientais severas, devido aos altos valores obtidos de profundidade carbonatada sendo ineficiente na proteção contra o processo de carbonatação.

A cura química realizada por meio de produto formador de membrana apresentou resultados bem próximos aos obtidos pelo método convencional de cura úmida, sendo, portanto, viável a sua substituição, levando-se em conta, evidentemente, o tipo de controle das estruturas curadas.

É importante ressaltar que, antes de escolher o tipo de cura a ser utilizado em uma obra deve-se analisar as condições de exposição e dimensões da peça, a duração de aplicação, a mão de obra disponível e o nível de controle de qualidade dos materiais. Tornando-se necessária a determinação e a inclusão dos processos de cura no planejamento da obra a fim de se obter os melhores resultados possíveis financeira e estruturalmente.

Contudo, o maior benefício proporcionado pela substituição dos processos de cura úmida pela química, está na preservação do principal recurso natural utilizado no mundo, a água. Visto que, a aplicação do produto químico dispensa o consumo desse, sendo uma importante atividade para o aumento da sustentabilidade na construção civil.

Referências Bibliográficas

ACI Committee 308. Standard Practice for Curing Concrete, ACI 308-01, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2001, 11 pag.

ISBN: 978-85-65425-32-2

AKINWUMI, I.I.; GBADAMOSI, Z.O. Effects of Curing Condition and Curing Period on the Compressive Strength Development of Plain Concrete. In: International Journal of Civil and Environmental Research (IJCER), v. 1, n. 2, 2014, p. 83-99.

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND. Ed. 7, SãoPaulo, 2002, p. 1-28.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TECNICAS (ABNT). NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003, p. 1-9.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TECNICAS (ABNT). Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004, p. 1-53.

ASTM C156 Water retention by liquid membrane forming curing compounds for concrete. In: Technical Bulletins, 2005.

ASTM C309 Requirements in an Advanced Industry. In: Technical Bulletins, 2014, p. 1-2.

BATTAGIN, A. F. Influência das Condições de Cura em Algumas Propriedades dos Concretos Convencionais e de Alto Desempenho. In: Congresso Brasileiro, 44. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON), 2002.

HELENE, Paulo; LEVY, Salomon, Cura do Concreto (Boletim Técnico), ALCONPAT, 2013.

INMET. Instituto Nacional de Metereologia. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: julho/2017

KISHORE, K. Concrete Curing Compound, 2016.

KOSMAKTA, S. H. *et al*. Design and Control of Concrete Mixtures, EB001, 14ed. Portland Cement Associantion, Stokie, Illinois, USA, 2003.

NAHATAA, Y.; KHOLIAB, N.; TANK, T. G. Effect of Curing Methods on Efficiency of Curing of Cement Mortar. In: International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering (ICBEE), International Conference on Civil Engineering (ICCEN), 2013. APCBEE Procedia, v. 9, 2013, p. 222 – 229.

NEVILLE, Adam Matthew, Propriedades do concreto. Tradução Salvador E. Giammusso. 2ed. São Paulo: Pini, 1997.

ISBN: 978-85-65425-32-2

PATIL, A. A.; VYAWAHARE, M. R. Comparative study on compressive strength of Self cured SCC and Normally cured SCC. In: Journal of Engineering Research and Applications, v. 4, n. 1, versão 5, 2014, p.139-142.

PEINADO, Hugo Sefrian. Conheça as alternativas para fazer a cura de elementos de concreto. Téchne, ed. 201, dez. 2013. Disponível em: <http://www.techne.pini.com.br/ engenharia-civil/201/artigo302570-1.aspx>. Acesso em: julho/2017.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES ET EXPERTS DES MATÉRIAUX (RILEM). CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth. 1988, 3 pág.

THOMAZ, Ercio. Em que situações a cura química é mais recomendada do que a cura úmida. Téchne, ed. 226, jan. 2016. Disponível em: < http://www.techne.pini.com.br/ engenharia-civil/226/em-que-situacoes-a-cura-quimica-e-mais-recomendada-do-367399 -1.aspx>. Acesso em: julho/2017.

VANDENBOSSCHE, J. M. P.E. A Review of the Curing Compounds and Application Techniques Used by the Minnesota Department of Transportation for Concrete Pavements. In: Office of Minessota Road Research. St Paul-Minessota, 1999.

YE, D. G. *et al*. Literature Review of Curing in Portland Cement Concrete Pavement. Texas Department of Transportation. Texas: Center for Transportation Research at The University of Texas at Austi, 2006.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES MINERAIS SOBRE AS TAXAS DE CARBONATAÇÃO EM CONCRETOS

Influence of mineral additions on carbonating rates in concrete

Tiago AGRA[1], **Nicássio** SALES[2], **Bárbara** CARNEIRO[3], **Ariane** CARDOSO[4], **Thais** SILVA[5]

[1] UFPE, Recife, Brasil, tiagoagraengenharia@gmail.com

[2] ITEP, Recife, Brasil, nicassio_salles@hotmail.com

[3] UPE, Recife, Brasil, barbaradacostacarneiro@hotmail.com

[4] UPE/UNICAP, Recife, Brasil, ariane_cardoso@hotmail.com

[5] UNICAP, Recife, Brasil, thaism21@ymail.com

Resumo: O cimento tem relação direta na durabilidade das estruturas de concreto, pois cada tipo dispõe de propriedades específicas que podem indicar melhor eficácia no combate às ações deletérias. As vantagens do uso de altos teores de adições minerais, pozolanas e escórias, em cimentos comerciais CPIII (alto-forno) e CPIV (pozolânico), promovem em logo prazo menor porosidade devido ao refinamento dos poros, o que é favorável na redução das vias de penetração para substâncias ao concreto. Porém, os altos teores de substituições do cimento por adição mineral influem negativamente na resistência à carbonatação nas idades iniciais. O presente trabalho apresenta a análise do comportamento dos cimentos com adições, CPIII (50% de escória) e CPIV (45% Pozolana), em comparação com amostra de referência com o CPV (ARI), submetidas às mesmas condições de exposição e de acondicionamento. Foi realizado medição da profundidade de carbonatação, por processo acelerado, e resistência mecânica, 7 e 28 dias, de corpos de prova de concreto. Os resultados obtidos mostram que os concretos confeccionados possuem resistência próximas e comportamento bem distinto frente à carbonatação. Os concretos dosados com cimento CPV (ARI), sem substituições, obteve resistência a carbonatação superior aos obtidos dos cimentos com adições no período avaliado. Foi verificado que a substituição do clínquer por adições minerais, dos cimentos comerciais, favorece à carbonatação.

Palavras-chave: Durabilidade. Corrosão. Carbonatação acelerada. Adições minerais.

Abstract: Cement is directly related to the durability of concrete structures, since each type has specific properties that may indicate a better efficacy in the fight against harmful actions. The advantages of using high levels of mineral additives, pozzolans and slag, in commercial CPIII (blast furnace) and CPV (pozzolanic) cements, soon promote porosity due to pore refinement, which is favorable in the reduction of pathways Of penetration for substances to concrete. However, the high contents of cement substitutions by mineral addition have a negative influence on the resistance to carbonation in the early ages. The present work presents the analysis of the behavior of cements with additions, CPIII (50% of slag) and CPIV (45% Pozolana), in comparison with reference sample with CPV (ARI), submitted to

ISBN: 978-85-65425-32-2

the same exposure and packaging conditions . Measurement of the carbonation depth, by accelerated process, and mechanical strength, 7 and 28 days, of concrete specimens were performed. The obtained results show that the concretes prepared have close resistance and very different behavior in front of the carbonation. Concretes dosed with CPV (ARI) cement, without substitutions, obtained resistance to carbonation higher than those obtained with cements with additions in the evaluated period. It was verified that the substitution of clinker by mineral additions of commercial cements favors carbonation.

Keywords: Durability. Corrosion. Accelerated carbonation. Mineral Additions.

1. Introdução

As abordagens modernas não baseiam apenas, de forma simplista, na resistência à compressão como único indicador de durabilidade. Elas se atêm, atualmente, as características e propriedades do material especificadas em função de uma vida útil almejada considerando determinado ambiente (BAROCHEL, CAPRA, LAURENS, 2014).

A durabilidade dos concretos depende, sobretudo, das características microestruturais da matriz cimentícia que atua como agente ligante dos agregados. Contudo, a composição deste material ligante vem sofrendo modificação ao longo do tempo, passando a incorporar pozolanas fillers e materiais com propriedades cimentícia, como escória granulada de alto forno, em conjunto com clínquer e sulfato de cálcio. Estas adições minerais no cimento Portland alteram a cinética de hidratação e a evolução da microestrutura, repercutindo diretamente nas propriedades intrínsecas de durabilidade do material, no estado endurecido, frente aos mais variados agentes agressivos a que estará exposto o concreto (HOPE FILHO, 2008).

Para diminuir o impacto ambiental do cimento, desde a segunda metade do século XX, parte do cimento tem sido substituída por uma ou mais adições minerais, geralmente subprodutos industriais inicialmente depositados como rejeito, cujo conhecimento, domínio da tecnologia e utilização se aprimoraram ao longo desse período, sendo hoje bastante utilizadas nos mais diversos tipos de estruturas de concreto. As vantagens dessa substituição são muito significativas, não só no âmbito técnico como no econômico e, principalmente, ambiental, pois a redução de emissão de CO2, de consumo de energia e, muitas vezes, de custo é proporcional à quantidade de adição mineral utilizada na mistura em substituição ao cimento (ISAIA, GASTALDINI,2004)

O mercado mundial de recuperação e manutenção estrutural do concreto armado vem crescendo e exigindo, segundo Ribeiro (2014), a criação de novas soluções, para minimização dos problemas e diminuição nos custos de reparo. O crescente aumento de estruturas com manifestações patológicas precoce, impõe a necessidade de melhorar o planejamento em projetos, fiscalização, execução e manutenção, pois o alto custo de reparo/recuperação, e os transtornos causados, determinam a inevitabilidade de projetar visando a durabilidade. A compreensão dos mecanismos deletérios nas estruturas de concreto permite o planejamento mais eficaz na elaboração de materiais com melhor interação com as ações especificas delimitadoras de cada obra. Nenhum material é propriamente durável. Como resultado de interações ambientais, a microestrutura e, consequentemente, suas propriedades mudam com o tempo. O material atinge sua vida útil

ISBN: 978-85-65425-32-2

quando suas propriedades, sob determinadas condições de uso a capacidade de resistir (MEHTA, 2014).

A corrosão pode ser definida como um processo de deterioração do material devido à ação química ou eletroquímica do meio ambiente, resultando na perda de massa do aço. A carbonatação, um dos principais efeitos causadores da corrosão em armaduras do concreto armado, é um efeito químico promovido pelo ingresso do dióxido de carbono (CO2), diluídos sob a forma gasosa, nos poros do concreto podendo reduzir o pH do meio destruindo a proteção passiva das barras (RIBEIRO, 2014). O dióxido de carbono é encontrado em baixos percentuais em localidades sem poluição. Entretanto, em regiões

industriais, com grande quantidade de veículos e/ou atividades que promovam a combustão de produtos fósseis, os teores de CO2 circulam acima dos valores normais ambienteis predispondo maior suscetibilidade, nessas localidades, para ação da carbonatação.

Com o avanço da tecnologia foi possível o aprimoramento dos materiais de construção, em especial o cimento, exigindo conhecimento das suas propriedades para aplicação eficiente. A indústria brasileira disponibiliza atualmente diversos tipos de cimento, classificados em função de sua composição, conforme o Quadro 1. Os cimentos que possuem maiores teores de adições são o CPIII (entre 35% a 70% de escória) e o CPIV (entre 15% a 50% de pozolanas).

Quadro 11 – Componentes do cimento

	Norma	**Componentes (% massa)**				
		Clínquer + Gesso		**Adições**		
		Limite inferior	**Limite superior**	**Carbonáticas**	**Escória**	**Pozolana**
CP I	**NBR 5732**	100%	100%	0%	0%	0%
CP I S	**NBR 5733**	95%	99%	-	-	1%-5%
CP II-E	**NBR 11578**	56%	94%	0%-10%	6%-34%	-
CP II-F	**NBR 11578**	90%	94%	6%-10%	-	-
CP II-Z	**NBR 11578**	86%	94%	0%-10%	-	6%-14%
CP III	**NBR 5735**	25%	65%	0%-5%	35%-70%	-
CP IV	**NBR 5736**	45%	85%	0%-5%	-	15%-50%
CP V (ARI)	**NBR 5733**	95%	100%	0%-5%	-	-

Fonte – ABNT: NBR.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O presente trabalho visa a análise de desempenho frente à resistência à carbonatação de concretos confeccionados com cimentos comerciais que possuem os maiores teores normativos de adições minerais, CPIII e CPIV, comparativa com amostras de referência com CPV (ARI). Nesse contexto, foi comparado concretos com classe de resistência bem próximas, moldados com os aglomerantes e traçado seu desempenho frente à carbonatação. Foram realizados ensaios de resistência mecânica à compressão (NBR 5739, 2007) e medições semanais da profundidade da carbonatação, submetidas às mesmas condições de exposição, através da aspersão da fenolftaleína sobre as superfícies do concreto.

2. Considerações teóricas

O estudo sobre a carbonatação em concreto desperta grande interesse, pois tem relação direta com a facilidade de penetração do CO_2 e consequentemente na corrosão do aço do concreto armado. As armaduras inseridas nos componentes estruturais do concreto estão, em princípio, protegidas e passivadas contra o risco de corrosão. Essa proteção é proporcionada pelo concreto, pois confere uma barreira física e química promovida pela alcalinidade (RIBEIRO, 2014). A perda da proteção pode dar-se pelo fenômeno da carbonatação e contaminação por cloreto no concreto. O tipo do cimento/adições tem atuação direta na velocidade de carbonatação, pois a reserva alcalina é atribuição da composição química do cimento e das adições.

O desencadeamento da carbonatação ocorre quando o CO_2 (o agente é o ácido Carbônico, pois o CO2 gasoso não é reativo) existente na atmosfera, na presença de umidade, reage com os silicatos cálcicos hidratados (C-S-H) formando o carbonato de cálcio reduzindo o pH do concreto de aproximadamente 12,6 a 13,5 para valores em torno de 9 (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Meira *et al.* (2006) estudou a carbonatação de concreto em condições naturais de exposição e verificou que para concretos mais porosos a carbonatação é mais acelerada devido à facilidade da entrada de CO_2. Já em concretos de mesma porosidade, a presença de água nos poros do concreto, aumenta a velocidade de carbonatação. Em seu estudo sobre o estado da arte da carbonatação, Pauletti *et al*. (2007) verificou que os fatores que influenciam a carbonatação são: forma das amostras, umidade relativa, temperatura e outros são intrínsecos ao material como: relação a/c, tipo de cimento, adições, agregados.

As adições minerais reagem com os produtos de hidratação do cimento; sendo que a reação química, principal, denominada reação pozolânica, é facilitada pela dissociação da sílica amorfa (proveniente dessas adições), produzindo sílica na solução de poros, que então reage com o hidróxido de cálcio para formar gel de C-S-H. A importância técnica desta reação pozolânica deriva, principalmente, de três aspectos: geralmente é uma reação lenta e, portanto, as taxa de liberação de calor e de desenvolvimento da resistência são consequentemente lentas (CASTRO *et. al.* , 2001).

A reatividade das pozolanas e escórias, contidas nos cimentos em estudo, se processa após algumas semanas, reforça os efeitos de hidratação do clínquer, conduzindo, em logo prazo a uma porosidade de mesma ordem de grandeza, porém, diminui o tamanho dos poros maiores, o que é favorável no que tange à durabilidade (FELDMAN, 1983). Porém,

ISBN: 978-85-65425-32-2

alguns pesquisadores (JIANG; LIU; YE,2004; ISAIA; GASTALDINI, 2006), mostram que a substituição de cimento por adições minerais favorece à carbonatação. Segundo Isaia e Gastaldini (2004) os altos teores de substituições do cimento por adição mineral influem negativamente na resistência à carbonatação nas idades iniciais, pois as atividades pozolanas nesta fase não estão finalizadas. Isaia e Gastaldini (2006) mostra que, em condições semelhantes de resistência à compressão, o concreto com substituição, em massa, de 50% de cimento ARI por cinza volante, resulta em maior coeficiente de carbonatação, ou seja, tornam o concreto suscetível a carbonatação quando comparadas com amostras sem substituições. Porém, na medida que as atividades pozolânicas se manifestam ocorre o refinamento dos poros e dos grãos e a microestrutura mais fina e homogênea, que obstruem a passagem de fluidos, reduzindo a permeabilidade frente à penetração do dióxido de carbono.

3. Resultados e discussão

3.1 – Resultados da Caracterização dos materiais de partida

A distribuição percentual da composição dos componentes em massa dos cimentos em estudo pode ser observada no Quadro 2. Os resultados dos ensaios de caracterização nos estados fresco e endurecido são apresentados no Quadro 3. O teor de argamassa foi fixado em 50,5%, com valor de relação água/cimento igual a 0,50.

Quadro 12 – Composição % em massa dos cimentos em estudo

	Norma	Componentes (% massa)			
		Clínquer + Gesso	Adições		
			Carbonáticas	Escória	Pozolana
CP ARI	NBR 5733 (1991)	95%	5%	-	-
CP III	NBR 5735 (1991)	45%	5%	50%	-
CP IV	NBR 5736 (1991)	50%	5%	-	45%

Fonte - Autores, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 3 – Características do concreto

Parâmetros		CPV (ARI)	CP III	CP IV
Traços unitário em massa	Cimento	1	1	1
	Areia de Quartzo	1,204	1,204	1,204
	Areia artificial	0,802	0,802	0,802
	Pedrisco	0,884	0,884	0,884
	Brita 1	2,061	2,061	2,061
	Água	0,5	0,5	0,5
Aditivo plastificante (%)		1,2	1,2	1,2
Consumo (Kg/m³)		363	363	363
Teor de Argamassa (%)		50,5	50,5	50,5
Umidade (%)		8,38	8,38	8,38
Massa específica		2560	2420	2370
Teor de Ar (%)		0,8	1,2	0,9
Abatimento (mm)		135	145	150
Resistência à compressão (Mpa)	7 dias	46,6	36,2	41,2
	28 dias	53,4	52,1	50,4

Fonte – Autores, 2017.

Procedeu-se, posteriormente, a moldagem de corpos, NBR 5738 (2015), de prova cilíndricos (10x20 cm) e prismáticos (4 x 4 x 16) cm para realização dos seguintes ensaios no estado endurecido:

- Determinação da resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias;
- Submissão das amostras em câmara de carbonatação após 28 dias da moldagem.

Logo após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida, desmoldados após 24 h e mantidos em cura até a idade de ensaio.

3.2 – Resultados da carbonatação acelerada

Após a cura, os corpos de prova foram colocados na câmara de carbonatação com umidade relativa de 65%, teor de CO_2 de 5% e temperatura de 23°C ± 2, durante 6 semanas. Essa condição de umidade tem como objetivo promover maior eficiência para carbonatação. Isto é, a taxa de carbonatação é favorecida.

Para se obter os coeficientes de carbonatação foram analisadas as leituras de profundidade de carbonatação, efetuadas periodicamente, semana a semana, a partir do momento em

ISBN: 978-85-65425-32-2

que os corpos de prova foram submetidos às condições de carbonatação acelerada. A Figura 1 ilustra o procedimento para determinação da profundidade de carbonatação em corpos de prova prismáticos de concreto. As leituras foram realizadas com paquímetro em seções, após prévia pulverização de solução alcoólica de fenolftaleina a 1%, com o intuito de detectar a redução do pH nas regiões onde seus valores apresentassem abaixo da faixa de viragem do indicador. Desse modo, a superfície do concreto não carbonatada adquire cor vermelho carmim, conforme mostra a Figura 2, e as regiões carbonatadas conservam a coloração anterior ao tratamento.

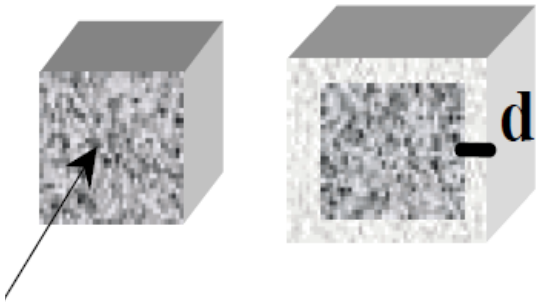


Figura 18 - Procedimento para determinação da profundidade de carbonatação.
Fonte - ABCP, 2017.

Figura 19 - Medição da profundidade da carbonatação. Fonte – Autores, 2017.

A Figura 3 mostra o gráfico dos resultados semanais da carbonatação acelerada até o período de 6 semanas (42 dias). Portanto, como a variável a/c foi fixada, as diferentes profundidades de carbonatação obtidas estão relacionadas com as características dos cimentos.

Para carbonatação acelerada, vale ressaltar que os valores milimétricos de espessura só foram atingidos em função das condições eficientes impostas, tais como o aumento do teor de CO_2 para 5%, bem como pela umidade de 65%. Um raciocínio simplista é admitir que no ensaio de carbonatação ocorreu uma aceleração do tempo com fator de aproximadamente 166,67 vezes, considerando que a concentração de CO_2 na atmosfera seja de 0,03%. O tempo de 6 semanas de submissão à câmara de carbonatação, aplicando-se o fator de aceleração de 166,67, implica dizer que no processo de aceleração do ensaio tem-se o equivalente a exposição em condições naturais pelo período de aproximadamente 22 anos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

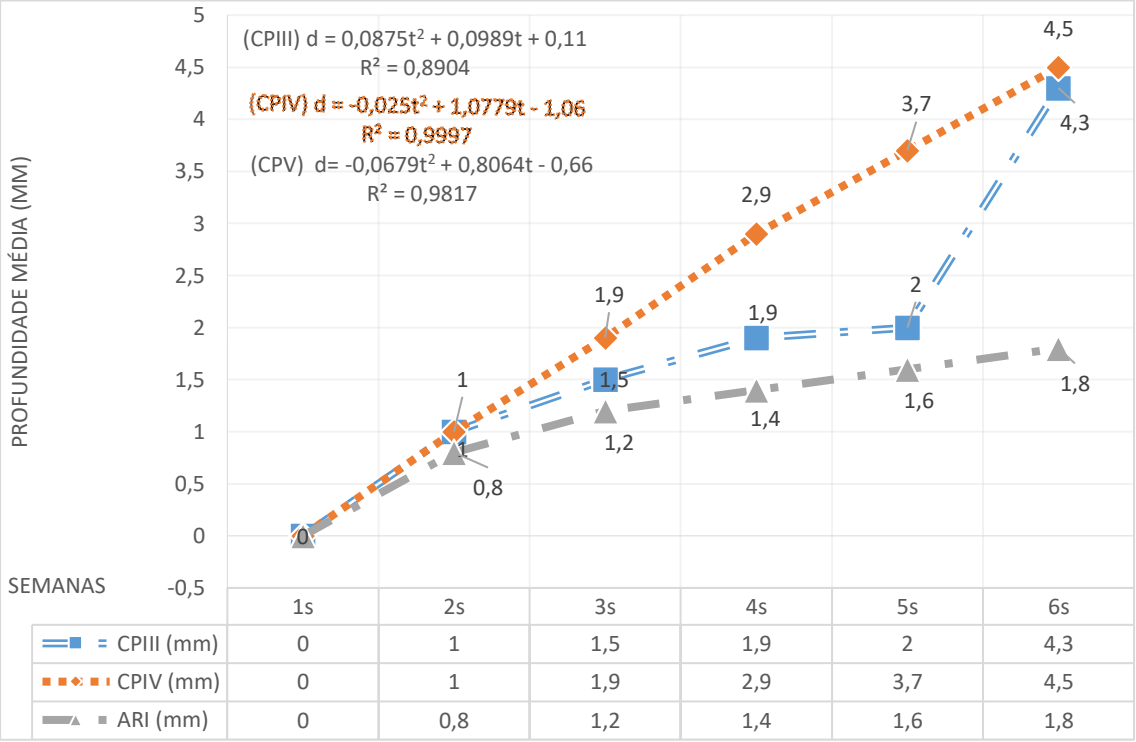


Figura 20 – Gráfico do comportamento das amostras submetidas à carbonatação
Fonte – Autores, 2017.

O comportamento dos aglomerantes frente à carbonatação, conforme a Figura 3, mostra que, em condições semelhantes de resistência à compressão, os concretos com substituição de clínquer, em massa, por adições, 50% de escória (CPIII) e 45% de pozolâna (CPIV), comparadas às sem substituições (CPV), resultam em maior facilidade ao avanço da carbonatação nas idades iniciais. Os dados apresentados corroboram com os obtidos por Jiang *et al.* (2004) e Isaia *et al.* (2006). Vale salientar que os dados desse estudo foram do período de até 6 semanas, onde as atividades pozolânicas ainda não estão totalmente consolidadas. Em longo prazo, espera-se maior dificuldade da penetração do dióxido de carbono no concreto, devido ao refinamento dos poros e a microestrutura mais homogênea promovidas pelas adições.

As correlações do tempo (t) com as profundidades de carbonatação acelerada, por tipo de concreto, apresentaram excelentes índices de determinação (r^2), com valores superiores a 0,89. Os concretos com CPIV e CPV apresentaram índices, com r^2, próximos a 1. Observando as equações de regressão, todas polinomiais de ordem 2, de acordo com a Figura 3, pode-se estimar as profundidades de carbonatação acelerada.

Como foi utilizado diferentes cimentos para confecção das amostras os coeficientes de carbonatação, K, são distintos para cada concreto. Pela Equação 1, foram calculados os valores de K para cada semana, a partir da variável (t), período na câmara de carbonatação,

ISBN: 978-85-65425-32-2

e o valor de d, profundidade de carbonatação, medido em cada amostra. Na tabela 4 seguem os valores de K e apreciação estatística dos resultados.

d = profundidade de carbonatação (mm);
Kc = Coeficiente de carbonatação acelerada (mm/√semana);
T = Tempo efetivo de exposição ao gás carbônico (semana).

$$d = K \times \sqrt{t} \qquad \text{(Equação 1)}$$

O valor de K, proposto pela 1° Lei de Fick, teoricamente, deveria ser constante para cada concreto em estudo. Porém, pode ser observado no Quadro 4 que os valores apresentaram variações significativas, sendo os resultados do CPV, da amostra de referência, mais homogêneos e com menor coeficiente médio de carbonatação. Os cimentos com adições apresentaram maiores dispersões dos resultados e maiores coeficientes de carbonatação, com melhor desempenho, ligeiramente, obtido pelo CPIII. Apesar do CPIII possuir maior teor de substituição, em massa do clínquer, quando confrontado com o CPIV, apresentou menor suscetibilidade à carbonatação. Esse resultado pode ser explicado pela melhor colmatação dos poros promovidas pelas reações cimentíceas da escória, conforme estudado por Pereira *et al.* (2012).

Quadro 13 – Valores de K estimado para cada período

Período (semanas)	K (CPV) (mm/√semana)	K (CPIII) (mm/√semana)	K (CPIV) (mm/√semana)
2s	0,565685425	0,70710678	0,70710678
3s	0,692820323	0,8660254	1,09696551
4s	0,7	0,95	1,45
5s	0,715541753	0,89442719	1,6546903
6s	0,734846923	1,75546765	1,83711731
Média	0,681778885	1,0346054	1,34917598
Sd	0,066872569	0,41295428	0,45206587
COV	9,8%	39,9%	33,5%

Fonte – Autores, 2017.

O gráfico da Figura 4 mostra os coeficientes de carbonatação obtidos para os concretos estudados. Pode-se classificar o desempenho, em ordem crescente, dos cimentos em: CPIV, CPIII e CPV. Os coeficientes de carbonatação acelerada (KC), apresentados anteriormente, foram calculados com os valores das profundidades de carbonatação nas idades de 7, 14, 28, 35 e 42 dias.

ISBN: 978-85-65425-32-2

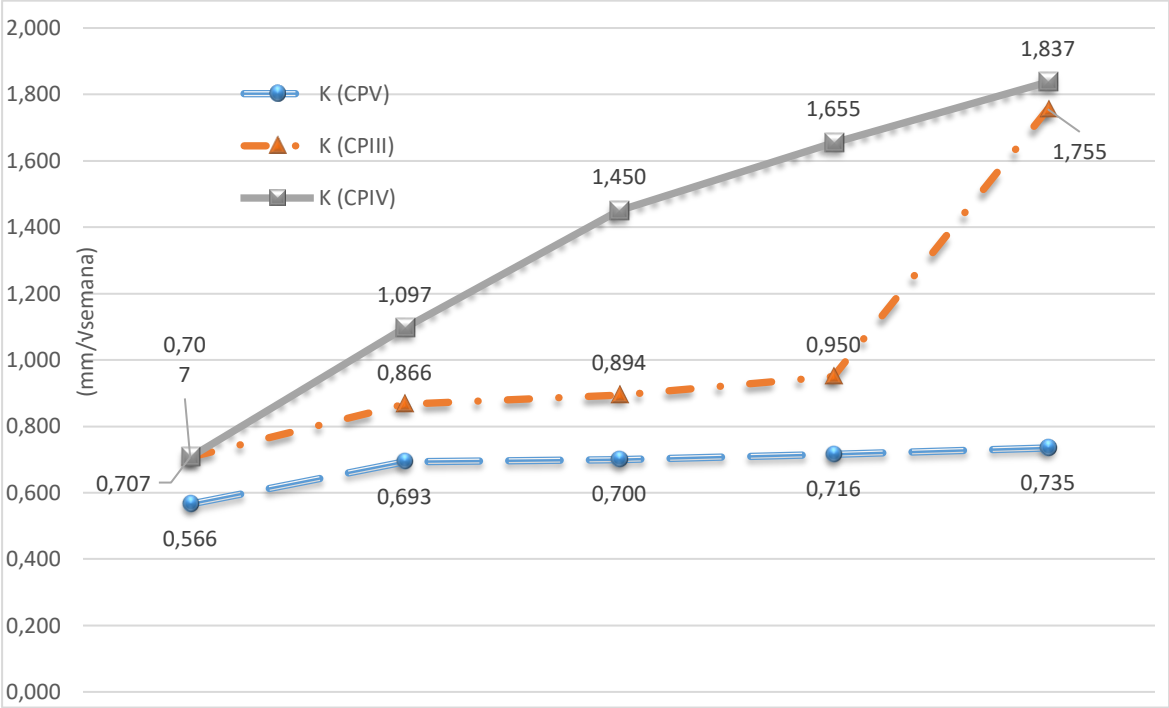


Figura 21 – Coeficientes de carbonatação, K_c, em ordem crescente, obtidos pela 1° lei de Fick
Fonte: Autores, 2017.

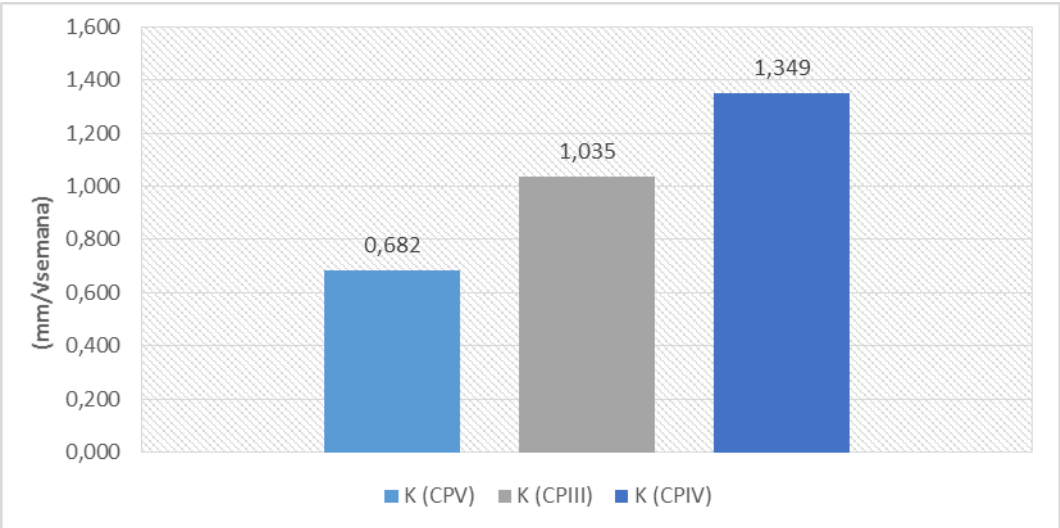


Figura 22 – Coeficientes médios de carbonatação acelerada
Fonte – Autores, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

5. Conclusões

Em relação à estimativa da profundidade de carbonatação do concreto, em função do tempo de exposição à câmara, quando apreciados estatisticamente, apresentou ótimos índices de determinação, R2, com valores de 0.8904, 0.9817 e 0.9997 para os cimentos CPIII, CPV e CPIV, respectivamente.

A taxa de carbonatação dos concretos com cimentos com adições apresentaram diferenças expressivas quando comparadas às referências, confirmando os resultados publicados na literatura. Os coeficientes médios de carbonatação, de acordo com a Figura 5, do CPIII e CPIV acresceram 52% e 98%, respectivamente, com relação ao coeficiente médio de referência (CPV). O CPIV, apesar de possuir menor teor de adições (%), em relação ao CPIII, em sua composição, apresentou coeficiente médio 30% superior ao CPIII.

Em suma, abstraindo-se de outras propriedades e prazos não analisados, o estudo mostra que os altos teores de adições dos cimentos, CPIII e CPIV, apesar de contribuir beneficamente em diversas outras propriedades, influenciam diretamente no aumento das taxas de carbonatação em concretos. É importante observar que os resultados atingidos, em igualdade de condições, estão atribuídos às condições determinadas nesse estudo e não devem ser julgados de maneira plena.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, 2015.

_____. NBR 5739 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos, 2007.

BAROCHEL-BOUNY, V.; CAPRA, B.; LAURENS, S.. A durabilidade das armaduras e do concreto de cobrimento. In: OLLIVIER, J.P.; VICHOT, A, 2014. Durabilidade do Concreto: Bases Científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. Tradução: O. Cascudo e H. Carasek. São Paulo: IBRACON, 2014. p. 255-326.

CASTRO, O. ; FERREIRA, R.; LOPES, A.; COUTO, A. P.; BRAUN, V.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.. Influência das adições minerais na durabilidade do concreto. programa de P&D da ANEEL, ciclo 2000-2001.

FELDMAN, R.F. – Significance of porosity measurements on blended cement performance, in: 1st Intern. Conf. on the use of fly ash, silica fume, salg and other mineral by-products in concrete, Montebello, 1983, Malhotra, Ed., ACI, SP-79,1,pp.415-433.

HOPPE FILHO, J. Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: Mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto. Tese de Doutorado, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP), São Paulo, 2008.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ISAIA, G.C.; GASTALDINI, A.L.G. Critical analysis on HPC with very high contents of mineral additions (Part I). Mix proportion and carbonation. IBRACON Materials Journal, Vol. 2, Number 1, p.09 -19, September, 2006.

_____.Perspectivas ambientais e econômicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. Ambiente Construído, Porto Alegre, Vol.4,n.2,p.19 – 30 abril/junho 2004.

JIANG, L.;LIU, Z.; YE, Y. Durability of concrete incorporating large volumes of low-quality fly ash. Cement and concrete research, Vol. 34, Issue 8, p. 1467 – 1469, August 2004.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. CONCRETO – Estrutura, Propriedades e Materiais. Editora PINI ou Editado pelo IBRACON. 4a Edição, 2014.

MEIRA, G.M.; PADARATZ, I.J.; BORBA, J.C.. Carbonatação natural de concretos: resultados de cerca de quatro anos de monitoramento. In: XI Encontro Nacional de tecnologia no ambiente construído, 2006, Florianópolis/SC.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. Tecnologia do Concreto. BOOKMAN, 2013.

PAULETTI, C.; POSSAN, E.; MOLIN, D.C.C.. Carbonatação natural de concretos: resultados de cerca de quatro anos de monitoramento. Periodicos - UFRGS, Ambiente construído, v.7,n.4,p.7-20, Porto Alegre-RS, 2007.

PEREIRA, VICTOR CORREIA DE OLIVEIRA; ALMEIDA, KALLINE; MONTEIRO, ELIANA CRISTINA BARRETO. Avaliação da corrosão em argamassas de cimento portland utilizando a técnica de potencial de corrosão. Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, 2012.

RIBEIRO, Daniel Verás. Corrosão em Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

ISBN: 978-85-65425-32-2

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO PRODUZIDO COM A CINZA DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA- DE-AÇÚCAR EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Evaluation of the Resistance of the Concrete Produced with the Burning Ash of Sugarcane Bagasse in Substitution of the Portland Cement

Adegilson BENTO[1], **Dione** SILVA[2], **Eliana** MONTEIRO[3]

[1] Escola Politécnica de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, adegilsonjose19@gmail.com

[2] Escola Politécnica de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, dione_luiza@hotmail.com

[3] Escola Politécnica de Pernambuco/Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, eliana@poli.br

Resumo: O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, planta que serve de matéria prima para produção de açúcar, cachaça, álcool, rapadura e outros, além de gerar subprodutos como o bagaço que pode ser queimado a fim de produzir energia, processo que gera como resíduos as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. Esse resíduo possui em sua composição basicamente silicatos e aluminatos que lhe garantem, quando calcinado em temperatura correta, alta atividade pozolânica. Apresentando assim viabilidade técnica para sua utilização como adição mineral, em concretos. Este trabalho tem por objetivo analisar as características físicas da cinza de cana-de-açúcar e avaliar o desempenho da resistência a compressão axial de corpos de provas de concreto produzidos com substituição parcial do Cimento Portland pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar em proporções de 5%, 10%, 15% e 20%. Os resultados indicaram que, de modo geral, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar mostrou-se viável sob proporções de 15% de substituição, o que sugere sua utilização na construção civil, a fim de diminuir de forma significativa as emissões de CO^2, causadas durante a fabricação de cimento além de obter uma forma de reaproveitar o um resíduo que atualmente não possui destinação adequada.

Palavras-chave: Resíduo; Cana-de-açúcar; Concreto; Sustentabilidade.

Abstract: Brazil is the biggest producer of sugar-cane of the world, it plants what serves of raw material for production of sugar, rum, alcohol, raw brown sugar and others, besides producing by-products as the pulp that can be burned relative of producing energy, process that produces like residues the ashes of the sugar-cane pulp. This residue has in his composition basically silicates and aluminates what guarantee him, when burned in correct temperature, high activity pozolânica. Presenting so technical viability for his use like mineral addition, in concrete. This work has since objective analyses the physical characteristics of the sugar-cane ash and to value the performance of the resistance to compression of bodies of proofs of concrete produced with partial substitution from the Cement Portland by the ash of the sugar-cane pulp in proportions of 5 %, 10 %, 15 % and 20 %. The results indicated what, on the whole, the ash of the sugar-cane pulp showed viable under proportions of 15

ISBN: 978-85-65425-32-2

% of substitution, which suggests his use in the civil, similar construction of reducing in the significant form the emissions of CO^2, caused during the manufacture from cement besides obtaining the form of re-using a residue that at present has not appropriate destination**.**

Keywords: Residue; Sugar cane; Concrete; Sustainability.

1. Introdução

O setor da construção civil é um dos maiores responsáveis pela geração de poluentes no planeta, recebendo os créditos não somente por ser o maior consumidor de matéria-prima, mas ao mesmo tempo, por representar quase metade da quantidade dos resíduos sólidos gerados no mundo (JOHN, 2000). A propagação da cultura sustentável nas últimas décadas levou a humanidade a deliberar mais sobre questões ambientais, focando em métodos que visam diminuir esse impacto, como a substituição de parte do clínquer, matéria-prima do Cimento Portland, por adições minerais. Vários países do mundo já fazem uso desses avanços, incluindo o Brasil, onde se difunde estudos sobre a possibilidade de utilizar o resíduo gerado pelas usinas e destilarias, derivado da produção de energia obtida pelo vapor gerado na queima de um dos seus subprodutos, o bagaço. Atualmente as indústrias sucroalcooleiras não possuem plano de destino desse resíduo, que apresenta como principais características uma grande quantidade de silicatos e aluminatos e alta atividade pozolânica (SILVA, 2016). Apresentando-se, portanto, como uma alternativa viável para utilização como adição, substituindo parcialmente os cimentos ou sendo utilizado como agregado em concretos e argamassas, segundo estudos (CASTRO e MARTINS, 2016; CORDEIRO *et al*., 2009). A partir do exposto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade do uso desse resíduo, em substituição parcial do cimento na produção do concreto sob teores de 5%, 10%, 15% e 20 % de substituição do cimento, nas idades de 7, 14 e 28 dias.

2. Resíduos, Construção civil e meio ambiente

O exercício da engenharia civil data dos primórdios da humanidade, quando o homem deixa de ser sedentário e fixa-se em um lugar produzindo assim as primeiras habitações. Ao longo do tempo, o homem foi se encarregando de moldar a natureza em benefício próprio, a partir do desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitaram o surgimento da indústria da construção civil com sua vasta complexidade, indústria que tem sua produção atrelada à necessidade de um grande consumo de recursos naturais.

Segundo a *United Nations Environment Programm*e [UNEP](2009), o setor da construção civil consome 40% de toda energia, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras. Esses números expressam o quão severo são os impactos causados pelo atual modelo adotado na construção civil.

Associada a construção civil temos também outras atividades, a mineração é uma delas, esta atividade transforma áreas através do desmatamento e perda de solo vegetal, o que acarreta em desequilíbrio do fluxo hidráulico, assoreamentos e formação de grandes

ISBN: 978-85-65425-32-2

lagoas, além de danos à fauna e à flora, inviabilizando assim o uso futuro ou a recuperação do solo (CASTRO e MARTINS, 2016).

A produção de concreto está ligada diretamente a mineração, seja através da extração dos agregados como brita e areia ou fornecendo matéria prima para a fabricação de cimento, através da extração de calcário e argila, que posteriormente passará por processo de calcinação liberando assim toneladas de CO_2 na atmosfera. Emissões que chegam a ser responsáveis por 1/3 de todas as emissões de gases poluentes que geram o efeito estufa no planeta (UNEP, 2009).

De acordo como 12º relatório anual sobre gases de efeito estufa, divulgado pela *World Meteorological Organization* [WMO] em outubro de 2016, as emissões de gases poluentes atingiram índices alarmantes, chegando a superar a marca de 400 partes por milhão (ppm) de concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, principal gás causador do efeito estufa.

Com o planeta voltando seu pensamento para o desenvolvimento sustentável desperta na construção civil a necessidade de tentar minorar os impactos ambientais atrelados aos processos que são adotados atualmente, tendo assim papel fundamental de no que diz respeito a desenvolvimento sustentável global.A construção sustentável é baseada na ideia de criar alternativas que possam solucionar os principais problemas ambientais da atualidade, através do uso da tecnologia, sem deixar de lado quesitos importantes de uma edificação, como por exemplo, a durabilidade. Nesse contexto surgem alternativas como as construções verdes que funcionam como um sistema centrado no aumento da eficiência dos recursos naturais (CHAVES, 2014).

3. Indústria canavieira e cultura de cana-de-açúcar

“Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, representando sozinhos 45% de todo o produto comercializado, açúcar e álcool principalmente, sendo seguido pela China, Índia e Tailândia” (IZQUIERDO e RAMALHO,2014). Segundo CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), estima-se que o Brasil produzirá cerca de 685 milhões de toneladas de cana-de-açúcar no período de 2016 e 2017.

Uma característica marcante da cultura de cana-de-açúcar é a versatilidade que ela oferece, pois além do caldo extraído da planta, que serve de matéria prima para produção de açúcar, cachaça, álcool, rapadura e outros produtos, se obtêm também, durante o processo de beneficiamento alguns subprodutos, entre eles, o bagaço da cana-de-açúcar, que pode ser usado na produção de papel, combustível, como ração ou adubo (SCHNEIDER *et al*., 2012).

Segundo Dias *et al*. (2009) as propriedades caloríficas do bagaço, devido a elevados teores de materiais lignocelulósicos em sua composição, possibilita uso dessa biomassa na produção de energia através do vapor gerado durante a sua queima. Sendo de grande viabilidade econômica e ambiental. O potencial de geração de energia a partir do bagaço é da ordem de 15 % de toda demanda nacional, patamar que pode ser atingido até 2020 (IZQUIERDO e RAMALHO, 2014).

ISBN: 978-85-65425-32-2

4. Materiais pozolânicos e cinza do bagaço de cana-de-açúcar

> Pozolanas são todos os aluminosilicatos reativos naturais, predominantemente na forma vítrea, que se solubilizam em meio alcalino e reagem em solução com os íons Ca^{2+}, levando à precipitação de silicatos de cálcio hidratados (ISAIA, 2007).

O uso de Pozolanas natural data do início da utilização do concreto, Vitruvius, arquiteto e engenheiro militar romano, em sua obra De Architectura (27 a.C.), já descrevia uma espécie de pó encontrado ao redor do monte Vesúvio que se solidificava rapidamente quando umidificado e não dissolveria após enrijecido (CARVALHO, 2008).

Durante o processo de queima do bagaço são geradas cerca de 0,7% de cinzas residuais da massa de cana-de-açúcar moída, que geralmente são descartados de maneira inadequada, pois não oferecem qualquer fonte de nutrição para as plantações, causado assim grande impacto ao meio ambiente por ser um resíduo de difícil degradação (SAMPAIO, SOUZA e GOUVEIA, 2014).

O resíduo em questão apresenta como principais características uma grande quantidade de silicatos e aluminatos e alta atividade pozolânica como mostraram algumas pesquisas atuais (SILVA, 2016; ALTOÉ e MARTINS, 2015; SALES e LIMA, 2010; CASTRO e MARTINS, 2016).Os resíduos gerados na queima do bagaço só apresentarão características pozolânicas se as condições de queima forem devidamente controladas, fator que se apresenta como impasse para utilização da cinza, já que a mesma, pode ter seus compostos cristalizados sob temperaturas inadequada de calcinação o que as fazem perder assim suas características pozolânicas

Sendo a cinza queimada de maneira adequada o seu emprego, visto que se trata de um resíduo industrial, como matéria-prima na substituição do clínquer para produção de concretos e argamassas surge como alternativa ambiental, econômica e social. Promovendo as sucroalcooleiras uma forma de destinar esse resíduo, ajudando a minimizar o CO_2 que é lançado na atmosfera durante a produção de cimento, reduzindo a degradação sofrida pelo solo no processo de mineração e agregando novas matérias primas a construção civil.

5. Materiais e Métodos

A seguir lista-se a descrição, as dosagens, os equipamentos e os procedimentos experimentais adotados para análise dos materiais utilizados nas pesquisas laboratoriais.

5.1 Cimento Portland

O tipo de cimento utilizado para moldagem dos corpos de prova de concreto foi o Cimento Portland composto com pozolana, classe 32 (CP II Z – 32), proveniente de um único lote de fabricação. Escolhido por se tratar de um dos mais consumidos na região e por apresentar um menor percentual de adições, sendo nesse caso em torno de 6% a 14% de adição pozolânica em massa.

ISBN: 978-85-65425-32-2

5.2 Cinza do bagaço de cana-de-açúcar

A cinza utilizada foi coletada nos tanques de decantação da Usina São José Agroindustrial, depois de ter sido totalmente incinerada em fornalhas para produção de energia. Em seguida, foi coletada em sacos plásticos, transportada até o laboratório de materiais da construção civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, na cidade do Recife, para posterior caracterização. A granulometria da cinza foi determinada pela combinação dos procedimentos de peneiramento e sedimentação conforme sugere a NBR 7181 (ABNT, 2016) e através da NBR 6508 (ABNT, 1984a), foi determinado à massa específica da amostra, o teor de umidade foi determinado a partir da secagem em estufa por 24h. Depois de passar pelo processo de caracterização a amostra foi totalmente seca em estufa a 100° C ($^{+}/_{-}$5°C), com a finalidade de eliminar a umidade que a mesma ainda continha, após o material foi destorroado com o auxílio de um almofariz e em seguida peneiramento com auxílio da peneira #200 com abertura 0,075mm, para a obtenção de partículas uniformes e eliminação de possíveis impurezas, garantindo dessa forma suas características pozolânica (Figura 1) . Por fim, foi incorporada ao traço de concreto nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% em substituição ao Cimento Portland.

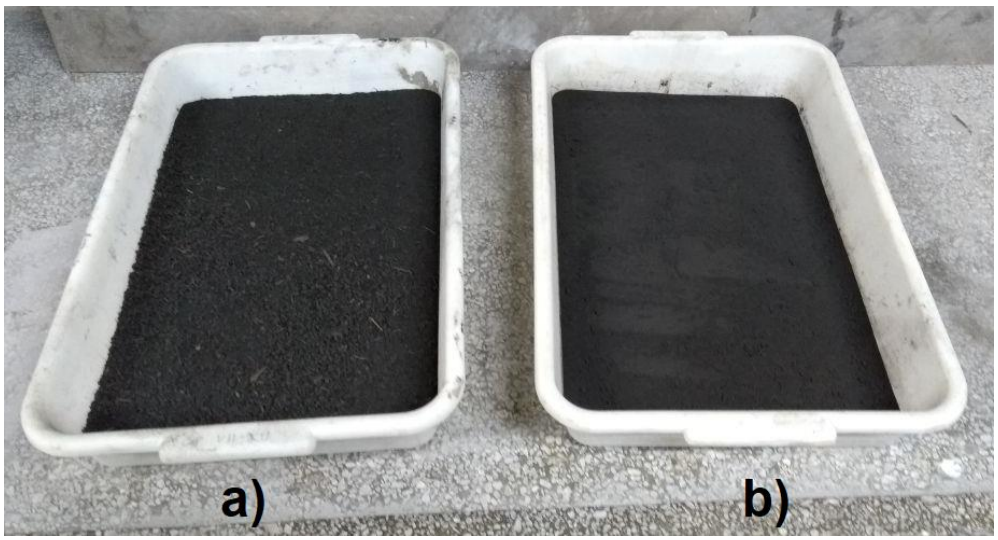


Figura 23 – Cinza do bagaço de cana-de-açúcar: a) material com impurezas, b) material passante da peneira #200.

5.3 Agregados

Utilizou-se areia natural como agregado miúdo e brita basáltica como agregado graúdo para realização dos ensaios. Esses materiais foram previamente submetidos aos ensaios de caracterização segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], obtendo assim a curva granulométrica dos agregados, através da NBR NM 248 (ABNT, 2003), o Módulo de finura de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), o teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo, segundo a NBR 9939 (ABNT, 2011), realizando-se também a determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem segundo a NBR NM 46 (ABNT, 2003).

ISBN: 978-85-65425-32-2

5.4 Composições dos concretos

No presente estudo foram confeccionados em laboratório corpos de prova de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, seguindo os procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova estabelecido na NBR 5738 (ABNT,2013). Após 24 horas as amostras foram desmoldadas e curadas imersas em solução saturada com cal. Foram realizados ensaios de resistência à compressão, para as idades de 7,14 e 28 dias de cura do concreto em prensa classe 1 (conforme a ABNT NBR NM ISO 7500-1), calibrada na escala referente à empregabilidade no ensaio de ruptura prescrito pela ABNT NBR 5739/2007.

Para atender os ensaios, foram confeccionados ao todo 69 corpos de prova expressos na Quadro 1. Utilizou-se o seguinte traço unitário em peso 1:1,8:2,8 (cimento: areia: brita), para uma relação de água/cimento de 0,5 (Quadro 2). Fez-se uso de água potável, derivada da rede pública de distribuição da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Na produção do concreto foram adicionadas ao cimento Portland CBC em teores de 5, 10, 15 e 20% em relação à massa do cimento. Verificar-se-á, portanto, a variabilidade da resistência à compressão entre essas porcentagens de adição (Figura 2).

Quadro 14 – Número de Corpos de Prova, por idade, de acordo com a porcentagem de cinza adicionada em substituição ao cimento.

Idades	S/A	5%	10%	15%	20%
7	5	5	5	5	3
14	5	5	5	5	3
28	5	5	5	5	3

Quadro 15 – Composição do Concreto.

Concreto	Teor de adição	Traço unitário em peso ([cimento; cinza]: areia: brita)	Traço do concreto aumentado (Kg)	Fator a/c
CP	0%	[1; 0] :1,8:2,8	[10; 0]: 18: 28	0,5
C5%	5%	[0,95;0,5]:1,8:2,9	[9,5;0,5]: 18: 28	0,5
C10%	10%	[0,9; 0,1]:1,8:2,10	[9; 1]: 18: 28	0,5
C15%	15%	[0,85; 0,15]:1,8:2,11	[8,5; 1,5]: 18: 28	0,5
C20%	20%	[0,8;0,2]:1,8:2,12	[6; 1,2]: 10,8: 16,8	0,5

ISBN: 978-85-65425-32-2

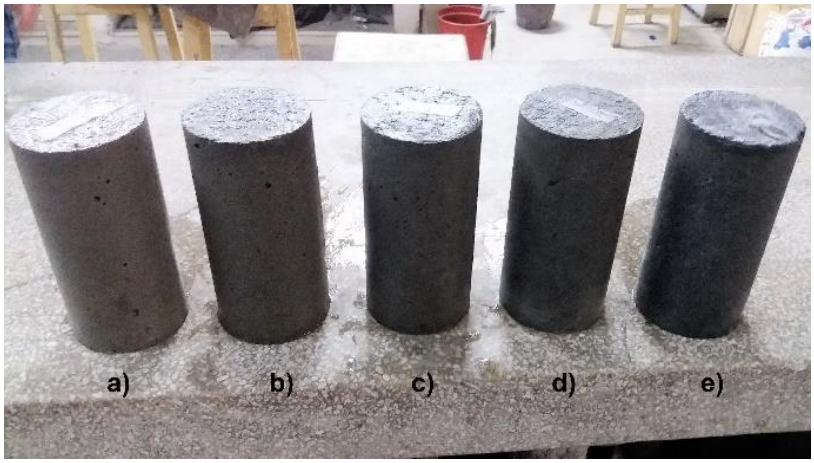


Figura 2– Corpos de prova com diferentes teores de cinza. a)0%, b)5%, c)10%, d)15% e e)20%.

6. Resultados e Discussões

A seguir os resultados obtidos em laboratório e as devidas discussões.

6.1 Agregados

Obteve-se a composição granulométrica apresentada na Figura 3, o teor de material fino que passa através da peneira 75µm resultou em 0,53%, um módulo de finura de 2,2 e um diâmetro máximo de 2,4 mm, para ao agregado miúdo, classificando este como sendo areia de granulometria fina. Com composição granulométrica expressa na Figura 4, foi possível classificar a brita como sendo brita 1 com um módulo de finura de 4,54, teor de material fino que passa através da peneira 75µm de 1 % e um diâmetro máximo de 12,7 mm. Segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos agregados mostram que os mesmos atenderam aos requisitos para produção de concretos de boa qualidade.

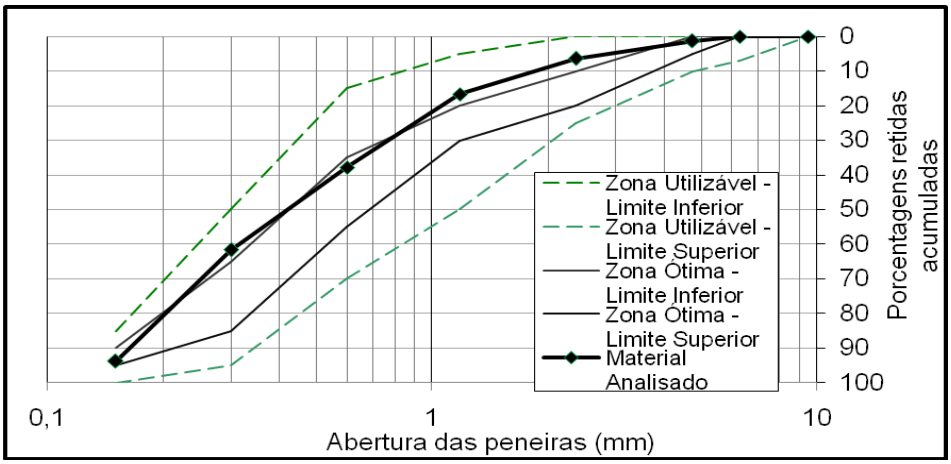


Figura 3 – Curva granulométrica a do agregado miúdo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

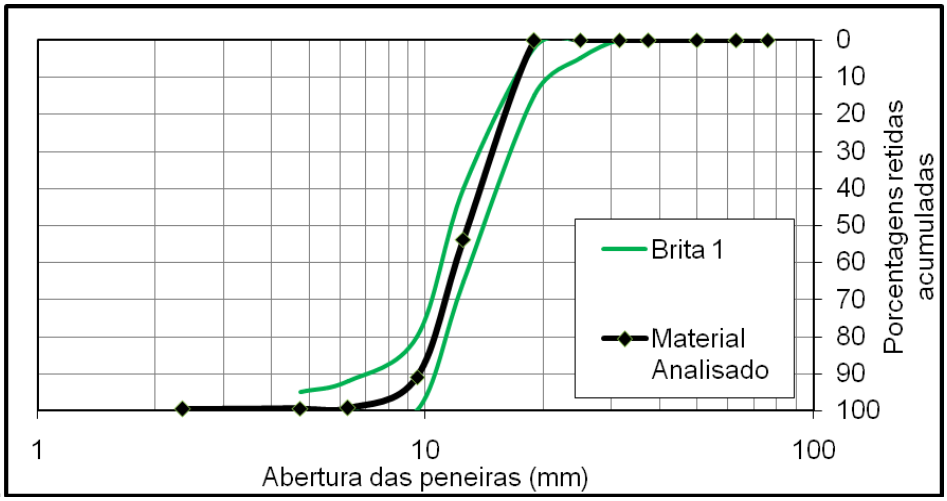


Figura 4 – Curva granulométrica do agregado graúdo.

6.2 Cinza

A curva granulométrica da Cinza do bragaço de cana-de-açúcar está expressa na Figura 5. Os resultados obtidos demonstram que cerca 22,85% da amostra da cinza passa na peneira de 75 µm (Figura 6), que foram utilizados para na produção de concreto, no entanto, de acordo com NBR 6502 (ABNT, 1995) o material pode ser classificado como semelhante à areia. O que indica que devem ser previamente submetidas a um processo de moagem, para viabilizar a utilização na produção de concretos. Em relação a massa específica, se encontrou um valor de 2,19 g/cm^3.

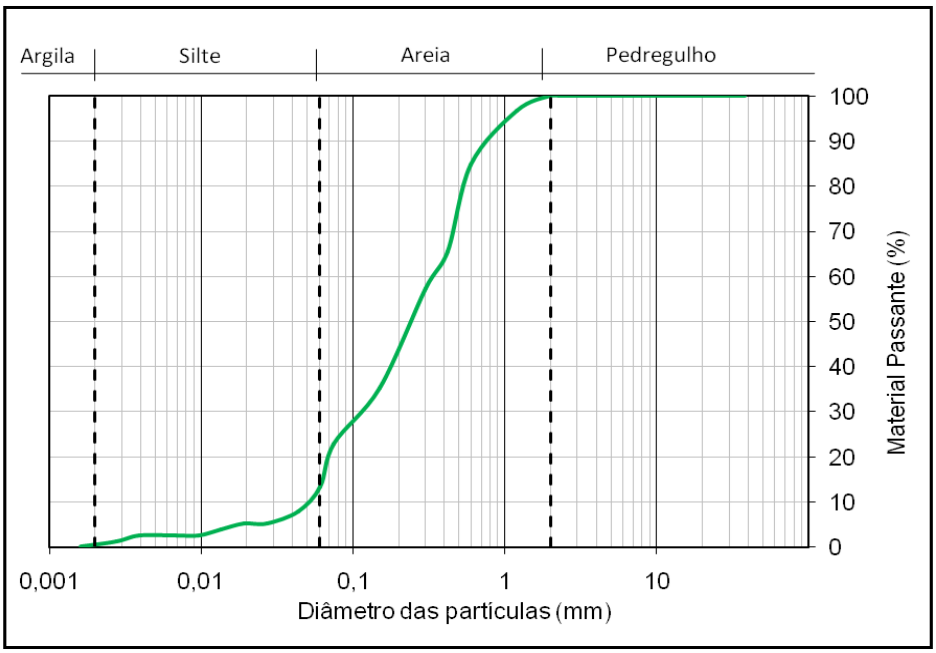


Figura 5 – Curva granulométrica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 6 – Cinza que passam na peneira #200.

6.3 Resistência à compressão axial

Os resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de cura do concreto mostrados na Figura 7 evidenciam os concretos C5%, que obtiveram resistências semelhantes aos corpos de prova de referência, ficando apenas cerca de 6% abaixo. Os resultados ainda mostraram que as substituições de C10% e C15% encontraram-se moderadamente abaixo dos CP's de referência, porém as resistências obtidas não foram comprometidas efetivamente e se apresentaram, aos 28 dias, cerca de 10 e 13% abaixo, respectivamente. Os resultados mais insatisfatórios foram apresentados pelos C20%, que obteve um percentual de 30% de resistência abaixo dos CP's de referência. Esses resultados mostram que as resistências podem ter sido reflexo de uma hidratação lenta dos constituintes da CBC com o cimento Portland, pois os concretos passam a ter menores resistências iniciais à medida que se eleva o teor de CBC.

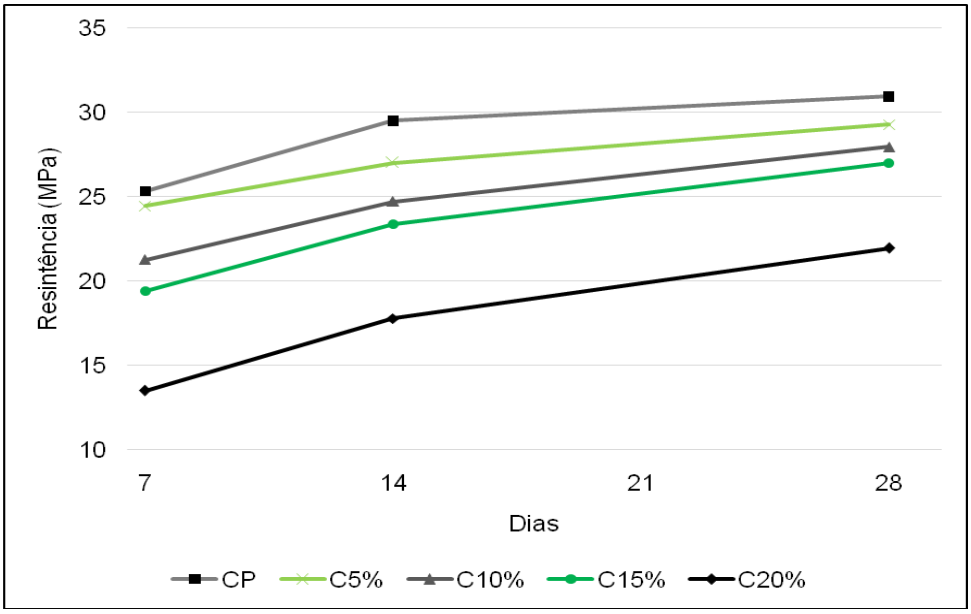


Figura 24 – Resistências a compressão axial dos corpos de prova.

ISBN: 978-85-65425-32-2

7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios realizados revelaram que 22,85% da amostra da cinza passaram na peneira com abertura 75µm demonstrando assim que mesmo boa parte das partículas possuírem granulometria muito fina, ainda se faz necessário um processo moagem a fim de tornar o material o mais fino possível, para que posasse tirar proveito de toda sua capacidade pozolânica.

Os valores de resistência obtidos demonstram a viabilidade da cinza do bagaço de cana-de-açúcar sob proporções de até 15%, sendo os melhores resultados obtidos nos concretos com menos adição, que possivelmente ocorreu devido atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar ser lenta.

Por fim a CBC apresentou-se como opção viável para aplicação na fabricação de cimentos ou na produção de concreto em central, com o objetivo de diminuir o impacto ambiental gerado pela construção civil e de fomentar a inclusão de produtos como o resíduo em questão, na iniciativa sustentável.

REFERÊNCIAS

Altoé, S. P. S., Martins, C. H. (2015). A influência da temperatura de queima na pozolanicidade da cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Revista de Engenharia e Tecnologia, 7(3), 40-50.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2003a). NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro.

_____. (2003b). NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro.

_____. 2011). NBR 9939: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro.

_____. (2009). NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro.

_____. (1984). NBR 6508: Massa específica dos Sólidos. Rio de Janeiro.

_____. (1995). NBR 6502: Rochas e Solo. Rio de Janeiro.

Carvalho, J. D. N. (2008). Sobre Origens e Desenvolvimento do Concreto, Revista Tecnologia, 17, 19-28.

Castro, T. R.; Martins, C. H. (2016). Caracterização das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material alternativo para redução de impactos ambientais. MIX Sustentável, 2(1),12-19.

ISBN: 978-85-65425-32-2

CONAB (Companhia Brasileira de Abastecimento). (2016). Acompanhamento da safra Brasileira, Cana-de-açúcar, 2016. Recuperado em 6 outubro, 2016, http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf

Cordeiro, G. C.; Toledo Filho, R. D.; Fairbairn, E. M. R. (2009). Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. Ambiente Construído, 9(4) 99-107.

Chaves, H. O. (2014). Diretrizes Sustentáveis na Construção Civil: Avaliação do Ciclo de Vida. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Dias, M. O. S., Ensinas, A. V., Nebra, S. A., Filho, R. M., Rosell, C. E. V., Maciel, M. R. W. (2009). Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: Integration to conventional bioethanol production process. Chemical Engineering Research & Design, 87, 1206-1216.

Isaia, G. C. (editor). (2007). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais – IBRACON, São Paulo; 2007.

Izquierdo, I. S. (2014); Ramalho, M. A. Aplicação de cinzas residuais e de fibra de sisal na produção de argamassas e concretos: Revisão. Ingeniería y Desarrollo, 32(2), 344-368.

John, V. M. (2000). Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo: Universidade de São Paulo.

Sales, A.; Lima, S. A. (2010). Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. Waste Management, 30(6), 1114-1122.

Sampaio, Z. L. M.; Souza, P. A. B. F.; Gouveia, B. G. (2014). Analysis of the influence of the sugar cane bagasse ashes on mechanical behavior of concrete. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 7(4), 626-647.

Schneider, C. F.; Schulz, D. G.; Lima, P. R.; Gonçalves Júnior, A. C.(2012). Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 7(5), 08-17.

Silva, E. J. (2016). Utilização do método de condutividade elétrica para análise da pozolanicidade da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2009). Sustainable Buildings & Construction Initiative, Common Carbon Metric for Measuring Energy Use & Reporting Greenhouse Gas

ISBN: 978-85-65425-32-2

Emissions from Building Operations. Recuperado em 25 novembro, 2016, de http://www.sballiance.org/wp-content/uploads/2014/04/Common-Carbon-Metric-2009.pdf

WMO (World Meteorological Organization). (2016). Greenhouse Gas Bulletin - The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2015. N.12, outubro de 2016. Recuperado em 14 novembro, 2016, http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/GHG_Bulletin_12_EN_web_JN161640.pdf

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE METACAULIM E SÍLICA ATIVA CONTRA AÇÃO DE CO_2 E ÍONS CLORETO EM MATRIZES CIMENTÍCIAS

Influence Of The Addition Of Metacaulim And Active Silica Against Action Of CO_2 And Chloride Ions In Cement Matrices

Ariane da Silva CARDOSO[1], **Thayse Dayse** DELMIRO[2], Emilia Rahnemay KOHLMAN RABBANI[3], Eliana Cristina Barreto MONTEIRO[4]

[1] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, ariane_cardoso@hotmail.com

[2] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, thaysedayse@hotmail.com

[3] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, emilia.rabbani@upe.br

[4] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, eliana@poli.br

Resumo: A corrosão de armaduras é uma das principais manifestações patológicas relacionadas às estruturas, principalmente proveniente da carbonatação e das ações dos íons cloreto. A sílica ativa (resíduo industrial) é promissora em desenvolver uma maior durabilidade do concreto, proporcionando uma barreira física à penetração dos agentes agressivos, além de contribuir para redução da poluição ambiental, tanto pela diminuição da emissão de CO_2 na produção do clinquer, quanto pela destinação deste resíduo. Contudo, a redução da reserva alcalina no concreto, promovida pelo uso da sílica, pode aumentar a profundidade de carbonatação. Com o intuito de entender o comportamento de adições minerais nos concretos, buscou-se analisar a influência da adição de metacaulim e sílica ativa em substituição parcial do cimento Portland CPII Z-32 em matrizes cimentícias, sob a ação de CO_2 e íons cloretos. Para este estudo, confeccionaram-se corpos de prova com 10% e 15% de metacaulim e sílica ativa em substituição parcial do cimento com relação água/aglomerante de 0.5 ao qual se verificou a profundidade de carbonatação através do emprego do indicador de fenolftaleína, e a profundidade de penetração de cloretos através do método colorimétrico de aspersão de nitrato de prata em amostras submetidas à semiciclos de molhagem e secagem. Ambas as adições se mostraram benéficas quanto à proteção frente à ação de cloretos, apresentando uma redução na profundidade de penetração de até 29.88% nas amostras com 15% de sílica ativa. Quanto à proteção frente à ação de CO_2, apenas a substituição de 10% se mostrou benéfica, reduzindo a profundidade carbonatada em 13.08% e nos demais traços apresentou um aumento na profundidade de carbonatação de no máximo 6.75%. Desta forma não se descarta a utilização dessas adições em matrizes cimentícias para melhorias nas suas características, além de proporcionar uma redução na utilização de cimento e consequentemente uma menor poluição atmosférica.

Palavras-chave: Corrosão. Cloretos. Carbonatação. Sílica ativa. Metacaulim.

Abstract: Corrosion of reinforcement is one of the main pathological manifestations related to the structures, mainly coming from carbonation and the actions of chloride ions. The

ISBN: 978-85-65425-32-2

active silica (industrial waste) is promising to develop a greater durability of the concrete, providing a physical barrier to the penetration of aggressive agents, besides contributing to reduce environmental pollution, both by reducing the emission of CO_2 in clinker production, and by waste reduction. However, the reduction of the alkaline reserve in the concrete, promoted by the use of silica, can increase the depth of carbonation. In order to understand the behavior of mineral additives in concretes, the influence of the addition of metacaulim and active silica in partial replacement of Portland cement CPII Z-32 in cement matrix under the action of CO2 and chloride ions was investigated. For this study, specimens with 10% and 15% of metacaulim and active silica were made in partial replacement of the cement with water / binder ratio of 0.5 at which the carbonation depth was verified through the use of the phenolphthalein indicator, And the depth of penetration of chlorides through the colorimetric method of silver nitrate spray in samples submitted to the wet and dry semicycles. Both additions were beneficial in the protection against chlorides, with a reduction in penetration depth up to 29.88% in the samples with 15% active silica. As for the protection against CO_2 action, only the substitution of 10% was beneficial, reducing the carbonate depth by 13.08% and in the other traces presented an increase in the carbonation depth of a maximum of 6.75%. Therefore, the use of these additions in cement matrices is not ruled out for improvements in its characteristics, as well as a reduction in the use of cement and, consequently, a lower atmospheric pollution.

Keywords: Corrosion. Chlorides. Carbonation. Active silica. Metacaulim.

1. Introdução

1.1 Importância do tema

O concreto é parte integrante de praticamente todas as construções; de edificações residenciais a grandes obras de infraestrutura como pontes e estradas. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), embora não se apresente tão resistente quanto o aço, o concreto possui resistência a agressões físicas e químicas do ambiente, mostra-se de fácil execução e adaptabilidade a qualquer forma de construção, possui menor custo e é mais facilmente produzido no canteiro de obra. Devido sua versatilidade, tornou-se o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para água (PEDROSO, 2009).

Entretanto, o concreto poderá apresentar inúmeras manifestações patológicas que são causadas por diversos fatores. Diversos pesquisadores como Helene e Ribeiro (2014), Mehta e Monteiro (2014), Barbosa *et al*. (2012), entre outros, destacam que a corrosão de armaduras tem se mostrado um dos mais graves e frequentes problemas associados à durabilidade do concreto armado, comprometendo as estruturas tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista da segurança. Estima-se que a corrosão de armaduras em concreto destrua 25% da produção mundial de aço por ano além de ser responsável por perdas humanas, devido à queda de viadutos, pontes e edifícios (GEMELLI, 2001). No Brasil este cenário é preocupante, pois muitas das grandes cidades são litorâneas estando submetidas a agentes extremamente agressivos como os cloretos além de que a agressividade do meio ambiente vem aumentando significativamente com o desenvolvimento descontrolado mundial, contribuindo desta forma para a redução da vida útil das estruturas.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Sabe-se que a corrosão das armaduras no concreto pode ser desencadeada por meio de dois agentes principais, sendo eles a ação de íons cloretos, o qual afeta a película passivadora, e a carbonatação, que reduz pH de precipitação do concreto, reduzindo a estabilidade da película passivadora. Segundo Helene *et al*. (2014), a durabilidade do concreto depende em grande parte da facilidade com que as substâncias agressivas conseguem penetrar no concreto e se deslocar no seu interior. O deslocamento dos diversos fluidos ocorre não somente por permeabilidade, como também, por absorção capilar, migração e difusão.

Portanto conhecer esses mecanismos e recorrer a estudos quanto à agressividade do ambiente em que a estrutura será inserida é de extrema importância tanto para a etapa de execução do concreto quanto à etapa de planejamento e projeto, onde são definidas as suas características de acordo com a exposição da estrutura, determinando a durabilidade que a ela apresentará durante sua vida útil. Buscar soluções alternativas que possam dificultar a penetração desses agentes agressivos na fase de projeto também é de grande valia, pois pode aumentar consideravelmente a vida útil da estrutura, com custos muito menores de manutenções futuras.

O metacaulim e a sílica ativa estão sendo consumidos em grande escala na tentativa de melhorar as propriedades do concreto e minimizar os efeitos dos agentes agressivos. Muitos são os benefícios prometidos pelos fabricantes, tornando essas adições de grande interesse para os pesquisadores.

Em um estudo para avaliar a resistência mecânica de concretos produzidos com adição de metacaulim e sílica ativa em comparação ao concreto convencional, Barros (2015) evidenciou um aumento de resistência à compressão do concreto para as amostras com substituição de 10% e 15% de sílica ativa e metacaulim, aos 28 dias de idade.

Já Lacerda (2005) em um estudo sobre a influência da substituição de cimento Portland por metacaulim em concretos, concluiu que o metacaulim promove uma melhora considerável na trabalhabilidade, atribuido ao formato lamelar de suas partículas que permitem um “efeito deslizamento” de uma placa sobre a outra, funcionando assim como um ‘lubrificante’, o que resulta uma maior facilidade de mistura, lançamento, adensamento e acabamento e consequentemente ganho financeiro devido a menor energia necessária para sua manipulação. O autor ainda constatou que houve uma altíssima resistência à penetração de cloretos para os concretos com metacaulim e sílica ativa.

Ao estudar a viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim, Barata (2001) verificou que ambas as adições minerais proporcionaram às misturas de concreto maior coesão, facilidade de acabamento e redução da exsudação. “Nas misturas com sílica ativa, praticamente não se observou a exsudação, enquanto que no concreto com metacaulim a ocorrência desse fenômeno foi bastante reduzida”.

Monteiro e Pereira (2015) ao estudarem a capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos em relação à corrosão de armaduras sob a ação conjunta de CO_2 e íons cloretos, constataram que corpos de prova não carbonatos, apresentaram intensidades de corrosão muito menores em relação aos corpos de prova semelhantes carbonatados, quando

ISBN: 978-85-65425-32-2

submetidos às mesmas condições de ciclos em uma solução de cloreto com a mesma concentração.

Em contrapartida, Helene (1993) chama atenção que embora as adições melhorem consideravelmente várias propriedades do concreto, reduzindo a permeabilidade e a porosidade e aumentando a resistência à compressão, “ao mesmo tempo aumentam a velocidade de carbonatação”, o que o autor explica devido ao teor de álcalis disponível para as reações de carbonatação.

Além da preocupação em melhorar as características do concreto, a sua utilização abundante também trás outro problema muito preocupante que é a poluição atmosférica causada pela indústria da construção. Estudos internacionais apontam que aproximadamente 5% das emissões de CO_2 de origem antrópica no mundo provêm da produção do cimento. No Brasil, esse valor corresponde a 1.4% de acordo com o último Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, divulgado em 2010 segundo Kihara e Visedo (2014). A produção de argamassas e concretos com substituições parciais por materiais como escórias de alto forno, cinzas volantes, pozolanas artificiais, fíler calcário, metacaulim e sílica ativa, além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, propicia a redução das emissões de CO_2, uma vez que diminui a produção de clínquer e, consequentemente, a queima de combustíveis e a emissão da descarbonatação.

A utilização de adições tem representado uma das mais eficazes medidas de controle e redução das emissões de CO_2 da indústria. O país apresenta a menor relação clínquer/cimento e, consequentemente, o maior percentual de adições utilizadas, colocando mais uma vez esta nação como referência internacional na busca por cimentos melhores e com menor emissão (KIHARA e VISEDO, 2014).

Nota-se, diante de todo o exposto, a complexa questão da utilização do metacaulim e da sílica ativa em matrizes cimentícias que por um lado tem-se um comportamento favorável frente à ação de cloretos e por outro lado, tem-se um aspecto desfavorável quanto a maior velocidade e profundidade da frente de carbonatação. Por esses motivos, se faz necessário cada vez mais estudos que comprovem a influência dessas substituições no concreto.

1.2 Objetivo

Avaliar a influência da adição do metacaulim e da sílica ativa em substituição parcial do cimento na capacidade de proteção da matriz cimentícia sob a ação de CO_2, íons cloretos e frente à ação conjunta de CO_2 e cloretos.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Adições Minerais

Lacerda (2005) define como adições minerais, todo material pozolânico ou cimentício que é incorporado ao cimento seja na forma de adição ou por sua substituição parcial. O percentual de utilização dessas adições minerais pode ser calculado em volume ou em massa de cimento, e, depende muito da finalidade da argamassa ou concreto e do tipo de adição mineral.

ISBN: 978-85-65425-32-2

As adições minerais pozolânicas, quando introduzidas no concreto em seu estado fresco, produzem uma quantidade adicional de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), responsável pela resistência do concreto, devido a uma reação química com o hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ (BORJA, 2011).

Para Helene (2014) as adições aumentam a velocidade de carbonatação devido ao teor de álcalis disponível, embora melhorem significativamente as propriedades do concreto.

2.1.1 – Metacaulim

O metacaulim é um material pozolânico originário da calcinação do argilomineral que é componente principal do caulim (SANTOS, 1975). É um material pulverulento de cor branca, com peso específico aproximadamente duas vezes menor que o cimento.

A adição provém de matérias-primas criteriosamente selecionadas, obtido através do processo de queima controlada de argila caulinítica, de alta pureza, diversificando-se das outras adições minerais tais como escória e cinza volante, que normalmente são formadas a partir de rejeitos industriais secundários, sem um maior controle (GUERRA, 2013).

Por se tratar de uma pozolana de alta eficiência, elaborou-se no Brasil uma norma específica para seu uso com cimento Portland, em concreto, argamassa e pasta, a NBR 15894 (ABNT, 2010).

O Metacaulim HP ULTRA está disponível no mercado em sacos de 20 Kg, em “bag” entre 600 a 800 Kg e a granel através de carreta-silo e de acordo com o fabricante, o uso da adição proporciona inúmeros benefícios ao concreto:

- Aumento das resistências mecânicas à compressão, tração e abrasão, em todas as idades, em até 40%;
- Redução e controle das reatividades álcali-agregado em até 95%.
- Aumento da resistência ao ataque por sulfato, ácidos e outros agentes químicos.
- Redução da penetração de cloretos em até 75%.
- Redução da corrosão de armaduras.
- Diminuição do calor de hidratação e da fissuração de origem térmica.
- Diminuição da porosidade e permeabilidade em até 90%.
- Melhoria estética da superfície, controle da eflorescência, fissuração e desgaste.
- Maior coesão, até 90% menos exsudação, redução em até 50% da reflexão em concretos projetados, maior fluidez e menos segregação em concretos autoadensáveis.

Composto basicamente por sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) em seu estado amorfo, o metacaulim possui elevada finura e reatividade. Devido ao reduzido tamanho de suas partículas, a adição ocupa os poros deixados pela pasta de cimento, reduzindo sua porosidade e contribuindo também para a retenção da água, melhorando a hidratação do cimento e reduzindo fissuras causadas pela capilaridade e pela secagem durante o processo de cura. Além disso, devido sua alta reatividade, é capaz de reagir com o hidróxido de cálcio livre $Ca(OH)_2$ gerado durante a hidratação do cimento Portland, formando ao longo do tempo compostos muito mais resistentes e estáveis quimicamente, como o C-S-H (silicato de cálcio hidratado) e C-A-S-H (aluminossilicato de cálcio hidratado).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Este efeito pozolânico, contribui para o aumento da resistência à compressão e durabilidade do concreto influenciando na qualidade da zona de transição agregado-matriz, pois reduz a porosidade e o teor de hidróxido de cálcio na matriz do cimento (BORJA, 2011).

É possível comparar a redução da porosidade, através da microscopia eletrônica entre a pasta contendo apenas cimento (Figura 1) e a pasta contendo adição de Metacaulim (Figura 2) em substituição ao cimento. As regiões mais escuras representam porosidades ou interstícios.

Figura 1 - Concreto sem metacaulim conforme Metacaulim do Brasil Ltda (2016)

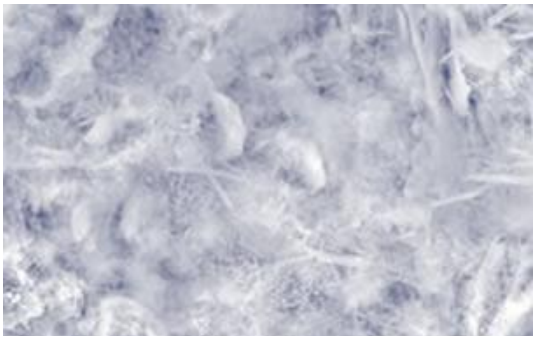


Figura 2 - Concreto com metacaulim conforme Metacaulim do Brasil Ltda (2016)

2.1.2 – Sílica Ativa

A Sílica Ativa é um subproduto de origem metalúrgica, obtido do processo de fabricação do silício metálico ou ferro silício a partir de quartzo de elevada pureza e carvão ou coque (fonte de carbono), cavacos de madeira e, eventualmente, o minério de ferro no caso da produção de ferro silício, o que lhe confere maior estabilidade quanto a sua composição física e química (NEVILLE, 2015; BARATA, 2001).

A sílica ativa vem sendo consumida em grande escala na tentativa de melhorar as propriedades do concreto e minimizar os efeitos dos agentes agressivos. Barata (2001) verificou que a adição de sílica ativa proporciona as misturas de concreto maior coesão, facilidade de acabamento e redução da exsudação. Contudo, Helene (1993) chama atenção que “embora as adições melhorem consideravelmente as propriedades do concreto reduzindo a permeabilidade, a porosidade e aumentando a resistência à compressão, ao mesmo tempo aumentam a velocidade de carbonatação", o que o autor explica devido ao teor de álcalis disponível para as reações de carbonatação.

As adições de sílica ativa são feitas em quantidades que variam de 4% a 15% do peso do cimento, de acordo com o desempenho que se deseja alcançar no concreto.

Neville (2015) afirma que o uso da sílica ativa tem a finalidade de obter concretos com melhores propriedades, principalmente alta resistência inicial e baixa penetrabilidade na matriz de cimento hidratado, em função da interrupção na comunicação entre os poros pela sua ação.

Segundo o autor, os benefícios da sílica ativa nos compostos cimentícios não se limitam apenas à sua atuação química, como a reação pozolânica, mas também existe um efeito

ISBN: 978-85-65425-32-2

físico (efeito microfíler) da capacidade das partículas extremamente finas se posicionarem muito próxima das partículas do agregado-pasta, que é a região de menor resistência do concreto. Isso se dá pelo fato de que as partículas de sílica são aproximadamente cem vezes menores do que as partículas do cimento, permitindo que elas preencham os espaços vazios criados pela água livre na matriz. Esta função, chamada empacotamento, refina a microestrutura do concreto, criando uma estrutura muito mais densa (MELO, 2000). Desta forma, a sílica ativa contribui não somente no aumento da resistência mecânica do concreto, mas o torna quimicamente mais resistente à agressividade do meio ambiente. A redução do número e tamanho dos poros reflete na diminuição do transporte de massa para o interior do concreto, e consequentemente podem aumentam a durabilidade das estruturas.

2.2 Corrosão da armadura

"Corrosão pode ser entendida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, como resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração" (HELENE, 2014).

Os efeitos degenerativos provenientes da corrosão levam a um comprometimento da segurança estrutural ao longo do tempo, e manifestam-se na forma de manchas superficiais, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de cobrimento, redução da seção das armaduras com frequente seccionamento de estribos e redução e eventual perda de aderência das armaduras principais (HELENE, 2014).

Ela ainda pode manifestar-se de diferentes formas, sendo a corrosão generalizada e a puntiforme os casos mais comuns. A primeira, em geral não provoca danos muito graves por afetar toda a extensão da armadura. A segunda, por se concentrar em pontos específicos, acaba sendo mais danosa causando a perda do desempenho estrutural, podendo acarretar uma ruptura frágil em seção definida sem aviso.

A corrosão das armaduras no concreto pode ser desencadeada por meio de dois agentes principais, sendo eles a ação de íons cloretos, o qual afeta a película passivadora, e a carbonatação, que reduz pH de precipitação do concreto, reduzindo a estabilidade da película passivadora.

Estudos relacionados à durabilidade das estruturas apontam que a corrosão das armaduras provocadas pela ação de íons cloreto é um dos problemas mais sérios que pode ocorrer em uma estrutura (ANDRADE, 1997; NEVILLE, 2015). Os cloretos agem de forma localizada produzindo um ataque na superfície da armadura, que, segundo Gemelli (2001), manifesta-se sob a forma de pequenas cavidades, de alguns micrômetros a alguns milímetros, os « pites ». Em consequência, ocorre a diminuição da seção da estrutura metálica e, conforme a concepção estrutural pode levar ao colapso da estrutura.

Já a carbonatação ocorre, quando o CO_2, do ar ou contido em água agressivas, penetra na superfície exposta da peça de concreto, e por difusão através do ar chega até os poros úmidos se combinando com o hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, formando o carbonato de cálcio, $CaCO_3$, insolúvel. Esta transformação do hidróxido em carbonato é acompanhada pela redução do pH do meio úmido interno.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3. Método de Pesquisa

O programa experimental buscou avaliar a profundidade de carbonatação através de aspersão da solução de fenolftaleína baseado na norma RILEM CPC-18 (1998) e a presença de cloretos livres através do método colorimétrico de aspersão da solução de nitrato de prata com base na norma italiana UNI 7928 (1978), em matrizes cimentícias confeccionadas com o cimento Portland CPII Z – 32, com relações água/aglomerante 0.5 e substituição parcial do cimento por 10% e 15% de sílica ativa e metacaulim.

As avaliações seguiram três situações distintas:

- A presença de cloretos livres em corpos de provas submetidos imediatamente após 3 dias de cura em ambiente de laboratório, à indução de penetração de íons cloreto por semiciclos de secagem e imersão parcial em solução salina – Série A.
- A presença de cloretos livres em corpos de provas submetidos à indução de penetração de íons cloreto por semiciclos de secagem e imersão parcial em solução salina, somente após 30 dias de cura em ambiente propenso a carbonatação – Série B.
- A profundidade de carbonatação após 60 dias de cura em ambiente propenso a carbonatação – Série C.

Para tal, confeccionou-se 45 corpos-de-prova cilíndricos de 5 centímetros de diâmetro e 10 centímetros de altura, distribuídos em 09 corpos-de-prova para cada traço, sendo 03 corpos-de-prova destinados para cada situação mencionada anteriormente.

Adotou-se para o estudo, a utilização de argamassas, devido às pequenas dimensões dos corpos-de-prova e com a intenção de simular o cobrimento do concreto, utilizando o traço 1:3 conforme a Tabela 1. A escolha da relação água/aglomerante se deu em função dos valores comumente praticados na região.

Tabela 1 – Traços dos corpos-de-prova

Relação a/agl	Argamassas	Cimento	Metacaulim	Sílica Ativa	Areia	Água
0,5	Sem adições	0,6240 Kg	-	-	1,872 Kg	0,312 litros
	10% Sílica ativa	0,5616 Kg	-	0,0624 Kg	1,872 Kg	0,312 litros
	15% Sílica ativa	0,5304 Kg	-	0,0936 Kg	1,872 Kg	0,312 litros
	10% Metacaulim	0,5616 Kg	0,0624 Kg	-	1,872 Kg	0,312 litros
	15% Metacaulim	0,5304 Kg	0,0936 Kg	-	1,872 Kg	0,312 litros

A areia utilizada foi proveniente do Rio Sirinhaém do estado de Pernambuco. Antes da confecção da argamassa o agregado miúdo foi seco em estufa, para que a umidade existente na areia não influenciasse nos traços definidos para as séries. A água empregada na confecção das amostras de argamassa foi proveniente da rede de distribuição da cidade do Recife, COMPESA. De acordo com a norma NBR 15900 (ABNT, 2009) a água de

ISBN: 978-85-65425-32-2

abastecimento público é adequada para uso em concreto e não necessita ser ensaiada. No entanto, realizou-se a análise da água no Laboratório de química da UNICAP, cujos resultados foram 29.53 mg/L de cloretos e 8.68 mg/L de sulfatos. Em relação ao teor máximo de cloretos presentes na água de amassamento, a norma limita um valor de 1000 mg/L, estando a água utilizada dentro dos parâmetros aceitáveis.

As Figuras 3, 4,e 5 mostram a pesagem de alguns materiais em balança de precisão de 0.1 g.

Figura 3 - Pesagem da areia

Figura 4 – Pesagem da água

Figura 5 – Pesagem da sílica

Os corpos-de-prova foram moldados de acordo com as recomendações da NBR 7215 (ABNT, 1996). Inicialmente colocou-se no misturador mecânico a água e com o mesmo ligado adicionou-se o cimento e a adição (sílica ativa ou metacaulim) misturando durante 30 segundos em velocidade baixa para então acrescentar-se a areia gradualmente permanecendo em velocidade baixa por mais 30 segundos. Em seguida, aumentou-se a velocidade do misturador por mais 30 segundos. Respeitado o tempo de mistura, desligou-se o misturador mecânico por um período de 1 minuto e 30 segundos para repouso da massa. Dado o tempo de pausa, ligou-se o misturador novamente em velocidade alta por mais 1 minuto, finalizando assim, a preparação da argamassa. As Figuras 6 e 7 mostram a preparação da argamassa e as ferramentas para moldagem dos corpos-de-prova respectivamente.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 6 – Preparação da argamassa

Figura 7 – Ferramentas para moldagem

A moldagem dos corpos-de-prova foi feita imediatamente após a preparação da argamassa, em quatro camadas com aplicação de 30 golpes com soquete em cada camada, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Moldagem dos corpos-de-prova

Logo após a moldagem, os corpos-de-prova foram protegidos com uma placa de vidro em sua face superior para a cura inicial que foi realizada em ambiente de laboratório como mostra a Figura 9.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 9 – Corpos-de-prova moldados e cobertos por placa de vidro

As amostras foram desmoldadas após 24 horas e devidamente identificadas. (Figura 10).

Figura 10 – Identificação dos CPs

Os corpos-de-prova não tiveram nenhum tipo de cura visando acelerar o processo de carbonatação natural e penetração de cloretos. As amostras utilizadas no ensaio da série A de aspersão de nitrato de prata foram submetidas com 3 dias de idade ao processo de indução de íons cloretos por meio de semiciclos de secagem e imersão parcial em água contaminada com 5% de cloreto de sódio. Os corpos-de-prova utilizados para o ensaio da serie B, permaneceram por 15 dias em ambiente de laboratório e 15 dias em um estacionamento de edifício residencial julgado com uma maior concentração de CO_2 para ficar mais propenso a carbonatação, para então, após 30 dias ser submetido ao processo de indução de cloretos.

As amostras utilizadas para o ensaio de carbonatação (Série C) foram mantidas por 30 dias em ambiente de laboratório e 30 dias em um estacionamento para que pudessem ficar mais expostos ao gás carbônico (CO_2), até a idade pré-estabelecida para o ensaio.

3.1 Ensaio de carbonatação

Para a verificação da profundidade de carbonatação, as amostras permaneceram previamente expostas em local com alta concentração de CO_2, por um período de 60 dias. O ensaio consiste em mensurar a profundidade de carbonatação através da aspersão de uma solução com indicador químico na peça recém-fraturada para que a face a ser

ISBN: 978-85-65425-32-2

analisada não venha sofrer a interferência do CO_2 do ar. Para a execução do ensaio, cada amostra foi rompida à tração por compressão diametral e borrifada em sua face interna a solução de fenolftaleína. A profundidade foi verificada visualmente pela diferença de coloração do chamado ponto de viragem da fenolftaleína. O valor da frente de carbonatação foi baseado em seis leituras das maiores profundidades de uma face para no fim copilar uma média, realizadas através de um paquímetro, sendo expresso em milímetros. Os valores encontrados foram submetidos a uma análise estatística de variância, onde aqueles que diferiram muito da média foram descartados, mantendo assim um coeficiente de variação menor do que 15%, garantindo uma baixa dispersão dos dados e uma maior confiabilidade nos resultados. O procedimento está esquematizado na Figura 11 e os resultados estão representados em um gráfico, por meio de seus respectivos valores médios.

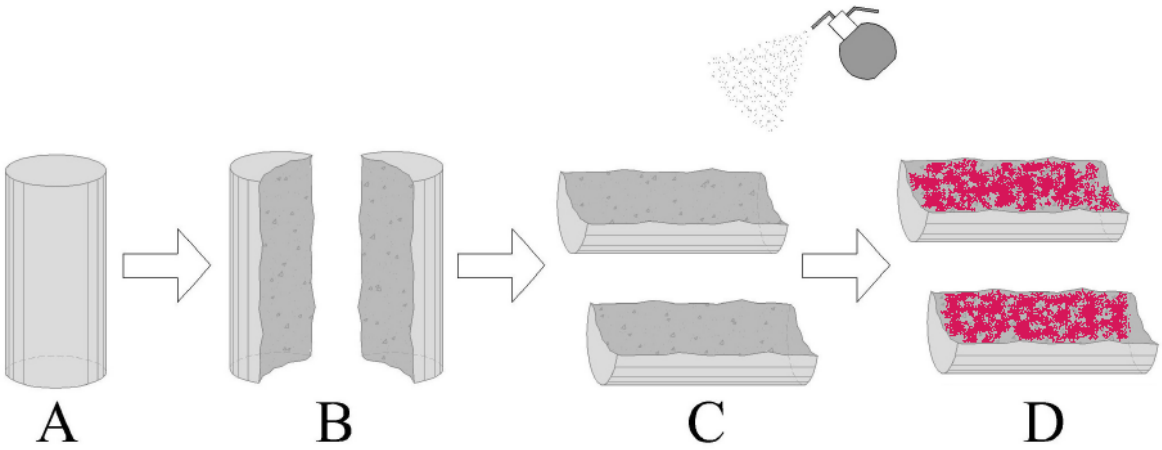


Figura 11 – Esquematização do procedimento adotado no ensaio de carbonatação adaptado de Mota (2011). Nota: (A - corpo-de-prova 5 cm x 10 cm, B - seccionamento da amostra, C - borrifamento da solução de fenolftaleina, D - análise visual da coloração da superfície)

A Figura 12 mostra a verificação da profundidade carbonatada após a aspersão da solução de fenolftaleina.

Figura 12 – Medição da profundidade carbonatada com paquímetro

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2 Ensaio de cloretos pelo método colorimétrico de aspersão de solução de nitrato de prata

Para verificação da presença de cloretos livres o ensaio foi baseado na norma italiana UNI 7928 (1978), que estipula uma solução de nitrato de prata com concentração de 0.1 mol/l, ou seja, 17g de $AgNO_3$ para 1 litro de água destilada. Adotou-se para esta pesquisa o método utilizado por Monteiro (1996), onde os corpos-de-prova foram submetidos à ciclos de secagem com duração de 5 dias em estufa à 50°C e à ciclos de imersão parcial em uma solução de 5% NaCl, com duração de 2 dias. O período de secagem é maior uma vez que o concreto perde água mais lentamente do que absorve. Foram realizados 4 ciclos, finalizando com a secagem em estufa para preparar os corpos-de-prova para a realização do ensaio, conforme mostra as Figuras 13 e 14.

Figura 13 – CPs na estufa à 50°C

Figura 14 – CPs parcialmente imersos em solução salina

Os corpos de provas da serie A foram submetidos imediatamente ao processo de indução, enquanto que os da série B permaneceram por 15 dias em ambiente de laboratório e por 15 dias em garagem de um edifício residencial, para ficar exposto à uma maior concentração de CO_2, propiciando a carbonatação, para verificar a ação conjunta da ação de cloretos em concretos carbonatados.

Completados os 4 ciclos seguido acrescido de mais uma etapa de secagem, as amostras foram rompidas à tração por compressão diametral (Figura 15) e em seguida efetuou-se a aspersão de uma solução de nitrato de prata com concentração de 0.1M na superfície interna. As amostras permaneceram em ambiente iluminado no período de 15 minutos, para a que a reação fotoquímica entre a solução e a superfície da argamassa ocorresse. Posteriormente realizou-se as leituras por meio de um paquímetro de acordo com as recomendações da NT BUILD 492 (1990) através da realização de sete medidas para no fim copilar uma média conforme demonstrado na Figura 16.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 15 - Amostra rompida à tração por compressão diametral

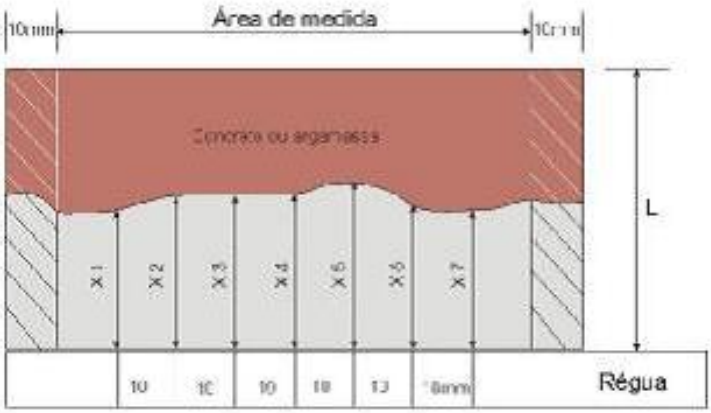


Figura 16 - Frente de penetração de cloretos conforme NT BUILD 492 (1990)

A Figura 17 apresenta as amostras após os ensaios de presença de cloretos e profundidade de carbonatação.

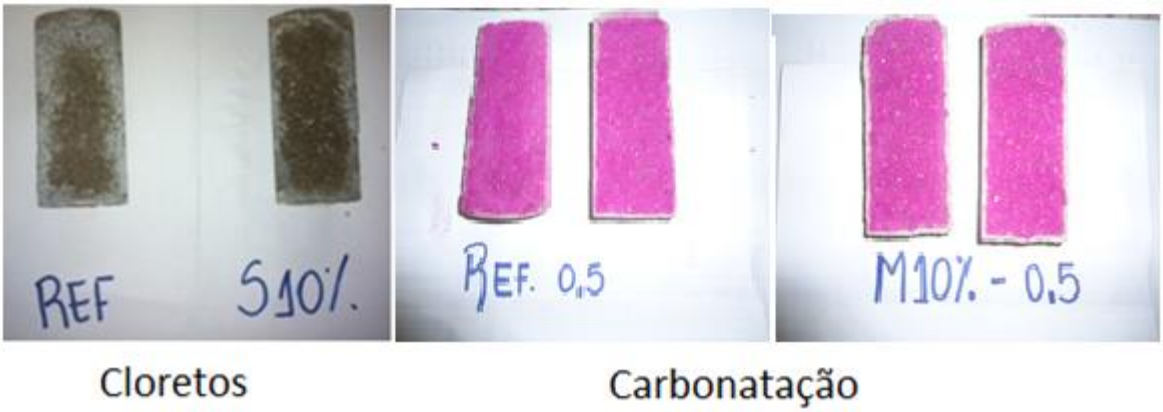


Figura 17 - Amostras ensaiadas

ISBN: 978-85-65425-32-2

4. Resultados

4.1 Ação do CO_2

A Figura 18 apresenta os resultados obtidos no ensaio de verificação da profundidade de carbonatação, sendo notável a influência negativa das adições no aumento da profundidade de carbonatação, com exceção apenas da utilização de 10% de sílica ativa.

Nota-se que quanto maior o percentual da adição, maior a profundidade carbonatada. O resultado já era esperado de acordo com alguns pesquisadores como Helene (1993), Monteiro (1996) e Alves (2000), tendo em vista que as reações pozolânicas consomem os álcalis livres resultantes da hidratação do clínquer, reduzindo a alcalinidade da pasta e consequentemente favorecendo a frente de carbonatação.

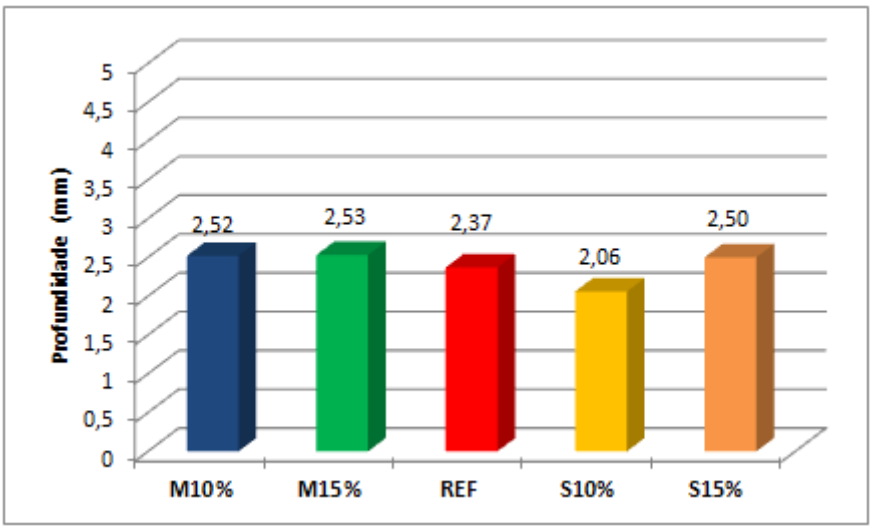


Figura 18 - Profundidade de carbonatação

No entanto, as amostras com substituição de 10% de sílica ativa do presente estudo apresentaram uma redução de 13.08% da profundidade de carbonatação em comparação a amostra de referência para relação a/agl 0.5.

Sabe-se que concretos com elevada porosidade, na presença de umidade, estão mais sujeitos à carbonatação. No entanto o gás carbônico gasoso na realidade não é reativo, porém na presença de água, forma o ácido carbônico, que reage com o hidróxido de cálcio gerando, entre os compostos principais, carbonato de cálcio.

Sabe-se também, que a utilização de sílica ativa em uma quantidade adequada dificulta a passagem dos agentes agressivos, pois aumenta a densidade da matriz de cimento, reduzindo o tamanho dos cristais e provocando refinamento da estrutura de poros tornando-o de baixa penetrabilidade, em função da interrupção na comunicação entre os poros pela sua ação. A redução do número e tamanho dos poros reflete na diminuição do transporte de massa para o interior do concreto, e consequentemente aumenta a durabilidade das estruturas, o que pode explicar a redução da profundidade carbonatada com substituição de 10% de sílica ativa.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Isaía (1995) afirmou que teores elevados de adições minerais tendem a diminuir o pH, porém não o suficiente para despassivar a armadura, o que também foi evidenciado por Cadore (2008). Neville (1997) relata que ensaios feitos com pastas maduras de cimento Portland com alcalinidade elevada (pH igual a 13.9) com adição de 10% de fumo de sílica apresentaram uma redução do pH de apenas 0.5, e para 20% de adição a redução do pH foi de 1.0, mostrando que mesmo assim o pH permaneceu acima de 12.5, o que representa um valor adequadamente alto para proteção das armaduras contra a corrosão. Nessas condições, vale verificar se os benefícios proporcionados pelas adições no que se refere a qualidade do concreto, dificultando a penetração de agentes agressivos como os cloretos, compensariam esta redução do pH, uma vez que ela não é significante para despassivar a armadura.

Segundo Isaía (1999), o efeito das adições minerais depende da forma com que a mistura é realizada, se por substituição ou por adição. O autor constatou para a mesma relação a/agl, que há uma diminuição da penetração de CO_2 com a adição de cinza volante sem redução no teor de cimento, enquanto que, sob a forma de substituição de cimento há um acréscimo na profundidade de carbonatação.

4.2 Ação dos Cloretos

A Figura 19 apresenta os resultados da profundidade de penetração de cloretos.

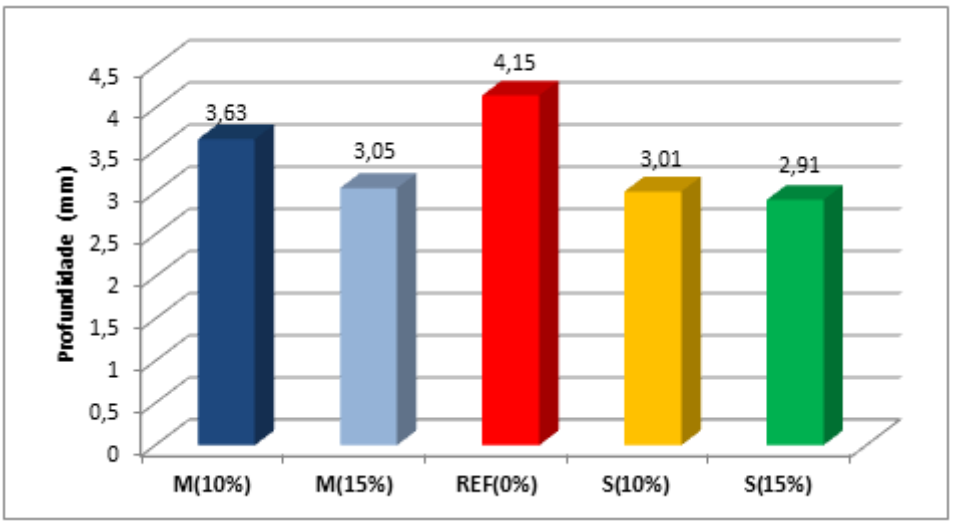


Figura 19 - Profundidade de penetração de íons cloretos

Nota-se que todas as amostras com as adições apresentaram um melhor desempenho quanto à proteção da pasta frente à penetração de cloretos. As amostras com 15% de substituição apresentaram uma menor profundidade de penetração de cloretos em comparação as amostras com 10% de substituição, no entanto esta diferença foi bem pequena, estando de acordo com as pesquisas existentes que há uma “quantidade ótima” da adição para se obter seus benefícios, e a partir desta quantidade, os benefícios acrescidos seriam irrisórios.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A utilização de 10% e 15% de sílica ativa em substituição parcial do cimento resultou em uma redução de 27.47% e 29.88% na profundidade de penetração dos íons cloretos respectivamente.

4.3 Ação combinada de CO_2 e cloretos

Ainda não há um consenso entre os pesquisadores sobre a influência da carbonatação no ingresso de cloretos para o interior do concreto. Talvez esta divergência de opiniões ocorra devido à falta de padronização sobre os diferentes parâmetros envolvidos nos ensaios utilizados, tais como o tipo de ensaio, o tipo e o período de cura das amostras, a temperatura, a umidade, a concentração de NaCl e CO_2 e as diferentes formas de ciclos de indução. Todos estes fatores dificultam a comparação entre resultados.

De um lado, alguns autores defendem que a penetração de cloretos é mais pronunciada quando combinada com a carbonatação do que quando acontece de maneira individual. Segundo Dhir *et al.* (1993) *apud* Monteiro (1996), em concretos parcialmente carbonatados, o ingresso de cloretos pode ser acelerado em até 100% e as intensidades de corrosão devido ao ataque de cloretos pode aumentar de 2 a 3 vezes no concreto carbonatado.

Já Malheiro et. al. (2014) ao estudarem a influência da carbonatação no transporte de cloretos em argamassas submetidas à ação combinada destes dois agentes, constataram claramente a influência da carbonatação sobre a penetração de cloretos para as argamassas estudadas, evidenciando que a carbonatação age reduzindo a concentração superficial de cloretos e a quantidade de cloretos totais presente ao longo da profundidade das amostras. Além disso, de uma maneira geral, os coeficientes de permeabilidade à água e de absorção capilar apresentaram valores mais baixos para as amostras carbonatadas do que para aquelas não carbonatadas e concluíram que há uma dificuldade para passagem dos íons cloreto através da zona carbonatada das argamassas.

Nesta pesquisa, os resultados obtidos mostram que a carbonatação tem uma influência direta sobre a penetração de cloretos, onde as amostras carbonatadas apresentam uma menor profundidade de penetração do que as amostras não carbonatadas como ilustrado na Figura 20. Este fato pode estar relacionado com o refinamento dos poros causado pela carbonatação, o que leva a crer que há uma dificuldade da passagem dos íons cloretos através da zona carbonatada das argamassas.

ISBN: 978-85-65425-32-2

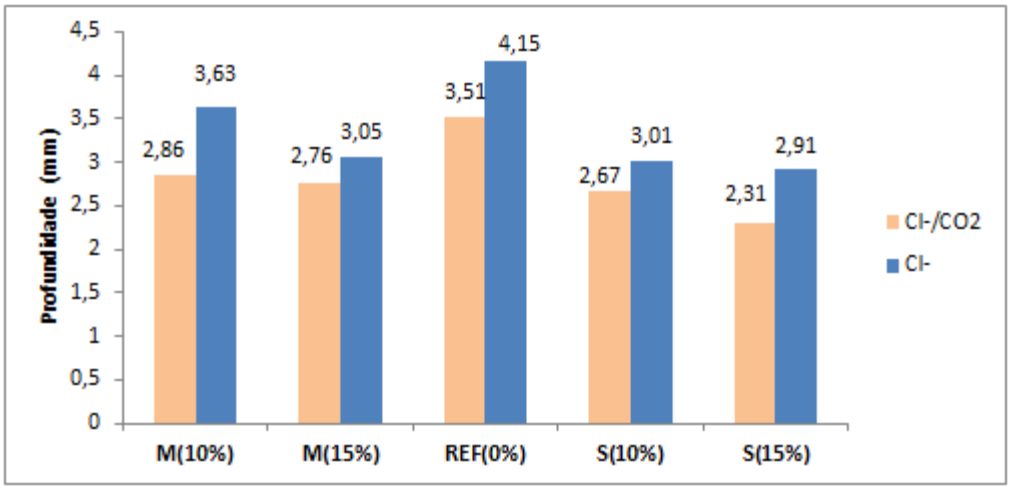


Figura 20 – Comparativo da profundidade de penetração de cloretos em amostras carbonatadas e não carbonatadas

Se a carbonatação, por um lado promove uma alteração microestrutural que torna os poros mais densos, por outro lado, pode ser capaz de liberar os cloretos anteriormente combinados aumentando desta forma a quantidade de cloretos livres que são os que realmente contribuem para a deterioração das estruturas. Para esta verificação, seria necessário um ensaio quantitativo, além de um período maior de estudo.

Quanto ao objetivo da pesquisa que é avaliar a proteção da pasta contra o efeito da ação combinada de CO_2 e íons cloretos, mais uma vez as adições se mostraram benéficas. As adições melhoram o desempenho da proteção da pasta frente à penetração de cloretos e quanto maior o percentual da substituição, menor a profundidade alcançada, ou seja, melhor o desempenho, maior a proteção.

As amostras com substituição parcial do cimento por 15% de sílica ativa foram as que apresentaram melhor desempenho, reduzindo a profundidade de penetração dos íons cloretos em 26.22%. No entanto não se mostraram muito mais favoráveis do que as amostras com substituição por 10% de sílica ativa, que reduziram a profundidade em 23.93%.

O metacaulim também se mostrou benéfico na proteção das amostras carbonatadas frente à penetração de cloretos, reduzindo a profundidade em 21.36% nas amostras com 15% de substituição, e em 18.51% nas amostras com 10% de substituição.

Ressalva-se, no entanto, que o método colorimétrico de aspersão de nitrato de prata é um ensaio meramente qualitativo e de caráter visual, não substituindo ensaios de quantificação dos cloretos presentes na estrutura. Não se pode afirmar que a colocação clara observada nos corpos-de-prova seja exclusivamente referente à presença de cloretos livres, pois a interferência de outros tipos de substâncias pode influenciar na interpretação dos resultados, como exemplo, os sais de carbonatos formados a partir da carbonatação, os possíveis sulfatos presentes na água de amassamento, amônia, álcalis, sais de antimônio, arsênicos, brometos, iodetos, tiocianatos, sais de ferro, fosfatos, ácido tânico e tartaratos (JUCÁ, 2002).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Porém, a praticidade do método é de grande auxílio quando se deseja mapear os pontos de riscos nas inspeções de estruturas de concreto armado, além de permitir detectar *in loco* se a estrutura está contaminada por cloretos, antes de proceder ao envio de materiais para ensaios laboratoriais, que além de caros são bastante demorados.

5. Discussão dos Resultados

O metacaulim e a sílica ativa propiciam muitos benefícios às propriedades do concreto, tanto em relação a sua reologia no estado fresco, quanto ao comportamento mecânico e de durabilidade no estado endurecido. No entanto se torna evidente que as misturas com maiores teores de adição mineral, são fatores preponderantes para as reduções na alcalinidade do sistema, e consequentemente, maiores profundidades de carbonatação.

Na presente pesquisa perceberam-se os seguintes resultados:

Quanto à ação do CO_2:

- Substituições de 10% de sílica ativa foi o único traço que se apresentou benéfico quanto a proteção contra a frente de carbonatação, reduzindo a profundidade carbonatada em 13.08%.
- Os demais traços não apresentaram um bom desempenho, e verificou-se que quanto maior o percentual da substituição, maior a profundidade de carbonatação.
- Os piores desempenhos não ultrapassaram 6.75% da profundidade carbonatada em comparação as amostras de referência.

Quanto à ação de íons cloretos:

- Ambas as adições se mostraram benéficas quanto à proteção da pasta frente à penetração de cloretos, no entanto, a sílica ativa apresentou um melhor desempenho do que o metacaulim.
- A utilização de 10% e 15% de sílica ativa em substituição parcial do cimento resultou em uma redução de 27.47% e 29.88% na profundidade de penetração dos íons cloretos respectivamente, enquanto que a utilização de 10% e 15% de metacaulim resultou em uma redução de 12.53% e 26.51% respectivamente.

Quanto à ação combinada de CO_2 e íons cloretos:

- Ambas as adições se mostraram benéficas quanto à proteção da pasta frente à penetração de cloretos de amostras carbonatadas, no entanto, a sílica ativa apresentou um melhor desempenho do que o metacaulim.
- A utilização de 10% e 15% de sílica ativa em substituição parcial do cimento resultou em uma redução de 23.93% e 26.52% na profundidade de penetração dos íons cloretos respectivamente, enquanto que a utilização de 10% e 15% de metacaulim resultou em uma redução de 18.51% e 21.36% respectivamente.

Destaca-se também a importância do uso de aditivos fluidificantes ou plastificantes em argamassas e concretos com utilização da sílica ativa e metacaulim que possuam baixa relação água/aglomerante para que se mantenham as mesmas condições de trabalhabilidade, e não se obtenha um efeito adverso pela dificuldade do adensamento e consequentemente maior porosidade na pasta.

ISBN: 978-85-65425-32-2

6. Conclusões

Conclui-se, portanto, que a substituição parcial do cimento por metacaulim ou sílica ativa, proporciona maior capacidade de proteção à penetração de íons cloreto e, consequentemente, maior durabilidade das estruturas de concreto. No entanto para compreender-se a capacidade de proteção frente à carbonatação é preciso novos estudos para encontrar a quantidade adequada que não cause efeitos contrários devido à redução da reserva alcalina. Contudo, os benefícios que as adições podem trazer às características do concreto sobrepõem-se a possível redução da reserva alcalina, pois os acréscimos da profundidade carbonatada encontrados foram pequenos em comparação as amostras sem adições, e provavelmente não serão suficientes para a despassivação das armaduras, considerando concretos com alcalinidade inicial elevada e um cobrimento adequado.

Por este motivo, deve-se tomar cuidado nas escolhas dos materiais para cada finalidade aplicada, e atentar-se ao uso de adições principalmente para utilização em ambientes com alta concentração de CO_2.

Por fim, recomenda-se então o uso de sílica ativa e do metacaulim com o objetivo de aumentar a proteção da pasta contra a ação de íons cloretos e consequentemente aumentar a vida útil das estruturas, contanto que sua aplicação não seja em ambientes com elevada concentração de CO_2. Para estes casos, deve-se ter cautela na escolha do tipo e quantidade da adição mineral.

Referências Bibliográficas

ALVES, A.S. (2000). Efeitos Físicos e Químicos de Misturas Pozolânicas na Carbonatação e Penetrabilidadde à Água no Concreto de Alto Desempenho. 2000. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

ANDRADE, J. J. O. (1997). Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Análises das Manifestações Patológicas nas Estruturas no Estado de Pernambuco. 148 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFRGS. Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Versão corrigida 1997. Rio de Janeiro, 1996.

___. NBR 15894: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2010.

___. NBR 15900: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

BARATA, M. S. (2001). Concreto de alto desempenho no estado do Pará: Estudo de viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim. Porto Alegre, 188 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

ISBN: 978-85-65425-32-2

BARBOSA, F.R.; CARVALHO, J.R; COSTA e SILVA, A.J.; FRANCO, A.P.G; MOTA, J.M.F. (2012). Corrosão de armadura em estrutura de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto. 54º Congresso Brasileiro de Concreto. Maceió, Brasil.

BARROS, T. C. M. F. (2015). Análise da resistência mecânica de concretos produzidos com adição de metacaulim e sílica ativa em comparação ao concreto convencional. 69 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Católica de Pernambuco, Brasil.

BORJA, E. V. (2011). Efeito da adição de argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves auto-adensáveis. 231 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

CADORE, W.W. (2008). Estudo da carbonatação da camada de cobrimento de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada. 150 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.

GEMELLI, E. (2001). Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização. Rio de Janeiro: LTC.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. (2013). Metacaulim. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/12/metacaulim.html>. Acesso em: 25 maio 2017.

HELENE, P. R. L. RIBEIRO, D. V. (Org.). (2014). Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise. 1ª Edição, Rio de Janeiro: Elsevier.

HELENE, P.R.L. (1993). Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. São Paulo. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.

ISAIA, G.C. (1995). Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil.

ISAIA, G.C. (1999). Carbonatação de concreto: uma revisão. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

JUCÁ, T.R.P. (2002). Avaliação de cloretos livres em concretos e argamassas de cimento Portland pelo método de aspersão de nitrato de prata. 142p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Goiânia, Brasil.

KIHARA, Y.; VISEDO, G. (2014). A indústria do cimento e o desenvolvimento do Brasil. Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/a-industria-do-cimento-e-o-desenvolvimento-do-brasil>. Acesso em: 02 Abr 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

LACERDA, C. S. (2005). Estudo da Influência da Substituição de Cimento Portland por Metacaulim em Concretos. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Brasil.

MALHEIRO R. et. al. (2014). Influência da carbonatação no transporte de cloretos em argamassas submetidas à ação combinada destes dois agentes. Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Guimarães, Portugal.

MEHTA. P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (2014). Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. 2ª ed. São Paulo: Ed. Ibracon.

MELO, A. B. (2000). Influência da cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica no desenvolvimento da microestrutura dos concretos de cimento Portland. Tese de Doutorado. Interunidades em Ciência e Engenharia dos Materiais IFSC – IQSC – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

METACAULIM DO BRASIL. (2016). Metacaulim HP Ultra. Disponível em: <http:// http://www.metacaulim.com.br/impermeabilizantes-metacaulim-hp-ultra.html>. Acesso em: 02 de abril 2016.

MONTEIRO, E. C. B.; PEREIRA, V. C. O. (2015). Study of the Protective Capacity of Cements Regarding Corrosion of Reinforcements under Joint Action of CO_2 and Chloride Ions. Journal of Civil Engineering and Architecture, v. 9, p 1017-1024.

MONTEIRO, E.C.B. (1996). Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras sob a ação conjunta de CO_2 e íons cloretos. 165 p. Dissertação de Mestrado em Estruturas. Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasil.

MOTA, A. C. M. (2011). Avaliação da presença de cloretos livres em argamassas através do método colorimétrico de aspersão da solução de nitrato de prata. 109 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.

NEVILLE, A.M. (1997). Propriedades do Concreto. 2ª Edição. Porto Alegre: Ed. Pini. 828 p.

NEVILLE, A.M. (2015). Propriedades do Concreto. 912 f. 5ª Edição. Porto Alegre: Ed. Bookman.

NT BUILD 492. (1990). Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coeficiente from non-steady-state migratoin experimets. Nordtest. Finlândia.

PEDROSO, F.L. (2009). Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto e construções – IBRACON, edição 53, São Paulo, 2009. Disponível em:<http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 30 mar 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

RILEM RECOMMENDATIONS. (1988). CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth. p. 453-455.

SANTOS, P. S. (1975). Tecnologia de argilas aplicadas às argilas brasileiras. 1ª Edição, volume 1. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

UNI 7928. (1978). Determination of chloride ion penetration. Italian Standard 7928. Roma.

ISBN: 978-85-65425-32-2

BLOCOS DE CONCRETO INCORPORADOS COM RESÍDUO DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Concrete Blocks Incorporated With Waste From The Petroleum Industry: Analysis Of Physical And Mechanical Properties

Valter Ferreira de Sousa Neto[1], **Jackson** Hugo R. Feitosa Batista[2], **Ana Maria** G. Duarte Mendonça[3]

[1]Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Brasil, valterneto51@gmail.com
[2]Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Brasil, jackson_hugo1994pe@hotmail.com
[3]Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Brasil, ana.duartemendonca@gmail.com

Resumo: Ao passar dos anos, vem sendo utilizado na construção civil, diversos tipos de materiais na tentativa de substituir matérias primas que geram degradação ao meio ambiente, e consequentemente, vários estudos de novas tecnologias vêm sendo feitos, para o desenvolvimento de novos produtos que virão a substituir os materiais utilizados. A utilização de blocos estruturais vem crescendo consideravelmente, devido a sua facilidade e rapidez ao se construir. As edificações estão evoluindo ao decorrer do tempo, e a utilização desses blocos poderia acarretar em diversos benefícios para a obra, tais como a diminuição do custo, a diminuição da quantidade de concreto utilizado nos pavimentos superiores, diminuição do tempo da obra devido ao planejamento prévio, entre outros. Devido ao crescimento da atividade petrolífera em todo mundo, a quantidade de resíduos descartados também teve um crescimento. A utilização do resíduo oleoso do petróleo (ROP), juntamente com o concreto, possibilita a obtenção de blocos de alvenaria com menor custo, contribuindo significativamente para redução do volume de resíduo descartada no meio ambiente. Este trabalho tem como objetivo principal, avaliar as propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto incorporados com 10% e 20% de ROP, em substituição parcial ao cimento. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 14cmx19cmx29cm e submetidos à determinação da resistência a compressão simples e absorção nas idades de controle de 7, 14, 21 e 28 dias. Observou-se que a substituição parcial do cimento por resíduo oleoso de petróleo promoveu uma pequena redução da resistência dos blocos quando comparados aos valores obtidos para os blocos de referência. Para a absorção os resultados alcançados foram similares aos obtidos para o concreto de referência, permitindo conforme a norma da ABNT NBR 6136/2014, classificá-los como Classe C, com função estrutural para uso acima do nível do solo. Para o estudo de microestrutura, obteve-se a diminuição da resistência devido ao fato do cimento não ter sido completamente hidratado.

Palavras-chave: concreto, propriedades, material alternativo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Abstract: Over the years, various types of materials have been used in the construction industry in an attempt to substitute raw materials that generate degradation to the environment, and consequently, several studies of new technologies have been made, for the development of new products that will come to Replace the materials used. The use of structural blocks has been growing considerably due to its ease and speed in the construction. The buildings are evolving over time, and the use of these blocks could lead to several benefits for the work, such as reducing cost, reducing the amount of concrete used in the upper floors, shortening the time of the work due to previous planning, among others. Due to the growth of oil activity worldwide, the amount of discarded waste also grew. The use of oily petroleum residue (ROP) together with concrete makes it possible to obtain masonry blocks with lower cost, contributing significantly to reduce the volume of waste disposed of in the environment. The main objective of this work is to evaluate the physical and mechanics properties of concrete blocks incorporated with 10% and 20% of ROP, in partial replacement with the cement. Test specimens were molded in the dimensions of 14cmx19cmx29cm and submitted to determination of the resistance to simple compression and absorption at the control ages of 7, 14, 21 and 28 days. It was observed that the partial replacement of the cement with oily petroleum residue promoted a small reduction of the resistance of the blocks when compared to the values obtained for the reference blocks. For absorption, the results obtained were similar to those obtained for the reference concrete, allowing according to ABNT NBR 6136/2014 standard, to classify them as Class C, with structural function for use above ground level. For the microstructure study, the resistance decreased it value, due to the fact that the cement had not been completely hydrated.

Keywords: concrete, properties, alternative material.

1. Introdução

A Indústria da Construção Civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, mas por outro lado, comporta-se ainda como grande geradora de impactos ambientais (PINTO, 2005).

A busca por materiais que sejam eficientes e causem pouco ou nenhum dano ao meio ambiente vem incentivando cada vez mais pesquisas sobre produtos oriundos de fontes renováveis e cuja exploração gere benefícios à sociedade que os explore.

A quantidade de resíduo gerado na indústria do petróleo é altíssima e é considerado um grande poluidor do meio ambiente, pois estas indústrias lidam com problemas de vazamentos, derrames, acidentes durante o refino, exploração, transporte e armazenamento.

A geração de resíduos na cadeia produtiva da empresa não ocorre somente pela falta de tecnologia, mas, também, pela falta de políticas de gerenciamento dos resíduos, de ausência de mecanismos de adequação às emissões poluente ao meio ambiente e, principalmente, de ausência de um programa de gestão da qualidade. Investir em tecnologia, em programa de gestão da qualidade, geralmente, traz retorno econômico, pois melhora o produto, aumenta a produção e reduz o desperdício, vislumbrando a redução da geração de resíduos, a reutilização, a reciclagem ou a destinação adequada desse resíduo (ARAÚJO, 2010).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Os resíduos contaminados, que tem como destino as empresas fabricantes de cimento, não são destinados imediatamente após o processo de desembarque realizado nas bases de apoio. São enviados para empresas que processam estes resíduos, uniformizando-os, compactando-os, encapsulando-os e posteriormente armazenando-os, até que haja disponibilidade por parte da empresa cimenteira, em receber esse material para a utilização em fornos de clínquer (SANTOS, 2013).

Cimento é derivado do calcário, material cerâmico que em contato com a água produz uma reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. É o principal produto utilizado em construções civis (SILVA, 2010).

O concreto consiste em um compósito muito usado na indústria da construção civil. Formado por uma matriz de cimento Portland na qual estão inseridos os agregados graúdos e miúdos. O cimento Portland misturado com água forma uma pasta que recobre os agregados graúdos e miúdos, sendo estes normalmente brita e areia, respectivamente (BUCKNER, 2014).

Deste modo, tendo em vista a utilização de um material extremamente poluente, juntamente com o concreto, pode-se produzir blocos de alvenaria estrutural para a construção civil, e analisar suas propriedades físicas e mecânicas para determinação da compatibilidade com o uso.

Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto incorporados com resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%.

2. Materiais e Metodologia

2.1 Materiais

- Cimento Portland CPV-ARI: o cimento Portland foi obtido no comércio local do município de Santa Rita-PB, apresentando massa específica igual a 3,10 g/cm³ e finura igual a 1,40%;
- Agregado graúdo: brita de origem granítica, apresentando diâmetro máximo padronizado para brita 0, apresentando massa específica seca de 2,63g/cm^3, massa específica na condição sss de 2,64 g/cm^3, massa específica aparente igual a 2,67g/cm^3, finura de 6,19 e diâmetro máximo 6,3mm. O pó de pedra utilizado obteve módulo de finura de 4,8 e diâmetro máximo 2,83mm, teve o objetivo de reduzir o índice de vazios entre grãos e agregados, deixando a estrutura mais compacta e com menos poros;
- Agregado miúdo: o agregado miúdo, utilizado na pesquisa, foi do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba, apresentando diâmetro máximo de 2,36mm, finura igual a 2,42%, massa específica de 2,618g/cm^3, massa unitária solta igual a 1,429g/cm^3, e teor de materiais pulverulentos de 0,07%;
- Resíduo Oleoso de Petróleo: o resíduo oleoso de petróleo utilizado no desenvolvimento deste projeto foi proveniente das atividades de Exploração & Produção de petróleo do município de São Sebastião do Passé no estado da Bahia, nordeste do Brasil;
- Água: fornecida pela Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba (CAGEPA).

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.2 Métodos

A Figura 1 ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa.

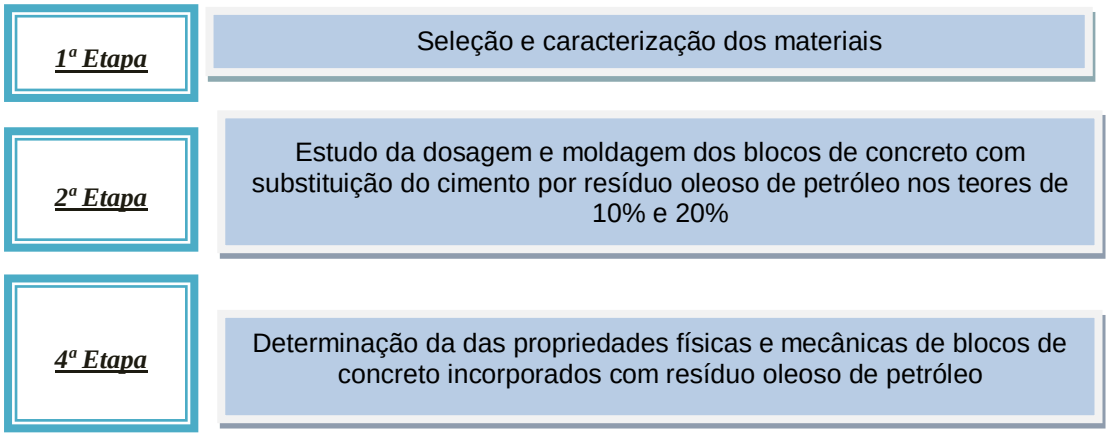


Figura 25 - Fluxograma das etapas da pesquisa

2.2.1 – Seleção dos materiais

Nesta etapa foram selecionadas e caracterizadas as matérias-primas convencionais utilizadas para a produção de blocos de concreto: cimento, agregado graúdo e agregado miúdo.

2.2.2 Caracterização do resíduo oleoso de petróleo.

Foram realizados ensaios de caracterização física, química e mineralógica para o resíduo oleoso de petróleo, dentre eles, pode destacar:

Análise química – EDX: Este ensaio consiste em submeter à amostra a fluorescência de raios X, onde são identificados os componentes físico-químicos do material. O resíduo foi beneficiado em peneira ABNT Nº 200 (abertura de 0,074mm) e o ensaio foi realizado em equipamento EDX 720 da Shimadzu.

Difração de raios-X – DRX: Esta técnica possibilita determinar a estrutura de sólidos cristalinos, conhecer o arranjo dos átomos em retículos cristalinos ou em um único cristal de uma determinada substância. Este ensaio foi realizado em equipamento Shimadzu XDR-6000, utilizando radiação Cukα, tensão de 40kV, corrente de 30mA, varredura de 10º< 2ɵ< 60º e λ1, 54ª.

Análise Térmica Diferencial (ATD) e Termogravimética (TG): As análises térmicas do resíduo oleoso de petróleo foram realizadas em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a 12,5ºC/min. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de 1000ºC e o padrão utilizado nos ensaios de DTA foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.2.3 Estudo da dosagem dos materiais e moldagem dos corpos de prova

A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, a partir da caracterização do agregado graúdo, miúdo e do cimento e do estabelecimento do fator água/cimento. Na primeira etapa foi realizada a caracterização dos materiais (agregados e cimento)e do resíduo oleoso de prtóleo. Na segunda etapa foi realizado o estudo da dosagem, determinando-se a proporção dos materiais. Em seguida, na terceira etapa, determinou-se os teores de substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo e as idades de controle que seriam utilizados para determinação da resistência a compressão dos blocos de concreto.

Assim, após a caracterização dos materiais foi determinada a dosagem 1:2,5:1:1,5, com substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%. A escolha dos percentuais de substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo foi determinada a partir de informações extraídas de pesquisas anteriores acerca do tema e do conhecimento das propriedades do material. A determinação da resistência a compressão foi realizada para as idades de controle de 3, 14 e 28 dias.

Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 14 cm x 19 cm x 29 cm com substituição parcial do cimento por resíduo oleoso de petróleo nos percentuais de 10% e 20%.

Com o intuito de simular as condições de cura às quais os blocos são submetidos na fábrica de pré-moldados, estes, permaneceram estocados em lotes, isentos do contato com água e agentes químicos, estabelecendo-se as idades de controle de 3, 14 e 28 dias.

2.2.4 Resistência à compressão dos blocos de concreto incorporados com resíduo oleoso de petróleo

Para a determinação da resistência à compressão blocos de concreto, foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples do concreto fbk, de acordo com a norma ABNT NBR 6136 (ABNT, 2014), nas idades de controle de 3, 14 e 28 dias.

2.2.5 Determinação da absorção por imersão em água

Para a determinação da absorção do bloco de concreto, foi realizado o ensaio de absorção de água em blocos vazados de concreto simples para alvenaria, de acordo com a norma ABNT NBR 12118 (ABNT 2013).

3. Resultados e Discussões

O Quadro 1 apresenta o resultado da massa especifica real e do percentual de betume do resíduo oleoso de petróleo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 1 - Massa específica real e porcentagem de betume do resíduo oleoso de petróleo

Resíduo Oleoso de petróleo	Massa Específica Real (g/cm^3) 2,342
	Porcentagem de Betume (%) 5,4

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a massa específica do resíduo oleoso de petróleo é de 2,342 g/cm³.

Quanto ao aspecto toxicidade, o resíduo é classificado como tóxico, uma vez que o teor de óleo e graxas ultrapassa o limite estabelecido pela norma que é de 5% em massa. Portanto, de acordo com as características apresentadas, o resíduo oleoso foi classificado como resíduo Classe I ou perigoso de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). O valor obtido foi de 5,4%.

O Quadro 2 apresenta a umidade higroscópica do resíduo oleoso de petróleo.

Quadro 2 - Umidade higroscópica do resíduo oleoso de petróleo

Cápsula	PBh	PBs	Tara	Pss	Pa	h (%)	h (%) média
AL - 11	30,32	26,07	7,05	19,02	4,25	22,34	
AL - 12	23,60	20,64	7,40	13,24	2,96	22,36	22,35

De acordo com os resultados obtidos , verifica-se que a umuidade higroscopica do resíduo oleoso de petróleo é de 22,35%.

A distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso foi obtida através do aparelho analisador de partículas por difração a laser. A Figura 2 apresenta a curva de distribuição granulométrica por difração a laser do Resíduo Oleoso de Petróleo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

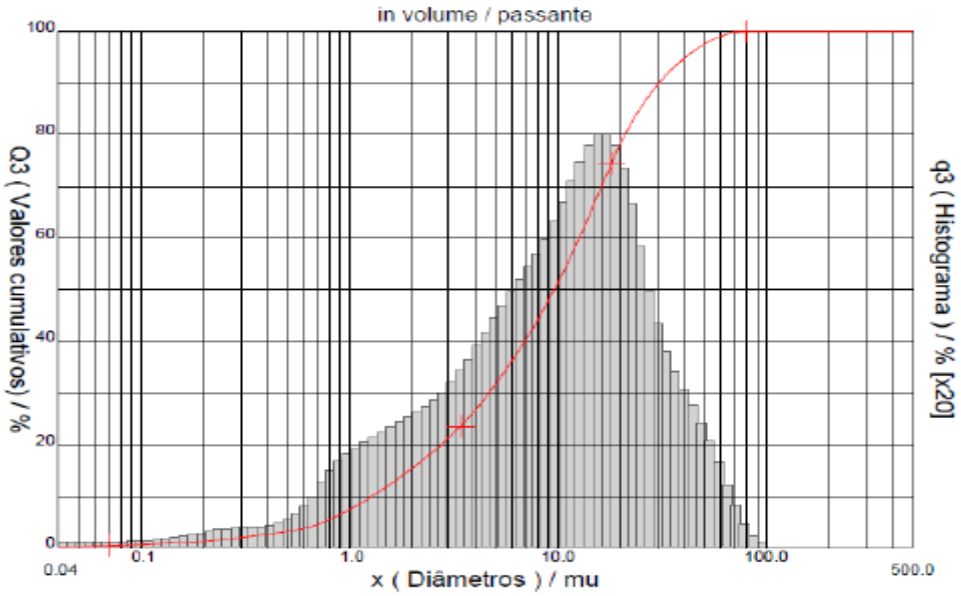


Figura 26 - Curva de distribuição granulométrica por difração a laser do resíduo oleoso de petróleo

De acordo com o comportamento obtido para distribuição granulométrica do resíduo oleoso de petróleo, observa-se que a curva granulométrica apresentou comportamento modal com diâmetro médio de 13,28 µm, com D10 de 1,28 µm, D50 de 9,58 µm e D90 de 30,37 µm. Para este resíduo oleoso não existe partículas superiores a 100 µm.

O Quadro 3 apresenta os resultados obtidos a análise química do resíduo oleoso de petróleo.

Quadro 3 - Composição química do resíduo oleoso de petróleo

Amostras	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	BaO	SO_3	MgO	K_2O	TiO_2	Outros
ROP	58,43	17,06	7,01	5,73	3,26	2,52	2,23	1,82	1,60	0,27

Observa-se que o resíduo oleoso de petróleo é constituído basicamente por: Óxido de Silício (58,4%), Óxido de Alumínio (17%), Óxido de Ferro (7%), Óxido de Cálcio (5,7%), Óxido de Bário (3,2%) e baixos teores de Óxidos de Enxofre, Magnésio, Potássio e Titânio). A composição química obtida para o resíduo oleoso classifica-o como sendo um complexo sílico aluminoso.

A Figura 3 ilustra o difratograma de raios-x do resíduo oleoso de petróleo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

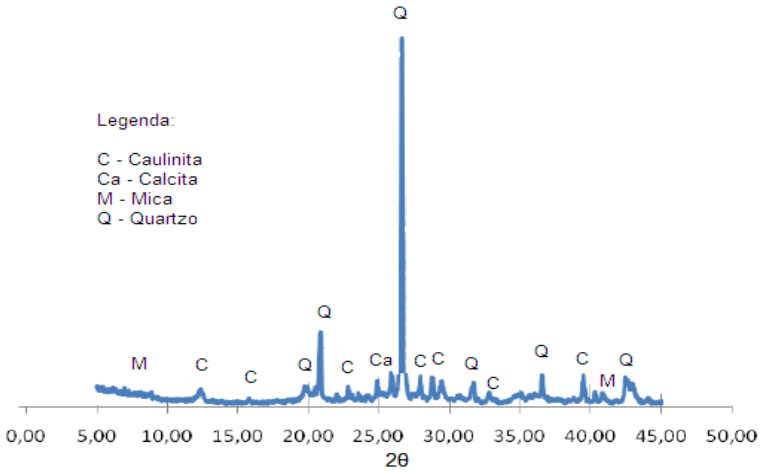


Figura 27 - Difratograma de raios-X do resíduo oleoso de petróleo

Observa-se na Figura 3, que as fases mineralógicas presentes no resíduo oleoso de petróleo são: quartzo, calcita, mica e caulinita.

A Figura 4 ilustra as curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo oleoso de petróleo.

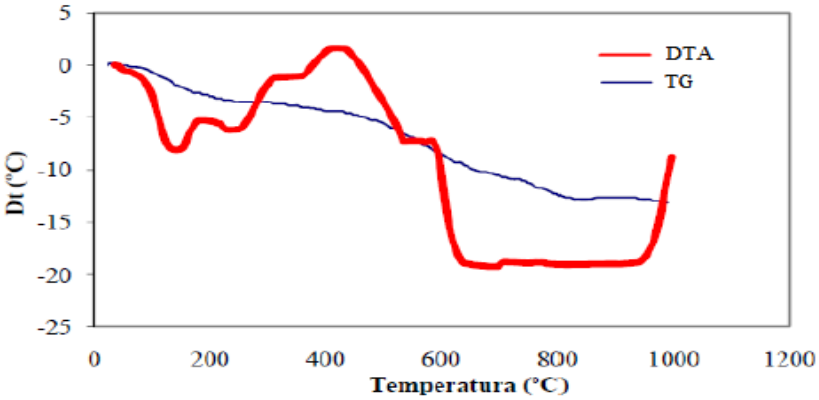


Figura 28 - Análise térmica diferencial (DTA) e termogravimétrica (TG) do resíduo oleoso de petróleo

Analisando as curvas de DTA e TG do resíduo oleoso de petróleo, observa-se a presença de um pico endotérmico em torno de 190°C, correspondente a presença de água livre e adsorvida no material; pico exotérmico em torno de 320°C, correspondente à combustão de matéria orgânica; pico exotérmico a aproximadamente 412°C, correspondente a transformação do quartzo alfa para quarto beta. De acordo com a curva termogravimétrica verifica-se que ocorreu uma perda de massa de 3,75% entre as temperaturas de 25°C e 225°C, e de 8,25% entre as temperaturas de 300°C e 850°C. Verificando-se uma perda de massa total de 12%.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A Figura 5 ilustra os resultados de resistência característica à compressão (fbk) de blocos de concreto de referência e para blocos com substituição do cimento por 10% de resíduo oleoso de petróleo.

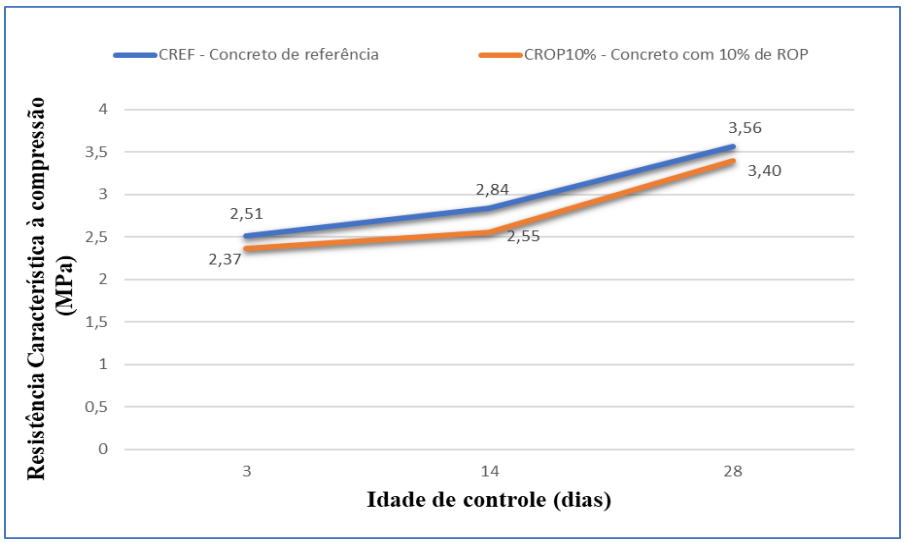


Figura 29 - Resistência característica (fbk) de blocos de concreto

De acordo com os resultados apresentados na Figura 5, observa-se que a substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo no teor de 10% promoveu uma pequena redução da resistência quando comparados com os resultados obtidos para o concreto de referência. Para a idade de controle de 3 dias, observou-se uma redução da resistência em aproximadamente 5,6%, para 14 dias obteve uma redução da resistência em aproximadamente 10,2%, e aos 28 dias obteve-se uma redução de aproximadamente 4,49%, indicando que apesar do resíduo apresentar uma composição majoritária de 58,4% de SiO_2 e 17,06% de Al_2O_3, estes não apresentaram interação química com o cimento, contribuindo desta forma para a redução da resistência do concreto. Outro fator que pode ter ocasionado a redução da resistência a compressão do concreto é a porcentagem de betume de 5,4% presente no resíduo oleoso que pode ter encapsulado as partículas de cimento, impedindo a total hidratação, o que ocasiona a redução da resistência.

Lira *et al*. (2015) expõe que um dos possíveis usos para o resíduo oleoso é sua inclusão no concreto, substituindo uma determinada porcentagem de cimento, a partir de análises químicas e físicas foi possível concluir que o resíduo oleoso e o cimento são compatíveis, não obstante, o teor de resíduo oleoso utilizado deve ser limitado, uma vez que o resíduo possui baixa quantidade de óxido de cálcio, que influi diretamente nas características mecânicas do concreto.

De acordo com a norma da ABNT NBR 6136 (ABNT, 2014) o valor obtido para a resistência característica (fbk) dos blocos de concreto com o teor de 10% de substituição do cimento pelo ROP, permitem classificá-los como classe C.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A Figura 6 ilustra os resultados de resistência característica à compressão (fbk) de blocos de concreto de referência e do concreto com substituição do cimento por 20% de resíduo oleoso de petróleo.

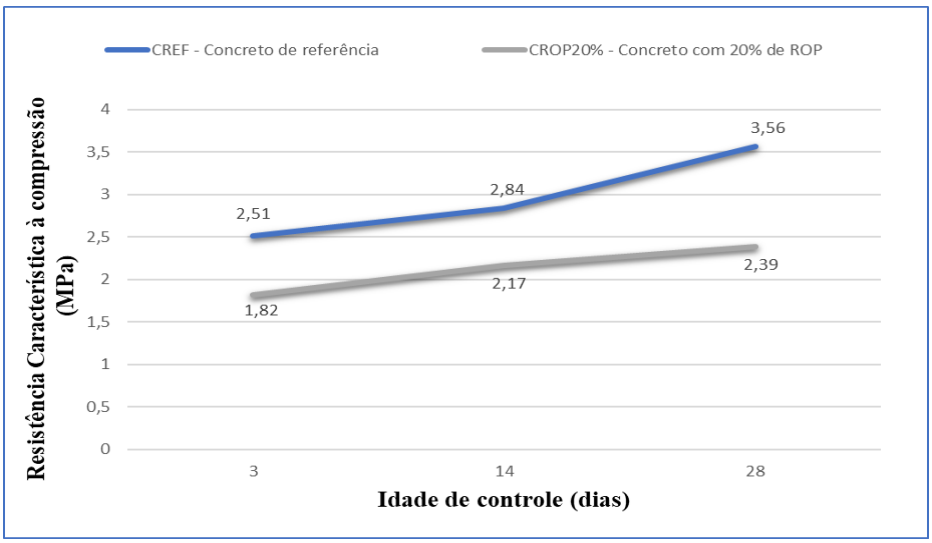


Figura 30 - Resistência característica (fbk) de blocos de concreto

De acordo com os resultados apresentados na Figura 6, observa-se que o teor de 20% de substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo provocou redução da resistência característica (fbk) para todas as idades de controle em estudo.

Para a substituição do cimento por 20% de resíduo oleoso de petróleo observou-se uma redução da resistência característica do concreto (fbk) em aproximadamente 27,5% para a idade de controle de 3 dias, 23,6% para a idade de 14 dias e 32,9% para a idade de 28 dias. Esta redução de resistência deve-se ao elevado teor de substituição de cimento por um resíduo que não possui atividade pozolanica.

Para a substituição do cimento por teor de 20% de resíduo oleoso de petróleo, obteve-se resistência característica à compressão aproximadamente 33% inferior aos valores observados para o concreto de referência.

Candido *et al*. (2015a) também pesquisou a relação do resíduo oleoso incorporado ao concreto, utilizou-se o resíduo oleoso em substituição do percentual de 5% da massa do agregado miúdo na produção de concreto de cimento Portland e a partir da realização de ensaios de caracterização mecânica do concreto endurecido foi observado que a partir dos valores obtidos para resistência do concreto com resíduo oleoso, que este apresenta potencial para utilização como material para a fabricação de calçadas, meio-fio, piso de ciclovias e peças pré-fabricadas

A Figura 7 ilustra os resultados de absorção de água de blocos de concreto de referência, e do concreto com substituição do cimento por 10% e 20% de resíduo oleoso de petróleo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

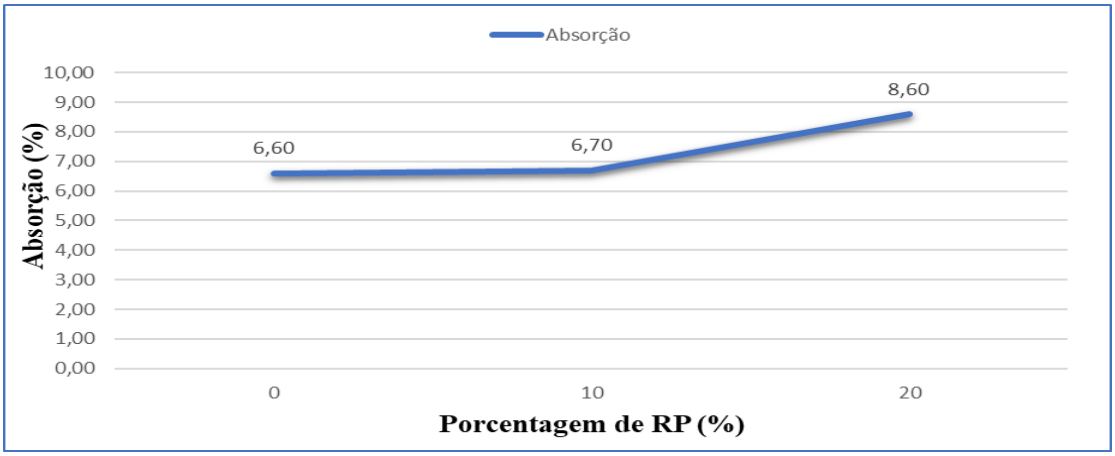


Figura 7 – Teor de absorção de água

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a substituição do cimento por residuo oleoso de petróleo ocasionou um aumento da absorção de água no concreto, e, mesmo verificando-se que a curva granulometrica do resíduo apresenta tamanho de grãos que possibilita um correto empacotamento das partículas, devendo, portanto, contribuir para a redução da absorção, este fenômeno não foi observado.

A Figura 8 ilustra os resultados de absorção e resistência a compressão simples para a idade de controle de 28 dias para o concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%.

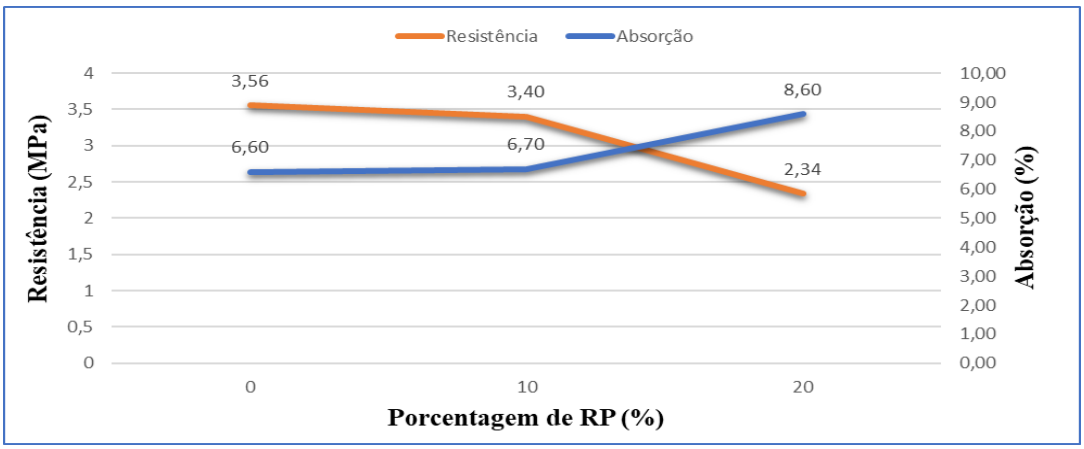


Figura 8 - Absorção e resistência a compressão simples para a idade de controle de 28 dias para o concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a incorporação de resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20% promoveu o aumento da absorção e redução da resistência a compressão simples para os blocos de concreto.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Lima (2007) realizou estudos em concretos plásticos incorporados com resíduo oleoso de petroleo e determinou a resistência à tração e a compressão e verificou que a redução da resistência foi diretamente proporcional ao aumento do teor de resíduo incorporado.

De acordo com a norma da ABNT NBR 6136/2014, blocos de concreto incorporados com teores de 10% de resíduo oleoso de petróleo são classificados como classe C, com absorção ≤ 10 e resistencia a compressão fbk ≥ 3,0. Para o teor de 20% de incorporação a resistência obtida impede que o bloco seja utilizado com finalidades estruturais.

4. Conclusões

De acordo com resultados obtidos, pode concluir que:

- Na caracterização físico-química do resíduo oleoso de petróleo, obteve-se uma massa especifica de 2,342g/cm³ e porcentagem de betume de 5,4%, classificando esse resíduo como tóxico, pertencente à classe I de acordo com a NBR 10004/2014;
- O melhor resultado de incorporação do resíduo oleoso de petróleo a blocos de concreto se deu para uma substituição parcial do cimento por 10% de resíduo oleoso de petróleo, sendo possível sua classificação segundo a norma da ABNT NBR 6136/2014 como bloco classe C;
- Para a substituição de 20% de cimento por resíduo oleoso de petróleo em blocos de concreto, tem-se que os blocos apresentaram significativa perda de resistência, sendo possível seu uso somente para alvenaria de vedação, sem função estrutural;

Referências

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – Método de Dosagem de Concreto, 1984. Revisado em 1995 - Parâmetros de Dosagem de Concreto.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2003). NBR NM 53:2003: Agregados - Determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

- NBR 6136:2014: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Rio de Janeiro, 2014.

- NBR 7211:2009: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

- NBR 7217: Determinação de composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 1982.

- NBR 7219: Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados. Rio de Janeiro, 1982.

- NBR NM 45:2006: Agregados– Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2012.

ISBN: 978-85-65425-32-2

- NBR 9776: Determinação da massa especifica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

- NBR 11579: Cimento Portland Comum – Determinação do modulo de finura. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS (2013b). O setor de rochas ornamentais e de revestimento: situação atual, demandas e perspectivas frente ao novo marco regulatório da mineração Brasileira. Fevereiro de 2013. Informe 06/2013. São Paulo – SP.

Araújo, A. M. Dosagem de concreto para blocos contendo resíduo da indústria de artefatos de cimento. Programa de Pós-Graduação em Geotécnica e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2010.

Buckner, C. D. Concrete Design: for the civil PE and structural SE exams. Belmont, California: Professional Publications (2ª Ed.), 2014.

Candido, T. G.; Mendonça, A. M. G. D.; Chagas Filho, M. B.; Nascimento, M. H. A. Estudo do comportamento do concreto com incorporação de resíduo oleoso da indústria de (E&P) de petróleo. I CONEPETRO Anais. Campina Grande, 2015.

Lima, R. D L M. Determinação das propriedades mecânicas do concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Campina Grande, departamento de Engenharia Civil, 2017.

Lira, Y. C.; Mendonça, A. M. G. D.; Nascimento, M. H. A.; Costa, D. B.; Chagas Filho, M. B. Análise da compatibilidade entre resíduo oleoso da indústria de e & p de petróleo e cimento Portland para utilização em concreto. I CONEPETRO Anais. Campina Grande, 2015.

Pinto, T. P. Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SINDUSCON-SP. 2005. São Paulo: SINDUSCON-SP, cap. 1 (1ª Ed.).

Santos, G. B. dos. (2013). Gerenciamento de resíduos na indústria de exploração e produção de petróleo: atendimento ao requisito de licenciamento ambiental no Brasil. Artigo. Universidade do Sul de Santa Catarina, 13, 2013.

Silva, A. R. Estudo térmico e de materiais na construção de casas populares com blocos confeccionados a partir de um composto a base de cimento, gesso, eps e raspa de pneu. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2010.

ISBN: 978-85-65425-32-2

INVESTIGAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO MANUFATURADO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE PETRÓLEO EM PÓ

Investigation Of The Resistance Of Concrete Manufactured With The Incorporation Of Powdered Petroleum Residue

Rayff De La Tour Melo LIMA[1], **Ana** Maria G. Duarte MENDONÇA[2], **Camila** G. Luz NUNES[3]

[1] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, rayff.ml@gmail.com

[2] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, ana.duartemendonca@gmail.com

[3] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, camilanunes.engcivil@hotmail.com

Resumo: A indústria de petróleo produz grandes quantidades de resíduos oriundos dos diversos processos de separação, onde por muitas vezes são resíduos perigosos, difíceis de serem processados e armazenados sem uma devida solução para reciclagem ou reutilização, entre eles tem-se os resíduos de petróleo que ficam depositados em tanques ao ar livre sem destinos definidos que acarretam em prejuízo financeiro e causam um risco ambiental incalculável. Logo, buscasse a utilização destes resíduos associados a outras substâncias e processos, fazendo com que ele possa substituir outros materiais já existentes e assim desempenhar características positivas ou de comportamento semelhante sem comprometimentos. Neste sentido, este estudo tem como objetivo a avaliação da resistência a tração por compressão diametral de concretos com substituição parcial do cimento por resíduo de petróleo em pó, em proporções de 10% e 20%. Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10 cm x 20 cm para o concreto de referência e para o concreto com substituição do cimento por resíduo de petróleo em pó nos teores de 10% e 20%, sequencialmente submetidos a determinação da resistência a tração por compressão diametral nas idades de cura de 7, 14 e 28 dias. Os resultados obtidos para o concreto com incorporação de 10% de resíduo de petróleo em pó, indicaram uma redução de resistência à tração de 32,98%. Para a incorporação de 20% de resíduo de petróleo em pó, verificou-se que houve uma tendência maior a redução da resistência à tração, verificando-se uma redução de 65,38%, quando comparado com o concreto de referência para a idade de 28 dias.

Palavras-chave: Concreto, propriedades, material alternativo.

Abstract: The petroleum industry produces large amounts of waste from various separation processes where they are often hazardous waste, difficult to process and stored without a solution for recycling or reuse solution between them. The oily residue of petroleum deposited In outdoor tanks without destinations, it is mandatory what is the case of an incalculable environmental agent. Therefore, ostentation of products related to other processes and processes, causing it to replace other existing materials and thus perform positive or behavioral characteristics without compromised purposes. In this sense, this study aims to evaluate the tensile strength by diametrical compression of concretes with

ISBN: 978-85-65425-32-2

partial replacement of the cement by oily petroleum residue (ROP), in proportions of 10% and 20%. Cylindrical specimens were molded in the 10 cm x 20 cm dimensions for the reference concrete and for the concrete with cement substitution by oily petroleum residue in the contents of 10% and 20%, sequentially submitted to determination of tensile strength by diametral compression at healing ages of 7, 14 and 28 days. Where there are results obtained for the concrete with incorporation of 10% oily petroleum residue, there is a reduction of tensile strength of 32.98%, already, when incorporating 20% oily petroleum residue, it is verified that There was a greater tendency to reduce the tensile strength, a reduction of 65.38% when compared to the reference concrete for the 28 days age.

Palavras-chave: Concrete, properties, alternative material.

1. Introdução

A indústria de exploração e produção (E&P) de petróleo e de seus derivados tem crescimento geométrico ao longo dos anos, devido ao aumento das demandas energéticas e também em razão de esse combustível fóssil ser a principal fonte de energia mundial, consequentemente, a essas necessidade há um grande quantidade de resíduos gerados, os resíduos oleosos de petróleo (ROP), são misturas de óleos, pedra, areia e água, que são armazenados após as diversas etapas de separação do petróleo e seus derivados, esse resíduo é classificado pelo NBR 10004/2004 como de classe I (Perigoso).

Durante muitos anos, a maior preocupação com resíduos oleosos gerados peal indústria de petróleo e gás natural concentrou-se apenas na redução do conteúdo de óleo, com o intuito de recuperar a parcela com valor comercial. Ao final dos processos, restavam os resíduos sólidos ou semi-sólidos, conhecidos como “borra oleosa” e “solo contaminado com petróleo”, os quais, por não possuírem valor comercial, eram acumulados em lagoas ou diques, causando infiltrações no solo e contaminação ao meio ambiente (MARTINS,2011).

O tratamento e a disposição da borra oleosa representam os maiores desafios para as indústrias de petróleo, onde diversas tecnologias convencionais têm sido executadas, tais como o tratamento biológico, incineração, entre outros. Porém, nenhuma tecnologia tem alcançado atualmente uma solução altamente satisfatória e eficaz do ponto de vista ambiental. Consequentemente, existe uma necessidade de tecnologias ambientais capazes de neutralizar eficazmente a borra oleosa e de reduzirem seus impactos adversos no ambiente (COSTA, 2010).

Como opção para a disposição final do resíduo é plausível realizar a avaliação do comportamento mecânico oferecido pelo ROP quando ele atua na composição de uma mistura de concreto estrutural, onde faz-se a substituição parcial do cimento pelo ROP, logo está substituição poderá vir a ser uma opção ecologicamente adequada à deposição dos resíduos oleosos de petróleo e ao mesmo tempo, ser um fator redutor no uso de cimento na construção civil, consequentemente, redução de custos, diminuição da demanda de exploração de matéria prima (recursos naturais não renováveis), redução de poluição e consumo de energia na produção do cimento.

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico do concreto incorporado com resíduo de petróleo em pó (ROP), buscando assim a viabilidade na

ISBN: 978-85-65425-32-2

utilização de tal resíduo, como solução a redução do descarte no meio ambiente, sendo assim uma solução viavel para as industrias da construção civil e petrolifera.

2. Materiais e Metodologia

2.1 Materiais

Os materiais utilizados neste estudo foram:

- **Agregado graúdo**: Brita de origem granítica, apresentando diâmetro máximo padronizado para brita 1 (19,1mm), apresentando massa específica seca de 2,886g/cm^3, massa específica aparente igual a 3,065g/cm^3, finura de 6,19 e diâmetro máximo 19,1mm.
- **Agregado miúdo**: O agregado miúdo, apresentando diâmetro máximo de 2,36mm, finura igual a 2,42%, massa específica de 2,618g/cm^3, massa unitária solta igual a 1,429g/cm^3, e teor de materiais pulverulentos de 0,07%.
- **Cimento Portland CPII F32**: O cimento Portland da marca Elizabeth, apresentando massa específica 2,96 g/cm^3 (DNER – ME 085:1994) e módulo de finura de 2,84% (NBR 11579:2012).
- **Resíduo de pétroleo em pó**: O resíduo de petróleo em pó é proveniente de tanques de decantação de resíduos, após os processos de extração de compostos importantes comercialmente. Apresenta massa específica de 2,344 g/cm^3, porcentagem de betume de 5%, umidade higroscópica de 22,35%, com composição química majoritária de 58,4% de SiO_2, 17% de Al_2O_3 e 7% de Fe_2O_3. Apresenta granulometria com comportamento monomodal, com diâmetro médio de 13,28 µm, D10 de 1,28 µm, D50 de 9,58 µm e D90 de 30,37 µm e as fases mineralógicas são: quartzo, calcita, mica e caulinita.

2.2 Metodologia

A Figura 1 ilustra o fluxograma das etapas da pesquisa.

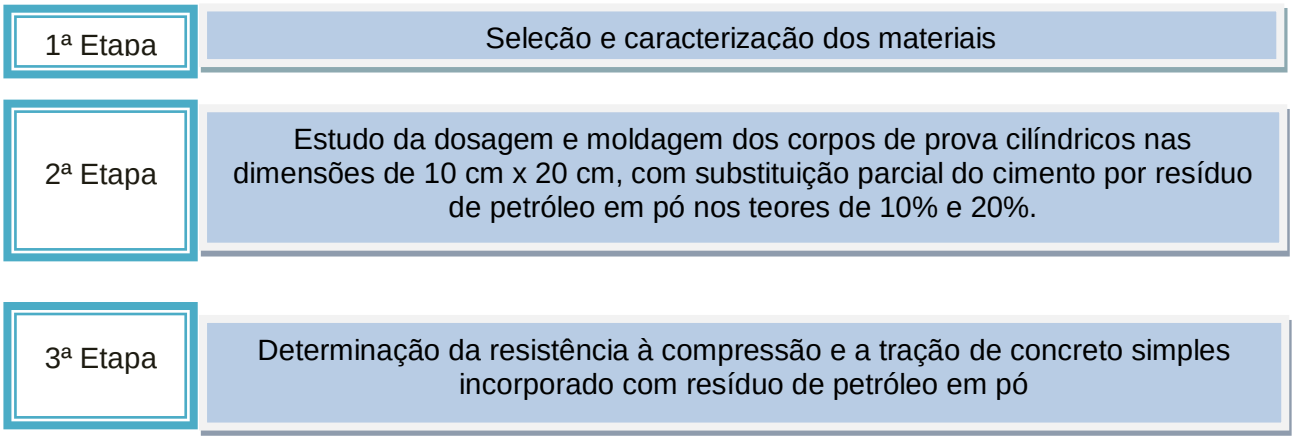


Figura 1 – Fluxograma das etapas da pesquisa

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.2.1 Seleção dos materiais

Nesta pesquisa os materiais utilizados foram submetidos à caracterização física, e químico-mineralógica, para a determinação do estado de cominuição, componentes químicos e fases mineralógicas presentes.

O Quadro 1 apresenta os ensaios realizados para os materiais utilizados neste estudo.

Quadro 1 – Ensaios realizados para a caracterização dos materiais

<table>
<tr><th>Agregado miúdo</th><th>Agregado graúdo</th><th colspan="2">Resíduo de petróleo em pó - ROP</th><th>Cimento Portland CP II-Z-32</th></tr>
<tr><td>Massa específica</td><td>Massa específica</td><td>Massa específica real</td><td>Análise química por fluorescência</td><td rowspan="2">Finura</td></tr>
<tr><td>Massa unitária</td><td>Absorção</td><td>Porcentagem de betume</td><td>Difração de raio-X (EDX)</td></tr>
<tr><td>Granulometria</td><td>Massa unitária</td><td>Teor de umidade higroscópica</td><td>Análise Térmica Diferencial (ATD)</td><td rowspan="2">Massa Específica</td></tr>
<tr><td>Módulo de finura</td><td>Granulometria</td><td>Análise granulométrica por difração a laser (AG)</td><td>Análise termogravimétrica (ATG)</td></tr>
</table>

2.2.2 Estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova

<u>Dosagem dos materiais</u>

A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, a partir da caracterização do agregado graúdo, miúdo e do cimento e do estabelecimento do fator água/cimento. O traço unitário em massa utilizado foi de 1:2,3:2,74:0,54 que foi determinado para atingir 20 MPa.

<u>Moldagem dos corpos de prova</u>

Foram moldados corpos de prova cilíndicos de dimensões padronizadas 10 cm x 20 cm para o concreto de referência e para o concreto com substituição do cimento por resíduo de petróleo em pó nos teores de 10% e 20%. A Figura 2 ilustra os corpos de prova moldados para o concreto de referência e para o concreto com substituição do cimento por resíduo de petróleo em pó.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2 – Corpos de prova moldados

2.2.3 Determinação das propriedades mecânicas

Resistência à compressão simples

A determinação da resistência a compressão foi realizada de acordo com o procedimento do método de ensaio da ABNT NBR 5739:2007. Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões padronizadas de 10 cm x 20 cm e rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias.

Resistência à tração por compressão diametral

Avaliando a propriedade mecânica do concreto a partir do ensaio de resistência à tração por compresão diametral, conforme a NBR 7222:1994. Os corpos de prova foram ensaiados nas idades de 7, 14 e 28 dias.

Os resultados obtidos para os ensaios de resistência a compressão simples e a tração resultam da média de 6 corpos de prova.

3. Resultados e Discussões

A Figura 3 ilustra a resistência a compressão simples para o concreto manufaturado com substituição do cimento por teores de 10% e 20% de resíduo de petróleo em pó, na idade de cura de 28 dias.

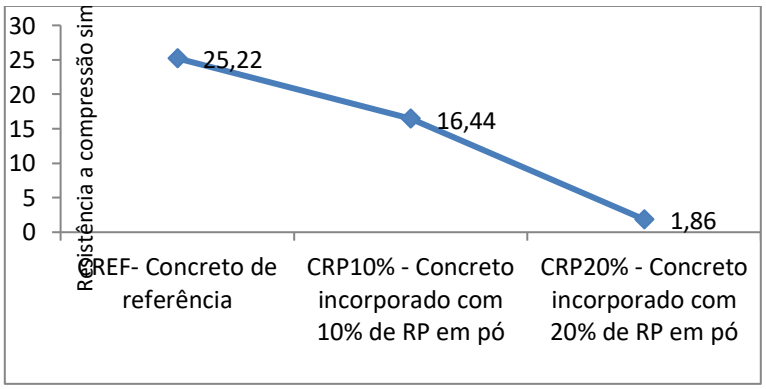


Figura 3 – Resistência compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias de idade.

ISBN: 978-85-65425-32-2

De acordo com os resultados obtidos, pôde-se verificar que a substituição do ciemnto por resíduo de petróleo em pó promoveu a redução da resistência do concreto, especialmente para o teor de susbtituição de 20%.

Este fato deve-se a substituição do cimento, principal componente responsável pelo ganho de resistência, por um material alternativo que apesar de apresentar em sua composição quimica componentes que poderiam auxiliar no ganho de resistencia não contribuiu para a interação com a pasta de cimento.

Verificou-se para o teor de 10% de substituição, uma redução de resistência de 34,82% e para o teor de 20% de substituição uma redução de 92,63%.

Este fato deve-se a ausência de atividade pozolanica do resíduo de petróleo em pó que ao substituir o cimento, principal componente do concreto responsável pela evolução da resistência ocasionou a redução da resistência. Outro fato que justifica este comportamento é a presença de óleo na composição do resíduo que provavelmente encapsulou a partícula de cimento impedindo a sua completa hidratação.

Nascimento *et al*. (2015) avaliou a resistência a compressão de concretos lateriticos incorporados com resíduo de petróleo em pó e, verificou para todas as idades de cura, que os corpos de prova de concreto laterítico de referência apresentaram resistências à compressão superiores ao concreto com a substituição de 5% em massa do agregado miúdo por resíduo oleoso. A diferença estiveram entre 4,6 MPa e 5,1 MPa.

Os resultados obtidos para a resistência à tração dos corpos de prova de concreto manufaturados com substituição do cimento por teores de 10% e 20% de resíduo de petróleo em pó, nas idades de cura de 7, 14 e 28 dias estão expostos no Quadro 2, 3 e 4.

Quadro 2 – Resistência à tração aos 7 dias

Teor de substituição (%)	Carga média (t)	Carga Aplicada (KN)	ftd (MPa)
0	5,00	49,03	1,56
10	4,50	44,13	1,40
20	3,50	34,32	1,09

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 3 – Resistência à tração aos 14 dias

Teor de substituição (%)	Carga média (t)	Carga Aplicada (KN)	ftd (MPa)
0	6,50	63,74	2,03
10	5,75	56,39	1,79
20	4,00	39,23	1,25

Quadro 4 – Resistência à tração aos 28 dias

Teor de substituição (%)	Carga média (t)	Carga Aplicada (KN)	ftd (MPa)
0	8,25	80,90	2,58
10	6,20	60,80	1,94
20	5,00	49,03	1,56

A Figura 4 ilustra a evolução da resistência à atração do concreto manufaturado com substituição do cimento por teores de 10% e 20% de resíduo de petróleo em pó, nas idades de cura de 7, 14 e 28 dias.

ISBN: 978-85-65425-32-2

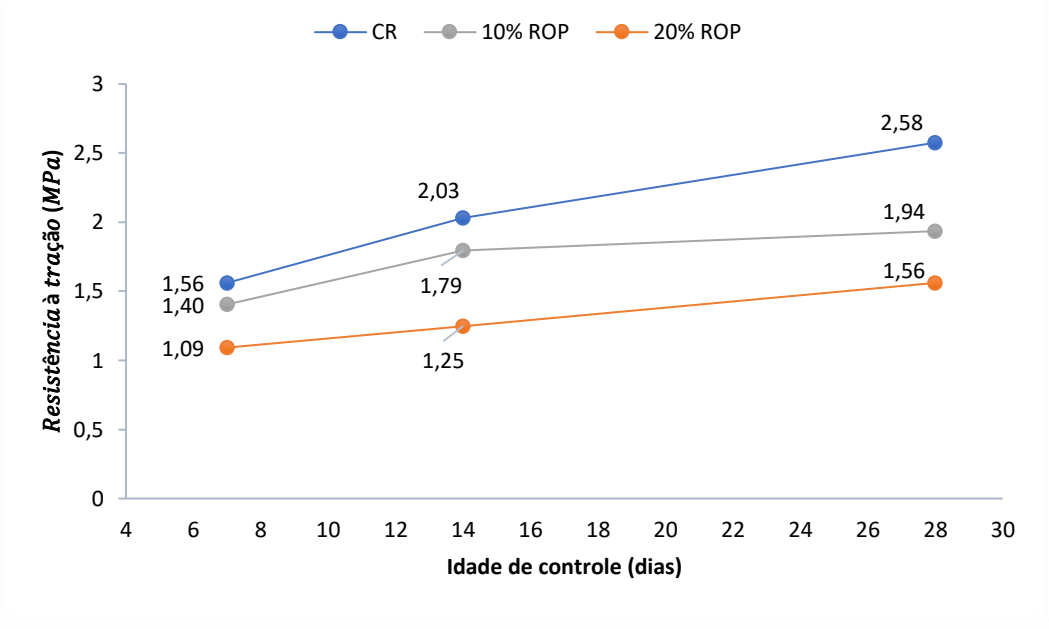


Figura 4 – Evolução da resistência à tração ao longo de 28 idades.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do cimento por resíduo de petróleo em pó promoveu a redução da resistência a tração do concreto, indicando que quanto maior o teor de substituição maior será a redução da resistência, apesar da composição química indicar a presença de óxido de silício e alumínio, estes componentes não apresentaram interação química com o cimento, contribuindo desta forma para o redução da resistência.

Estudos realizados por Mendonça *et al*. (2015) indicaram que a substituição parcial do cimento por ROP apresentaram uma tendência a redução de resistência.

Em relação ao concreto de referência na idade de cura de 28 dias, houve uma redução de 32,98% para substituição de 10% de ROP na mistura, e já para a substituição de 20% de ROP houve uma redução de 65,38% em sua resistência.

A Figura 5 ilustra os corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 5: Corpos de prova após ensaios de resistência à tração por compressão diametral.

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

A substituição do cimento Portland por resíduo de petróleo em pó nos teores de 10% e 20% promoveu a redução da resistência à compressão nos percentuais de 34,82% e 92,63% respectivamente.

Para o concreto com incorporação de 20% de resíduo de petróleo em pó, verifica-se que houve uma tendência maior a redução da resistência à tração, verificando-se uma redução de 65,38%, indicando que quanto maior o teor de incorporação do resíduo, mais evidente será a redução da resistência.

Este fato deve-se a ausência de atividade pozolanica do resíduo oleoso de petróleo que ao substituir o cimento, principal componente do concreto responsável pela evolução da resistência ocasionou a redução da resistência. Outro fato que justifica este comportamento é a presença de 5% óleo na composição do resíduo que provavelmente encapsulou a partícula de cimento impedindo a sua completa hidratação, sendo responsável pela redução das resistências obtidas.

Referências

ABCP – Associação Brasileira de Concreto Portland. Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de Estrutura de Concreto. Procedimentos. 2014.

_____. NBR 6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria, 2014.

_____. NBR NM 248 – Agregados - Determinação da composição granulométrica, 2003.

_____. NBR 10004 - Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ISBN: 978-85-65425-32-2

_____. NBR 11579: Cimento Portland Comum – Determinação do modulo de finura. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificação, 2009.

_____. NBR 7222: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. NBR NM 23 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

COSTA, G. S. Extração das Espécies Metálicas de Resíduo Sólido Proveniente da Pirólise da Borra Oleosa de Petróleo. Dissertação de Mestrado. Química. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.

DNER – ME 085:1994 Material finamente pulverizado - determinação da massa específica real.

Martins, Elayne Christian Pereira, FILHO, Milton Bezerra das Chagas. Análise da utilização de resíduos da indústria de petróleo em pavimentos de asfalto. In: VIII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2011.

Mendonça, A. M. G. D.; Chagas Filho, M. B.; Guedes, T.; LIRA, Y. C.; Costa, D. B. Estudo das resistências de concretos dosados com resíduo oleoso de petróleo. I CONEPETRO Anais. Campina Grande, 2015.

Nascimento, M. H.; Chagas Filho, M. B.; Guedes, T. Lira, Yane C.; Mendonça, A.M. G. D. Análise da resistência do concreto lateritico produzido a partir da substituição do agregado miúdo por resíduo oleoso da indústria de E&P de petróleo. In: 57° Congresso Brasileiro de Concreto, Bonito - MS, 2015.

ISBN: 978-85-65425-32-2

AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DO CPR AO CONCRETO BASE POR MEIO DO ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA (PULL-OFF).

Assessment Of The RPC Adherence To The Base-Concrete Using The Pull-Off Test.

Anderson C. GUSMÃO[1], **José Luiz R.** PAES[2], **Gustavo E. S.** LIMA[3]
Gustavo S.VERISSIMO[4] **Leonardo G.**PEDROTI[5]

[1] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, andeson.gusmao@ufv.br
[2]Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, jlrangel@ufv.br
[3] Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, gustavo.lima@ufv.br
[4]Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, gustavo@ufv.br
[5]Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, leonardo.pedroti@ufv.br

Resumo: Atualmente, há uma grande preocupação do mercado da construção civil com os aspectos relacionados à durabilidade, manutenção e a adequação das edificações aos novos parâmetros estabelecidos pelas normas. Dessa forma, é grande o estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias destinadas a resolver os problemas de estruturas deterioradas, danificadas ou ainda que se tornaram obsoletas pelo uso. No contexto da recuperação de estruturas de concreto, os concretos de pós reativos (CPR) podem ser entendidos como uma alternativa de material de reparação de elementos estruturais devido às características físicas, químicas e mecânicas que apresentam. Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência de aderência a tração direta entre o concreto convencional e concreto de pós reativos por meio do ensaio de resistência de aderência a tração direta e comparar com materiais de reparo largamente utilizados no mercado brasileiro. Por meio de um programa experimental buscou-se avaliar o comportamento da aderência do CPR ao concreto-base onde o CPR apresentou o melhor desempenho quando comparado aos demais materiais estudados no ensaio de resistência de aderência a tração direta. Em virtude do bom desempenho verificado por meio do ensaio de aderência realizado, quando comparado a outros materiais disponíveis no mercado, concluiu-se que o CPR apresenta um desempenho mecânico superior às argamassas de reparo avaliadas. Os resultados alcançados confirmam o potencial do CPR como material de reparo estrutural.

Palavras-chave: CPR, aderência, recuperação estrutural

Abstract: Currently, there is a great concern of the construction market with the aspects related to the durability, maintenance and the adequacy of the buildings to the new parameters established by the norms. In this way, the development of new technologies to solve the problems of damaged, damaged or obsolete structures is stimulated. In the context of the recovery of concrete structures, reactive powders concrete (RPC) can be understood as an alternative of repairing material of structural elements due to the physical, chemical and mechanical characteristics that they present. The objective of this study was to evaluate

ISBN: 978-85-65425-32-2

the direct tensile bond strength between conventional and concrete reactive powders using the direct tensile adhesion strength test and compare them with repair materials widely used in the Brazilian market. By means of an experimental program, it was tried to evaluate the behavior of the RPC adhesion to the concrete-base where the RPC presented the best performance when compared to the other materials studied in the test of resistance of adherence to direct traction. Due to the good performance verified by the adhesion test performed, when compared to other materials available in the market, it was concluded that the RPC presents a mechanical performance superior to the repair mortars evaluated. The results confirm the potential of RPC as structural repair material.

Keywords: RPC, adherence, structural repair

1. Introdução

As estruturas de concreto armado podem ter o seu desempenho quanto à durabilidade comprometida em função de diversas causas como, por exemplo: erros de execução, falhas na concepção estrutural, utilização de materiais inadequados, carregamentos impostos, danos provocados por acidentes, agentes agressivos, dentre outros.

Visando reestabelecer o desempenho da estrutura e impedir o avanço do processo de deterioração, geralmente são necessárias intervenções corretivas. Para uma correta escolha das técnicas e dos materiais de recuperação é importante a correta identificação das fontes causadoras dos danos aos materiais e uma ampla avaliação das condições estruturais.

No mercado encontram-se disponíveis diversos produtos destinados à recuperação de estruturas. Entretanto, devido às diversas fontes de deterioração, tipos de substrato e condições ambientais, nem sempre é possível encontrar um produto que atenda a todas as exigências técnicas concomitantemente. Nesse sentido, fica evidente que existe um potencial de desenvolvimento de pesquisas que busquem propor novos materiais de recuperação ou mesmo a definição de novas aplicações para materiais já existentes.

Neste contexto, o concreto de pós reativos (CPR) mostra-se como uma boa opção para ser empregada como material de recuperação, por apresentar características como baixa porosidade, elevada resistência à penetração de agentes agressivos e alta resistência mecânica. O CPR é composto por uma mistura de pós cujos diâmetros máximos são inferiores a 2mm, dentre os quais tem-se o cimento Portland, sílica ativa e pós minerais ultrafinos. São incorporados ainda aditivos de alta eficiência e água. É um material com o mínimo de defeitos em sua microestrutura, tais como microfissuras e poros, o que permite resistir a maiores tensões (VANDERLEI, 2004).

Dentre as diversas propriedades requeridas para que um material seja aplicado em trabalhos de recuperação estrutural com um desempenho satisfatório, a aderência deve ser tratada com especial atenção. Essa propriedade está ligada à capacidade de ligação do material de recuperação ao substrato e a estabilidade dimensional da região recuperada. Cabe destacar que um material com baixa resistência de aderência não é adequado para uso em reparos estruturais, pois a variação dimensional do material possivelmente induziria tensões que causariam desplacamento da camada de recuperação.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Neste trabalho, buscou-se avaliar a resistência de aderência do CPR ao concreto convencional, com vistas ao potencial de uso como material de reparo estrutural.

2. Materiais e métodos

2.1 Características do concreto-base (CB)

Para efeitos do presente trabalho, definiu-se que os corpos de prova a serem reparados com CPR e diferentes tipos de argamassa são constituídos por um concreto-base, cujas características são apresentadas a seguir. Para que o estudo possa ter uma maior significância, o concreto base deveria ter características semelhantes a concretos convencionais utilizados em estruturas correntes no Brasil.

Em função disso, para o concreto-base optou-se por utilizar um concreto usinado, fornecido pela empresa Pedreira Um Valemix Ltda, de Governador Valadares - MG, com relação água/cimento a/c = 0,60 e resistência característica à compressão f_{ck} = 25,0 MPa. É oportuno ressaltar que o concreto-base escolhido corresponde ao tipo de concreto mais utilizado nas obras de médio e grande porte em Governador Valadares - MG, conforme levantamento feito pela empresa Pedreira Um Valemix Ltda. Na Tabela 1 apresenta-se o traço do concreto-base utilizado.

Tabela 1 – Consumo dos materiais para composição do concreto-base

Insumo	Procedência	Consumo (kg/m³)
Cimento CP V-ARI-40 RS	Holcim, Pedro Leopoldo-MG	320,00
Brita 0	Pedreira Um Valemix, Timóteo-MG	919,00
Areia artificial	Pedreira Um Valemix, Timóteo-MG	294,00
Areia natural	Areal Naque, Belo Oriente-MG	529,00
Aditivo polifuncional FK 830	MC Bauchemie, São Paulo-SP	1,76
Água potável	Extração particular (Poço profundo)	192,00

2.2 Características do Concreto de Pós Reativos (CPR)

Para o CPR, optou-se por utilizar um traço recomendado por Vanderlei (2004), que foi tomado como referência para o desenvolvimento do presente trabalho, já que o objetivo principal é o estudo da aderência.

Portanto, para produção do CPR do presente trabalho foram utilizados materiais que possuem características semelhantes àquelas empregadas por Vanderlei (2004). Para que isto fosse ainda mais efetivo, decidiu-se obter a areia de quartzo e o pó de quartzo a partir das mesmas empresas fornecedoras dos materiais utilizados por Vanderlei (2004). Na Tabela 2 apresenta-se o consumo do traço do CPR para produção de 1,0 m³.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 2– Consumo dos materiais para composição do traço do CPR

Material	Consumo (kg/m³)
Cimento CP V-ARI	874,00
Areia de quartzo	962,00
Pó de quartzo	205,00
Sílica ativa	215,00
Superplastificante - Glenium 51	26,00
Água	157,00

2.3 Caracteristicas das argamassas de reparo

Para efeitos de comparação do desempenho do CPR à aderência, optou-se por utilizar três tipos de argamassa, sendo duas industrializadas e com histórico bem-sucedido para procedimentos de reparo, e uma terceira produzida em laboratório, com uso de aditivo expansor.

● Argamassas industrializadas (ARQ e ARZ)

A primeira argamassa foi denominada argamassa ARQ (argamassa de reparo Q), com as seguintes características fornecidas pelo fabricante: resistência característica à compressão f_{ck} = 34,0 MPa aos 28 dias, cimento Portland como aglomerante, agregados classificados, aditivos especiais, polímeros e inibidores de corrosão. Quando misturados, esses materiais resultam numa argamassa moldável de alta resistência mecânica e de boa aderência ao substrato, impedindo a penetração de água e agentes agressivos.

A segunda argamassa foi denominada ARZ (argamassa de reparo Z) com as seguintes características fornecidas pelo fabricante: resistência característica à compressão $f_{ck} \geq$ 60,0 MPa aos 28 dias, resistência ao arrancamento Ra ≥ 1,5 MPa aos 28 dias, resistência à tração na flexão $f_{ck} \geq$ 8,0 MPa aos 28 dias e módulo de elasticidade Esse = 28,0 GPa. É um material monocomponente que quando misturado com água produz uma argamassa homogênea, modificada com polímeros, reforçada com fibras, com grande resistência à carbonatação e que não requer ponte de aderência.

● Argamassa com aditivo expansor (ARE)

A terceira argamassa utilizada foi produzida em laboratório, com uso de aditivo expansor, e foi denominada ARE (argamassa de reparo com aditivo expansor). Para essa argamassa optou-se por utilizar um traço adaptado a partir dos estudos realizados por Freitas (2009). Na Tabela 3 apresenta-se o consumo dos materiais para composição do traço da ARE. A argamassa ARE foi produzida com areia artificial da Pedreira Um Valemix Ltda, empresa de mineração localizada na cidade de Timóteo - MG, visando garantir uma composição granulométrica ideal e uma fácil reprodução do traço. O

ISBN: 978-85-65425-32-2

cimento utilizado na ARE foi o CP V-ARI, mantendo-se o mesmo cimento utilizado na produção do CPR. Para se definir a quantidade de aditivo expansor foram avaliados diferentes percentuais de adição, a partir de recomendações do fabricante. O melhor comportamento com relação à estabilidade dimensional da ARE foi obtido para uma quantidade de aditivo correspondente a 0,4 % do peso de cimento na mistura.

Tabela 3 – Consumo dos materiais para composição do traço da ARE

Material	Consumo (kg/m³)
Cimento CP V-ARI	520,00
Areia artificial	1295,00
Aditivo expansor	20,80
Água	260,00

2.4 Produção do concreto-base (CB)

O concreto-base usinado fornecido pela empresa Pedreira Um Valemix, de Governador Valadares - MG, foi produzido em central dosadora automatizada com capacidade instalada de 48 m³/h, logo após a sua aferição. A mistura se deu em caminhão betoneira com capacidade para 8 m³ e foram respeitados os critérios estabelecidos segundo a ABNT NBR 7212:2012.

O concreto para confecção dos corpos de prova foi coletado no terço médio da descarga, conforme o que estabelece ABNT NBR NM 33:1998, e armazenado em recipientes plásticos impermeáveis (Figura 1).

Figura 1– Coleta do concreto-base para moldagem dos corpos de prova

ISBN: 978-85-65425-32-2

Para moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm que serviram para verificação do f_{ck} do concreto base, foram observados os critérios estabelecidos na ABNT NBR 5738:2015.

Para produzir os corpos de prova para esse ensaio partiu-se de uma placa de concreto-base com dimensões de 50,0 x 30,0 x 2,0 cm produzida obedecendo os critérios da ABNT NBR 14081-2:2015, conforme observa-se na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 – Quantitativo de corpos de prova para realização dos ensaios

Ensaio	Tipo de Corpo de prova (CP)	Número de CP por idade	Total de exemplares
R_a	Placas 50 x 30 x 2 cm	5	5

Tabela 5 – Procedimentos de moldagem dos corpos de prova de concreto-base

Ensaio	Tipo de Corpo de prova (CP)	Número de camadas	Tipo adensamento
R_a	Placas 50 x 30 x 2 cm	2	130 golpes com soquete de moldagem de argamassa

Notas:

R_a Resistência de Aderência à tração

2.5 Produção do concreto de pós reativos (CPR)

Para produção do CPR foi utilizada uma argamassadeira de eixo vertical, com capacidade de produção de 5 litros e com duas velocidades de mistura (300 rpm e 800 rpm) (Figura Os materiais secos do CPR foram colocados em saco plástico e homogeneizados, antes de serem lançados na argamassadeira.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2– Argamassadeira de eixo vertical utilizada para produção do CPR

2.6 Produção das argamassas (ARQ, ARZ e ARE)

Para produção das argamassas ARQ, ARZ e ARE foi utilizada a mesma argamassadeira de eixo vertical, conforme descrito anteriormente. Para os três tipos de argamassa, os materiais secos foram colocados em saco plástico e homogeneizados, antes de serem lançados na argamassadeira. No caso das argamassas industrializadas (ARQ e ARZ), em seguida foi adicionada água em quantidade indicada pelos fabricantes. Já no caso da argamassa com aditivo expansor (ARE), na sequência foram adicionados água e aditivo conforme proporções calculadas de acordo com a Tabela 3. Para os três casos, a água foi adicionada aos poucos, até se obter uma mistura pastosa e homogênea, sem grumos secos.

2.7 Preparo das superfícies

A fim de melhorar a aderência do material de reparo e padronizar as condições para os ensaios de aderência, todos os corpos de prova passaram por um processo de preparação manual da superfície de concreto com auxílio de cinzel e, em seguida, foram submetidos à limpeza com jato de água para retirada dos materiais soltos. Após secagem ao ar foi lançada uma pequena quantidade de água na superfície do substrato, com o auxílio de uma brocha, e em seguida, aplicado o material de reparação.

2.8 Reparação e cura dos corpos de prova reparados

A reparação dos corpos de prova com CPR e argamassas foi realizada no interior de uma sala climatizada com temperatura de 23 ºC (± 2 ºC) e umidade relativa de 60% (± 5%). Na Tabela 6 são apresentados alguns detalhes dos procedimentos de reparação dos corpos de prova

ISBN: 978-85-65425-32-2

Os corpos de prova reparados foram colocados em um tanque de imersão após 12 horas decorridas do término do procedimento de reparação, seguindo as orientações da ABNT NBR 5738:2015, onde permaneceram até as idades de ensaio.

Tabela 6 – Procedimentos de reparação dos corpos de prova

Ensaio	Tipo de Corpo de prova (CP)	Número de camadas	Tipo adensamento
R_a	Placas 50 x 30 x 2 cm	1	130 golpes com soquete de moldagem de argamassa

Notas:

R_a Resistência de Aderência à tração

2.9 Ensaio de resistência de aderência à tração (*Pull-off*)

O ensaio de tração direta ou "*Pull-off*" como é mais conhecido internacionalmente, é aplicado a materiais de reparação e não é normalizado no Brasil. É possível realizar este ensaio seguindo as recomendações da BS EN 1542:1999 e para avaliação de concretos podem ser observados os critérios da BS EN 1881:1992. No entanto, o ensaio de resistência de aderência à tração em argamassa é realizado no Brasil seguindo os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 13528:2010.

Existem algumas configurações possíveis para a realização desse ensaio, como mostradas na Figura . O método de ensaio mais usual é o apresentado na Figura 3-c, em que a argamassa é aplicada sobre a superfície de uma placa de concreto, os corpos de prova são cortados com uma serra copo, formando cilindros, que posteriormente são arrancados com a aplicação de uma força de tração perpendicular à superfície de contato entre o material de reparo e o substrato.

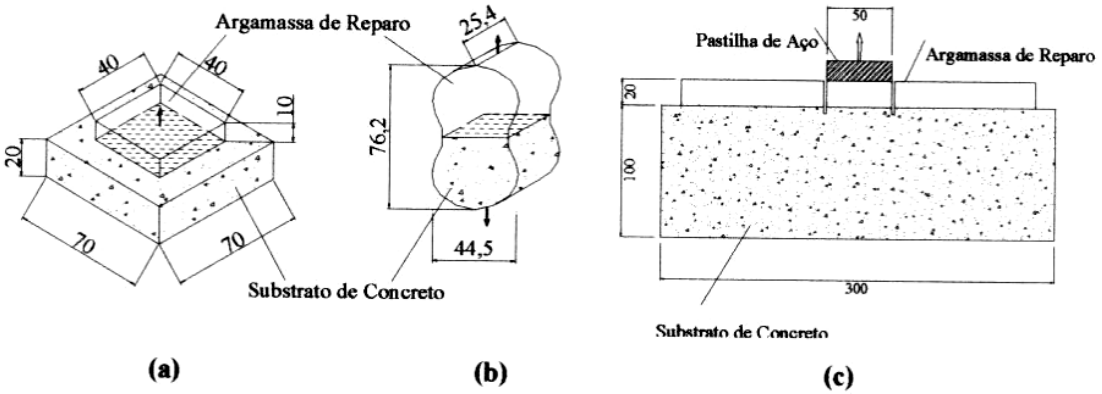


Figura 3 – Configurações utilizadas para o ensaio de resistência de aderência à tração (SANTANA, 2004)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Para o presente estudo adotou-se os procedimentos segundo a ABNT NBR 13528:2010, onde são estabelecidos ainda alguns critérios para avaliação da forma de ruptura dos corpos de prova no ensaio de resistência de aderência à tração com materiais de reparo:

- no caso de ruptura na interface reparo/substrato, o valor da resistência de aderência à tração é igual ao valor obtido no ensaio;
- no caso de ruptura no reparo ou no substrato, a resistência de aderência à tração não pode ser determinada e é maior do que o valor obtido no ensaio; o valor obtido no ensaio deve ser apresentado precedido pelo sinal maior que (>).

Onde a resistência de aderência à tração é calculada a partir da equação 1.

$$R_a = F/A1$$

Onde:

R_a é a resistência de aderência a tração, expressa (N/mm²);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

A é a área de colagem do corpo de prova, expressa em milímetros (mm²).

As placas de concreto-base com dimensões de 50,0 x 30,0 x 2,0 cm produzidas receberam uma camada adicional superior de material de reparo com 1,0 cm de espessura (

Figura 4). Foram produzidas placas com adição de CPR, a ARQ, a ARZ e a ARE. A partir dessas placas, os corpos de prova foram cortados com uma serra copo, formando cilindros, que posteriormente foram arrancados utilizando-se um equipamento de tração da marca Contenco, equipado com Manômetro Salcas com a aplicação de uma força de tração perpendicular à superfície (Figura 5).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 4 – Placa de concreto-base para produção dos corpos de prova para o ensaio de resistência de aderência à tração

(a)

(b)

Figura 5 – Aspecto geral do ensaio de resistência de aderência à tração: (a) máquina de ensaio; (b) corpo de prova ensaiado

4. Resultados e discussão

Na

Tabela 7 apresentam-se os valores médios da resistência de aderência à tração (R_a) segundo a ABNT NBR 13528:2010.

Tabela 7 - Valores médios da resistência de aderência à tração

Material	R_a (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
CB	1,16	0,16	0,14
CPR / CB	>1,24	0,26	0,21

ISBN: 978-85-65425-32-2

ARQ / CB	0,87	0,20	0,23
ARZ / CB	0,88	0,16	0,22
ARE / CB	>1,25	0,28	0,19

Na

Tabela 8 apresentam-se os resultados da análise de variância (ANOVA) de fator único, para a resistência de aderência à tração apresentados na Tabela 7.

Tabela 8 - Resultados da ANOVA para a resistência de aderência à tração

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,69	3,00	0,23	5,66	0,01	3,24
Entre sujeitos	0,33	4,00	0,08			
Dentro dos grupos	0,82	16,00	0,05			
Total	1,51	19,00				

De acordo com os resultados apresentados na

Tabela 8, pode-se afirmar que existem diferenças significativas entre os materiais ensaiados, ao nível de 5% de significância, com relação à resistência de aderência à tração. Para tanto, os resultados foram submetidos ao teste de TUKEY.

De acordo com o teste de TUKEY, para 5% de significância, o CPR e a argamassa ARE, estatisticamente, apresentaram o mesmo desempenho, diferenciando-se em relação às argamassas ARQ e ARZ.

Na Tabela 9 apresentam-se os tipos de ruptura observados nos corpos de prova cilíndricos arrancados com a aplicação de uma força de tração perpendicular à superfície. A observação do tipo de ruptura permite uma avaliação qualitativa da aderência entre os materiais.

Tabela 9 - Formas de ruptura observado nos corpos de prova cilíndricos ensaiados

Corpo de prova	Material de reparo			
	CPR	ARQ	ARZ	ARE
1	Substrato	Reparo/Substrato	Reparo/Substrato	Reparo
2	Substrato	Reparo/Substrato	Reparo/Substrato	Reparo
3	Substrato	Falha colagem	Reparo/Substrato	Reparo/Substrato

ISBN: 978-85-65425-32-2

4	Substrato	Substrato	Reparo/Substrato	Reparo/Substrato
5	Substrato	Reparo/Substrato	Reparo/Substrato	Reparo

Conforme apresentado na Tabela 9, todos os corpos de prova reparados com CPR apresentaram rupturas no substrato, o que indica que o valor médio da resistência de aderência à tração é maior do que o obtido nos ensaios (Figura 6). Os corpos de prova reparados com argamassas ARQ e ARE apresentaram rupturas de forma variada (Figura 7 e Figura 8). Por último, os corpos de prova reparados com a argamassa ARZ apresentaram rupturas somente na interface reparo/substrato (Figura 9).

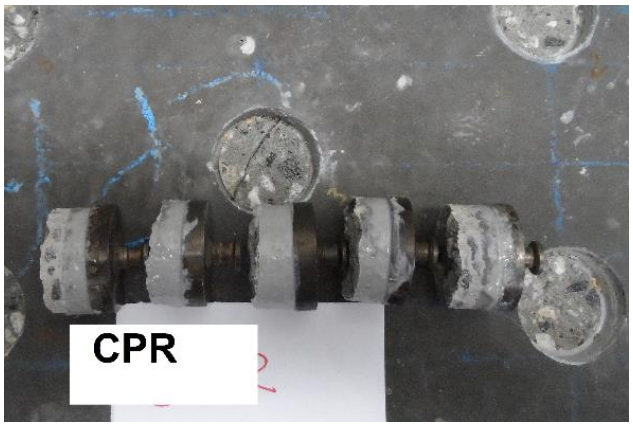


Figura 6 - Aspectos dos corpos de prova de CPR após o ensaio de aderência a tração

Figura 7- Aspectos dos corpos de prova de ARQ após o ensaio de aderência a tração

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 - Aspectos dos corpos de prova de ARE após o ensaio de aderência a tração

Figura 9 - Aspectos dos corpos de prova de ARZ após o ensaio de aderência a tração

Com relação à resistência de aderência à tração (Tabela 7) pode-se observar que o CPR e a argamassa ARE apresentaram resultados superiores ao valor de referência do concreto-base, enquanto que as argamassas ARQ e ARZ apresentaram resultados inferiores.

A NP EN 1504-3:2004 no quadro 3 especifica os requisitos de desempenho de produtos de reparação estrutural e não estrutural onde estabelece uma resistência de aderência à tração para o ensaio preconizado pela BS EN 1542:1999, para substratos de concretos de referência do tipo C (0,40) de acordo com a BS EN 1766:2000, como ≥ 2,0 MPa para argamassas de classe R4, ≥ 1,5 MPa para argamassas de classe R3 em reparos estruturais e ≥ 0,8 MPa para argamassas de classe R2 e R1 para reparos não estruturais.

Com base nesta norma e como mostrado na (Tabela 7), as características do CPR e a argamassa ARE superam a dos demais materiais de reparo analisados no presente estudo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Confirmando o que foi observado nos ensaios, a análise de variância (Tabela 8) indica que existem diferenças significativas entre os materiais ensaiados. De acordo com o Teste de TUKEY, o CPR e a argamassa ARE apresentaram, estaticamente, o mesmo desempenho, diferenciando-se em relação às argamassas ARQ e ARZ.

Em função das rupturas no substrato de concreto-base observados para os corpos de prova preenchidos com CPR (Tabela 9), não foi possível definir o valor da resistência de aderência, mas este é maior do que o determinado no ensaio.Como as rupturas observadas para os corpos de prova preenchidos com argamassas ARQ e ARZ se deram predominantemente na interface reparo/substrato, o valor da resistência de aderência corresponde ao valor determinado por meio do ensaio de arrancamento. Para corpos de prova preenchidos com argamassa ARE, as rupturas predominantes se deram no reparo e considera-se que o valor da resistência de aderência é maior que o determinado no ensaio.

4. Conclusões

A produção do CPR foi uma dificuldade encontrada durante o desenvolvimento do programa experimental, uma vez que foi adotado uma relação a/c = 0,18. Por se tratar de uma relação água/cimento muito baixa, foi necessária uma grande energia de mistura para a perfeita homogeneização do material e utilização de água gelada a aproximadamente 10° C, facilitando assim a utilização após a mistura e também a própria mistura.

Conclui-se que é possível reestudar o traço desse material de forma a se utilizar uma relação água/cimento mais alta, sem prejuízos causados pela redução da resistência à compressão, mas com um possível ganho sob o aspecto de produção do CPR.

O CPR neste estudo pode ser definido como superior aos demais materiais analisados, porque tanto a força de ligação é mais forte do que a do substrato de concreto padrão adotado a/c = 0,60, conforme observa-se na Tabela 7, assim como também o tipo de ruptura apresentado, conforme Tabela 9, onde 100% das rupturas aconteceram no substrato de concreto.

Em função dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se afirmar que os materiais e métodos utilizados permitiram uma avaliação consistente da resistência de aderência do CPR ao concreto-base.

Agradecimentos

Os autores registram seus agradecimentos à Universidade Federal de Viçosa, em especial a Pró-Reitoria de Administração pelo apoio logistico no desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova.

_____. NBR 7212:2012 – Execução de concreto dosado em central – Procedimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

_____. NBR 13528:2010 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.

_____. NBR 14081-2:2015 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios.

_____. NBR NM 33:1998 – Concreto – Amostragem de concreto fresco.

BRITISH STANDARD. BS EN 1542:1999 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Measurement of bond strentgth by pull-off.

_____.BS EN 1766:2000 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures- Test methods -Reference concretes for testing.

_____.BS EN 1881:1992–part 207– Testing concrete. Recommendations for the assessment of concrete strength by near-to-surface tests.

FREITAS, J. C. Uso de aditivo redutor de retração no combate à retração em argamassas auto-adensáveis de alta resistência. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.170p.

NORMA PORTUGUESA. NPEN 1504-3:2006 – Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade; Parte: 3 Reparação estrutural e não estrutural.

SANTANA, L. A. Estudo da aderência entre concretos de diferentes idades. (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2004, 92 p.

VANDERLEI, R.D. Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas. São Carlos, 2004.

ISBN: 978-85-65425-32-2

SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND(CPII-Z) POR RESÍDUO RESULTANTE DO BENEFICIAMENTO E POLIMENTO DE BLOCOS DE GRANITO: AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL

Partial Replacement Of Portland Cement (CPII-Z) By Residue Resulting From Granite Block Processing And Polishing: Microstructural Assessment

Lucas ARAÚJO[1], **Maria Luíza** ARAÚJO[2], **Ana Maria** MENDONÇA[3]

[1] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil, lucassis7@outlook.com

[2] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil, maria_luiza_ramalho@hotmail.com

[3] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil, ana.duartemendonca@gmail.com

ISBN: 978-85-65425-32-2

Resumo: A construção civil é um dos ramos que mais cresce no mundo. Apesar de se comportar como uma grande produtora de resíduos sólidos, possui um grande potencial para reutilização de materiais na sua produção. O material de construção mais utilizado é o concreto, comumente composto da mistura de cimento Portland com areia, brita e água. Um dos resíduos solidos mais comuns é o residuo de granito. Nesta pesquisa, foi incorporado tal resíduo nas porcentagens de 10% e 20% ao cimento na formação do concreto que possui como traço (1: 2.23: 2.89: 0.53), e analisado as características microestruturais do concreto, comparando as microfotografias das amostra de referencia e das incorporadas com o resíduo. Após a análise das caracterizações dos materiais e dos ensaios de microscopia, observou-se que a incorporação do granito ao concreto com a porcentagem de 10% não apresentou grandes modificações microestruturais. Já o concreto incorporado com 20% do resíduo, apresentou uma estrutura heterogênea que possibilita uma possível diminuição na resistência mecânica.

Palavras-chave: resíduo de granito; concreto; construção civil; reutilização

Abstract: Civil construction is one of the fastest growing branches in the world. Although it behaves like a major producer of solid waste, it has a great potential for reuse of materials in its production. The most commonly used construction material and concrete, commonly composed of the mixture of Portland cement with sand, gravel and water. One of the most common solid waste and the granite residue. (1: 2.23: 2.89: 0.53), and analyzed as microstructural characteristics of the concrete, comparing as microphotographs of the reference sample E from the incorporated with the residue. After an analysis of the characteristics of the materials and of the microscopy tests, it is observed that a incorporation of granite to the concrete with a percentage of 10% did not present great microstructural. The concrete incorporated with 20% of the residue had a heterogeneous structure that allows a possible decrease in the mechanical resistance.

Keywords: Granite residue; concrete; construction; Reuse

1. Introdução

O material de construção mais utilizado é o concreto, comumente composto da mistura de cimento Portland com areia, brita e água. Em muitos países, a proporção de consumo de concreto sobre o consumo de aço é de dez para um. Não há material mais consumido pelo homem em tamanha quantidade, com exceção da água (METHA e MONTEIRO, 2009).

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica. (PETRUCI, 1998)

Percebe-se que a construção civil se comporta como uma grande produtora de resíduos sólidos, em suas mais diversas etapas de produção, principalmente geradora de resíduos de construção e demolição, denominados RCD. Segundo LI *et al*., 2011; LU & TAM, 2013, a pratica de reciclagem de resíduos gerados pela construção civil vem se fixando com o objetivo de diminuir os impactos ambientais ocasionados por essa atividade econômica, e consequentemente, reduzindo também os custos da produção, visto que o cimento é um dos materiais que mais encarecem as obras.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Dentre os resíduos que são mais produzidos, têm-se os resíduos de granito que são encontrados quase sempre em seu estado sólido, com características de elevada dureza e resistência. Segundo Lima (2011), o Brasil é detentor da maior parte das reservas mundiais de granito, compondo uma indústria de grande expansão com alta representação na economia, pela grande exploração e comercialização das rochas de granito.

Nesse contexto, essa pesquisa analisa a microestrutura do concreto com incorporação do granito ao cimento em determinadas porcentagens estabelecidas, a fim de que seja observado através das microfotografias, se houve grandes modificações microestruturais que comprometam as propriedades mecânicas do concreto, analisando as vantagens da reutilização do resíduo nesse respectivo componente tão utilizado nas construções civis, adicionando assim a pesquisa, um caráter sustentável ao denotar um destino ao resíduo de granito proveniente do beneficiamento e polimento dos blocos graníticos.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento

Para a realização do estudo, foi utilizado o cimento Portland CPII F32 obtido no comércio local do município de Santa Rita – PB, apresentando na sua caracterizaçao massa específica igual à 2,96g/cm³, modulo de finura de 2,82% e resistencia normal à compressão à 28 dias de 32 Mpa.

2.1.2 Agregados

2.1.2.1 Agregado Graúdo

Brita 9,5 de origem granítica, apresentando os parâmetros de caracterização indicados na Tabela 1.

Tabela 16 – Resultados da caracterização do agregado graúdo – Brita 9,5

Parâmetro Determinado	Valor Determinado
Massa Específica Seca	2,544 g/cm³
Massa Específica na condição sss	2,589 g/cm³
Massa Específica Aparente	2,707 g/cm³
Absorção	2,380%
Diâmetro Máximo	9,5mm

ISBN: 978-85-65425-32-2

Brita 19 de origem granítica, apresentando os seguintes parâmetros apresentados pela Tabela 2:

Tabela 2 – Resultados da caracterização do agregado graúdo – Brita 19

Parâmetro Determinado	Valor Determinado
Massa Específica Seca	2,80 g/cm³
Massa Específica na condição sss	2,886 g/cm³
Massa Específica Aparente	3,065 g/cm³
Absorção	3,107%
Diâmetro Máximo	19,1mm

A Figura 1 ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo.

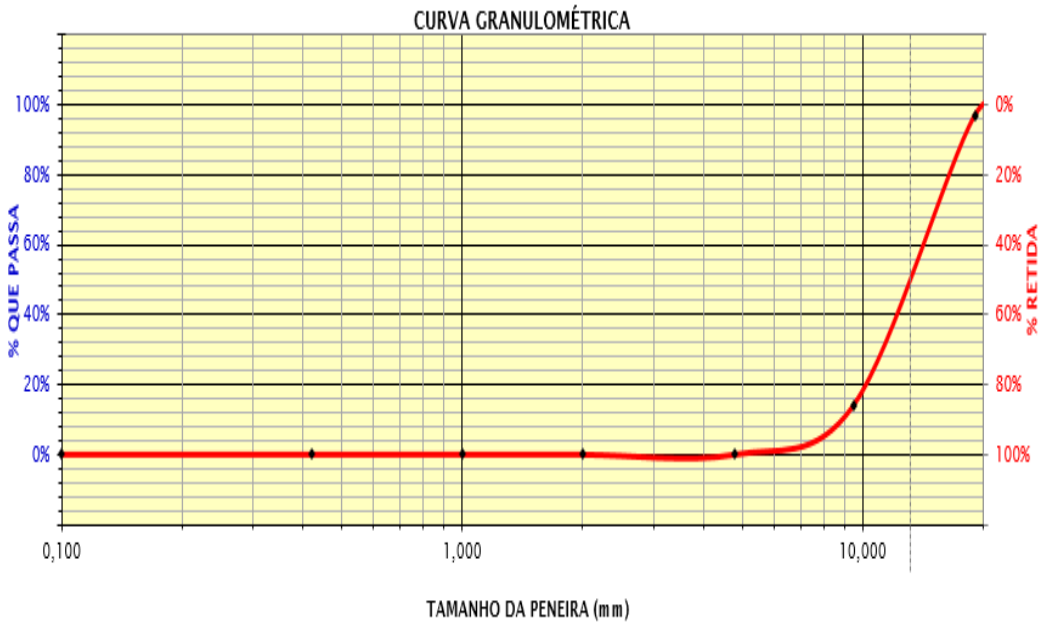


Figura 1 – Curva Granulométrica do agregado graúdo

2.1.2.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na pesquisa foi areia quartzosa do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba. Os resultados da caracterização do material em questão, é apresentado mediante a Tabela 3 .

Tabela 3 – Resultados da caracterização do agregado miúdo

ISBN: 978-85-65425-32-2

Parâmetro Determinado	Valor Determinado
Massa Unitária Solta	1,76g/cm³
Massa Específica	2,62g/cm³
Finura	2,78%
Diâmetro Máximo	4,8mm

E apresenta curva granulométrica de acordo com a Figura 2.

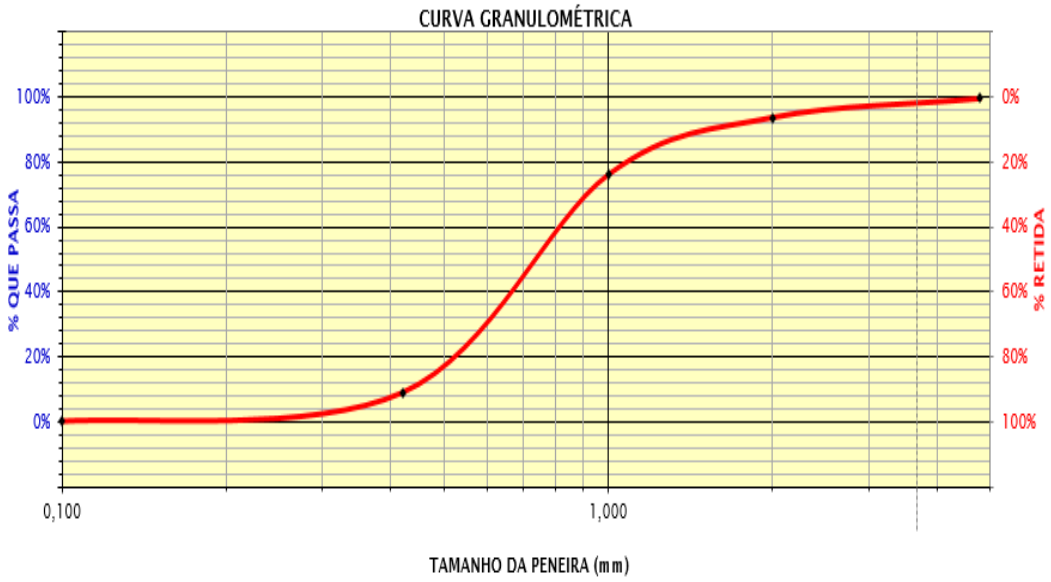


Figura 2 – Curva Granulométrica do agregado miúdo

2.1.3 Resíduo de granito

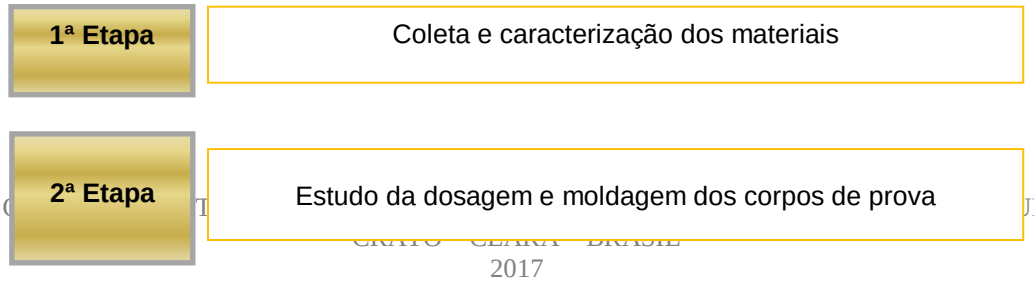
O resíduo de granito utilizado no desenvolvimento desta pesquisa foi obtido pela indústria GRANFUJI situada no distrito industrial do município de Campina Grande-PB.

2.1.4 Água

Fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

2.2 Métodos

A Figura 3 apresenta o fluxograma das etapas da pesquisa



ISBN: 978-85-65425-32-2

3ª Etapa	Análise microestrutural do concreto produzido a partir da substituição parcial do cimento por resíduo de granito.

Figura 3 – Fluxograma das etapas da pesquisa

2.2.1 Caracterização do resíduo de granito

2.2.1.1 Análise química – EDX

A analise quimica por fluorescencia de raios-X foi realizado por meio de ensaio no equipamento EDX 720 da Shimadzu, com o objetivo de identificar os componentes químicos presentes no resíduo, de forma quantitativa e qualitativa. O material analisado foi peneirado na peneira Nº200(abertura de 0,074mm), peneira com especificação contida na norma ABNT NBR 11579.

2.2.1.2 Difração de raios-X – DRX

A cristalididade do material analisado pode ser determinado por meio do ensaio de difração de raios-X. Para obtenção do mesmo, foi realizado pelo equipamento Shimadzu XDR-6000, utilizando radiação Cukα, tensão de 40kV, corrente de 30mA, varredura de 2º< 2ɵ< 30º e λ1, 54ª.

2.2.1.3 Análise Térmica Diferencial e Termogravimética

O ensaio para análises térmicas cujo objetivo é observar o comportamento do material submetido a altas temperaturas foi realizado em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a 12,5ºC/min. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de 1000ºC e o padrão utilizado nos ensaios de DTA foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado.

2.2.2 Estudo da dosagem do concreto

A partir da obtenção dos resultados das caracterizações dos materiais, obteve-se o traço 1:2,23:2,89:0,53. Sucessivamente foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões equivalentes a 10 cm x 20 cm, contudo substituiu-se parcialmente o cimento por resíduo de granito nos teores de 10% e 20% , estipulando as idades de cura de 7, 14 e 28 dias.

A Tabela 4 apresenta a proporção dos materiais utilizados para moldagem dos corpos de prova.

Tabela 4 – Consumo dos materiais para moldagem dos corpos de prova

	CREF	C10% RG	C20% RG

ISBN: 978-85-65425-32-2

Cimento	1,48kg	1,33kg	1,18kg
Resíduo de Granito	0,0kg	0,148kg	0,296kg
Agregado Miúdo	3,28kg	3,28kg	3,28kg
Agregado Graúdo (Brita 19,1)	2,84kg	2,84kg	2,84kg
Agregado Graúdo (Brita 9,5)	1,42kg	1,42kg	1,42kg
Água	800ml	800ml	800ml

2.2.3 Determinação da microestrutura do concreto

Para realização deste ensaio, foram retiradas amostras de 1 cm x 1 cm do concreto de referência e dos concretos com teores de resíduo de granito de 10% e 20%. As amostras foram metalizadas com ouro e submetidas ao ensaio de microscopia a partir do equipamento Superscam da SHIMADZU SSX 550, no qual foram obtidas as microfotografias para análises. O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande.

3. Resultados e Discussões

3.1 Caracterização do resíduo de Granito

A Tabela 5 apresenta a composição química do resíduo de granito.

Tabela 5 – Composição química do resíduo de granito

Determinações (%)										
Amostras	PR	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	TiO_2	Na_2O	Outros
Granito	1,09	61,80	16,50	4,99	2,08	5,08	4,63	0,43	2,92	0,48
PR = Perda ao Rubro										

Observa-se na Tabela 5 que o resíduo de granito é constituído basicamente de sílica (62%). O teor maior desse composto, colabora para uma melhor propriedade mecânica do concreto.

A Figura 4 ilustra o difratograma de raio-x do resíduo de granito.

ISBN: 978-85-65425-32-2

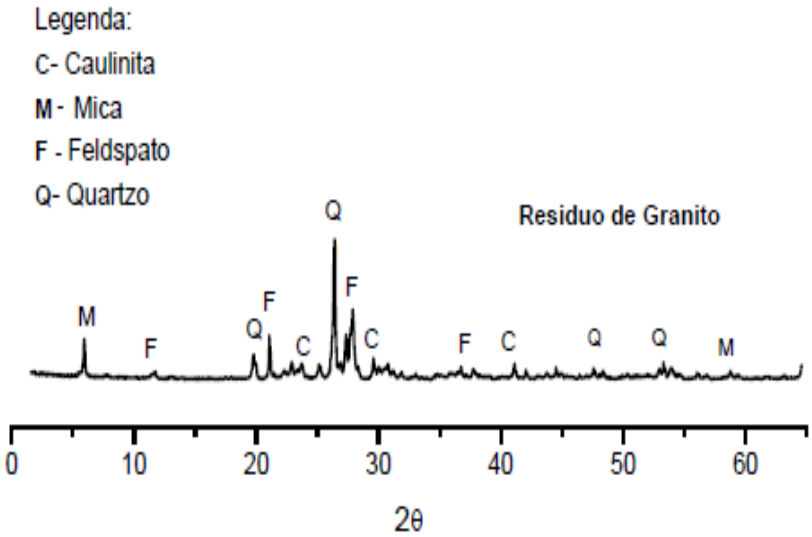


Figura 4 – Difratograma de raios-x do resíduo

Observa-se na Figura 4, que as fases mineralógicas presentes no resíduo de granito foram: mica, feldspatos, quartzo, caulinita, fases típicas de rochas graníticas. Comparando os resultados encontrados na literatura, observa-se resultados semelhantes ao de referência.

A Figura 5 ilustra as curvas de análises termodiferenciais e termogravimétricas do resíduo de granito.

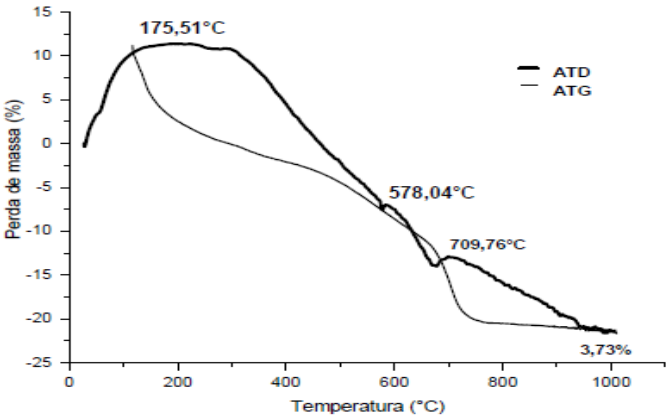


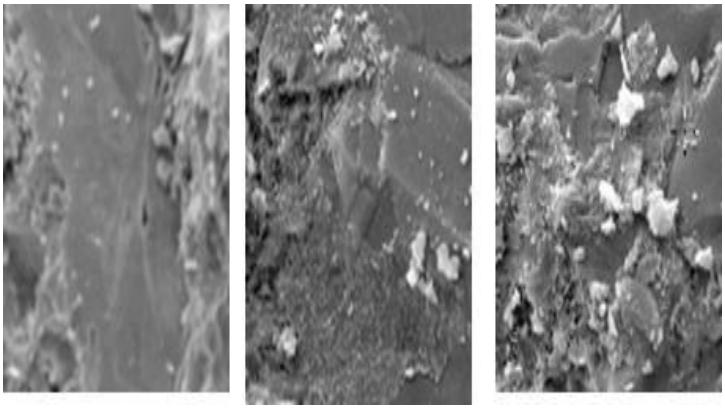
Figura 5 – Análise termogravimétrica e termodiferencial do resíduo

Através da curva termogravimétrica, observa-se que a perda de massa total é de 3,78%, correspondente a perda de água livre e adsorvida e hidroxilas.

3.2 Determinação da microestrutura do concreto incorporado com resíduo de granito

ISBN: 978-85-65425-32-2

A Figura 6 ilustra as micrografias para o concreto de referência e para os concretos modificados com a incorporação dos resíduos de granito nas suas respectivas porcentagens.



(a) (b) (c)

Figura 6 - Micrografias para o concreto de referencia (a); para o concreto incorporado com 10% de resíduo de granito (b); e para o concreto incorporado com 20% de resíduo de granito (c).

De acordo com os resultados obtidos, a micriscopia obtida pelo concreto de referência permitiu observar uma boa aderência entre a matriz cimentícia e os agregados, observando-se uma homogeneidade no material. Na Figura 6(b), A micrografia do concreto com incorporação de 10% de granito obteve-se uma matriz densa e homogenea, com pouca quantidade de poros. Já para a micrografia do concreto incorporado com 20% de resíduo de granito (Fig. 6(c)), apresentou-se uma estrutura heterogênea e irregular com grande número de poros e grãos de agregados e uma maior presença de impurezas, o que colabora para uma redução da resistencia do concreto à compressão, devido a um maior numero de fissuras pela heterogeneidade do material analisado.

4. Conclusões

Pela análise da microestrutura do concreto modificado com incorporação do resíduo de granito a uma porcentagem de 10%, observa-se que não há grandes modificações na estrutura interna do concreto, comparado com o de referência. Já para o concreto com incorporação de 20% de resíduo de granito, analisa-se uma estrutura com maior volume de poros, implicando em uma possível diminuição da resistência mecânica devido a heterogeneidade entre o resíduo de granito e a matriz cimentícia.

O concreto produzido deverá passar por ensaios de resistência mecânica para quantificar a perda de resistência para os dois casos de incorporação de resíduo. De fato, será observada a diminuição de resistência quanto maior a heterogeneidade da composição, principalmente se esta for causada pela a adição de materiais em detrimento do cimento, que neste caso é o composto aglomerante dotado de pozolânica que fornece a maior parte da resistência do concreto.

Conclui-se que a utilização de concretos incorporados de materiais alternativos deve ser feita com cautela, necessitando experimentos elaborados para adequar o concreto obtido

ISBN: 978-85-65425-32-2

em determinado uso. Como exemplo, a incorporação do resíduo de granito causando uma diminuição da resistência do concreto pode acarretar em perigo caso este seja utilizado com função puramente estrutural.

Agradecimentos

Aos colegas do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP) do Departamento de Engenharia Civil – UFCG, onde este trabalho foi desenvolvido, por todo o apoio.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 11579: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), 1991.

Lima, R. C. O. Aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmicas de baixo custo. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande – Paraíba. Novembro 2011.

Li, Y.; Zheng, Y.; Zhou, J. Source management policy of construction waste in Beijing. Procedia Environmental Sciences, v. 11, n. 12, p.880-885, 2011.

Lu, Weisheng.; TAM, Vivian W. Y. Construiction waste management policies and their effectiveness in Hong Kong: A longitudinal review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 23, n. 16, p. 2014-223, 2013.

Mendonça, A. M. G. D; Monteiro H. B. S; Chagas Filho, M. B. Avaliação das resistências de concretos com adição de resíduo oleoso da indústria de E & P de petróleo sob influência da umidade. In: X Congresso de Iniciação Científica da UFCG, 2013.

Metha, P.K.; Monteiro, P.J.M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: PINI, 2009.

Petrucci, E.G.R. Concreto de Cimento Portland. – 13. Ed. Rev. Por Vladimir Antonio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

ANÁLISE DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO, DAS MATÉRIAS PRIMAS E DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BLOCOS CERÂMICOS DESTINADOS A ALVENARIA ESTRUTURAL DE DUAS FÁBRICAS LOCALIZADAS NO NORDESTE DO BRASIL

Analysis Of Production Stages, Raw Materials And Physical Characteristics Of Ceramic Blocks Destined For Structural Masonry Of Two Factories Located In Northeast Brazil

Camila dos Santos CAVALCANTI[1], **Roberto de Castro** AGUIAR[2], **Romilde Almeida de** OLIVEIRA[3]

[1] Mestrando em Eng. Civil, Univercidade Católica de Pernambuco, Rua do Príncipe, 526, Boa Vista. CEP 50050-900, Recife-PE, Brasil, camilasantos.eng@gmail.com

[2] Mestrando em Eng. Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Rua do Príncipe, 526, Boa Vista. CEP 50050-900, Recife-PE, Brasil, jarsonguilherme@yahoo.com.br

[3] Professor Titular, Doutor em Eng. Civil, CCT - Universidade Católica de Pernambuco, Rua do Príncipe, 526, Boa Vista. CEP 50050-900, Recife-PE, Brasil, romildealmeida@gmail.com

Resumo: Esse artigo buscou documentar as etapas de fabricação, analisar as características da matéria prima e o desempenho final dos blocos cerâmicos de duas determinadas empresas cerâmicas situadas no estado da Paraíba. Com a realização das visitas às industrias, foi possível conhecer o processo de produção, a localização das

ISBN: 978-85-65425-32-2

jazidas da matéria prima e a proporção utilizada de cada componente no produto final. Os ensaios realizados na matéria prima foram, granulométrica, limites de liquidez e plasticidade, massa específica e umidade. Já para os blocos se fez os ensaios dimensionais, de absorção e de resistência a compressão de blocos. Verificou-se a combinação de processos empíricos e mecanizados, em ambas fábricas. A resistência característica dos dois lotes superou o valor mínimo exigido por norma.

Palavras-chave: Bloco cerâmico estrutural; produção; desempenho; resistência à compressão; granulometria.

Abstract: This article sought to document the manufacturing stages, analyze the characteristics of the raw material and the final performance of the ceramic blocks of two ceramics companies located in the state of Paraíba. With the visits to the industries, it was possible to know the production process, the location of the raw material deposits and the proportion of each component used in the final product. The tests performed on the raw material were, granulometric, limits of liquidity and plasticity, specific mass and humidity. For the blocks the dimensional, absorption and compressive strength tests of blocks were made. The combination of empirical and mechanized processes was verified in both Factories. The characteristic strength of the two lots exceeded the minimum value required by standard.

Keywords: Structural ceramic block; production; Performance; Compressive strength; granulometry.

1. Introdução

A coleta de dados nas fábricas e o detalhamento feito do processo de produção dos blocos atestou uma combinação de empirismo com métodos mais controlados e avançados, desde a seleção do material, mistura e fabricação. Estudos anteriores já atestaram isso (OLIVEIRA, ZARZAR JÚNIOR e TELES, 2013).

Os ensaios nas matérias primas e controle de produção, das duas empresas, são feitos na própria fábrica e os ensaios complementares, no produto final, são realizados por laboratórios terceirizados, fora do local de fabricação. No entanto ainda é possível identificar oportunidades de avanço que essa área possui, pois as ferramentas e o conhecimento para melhoria do processo e consequentemente do produto final estão disponíveis no estudo ciêntífico e na pesquisa dos materiais.

2. Processo produtivo

Tanto na primeira, que vamos chamar nesse estudo de fábrica A, situada na cidade de Santa Rita, quanto na segunda industria, fábrica B, localizada na cidade de Mulungu, verificou-se desde o mapeamento da jazida até a expedição dos blocos, etapas ora dominados por conhecimento rudimentares ora por processos mais controlados. Comprovando assim a busca dessa industria em melhorar seus procesos e qualidade do produto final.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3. Extração da matéria prima

Segundo Maurício, *et al*. (2004) e Jordão & Zandonadi (2002) a extração da argila, no Brasil é feita, normalmente a céu aberto, utilizando-se de retro escavadeiras ou escavadeiras. Executa-se a priore a remoção de vegetação e solo arável, além da drenagem da água do local. A argila é transportada até a fábrica por meio de caminhões basculantes. A jazida de argila da fábrica "A" fica de 10 à 15 km de distancia da mesma, já a jazida da fábrica "B" é mais próxima, 5 km. A jazida de areia fica a 10 km e 2 km respectivamente.

O diferencial das fábricas analisadas neste estudo para as já estudadas em artigos passados (ZARZAR JÚNIOR, OLIVEIRA e TELES, 2013), é o fato de ao inves de utilizarem duas argilas - uma chamada inundada e a outra vermelha; suas matérias primas são uma argila e uma areia chamada pelos funcionarios de "goma".

O uso de uma mistura de materiais e não somente de uma única argila tem por objetivo corrigir as características visuais e as propriedades físicas e mecânicas da argila e areia, produzindo assim o material ideal para a confecção dos blocos cerâmicos.

4. Sazonamento

O sazonamento se trata da estocagem da materia-prima, feita geralmente a céu aberto, ou seja exposta a intemperies. Na fábrica "A" esse período se estende de 15 dias à 1 ano dependendo do volume já existente no estoque e da demanda de produção. Na fábrica "B" a duração é de 1 ano ou mais. Esse período de sazonamento propicia a homogenização da distribuição da umidade, promove a lavagem de sais solúveis e melhora a plasticidade da argila. Porém nenhuma das fábricas demonstrou conhecimento sobre esses fatos e cuidado nessa etapa. O pátio de estocagem, em ambas, fica bem próximo da fábrica, não ultrapassando 200 metros de distância. A areia na fábrica "A" é estocada em local coberto, já na fábrica "B" a mesma é estocada à céu aberto. A Figura 1 apresenta isso.

Figura 1 – Da esquerda para a direita: argila no pátio de estocagem na fábrica A e B, areia no pátio de estocagem na fábrica A e B. Fonte: autores (2017)

5. Preparação da matéria prima

O processo de preparo da matéria prima se inicia com a remoção, de proporções pré-estabelecidas da argila e areia do estoque. Tais quantidades são levadas para os chamados caixões alimentadores. Em ambas as fábricas existiam dois caixões, em um

ISBN: 978-85-65425-32-2

deles se depositava a areia e no outro a argila. As proproções utilizadas se encontram no Quadro 1.

Quadro 1 – Proporções da matéria prima utilizadas em cada fábrica. Fonte: autores (2017)

FÁBRICA	Argila (%)	"Goma" (%)
A	60	40
B	60 – 65	40 – 35

Nesta etapa o que diferencia uma fábrica da outra é o fato de que na fábrica "A" a areia e a argila passam dos caixões para o misturador por meio de uma esteira; depois a mistura é levada por outra esteira, movimentada por correias, para o equipamento desintegrador. O resultado é a redução das partículas, promovendo a elevação da plasticidade e uma melhor liga na mistura. As Figuras 2 e 3 ilustram o processo descrito. Ao lado de ambas as esteira fica um funcionário cuja função é retirar elementos indesejáveis que passarem por ele.

Figura 2 – Carregamento do caixão alimentador – Argila na esquerda, areia na direita, esteira movimentada por correias, equipamento misturador; na fábrica "A". Fonte: autores (2017)

Figura 3 –Segunda esteira movimentada por correias, equipamento desintegrador; na fábrica "A". Fonte: autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Na fábrica “B” o mesmo equipamento mistura e desintegra, ou seja, saindo dos caixões alimentadores não existe um equipamento misturador. A argila e areia, não misturadas, são transportadas por uma esteira para um equipamento que faz as duas funções. Na Figura 4 estão os caixões e a primeira esteira recebendo as matérias primas.

Figura 4 – Carregamento dos caixões alimentadores, esteira movimentada por correias, equipamento misturador e desintegrador; na fábrica “B”. Fonte: autores (2017)

Um funcionario também se posiciona ao lado da esteira para retirar elementos indesejáveis que passarem por ele (Figura 5).

Figura 5 – Esteira movimentada por correias, equipamento misturador e desintegrador na fábrica “B”. Fonte: autores (2017)

Na fábrica “A” o material desintegrado, que chamaremos de mistura, é então transportado por uma terceira correia transportadora para local fechado (Figuras 6), aonde são dispostos em montes, cuja umidade é mantida e corrigida por meio da asperção de água em mangueiras presas no teto. A mistura pode passar de 3 dias à 1 mês estocada.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 6 – 3° Esteira movimentada por correias, armazenamento da mistura; fáb. “A”. Fonte: autores (2017)

Na fábrica “B” antes da mistura ser armazenada ela sofre o chamado amasssamento em forma de lâminas, e como na fábrica “A”, sua umidade é corrigida, para valores entre 16% e 25% para a fábrica “A” e 18% à 20% para a fábrica “B”. A mistura resultante não passa tantos dias estocadas como na fábrica “A”. Uma Terceira esteira transporta a mistura para o armazenamento (Figuras 7 e 8).

Figura 7 – 2° Esteira movimentada por correias, amassamento em lâminas e correção da umidade, detalhe da mistura que sofreu o amassamento em forma de lâminas; na fábrica “B”. Fonte: autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 8 – 3° Esteira movimentada por correias, armazenamento da mistura; na fábrica "B".
Fonte: autores (2017)

6. Fabricação

Passadas as 24 horas, no caso da fábrica "B", e de 3 dias à 1 mês na fábrica "A", o material é mais uma vez homogenizado, no misturador, para então finalmente atravessar a extrusora. Na fábrica "A", antes da extrusora, a mistura sofre o amassamento em forma de lâminas, Figura 9. Algo já realizado na fábrica "B".

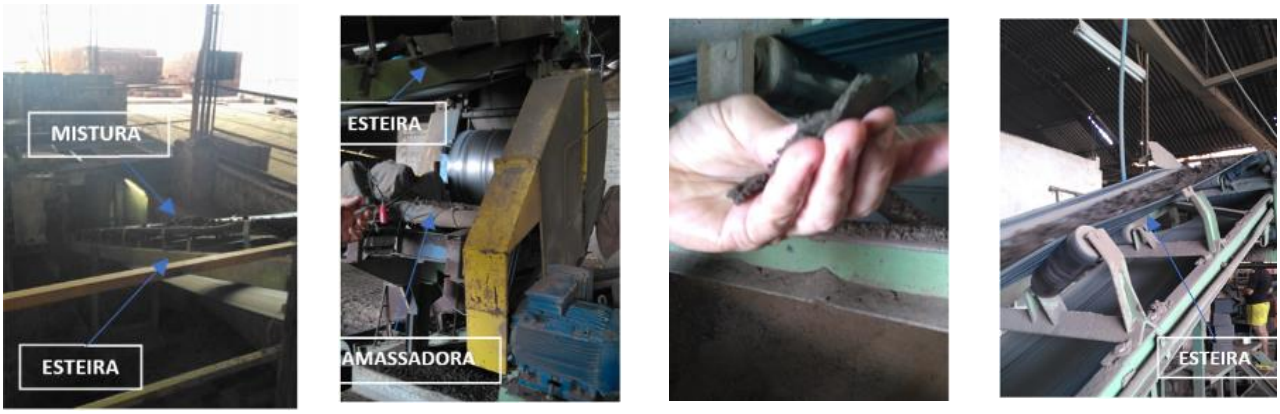


Figura 9 – Material sendo levado para o amassamento em lâminas, o equipamento amassador, mistura em lâminas e esteira transportando a mistura para a extrusora; na fábrica "A". Fonte: autores (2017)

Na fábrica "B" o materiral retirado da estocagem, antes de passar pelo misturador, é misturado por uma retro escavadeira que procura fazer uma previa homogenização, a Figura 10 mostra isso.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 10 – Mistura sendo retirada da estocagem e levada para uma homogenização prévia, homogenização prévia realizada por retro escavadeira; na fábrica "B". Fonte: autores (2017)

No misturador é adicionada certa dosagem de água que busca a máxima plasticidade da mistura, quando úmida e ao mesmo tempo depois da queima que o bloco alcance a máxima possível resistência e a menor retração. Em ambas as fábricas, a extrusora possui uma câmara de vácuo. Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Câmara de vácuo, na esquerda fábrica "A", na direita fábrica "B"; passagem da mistura na extrusora e retirada de alguns blocos para a realização de ensaios; fábrica "A". Fonte: autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 12 – Retro escavadeira posicionando a mistura para ser levada para a extrusora, a esteira transportadora, misturador recebendo o material, detalhe do misturador e da câmara de vácuo, extrusora, moldagem das peças; fábrica "B". Fonte: autores (2017)

O produto já moldado é levado por uma esteira para ser marcado e cortado. Blocos com defeito são retirados pelos funcionários e recolocados na esteira que leva ao misturador e extrusora, isso ocorre nas duas fábricas, conforme Figuras 13.

Figura 13 – Corte do produto; fábrica "A". Marcação e corte do produto ; fábrica "B". Blocos defeituosos devolvidos a esteira ; na esquerda fábrica "A", direita fábrica "B". Fonte: autores (2017)

Outra diferença entre as fábricas é notado a partir desse ponto. Na fábrica "A" procurou-se implementar equipamentos e processos que evitassem que os funcionários manejassem os blocos até que já estivessem sofrido a secagem. Atingiram tal propósito atravéz de esteiras transportadoras e carros sobre trilhos.

Na fábrica "A" após o corte e marcação, os blocos são transportados, em grupos de 6, por esteiras até carros dispostos em trilhos. Nem mesmo na colocação dos blocos nos carros, os funcionário são nescessários (Figura 14).

Figura 14 – Grupos de 6 blocos sendo transportados pelas esteiras e depositados nos carros; na fábrica "A". Fonte: autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

O manejo dos blocos, na fábrica “B”, ocorre logo após o corte e marcação do mesmo, Figura 15. São colocados manualmente em um carro (reboque motorizado), para serem levados para a secagem.

Figura 15 – Manejo dos blocos, colocação manual nos carros, em detalhe o molde da extrusora; na fábrica “B”. Fonte: autores (2017)

7. Secagem

Secagem é a etapa que antessipa a queima. Ela garante que os blocos ainda úmidos percam de forma lenta a água contida na sua massa evitando assim o ocorrência do fendilhamento. Na fábrica “B” são usados ventiladores suspensos para aumentar a circulação do ar. A secagem nessa fábrica dura de 2 à 3 dias. Cada conjunto de Blocos é identificado com a data de início da secagem (Figuras 16).

Figura 16 – Transporte e secagem, identificação com a data de início da secagem ; na fábrica “B”. Fonte: autores (2017)

O procedimento mais frequente para a secagem é a disposição dos blocos em local de franco acesso de ar, e protegido do sol. No entanto na fábrica “A” é utilizado o pré-forno túnel, no qual no início de seu comprimento a temperatura, que os blocos ficam submetidos, é de 35 °C , 50 °C na metade da sua extensão e 40°C nos últimos metros. Os blocos passam por esse gradiente de temperatura transportados por carrinhos sobre trilhos.

O carrinho com os blocos recém modelados move-se para frente, posicionando-se sobre uma plataforma que possibilita o movimiento lateral do mesmo. Ao longo do túnel existe

ISBN: 978-85-65425-32-2

termómetros analógicos e digitas para um melhor controle do gradiente de temperaturas a que os blocos estão sendo submetidos (Figura 17).

Figura 17 – Da esquerda para a direita: transporte, secagem, início do forno túnel para secagem, termômetro analógico com abertura para observar os blocos, termômetro digital; na fábrica "A". Fonte: autores (2017)

Na saída do forno túnel, que promoveu a secagem, o carrinho mais uma vez se posiciona sobre uma nova plataforma que o transporta lateralmente alguns metros para local aonde os funcionarios transferem manualmente os blocos para um outro carro metálico. Na base do mesmo já se encontram blocos finalizados evitando, assim que os blocos saídos da secagem fiquem em contato direto com o metal do carro. Neste momento blocos trincados e defeituosos são retirados, a Figura 18 ilustra tal processo.

Figura 18 – Blocos saindo da secagem, sendo transferidos e blocos trincados; na fábrica "A". Fonte: autores (2017)

8. Queima

ISBN: 978-85-65425-32-2

A queima é a etapa de produção que irá conferir as propriedades indispensáveis para o uso dos blocos, tais como resistência mecânica, química, ás intemperies e dureza.

A temperatura máxima alcançada dentro dos fornos é de 900 à 1000°C. Segundo Roman, 1983 durante esta etapa, um elevado controle deve ser direcionado ao modo como o forno é aquecido. Ele indica os tempos normalmente gastos: 10 à 30 horas para o aquecimento entre 730°C e 870°C, 6 à 8 horas de temperatura máxima (900°C a 1100°C) e finalizando a etapa de queima, 6 à 25 horas de resfriamento (±50°C).

A queima na fábrica "B" é feita com fornos tradicionais, que tem as suas aberturas seladas por paredes de tijolos para então se iniciar o aquecimento com a queima de madeira, Figura 19.

Figura 19 – Fornos, blocos depositados dentro dos fornos, entrada seladas; na fábrica "B". Fonte: autores (2017)

No teto dos fornos existem várias pequenas aberturas, através das quais se verifica a temperatura e também se alimenta o fogo, Figura 20.

Figura 20 – Teto dos fornos, detalhe das madeiras utilizadas para alimetar fogo, detalhe das aberturas no teto dos fornos ; na fábrica "B". Fonte: autores (2017)

A fábrica "A", por sua vez, utiliza um segundo forno túnel cujo gradiente de temperaturas é de 880 à 930, para realizar a etapa da queima. Os carros atravessam o forno e sofrem a queima, Figura 21.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 21 – Transporte dos blocos para a queima, detalhe externo do forno, painel de verificação das temperaturas, detalhe da abertura de alimentação, saída do forno túnel; na fábrica "A". Fonte: autores (2017)

9. Expedição

Nesta etapa os blocos são transportados para o pátio de expedição, sendo a última oportunidade para a realização de inspeções do produto final através de ensaios de laboratorio. Cada uma das fábricas possui um laboratório nas suas intalações. Os pátios de expedição de cada uma das empresas pode ser visualizado na Figuras 22.

Figura 22 – Retirada dos blocos do forno, e pátio de expedição; na fábrica "B". Blocos saindo do forno túnel (3° e 4° imagem), e pátio de expedição; na fábrica "A". Fonte: autores (2017)

10. Programa experimental desenvolvido

10.1. – Metodologia

Como a mistura dos materiais é feita de forma empírica, a produção é executada com o emprego da concha da retroescavadeira sem um controle mais fino das proporções e volumes, se torna interesante uma análise preliminar destes materiais. Foram realizados ensaios de caracterização das matérias primas. Tais como granulometria, limites de consistência (L.P.%, L.L.% e I.P.%). A Figura 23 reúne algunas etapas dos ensaios realizados.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 23 – Destorroamento; peneiramento; decantação; limite de liquidez; limite de plasticidade. Fonte: autores (2017)

O desempenho do produto final, bloco cerâmico estrutural, foi verificada de acordo com o estabelecido nas normas NBR 15270-1:2005, NBR 15270-2:2005 e NBR 15.270-3:2005. As 13 unidades de blocos de dimensões 14cm x 19cm x 29cm, coletadas em cada fábrica, foram submetidos a ensaios dimensionais, de absorção AA e AAI, e ensaios de compressão. A análise dimensional foi realizada com o uso de paquímetro para medição da altura, comprimento, largura e a espessura dos septos; esquadro para verificar o desvio e a planeza das faces.

Para a verificação da capacidade de absorção dos blocos foram realizados os dois ensaios indicados na NBR 15270-3. Indice de absorção d'água (AA) obrigatório para a avaliação de comformidade e o Indice de absorção de água inicial (AAI) não obrigatório.

A mais comum forma de atestar a qualidade de um bloco é mensurando sua resistência à compressão, por ser a mesma fundamental para a resistência da parede (fk) (PARSEKIAN & SOARES, 2010). O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com NBR 15270-3 Anexo C. A mesma estabelece a necessidade de imerção total em água, por no mínimo 6 horas e a realização do capeamento nos blocos. No capeamento foi utilizado argamassa industrializada (Figura 24).

Figura 24 – Processo de capeamento e ensaio de resistência a compressão. Fonte: autores (2017)

10.2 – Ensaio e análises

10.2.1 – Caracterização da matéria prima

Das matérias primas foram retiradas 3 amostras de cada fábrica, sendo 1 da argila, 1 da areia e 1 da mistura. A seguinte Figura 25 mostra as curvas granulométricas de cada amostra.

Argila Fábrica "A"	Areia Fábrica "A"	Mistura Fábrica "A"

ISBN: 978-85-65425-32-2

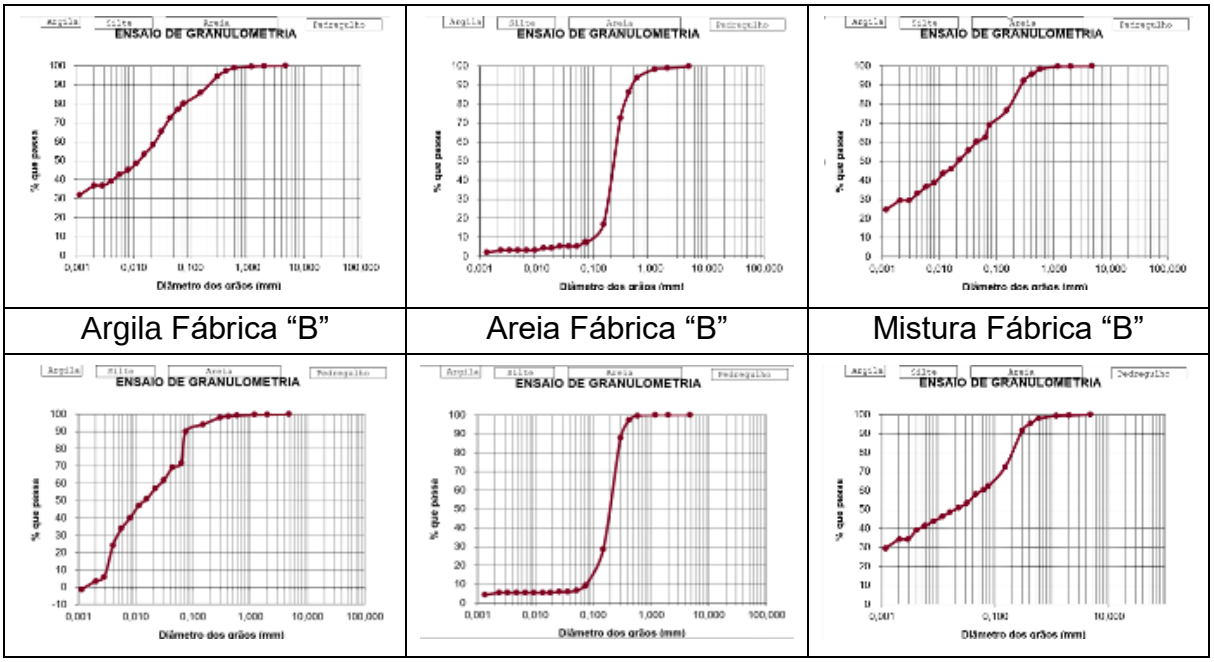


Figura 25 – Curvas granulométrica; fábrica "A" e "B". Fonte: autores (2017)

Como era de se esperar, través dos valores dos limites de Atterberg (Quadro 2) e da carta de plasticidade, tanto as argilas como as misturas por serem solos argilosos, se posicionaram acima da linha "A" da carta (Figura 26).

Quadro 2 – Valores do LL, LP, IP das amostras das argilas e misturas. Fonte: autores (2017)

AMOSTRA	LL(%)	LP(%)	IP(%)	CLASSIFICAÇÃO
Argila (Fábrica A)	41	22	19	AP
Argila (Fábrica B)	52	26	26	AP
Mistura (Fábrica A)	32	20	12	MP
Mistura (Fábrica B)	33	19	14	MP

A classificação disposta no Quadro 1 é segundo Souza Pinto (2000) que denomina as argilas fracamente plásticas (FP); medianamente plásticas (MP); e altamente plásticas (AP), de acordo com o indice de plasticidade.

Argila Fábrica "A"	Argila Fábrica "B"

ISBN: 978-85-65425-32-2

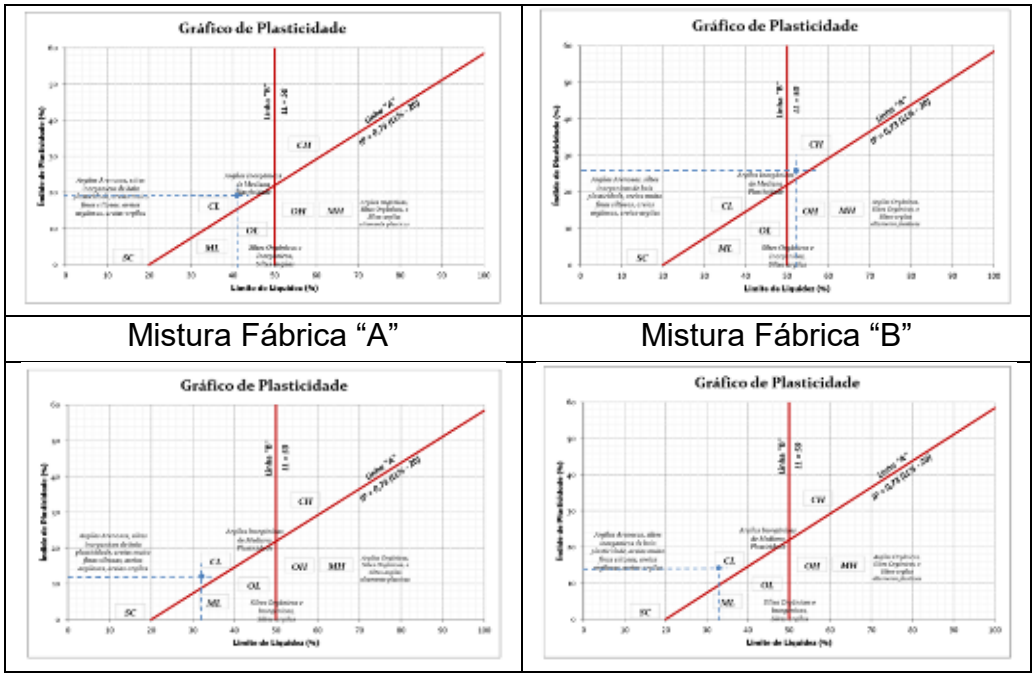


Figura 26 – Carta de plasticidade (labmes, 2017); fábrica “A” e “B”.

A adição das areias diminuiu a compressibilidade e a plasticidade do solo. O deslocamento para a esquerda dos pontos no gráfico de plasticidade comprovam isso pois a região à esquerda da linha “B” indicam solos de baixa compressibilidade e de baixa à média plasticidade. No caso da fábrica “B” a argila sozinha é um solo compreessível e muito plástico, em conjunto com a areia passou a ser um solo de baixa compressibilidade e plasticidade. O objetivo, portanto, ao se misturar a argila com a areia (“goma”) foi alcançado. Segundo Pracidelli e Melchiades (1997) a areia funciona como um desplastificante, diminuindo as contrações sofridas no processo de queima. As de granulometria entre 5 e 500mμ, são as mais utilizadas. Tal mistura facilita a passagem da água do interior para a superficie, melhorando a trabalhabilidade e diminuindo as estratificações e tensões no interior do bloco geradas durante a fabricação.

Também foi verificada a atividade dos solos argilosos segundo Skempton (1953 *apud* ORTIGÃO, 1993), através da seguinte fórmula. As classificações foram dispostas no Quadro 3.

$$Ia = \frac{IP}{\%< 2\mu m} \qquad (1)$$

Quadro 3 – Índices de atividade dos solos. Fonte: autores (2017)

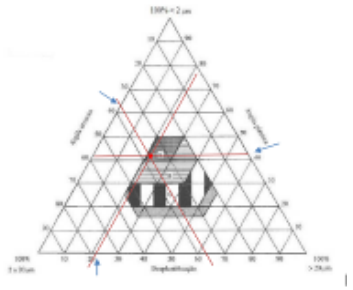
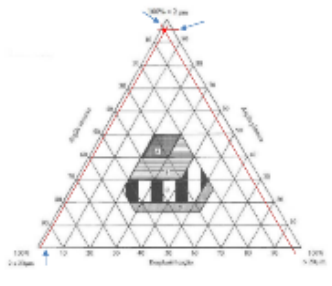
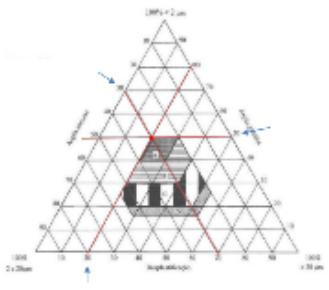
ISBN: 978-85-65425-32-2

Fábrica	AMOSTRA	Ia	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO
A	Argila	0,51	Argila Inativa
B	Argila	7,5	Argila Ativa
A	Mistura	0,41	Argila Inativa
B	Mistura	0,41	Argila Inativa

Outra forma de analizar a mistura utilizada para a fabricação dos blocos cerâmicos é travéz do diagrama de Winkler. O qual busca predizer, através da composição granulométrica, se o solo é adequada para passar pelo processo de fabricação de determinado produto final ou se necessita ser misturado com outras matérias primas. O Quadro 4 detalha as regiões rachuradas com suas respectivas granulometrías e indicações de uso do material. A Figura 27 reune os diagramas de todas as amostras.

Quadro 4 –Composição granulométrica dos produtos da cerâmica vermelha. Fonte: autores (2017)

REGIÕES	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)			Indicação de Uso
Produtos	2µm	2 a 20µm	20µm	
A	40 a 50	20 a 40	20 a 30	Adequado para produtos de alta qualidade (CARREIRO *et al*, 2016)
B	30 a 40	20 a 50	20 a 40	Telhas e Capas
C	20 a 30	20 a 50	20 a 50	Tijolos Furados
D	15 a 20	20 a 55	25 a 55	Tijolos Maciços

Argila Fábrica “A”	Areia Fábrica “A”	Mistura Fábrica “A”
		
Argila Fábrica “B”	Areia Fábrica “B”	Mistura Fábrica “B”

ISBN: 978-85-65425-32-2

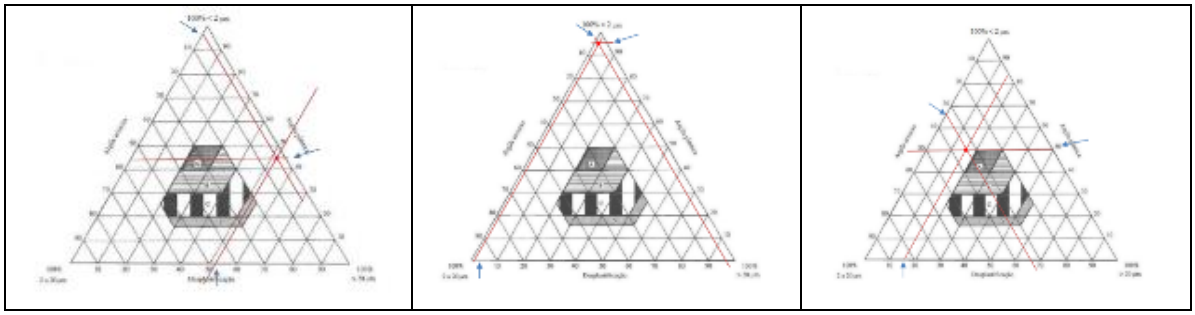


Figura 27 – Diagrama Granulométrico de Winckler; Fábrica “A” e “B”. Fonte: autores (2017)

Tanto a argila como a mistura na fábrica “A” apresentaram granulometría adequada para a fabricação de tijolos cerâmicos furados, já que se posicionaram na região “C”. Já na fábrica “B” a adição de areia gerou um solo, antes afastado de todas as regiões, em um posicionado mais próximo da região “C”.

10.2.2 – Bloco cerâmico estrutural

Todos os ensaios de determinação das características geométricas, físicas e mecânicas, obrigatórios para a avaliação de conformidade, foram realizados nos dois grupos de 13 blocos. O Quadro 5 dispõe os valores da média das dimensões efetivas de quatro dos 13 blocos de cada fábrica e as tolerâncias dimensionais.

Quadro 5 – Resultados da análise dimensional; valores médios. Fonte: autores (2017)

BLOCOS	**LARGURA (mm)**		**ALTURA (mm)**		**COMPRIMENTO (mm)**		**SEPTOS (mm)**		**PAREDES EXTERNAS (mm)**	
	“A”	“B”	“A”	“B”	“A”	“B”	“A”	“B”	“A”	“B”
1	139,5	138,9	189,7	188,5	288,3	283,1	8,5	7	9,4	9,3
2	139,5	140	189,6	189,4	288,7	282,5	7,7	8,2	9,8	9,6
3	139	139,3	189,2	188,4	288,5	281,7	8,5	7,9	9,1	9,3
4	139,2	139,7	189,3	189	288,3	282,9	8,1	7,7	8,9	8,5
Tolerâncias	137 à 143		187 à 193		287 à 293		≥ 7		≥ 8	

A Figura 28 a seguir, reunem a porcentagem dos blocos classificados como conformes em relação a cada ensaio dimensional e físico realizado.

ISBN: 978-85-65425-32-2

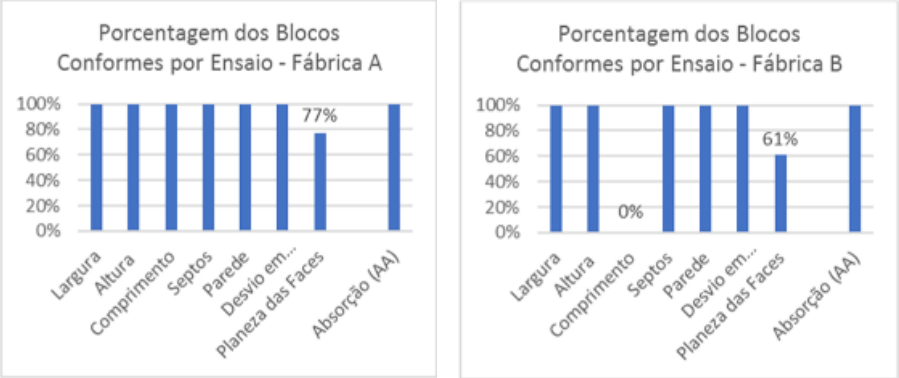


Figura 28 –Porcentagem de blocos conformes; fábrica “A” e “B”. Fonte: autores (2017)

As não-conformidades foram encontradas nos ensaios de planeza das faces, nos blocos de ambas as fábricas, e no comprimento de todos os blocos da fábrica B.

O ensaio de absorção não obrigatório, índice de absorção de água inicial (AAI) descrito na NBR 15270-3 também foi realizado em todos os blocos. Como a maior parte dos valores do índice de absorção de água inicial, da fábrica “A”, e um pouco mais da metade dos da fábrica “B”, foram inferiores a 30 (g/193,55 cm²)/min, segundo a norma NBR 15210-3 Anexo D ítem D.3.1, é necessário que esses blocos sejam umidecidos antes do assentamento. Prática utilizada como uma forma de melhorar o desempenho dos mesmos.

A característica mecânica dos blocos é quantificada por meio da resitência à compressão individual (f_b), já a verificação da conformidade ou não se dá atraves da resistência característica à compressão da amostra dos blocos. No Quadro 6, estão dispostas as resistências à compressão individuais obtidas do ensaio descrito no anexo C da NBR 15270-3, de quatro blocos, da fábrica A.

Quadro 6 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão; fábrica “A”. Fonte: autores (2017)

n (ordenação)	BLOCOS	CARGA DE RUPTURA (KN)	ÁREA DA BASE (cm²)	RESISTÊNCIA (KN/cm²)	RESISTÊNCIA (MPa)	RESISTÊNCIA MÉDIA dos 13 blocos (MPa)
1	8	335,829	403,85	0,831	8,31	10,91
2	7	370,411	403,15	0,919	9,19	
3	13	387,918	401,73	0,966	9,66	
4	10	394,758	401,01	0,984	9,84	

Utilizando a Equação 2, da NBR 15270-2 ítem 5.5.1, é possível estimar a resistência à compressão da amostra.

ISBN: 978-85-65425-32-2

$$f_{bk,est} = 2\left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots f_{b(i-1)}}{i-1}\right] - f_{b(i)} \qquad (2)$$

$f_{bk,est}$ = resistência característica estimada da amostra;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots f_{b(i)}$ = valores de resistência à compressão individual, ordenados crescentemente;

i = n/2, caso n seja par

$f_{bk,est}$i = n/2, caso n seja impar

n = quantidade de blocos

Encontrado o valor do f_{bk} é necessário ainda fazer uma análise com outros valores. Tal análise está resumida nos Quadros 7 e 8, para então se definir a resistência característica do lote (f_{bk})

Quadro 7 – Ánalise do $f_{bk,est}$ para definição do f_{bk}; fábrica "A". Fonte: autores (2017)

RESISTÊNCIA ($f_{bk,est}$) (MPa)	RESISTÊNCIA MEDIA (f_{bm}) (MPa)	Φ x f_{b1}	Se $f_{bk,est} \geq f_{bm}$ adota-se $f_{bk} = f_{bm}$	Se $f_{bk,est} < \Phi$ x f_{b1} adota-se $f_{bk} = \Phi$ x f_{b1}	Se $f_{bm} \geq f_{bk,est} > \Phi$ x f_{b1} adota-se $f_{bk} = f_{bk,est}$	f_{bk}
7,85	10,91	8,23	Não	Sim	Não	8,23

Quadro 8 – Ánalise do $f_{bk,est}$ para definição do f_{bk}; fábrica "B". Fonte: autores (2017)

RESISTÊNCIA ($f_{bk,est}$) (MPa)	RESISTÊNCIA MEDIA (f_{bm}) (MPa)	Φ x f_{b1}	Se $f_{bk,est} \geq f_{bm}$ adota-se $f_{bk} = f_{bm}$	Se $f_{bk,est} < \Phi$ x f_{b1} adota-se $f_{bk} = \Phi$ x f_{b1}	Se $f_{bm} \geq f_{bk,est} > \Phi$ x f_{b1} adota-se $f_{bk} = f_{bk,est}$	f_{bk}
8,36	11,26	8,95	Não	Sim	Não	8,95

Os valores de Φ são indicados no ítem 5.5.1 da norma. Tanto os blocos da amostra da fábrica "A", quanto os da "B" alcançaram uma resistência superior ao valor mínimo de 3,0 MPa recomendado pela norma NBR 15270-2:2005, ítem 5.5.1.

11. Conclusões

A partir das visitas realizadas foi possível descrever, com o auxílio de fotos, o processo de produção dos blocos cerâmicos de duas fábricas. Verificou-se na fábrica A uma mistura de operações regidas pelo empirímos, com métodos mais mecanizados e controlados. Já a fábrica B opera de uma forma mais convencional e típica da maioria das fábricas de blocos cerâmicos.

Em relação à conformidade dos lotes analizados, a fábrica A apresentou todos os valores dimensionais dentro do intervalo de tolerância normativo. A fábrica B apresentou apenas inconformidade nas dimensões dos comprimentos dos blocos, no entanto foram constatadas em todas as 13 unidades. As flexas encontradas no ensaio de planeza das faces, em ambas as fábricas, provocariam a rejeição dos lotes. A média da resistência à compressão foi 10,91MPa e 11,26MPa para a fábrica A e B respectivamente. Os valores

ISBN: 978-85-65425-32-2

de resistência mínimos e máximos da fábrica A foram de 8,31MPa e 12,67MPa; ja na fábrica B foram 9,04MPa e 14,30MPa. O coeficiente de variação da fábrica A foi de 12,16% e o da fábrica B foi de 15%. O valor característico obtido foi 8,23Mpa – fábrica A; 8,95MPa – fábrica B. Superando a resistência mínima de 3MPa estabelecida por norma.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos às duas fábricas que permitiram as visitas e cederam as matérias primas e produto final.

Referências bibliográficas

ABNT NBR 15270-1:2005 – Componentes Cerâmicos Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e Requisitos.

ABNT NBR 15270-2:2005 – Componentes Cerâmicos Blocos cerâmicos para alvenaria Estrutural - Terminologia e Requisitos.

ABNT NBR 15270-3:2005 – Componentes Cerâmicos Blocos cerâmicos para alvenaria Estrutural e Vedação - Métodos de ensaio.

Almeida, I.M.F. (2008) Caracterização de Patologias. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.

Carreiro, M. E. A., Santos, R. C., Silva, V. J., Lira, H. L., Neves, G. A., Menezes, R. R., & Santana, L. N. L.. (2016). Resíduo de quartzito - matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. Cerâmica, 62(362), 170-178.

Jordão, M.A.P. & Zandonadi, A.R. (2002) Informações técnicas – Anuário Brasileiro de Cerâmica 2002. Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo.

Laboratório de Geotecnia e Pavimentação - labmes (2017). Gráfico de Plasticidade – notas de aula. Universidade do Estado de Santa Catarina. Acessado em 2017.

Maurício R.C.; Mol A.C.; Pereira Filho J.C. (2004) Panorama do Setor de Cerâmica Vermelha do Estado do Rio de Janeiro. Anais do 48° Congresso Brasileiro de Cerâmica. Curitiba, Paraná.

Oliveira, R. A.; Zarzar Junior, F. C.; Teles, J. L. Análise do processo de produção e da resistência à compressão de blocos destinados a alvenaria estrutura - estudo de caso. In: CINPAR 2013 - IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, 2013, João Pessoa - PB. Anais do IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas - CINPAR 2013. São Paulo: CINPAR, 2013. v. 1.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Oliveira, F.H., Rodrigues, E., Sands, D., Branco, M. (2012). Rehabilitation of Existing Reinforced Concrete Structures. Earthq. Eng. & Struc. Dyn.

Ortigão, J. A. R. (1993). Introdução a Mecânica dos Solos nos estados críticos. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC.

Parsekian, G. & Soares, M.M. (2010) Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos. São Paulo: O Nome da Rosa.

Pracidelle, S; Melchiades, F. G. (1997). Importância da composição granulométrica de massas para cerâmica vermelha. Cerâmica Industrial, v. 2, n. 1/2, p. 31 – 35.

Roman, Humberto R.; Mutti, Cristiane do N.; Araújo, Hércules N. de. (1999) Construindo em Alvenaria Estrutural. Florianópolis: Editora da UFSC.

Varum, H., Oliveira, J., Rodrigues, H. (2014). Seismic Behavior of RC Buildings: Lessons of Recent Earthquakes in Europe. International Congress about Pathology and Structures Rehabilitation – CINPAR 2014, Santiago, Chile.

Zarzar Junior, F. C.; Holanda, M. A. A. G.; Oliveira, R. A.. Analysis of the process of production and the compressive strength of ceramic blocks for non structural masonry. Case study. In: 11th. Canadian Masonry Symposium, 2009, Toronto - Canadá. Annals of the 11th. Canadian Masonry Symposium. Toronto, 2009. v. 1. p. 1-10.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DO PÓ RESULTANTE DA SECAGEM DA LAMA DO BENEFICIAMENTO DO GRANITO EM CONCRETO SIMPLES

Support To The Study Of The Incorporation Of The Powder Resulting From The Drying Of Granite Beneficiation Sludge In Simple Concrete

Lucas W. A. ARAÚJO[1], **Maria Luíza** ARAÚJO[2], **Ana Maria** G. Duarte MENDONÇA[3]

[1] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil, lucassis7@outlook.com

[2] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil, maria_luiza_ramalho@hotmail.com

[3] Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil, ana.duartemendonca@gmail.com

Resumo: Um dos grandes problemas enfrentados por todas as áreas produtoras e consumidoras do mundo é a geração de resíduo. Geração essa que parece desenfreada e constatada que varia com o aumento do material não aproveitado nas determinadas fases de produção. Nessa pesquisa o grande destaque se dá a incorporação do pó resultante da secagem da lama granítica no concreto objetivando verificar as propriedades mecânicas do concreto obtido. Adquirindo importância para materiais que atingiram sua vida útil e foram dispostos de formas irregulares no meio ambiente. Inicialmente foram realizados ensaios de caracterização física e química do resíduo. Posteriormente, com o estabelecimento da dosagem do concreto (1:2,23:2,89:0,53), foram confeccionados corpos de prova nas dimensões de 10 cm x 20 cm para o concreto de referência e para o concreto incorporado com 10% e 20% de resíduo de granito em pó em substituição ao cimento Portland, em seguida foram realizados os ensaios de resistência a compressão simples nas idades de 7, 14 e 28 dias, como preconiza a norma NBR 5739 (ABNT, 2010). De acordo com os resultados obtidos, observou-se que a incorporação do resíduo de granito ocasionou uma redução sistemática da resistência do concreto, quando comparado ao concreto de referência. Esta redução de resistência pode ser ocasionada pela a substituição do cimento

ISBN: 978-85-65425-32-2

por um material sem atividade pozolânica, comprometendo assim a evolução da resistência.

Palavras-chave: propriedades; material alternativo; sustentabilidade.

Abstract: One of the major problems faced by all the producing and consuming areas of the world is the generation of waste. This generation seems to be rampant and verified that it varies with the increase of the unused material in the determined phases of production. In this research the great highlight is the incorporation of the powder resulting from the drying of the granite sludge in the concrete aiming to verify the mechanical properties of the concrete obtained. Acquiring importance for materials that have reached their useful life and have been disposed of in irregular ways in the environment. Initially, physical and chemical characterization tests were performed. Subsequently, with the determination of the concrete dosage (1: 2.23: 2.89: 0.53), test specimens were made in the dimensions of 10 cm x 20 cm for the reference concrete and for the concrete incorporated with 10 And 20% of granite powder was used instead of Portland cement, and the tests of resistance to simple compression at the ages of 7, 14 and 28 days were carried out, as recommended by NBR 5739 (ABNT, 2010). According to the results obtained, it was observed that the incorporation of the granite residue caused a systematic reduction of the resistance of the concrete, when compared to the reference concrete. This reduction of resistance can be caused by the replacement of the cement by a material without pozzolanic activity, thus compromising the evolution of the resistance.

Keywords: Properties; Alternative material; sustainability.

1. Introdução

A construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais, estima-se que consome cerca de 35% do total de recursos consumidos pela a sociedade (JOHN, 1998). Demonstrando a necessidade que a mesma tem de atuar na tentativa de retirar um pouco do que é gerado como resíduo, pois o mercado da construção civil se apresenta como uma das alternativas mais eficazes para consumir materiais reciclados (GONÇALVES, 2000). Ou seja, dois pontos podem ser analisados a partir disso, ao mesmo passo que a construção civil se mostra como vilã no aspecto da produção de resíduos, a mesma poderá agir como consumidora de vários resíduos produzidos. Mendonça (2012), relatou que a preocupação com os impactos no meio ambiente que tendem a crescer dado os aumentos desses impactos.

Ao passo que a indústria civil cresceu, foi observado nesse âmbito que os recursos que apoiam essa indústria também tiveram um notável crescimento da sua produção, causando um esperado aumento na produção de resíduos. Sejam esse apoio vindo desde indústrias ligadas ao consumo energético, como também, as indústrias ligadas à produção de materiais.

O granito é um comum tipo de rocha proveniente de atividades principalmente magmáticas para sua formação. Composta por diversos minerais, essencialmente: quartzo, mica e feldspato. Também pode conter em sua composição outros minerais

ISBN: 978-85-65425-32-2

ditos acessórios. É um material encontrado quase sempre em seu estado sólido, com características de elevada dureza e resistência. Sendo assim, dada essas qualidades, um material amplamente utilizado em ramos da construção civil. Dado o beneficiamento da rocha, esta poderá ser utilizada como pedras ornamentais e também revestimento.

Segundo Lima (2011), a economia voltada para o mercado de granito brasileiro é bastante movimentada, sendo o Brasil detentor da maior parte das reservas mundiais de granito, e ainda, ocupando a quinta posição no ranking de exploração e comercialização das rochas. Ou seja, é para o Brasil uma indústria de grande expansão com alta representatividade na economia.

No entanto, ao mesmo passo que a economia é aquecida por dado tipo de atividade, não podem ser desconsiderados os problemas ambientais gerados a partir deste negócio. Especialmente os impactos ambientais causados pela deposição dos resíduos provenientes dos processos de beneficiamento das rochas. O elevado crescimento demográfico e da industrialização, combinados com a falta de planejamento ambiental para um desenvolvimento sustentável, têm gerado milhões de toneladas de resíduos por ano em todo o mundo (MENEZES, 2012).

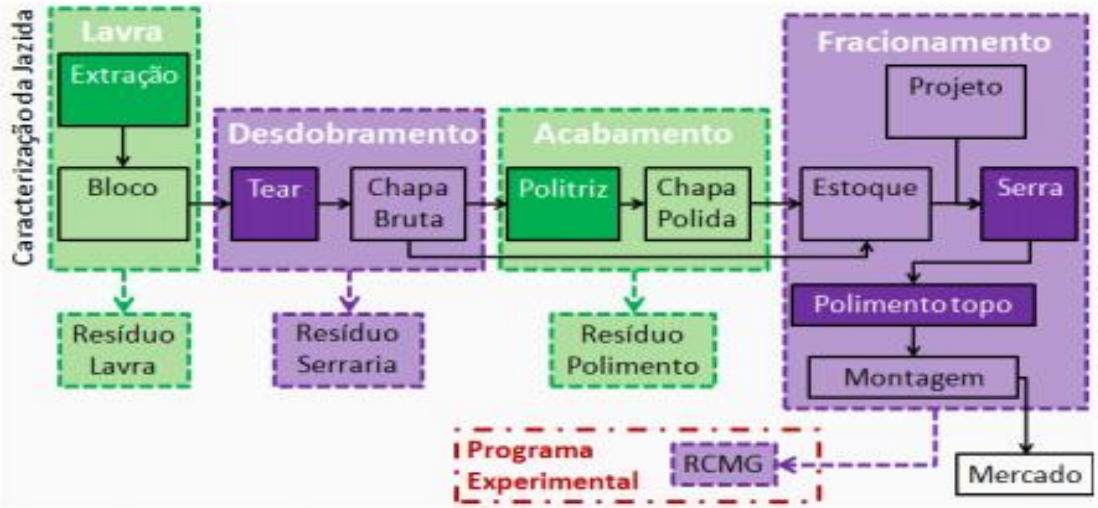


Figure 1 - Processo de beneficiamento das rochas graníticas

Então, dispostos em locais inapropriados, dadas suas características não biodegradáveis, os resíduos do beneficiamento de granito, de acordo com Lima (2011), são basicamente de dois tipos: fragmentos de pedras desperdiçadas por possuírem menor qualidade ou pouco valor comercial e o resíduo propriamente dito, também conhecido por lama granítica que é caracterizado como a massa mineral resultante dos processos de polimento, serragem e corte. Para a ABNT NBR 10004 (2004), o resíduo de granito se enquadra como um resíduo da classe IIIB, com características inertes e sem toxicidades.

Diante desse cenário, o desenvolvimento de tecnologias alternativas para reutilização dos resíduos sólidos é do maior interesse econômico e ambiental. O objetivo deste

ISBN: 978-85-65425-32-2

trabalho é o estudo das propriedades encontradas no resíduo de granito que de acordo com Da Costa (2010), o apurado estudo acerca dos parâmetros físicos e químicos dos resíduos de pedras ornamentais é de fundamental importância para nortear um manejo adequado da aplicação deste resíduo. E ainda, a aplicação deste resíduo como incorporação na produção do concreto simples.

Este trabalho tem como objetivo investigar as propriedades mecanicas do concreto incorporado com resíduo de granito em pó.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Cimento: O cimento utilizado foi o Cimento Portland CPII F32, obtido em comércio local do município de Santa Rita-PB, com especificações caracterizadas como mostra a tabela 1:

Tabela 17 - Resultados da caracterização do cimento

Parâmetro Determinado	Valor Determinado
Massa Específica Real	2,96 g/cm³
Finura	2,82%
Resistência Normal a 28 dias	32 MPa

Agregado miúdo: foi utilizado o agregado do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba, apresentando diâmetro máximo de 4,8mm e finura de 2,78%, com massa específica de 2,62g/cm³ e massa unitária solta de 1,76g/cm³. Apresentando curva granulométrica como mostrado na Figura 2:

ISBN: 978-85-65425-32-2

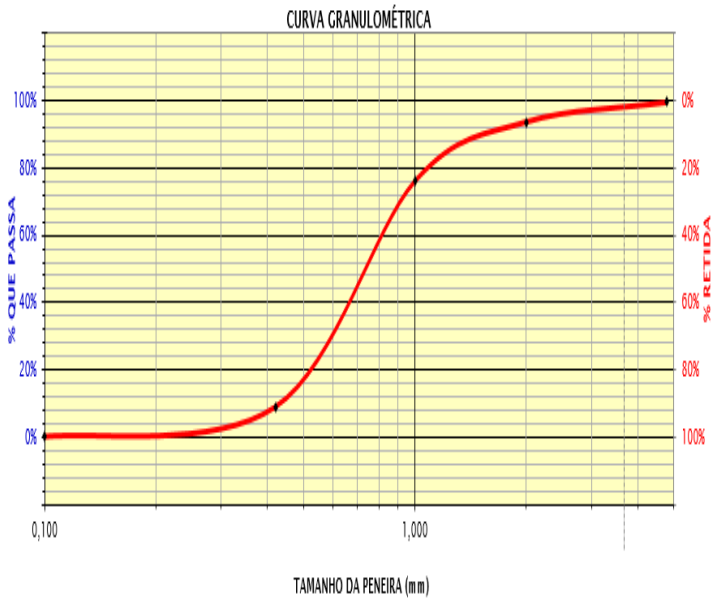


Figura 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo

Agregado graúdo: Utilizou-se o agregado de origem granítica, apresentando diâmetro máximo de 19,1mm, com massa específica seca de 2,80g/cm³, massa específica na condição SSS de 2,89g/cm³ e massa específica aparente igual a 3,06g/cm³, e ainda, absorção de 3,11%. Apresentando curva granulométrica como mostrado na Figura 3:

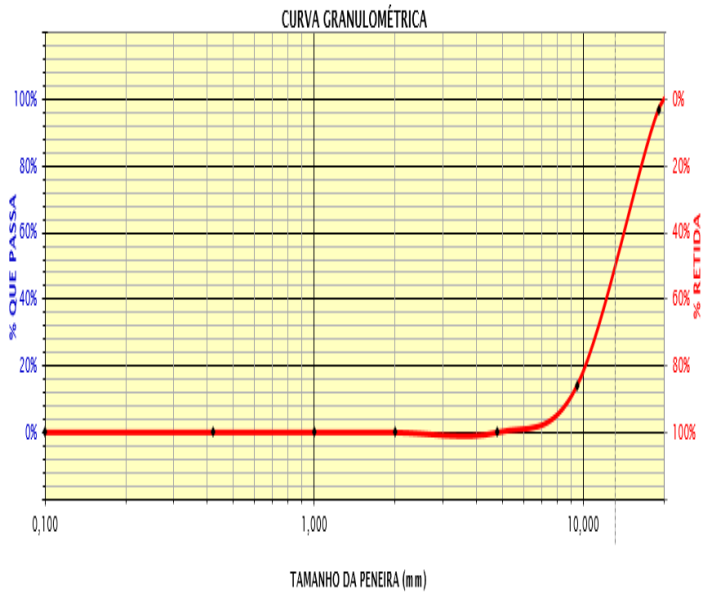


Figura 3 - Curva granulométrica do agregado graúdo

ISBN: 978-85-65425-32-2

Resíduo de granito em pó: o resíduo de granito utilizado no desenvolvimento deste projeto foi proveniente da indústria GRANFUJI situada no distrito industrial de Campina Grande-PB, apresentando composição química majoritária de 61,08% de SiO2 e 16,50% de Al2 O3, fases mineralógicas: caulinita, mica, feldspato e quartzo. A caracterização do resíduo de granito fora realizada como mostra o fluxograma da Figura 4:

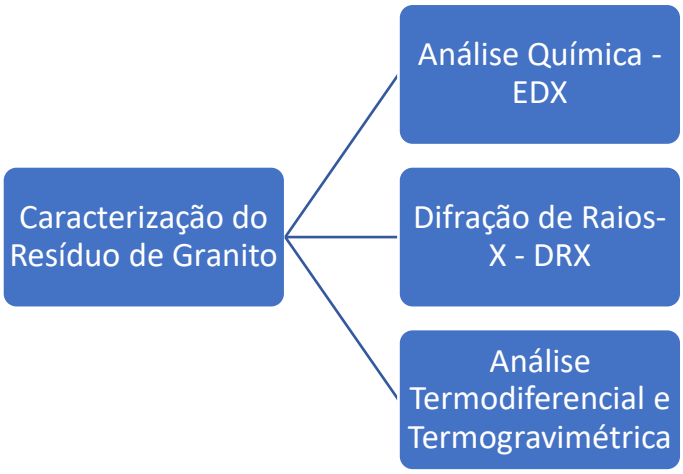


Figura 4 - Fluxograma dos ensaios realizados para caracterização do resíduo de granito

2.2 Métodos

A Figura 5 ilustra o fluxograma das etapas desenvolvidas na pesquisa:

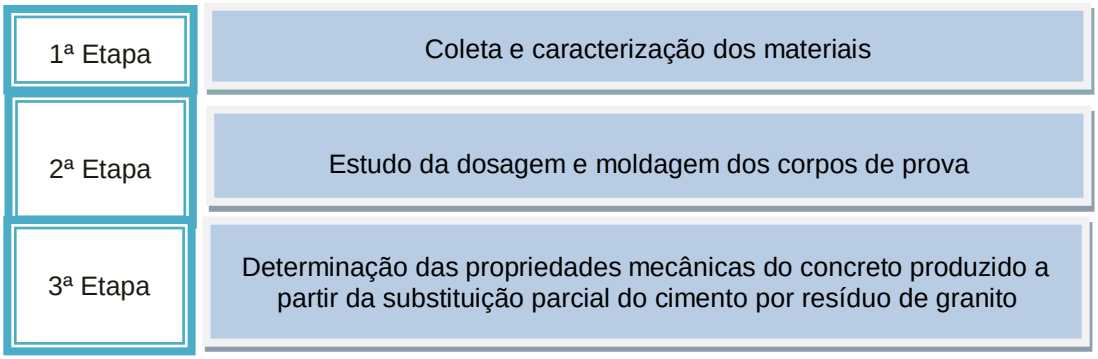


Figura 5 – Fluxograma das etapas da pesquisa

2.2.1 Coleta e caracterização dos materiais

Nesta etapa foram selecionadas as matérias-primas convencionais e alternativas utilizadas para a produção do concreto: cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, e

ISBN: 978-85-65425-32-2

resíduo de granito em pó. Posteriormente foi realizada a caracterização fisica dos agregados e do cimento e a caracterização física, química e mineralógica do resíduo de granito.

2.2.2 Estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova de concreto

Para dosagem experimental do concreto, o método utilizado foi o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que atende as exigências da Norma da ABNT NBR 7211 (ABNT, 2005).

A partir da utilização dos resultados de caracterização dos materiais foi realizado o estudo da dosagem, obtendo-se o traço de 1:2,23:2,89:0,53. Sequencialmente foram moldados os corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10 cm x 20 cm com substituição parcial do cimento por teores de 10% e 20% de resíduo de granito, estabelecendo-se as idades de cura de 7, 14 e 28 dias.

O Quadro 1 apresenta a proporção dos materiais utilizados para moldagem dos corpos de prova:

Quadro 1 – Proporção dos materiais para moldagem dos corpos de prova

Materiais	CREF	C10% RG	C20% RG
Cimento	1,48kg	1,33kg	1,18kg
Resíduo de Granito	0,0kg	0,148kg	0,296kg
Agregado Miúdo	3,28kg	3,28kg	3,28kg
Agregado Graúdo	4,26kg	4,26kg	4,26kg

2.2.3 Determinação das propriedades mecânicas

Resistência à compressão simples

A determinação da resistência à compressão foi realizada de acordo com o procedimento do método de ensaio da ABNT NBR 5739:2007. Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões padronizadas de 10 cm x 20 cm e rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias. Os resultados obtidos são oriundos da média de 6 corpos de prova.

Os ensaios para determinação da resistência a compressão simples foram realizados no Laboratório de Engenharia de Pavimentos da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

3. Resultados e Discussões

A Figura 6 ilustra os resultados obtidos para a resistência à compressão simples do concreto de referência e do concreto com substituição do cimento no teor de 10% por resíduo de granito para as respectivas idades ensaiadas (7, 14 e 28 dias).

ISBN: 978-85-65425-32-2

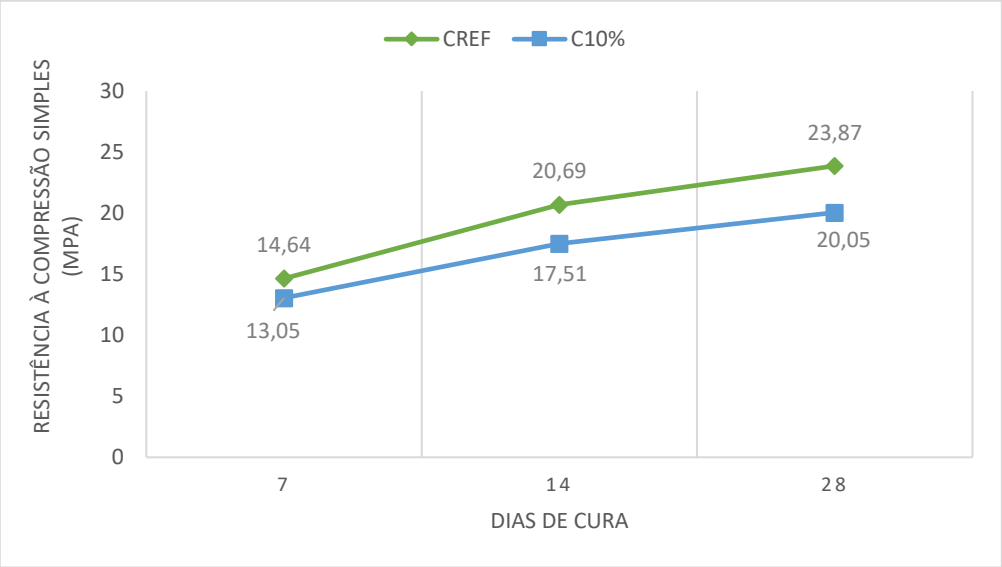


Figura 6 – Resistência à compressão simples do concreto de referência e paar o concreto com teor de 10% de resíduode granito em pó.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do cimento por teores de 10% de resíduo de granito resultaram em uma redução da resistência à compressão para todas as idades em estudo, obtendo-se para os 28 dias uma redução em torno de 16%.

Estudos realizados por Mendonça (2012) com incorporação do resíduo de granito ao concreto para produção de blocos proporcionou uma leve redução da resistência, indicando que apesar de o resíduo não possuir atividade pozolânica, sua composição química, juntamente com a sua granulometria permitiram a obtenção de uma resistência praticamente análoga à obtida para o concreto de referência.

A Figura 7 ilustra os resultados agora obtidos para a resistência do concreto com substituição do cimento Portland por teor de 20% de resíduo de granito em pó.

ISBN: 978-85-65425-32-2

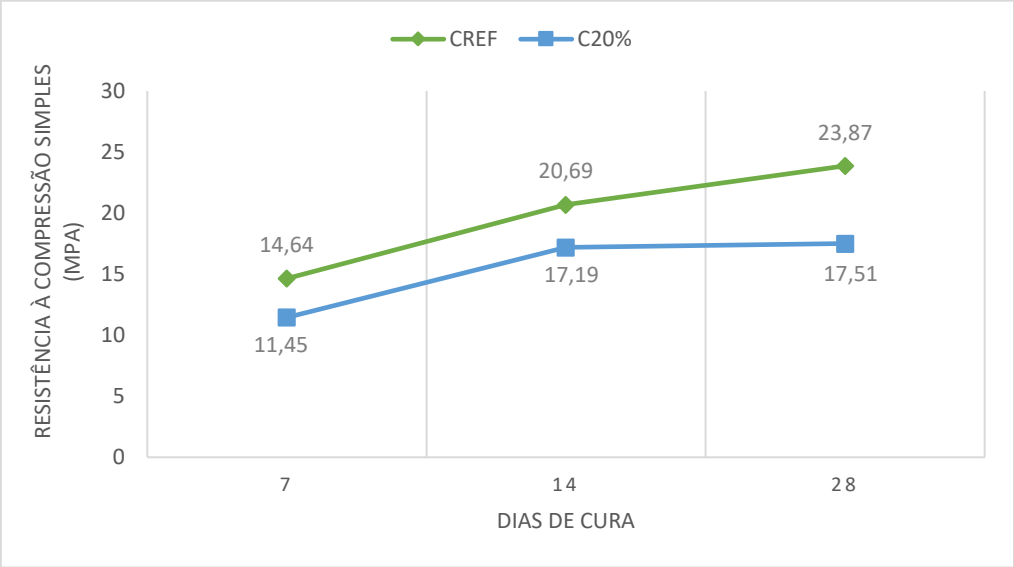


Figura 7 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova de referência e teor de 20% de resíduos

Para a incorporação de 20% de resíduo de granito, o concreto verificou uma redução de resistência de aproximadamente de 28%. Indicando que quanto maior o teor de incorporação, maior será a redução da resistência do concreto.

De acordo com a norma da ABNT NBR 5739 (ABNT, 2007) e NBR 12655 (ABNT, 2006), os resultados obtidos para o concreto incorporado com teor de 10% e 20% de resíduo de granito não satisfazem os parâmetros normativos.

A Norma da ABNT NBR 5739 (ABNT, 2007) resulta que o concreto para a idade de 7 dias de cura deverá ter uma resistência aproximada de 14MPa, que não fora atingida pelos concretos incorporados. Independente do concreto com o teor de 10% ter atingido a resistência de 20MPa estabelecida aos 28 dias.

Apesar do resíduo de granito apresentar em sua composição um percentual superior a 60% de SiO_2, este não contribuiu para a elevação da resistência mecânica, visto que faz-se necessário um tratamento termico do resíduo para que a sílica existente em sua composição torne-se ativa e possa atuar como um melhorador da resistência.

Gonçalves (2000) estudou a resistência de concretos incorporados com resíduo de granito e verificou que quanto a resistência a compressão axial, os concretos com adição do resíduo obtiveram um ganho na resistência na sua condição de idade máxima experimentada. Entretanto, observou-se que o ganho de resistência não foi de uma diferença significativa.

4. Conclusões

De acordo com os resultados referenciados na pesquisa, pode-se concluir que de acordo com o citado em introdução, é de fato importante a caracterização do resíduo de granito

ISBN: 978-85-65425-32-2

para enquadramento do resíduo em alguma atividade, assim sendo, a sua retirada do meio ambiente, beneficiando o mesmo.

Conclui-se também que a incorporação do resíduo de granito ao concreto causou uma redução da resistência para os teores em estudo e para todas as condições de cura estabelecidas. No entanto, para o teor de 10% de substituição, o concreto veio a atingir aos 28 dias a resistência estabelecida no traço dosado.

Para o teor de 20%, observou-se uma redução muito elevada da resistência, não estando este de acordo com o previsto em norma, ou seja, um teor que não deve ser tão elevado para substituição parcial do cimento.

O trabalho em sua ênfase de buscar novas tecnologias para reutilização de materiais que não devam ser dispostos em meio ambiente mostrou que é possível e necessária esta retirada de resíduo, e além, não só a retirada do resíduo proveniente dos processos de beneficiamento das rochas granítica, como também, todo e qualquer resíduo que possa ser reaproveitado em outra atividade produtiva.

Agradecimentos

Aos colegas do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP) do Departamento de Engenharia Civil – UFCG, onde este trabalho foi desenvolvido, por todo o apoio.

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação, 2004.

_____. NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, 2007.

_____. NBR 12665: Concreto – Preparo, controle e recebimento – Procedimento, 2006.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação, 2005.

Da Costa, A. S. V. Uso do resíduo de granito oriundo da serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas. Periódicos Geonomos. Belo Horizonte – MG, 2010.

Gonçalves, J. P., Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como adição para produção de concretos. Dissertação de Mestrado. Rio Grande do Sul, 2000.

Lima, R. C. O. Aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmicas de baixo custo. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande – Paraíba. Novembro 2011.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Menezes, R.R. Uso de técnicas estatísticas para modelar a resistência à flexão de corpos cerâmicos contendo resíduo de granito. Revista Matéria, Rio de Janeiro – RJ. 2012.

Mendonça, A. M. G. D. Expansão por Umidade (EPU) em peças cerâmicas obtidas com massas cerâmicas alternativas contendo resíduo de caulim e granito. Tese de Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2012.

AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE QUANTO À CARBONATAÇÃO DE CONCRETOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO CERÂMICO

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

Durability Assessment For Carbonating Concrete With Incorporation Of Ceramic Residue

Renata Cristina de Oliveira MORATO[1], **José Daniel Jales SILVA**[2], Iolanda Andrade MATOS[3]

[1] UFERSA, Pau dos Ferros, Brasil, renatamorat@gmail.com1

[2]UFERSA, Mossoró, Brasil, iolanda_matos@hotmail.com2

[3] UFERSA, Pau dos Ferros, Brasil, daniel.jales@ufersa.edu.br3

Resumo: O cenário atual tem motivado pesquisas para o reaproveitamento e reciclagem de resíduos como agregados no concreto e como materiais pozolânicos, a fim de proporcionar um novo descarte, reduzir custos, melhorar propriedades mecânicas, desempenho e durabilidade. Dentre estes resíduos destaca-se o Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV), proveniente de telhas, tijolos e blocos, que depois de triturado produz um pó com propriedades pozolânicas. Este estudo analisa e compara a durabilidade do concreto convencional e do concreto com resíduo cerâmico quanto a penetração de partículas de CO_2 em ambiente urbano. Confeccionou-se 44 Corpos de Prova (CP's), sendo 22 CP's de concreto convencional com 0% de substituição de cimento por RCV e 22 CP's de concreto com 25% de substituição de cimento por RCV, ambos com fator A/C de 0,65. Em seguida foram realizados os seguintes ensaios: slump test, absorção e porosidade, resistência à compressão e ensaio de durabilidade à carbonatação através da aspersão de fenolftaleína. Em todas as idades as amostras com adição de resíduo apresentaram maiores frentes e carbonatação, também apontaram um considerável aumento de porosidade e consequente perca de resistência à compressão, quando comparado ao traço referencial. Comprovando de modo insatisfatório a substituição de cimento por RCV, quanto as propriedades do concreto.

Palavras-chave: adição mineral, cerâmica vermelha, concreto sustentável, dióxido de carbono.

Abstract: The current scenario has motivated the research for the reuse and recycling of waste as non-concrete aggregates and as pozzolanic materials, from a new disposal, reduce costs, improve mechanical properties, performance and durability. Among these residues, the Red Ceramic Residues (RCV), from tiles, bricks and blocks, which after crushing, produced with pozzolanic commodities, stand out. This study analyzes and compares the durability of conventional concrete and concrete with ceramic waste as a penetration of CO_2 particles in urban environment. A total of 44 proof bodies (PB's) were made, of which 22 PB's of conventional concrete 0% of cement substitution per RCV and 22 concrete PB's with 25% cement substitution for RCV, both with A/C factor of 0.65, Followed by the test trials: drop test, absorption and porosity, compressive strength and durability test for carbonation by phenolphthalein sprinkling. At all ages the samples with addition of residue presented larger fronts and carbonation, also indicated a considerable increase of porosity and consequent loss of compressive strength when compared to the

ISBN: 978-85-65425-32-2

reference trait. Unsatisfactorily proving the replacement of cement by RCV, as well as the properties of concrete.

Keywords: Mineral addition, red ceramics, sustainable concrete, carbon dioxide.

1. Introdução

A construção civil hoje é responsável por grande parte do PIB geral do Brasil, assumindo um valor de 10,1%, desse modo, desenvolve um importantíssimo papel à economia brasileira ocupando 13,5% de toda força de trabalho do país. Apenas nos três primeiros meses de 2015 a construção civil movimentou, cerca de R$ 253,6 bilhões (FIESP, 2015). Devido ao grande avanço, esse setor consome grande parte dos recursos naturais extraídos no planeta. De acordo com Valverde (2001), os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo além disso, “o concreto é o segundo material mais consumido pelos homens, depois da água” (ALMEIDA e LUZ, 2009).

A principal adversidade, do ponto de vista ambiental está relacionada com os resíduos sólidos oriundos da construção e demolição, resíduos das construções civis e os resíduos das indústrias civis, em virtude da deposição irregular que na maioria dos municípios brasileiros são depositados em “lixões” clandestinos, margens de rios e terrenos baldios (JOHN e AGOPYAN, 2013). Dentro desse contexto encontram-se as indústrias de cerâmica vermelha na qual o seu processo de fabricação gera uma quantidade significativa de resíduo, que quando descartados de modo inadequado, afetam o ambiente natural, social e urbano.

À vista disso, surge o conceito de “concreto sustentável” que tenta aproximar a construção civil ao conceito de desenvolvimento sustentável, este compreendido como um processo que estima o desenvolvimento tecnológico visando atender as necessidades futuras, abrangendo mudanças culturais, na educação, ambientais e uma visão sistêmica (BRANDON, 1998 *et al. apud* SILVA, 2003). Os concretos sustentáveis têm como objetivo poupar recursos naturais, de modo que os produtos substituintes conservem ou melhorem as propriedades do concreto convencional, como também evitar o descarte de substâncias nocivas ao meio ambiente.

Portanto, o cenário atual tem motivado pesquisas, semelhantes ao presente trabalho, que aliem o aproveitamento e reciclagem desses resíduos como agregados ou aglomerantes no concreto, a fim de proporcionar um novo descarte, reduzir custos, melhorar propriedades mecânicas, desempenho e durabilidade.

Assim, um dos maiores obstáculos para o setor da construção civil, além do gerenciamento dos resíduos sólidos, é aumentar a vida útil das estruturas, combatendo o surgimento das manifestações patológicas, que é um dos processos mais correntes de deterioração do concreto armado atualmente.

Apesar do atual avanço tecnológico os custos decorrentes das falhas provocadas pela corrosão ainda são bastante onerosos, pois além de ser apontada como “umas das manifestações patológicas de maior incidência” (HELENE, 1986), ela também ocasiona

ISBN: 978-85-65425-32-2

problemas associados com a deterioração ou destruição de material, tornando-se um fator de grande importância a ser considerado em projetos de construção civil.

Neste sentido, é louvável a realização de novos estudos que aliem o reaproveitamento de resíduos sólidos, como o RCV (resíduo de cerâmica vermelha), com o propósito de abordar suas implicações na resistência à corrosão por carbonatação do concreto, pois além das vantagens econômicas e ecológicas, o reaproveitamento garante benefício técnico: "podendo substituir até 25% dos materiais convencionais por reciclados sem alterar as propriedades mecânicas" (COSTA, 2006).

2. Materiais e Métodos

A metodologia utilizada para análise da durabilidade dos concretos produzidos, seguiu o fluxograma mostrado na Figura 31. Onde primeiramente foi realizada a caracterização dos materiais (cimento, resíduo, agregado miúdo e agregado graúdo), posteriormente a produção dos concretos, foram realizados os ensaios de desempenho no estado fresco e após a cura e exposição foram realizados os ensaios no estado endurecido.

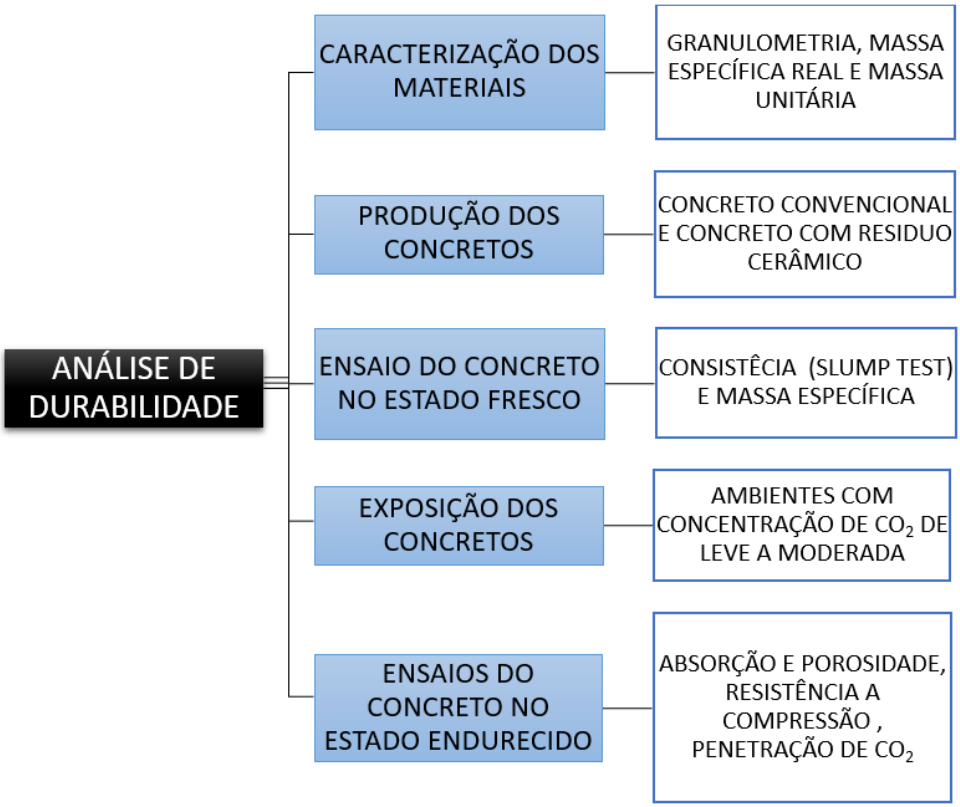


Figura 31 - Fluxograma de pesquisa

2.1 Locais da pesquisa

A produção do concreto, a confecção dos CP's (corpos de prova) e os ensaios de consistência do concreto (slump test), massa específica, absorção e porosidade e

ISBN: 978-85-65425-32-2

resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Construção Civil localizado no Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN, campus Mossoró. O ensaio de durabilidade foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, campus Pau dos Ferros. Os corpos de prova que participaram do ensaio de durabilidade foram expostos em três diferentes ambientes com moderada a baixa concentração de CO_2, no município de Pau dos Ferros – RN.

2.2 Caracterização dos materiais

2.2.1 – Agregado miúdo

Para a fabricação das amostras de concreto, como agregado miúdo foi utilizado areia natural fornecida pela UFERSA, previamente peneirada na peneira de abertura 4,75mm.

A fim de obter a caracterização desse material foi realizado os ensaios de granulometria e massa específica. Os ensaios das massas específicas seguiram os procedimentos descritos na NBR NM 52/2009 e na NBR NM 45/2006 estas normas têm como objetivo "estabelecer o método de determinação da massa específica real e da massa unitária, respectivamente, dos agregados miúdos destinados a serem usados em concreto". Para a realização de cada ensaio foram utilizadas duas amostras.

O ensaio para obtenção da granulometria foi realizado seguindo os procedimentos descritos na NBR 248/2003, que tem como objetivo determinar a distribuição granulométrica do solo, ou seja, busca estabelecer a porcentagem que cada faixa de dimensão de grão representa na amostra. Como recomenda a norma, foram realizados ensaios para duas amostras. Por fim, os dados foram obtidos a partir do Método da Curva.

2.2.2 – Agregado graúdo

Foi utilizado como agregado graúdo brita granítica, também fornecida pela UFERSA, sendo utilizada a fração passante na peneira de abertura 75 mm e retida na peneira de abertura 4,75 mm.

A caracterização foi obtida a partir da realização dos ensaios de granulometria e massa específica. Os ensaios executados para obtenção da massa específica real e da massa unitária seguiram as metodologias descritas na NBR NM 53/2009 e na NBR NM 45/2006, respectivamente, as quais possuem como objetivo "estabelecer o método de determinação da massa específica real, e da massa específica aparente, destinados ao uso em concreto". Foram utilizadas duas amostras para cada ensaio.

Os ensaios realizados para obtenção dos dados de granulometria, foram desempenhados cumprindo os procedimentos descritos na NBR 248/2003. Após repetido o ensaio para duas amostras, como exige a norma, as informações finais foram processadas fundamentadas no método da curva.

2.2.3 – Cimento

Para a fabricação das amostras de concreto, convencional de com resíduo cerâmico, foi utilizado Cimento Porland CP-V ARI RS da Marca Mizu, esse tipo de cimento é

ISBN: 978-85-65425-32-2

caracterizado por sua alta resistência inicial podendo atingir 20Mpa decorrido apenas um dia da cura. A escolha do tipo CP-V ARI RS se deu pela sua alta resistência a sulfatos, ou seja, não é altamente resistente ao agente agressivo CO_2, objeto de estudo, além de ser o cimento com o menor teor de adições em fábrica.
A caracterização deste material foi baseada a partir de trabalhos já realizados com o mesmo tipo e marca de cimento, em razão do não fornecimento dos dados pela fábrica. Desta maneira, de acordo com Cavalcanti e Ribeiro (2013), a sua granulometria foi determinada pelo sedígrafo Horiba CAPA-700 e a sua massa específica foi mensurada pelo método do picnômetro de hélio, utilizando um aparelho Accupyc 1330 V2.01 – Micrometrics.

2.2.4 – Resíduo cerâmico

O resíduo cerâmico utilizado foi obtido a partir da fragmentação de blocos cerâmicos (tijolos furados) provenientes da cerâmica Torres, localizada na cidade de Mossoró. Para sua caracterização e possível utilização como material pozolânico, foi necessário que o mesmo passasse por um processo fragmentação e posterior moagem. A fragmentação inicial do material foi realizada manualmente com o auxílio de um martelo obtendo dimensões variadas. Posteriormente, o resíduo fragmentado foi submetido ao processo de britagem com duração de 30 min, no aparelho Los Angeles, como mostra a Figura 32. Visando a obtenção de uma finura adequada, foi utilizado apenas o material passante na peneira com abertura de 75 µ m (nº 200).

Para a caracterização os dados de massa específica, massa unitária e área específica das amostras foram obtidos seguindo a metodologia da NBR NM 23/2001, e NBR 16372/2015, respectivamente.

Figura 32 - Equipamento Los Angeles

2.2.5 – Água

A água de amassamento utilizada para fabricação das amostras de concreto foi obtida a partir da rede de abastecimento local.

2.3 Dosagem e produção dos concretos

2.3.1 – Escolha do traço e dosagem

ISBN: 978-85-65425-32-2

A fim de avaliar e comparar o desempenho e as propriedades do concreto com RCV, com o desempenho de um concreto convencional, foi definido previamente um traço referencial de proporcionalidade em massa de 1:2:3 (cimento, areia e brita) para uma relação água cimento de 0,65. A partir do traço referencial foi definido o traço do concreto com resíduo cerâmico, com uma porcentagem de substituição de 25% e com mesma relação água cimento.

Corroborando pesquisas anteriormente realizadas como a de Jerônimo (2014) e a de Veira (2004), em que os teores de subtituição adotados foram 10%, 20% e 30% e 20% e 40%, respectivamente, foi-se adotado o teor de 25% de substituição para o presente trabalho. Tendo em vista que no estudo de Vieira (2005) para ambos os teores houve uma perda de resistência, enquanto que no estudo de Sales e Alferes Filho (2012) o teor de 20% apresentou um aumento dessa propriedade, optou-se em analisar o concreto com teor de 25% de substituição, devido o desconhecimento das suas propriedades, enriquecendo a literatura a cerca deste tema.

O traço referencial adotado foi definido de acordo com estudos prévios como o de Silva (2015), os quais afirmam tratar-se de um traço econômico, com boas características mecânicas e boa trabalhabilidade. Após a definição dos traços foi calculado a quantidade dos materiais a serem utilizados para a confecção dos 44 corpos de prova (CP's), sendo 14 para cada idade e dois reservas. O levantamento do consumo de materiais pode ser conferido na
Tabela **18**, em que se define a nomenclatura dos corpos de prova como CP0 e CP25, referindo-se a amostras com substituição de 0% e amostras com substituição de 25%, respectivamente.

Tabela 18 - Proporção e consumo dos materiais utilizados

CONCRETO	Proporção Unitária (em massa)				Consumo (Kg/m³)			
	Cimento	Areia	Brita	RC	Cimento	Areia	Brita	RC
CP 0	1	2	3	0	349,8	699,6	1049,5	0
CP 25	0,75	2	3	0,25	262,4	699,6	1049,5	87,5

2.3.2 – Cálculo dos quantitativos de materiais

A partir da definição dos traços de concreto e a quantidade mínima de CP's, para cada ensaio, foi calculado o quantitativo de cada material a ser utilizado para a confecção das amostras. As amostras de concreto constituíram-se de corpos de prova de forma cilíndrica com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. A Tabela 19 apresenta a quantidade de CP's utilizados para cada ensaio.

Tabela 19 - Quantidade de CP's por traço

Ensaios	Quantidade de CP's

ISBN: 978-85-65425-32-2

	28 dias	60 dias	90 dias
Resistência à compressão	3	3	3
Porosidade e absorção	3	3	3
Penetração de CO_2*	1/3	1/3	1/3
Reserva		1	
Total		**22**	

**Para cada local de exposição foi utilizado no total um CP de cada traço, como a exposição correu em 3 locais diferentes esse valor é multiplicado por 3.*

Por fim, foi obtida a quantidade total de materiais necessário para a produção dos dois traços sendo adicionado ainda 10% de cada componente, devido a ocorrência de possíveis imprevistos e ensaios de caracterização.

Tabela 20 - Quantidade de material utilizado na produção dos concretos

CONCRETO	Quantidade de materiais (Kg)				
	Cimento	**Areia**	**Brita**	**Água**	**RC**
CP 0	13	26	39	8,97	0
CP 25	9,75	26	39	8,97	3,25
TOTAL	22,75	52	78	17,94	3,25
TOTAL + 10%	25,02	27,5	85,8	19,73	3,57

2.4 Ensaios do concreto no estado fresco

Ensaio de massa específica e abatimento do tronco de cone *(slump test)*

O ensaio de massa específica foi realizado segundo as prescrições da NBR 9833/2008, na qual define massa específica do concreto, como massa da unidade de volume do concreto fresco adensado, incluindo o volume de ar aprisionado e incorporado.

Para determinação do nível de trabalhabilidade e consistência do concreto foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone ou *slump test* seguindo os métodos descritos na NBR NM 67/1998. Esta norma tem como objetivo determinar a consistência do concreto fresco, através da medida de seu assentamento com o desmolde da mistura do interior de um tronco de cone, este é preenchido com três camadas de alturas iguais, e adensado com 25 golpes cada camada. Os equipamentos utilizados para realização do ensaio são mostrados na Figura 33.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 33 - Equipamentos utilizados para o Slump Test

2.5 Ensaios do concreto no estado endurecido

2.5.1 – Ensaio de Absorção e Porosidade

Para este ensaio foram produzidos três corpos de prova para cada traço, sendo realizado em todas as idades (28, 60 e 90 dias). Este ensaio tem como objetivo avaliar a velocidade de absorção de água através do aumento de massa, além de permitir a obtenção do índice de vazios. Conforme prescreve a NBR 9778/2005, essas características foram obtidas após a permanência por 72 horas em estufa a temperatura de (100 ± 5) ºC. Após o resfriamento, as amostras foram mantidas em imersão de água à temperatura ambiente, durante 72 horas, seguida da imersão em água em ebulição por 5 horas.

2.5.2 – Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência a compressão foi realizado de acordo com a NBR 5739/2007, em três corpos de prova, de cada traço e nas três idades (28, 60 e 90 dias). Previamente ao ensaio as amostras passaram por um processo de retificação para regularização da superfície, evitando assim eventuais cargas pontuais. O equipamento utilizado para ruptura dos corpos de prova foi uma Prensa Hidráulica da marca Emic. Já para a realização da retificação utilizou-se uma retifica também da marca Emic. Ambos os equipamentos estão localizados no laboratório de Construção Civil do IFRN.

2.5.3 – Ensaio de carbonatação

Após a confecção do concreto, desmoldagem dos corpos de prova as amostras que participaram do ensaio de carbonatação foram levadas diretamente para a cidade de Pau dos Ferros-RN. Onde foram expostos a ambiente urbano com concentrações moderada a baixa de CO_2, até as idades de 28, 60 e 90 dias.

No total apenas seis corpos de prova participaram do ensaio, sendo três confeccionados com o traço referencial e três fabricados a partir do traço com resíduo cerâmico. Deste modo, os corpos de prova foram distribuídos em três locais diferentes, assim em cada ponto

ISBN: 978-85-65425-32-2

da cidade foi locado dois CP's, sendo um para cada traço. Portanto, os locais escolhidos foram a Av. Independência (Local 1) área central do município, a UFERSA (Local 2) e por fim, o Condomínio Portugal (Local 3) situado na Rua Portugal.

Para realização do ensaio os CP's foram cortados diametralmente em três partes de iguais dimensões gerando, portanto, amostras com 6,67 cm de altura cada uma referente a uma idade de ensaio, exemplificado na Figura 34. Os cortes foram realizados com o auxílio de uma serra de disco diamantado, encontrada em marmorarias.

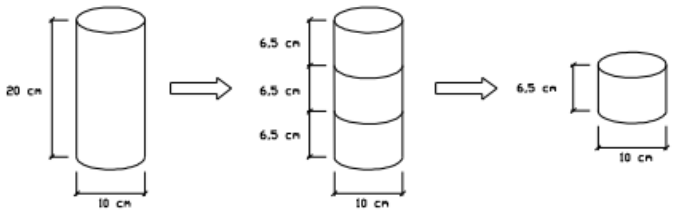


Figura 34 – Esquema de cortes dos CP's
Fonte: Barin (2008).

O ensaio de carbonatação foi realizado por meio da aspersão de solução de fenolftaleína com concentração de 1%, perpendicularmente à superfície do concreto, a fim de verificar a alteração de PH no concreto.

Com a aspersão de fenolftaleína foi possível verificar a frente de carbonatação que consiste no valor médio da espessura da camada incolor. Para medição da frente de carbonatação fez necessário o uso de um paquímetro, sendo realizada 15 minutos após a aspersão da solução. Para cada amostra foram realizadas 3 medições de pontos de profundidade. A Figura 35 mostra um dos ensaios de carbonatação realizados para a presente pesquisa.

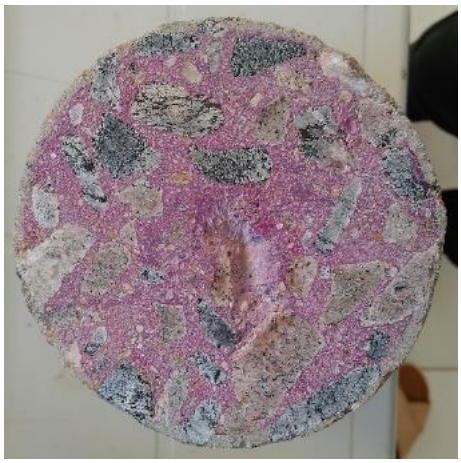


Figura 35 - Ensaio de Carbonatação

ISBN: 978-85-65425-32-2

Com a obtenção os valores da espessura de carbonatação foi calculado os coeficientes de carbonatação para as peças ensaiadas de acordo com o método de Tuutti (1982) *apud* Medeiros (2015), o qual define esse método como uma interpretação da lei de Fick, em que determina o nível de deterioração das estruturas de concreto armado por corrosão induzida pelo processo de carbonatação, como mostra a Equação 1.

$$Eco_2 = Kco_2 T^{0,5} \qquad (1)$$

Onde,

Eco_2= Espessura de concreto carbonatada (mm);

Kco_2 = Coeficiente de carbonatação (mm/semana$^{0.5}$);

T = Tempo (semanas).

3. Resultados e discusões

3.1 Caracterização do agregado miúdo

3.1.1– Massa específica real e massa unitária

Neste ensaio, agregado apresentou uma massa especifica com o valor de 2,635 kg/dm³ e massa unitária com o valor de 1,504 kg/dm³. Em ambos os ensaios os resultados foram obtidos a partir da média de duas amostras, como apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Dados do ensaio de massa específica e massa unitária

ENSAIO	MASSA ESPECÍFICA REAL (KG/DM³)	MASSA UNITÁRIA (KG/DM³)
AMOSTRA 1	2,630	1,495
AMOSTRA 2	2,640	1,513
MÉDIA	**2,635**	**1,504**

Os valores obtidos se enquadram na faixa de valores comumente encontrados em algumas literaturas, conforme em Silva (2015), podendo classifica-los como valores satisfatórios.

3.1.2 – Análise granulométrica

A partir do ensaio granulométrico, realizado conforme a NBR NM 248/2003, foi possível obter a composição granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima do agregado. Com a análise dos resultados o agregado utilizado na presente pesquisa apresentou um módulo de finura de 2,62 e diametro máximo caracteristico de 4,75 mm. Portanto, de acordo com a NBR 7211/2005, na qual define os limites para o módulo de finura de 2,20 e 2,90, o agregado pode ser definido como utilizável para a fabricação de concretos. Através da Figura 36 é possível observar que a curva granulométrica do material analizado encontra-se totalmente inserida na zona utilizável e quase inteiramente inserida na zona ótima, conforme recomendado na NBR 7211/2005.

ISBN: 978-85-65425-32-2

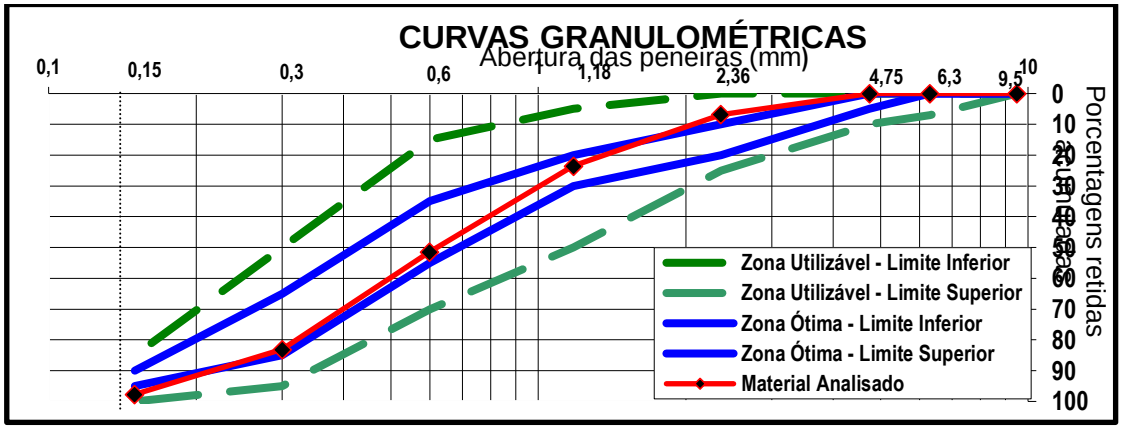


Figura 36 - Curva granulométrica do agregado miúdo

3.2 Caracterização do agregado graúdo

3.2.1 – Massa específica real e massa unitária

Na Tabela 22 é possível verificar os valores médios correspondentes aos dois ensaios de massa especifica. Os valores obtidos estão entre a faixa de valores comumente encontrados em literaturas.

Tabela 22 - Dados do ensaio de massa específica e massa unitária

ENSAIO	MASSA ESPECÍFICA REAL (KG/DM³)	MASSA UNITÁRIA (KG/DM³)
AMOSTRA 1	2,640	1,387
AMOSTRA 2	2,657	1,383
MÉDIA	**2,648**	**1,385**

3.2.2 – Análise Granulométrica

Além da composição granulométrica foi possível obter também, o módulo de finura e a dimensão máxima do agregado, com valores de 7,0 e 19 mm respectivamente. A Figura 37 representa a curva granulométrica, pode-se observar que a curva do material analisado se encontra em parte na zona 9,5/25, assim com base na NBR 7211/2009 é possível classificar como brita 1.

ISBN: 978-85-65425-32-2

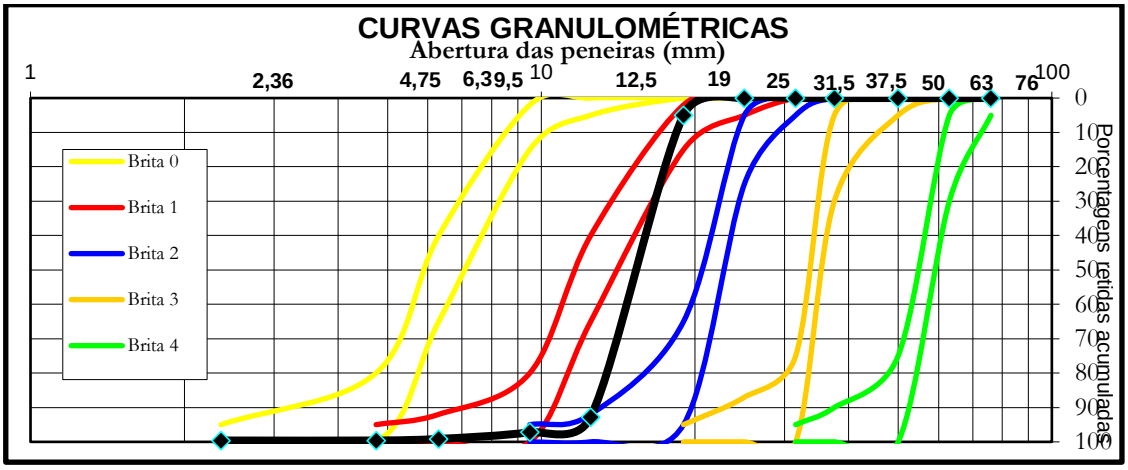


Figura 37 - Curva granulométrica do agregado graúdo

3.3 Caracterização do cimento

De acordo com Cavalcanti e Ribeiro (2013), o cimento Portland CP V RS da marca Mizu, apresentou curva granulométrica de acordo com o especificado pela NBR 5732/1991, verificou-se que porcentagem retina na peneira 75 µm foi de apenas 1,5%, estando dentro do limite sugerido pela norma que é de 12%. A massa específica encontrada foi de 3,17 kg/dm³, enquanto a massa unitária apresentou o valor de 1,00 kg/dm³. A área superficial apontou um valor de 8924 cm²/g.

3.4 Caracterização do resíduo

Após a realização dos ensaios e análise dos resultados obteve-se os valores da superfície específica, massa específica e a massa unitária do resíduo cerâmico. A Tabela 23 expõe a média dos resultados obtidos para a massa especifica e a massa unitária do material. Os valores apresentados estão entre a faixa de valores encontrados em pesquisas semelhantes.

Tabela 23 - Dados do ensaio de massa específica e massa unitária

ENSAIO	MASSA ESPECÍFICA (KG/DM³)	MASSA UNITÁRIA (KG/DM³)
AMOSTRA 1	2,670	0,897
AMOSTRA 2	2,650	0,910
MÉDIA	**2,660**	**0,903**

Os valores encontrados referentes a superfície específica estão listados na Tabela 24, o valor final foi obtido a partir da média aritmética de quatro ensaios com duas amostras, como recomenda a NBR 16372/2015. Observa-se valores bem abaixo quando comparado com a superfície especifica do cimento comum que, segundo Neville (1995), varia entre 3500 e 3800 cm²/g. O termo superfície específica se refere à área exposta do material por

ISBN: 978-85-65425-32-2

sua unidade de peso. Desse modo, quanto maior a superfície específica de um material maior será sua reatividade com o meio. Portanto, pode-se afirmar que o resíduo de cerâmica apresentou uma reatividade menor que a do cimento.

Tabela 24 - Dados do ensaio de superfície específica

ENSAIO	SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (CM²/G)
AMOSTRA 1	2800
	2677
AMOSTRA 2	2663
	2792
MÉDIA	**2734**

3.5 Caracterização do concreto

3.5.1– Ensaio de consistência e massa específica

A partir do ensaio de tronco de cone (slump test), obteve-se as informações referentes ao comportamento plástico do concreto que são apresentadas na Tabela 25. Verifica-se que houve diferença quanto a consistência entre os dois tipos de concreto, ou seja, a adição de resíduo cerâmico diminuiu o nível de trabalhabilidade do concreto, em 10,52%. Corroborando com os resultados obtidos por Nascimento Junior (2011), onde o concreto com substituição de 20% de resíduo apresentou um abatimento 33,33% menor que o concreto referencial. Esta alteração pode ser causada devido a origem do resíduo cerâmico material derivado da argila, essa caracterizada por sua alta retenção de água.

Tabela 25 - Consistência do concreto

TRAÇO	ABATIMENTO (CM)
CP 0	19
CP 25	17

Os resultados obtidos a partir do ensaio de massa específica são mostrados na **Tabela 26**. Observa-se que o concreto com resíduo cerâmico apresentou massa específica com um percentual de 4,76% mais baixo que o concreto de referência. Desta forma, de acordo com a NBR 8953/2015 ambos os concretos podem ser classificados como concretos de peso normal.

Tabela 27 - Massa específica do concreto

TRAÇO	MASSA ESPECÍFICA (KG/M³)
CP 0	2474,45
CP 25	2356,69

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.5.2 – Ensaio de absorção e porosidade

A Tabela 28 apresenta o percentual de porosidade dos concretos confeccionados. É possível perceber que a porosidade dos concretos com adição de resíduo cerâmico, em todas as idades, apresentou uma estimativa mais elevada quando comparadas às amostras referenciais. Os concretos com resíduo apresentaram um incremento de 22,72%, 15,87% e 22,59% nas idades de 07, 28 e 60 dias, respectivamente. Fato ocorrido também em pesquisas semelhantes como a de Sousa (2011), onde amostras com 30% de adição de resíduo apresentou um acréscimo de porosidade de 4,32%, apenas nos concretos com substituição de 10% e 20%, observou-se um decréscimo de índice de vazios. Evento este que justifica a diminuição da massa específica do traço CP 25 quando comparado ao CP 0.

Tabela 28 - Porosidade dos concretos

POROSIDADE (%)			
TRAÇO	**Idade (dias)**		
	28	60	90
CP 0	13,69	14,68	14,03
CP 25	16,80	17,01	17,20

O grau do índice de vazios reflete diretamente na propriedade de absorção de água do concreto, uma vez que a água absorvida se instala nos poros e vazios do concreto, portanto quanto maior a porosidade do concreto maior sua absorção, como mostra a Tabela 29, onde a absorção das amostras com resíduo também tiveram maiores valores em todas as idades, comparado com o concreto referencial. Apresentando assim um acréscimo de 24,59%, 17,03%, 18,97% nas idades de 28, 60 e 90 dias respectivamente.

Porém quando comparado a Tabela 29 com Tabela 28 percebe-se que absorção de água apontou um incremento maior que o de porosidade, isto pode ser explicado em consequência da natureza argilosa do resíduo cerâmico, material com grande poder de absorção.

Tabela 29 - Absorção dos concretos

ABSORÇÃO (%)			
TRAÇO	**Idade (dias)**		
	28	60	90
CP 0	6,14	6,40	6,22
CP 25	7,65	7,49	7,40

3.5.3 – Ensaio de resistência à compressão

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão que foram realizados nos corpos de prova com e sem resíduo, nas idades de 28, 60 e 90 dias. A Tabela 30 expõe os resultados obtidos referente a cada idade do concreto.

ISBN: 978-85-65425-32-2

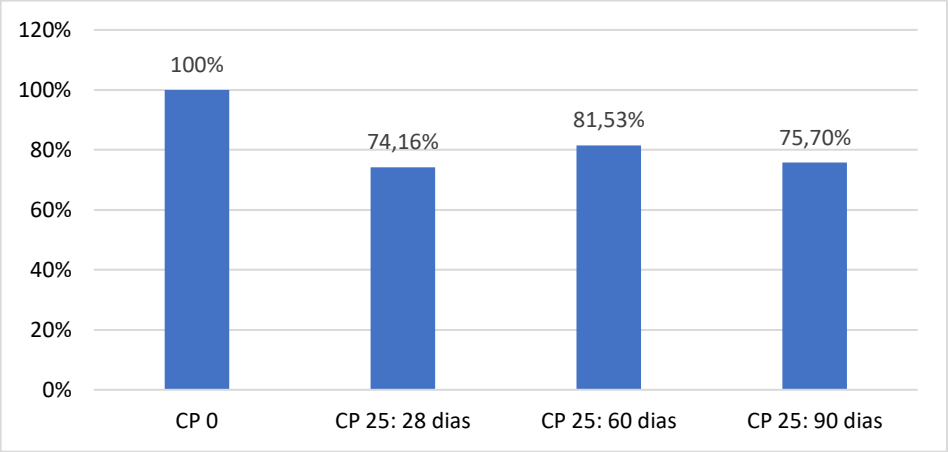
Tabela 30 - Resistencia à compressão dos concretos

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)			
TRAÇO	**Idade (dias)**		
	28	60	90
CP 0	15,09	14,89	15,14
CP 25	11,19	12,14	11,46

De início observa-se que nenhuma amostra atingiu a resistência mínima para este traço aos 28 dias, que era de 20 Mpa. Este fato pode ter sido causado pelo tipo de cura empregada após a desmoldagem dos CP's, a cura ao ar pode causar evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, aumentando a porosidade e consequentemente diminuindo a resistência característica do concreto.

Além disso, percebe-se que em todas as idades os CP's com 25% de adição de resíduo apresentaram uma resistência à compressão menor que o concreto referencial. Portanto, as amostras com 25% de resíduo cerâmico na idade de 28 dias, apresentou uma perda de resistência de 25,84%, na idade de 60 dias apresentou perda de 18,47% e de 24,30% na idade de 90 dias. O Gráfico 1 mostra a porcentagem da resistência atingida pelas amostras com adição de resíduo para cada idade, quando confrontada com a resistência referencial.

Gráfico 1 - Percentual de resistência atingida pelo CP 25



Observou-se também uma queda de resistência do traço CP 0 entre as idades de 28 e 60 dias esse fato pode ser relacionado ao mal adensamento do corpo de prova ocasionando a ausência de agregado graúdo em regiões localizadas e uma alta concentração de pasta de cimento.

Ainda segundo Junior (2011), esse fato pode ser causado devido o efeito filer não compensar a perca de resistência pela diminuição da quantidade de cimento que foi substituído por resíduo cerâmico.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Vale ressaltar que embora pesquisas passadas tenham constatado uma considerável tendência pozolânica do resíduo, nesta pesquisa não foram observados incrementos de resistência em idades mais avançadas o que pode ter sido causado por ineficiência na moagem do resíduo, uma vez que este deve possuir uma granulometria e uma superfície específica similar ao do aglomerante utilizado.

3.5.4 – Ensaio de carbonatação

As profundidades de frente de carbonatação correlacionadas com os locais de exposição são mostradas na Tabela 31,

Tabela **32** e Tabela 33, referente ao ensaio de 28, 60 e 90 dias, respectivamente.

Tabela 31 - Espessura de penetração do CO_2 aos 28 dias

PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO AOS 28 DIAS (MM)			
TRAÇO	**Locais**		
	1	2	3
CP 0	3,33	2,83	3,17
CP 25	6,67	5,33	6,33

Tabela 32 - Espessura de penetração do CO_2 aos 60 dias

PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO AOS 60 DIAS (MM)			
TRAÇO	**Locais**		
	1	2	3
CP 0	9,33	8,33	9,67
CP 25	12,67	10,0	12,33

Tabela 33 - Espessura de penetração do CO2 aos 90 dias

PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO AOS 90 DIAS (MM)			
TRAÇO	**Locais**		
	1	2	3
CP 0	14,70	11,54	15,25
CP 25	17,34	13,26	17,64

ISBN: 978-85-65425-32-2

A partir da média das profundidades de penetração do CO_2, foi obtido o Gráfico 1 por conseguinte, foi obtido o coeficiente de carbonatação para cada traço exposto na

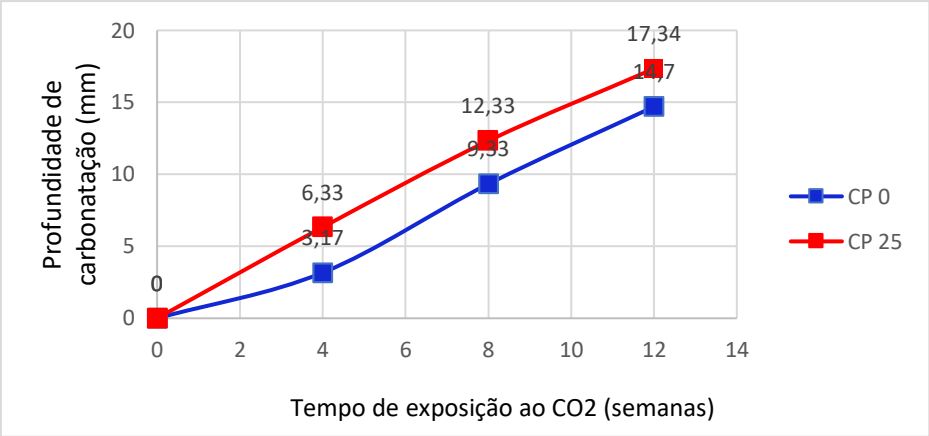


Figura 38 - Profundidades médias de carbonatação

Percebe-se que na idade de 28 dias a profundidade da camada carbonatada do CP 25 foi de 6,33 mm que representa quase o dobro da espessura da camada do CP 0 que foi de 3,17 mm, retratando um acréscimo de 99,68%. Fato que também se repete na idade de 60 e 90 dias, porém com diferença de menor intensidade, representando um incremento de 32,15% e 17,96%, respectivamente.

A espessura carbonatada em função da raiz quadrada do tempo de exposição, em semanas, resulta em tendência linear. O coeficiente angular da reta representa o coeficiente de carbonatação (K_c).

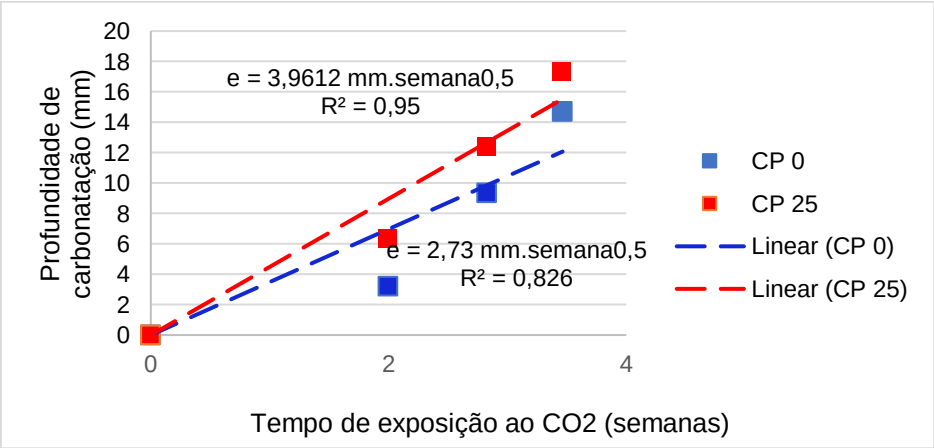


Figura 39 - Linha de tendência das espessuras médias

Com base na Figura 39, constata-se que o coeficiente de penetração do CO_2 para o traço CP 0 apresenta valor igual a 2,73 mm.semana^{0,5}, ou seja, inferior ao coeficiente do traço

ISBN: 978-85-65425-32-2

CP 25 que apresentou uma valor de 3,96 mm.semana^{0,5}, isto significa que o concreto com resíduo cerâmico apresenta uma maior tendência a sofrer carbonatação que o concreto sem adição de RCV.

No presente estudo foi verificado que em todas as idades, independente dos locais de exposição, as amostras de concreto com adição de resíduo de cerâmica vermelha apresentaram uma maior profundidade de carbonatação. Esse fato pode ter sido causado, como comprovado no item 4.5.4, por sua maior porosidade, visto que, quanto maior a porosidade menor a resistência à entrada de CO_2. Comprovando, o efeito físico negativo proporcionado pelo RCV quanto a resistência a penetração de CO_2, em traços com substituição de 25% de cimento.

Deste modo, é possível afirmar que a adição de resíduo de cerâmica vermelha não trouxe melhorias ao concreto quanto a durabilidade à carbonatação, devido principalmente ao aumento do índice de vazios, além dos efeitos químicos comprovados em outros estudos.

4. Conclusões

A utilização do RCV como adição pozolânica no concreto demonstraram diversas diferenças e conclusões quando confrontadas com as propriedades do concreto convencional, portanto, constatou-se prioritariamente que o concreto com resíduo cerâmico apresenta uma maior tendência a sofrer carbonatação que o concreto sem adição de RCV. Através dos ensaios pôde-se constatar que o coeficiente de carbonatação das amostras com resíduo mostrou-se 45,05% mais expressivo que o concreto referencial. Conclui-se, portanto que existe um efeito físico e um químico negativo, proporcionado pelo RCV quanto a resistência a penetração de CO_2, em traços com substituição de 25% de cimento.

Assim, de acordo com os resultados no presente trabalho conclui-se que a substituição parcial do cimento por resíduo de cerâmica vermelha não se mostrou como uma alternativa viável quando o principal foco seria aumentar a durabilidade das peças estruturais quanto à penetração de CO_2. Sendo necessário um estudo mais abrangente e a longo prazo, visando uma melhor avaliação dos efeitos pozolânicos e econômicos proporcionados ao concreto tocante aos parâmetros de durabilidade.

Referências Bibliográficas

ABNT NBR 16372. Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 11 p, 2015.

_____ NBR 5732. Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 5 p, 1991.

_____ NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de- prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 13 p, 2007.

_____ NBR 7211. Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 15 p, 2009.

ISBN: 978-85-65425-32-2

_____ NBR 8953. Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 3 p, 2015.

_____ NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 4 p, 2005.

_____ NBR 9833. Concreto Fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 11 p, 2008.

_____ NBR NM 23. Cimento portland e outros materiais em pó –Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 5 p., 2001.

_____ NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 6 p, 2003.

_____ NBR NM 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 8 p, 2006.

_____ NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 6 p, 2009.

_____ NBR NM 53. Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 8 p, 2009.

_____ NBR NM 67. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 8 p, 1998.

ALMEIDA, S. L. M. de; LUZ, A. B. da. Manual de Agregados para Construção Civil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

BARIN, D. S. Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 171 p, 2008.

CAVALCANTI, L. M.A; RIBEIRO, D. V. Análises físicas e mecânicas de argamassas de cimento portland com areia contendo cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo. In: IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 1, p. 26-38, 2013.

COSTA, J. S. Agregados alternativos para argamassa e concreto produzidos a partir da reciclagem de rejeitos virgens da indústria de cerâmica tradicional. São Carlos, 2006.

ISBN: 978-85-65425-32-2

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Para a entidade o cenário é preocupante e deve piorar no segundo semestre. 2015.

HELENE, P. R. L. Corrosão de Armaduras para Concreto Armado. Editora Pini. São Paulo,1986.

JERÔNIMO, V. L. Estudo da durabilidade de concretos com adição de resíduos da indústria de cerâmica vermelha com foco na corrosão de armaduras. 2014.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: Seminário Reciclagem de Resíduos Domiciliares, São Paulo, 2013.

NASCIMENTO JUNIOR, A. DO. Avaliação da resistência à compressão de concreto utilizando adição de resíduos de cerâmica vermelha. Feira de Santana-BA, 2011.

MEDEIROS, A. G. de. Análise de durabilidade da ponte do Rio do Carmo utilizando ensaios não destrutivos, norma DNIT e a metodologia GDE/UNB / Alisson Gadelha de Medeiros. – Natal, RN, 2015.

NEVILLE, A. M. Properties of Concrete. London, Longman, 1995.

SALES, A. T. C.; ALFERES FILHO, R. DOS S. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 113-125, jan./mar. 2014. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014.

SILVA, J. D. J. Avaliação da potencialidade de incorporação de lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland. Natal, RN, 2015.

SILVA, R. M. L. E. Gestão ambiental e competitividade no setor da construção civil: Um estudo sobre a aceitabilidade de práticas ambientais no mercado imobiliário. Natal/RN, 2003.

SOUZA, É. M. F. DE. Utilização de resíduos de placas cerâmicas como aglomerante para concretos. Juazeiro, CE, 2011.

VALVERDE, F. M. Balanço Mineral Brasileiro 2001: Agregados Para Construção Civil. 2001.

VIEIRA, A. DE A. P. Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos. João Pessoa, 2005.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO TÊXTIL TRACIONADOS – UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA

Mechanical Behavior Of Structural Elements Of Textile Reinforced Concrete Under Tension – A Brief Literature Review

Vinícius VIEIRA[1], **Luiz Álvaro** OLIVEIRA JÚNIOR[2]

[1] Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, eng.viniciusmsv@gmail.com

[2] Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, alvarojunior@pucgoias.edu.br

Resumo: O concreto têxtil pode ser definido como um material compósito constituído por uma matriz de concreto com agregados de fina granulometria, geralmente com dimensão máxima de 1,0 mm, reforçado com tecidos multiaxiais em substituição a tradicional armadura de aço. Esse material oferece uma alternativa à engenharia estrutural no que diz respeito à redução de espessura, acréscimo de ductilidade e da capacidade resistente, além de proporcionar uma maior flexibilidade arquitetônica quando comparado ao concreto armado. A partir desse pressuposto, o presente trabalho almeja reunir diferentes aspectos a respeito do comportamento mecânico desse compósito, ressaltando informações essenciais através de análise crítica, para que possibilite melhor compreensão do que já se tem descoberto sobre o assunto. Para tanto, foi realizada uma revisão narrativa por meio de produções (artigos, revistas, periódicos, teses, dentre outros) provenientes de buscas realizadas em bases de dados científicas nacionais e internacionais entre fevereiro e junho de 2017. Visto isso, constatou-se escassez de publicações nacionais, o que se explica por este ser um assunto ainda embrionário no Brasil, e a complexidade do mecanismo de ruptura do material, o que dificulta o desenvolvimento de métodos eficazes de dimensionamento. Em contrapartida, o melhor desempenho do compósito sob cargas de tração é unânime. A alta tenacidade e a capacidade de resistir a carregamentos críticos mesmo com pequenas espessuras validam a aplicabilidade do compósito como material estrutural.

Palavras-chave: Concreto têxtil, Comportamento mecânico, Fissuração, Tração, Material compósito.

Abstract: The textile reinforced concrete can be defined as a composite material constituted of a concrete matrix with fine granulometry aggregates, generally with a maximum size of 1.0 mm, reinforced with multiaxial fabrics replacing the traditional steel reinforcement. This material offers an alternative to structural engineering with respect to the reduction of thickness, increase of ductility and of the resistant capacity, besides providing a greater architectural flexibility when compared to the reinforced concrete. From this assumption, the present paper aims to gather different aspects regarding the mechanical behavior of the composite, highlighting critical information through a critical analysis, so that it allows a better understanding of what has already been discovered on the subject. For this purpose, a narrative review was carried out through articles (papers, journals, periodicals, theses,

among others) from searches carried out in national and international scientific databases between February and June 2017. Therefore, it was verified the scarcity of national publications, which explains why it is still the embryonic subject in Brazil, and the complexity of the failure mechanism of material, which hinders the development of effective sizing methods. In contrast, the better performance of the composite under tensile loads is unanimous. High tenacity and the ability to withstand critical loads, even with small thicknesses, validate the applicability of the composite as a structural material.

Keywords: Textile reinforced concrete, Mechanical Behavior, Cracking, Tensile, Composite material.

1. Introdução

Segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP) o consumo de concreto é inferior apenas ao consumo de água, como apresentado por Pedroso (2009), o que permite encará-lo como o material de construção mais utilizado no mundo. Devido à baixa resistência que o material apresenta quando submetido a esforços de tração, normalmente é empregado em associação ao aço, formando o que comumente se denomina concreto armado, material utilizado amplamente na produção de novas estruturas. Segundo Bastos (2006) o concreto armado surgiu da necessidade de obter um material com a resistência do aço e a durabilidade da pedra, e que possibilitasse a produção de elementos com qualquer formato de maneira relativamente fácil e rápida.

Embora o aço tenha expandido as possibilidades de aplicação do concreto como material estrutural, proporcionando elevada capacidade resistente e obtenção de elementos com espessuras bem inferiores àquelas observadas nas estruturas dos grandes monumentos da antiguidade, apesar de requerer processos mais simples e econômicos de produção relativamente às estruturas desses monumentos, a armadura em aço apresenta vulnerabilidade à corrosão. Como solução preventiva para minimizar a ação dos agentes corrosivos na estrutura, normatizações em todo mundo sofreram adaptações, como é o exemplo da ABNT NBR 6118:2014, com aumento dos valores mínimos de cobrimento nominal, já que o concreto atua como uma camada de proteção passiva do aço, devido à elevada alcalinidade.

Bakis *et al*. (2002) relata que como alternativa a esse comportamento frágil, fibras poliméricas foram adicionadas ao concreto na década de 1940, após a Segunda Guerra Mundial, e vem mostrando constante desenvolvimento impulsionado pela franca renovação da infraestrutura em países desenvolvidos. Esse autor ainda comenta que o uso de fibras de vidro integradas à resinas poliméricas constituíram o primeiro material de FRP ("*Fiber Reinforced Plastic*"), antecedendo diversas outras combinações, resultando em compostos com alta resistência e rigidez, leves e de baixo custo, com melhor desempenho que qualquer um dos materiais analisados separadamente. Porém, embora apresente propriedades mecânicas e durabilidade notável, essa combinação de materiais não evita problemas.

Conforme relatado por Häußler-Combe e Hartig (2007), as fibras de vidro álcali-resistentes vem sendo utilizadas há anos acrescentando ductilidade e melhorando os mecanismos de falha do concreto. Porém, a adição fibras curtas com diâmetro de

ISBN: 978-85-65425-32-2

aproximadamente 15 µm e comprimento variando de 5 até 25 mm são dispostas em orientação aleatória dentro de uma matriz de cimento, o que significa que apenas uma pequena fração é eficientemente utilizada. O uso das fibras como filamentos contínuos otimizam essa eficiência, além de poder formar estruturas bidimensionais com técnicas de ligação especiais em que os fios são direcionados de acordo com as condições de carga que o elemento suportará, como pode ser observado na Figura 1.

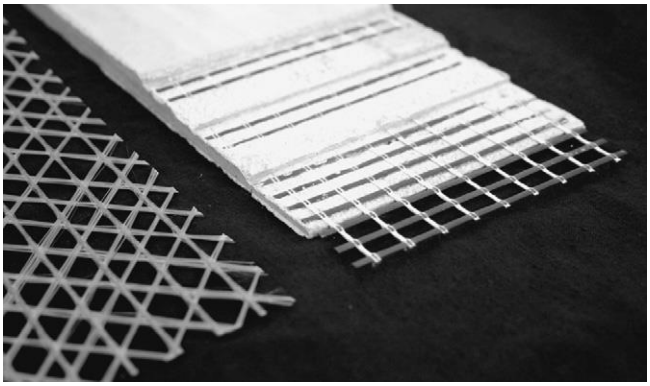


Figura 1 – Tecido multiaxial de reforço e concreto têxtil. Fonte: Curbach e Jesse (2005)

Mais recentemente, a Universidade de Aachen e a Universidade Tecnológica de Dresden, ambas na Alemanha, investiram no desenvolvimento de novas geometrias dessas fibras, avaliando o comportamento desse material em formas distintas aos filamentos que geralmente são adicionados aleatoriamente ao concreto. Esses experimentos levaram a avaliação de um novo comportamento mecânico e elástico do que passaria a ser conhecido como concreto têxtil, conforme explicam Hegger *et al.* (2006). Com a substituição do aço por um reforço não-metálico, seja uma malha de fibra de vidro ou de carbono, espessuras de apenas alguns milímetros são suficientes para assegurar a ligação entre os elementos do novo concreto, sem a onerosa perda de seção do material por interferência da agressividade do ambiente. Segundo Kulas (2015), essa alteração pode gerar economia próxima a 80% no consumo de concreto, além da redução de gastos logísticos, como transporte e mão de obra.

Desta maneira, Portal *et al*. (2015) definem o concreto têxtil como uma associação entre concreto composto por agregados de fina granulometria e tecidos multiaxiais, obtidos da utilização de barras de materiais geralmente empregadas em reforço estrutural, otimizando os padrões de durabilidade e controle definidos em projeto, além de proporcionar maior liberdade à concepção de formas arquitetônicas mais complexas e esbeltas, conferindo, também, leveza e modulação, sem o inconveniente da corrosão. Isso permite uma redução significativa do consumo de concreto durante a execução da estrutura, caracterizando-o como um material sustentável. Além do uso de aramida, polipropileno e polietileno, que são citados por Hegger *et al.* (2006), Kulas (2015) enfatiza particularmente os reforços de fibra de vidro e de carbono devido à elevada resistência, podendo esta ser até seis vezes superior ao aço.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Conforme explicam Peled e Bentur (2000), essa tecnologia ainda tem sido utilizada em pequena escala na Construção Civil, embora a variabilidade encontrada na distribuição e na geometria das fibras, além da combinação de diferentes materiais na composição das malhas, favoreçam a concepção de compósitos de cimento de alto desempenho, mesmo com folhas finas. Porém, com o aumento na relevância do assunto no meio científico, cresce a necessidade de compreender o comportamento mecânico desse material compósito. Contamine *et al*. (2011) destacaram a importância da realização de ensaios de caracterização, preferencialmente de fácil execução e que apresentem resultados confiáveis, relevantes, comparáveis e reprodutíveis, devido à ausência de procedimentos normatizados de ensaio para o concreto têxtil.

2. Propriedades Mecânicas

De acordo com Mumenya *et al*. (2010), o concreto têxtil está em uma subclasse dentro dos compósitos cimentícios de alto rendimento reforçados com fibra (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite - HPFRCC), que apresenta considerável tenacidade e ductilidade em nível adequado para tornar esse material interessante para finalidades estruturais. Essa característica deve-se ao comportamento mecânico desse material, o qual apresenta múltipla fissuração, absorvendo energia de deformação e impedindo a expansão usual obtida em concreto convencional. O estudo sobre essa pseudo-ductilidade e os decorrentes padrões de fissuração nos elementos de concreto têxtil expostos a intempéries contribuem para um melhor entendimento sobre o impacto causado pela exposição desse material aos fatores típicos dos ambientes quimicamente adversos (salinidade, acidez, umidade elevada, etc.).

Embora o concreto têxtil apresente favorável acréscimo de ductilidade, grande capacidade de carga e aumento da resistência à tração, as deformações são também relativamente elevadas. Segundo Barhum e Mechtcherine (2011), tais deformações são provenientes das diversas microfissuras e são fundamentais para a segurança e estabilidade da estrutura. Porém, para se atingirem os altos níveis de resistência, são necessárias grandes deformações, o que pode vir a causar desconforto aos usuários da edificação, uma vez que poderia violar os estados limites de serviços e exigir adequações de projeto para atender às recomendações normativas.

Barhum e Mechtcherine (2013) desenvolveram estudos adicionando fibras curtas, de variados materiais, ao concreto têxtil e observaram influência claramente positiva sobre o desempenho mecânico do concreto quando submetidos à tração. Esse aprimoramento pode ser observado quando se avalia a fissuração, menos pronunciada nas etapas iniciais de carregamento, uma vez que promove maior interação entre os materiais presentes no compósito. Porém, para altos níveis de deformação, esses mesmos autores relatam que as fibras curtas dispersas perdem sua eficiência estrutural, falhando muito antes da resistência à tração do compósito ser atingida. Em contrapartida, as fibras integrais presentes na malha têxtil têm sua eficiência melhorada até a iminência da ruptura. Em geral, constatou-se a redução da abertura das fissuras, que se distribuem em uma região maior da peça, resultando em melhor distribuição dos esforços.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Visto que grande parte das possíveis aplicações do concreto têxtil exige alta resistência à tração e dureza, são necessários ensaios para avaliar o desempenho de acordo com o envelhecimento desse material, para que seja possível quantificar eventuais mudanças no desempenho mecânico do compósito. O envelhecimento é fator que consequentemente afeta o estado limite último, pois promove a deterioração do concreto, uma vez que reduz o desempenho do compósito e, portanto, deve ser considerado em projeto. Segundo Butler *et al.* (2009), essas alterações podem resultar da deterioração das fibras de armadura, alterações na própria matriz e mudanças na ligação entre a matriz e as fibras, ao longo de sua vida útil.

Como o envelhecimento do concreto têxtil durante exposição a longo prazo a ambientes alcalinos é relativamente desconhecido no presente, podem ser necessários encapsulamentos e revestimentos multifuncionais para a estabilização estrutural de tecidos capazes de garantir o alinhamento do reforço nas peças e a melhoria do desempenho das fibras, em particular a proteção da superfície, como apresentam Scheffler *et al*. (2009). A resistência à abrasão, a manutenção da resistência, além da formação de interfases no compósito. No objeto de estudo dos autores, foi utilizada fibra de vidro álcali-resistente, concebida para reforçar as matrizes de cimento que foram amplamente utilizadas na construção civil. Porém, sob as fortes condições proporcionadas pela alcalinidade do concreto (com pH superior a 12,5), fibras de vidro não são completamente inertes, mesmo as álcali-resistentes.

Observando esse cenário, Orlowsky e Raupach (2008) apresentaram uma base para o prognóstico quantitativo da perda de resistência do reforço, de fibra álcali-resistente no caso, em conjunto com o concreto sujeito a intempéries. Geralmente essas ações deletérias são calculadas em função das propriedades do material empregado nos "*rovings*", da umidade e da temperatura, desprezando a influência da exposição ao ar livre, que provoca elevada danificação da capacidade de carga do compósito. Uma distribuição desigual de compostos químicos que compõe as fibras de vidro álcali-resistente, como zircônio e sódio, gera pontos mais fracos quando o fio está exposto a ambiente alcalino, tornando-o sensível à lixiviação e à ruptura da malha.

A perda de resistência acumulada em cada intervalo de tempo resulta no final da vida útil do elemento em concreto têxtil, com interferência peculiar para cada período do ano, conforme as condições climáticas. Desse modo, Orlowsky e Raupach (2008) chegaram a uma perda de resistência de 37% após o período de 50 anos, previsto como vida útil da estrutura, para peças reforçadas com fibras de vidro álcali-resistentes. Isso deve ser levado em consideração na concepção dos cálculos estruturais para dimensionamento dos elementos, partindo da necessidade de maiores taxas de reforço, o que gera maior custo. Porém, o material ainda vem sendo desenvolvido e isso pode minimizar consideravelmente tais impactos.

Segundo experimentos apresentados por Häußler-Combe *et al*. (2004) o concreto têxtil apresenta uma curva tensão versus deformação com três etapas bem definidas. A primeira com comportamento elástico-linear, seguida dos estágios de formação e propagação de fissuras até a estabilização com crescentes deslocamentos embora a carga tenha pequena

ISBN: 978-85-65425-32-2

variação, e por fim, a ruptura com rigidez inferior à inicial e deslocamento linearmente crescente, como mostra a Figura 2.

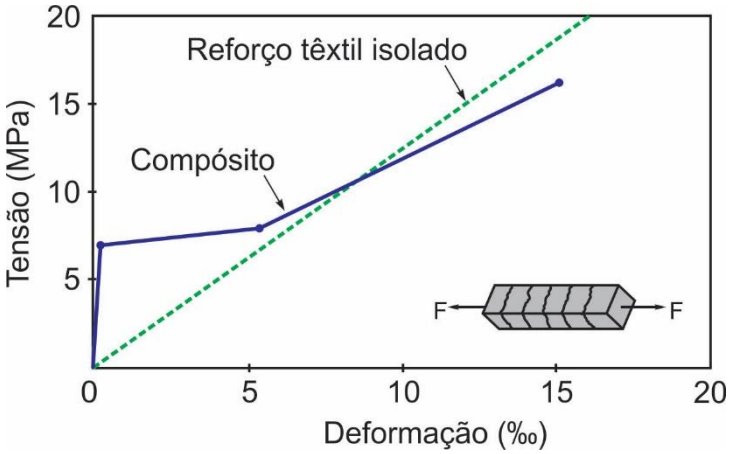


Figura 2 – Curva tensão-deformação típica dos experimentos. Fonte: Adaptado de Häußler-Combe *et al*. (2004)

Hinzen e Brameshuber (2008) discutiram as propriedades do concreto fresco e endurecido, analisando a influência da adição de fibras curtas ao concreto têxtil. Assim como Häußler-Combe *et al*. (2004), obtiveram uma curva tensão-deformação esquemática, porém com alterações significativas em seu traçado característico. Após a primeira fissura da matriz, os corpos de prova apresentam uma fase de formação de fissuras com pequenos aumentos de carga. Tendo sido completamente transferido para o têxtil, a carga é aumentada até o tecido falhar. Os resultados obtidos por Hinzen e Brameshuber (2008) demonstram que as propriedades positivas das fibras curtas podem ser combinadas, ou seja, é possível prolongar a fase elástico-linear (fibra de vidro e de carbono) e melhorar o comportamento pós-fissuração (aramida).

De acordo com Richter e Zastrau (2006) o reforço têxtil é constituído por um conjunto numeroso de filamentos contínuos, cujos feixes são conhecidos por "*rovings*". O material compósito obtido da união desse tipo de reforço ao concreto apresenta comportamento elástico linear para baixos níveis de carga e é governado por mecanismos bastante complexos na ruptura, a qual está intrinsecamente ligada à fissuração da matriz, à perda da aderência entre os "*rovings*" e o concreto e a ruptura dos filamentos e dos "*rovings*". Esses mecanismos que precedem o colapso também são essenciais no estudo analítico do comportamento macroscópico do material, conforme afirmam Richter e Zastrau (2006), e indicam que embora o reforço têxtil possa diminuir a rigidez do compósito, ainda assim proporciona melhores resultados quanto às interações com a matriz, que nas situações em que os filamentos são adicionados ao concreto soltos.

Esses "*rovings*" podem reunir até 2000 filamentos em seção circular ou oval, como explica Häußler-Combe e Hartig (2007). Porém, durante a produção do concreto têxtil há diferenciação no comportamento dos filamentos. Os externos, em contato direto com o concreto, atuam como reforço independente incorporando diretamente a matriz, com as

ISBN: 978-85-65425-32-2

condições de aderência atuando fundamentalmente na transferência de esforços entre os elementos. Em contraste, os centrais podem ou não ter conexões parciais com a matriz, uma vez que a pasta de cimento não consegue atingir todos os vãos devido sua viscosidade, susceptível ao deslizamento de filamentos.

Hartig *et al.* (2008) reforçam a definição do comportamento mecânico do concreto têxtil como complexo, decorrente da heterogeneidade da matriz cimentícia e do fio de reforço, bem como de diferentes condições de união dentro do fio. A fina granulometria, com a espessura máxima de agregados fixada a 1,0 mm, confere à matriz propriedades mais próximas às de uma argamassa que as de um concreto. Teoricamente, isso enfatiza uma alta resistência à tração, porém baixa energia de fratura em comparação com o concreto convencional. Já os fios de reforço, apresentam estrutura geralmente heterogênea, com grande variedade na quantidade de filamentos envolvidos em sua produção, ocasionando em ruptura frágil em ensaios de tração, embora apresentem notável ductilidade. Porém, é fundamental analisar tais propriedades considerando a interação entre a matriz e o reforço para realizar ponderações sobre o compósito.

Em consequência disso, o complexo comportamento de ligação potencializou o desenvolvimento de modelos numéricos em vários níveis: macroescala, mesoescala, microescala e multiescala. Portal *et al*. (2013) enfatizam que no entanto, existem dificuldades para quantificar o deslizamento em diferentes escalas, o que pode exigir uma análise computacional aprofundada para investigar o padrão de fissuração e o modo de falha de uma amostra de concreto têxtil. Determinar experimentalmente as propriedades mecânicas do reforço e do concreto é importante para a construção adequada de um modelo computacional, por exemplo, utilizando o método dos elementos finitos, de maneira que a simulação forneça resultados com maior precisão.

Para o desenvolvimento e produção efetiva e eficiente é essencial o entendimento do comportamento mecânico do compósito, além das características inerentes aos componentes do concreto têxtil. Por se tratar de um material distinto trabalhando em conjunto com o concreto, as técnicas conhecidas para dimensionamento de concreto armado não podem ser aplicadas sem estudos prévios e considerações adicionais, como explica Hegger *et al*. (2008). A medida que as fibras não estão alinhadas na direção de forças dentro de um elemento estrutural, além da distribuição aleatória das fibras através da seção transversal sem orientação, comprometem a eficácia do reforço. Peled e Bentur (2000) reinteram afirmando que eficiência de reforço do tecido é influenciada pela disposição dos fios na composição da malha, sendo os longitudinais alinhados na direção das solicitações, enquanto os fios perpendiculares, considerados não-estruturais, desempenham a função de fixar os fios longitudinais em suas posições pré-determinadas.

A geometria não-retilínea dos fios atua como barreira, promovendo sinuosidade no caminho percorrido para a propagação das fissuras, o que provoca deflexão da fenda agregando maior resistência e ductilidade ao compósito, além de proporcionar uma excelente ancoragem mecânica, como apresentado por Mobasher *et al*. (2006). Outro fator contribuinte para atingir a ancoragem esparada e conseguir melhor capacidade resistente é a penetração da matriz nos espaços intersticiais existentes na microestrutura dos "*rovings*" e entre os "*rovings*". Com isso, a geometria do tecido tem a responsabilidade de

ISBN: 978-85-65425-32-2

transferir o carregamento entre a matriz e as fibras, de modo que minimize a dependência da zona de transição do concreto. Mobasher *et al*. (2006) ainda destaca a pultrusão como técnica de produção de elementos de concreto têxtil, com propriedades e desempenho superiores aos sistemas convencionais.

Os ensaios de tração desenvolvidos por Hartig *et al.* (2008) basearam-se em estudos realizados por Curbach e Jesse (2001). Os corpos de prova utilizados no experimento com 500 mm de comprimento, 99,5 mm de largura e 7,75 mm de espessura, resultando em 771 mm² em área de seção transversal. Como características da matriz determinou-se o módulo de Young com 28500 MPa e a resistência à tração com valor de 6,5 MPa. O reforço foi feito de fios de vidro álcali-resistente com peso específico de 2,817 g/cm³ e um tamanho de 310 tex (0,31 g/m) consistindo de 800 filamentos. O módulo de elasticidade, fornecido pelo fabricante, com 79950 MPa e a resistência à tração foi adotada como 1357 MPa. Os 134 fios com seção transversal de 0,11 mm² levam a 14,74 mm² de área total de seção transversal, o que corresponde a aproximadamente 2,0% de taxa de reforço. Trata-se de um índice de reforço típico segundo Jesse (2004), podendo ser desprezada a redução da área de seção transversal da matriz devido ao reforço.

Em experimentos conduzidos por Hegger *et al*. (2008), avaliou-se a resistência dos rovings através de ensaios de tração em segmentos de 12,5 mm retirados das barras presentes na malha têxtil. Assim, esses autores constataram que a resistência da malha é muito inferior às obtidas nos filamentos simples ensaiados, totalizando cerca de 1120 MPa para o filamento de vidro álcali-resistente e 3980 MPa para o filamento de carbono. Os motivos para isso estão no processo de produção do tecido e na distribuição não uniforme do carregamento, devido à ondulação dos segmentos que formam a referida malha. Na matriz foi utilizado concreto de fina granulometria, mais adequado para elementos em concreto têxtil, distinguindo-se, principalmente, as propriedades reológicas observadas no concreto convencional. Os modelos tinham resistência à compressão de aproximadamente 85 MPa, resistência à tração de 4,4 MPa e apresentaram comportamento dúctil. O módulo de elasticidade do concreto têxtil ensaiado de 34000 MPa é menor e a resistência à compressão é aproximadamente 0,5% maior em comparação com o concreto simples.

Häußler-Combe e Hartig (2007) delimitam que no estado final, o comportamento estrutural das placas de concreto têxtil submetidas ao ensaio de tração uniaxial pode apresentar falhas por: força última, deslocamento no instante da ruptura, rigidez na fase final de fissuração e espaçamento das fissuras na fase final de fissuração. Como resultado importante, esses autores observaram que a degradação da rigidez é causada principalmente por insuficiência prematura do filamento. A ligação parcialmente rompida entre matriz e filamentos pode ocasionar a redução da força última, por conta do deslizamento dos filamentos próximos ao núcleo do "*roving*".

Em ensaios realizados por Butler *et al*. (2010) para avaliar alterações do desempenho mecânico do concreto têxtil ao longo do tempo, investigaram os efeitos da composição do traço adotado na matriz com a variação da velocidade de reação e da alcalinidade da mistura aglutinante, foi constatado que uma composição apropriada com redução do conteúdo de cimento Portland comum e adição de pozolana é um requisito para microestrutura de interface favorável. Dessa maneira, Butler *et al*. (2010) apresentam que

ISBN: 978-85-65425-32-2

a atenção na composição do traço, principalmente quanto a parcela aglutinante utilizada, favorece as propriedades mecânicas em elementos de concreto têxtil reforçados com fibra de vidro (Figura 3), com a preservação da resistência à tração e da capacidade de deformação, sem perdas críticas de desempenho ao longo de décadas de exposição climática, otimizando na durabilidade da peça. Em contrapartida, traços com alto teor de cimento Portland comum podem resultar em uma diminuição dramática do desempenho mecânico e mudanças no comportamento de falha do compósito de pseudodúctil ao frágil em poucos meses ou anos.

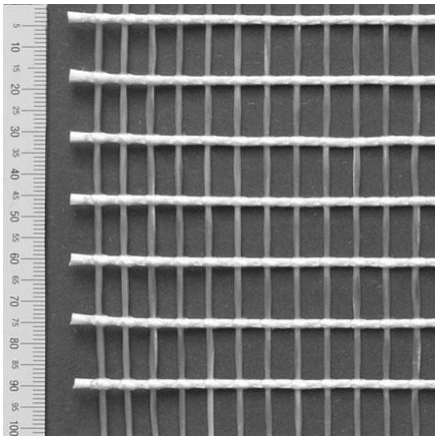


Figura 3 – Amostra de reforço em tecido biaxial de fibra de vidro álcali-resistente. Fonte: Butler *et al*. (2010)

A fina granulometria é essencial para a obtenção de elementos de concreto têxtil com a significativa e já mencionada redução das dimensões das peças sem comprometimento das condições de aderência fibra-matriz, que pode ser garantida pela alteração do comportamento reológico do concreto. No entanto, Brockmaan e Raupach (2002) observaram mudanças na aderência e na resistência do concreto têxtil (com a redução da tensão última e da quantidade de fissuras) devido ao armazenamento dos corpos de prova em água morna durante alguns dias, evidenciando perda funcional. Em condições ainda mais adversas, com armazenamento em água a 80°C por sete dias, o têxtil deixa de contribuir em capacidade de carga, com falha abrupta do material compósito assim que a resistência à tração do concreto é atingida.

Isso gera preocupação em torno do comportamento do material quando exposto a altas temperaturas. Colombo *et al*. (2011) realizou ensaios de tração uniaxial em amostras reforçadas com duas camadas de tecido de vidro álcali-resistente, submetendo as amostras a ciclos térmicos com três máximos distintos (200°C, 400°C e 600°C). Para os elementos submetidos a 200°C foi constatada a manutenção de sua força, mesmo com o início do processo de deterioração da malha, apresentando resistência à tração superior a 3,98 MPa. Já nas peças submetidas às demais temperaturas, o tecido deteriora-se em sua totalidade, tornando a peça quebradiça. Büttner *et al*. (2014) avaliou também tecidos de fibra de carbono, e constatou um desempenho bem superior deste no que se refere ao tempo que os elementos suportam o calor antes do colapso.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Os múltiplos mecanismos de fissuração proveniente do acréscimo da capacidade de carga e das deformações levando à fratura conduzem o compósito a um comportamento de endurecimento por deformação, o que permite um melhor desempenho do concreto têxtil quando submetido a condições extremas de carga e valida sua utilização na produção de elementos estruturais, como relata Silva *et al*. (2011). A resposta do material quando submetido a cargas dinâmicas é um dos pontos mais críticos, já que solicita o compósito cimentício em níveis críticos de tração, podendo levá-lo à ruína. Yao *et al*. (2015) investigaram o mecanismo de dano em elementos de concreto têxtil tracionados nos quais o carregamento foi aplicado em alta velocidade e observaram quatro estágios distintos na curva tensão-deformação das peças ensaiadas. O primeiro obedece ao traçado característico do trecho elástico-linear até a abertura da primeira fissura, quando tem início o segundo estágio, que consiste na propagação das fissuras em toda a largura do elemento. Em seguinda, ocorre a degradação da rigidez da peça devido à formação de fissuras distribuidas em intervalos regulares, mas sem necessariamente comprometer a capacidade resistente da estrutura. Por fim, o desplacamento da matriz e a ruptura da fibra.

Por meio do método de correlação de imagem digital (DIC), Yao *et al*. (2015) obtiveram uma distribuição não uniforme de deformação longitudinal. Além disso, foi observado redução na zona de localização e no espaçamento de fendas quando adicionadas fibras curtas ao concreto têxtil, o que sugere melhora nas características de ligação. No estudo apresentado por Silva *et al*. (2011) também analisaram este comportamento, enfatizando uma ligeira redução na energia absorvida com a adição de 0,5% de fibras de vidro curtas, o que provavelmente pode ser atribuído à compactação e à porosidade do produto final.

3. Metodologia

Utilizou-se o método de revisão bibliográfica baseando-se nos seguintes descritores: *textile reinforced concrete*, *textile reinforced mortar*, *concreto*, *properties*, *AR glass fibre*, *numerical modelling*, *durability*, *high temperature*, *mechanical behavior*, *dynamic loading*. A busca foi realizada de fevereiro de 2017 a junho de 2017, em bases de dados científicas nacionais e internacionais (Portal de Periódicos CAPES/MEC, Scielo, dentre outras), por meio das palavras encontradas nos títulos e resumos de livros, artigos, revistas, periódicos, resumos de anais de congressos e teses.

Após o levantamento da bibliografia, foi desenvolvida uma revisão narrativa, buscando identificar o foco das pesquisas relevantes sobre o assunto, bem como as metodologias empregadas nos estudos.

4. Discussão

Dentre as literaturas encontradas nas Bases de Dados Científicas, 28 obras publicadas entre os anos 2000 e 2015 foram verificadas e selecionadas de acordo com a temática abordada no presente trabalho.

São apresentadas no Quadro 1 as literaturas referentes ao concreto têxtil composto por 28 obras publicadas entre 2000 e 2015, sendo estas 26 artigos, um capítulo de livros e uma tese. Observa-se que a maior concentração de estudos sobre o compósito são

ISBN: 978-85-65425-32-2

desenvolvidos na Alemanha, justificável pelos investimentos realizados pela Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG (Fundação Alemã de Pesquisa) em parceria com as universidades localizadas nas cidades de Dresden e Aachen, através dos Centros de Pesquisas Colaborativas 528 e 532. Segundo Scheerer *et al*. (2015), o questionamento sobre quem teria tido da ideia da criação do concreto têxtil não pode ser respondida com clareza. Os autores ainda ressalvam a importância de outros três grupos de pesquisas, situados no Reino Unido, Israel e Japão. É importante ressaltar a escassez de produções nacionais, o que demonstra certa falta de conhecimento técnico sobre o tema. Autores como Silva, F. A. (PUC-RJ) e Toledo Filho, R. D. (UFRJ) são raros pesquisadores brasileiros sobre concreto têxtil, ambos com períodos de pesquisas de Pós-Doutorado na Technische Universität Dresden.

Quadro 1 – Levantamento de literaturas referentes ao Concreto Têxtil

Ano	Autores	País de Origem	Enfoque	Método	Material de Reforço	Tipo
2000	Peled e Bentur	Israel	Características Geometricas dos Reforços Têxteis	Experimental (Flexão)	Polietileno, Polipropileno, Nylon, Kevlar, Polietileno de Alta Densidade	Artigo
2001	Curbach e Jess	Alemanha	Comportamento Mecânicas	Revisão de Literatura	-	Artigo
2002	Brockmann e Raupach	Alemanha	Durabilidade	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo
2004	Häußler-Combe *et al.*	Alemanha	Mecanismos De Ligação	Experimental (Tração) / Modelos Mecânicos e Númericos	Fibra de Vidro	Artigo
2004	Jesse	Alemanha	Padrão De Fissuração	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Tese
2005	Curbach e Jess	Alemanha	Reforço Estrutural	Revisão de Literatura	-	Artigo
2006	Hegger *et al*.	Alemanha	Comportamento Mecânico	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Livro
2006	Mobasher *et al.*	EUA / Israel	Fissuração	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro, Polietileno	Artigo
2006	Richter e Zastrau	Alemanha	Propriedades elásticas não lineares / Fissuração	Análise numérica	-	Artigo

ISBN: 978-85-65425-32-2

2007	Häußler-Combe e Hartig	Alemanha	Aderência Fibra-Matriz	Experimental (Tração) / Modelos Mecânicos (MEF)	Fibra de Vidro	Artigo
2008	Hartig *et al.*	Alemanha	Fissuração	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo
2008	Hegger *et al.*	Alemanha	Dimensionamento	Experimental (Tração / Flexão / Cisalhamento)	Fibra de Vidro, Fibra de Carbono	Artigo
2008	Hinzen e Brameshuber	Alemanha	Adição e Influencia De Fibras Curtas	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro, Aramida	Artigo
2008	Orlowsky e Raupach	Alemanha	Durabilidade	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo
2009	Butler *et al.*	Alemanha	Durabilidade	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo
2009	Scheffler *et al.*	Alemanha	Revestimento da malha têxtil / Durabilidade	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro, Fibra de Carbono	Artigo
2010	Butler *et al.*	Alemanha	Durabilidade	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo
2011	Barhum e Mechtcherine	Alemanha	Comportamento mecânico / Adição de fibras Curtas	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo
2011	Contamine *et al.*	França	Comportamento Mecânicas	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro, Aramida, Basalto	Artigo
2011	Colombo *et al.*	Itália	Altas Temperaturas	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo
2011	Silva *et al.*	Alemanha / EUA	Carregamento dinâmico	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo
2013	Barhum e Mechtcherine	Alemanha	Mecanismos de falha	Experimental (Tração / Pullout)	Fibra de Vidro	Artigo
2013	Portal *et al.*	Suécia / Dinamarca	Modelagem numérica	Experimental (Flexão)	Fibra de Carbono	Artigo

ISBN: 978-85-65425-32-2

2014	Büttner *et al.*	Alemanha	Resistência ao Fogo	Experimental (Térmico)	Fibra de Vidro, Fibra de Carbono	Artigo
2015	Kulas	Alemanha	Aplicações	Divulgação Técnica	-	Artigo
2015	Scheerer *et al*.	Alemanha	Histórico	Revisão de Literatura	-	Artigo
2015	Portal *et al.*	Suécia	Sustentabilidade	Revisão de Literatura	-	Artigo
2015	Yao *et al.*	EUA / Brasil / Alemanha	Carregamento dinâmico	Experimental (Tração)	Fibra de Vidro	Artigo

Entre as 28 obras consultadas, constatou-se a predominância de metodologias experimentais para desenvolvimento das pesquisas. A incidência de 78,6% desta metodologia de trabalho pode ser explicada pela necessidade de melhor compreensão das características e das propriedades mecânicas do concreto têxtil, além de fundamentar o comportamento do compósito quando submetido à situações críticas, como incêndio, envelhecimento acelerado (para avaliação de durabilidade), cargas cíclicas e carregamento dinâmico. Com isso, é possível estabelecer comparação do novo material com o concreto armado e avaliar criticamente a viabilidade da substituição da armadura de aço por malha têxtil. Dessa forma, nota-se a preferência do meio técnico pelo estudo do comportamento de peças submetidas à tração direta em detrimento de outros comportamentos mecânicos, visto que este é um tipo de comportamento mecânico bastante desfavorável ao concreto e, considerando que em muitas situações os rovings encontram-se alinhados na direção do carregamento, a tração direta possibilita explorar ao máximo a capacidade resistente do reforço têxtil. Entre as 22 publicações que realizaram ensaios experimentais para fundamentar suas pesquisas, o estudo do comportamento do compósito submetidos à ensaios de tração aparece em mais de 86,4% dos trabalhos, seguidos dos ensaios à flexão presente em 13,6%. Assim como a justificativa apresentada por Contamine *et al*. (2011), os ensaios de caracterização por flexão e por tração direta foram adotados como procedimentos padrões, considerando que o concreto têxtil estará usualmente submetido à tração.

Para o intervalo de tempo delimitado na pesquisa, foi observada uma maior quantidade de publicações recentes (7 delas publicadas nos últimos 5 anos e 19 com menos de 10 anos de publicação). Isto se deve aos níveis de desenvolvimento alcalçados em torno do assunto, gerando maior relevância no meio técnico e implantação de projetos. A ponte para pedestres localizada em Albstadt-DE e as paredes de cortina utilizadas para construção dos pilares da Ponte de Bósforo em Istambul-TR são exemplos de aplicações já realizadas, o que coloca em evidência os benefícios do compósito. Mais recentemente, no mês de junho do presente ano, a uma empresa alemã obteve aprovação geral do projeto para construção do Büropark Eastsite em Mannheim-DE, com base em projetos pilotos de anos anteriores concebidos considerando o sistema construtivo de painéis sanduíches. Padrões

ISBN: 978-85-65425-32-2

como flexibilidade arquitetônica, bem como consumo de energia e vantagens econômicas claras impulsionam o material no mercado da construção.

Além disso, pode ser observada a tendência do emprego de reforço têxtil constituído por fibras de vidro álcali-resistente, estando presente em 90,9% das publicações analisadas. Em seguida, a utilização de fibras de carbono, com 18,2%. É importante ressaltar que outras fibras, ou até mesmo a combinação de duas ou mais delas, também são capazes de acrescentar ductilidade e resistência ao concreto como pode ser observado no trabalho de Peled e Bentur (2000). Propriedades como resistência e módulo de elasticidade, além da geometria adotada na concepção do tecido multiaxial são fundamentais para a escolha do material a ser utilizado.

5. Conclusões

Este artigo relata em linhas gerais algumas propriedades mecânicas do concreto têxtil e do comportamento quando submetidos à solicitações críticas desse material compósito na construção, embora a necessidade de uma análise sucinta evite que todos os tópicos sejam totalmente abordados. Dessa forma, na presente revisão bibliográfica observou-se algumas limitações quanto à dificuldade na produção do reforço a ser empregado nos elementos de concreto têxtil; além da grande variabilidade de metodologias empregadas nos experimentos, no que se refere a dimensões das peças e traços de concreto. Embora grande parte das pesquisas validem a proposta da substituição do aço pelo reforço em tecido não-metálico, ainda permanecem dúvidas a respeito do dimensionamento, o que pode afetar o reconhecimento por parte de comitês técnicos na concepção de normatizações.

Em boa parte dos experimentos realizados nos trabalhos consultados existe a indicação para a utilização de elementos com espessuras inferiores à 10 mm, o que gera dúvidas no modo como são produzidas as peças. Dessa forma, a mecanização na produção das peças de concreto têxtil, com o devido controle tecnológico para assegurar a uniformidade dimensional e de detalhamento das peças, apresenta-se como o caminho viável para a consolidação deste compósito como material estrutural. As pequenas espessuras dificultam o manuseio de moldagem e posicionamento da malha em rigor com o projeto, podendo interferir na eficiência e na durabilidade do elemento.

As diferenças mecânicas mais significativas entre o concreto têxtil e o concreto armado são a maior resistência à tração, menor rigidez e pseudoductilidade. É praticamente unânime no meio científico as melhorias quanto à capacidade resistente do material, principalmente a resistência à tração atingida pelo compósito. Quantificar essa suposta superioridade em relação ao concreto convencional ainda é complexo, já que as variáveis existentes na produção do concreto de forma geral são muitas. Questões importantes relacionadas às condições de uso, possíveis aplicações e desempenho, também vem sendo aprimorados de modo que corroborem para produção sem desconsiderar ações que podem agir contrariamente a segurança da estrutura.

No Brasil, o tema ainda não faz parte das discussões entre a grande maioria dos pesquisadores, sendo ainda embrionário em algumas instituições de pesquisa, mas tende a ganhar destaque a partir do momento em que o compósito for normatizado. A ligação do

ISBN: 978-85-65425-32-2

compósito com os termos sustentabilidade e economia pode impulsionar o emprego deste compósito como material de construção usual.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2014) *ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 238 p.

Barhum, R.; Mechtcherine, V. (2011) *Mechanical behaviour under tensile loading of textile reinforced concrete with short fibres*. 6th Colloquium on Textile Reinforced Structures, p. 175-186. Berlin: Germany.

Barhum, R.; Mechtcherine, V. (2013) *Multi-level investigations on behaviour of textile reinforced concrete with short fibres under tensile loading*. VIII International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. Toledo: Spain.

Bakis, C. E.; Bank, L. C.; Brown V. L.; Cosenza, E.; Davalos, J. F.; Lesko, J. J.; Machida, A.; Rizkalla, S. Z.; Triantafillou, T. C. (2002) *Fiber reinforced polymer composites for construction — State-of-the-art review*. Journal of Composites for Construction, p. 73-87.

Bastos, P. S. S. (2006) *Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado – Notas de aula*. Bauru: Universidade Estadual Paulista – Departamento de Engenharia Civil.

Brockmann, J.; Raupach, M. (2002) *Durability investigations on textile reinforced concrete*. 9th International Conference on Durability of Materials and Components, p. 9. Brisbane: Australia.

Butler, M.; Mechtcherine, V.; Hempel, S. (2009) *Experimental investigations on the durability of fibre-matrix interfaces*. Cement & Concrete Composites, 31, p. 221-231.

Butler, M.; Mechtcherine, V.; Hempel, S. (2010) *Durability of textile reinforced concrete made with AR glass fibre: effect of the matrix composition*. Materials and Structures, n. 43, p. 1351 – 1368.

Büttner, T.; Orlowsky, J.; Raupach, M. (2014) *Fire resistance tests of textile reinforced concrete under static loading - results and future developments*. Fifth International RILEM Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC5), p. 361 – 370.

Contamine, R.; Si Larbi, A.; Hamelin, P. (2011) *Contribution to direct testing of textile reinforced concrete (TRC) composites*. Materials Science and Engineering A, n. 528, p. 8589 – 8598.

Colombo, I.; Colombo, M.; Magri, A.; Zani, G.; Di Prisco, M. (2011) *Textile Reinforced Mortar at High Temperatures*. Applied Mechanics and Materials, 6 p.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Curbach, M.; Jesse, F. (2001) *Dehnkörper aus textilbewehrtem Beton – Phänomene, Deutung, Schlußfolgerungen*. Textilbeton – 1. Fachkolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 und 532. Aachen: RWTH Aachen.

_____. (2005) *Verstärken von Stahlbetonbauteilen mit textilbewehrtem Beton–Kurzer Bericht zu aktuellen Entwicklungen*. Beton- und Stahlbetonbau, n. 100, p. 78–81.

Hartig, J.; Häußler-Combe, U.; Schicktanz, K. (2008) *Influence of bond properties on the tensile behavior of Textile Reinforced Concrete*. Cement & Composites, n. 30, p. 898 – 906.

Häußler-Combe, U.; Jesse, F.; Curbach, M. (2004) *Textile reinforced concrete – overview, experimental and theoretical investigations*. Fifth International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. p. 749–756. Colorado: USA. Dresden University of Technology, Germany.

Häußler-Combe, U.; Hartig, J. (2007) Bond and failure mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) under uniaxial tensile loading. Cement & Concrete Composites, n. 29, p. 279–289.

Hegger, J.; Will, N.; Bentur, A.; Curbach, M.; Jesse, F.; Mobasher, B.; Peled, A.; Wastiels, J. (2006) *Composite materials – 6.2 Mechanical behaviour of textile reinforced concrete.* Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC, p. 133 – 183.

Hegger, J.; Zell, M.; Voss, S. (2008) *Dimensioning of TRC structures*. The 15th International Congress of the Glassfibre Reinforced Concrete Association. Prague: Czech Republic.

Hinzen, M.; Brameshuber, W. (2008) *Improvement of Serviceability and Strength of Textile Reinforced Concrete by using Short Fibres*. 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures.

Jesse, F. (2004) *Tragverhalten von Filamentgarnen in zementgebundener*, PhD thesis. Dresden, Technische Universität Dresden.

Kulas, C. (2015) *Actual applications and potential of textile-reinforced concrete*. The 17th International Congress of the Glassfibre Reinforced Concrete Association. Dubai: United Arabian Emirates.

Mobasher, B.; Peled, A.; Pahilajani, J. (2006) *Distributed cracking and stiffness degradation in fabric-cement composites*. Materials and Structures, 12 p.

Orlowsky, J.; Raupach, M. (2008) *Durability model for AR-glass fibres in textile reinforced concrete*. Materials and Structures, n. 31, p. 1225–1233.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Pedroso, F. L. (2009) *Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem.* Concreto & Construções, n. 53, p. 14-19.

Peled, A.; Bentur, A. (2000) *Geometrical characteristics and efficiency of textile fabrics for reinforcing cement composites*. Cement and Concrete Research, n. 30, p. 781-790.

Portal, N. W.; Lundgren, K.; Wallbaum, H.; Malaga, K. (2015) *Sustainable potential of textile-reinforced concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering ASCE, 12 p.

Portal, N. W.; Lundgren, K.; Walter, A. M.; Frederiksen, J. O.; Thrane, L. N. (2013) *Numerical modelling of textile reinforced concrete*. VIII International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. Toledo: Spain.

Richter, M.; Zastrau, B. W. (2006) *On the nonlinear elastic properties of textile reinforced concrete under tensile loading including damage and cracking*. Materials Science and Engineering A, n. 422, p. 278 – 284.

Scheerer, S.; Schladitz, F.; Curbach, M. (2015) Textile reinforced concrete – from the idea to a high performance material. 11th International Symposium on Ferrocement and Textile Reinforced Concrete 3rd ICTRC, p. 15 – 34.

Scheffler, C.; Gao, S. L.; Plonka, R.; Mäder, E.; Hempel, S.; Butler, M.; Mechtcherine, V. (2009) *Interphase modification of alkali-resistant glass fibres and carbon fibres for textile reinforced concrete I: Fibre properties and durability*. Composites Science and Technology, n. 69, p. 531 – 538.

Silva, F. A.; Butler, M.; Mechtcherine, V.; Zhu, D.; Mobasher B. (2011) *Strain rate effect on the tensile behavior of textile-reinforced concrete under static and dynamic loading*. Materials Science and Engineering A, n. 528, p. 1727–1734.

Solidian GmbH. Disponível em: <http://www.solidian.com>. Acesso em: 30 de junho de 2017.

Yao, Y.; Silva, F. A.; Butler, M.; Mechtcherine, V.; Mobasher, B. (2015) *Tension stiffening in textile-reinforced concrete under high speed tensile loads*. Cement and Concrete Composites, n. 64, p. 49 – 61.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES MINERAIS QUIMICAMENTE ATIVAS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL UTILIZADO EM RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Influence Of Chemically Active Mineral Additives On The Properties Of Self-Compacting Concrete Used In Structural Recovery

Robson Cunha[1], **Tatianny** Soares[2], **Washington** Figueiredo[3], **Luana** Facundes[4], **Thiago** Silva[5]

[1] Instituto Federal do Piaui, Teresina-PI, Brasil, robsonvcunha@ifpi.edu.br

[2] Universidade Federal do Piaui, Teresina-PI , Brasil, tsaeng3@yahoo.com.br

[3] Universidade Federal do Piaui, Teresina-PI, Brasil, washingtonlrf@hotmail.com

[4] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI , Brasil, luana_facundes@hotmail.com, co-autor

[5] Faculdade Santo Agostinho, Teresina-PI , Brasi, thiago_-_oliveira29@hotmail.com, co-autor

Resumo: O concreto autoadensável foi criado no Japão em 1988 com a finalidade de suprir a demanda do consumo do concreto em grande escala. Bastante útil para recuperação estrutural pois não necessita de adensamento para preencher pequenos espaços de formas reduzidas ou elevada taxa de armadura, o que é bastante comum em uma reabilitação estrutural. Um concreto só será considerado autoadensável, se três propriedades forem alcançadas: a fluidez, a viscosidade plástica aparente, e a resistência à segregação. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a importância dos materiais finos quimicamentes ativos, metacaulim e sílica ativa, na garantia das propriedades que caracteriza o CAA. Para avaliar a influência das adições minerais foram confecionadas três dosagens de CAA. A primeira dosagem foi executada com a presença de metacaulim em sua composição, a segunda dosagem houve a adição de sílica ativa e a última dosagem não teve a presença de minerais em seu traço. Logo após, para as três dosagens, foram ensaiadas quanto ao slump flow test, slump flow T500 test, box-l test, v-funnel test e resistência à compressão. A influência dos materiais finos na permanência das proriedades do CAA foram confirmadas nos ensaios. Após análise e comparação dos resultados verificou-se que o CAA com adições minerais apresentou melhor desempenho quanto à fluidez, viscosidade, resistência à segregação e resistência à compressão. O CAA com ausência de materiais finos, além de apresentar fluidez e habilidade passante inferior, tem mais chances de sofrer segregação.

Palavras-chave: Concreto, metacaulim, silica, dosagem.

Abstract: The self-compacting concrete (SCC) was created in Japan in 1988 in order to attend the demand of concrete consumption on a large scale. Very useful for structural recovery since it does not require densification to fill small spaces of reduced forms or high rate of reinforcement, which is quite common in a structural rehabilitation. A concrete only will be considered as self-compacting, if three properties are achieved: the fluidity, the apparent plastic viscosity and resistance to segregation. Within this context, this study aims

to evaluate the importance of chemically active fine material as metakaolin and active silica, on the guarantee of the properties that characterizes the SCC. To evaluate the influence of mineral additions were made three doses of SCC. The first measurement was performed in the presence of metakaolin in the composition, in the second dose there was the addition of active silica and in the last dose there was any presence of minerals in its trace. After that, for the three dosages were assayed for slump flow test, slump flow test T500, box-I test, v-funnel test and compressive strength. The influence of fine materials on the permanence of the SCC properties was confirmed in trials. After analysis and comparison of the results it was found that SCC with mineral additions performed better as the fluidity, viscosity, resistance to segregation and resistance to compression. SCC with the absence of fine materials, besides presenting lower fluidity and passing ability, is more likely to suffer segregation

Keywords: Concrete, metakaolin, active silica and dosage

1. Introdução

O Concreto autoadensável ou CAA, tem na sua composição o concreto simples convencional, com acréscimo de aditivos plastificantes, superplastificantes para proporcionar maior trabalhabilidade, e de pequenos insumos finos de obra, metacaulim ou sílica ativa na sua composição, resultando em uma maior viscosidade, o que de certa forma o torna mais maleável e de fácil penetração em armações complexas e estruturas de difícil acesso ao mesmo tempo que evita a segregação do concreto.

O termo concreto autoadensável (CAA) identifica uma categoria de material cimentício que pode ser moldado nas fôrmas e preencher cada espaço exclusivamente através de seu peso próprio, sem necessidade de qualquer forma de compactação ou vibração externa. Um concreto só será autoadensável, se três propriedades forem alcançadas: a fluidez, a viscosidade plástica aparente que é a coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço ou habilidade passante, e a resistência à segregação (TUTIKIAN, 2004)

A fluidez, de acordo com a ABNT NBR: 15823, é a habilidade de preenchimento ou capacidade do concreto autoadensável de fluir dentro da forma e preencher todos os espaços sem obstrução do fluxo ou segregação.

Outra propriedade inerente ao concreto autoadensável, a viscosidade plástica aparente do concreto, está relacionada com a consistência da mistura, coesão, e influência na resistência do concreto ao escoamento. Quanto maior a viscosidade do concreto, maior a sua resistência ao escoamento, (ABNT NBR: 15823).

A resistência a segregação, é a capacidade do concreto de permanecer com sua composição homogênea durante as etapas de transporte, lançamento e acabamento, podendo ser definida como segregação dinâmica e estática. A segregação dinâmica ocorre durante o lançamento onde o CAA flui dentro da forma, enquanto a segregação estática está associada aos fenômenos de sedimentação, que ocorre quando o concreto está em repouso dentro das formas, (ABNT NBR: 15823).

As adições minerais podem desempenhar um papel importante para a resistência e durabilidade do concreto, tanto física quanto quimicamente. O efeito químico das adições

ISBN: 978-85-65425-32-2

minerais ocorre a partir da capacidade de reação com o hidróxido de cálcio - Ca(OH)2, composto frágil e solúvel que se forma durante a hidratação do cimento Portland. Dele deriva um composto resistente, o C-S-H (silicato hidratado de cálcio), que ocupa os vazios de maiores dimensões existentes na pasta de cimento ou na zona de transição, aumentando o desempenho mecânico e a durabilidade do concreto. Dependendo da superfície específica das partículas e da composição química das mesmas, essas reações pozolânicas podem ser lentas ou rápidas, (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A adição de materiais finos no CAA melhora diversas propriedades, tanto no estado fresco como no endurecido. Os finos atuam como pontos de nucleação, ou seja, quebram a inércia do sistema, fazendo com que as partículas de cimento reajam mais rapidamente com a água, (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Neste sentido, este estudo tem o objetivo de avaliar a influência dos materiais finos, metacaulim e sílica ativa, quanto às propriedades que caracteriza o concreto autoadensável: fluidez, resistência à segregação, viscosidade e resistência mecânica.

2. Materiais e métodos

A dosagem do CAA para este trabalho, é baseada no método IPT / EPUSP (Helene e Terzian, 1992) realizado pelo SENAI – PE de Agua Fria, relacionando a quantidade ideal dos materiais envolvidos para o CAA com resistência à compressão desejada inicial para os primeiros 3 dias de 30 Mpa.

Obedecendo a mesma dosagem, nos Quadros 1, 2 e 3 são demonstrados os traços de concreto autoadensável utilizando os mesmos materiais, diferenciando-os apenas do tipo de aditivo mineral. O material fino deve ser depositado sempre em substituição em 8 % da massa do cimento.

Quadro 1– Traço com aditivo mineral metacaulim

Material	Consumo percentual	Consumo unitário
Cimento	0,920	6,440 Kg
Metacaulim	0,080	0,560 Kg
Areia	1,532	10.724 Kg
Brita	1,552	10.864 Kg
Água	0,42	2,940 l
Aditivo BF 25 (0,8%)	1 %	70 ml
Aditivo Glenium 51 (1%)	0,8 %	56 ml

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 2 – Traço com aditivo mineral sílica ativa

Material	Consumo percentual	Consumo unitário
Cimento	0,920	6,440 Kg
Sílica ativa	0,080	0,560 Kg
Areia	1,532	10.724 Kg
Brita	1,552	10.864 Kg
Água	0,42	2,940 l
Aditivo BF 25 (0,8%)	1 %	70 ml
Aditivo Glenium 51 (1%)	0,8 %	56 ml

Quadro 3 – Traço sem o uso de aditivo mineral

Material	Consumo percentual	Consumo unitário
Cimento	1	7 Kg
Areia	1,532	10.724 Kg
Brita	1,552	10.864 Kg
Água	0,42	2,940 l
Aditivo BF 25 (0,8%)	1 %	70 ml
Aditivo Glenium 51 (1%)	0,8 %	56 ml

Para o traço do Quadro 3, foi preservado a quantidade de cimento, sem que haja substituição em sua massa por outro componente, visto que não foi feita adição de materiais finos.

Com base nessas dosagens apresentadas, serão avaliados os tipos de CAA, quanto a viscosidade, fluidez e habilidade passante.

2.2 Materiais para ensaio

2.2.1 – Aditivos minerais

Para execução do trabalho, foi utilizado dois tipos de materiais finos quimicamente ativos: metacaulim e sílica ativa.

O metacaulim HP Ultra foi doada pela empresa SOLUÇÃO, utilizado no percentual de 8% em substituição da massa do cimento.

A sílica ativa utilizada é da empresa Ferbasa, localizada no estado da Bahia, com percentual, assim como metacaulim, de 8 % em substituição da massa do cimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.2.2 – Cimento

O cimento utilizado foi o Poty CPII – Z 32, da Votorantin. Dosado com substituição em 8% de sua massa para traços utilizando materiais finos, metacaulim e sílica ativa.

2.2.3 – Aditivos

Nos traços de estudo foram utilizados dois aditivos. Na primeira água de amassamento, foi incluído à mistura o aditivo polifuncional MasterPolyheed 25, ideal para regiões com temperaturas elevadas, com dosagem de 0,8% em relação ao peso do cimento.

Logo após a homogeneização dos materiais, cimento, água e agregados, junto com a segunda parte da água de amassamento é incluído o aditivo plastificante MasterGlenium 51, com dosagem de 1,0% em relação ao peso do cimento.

2.2.4 – Agregado miúdo

A areia fina foi fornecida pela draga do rio poti na estrada da alegria.

2.2.5 – Agregado graúdo

Para agregado graúdo foi adotado a brita, fornecido pela empresa BRITA Indústria com jazida na fazenda Boa Esperança, cidade de Monsenhor Gil.

2.2.6 – Água

Foi utilizada para os ensaios, água potável de abastecimento público, fornecida pela AGESPISA (Água e Esgotos do Piauí S.A.).

2.3 – Ensaios

2.3.1 – Ensaio de espalhamento “flow test”

O ensaio de espalhamento ou flow test é um método de ensaio para determinação da fluidez do concreto autoadensável, em fluxo livre, empregando-se o cone de Abrams, Figura 1.

Figura 1 – Cone de Abrams

ISBN: 978-85-65425-32-2

O resultado do ensaio é o espalhamento (SF) da massa de concreto, obtido pela média aritmética de duas medidas perpendiculares do diâmetro realizadas em milímetros (mm), Figura 2.

Figura 2 – Resultado do espalhamento

2.3.2 – Ensaio de tempo de escoamento “T500”

O ensaio de tempo de escoamento, assim como o de espalhamento, serve para medir a fluidez e viscosidade do CAA, sendo utilizado o mesmo equipamento empregado no ensaio de slump flow, acrescentando um cronômetro com resolução mínima de 0,1 segundo.

O resultado do ensaio (t500) é o intervalo de tempo, em segundos, entre o início e o final do escoamento do concreto, a partir do diâmetro do molde (200 mm) até a marca circular de diâmetro 500 mm da placa de base, Figura 3.

Figura 3 – Resultado do ensaio T500

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.3.3 – Determinação da habilidade passante – Método da Caixa - L

O ensaio tem a finalidade de medir a habilidade passante do concreto autoadensável. A aparelhagem utilizada para o ensaio são: caixa de seção retangular com perfil em forma de *L*, Figura 4, constituída por um compartimento vertical e outro horizontal, colher de pedreiro e régua metálica.

Finalizado o escoamento, medir as alturas H1 e H2, e calcular a habilidade passante (HP), isto é, a razão entre as alturas da superfície do concreto nas extremidades da câmara horizontal usando a equação a seguir:

$$HP = \frac{H2}{H1} \qquad (1)$$

Figura 4 – Escoamento do concreto após abertura da comporta

2.3.4 – Determinação da viscosidade aparente – Método do Funil - V

O ensaio do funil-V mede a viscosidade ou coesão do CAA. A aparelhagem necessária é: concha metálica, colher de pedreiro para retirada de excesso de concreto, cronômetro com resolução de 0,1 segundo, chapa acrílica com espessura de 5 mm ou em chapa metálica de pelo menos 1,5 mm de espessura em forma de funil de bases retangulares, assim como é apresentado na Figura 5.

A abertura da comporta deve ser efetuada em um tempo não superior a 30 segundos após o final de seu preenchimento. O cronômetro deve ser acionado simultaneamente à abertura da comporta e parado quando todo o concreto houver escoado. O intervalo de tempo para escoamento completo da massa do concreto (T30seg) deve ser registrado.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 5 – Funil - V

O recipiente metálico tem o volume de pelo menos 12 litros para receber o concreto após sua passagem pelo funil-V.

2.3.5 – Resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão serão moldados pares de corpos de provas apresentando as dimensões de 10 x 20 cm com as datas de 3, 7, 14 e 28 dias para cada tipo de concreto autoadensável, segundo dosagem do Quadro 1, Quadro 2 e Quadro 3.

3 Resultados e discussões

3.2 Ensaio de espalhamento “flow test”

Para o ensaio de espalhamento, flow test, foram obtidos os seguintes resultados, Quadro 4 e Figura 6

Quadro 4 – Resultado do espalhamento para o CAA

Parâmetro de Ensaio	Metacaulim	Sílica ativa	Sem o uso de materiais finos
Diâmetro 1	62	68	72
Diâmetro 2	67	71	74
Média	64,5	69,5	73

Como é possível verificar o concreto dosado com ausência dos materiais finos em sua composição apresentou um espalhamento com diâmetro maior e cosequentemente revelou uma menor viscosidade quando comparado com o concreto dosado composto pelo metacaulim e sílica ativa.

ISBN: 978-85-65425-32-2

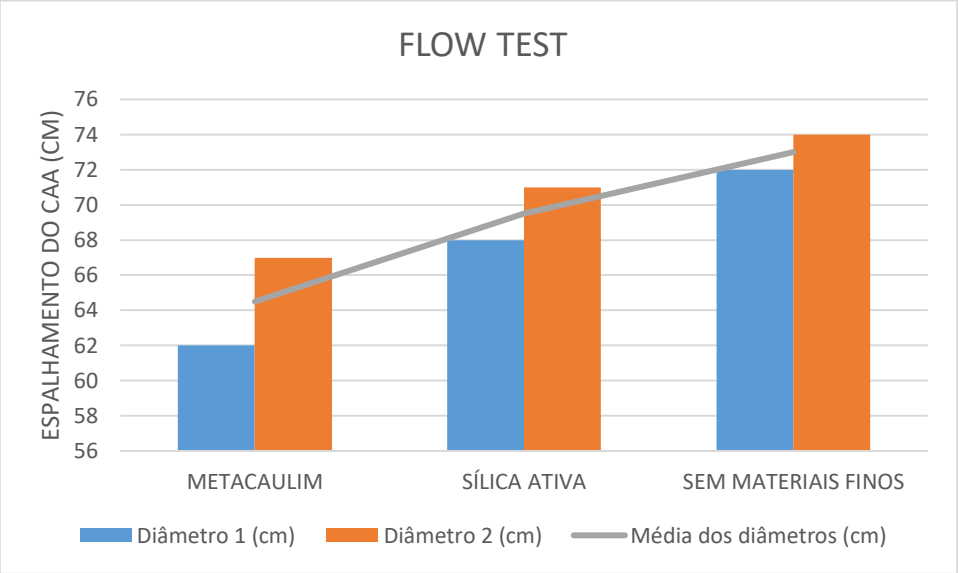


Figura 6 – Ensaio de espalhamento

Quanto a classe de espalhamento, segundo a ABNT NBR 15823:1, o CAA apresentou, para cada dosagem, resultados conforme o Quadro 5.

Quadro 5 – Classe de espalhamento para o CAA

Parâmetro de ensaio	Metacaulim	Sílica Ativa	Sem o uso de materiais finos
Média (cm)	64,5	69,5	73
Classe de espalhamento	SF 1	SF 2	SF 2

3.3 Ensaio de tempo de escoamento “T500”

Complementando o ensaio de espalhamento, o ensaio de tempo de escoamento “T500” apresentou os seguintes resultados, Quadro 6 e Figura 7.

Quadro 6 – Tempo de escoamento (T500)

Metacaulim	Sílica Ativa	Sem o uso de materiais finos
5,4	4,03	3,53

ISBN: 978-85-65425-32-2

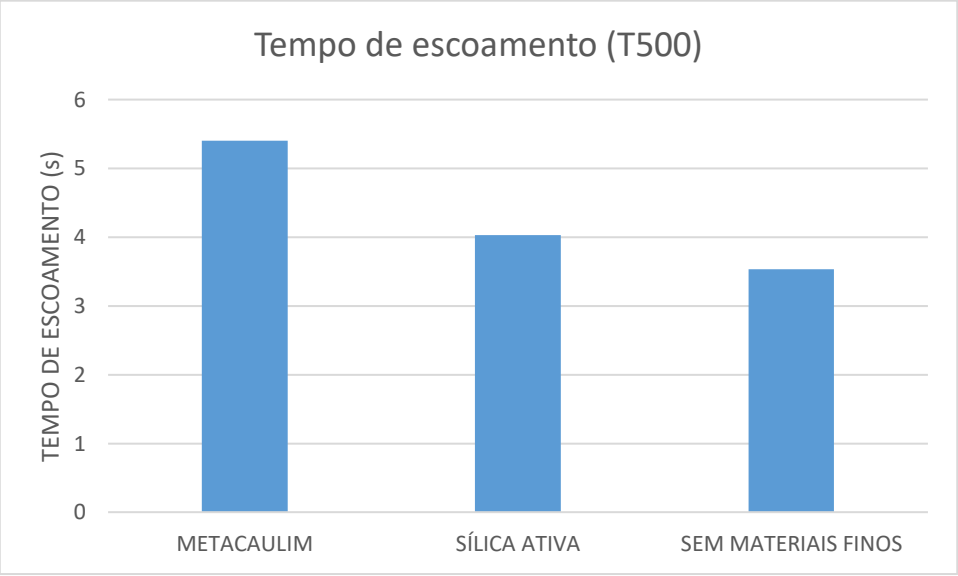


Figura 7 – Ensaio de Tempo de escoamento (T500)

O CAA composto por materiais finos, metacaulim e sílica ativa, comprovaram uma maior viscosidade e sendo assim uma maior resistência ao escoamento, por apresentarem um maior tempo de escoamento, por outro lado o CAA sem uso de materiais finos atesta um maior risco de segregação confirmando assim uma baixa viscosidade plástica aparente.

Quanto as classes de viscosidade de acordo com a ABNT: NBR 15823:1, para as dosagens em estudo, foram comprovadas, segundo Quadro 7, os seguintes resultados.

Quadro 7 – Classe de viscosidade aparente

Parâmetro	Metacaulim	Sílica Ativa	Sem o uso de materiais finos
Viscosidade	VF 2	VF 2	V F 2

3.4 Determinação da habilidade passante – Método da Caixa - L

O Quadro 8 e Figura 8 detalha os resultados para o ensaio de habilidade passante através do método da caixa-l.

Quadro 8 – Habilidade passante para o CAA

Parâmetro	Metacaulim	Sílica Ativa	Sem o uso de materiais finos
Relação H2/H1	0,82	0,86	0,7

ISBN: 978-85-65425-32-2

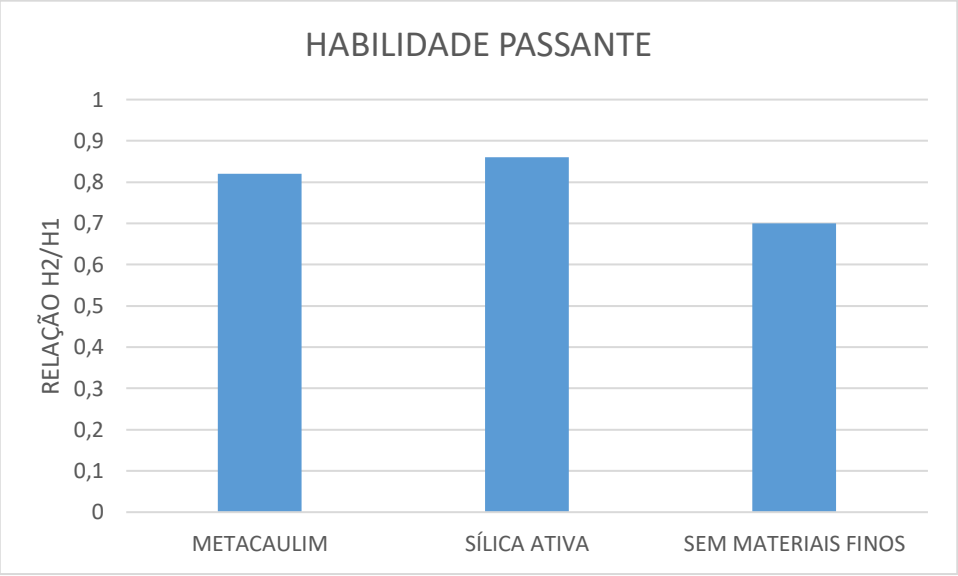


Figura 8 – Ensaio de habilidade passante através da caixa-L

Como é possível observar o ensaio método da caixa-L, demonstrou resultado favorável para CAA com uso de materiais finos, metacaulim e sílica ativa, por apresentarem o valor da relação H2/H1 superior a 0,8.

O CAA sem adição de materiais finos, por apresentar resultado da relação H2/H1 inferior a 0,8, revela maior possibilidade de segregação e obstrução do fluxo quanto a sua reologia.

Para a classe de habilidade passante, segundo ABNT NBR: 15823:1, os CAAs em estudo foram classificados de acordo com o Quadro 9.

Quadro 9 – Classe de habilidade passante

Parâmetro	Metacaulim	Sílica Ativa	Sem o uso de materiais finos
Habilidade Passante	PL 2	PL 2	Nenhuma Classe

3.5 Determinação da viscosidade aparente – Método do Funil - V

O Quadro 10 e Figura 9 detalha os resultados para o ensaio de determinação da viscosidade através do método de funil-V para primeira abertura da comporta em um tempo não superior a 30 segundos após o final de seu preenchimento.

Quadro 10 – Tempo de escoamento (T30s)

Parâmetro	Metacaulim	Sílica Ativa	Sem o uso de materiais finos
T 30s (s)	7,84	5,86	3,12

ISBN: 978-85-65425-32-2

Para as três dosagens do CAA, foi observado um tempo de escoamento inferior a 8 segundos, que segundo a ABNT NBR 15823:1, esse resultado é adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, suficiente para nosso estudo de camisas de concreto com pequenas espessuras.

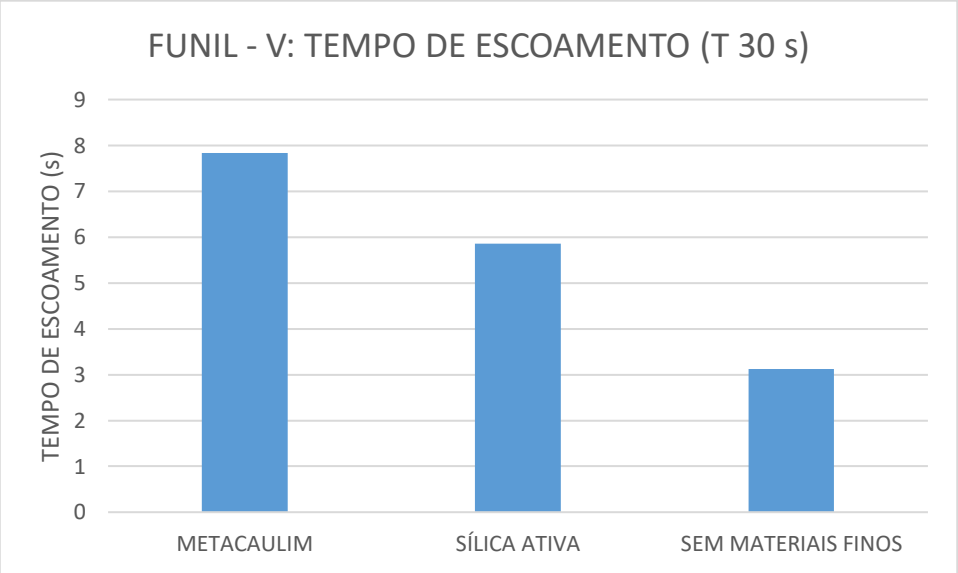


Figura 9 – Ensaio de tempo de escoamento através do funil-V (T30s)

A classificação quanto às classes de viscosidade plástica aparente do concreto autoadensável em função de sua aplicação, segundo ABNT NBR 15823:1, é demonstrado no Quadro 11.

Quadro 11 – Classe de viscosidade aparente

Parâmetro	Metacaulim	Sílica Ativa	Sem o uso de materiais finos
Viscosidade	VF 1	VF 1	VF 1

Como é possível observar, para nenhuma das dosagens do CAA em estudo, a diferença entre os tempos de escoamento resultaram valores superiores a 3 segundos, logo apresentaram resultados favoráveis quanto a resistência à segregação.

3.6 Resistência à compressão

O valor das resistências à compressão referente as dosagens de CAA para as idades de rompimento: 3, 7, 14 e 28 dias, estão dispostas na Quadro 12 e Figuras 10, 11 e 12.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 12 – Resistência à compressão (Mpa)

Idade	Metacaulim		Sílica Ativa		Sem o uso de materiais finos	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
3	34,93	38,87	28,37	15,63	27,81	28,55
7	37,95	45,04	43,41	44,18	37,31	39,08
14	56,75	54,39	52,39	51,57	47,63	47,48
28	64,66	61,91	59,76	56,18	49,81	53,04

O CAA com adição de metacaulim obteve uma resistência inicial para os primeiros 3 (três) dias acima de 30 Mpa permanecendo ganhos de resistência até completar os 28 (vinte e oito) dias, Figura 10.

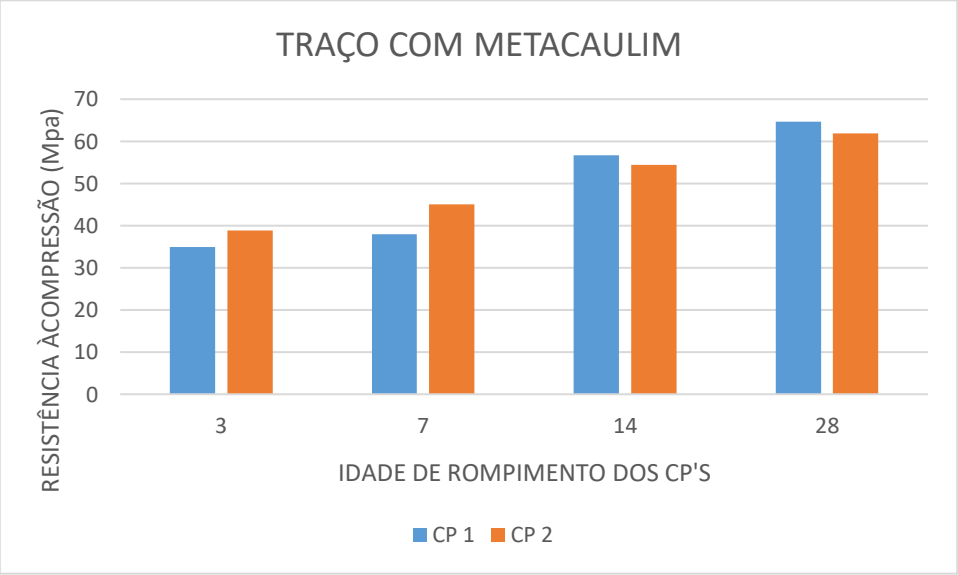


Figura 10 – Resistência à compressão: Metacaulim

O concreto autoadensável com sílica ativa teve uma resistência à compressão similar ao CAA sem uso de materiais finos, porém demonstrou ganhos de resistência, tão quanto CAA dosado com metacaulim, para as demais idades de rompimento, Figura 11.

ISBN: 978-85-65425-32-2

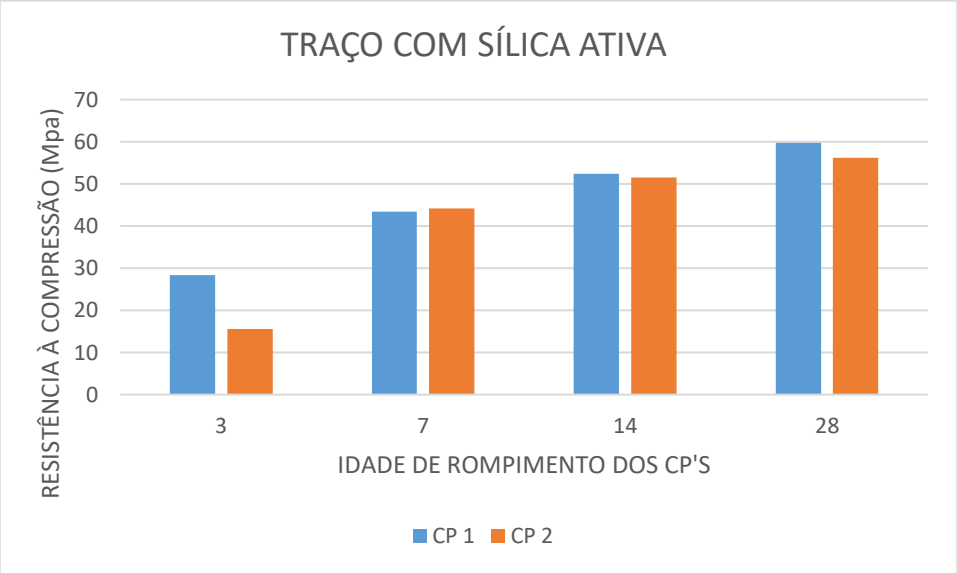


Figura 11 – Resistência à compressão: Sílica ativa

Como é possível observar o CAA com uso de aditivos minerais, metacaulim e sílica ativa, demonstrou melhor resultado quanto à resistência à compressão para as idades de 3, 7, 14 e 28 dias que o CAA sem o uso de materiais finos, Figura 12, proporcionando ganhos de resistência em até 20 %.

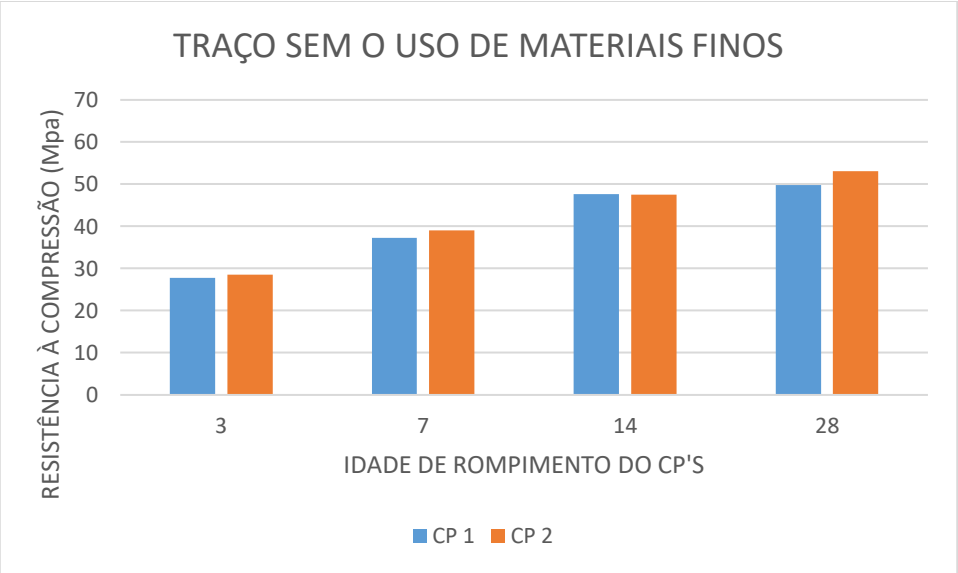


Figura 12 – Resistência à compressão

ISBN: 978-85-65425-32-2

4 Considerações finais

Foi possível observar que o CAA com adições minerais de metacaulim e sílica ativa teve um melhor desempenho quanto a fluidez, viscosidade e resistência à segregação. O CAA com a ausência de materiais finos, apesar de apresentar desempenho inferior, se comportou bem quanto a fluidez, confirmado pelo ensaio de espalhamento e tempo de escoamento, porém não obteve um bom resultado quanto à habilidade passante e consequentemente à viscosidade aparente, podendo ter maiores chances de sofrer segregação. Observa-se também quem a adição do metacaulim e sílica ativa proporcionou um ganho expressivo de resistência mecânica ao concreto autoadensável quando comparado com mesmo concreto sem o uso de materiais finos.

5. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823: Concreto autoadensável: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais pozolânicos. Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

Helene, P.; Terzian, P. Manual de dosagem e controle do concreto. 349 páginas, 1995.

Helene, P. R. L.; Medeiros, M. H. F. Estudo da Influência do metacaulim HP como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Maio, 2004. 66 p.

Mehta, P. K.; Monteiro, P.J.M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo, 2008. IBRACON.

Tutikian, B. F.; Dal Molin, D. C. Concreto autoadensável. 1°ed. São Paulo: PINI, 2008.

Tutikian, B. F.; Método para dosagem de concretos auto-adensáveis. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2004.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ANÁLISE DA QUALIDADE DE CONCRETOS ATRAVÉS DOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA E ULTRASSOM

Analysis Of Concrete Quality Through The Hammer And Ultrasound Tests

Larissa Cavalcante de Araújo MELLO[1], Evilane Cássia de FARIAS [2], Maria das Vitórias Vieira de Almeida SÁ [3], Alisson Gadelha de MEDEIROS[4]

[1] UFRN, Natal, Brasil, larissa.engciv@yahoo.com.br

[2] IFRN, São Paulo do Potengi, Brasil, evilane_cassia@globo.com

[3] UFRN, Natal, Brasil, pro-reitora@prograd.ufrn.br

[4] UFERSA, Pau dos Ferros, Brasil, alisson.gadelha@ufersa.edu.br

Resumo: Os estudos dos aspectos que tangem a qualidade do concreto, através de avaliações desde a sua dosagem até suas diversas aplicações, tornam-se relevante tendo em vista o seu alto consumo na indústria da construção civil brasileira. Logo, pode-se mencionar que o conhecimento da qualidade do concreto auxilia tanto na segurança das estruturas produzidas quanto na avaliação de sua durabilidade. Para tanto, diversas pesquisas demonstram que a qualidade do concreto pode estar diretamente relacionada com os materiais utilizados em sua dosagem, as propriedades no estado fresco, a maneira de seu lançado nas fôrmas, bem como as condições em que é submetido após a concretagem. Com isto, uma das formas de serem verificadas estas questões, é por meio de medições de ensaios não-destrutivos. Essas avaliações são de grande aplicabilidade em estruturas não deterioradas, uma vez que não danificam as peças em que se está ensaiando, ademais, são de baixo custo quando comparados com os ensaios destrutivos. Dentre os vários tipos de ensaios existentes, destacam-se a esclerometria e o ultrassom. O primeiro é baseado no princípio da reflexão de uma massa elástica dependente da dureza da superfície contra a qual se realizará o seu rebote, de onde se podem verificar e estimar, além de sua dureza superficial, a resistência à compressão do concreto, bem como sua qualidade e homogeneidade. Já o segundo, consiste na medição, por meio eletrônico, do tempo de propagação do pulso de ondas ultrassônicas através do concreto entre os transdutores emissor e receptor. Estes, por sua vez, permitem a verificação da velocidade de propagação na estrutura analisada. Dessa análise, pode-se retirar correlações estimativas do módulo de elasticidade dinâmico, da porosidade e da qualidade do concreto, por exemplo. Diante deste contexto, o presente artigo tem como objetivo realizar análises em concretos com resistências características de 20MPa e 35MPa, a partir da comparação de resultados obtidos nos ensaios de esclerometria e ultrassom. A análise da qualidade foi realizada aos 28 dias de idade, resultando em medidas ultrassônicas que estimaram qualidade satisfatória de ambos os concretos. Também foi possível observar tanto a influência da homogeneidade do concreto nos resultados de esclerometria como da relação água/cimento na velocidade de propagação das ondas ultrassônicas.

Palavras-chave: Propriedades do concreto; Ensaios não-destrutivos; Dureza superficial; Ondas ultrassônicas; Estimativa da qualidade.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Abstract: Concrete is the most consumed material in the brazilian civil construction. From this fact, studies of the aspects which determines concrete quality, through evaluations since its dosage to its various applications, become relevant. In this perspective, the knowledge of the mentioned quality helps both the structure safety and the evaluation of its durability. To this end, several researches show that the quality of the concrete can be directly related to the materials used in composite dosage, the properties in fresh state, the way of its launch into molds, as well as the conditions which it undergoes after concreting. One way to verify these issues is doing nondestructive testing measurements. These evaluations are of great applicability in not damaged structures, since it does not damage the parts that are being tested. Besides this, they are cheaper than the destructive tests. Among the various types of tests, the hammer and ultrasonic tests stands out. The first is based on the principle of reflection of an elastic mass dependent on the hardness of the surface against which it will hold its rebound, where you can check and estimate, besides the concrete surface hardness, its compressive resistance, its quality and homogeneity. The second consists in measuring, by eletronic means, the propagation time of the ultrasonic waves pulse through the concrete between the tansmitter and receiver transducers. These transducers allow the verification of the propagation speed in the measured structure. It can withdraw estimates correlations of the elasticity modulus, the porosity and the quality of concrete from this analysis, as an example. Given this context, this article aims to conduct tests on concrete with characteristic resistance of 20MPa and 35MPa, from the comparison of results obtained in hammer and ultrasonic tests. The quality analysis was performed at the age of 28 days, and the results demonstrated that the ultrasonic measurements estimated satisfactory quality of both concrete. It was also possible to observe both the influence of the concrete homogeneity gotten by hammer test as the proportion water/cement found by the speed of propagation of ultrasonic waves.

Keywords: Concrete Properties; Non-destructive testing; surface hardness; ultrasonic waves; Estimation of quality.

Introdução

O uso bastante difundido do concreto como material de engenharia deve-se à três razões. A primeira é a sua excelente resistência à água, diferente do aço e da madeira, o concreto é ideal para construções de controle, armazenamento e transporte de água. Outro motivo é a facilidade em adquirir elementos estruturais de diferentes formas e tamanhos. E, por último, tem-se, normalmente, que o concreto possui baixo custo e rápida disponibilidade do material para obra (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Em virtude da expansão de tal uso no Brasil, é necessário o conhecimento do controle tecnológico do concreto que tem como enfoque a avaliação de suas propriedades no estado endurecido. Dentre essas, a resistência à compressão do concreto é a de maior importância e a que está mais relacionada com a qualidade da estrutura. Com isso, a fim de conhecer tal propriedade, são utilizados ensaios destrutivos e não-destrutivos. Estes ensaios resultam em fatores que são influenciados pela resistência à compressão e podem ser correlacionados com a durabilidade da estrutura que, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e

ISBN: 978-85-65425-32-2

definidas em projeto. Diante da importância da resistência à compressão na interpretação dos resultados dos ensaios, a análise dessa propriedade é de fundamental importância no conhecimento da qualidade do compósito em estudo.

Para compreender melhor a qualidade do material é importante saber os fatores influentes na resistência à compressão do concreto como a relação a/c, adensamento, condições de cura, condições de umidade, dentre outros.

Logo, este trabalho busca analisar a qualidade de concretos de 20MPa e 35MPa através dos ensaios de compressão axial, esclerometria e ultrassom.

Ensaios de qualidade do concreto

2.1 Esclerometria

A esclerometria é um ensaio baseado no princípio da dependência da reflexão (recuo) de uma massa elástica com a dureza da superfície contra a qual a massa colidiu. O funcionamento se dá pelo impulsionamento de uma massa por uma mola que possui determinada quantidade de energia transmitida pela extensão da mola até uma posição estabelecida. Isso é feito pela pressão de uma haste contra uma superfície lisa de concreto firmemente apoiada. Após a liberação, o reuco da massa da haste e a distância percorrida pela massa, expressa como uma porcentagem da extensão inicial da mola, é denominada índice esclerométrico. A haste deve estar sempre normal à superfície do concreto, e a posição relativa do esclerômetro em relação à vertical afeta o índice esclerométrico devido à influência da gravidade na massa móvel (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Os valores obtidos não são precisos já que dependem da uniformidade da superfície, da condição de umidade, da carbonatação superficial e da rigidez do elemento estrutural (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Além dos fatores já citados, os estudos de Sahuinco (2011) apresentam outros fatores também influentes no resultado como o tipo e teor de cimento e os agregados utilizados.

De acordo com Neville e Brooks (2013), o ensaio com o esclerômetro Schmidt é válido como uma medida da uniformidade e qualidade relativa do concreto em uma estrutura ou da produção de uma quantidade de elementos similares pré-moldados, mas não como um ensaio de aceitação.

2.2 Ultrassom

Segundo Evangelista (2002), o ensaio de ultrassom consiste na medição, por meio eletrônico, do tempo de propagação de ondas ultrassônicas através do concreto, entre o emissor e o receptor. O comprimento percorrido entre os transdutores dividido pelo tempo de propagação, resulta na velocidade média de propagação da onda. A velocidade do ultrassom dá muitas indicações sobre as propriedades mecânicas do material, dentre vários exemplos, a sua rigidez, seu estado de tensão, o seu nível de danos químicos ou danos mecânicos e idade. Ainda sendo possível visualizar grande descontinuidades associadas a um contraste significativo no concreto, incluindo fissuras (PLANES e LAROSE, 2013).

A velocidade da onda depende principalmente dos seguintes fatores: coeficiente de Poisson, módulo de deformação, massa específica e também da presença ou não de

ISBN: 978-85-65425-32-2

armadura. O ensaio é de operação fácil e baixo custo. A ligação entre o transdutor do aparelho e a superfície do concreto é um dos pontos críticos do método. Um outro problema que pode influenciar nos resultados é a presença de fissuras, vazios ou descontinuidades no concreto (MOTA, JUNIOR e SOUZA, s.d; BREYSSE, 2012).

Nas medições por ultrassom, pode-se analisar o sinal através de ondas longitudinais, transversais e na superfície da massa do concreto – onde se manifesta uma onda superficial de grande energia denominada de onda de Rayleigh (MONTOYA *et al*., 2011).

Materiais e métodos

O concreto da empresa A foi dosado em central, possuindo o traço (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água) em massa de 1 : 2.48 : 2.67 : 0.65, com uso do aditivo plastificante MIRA RT 67 e cimento do tipo CPIIZ-32 da marca Cimpor. O abatimento do concreto foi de 18 cm. Já o concreto da empresa B foi dosado em obra com traço em volume para um saco de cimento de 1 : 2.71 : 3.96 : 0.34, sendo o cimento do tipo CPII-Z da marca Campeão.

Afim de compreender melhor a utilização do traço adotado pelas empresas que forneceram os concretos, realizou-se a caracterização dos agregados e estes se apresentaram com uma distribuição uniforme.

Para o estudo do concreto foram moldados 5 corpos-de-prova (0.10x0.20m) e um bloco de concreto com dimensões de 1.0m de comprimento, 0,50m de largura e 0,40m de altura para os f_{ck} de 20MPa e 35MPa, nomeados concretos C20 e C35, respectivamente. Todos os ensaios foram realizados em ambos os concretos.

O ensaio de resistência a compressão axial foi realizado aos 28 dias e aplicado à 4 CPs. Em 1 CP foram feitos os ensaios complementares ao estudo, de absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto conforme a ABNT NBR 9778 (2009).

Nos blocos, após a regularização da superfície, com disco de carborundum, definiu-se, de acordo com a norma ABNT NBR 8802 (2013), os pontos a serem efetuados os ensaios de ultrassom (Figura 1). Foram escolhidos seis pontos em cada face, espaçados 0,15m entre si, com medição de forma indireta em cada face do bloco.

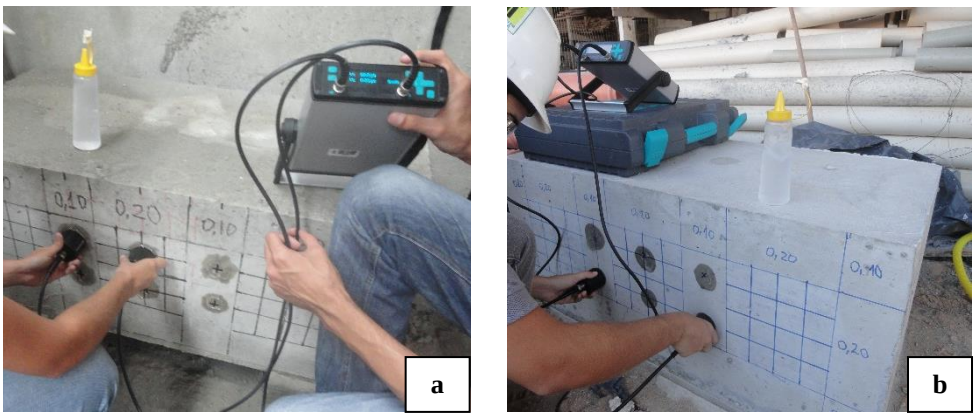


Figura 1 - Ensaio de ultrassom, pelo método indireto, na face menor de (a) B20 e (b) B35

ISBN: 978-85-65425-32-2

Após a regularização já citada e seguindo as orientações de ABNT NBR 7584 (2012), no ensaio de esclerometria houve a elaboração de quatro malhas de 0.20x0.20m, sendo três na face maior e uma na face menor. Na maior, as malhas (M) ficaram distantes, verticalmente e horizontalmente, 0.10m das bordas. Já para na menor, a malha ficou distante horizontalmente 0.15m e verticalmente, 0.10m. A execução de tal ensaio pode ser observada na Figura 2.

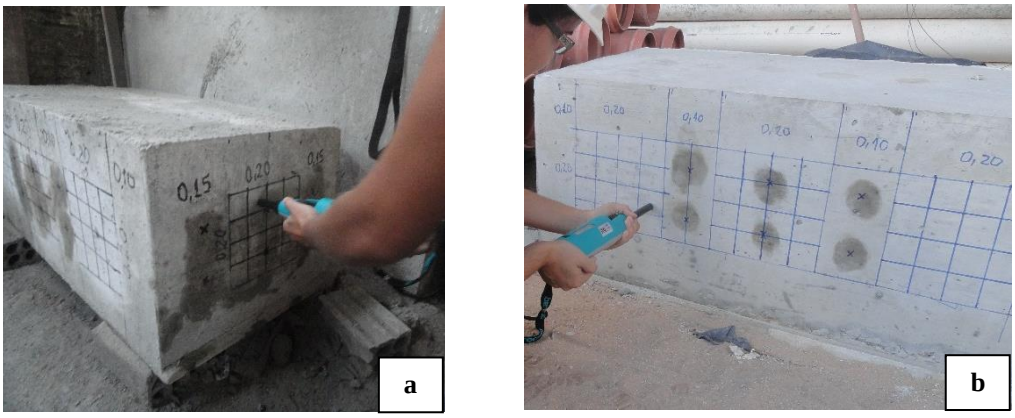


Figura 2 - Ensaio de esclerometria nos (a) B20 e (b) B35

O Quadro 1 mostra resumidamente os corpos-de-prova utilizados e os respectivos ensaios.

Quadro 1 – Corpos-de-prova e ensaios realizados

Corpo-de-prova (fck=20MPa)	Corpo-de-prova (fck=35MPa)	Tipo	Ensaio
CP1 ao CP4	CP1 ao CP4	Moldado	Compressão axial
CP5	CP5	Moldado	Absorção e massa específica
Bloco (B20)	Bloco (B35)	Moldado	Esclerometria e ultrassom

4 Discursão dos resultados

4.1 Ensaio de resistência à compressão e esclerometria

O Quadro 2 apresenta os valores das resistências dos CPs moldados com resistências médias de 34.35MPa e 35.76MPa para o C20 e C35, respectivamente.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 2 – Resultado do ensaio de compressão axial dos corpos-de-prova do C20

Nº do CP	C20		C35	
	Carga (Kgf)	Resist. Compressão (MPa)	Carga (Kgf)	Resist. Compressão (MPa)
CP1	26700	34.01	26600	33.89
CP2	25900	32.99	28150	35.86
CP3	29100	37.07	30040	38.27
CP4	27400	34.90	27500	35.03

No ensaio de esclerometria a resistência encontrada nos dois blocos, B20 e B35, foram desta sequência, 18.88MPa e 20.50MPa. Ao observar a Figura 3, nota-se uma discrepância maior, ao comparar a resistência à compressão dos CPs e dos blocos, nos valores do C35. As diferenças encontradas foram de 45.04% e 42.67% para o C20 e C25, respectivamente.

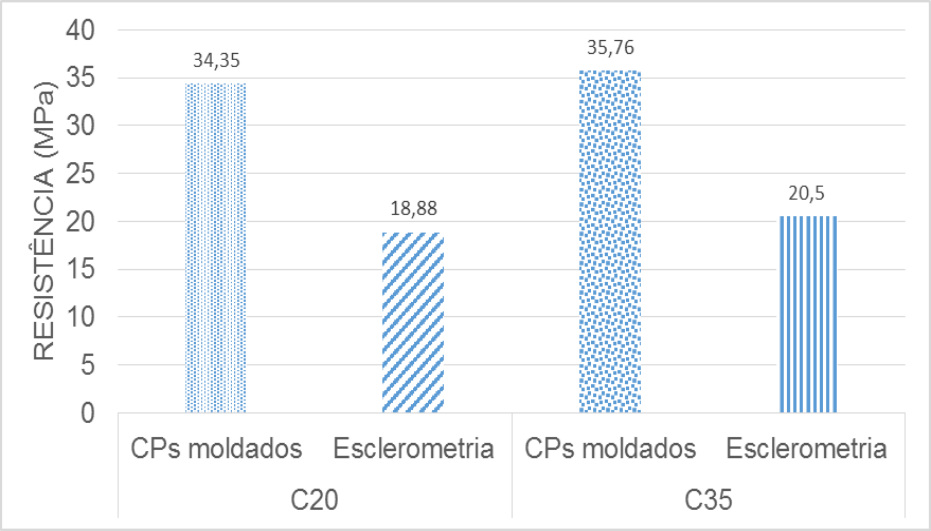


Figura 3 - Gráfico comparativo entre resistência à compressão dos CPs e a resistência obtida através do ensaio de esclerometria realizada no bloco.

Segundo os estudos de Machado (2005) e Evangelista (2002) este último valor estaria fora da discrepância máxima normalmente encontrada entre os ensaios, podendo isso ter sido motivado pelo adensamento realizado, tornando um bloco menos homogêneo. Tal aspecto também foi comentado no estudo de Oliveira e Soriano (2011). Montoya *et al.* (2011) citam duas de muitas variáveis que podem interferir no resultado do ensaio em questão, sendo

ISBN: 978-85-65425-32-2

estas o estado na superfície do concreto e concentração de agregado graúdo na superfície e estas variáveis podem ser vistas na Figura 4, justificando assim o resultado para o B35.

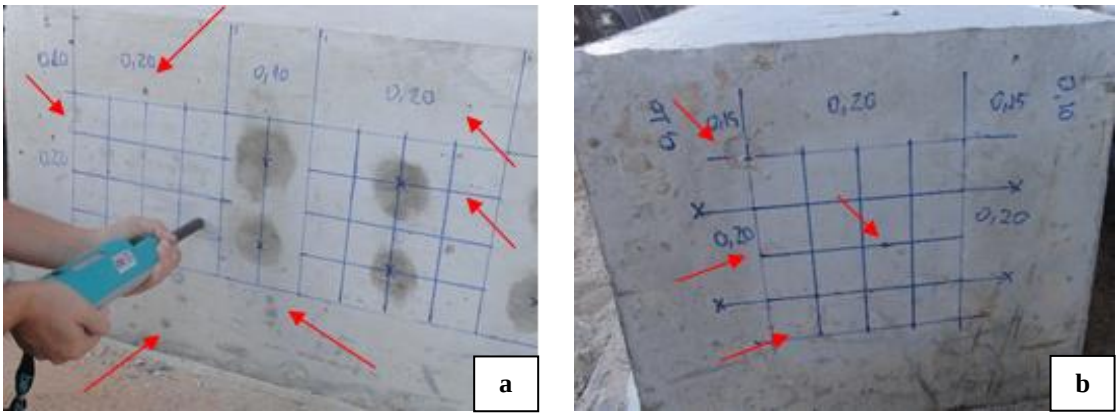


Figura 4 - Heterogeneidade na superfície da face (a) maior e (b) menor do B35 com algumas indicações de nichos de concretagem

A média dos índices de reflexão pode ser relacionada com a qualidade e homogeneidade do concreto a partir dos coeficientes de variação. Na amostra do B20, os coeficientes de variação obtidos através da razão entre o desvio padrão e a média dos valores de cada malha foram de 4.88 a 5.50%, já para o B35 variaram de 3.87 a 7.42. De acordo com a norma britânica BS 1881: *Part* 202 (1986), esses resultados indicam que os concretos analisados são homogêneos e de boa qualidade, visto que os intervalos encontrados para os referidos coeficientes estão entre os limites fixados (entre 2% e 15%) para classificar os concretos com tais qualidades.

4.2 Ensaio de resistência à compressão e ultrassom

Os Quadros 3 e 4 apresentam os valores da velocidade de ultrassom nos blocos. Para a análise da qualidade do concreto a partir desde ensaio, optou-se pela exclusão pontos P7 e P8 do B20, devido os valores não serem satisfatórios e resultar em má interpretação dos resultados. Com isso, a velocidade média obtida para o B20 foi 3676m/s e para o B35 foi 3721m/s.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 3 - Resultados do ensaio de ultrassom do B20

Face	Ponto	t1	t2	Velocidade (m/s)
Face maior	P1	41.7	77.4	4202
	P2	41.2	77.4	4144
	P3	34.1	79.9	3275
	P4	34.6	78.1	3448
Face menor	P5	49.4	85.2	4190
	P6	38.4	76.4	3947
	P7	40.4	86.9	3226
	P8	30.4	76.9	3336

Quadro 4 - Resultados do ensaio de ultrassom do B35

Face	Ponto	t1	t2	Velocidade (m/s)
Face maior	P1	32.1	74.7	3521
	P2	31.7	74.4	3513
	P3	31.6	71.7	3741
	P4	32.1	71.4	3817
Face menor	P5	29.7	69.8	3731
	P6	30.7	70.9	3731
	P7	34.1	81.9	3138
	P8	32.7	82.9	2988

ISBN: 978-85-65425-32-2

Na Figura 5 observa-se a diferença obtida entre as velocidades médias de propagação das ondas no B20 e B35.

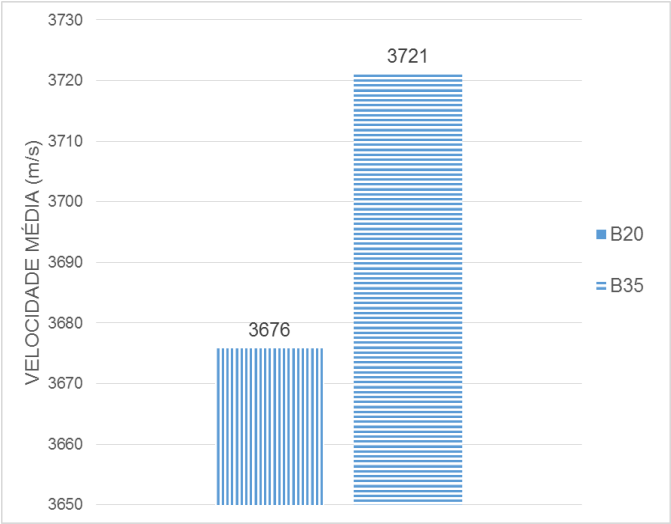


Figura 5 - Velocidade média de propagação das ondas nos blocos

Ao relacionar os resultados da velocidade média de propagação das ondas nos blocos, nota-se que o resultado encontrado é coerente, pois a velocidade de propagação da onda aumentou com a diminuição da relação água/cimento, devido a tendência de concretos com essa baixa proporção serem menos porosos.

O Quadro 5 mostra a relação entre a velocidade da onda e a qualidade do concreto. Pode-se concluir a partir dos resultados obtidos que os dois blocos são considerados de boa qualidade, pois os valores de velocidade de propagação de ondas encontrados, 3676m/s e 3721m/s, estão compreendidos na faixa de 3500 < V > 4500, cuja qualidade do concreto é classificado como “Bom”.

Quadro 5 - Velocidade média de propagação das ondas nos blocos (Modificado QASRAWI (2000))

VELOCIDADE DA ONDA ULTRSSÔNICA (m/s)	QUALIDADE DO CONCRETO
V > 4500	EXCELENTE
3500 < V < 4500	BOM
3000 < V < 3500	ACEITÁVEL
2000 < V < 3000	RUIM
V < 2000	MUITO RUIM

ISBN: 978-85-65425-32-2

Conclusões

Diante do estudo realizado com os concretos cuja resistências de projeto são de 20MPa e 35MPa, obteve-se as seguintes conclusões:

• Os ensaios de resistência à compressão axial e esclerometria realizados nos concretos possibilitaram identificar as diferenças entre os valores de resistência à compressão encontrados, assim como, se obter informações a respeito da qualidade do concreto em estudo;

• Por ser um ensaio de dureza superficial, logo é relacionado ao estado da superfície do concreto a ser ensaiado, houve uma diferença de resistência entre os CPs moldados e a esclerometria de 45.04% para o C20 e de 42.67 para o C35. Portanto, em ambos os casos a resistência encontrada no ensaio de esclerometria foi menor que àquelas dos CPs;

• O ensaio de ultrassom mostrou que os concretos são de boa qualidade, pois satisfez o intervalo de velocidade da propagação de onda 3500 a 4500 m/s, comprovando a tendência de concretos com menor relação água/cimento apresentarem qualidade.

• O ensaio de esclerometria indicou, através dos seus coeficientes de variação de 4.88 a 5.50% (C20) e 3.87 a 7.42 (C35), que ambos os concretos são homogêneos e de boa qualidade;

• Houve coerência entre os ensaios de esclerometria e ultrassom no que se diz respeito à qualidade do concreto, o primeiro confirmou a conclusão obtida pelo segundo ensaio, o concreto é de boa qualidade;

• Dentre os ensaios analisados, o que mais se aproximou da resistência real da estrutura (bloco) foi de ultrassom. O valor do ensaio de esclerometria divergiu muito em razão de ser um ensaio bastante superficial e depender de diversos fatores.

Referências Bibliográficas

ABNT NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 256p.

_____. NBR 7584, Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 2012. 10p.

_____. NBR 8802, Concreto Endurecido – Determinação da velocidade de Propagação de Onda Ultra-S. Rio de Janeiro, 2013. 8p

_____. NBR 9778, Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.4p.

BENOIS, A.; GRINI, A. “Estimation of concrete’s porosity by ultrasounds”. Physics Procedia, Vol. 21. 2011. pp. 53 – 58.

ISBN: 978-85-65425-32-2

BREYSSE. D. “Nondestructuve evaluation of concrete strenght: Na historical reviw and a new perpective by combinig NDT methods”. Construction and Building Materials. Vol. 33. 2012. pp. 139 – 163.

BRITISH STANDARD. BS 1881: Part 202. Testing concrete: Recommendations for surfasse hardness testing by rebound hammer. London: British Standards Instituition, 1986. 8p.

EVANGELISTA, Ana C. J. Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Tese (Doutorado em Ciências na Construção Civil) Coordenação de Programa de Pós-Graduação em Engenharia-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. 219p.

MACHADO, M.D. Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no rio de janeiro por meio de ensaios não destrutivos. 2005. 294f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ), 2005.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674p.

MONTOYA, P.J.; MESEGUER, A,G.; CABRÉ, F.M.; PORTERO, J.C.A. Hormigón armado. 15 ed. Barcelona: G. Gili, 2011.

MOTA, R. O.; JUNIOR, P. F.; SOUZA, R. A. “Avaliação da resistência à compressão do concreto através da velocidade de propagação da onda ultra-sônica”. UEG. Goiás,(s.d.). 6p.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. Tecnologia no concreto. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 452p.

OLIVEIRA, A.Z.V.C.; SORIANO, J. Efeito do adensamento do concreto nos resultados de ensaios de esclerometria e ultrassonografia. XIX Congresso interno de iniciação científica. FEAGRI, UNICAMPI, 2011.

PLANES, T.; LAROSE, E. “A review of ultrasonic Coda Wave Interferometry in concrete”. Cemend and Concrete Research, Vol. 53. 2013. pp. 248 – 255.

SAHUINCO, M.H.C. Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2011. 170p.

QASRAWI, H. Y. “Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted.” Cement and Concrete Research, Vol. 30. 2000. pp. 739 – 746.

ISBN: 978-85-65425-32-2

AVALIAÇÃO REOLÓGICA E DA DIFUSÃO DE ÍONS CLORETO EM CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS COM METACAULIM

Rheological Evaluation And Chloride Ions Diffusion In Self-Compacting Concrete Containing Metakaolin

Nathaly Santana Leal de SOUZA[1], **Evilane Cássia de FARIAS[2]**, Marcos Alyssandro Soares dos ANJOS[3], Ítalo Vale MONTE JÚNIOR[4]

[1] UFRN, Natal/RN, Brasil, nathalysleal@gmail.com

[2] IFRN, São Paulo do Potengi/RN, Brasil, evilane.farias@ifrn.edu.br

[3] IFPB, João Pessoa/PB, Brasil, marcos.alyssandro@gmail.com

[4] UnP, Natal/RN, Brasil, italo.vale@unp.br

Resumo: O Concreto autoadensável (CAA) é uma categoria de concreto de alto desempenho que possui capacidade de fluxo através do seu próprio peso, sem necessidade de vibração e adensamento, e, sem apresentar segregação. Devido a elevada fluidez desse concreto, faz-se necessário um adequado controle da viscosidade, e, o metacaulim, adição mineral aluminossilicosa, é uma excelente opção para esse fim. Nesse contexto, o presente artigo analisa a substituição parcial do cimento por metacaulim nas propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade do CAA. Foram executados quatro traços: um traço referência sem adição mineral e outros três com substituição parcial do cimento, em 10%, 15% e 20%, por metacaulim. Os concretos foram testados quanto à autoadensabilidade através dos ensaios: slump flow test, slump flow T500 test, anel "J" e v-funnel test. Já no estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão aos 28 e 365 dias, e, avaliação da durabilidade através de ensaio de difusão de íons cloreto pelo método LNEC E-463, com a finalidade de verificar a qualidade e, consequentemente, a capacidade de proteção à ocorrência de corrosão dos concretos em estudo. O metacaulim proporcionou um melhor comportamento reológico do CAA, como, por exemplo, redução do consumo de cimento, proporcionando menores tempos de escoamento, melhor habilidade passante sem apresentar exsudação ou segregação da mistura. A adição mineral ainda proporcionou níveis mais elevados de resistência à compressão, além de melhorar a durabilidade dos concretos sob o ponto de vista dos ensaios de difusão de íons cloreto.

Palavras-chave: CAA. Metacaulim. Reologia. Propriedades mecânicas. Difusão de íons cloreto.

Abstract: O Self Compacting Concrete (SCC) is a category of high-performance concrete that has flowability through its own weight, without need for vibration and densification, and without segregation. Due to the high fluidity of this concrete, an adequate control of the viscosity is necessary, and the metakaolin, an aluminosilicate mineral addition, is an excellent option for this purpose. In this context, the present article analyzes the partial replacement of cement by metakaolin in the rheological, mechanical and durability

properties of SCC. Four mix proportions were performed: one reference mix without mineral addition and another three with partial cement substitution, by 10%, 15% and 20%, by metakaolin. The concretes were tested for self-compacting through the tests: slump flow test, slump flow T500 test, ring "J" and v-funnel test. In the hardened state, compressive strength tests were performed at 28 and 365 days, and evaluation of the durability through the diffusion test of chloride ions using the method LNEC E-463, with the purpose of verifying the quality and, consequently, the ability to protect against the occurrence of corrosion of the concretes under study. The metakaolin provided a better rheological behavior of the SCC, such as reduction of cement consumption, resulting in shorter flow times, better throughput without exuding or segregation of the mixture. The mineral addition still provided higher levels of compressive strength, in addition to improving the durability of the concretes from the point of view of chloride ion diffusion tests.

Keywords: SCC. Metakaolin. Rheology. Mechanical properties. Diffusion of chloride ions.

1. Introdução

O concreto autoadensável (CAA) é definido como um concreto fluido que pode ser moldado *in loco* sem vibração para formar um produto livre de vazios e falhas e que apresente também, capacidade de fluxo através do seu peso próprio atingindo a compactação mesmo em estruturas densamente armadas e sem apresentar qualquer segregação (SIDDIQUE, 2011). O concreto resultante é denso, homogêneo e com as mesmas propriedades de resistência e de maior durabilidade em relação aos concretos convencionais (CCV) compactados (EFNARC, 2005). Dessa forma o CAA corrobora a ideia de produzir elementos de concretos de maior durabilidade, visto que, nos últimos anos, a deterioração das estruturas de concreto tem ocorrido de forma precoce (MALHEIRO *et al*, 2014, NICOLAS *et al*, 2014 e RIBEIRO *et al*, 2014).

Para alcançar as características próprias do CAA, as misturas possuem menor volume e menor dimensão máxima característica dos agregados graúdos, comparados aos usados no CCV, e utilizam também aditivos superplastificantes tornando indispensável o controle adequado da viscosidade, a fim de evitar a tendência de segregação, para isso, utiliza-se adições minerais tipo fíler e/ou modificadores de viscosidade, sendo esse último desvantajoso em relação ao anterior, pois, materiais finos podem garantir propriedades necessárias para concreto de boa qualidade, sem onerar o custo final do mesmo (GOMES *et al*, 2008; SIDDIQUE, 2011 e MEDEIROS *et al*, 2016).

Os finos atuam como pontos de nucleação, ou seja, quebram a inércia do sistema, fazendo com que as partículas de cimento reajam mais rapidamente com a água. Obtém-se, assim, ganhos de resistência nas primeiras idades da mesma forma que, ao aumentar o pacote de partículas finas, cresce a compacidade da pasta, reduzindo a permeabilidade e dificultando a penetração de agentes externos agressivos, melhorando a zona de transição, e, consequentemente mostrando, em estudos laboratoriais e de campo, melhoria considerável na durabilidade química do concreto (NICOLAS *et al*, 2014, TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008 e MEHTA & MONTEIRO, 2014).

As adições minerais podem ser classificadas como inertes (promovem uma ação física por meio da maior compacidade) ou reativas (contribuem para a formação dos hidratos). O

ISBN: 978-85-65425-32-2

efeito físico pode ser dividido em três ações principais: o efeito fíler, aumento da densidade da mistura; o refinamento dos poros, devido à possível geração de pontos de nucleação para os produtos de hidratação do cimento; e, a alteração da microestrutura da zona de transição, reduzindo ou eliminando o acúmulo de água livre que, normalmente, fica retido sob os agregados (TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008 e BORJA, 2011).

As adições quimicamente ativas (reativas) podem ser tanto material pozolânico ou cimentante. O primeiro é definido como material que reage quimicamente com o hidróxido de cálcio (CH), composto frágil e solúvel que se forma na hidratação do Cimento Portland à temperatura ambiente. Dele deriva-se um composto resistente, o C-S-H (hidrossilicato de cálcio), que ocupa os vazios de maiores dimensões existentes na pasta de cimento ou na zona de transição, aumentando o desempenho mecânico e a durabilidade do concreto. Adições pozolânicas ultra-finas, como sílica ativa, metacaulim e cinza da biomassa da cana-de-açúcar, mostram-se mais efetivas no aumento da coesão do CAA, bem como no aumento da resistência à compressão e da durabilidade (TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008, BORJA, 2011 e ANJOS *et al*, 2015).

O metacaulim, obtido através do processo de queima controlada de argila caulinítica, de alta pureza, composto de sílica e alumina no estado amorfo, possui alta reatividade quando em contato com o CH, formando C-S-H e hidroaluminosilicato de cálcio (C-A-S-H), reduzindo a porosidade e o teor de CH na matriz do cimento, influenciando na qualidade da zona de transição agregado-matriz. (BORJA, 2011).

Atualmente, a tendência de utilização do CAA é bem extensa, e um dos campos de utilização deste é em ambientes de alta agressividade. Além disso, é bastante difundido que a corrosão das armaduras embutidas no concreto pode ocorrer devido ao ataque de íons cloreto, que é um dos problemas de durabilidade mais significativos em concreto submetido a estes ambientes (WONGKEO *et al*, 2014).

A ação dos íons cloreto provoca destruição localizada da camada passiva que protege o aço e, a partir disso, a corrosão desenvolve-se de forma profunda e localizada. Já o dióxido de carbono reage com a matriz de cimento hidratada conduzindo a uma diminuição do pH e, consequentemente, à despassivação da armadura, fazendo com que o processo de corrosão ocorra de forma generalizada e mais lenta do que quando provocado por íons cloreto (MALHEIRO *et al*, 2014).

Materiais cimentícios suplementares, tais como cinzas volantes, metacaulim e sílica ativa tem significativa contribuição sobre a capacidade de o concreto resistir à penetração de íons cloreto, devido à capacidade desses materiais se ligarem aos cloretos (WONGKEO *et al*, 2014).

O processo de ligação de íons cloreto pode ser classificado em duas categorias: ligação química e física. Os íons cloreto, quando ligados, formam ligações químicas fortes. Esses podem reagir quimicamente com o aluminato tricálcico (C_3A) para formar aluminatos de cloro ($3CaO.Al_2O_3.CaCl_2.10H_2O$: Sal de Friedel) (RICHARDSON, 2002 e NEVILLE, 1997). Além disso, os íons cloreto podem ser fisicamente adsorvidos pela superfície das fases sólidas de produtos hidratados como gel C-S-H e outros produtos das reações (THOMAS *et al*, 2012 e FLOREA & BROUWERS, 2012).

ISBN: 978-85-65425-32-2

O grande interesse no conhecimento do teor de cloretos que tenham penetrado no concreto é devido ao fato de que a corrosão das armaduras em concreto inicia quando o conteúdo de cloreto em contato com o aço excede um valor de limiar. Assim, têm sido desenvolvidos vários métodos para medir o coeficiente de difusão de Cl em concreto (ANDRADE, 1993).

Desse modo, o ensaio de difusão de íons cloreto, desenvolvido a partir do método LNEC-E463 (2004), possui como finalidade analisar a propensão que os concretos terão frente ao ataque desses íons.

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

Os concretos foram produzidos com cimento Portland CP II F-32 (cim); metacaulim (met); agregado miúdo e graúdo com as respectivas dimensões máximas de 2,36 mm e 6,30 mm; aditivo superplastificante (SP) à base de policarboxilato e água fornecida pela distribuidora local. A adição mineral utilizada foi o metacaulim BZ, produzido em Ipojuca/PE, gentilmente cedido pela empresa Sibelco e já utilizado em concreteiras da região metropolitana de Natal/RN.

2.2 Composições e moldagem

Para o alcance dos objetivos deste trabalho foram desenvolvidas três etapas de estudos experimentais. A primeira envolveu a seleção dos materiais constituintes das misturas, a segunda, a elaboração da proporção dos materiais para composição dos CAA's e, por fim, a produção do traço referência e dos outros três CAA's com diferentes porcentagens de metacaulim.

A metodologia usada para elaboração da dosagem inicial para o CAA foi baseada no método ACI/ABCP (*American Concrete Institute*/Associação Brasileira de Cimento Portland), descrito por Mehta & Monteiro (2014), com os seguintes ajustes: aumento do teor de argamassa e diminuição do fator a/ms (água/materiais secos). As dosagens estudadas tiveram variações, em termos percentuais, na quantidade de metacaulim utilizada, presente nas misturas em massa, mantendo-se constante a quantidade de areia, de agregado graúdo e a relação a/ms.

Dentro dessa linha de pesquisa e após confirmação da quantidade ideal de aditivo necessária, elaboraram-se os quatro traços em estudo com especial atenção a adição mineral, em substituição parcial do cimento. Na Tabela 1, é possível verificar os traços de partida com as devidas substituições e na Tabela 2 apresenta-se os traços unitários e o respectivo consumo por metro cúbico de concreto, sendo perceptível a diminuição do consumo de cimento.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 1 – Composições de partida, em unidade de massa, com as devidas substituições

COMPOSIÇÕES	CIM.	MET.	AREIA*	BRITA*	ÁGUA*	SP*
PADRÃO S/ADIÇÃO	1.00	0.00	1.82	1.51	0.45	0.013
10% MET	0.90	0.10				
15% MET	0.85	0.15				
20% MET	0.80	0.20				
* Quantidade de material calculada sobre a soma dos aglomerantes (cimento mais metacaulim).						

Fonte – O autor, 2017.

Tabela 2 – Traços unitários em unidade de massa (TUM) e os respectivos consumos de materiais por metro cúbico de concreto.

Materiais	Traço padrão		Traços com metacaulim					
	s/ adição		10% MET		15% MET		20% MET	
	TUM	Kg/m³	TUM	Kg/m³	TUM	Kg/m³	TUM	Kg/m³
CIM.	1.00	480.98	1.00	432.11	1.00	407.74	1.00	383.41
MET	0.00	0.00	0.11	48.01	0.18	71.95	0.25	95.85
AREIA	1.82	875.39	2.02	873.82	2.14	873.04	2.28	872.27
BRITA	1.51	726.28	1.68	724.99	1.78	724.34	1.89	723.69
a/cim.	0.45	216.44	0.50	216.06	0.53	215.86	0.56	215.67
SP*/aglom **	0.13	6.253	0.013	6.241	0.013	6.236	0.013	6.230
* SP = superplastificante; ** aglom. (Aglomerantes) = cimento + metacaulim.								

Fonte – O autor, 2017.

Os concretos foram produzidos em betoneiras com capacidade de 150 litros de eixo inclinado. A ordem de colocação de material foi a seguinte: brita, um terço da água de amassamento, areia, ligantes, o restante da água e por fim a colocação dos aditivos. O tempo de colocação de material e mistura totalizaram 10 minutos. Na sequência, foram realizados os ensaios no estado fresco. Após a realização destes ensaios foram moldados CP's cilíndricos de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura conforme ABNT NBR 5738 (2003), porém, sem adensar por ser CAA. Os concretos foram colocados em cura úmida por imersão a uma temperatura de 23± 2 ºC até a idade de realização dos testes.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.3 Ensaios realizados nos concretos

2.3.1 – Propriedades no estado fresco

Foram realizados ensaios para avaliar a autoadensabilidade das composições, a saber: slump flow test, slump flow T500 test, anel "J" e V-funnel test seguindo as recomendações da EFNARC (2005), ABNT NBR 15823-2 (2010), ABNT NBR 15823-3 (2010) e ABNT NBR 15823-5 (2010).

2.3.2 – Resistência à compressão

Para todas as composições foram realizados ensaios de compressão axial aos 28 e 365 dias de idade de acordo com a ABNT NBR 5739 (2007). Os resultados apresentados neste trabalho resultam da média aritmética de ensaios em três CP´s de cada traço em cada idade.

2.3.3 – Difusão de íons cloreto

Para A determinação da difusão de íons cloreto foi realizada de acordo com a especificação do LNEC E-463 (2004) (Figura 1). Para a realização deste ensaio foram utilizados três CP´s de cada dosagem, que foram ensaiados após os 365 dias de idade. Foram utilizados corpos de prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 50 mm de altura, proveniente do corte dos corpos de prova originais. A preparação do provetes se dá com o tratamento por vácuo e imersão em solução saturada de $Ca(OH)_2$. De acordo com a padronização, é utilizado uma solução anódica (0,3M NaOH) e outra catódica (10% NaCl) e é aplicada inicialmente uma voltagem de 30V nos provetes, se necessário faz-se uma correção da voltagem regida em norma, determinando-se também a duração do ensaio. Com o indicativo de solução de nitrato de prata (0,1M $AgNO_3$) é possível observar, por processo colorimétrico, a frente de penetração dos íons cloreto através da precipitação de cloreto de prata (AgCl) sobre a região afetada. Esta atividade permite determinar o coeficiente de difusão de cloretos por meio da migração de íons em regime não estacionário, através da Equação 1.

$$D = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t}\left(x_d - 0.0238\sqrt{\frac{(273+T)Lx_d}{U-2}}\right) \qquad \text{Equação (1)}$$

onde,

D = coeficiente de difusão no estado não estacionário, x 10^{-12} m^2/s

U = valor absoluto da voltagem aplicada,V

T = valor médio das temperaturas inicial e final no anólito, ºC

L = espessura do provete, mm

X_d = valor médio da profundidade de penetração, mm

t = duração do ensaio, horas

ISBN: 978-85-65425-32-2

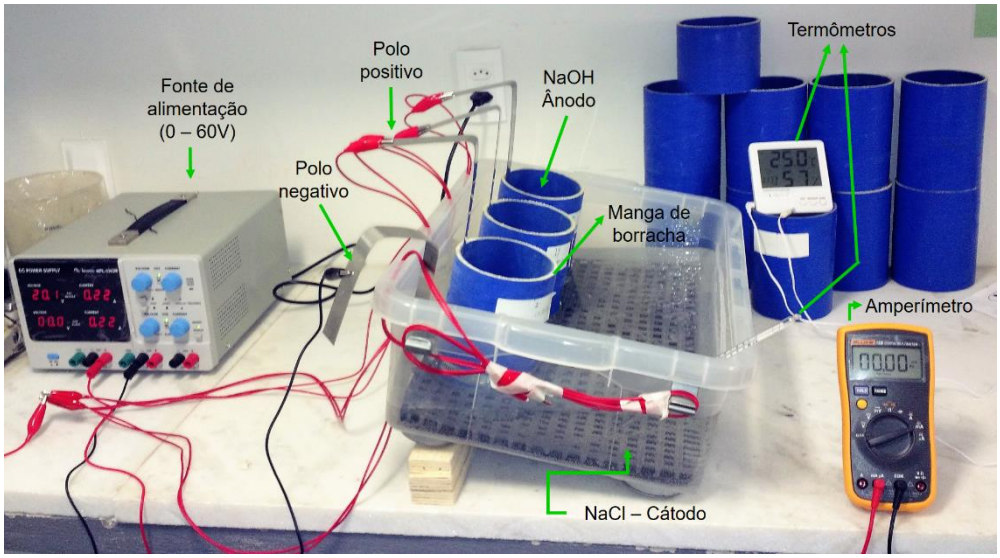


Figura 1 – Ilustração do ensaio de difusão de cloretos

Fonte – O autor, 2016.

3. Resultados

3.1 Caracterização dos materiais de partida

A partir da seleção e aquisição dos materiais em quantidades suficientes e necessárias para a realização do estudo, os mesmos foram caracterizados. Para tanto foram realizados ensaios de caracterização físico-química para o cimento e o metacaulim, análise granulométrica dos agregados, bem como suas massas específicas e massas unitárias.

3.1.1 – Cimento

Na Tabela 3 apresentam-se as propriedades físicas do cimento CP-II F 32 determinadas no Laboratório de Construção Civil (LCC) do IFRN, necessárias para cálculos de dosagem. A escolha desse tipo de cimento se deu por este não conter pozolana em sua composição, de modo a evitar a influência do cimento na análise dos concretos em estudo.

Tabela 3 – Propriedades físicas do cimento Portland CP-II F 32

Propriedades físicas	Valores	Unidades	Norma
Massa Específica	2.94	g/cm³	NBR NM 23 (2001)
Massa Unitária no Estado Solto	0.98	g/cm³	-

Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.1.2 – Metacaulim

A pozolana sílicoaluminosa, denominada metacaulim, é uma adição originada normalmente pela calcinação de alguns tipos de argilas, como as argilas cauliníticas e os caulins a temperaturas que variam entre 600°C e 900°C (SOUZA, 2003).

A utilização de metacaulim, como adição pozolânica em argamassa e concretos, tem sido alvo de um interesse considerável nos últimos anos. Grande parte deste interesse é justificado pelo fato de o metacaulim conseguir remover o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, o qual está associado a uma fraca durabilidade. A sílica e alumina presentes no metacaulim numa forma ativa irão reagir com o hidróxido de cálcio na presença de água, promovendo assim a sua remoção e respectiva melhoria da durabilidade (CAMPOS, 2012).

Na Tabela 4 apresentam-se as propriedades físicas do metacaulim determinadas no LCC do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

Tabela 4 – Propriedades físicas do metacaulim

Propriedades Físicas		
Resíduo na peneira #200 (%)	2.13	NBR 12653 (1992)
Perda ao fogo (%)	0.90	NBR 12653 (1992)
Massa Específica (g/cm³)	2.56	NBR NM 23 (2001)
Área Específica (m²/g)	18.8	Método de BET

Fonte – O autor, 2017.

Os principais compostos químicos em forma de óxidos foram obtidos por ensaio de espectrometria por fluorescência de raios X, determinadas no Laboratório de Processamento Mineral de Resíduos (LPMR) do IFRN, conforme dados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição química do metacaulim

Análise Química	
Óxidos	**(%)**
SiO_2	52.94
Al_2O_3	32.83
Fe_2O_3	6.92
TiO_2	3.57
K_2O	1.64
SO_3	0.88

Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O somatório dos teores de SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 correspondeu a 92,69%, superando o limite mínimo de 70% especificado pela norma NBR 12653 (1992) para pozolanas do tipo do metacaulim. O resultado da perda ao fogo de 0,9% foi inferior ao valor máximo exigido pela referida norma, que é de 10%, para pozolanas.

3.1.3 – Agregado miúdo - areia quartzosa

O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural quartzosa oriunda do distrito de Pium (Parnamirim/RN), a fim de realizar os corretos cálculos de traço, optou-se por determinar, em laboratório, a massa unitária e específica da areia, como pode ser vista na Tabela 6 que apresenta as propriedades físicas da areia, determinadas em conformidade com a norma NBR NM 52 (2003).

Tabela 6 – Propriedades físicas do agregado miúdo (areia)

Propriedades	Areia	Norma
Massa Unitária	1531.65 (kg/m³)	NBR NM 52 (2003)
Massa Específica	2645.50 (kg/m³)	NBR NM 52 (2003)

Fonte – O autor, 2017.

Já na Tabela 7 apresenta-se a composição granulométrica do agregado miúdo e a sua devida classificação de acordo com a ABNT NBR 7211 (2005).

Tabela 7 – Análise granulométrica do agregado miúdo (NBR NM 248, 2003)

Abertura da peneira	AREIA		
	Material Retido (g)	% Ret. Acumulada	ZONA UTILIZÁVEL (NBR 7211, 2005)
6.30 mm	0.0	0.00	0 – 7
4.75 mm	8.0	1.14	0 – 10
2.36 mm	23.0	4.43	0 – 25
1.18 mm	75.0	15.14	5 – 50
0.60 mm	178.0	40.57	15 – 70
0.30 mm	259.0	77.57	50 – 95
0.15 mm	157.0	100.00	85 – 100
Total	700.0	-	-
Dimensão máxima característica		2.36 mm	
Módulo de Finura		2.39	

Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

A partir dos dados obtidos na tabela anterior foi possível traçar o gráfico de distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado para a produção dos concretos em estudo, por fim, no mesmo gráfico é possível averiguar a informação supracitada acerca da classificação deste agregado de acordo com a ABNT NBR 7211 (2005) que rege as características exigíveis para os agregados utilizados na produção de concretos, como pode ser visto na Figura 2.

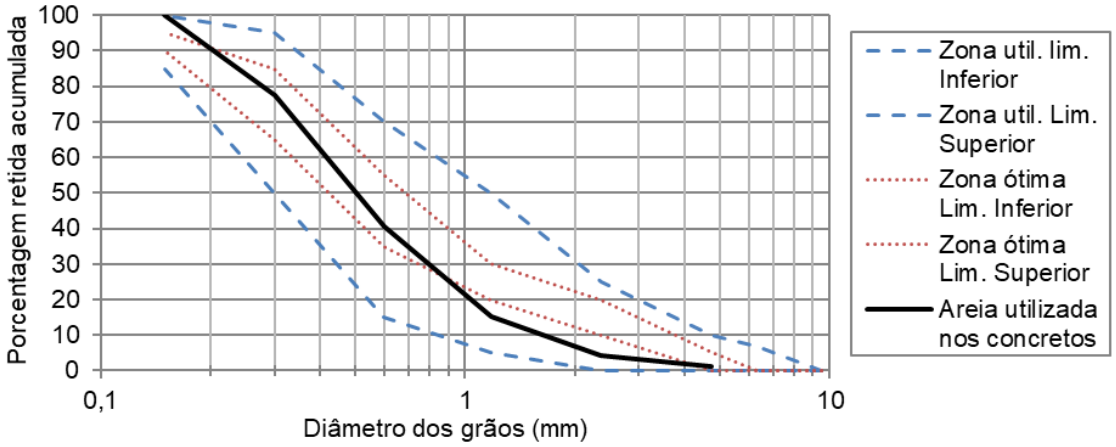


Figura 2 – Gráfico de distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Fonte – O autor, 2017.

3.1.3 – Agregado miúdo - areia quartzosa

Na Tabela 8, apresenta-se as propriedades físicas da brita, determinadas em conformidade com a norma NBR NM 52 (2003). Na Tabela 9 apresenta-se a composição granulométrica do agregado graúdo, realizada de acordo com a norma NBR NM 248 (2003).

Tabela 8 – Propriedades físicas do agregado graúdo (brita)

Propriedades	Brita	Norma
Massa Unitária	1463.6 (kg/m³)	NBR NM 52 (2003)
Massa Específica	2512.57 (kg/m³)	NBR NM 52 (2003)

Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 9 – Análise granulométrica do agregado graúdo (NBR NM 248, 2003)

Abertura da peneira	BRITA	
	Material Retido (g)	% Ret. Acumulada
9.50 mm	0.00	0
4.75 mm	942.01	94.20
2.36 mm	57.10	99.91
1.18 mm	0.22	99.93
0.60 mm	0.15	99.95
0.30 mm	0.12	99.96
0.15 mm	0.40	100
Total	1000	-
Dimensão máxima característica		6.30 mm
Módulo de Finura		6.94

Fonte – O autor, 2017.

A partir dos dados obtidos na tabela anterior foi possível traçar o gráfico de distribuição granulométrica do agregado graúdo utilizado para a produção dos concretos em estudo e classificar de acordo ABNT NBR 7211 (2005), como pode ser visto na Figura 3 a brita utilizada é um pouco abaixo do limite 4,75/12,5 da referida norma, e, seu uso é justificado pelo concreto em estudo ser autoadensável que tem grande predisposição à segregar, daí ser indicado utilizar um agregado graúdo com dimensões menores do que as utilizadas convencionalmente.

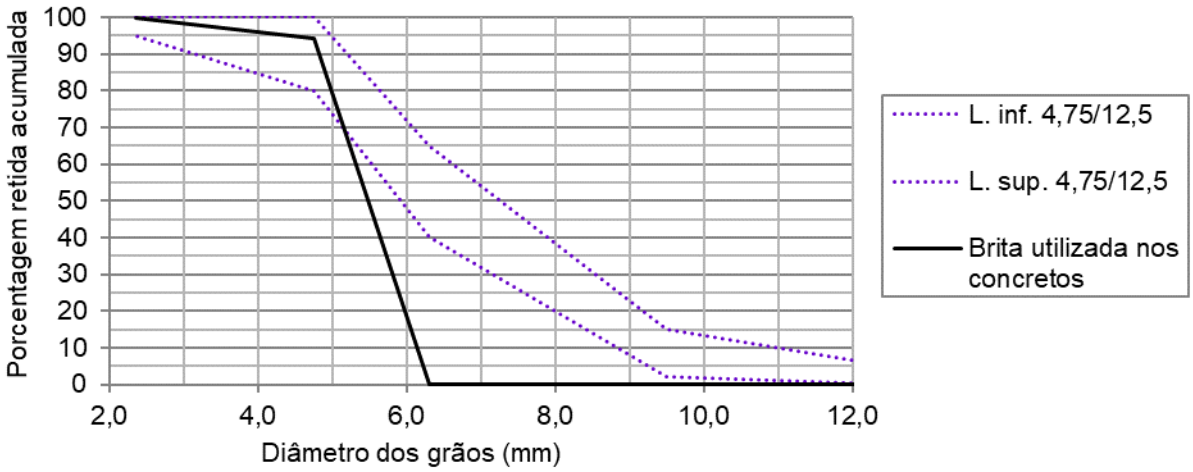


Figura 3 – Gráfico de distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2 Propriedades do concreto no estado fresco

Os ensaios realizados para caracterização do CAA diferenciam-se do concreto convencional apenas quando no estado fresco, que determinam de forma direta e indireta os parâmetros reológicos fundamentais do concreto. As propriedades que determinam este comportamento do concreto no estado fluido são a fluidez, habilidade passante, segregação e coesão e massa específica. Para verificação de tais propriedades foram executados os seguintes ensaios: slump flow test, slump flow T500 test, anel "J", v-funnel test, os resultados são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Propriedades dos concretos no estado fresco

TRAÇOS	ENSAIOS			
	***slump flow test* (mm)**	***slump flow test* T_{500} (s)**	***Anel "J"* (mm)**	***V-funnel test* (s)**
S/ ADIÇÃO	67.75	2.55	5.00	6.43
10% MET	63.25	2.59	6.25	5.47
15% MET	64.75	3.84	5.00	4.68
20% MET	53.25	3.97	11.25	5.22

Fonte – O autor, 2017.

3.2.1 – *Slump flow test*

O valor de espalhamento, medido através do ensaio slump flow, de acordo com a ABNT NBR 15823-1 (2010), é especificado para todos os CAA's como um ensaio primário, esboçando indicações da fluidez do CAA e de sua habilidade de preenchimento das formas em fluxo livre (ausência de obstruções).

O CAA sem adição é classificado na classe de fluidez SF2, já os CAA's com adição de metacaulim são classificados na classe de fluidez SF1 de acordo com a EFNARC (2005) e NBR 15823-1 (2010). Essa classificação indica que o CAA sem adição é indicado para a maioria das aplicações correntes, quais sejam paredes, vigas, pilares e/ou estruturas com alta densidade de armadura, já os outros traços são mais indicados para peças com baixa taxa de armação. Porém, todos os traços são classificados na categoria de concreto autoadensável.

A diminuição da fluidez com o acréscimo de metacaulim é normal devido a adição ser um material bastante fino com alto poder de retenção de água, apesar dessa diminuição da fluidez foi perceptível a melhora na coesão da mistura.

Ainda, segundo Tutikian e Dal Molin (2008) o CAA ideal deve apresentar uma medida de slump flow entre 60 e 75 cm. Nesta classificação apenas o traço com 20% de metacaulim não obedece esse critério, sendo necessário realização de um ajuste. Na Figura 4 está explicitado os resultados obtidos nesse ensaio e a execução do ensaio nos concretos em estudo e na Figura 5 está o aspecto visual do ensaio slump flow test dos traços em estudo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

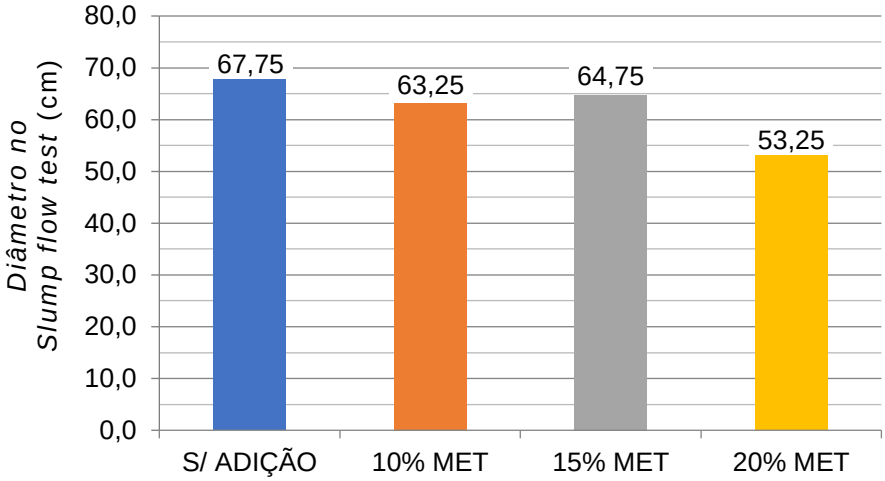


Figura 4 – Resultados apresentados do espalhamento de acordo com o *Slump flow test*
Fonte – O autor, 2017.

S/ ADIÇÃO 10% MET 15% MET 20% MET

Figura 5 – Aspecto visual do ensaio *slump flow test* dos traços em estudo.
Fonte – O autor, 2016.

3.2.2 – *Slump flow* T500 *test*

Este ensaio tem como principal finalidade verificar a viscosidade plástica aparente do concreto, propriedade que está relacionada com a consistência da mistura (coesão) e que influencia na resistência (comportamento) do concreto ao escoamento. Quanto maior a viscosidade do concreto, maior a sua resistência ao escoamento (ABNT NBR 15823-1, 2010).

Estudos corroboram a ideia de que se o tempo de espalhamento for baixo indica que o concreto está muito fluido e se o tempo for alto indica que o concreto está muito coeso e o intervalo de tempo ideal está entre três e sete segundos (TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008). A ABNT NBR 15823-1 (2010) classifica o CAA, de acordo com esse ensaio, em VS1 e VS2, sendo a primeira classificação com tempo inferior ou igual a dois segundos e a segunda com um tempo superior a dois segundos. De acordo com a Figura 6, é possível perceber que todos os concretos estão dentro da norma, sendo todos classificados como VS2 e quanto menor a quantidade de adição, menor também é o tempo de espalhamento. Não

ISBN: 978-85-65425-32-2

necessariamente ter o menor tempo de espalhamento indica ter uma melhor fluidez e coesão, confirmando isso, na imagem anterior (Figura 5) é possível perceber que o concreto sem adição apresentou um leve acumúlo de agregado miúdo na parte central da circunferência formada após a realização do ensaio de slump flow.

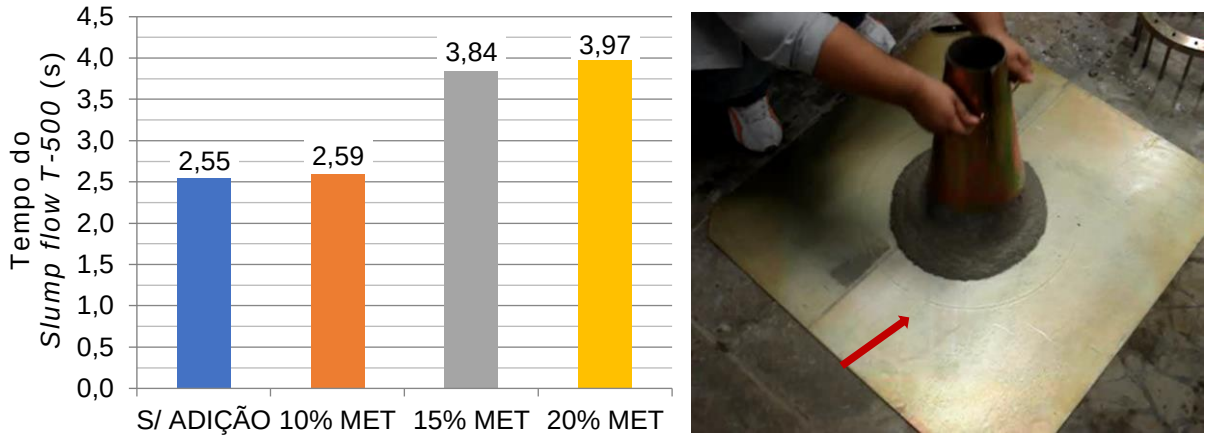


Figura 6 – Variação da viscosidade plástica aparente t_{500} (sob fluxo livre) dos diferentes traços de CAA e execução do ensaio, *Slump flow* T500 *test*, no traço de 20% de metacaulim.

Fonte – O autor, 2017.

3.2.3 – Teste Anel "J"

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008) a diferença entre as alturas deve estar entre zero e 10 mm, apenas o traço com adição de 20% de metacaulim não está dentro do intervalo ideal indicado pelos autores supracitados, sendo assim, é perceptível que este traço necessita de ajustes para sua utilização no ambiente fabril, visto que ele apresentou um índice de bloqueio superior ao normalmente utilizado, o que indica que o concreto tem grandes chances de segregar. Na Figura 7 está representado os valores da variação de altura a partir do anel "J" e também a execução do teste Anel "J".

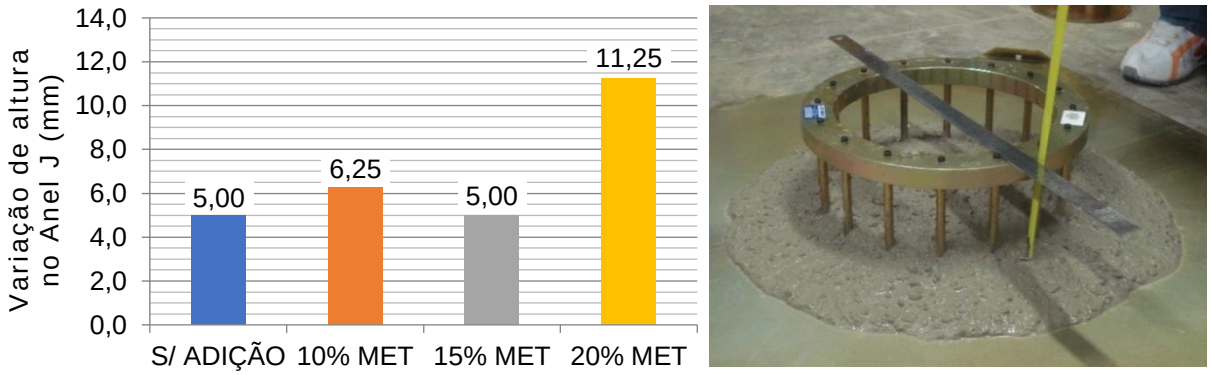


Figura 7 – Variação de segregação dos diferentes traços de CAA e a execução do ensaio Anel J no traço com 20% de metacaulim.

Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2.4 – *V-funnel test*

De acordo com a norma brasileira que rege este tipo particular de concreto (NBR 15823-1, 2010), os valores aceitáveis de viscosidade plástica aparente pelo *V-funnel test*, sob fluxo confinado, estão abaixo de 25 segundos, sendo classificados como VF1 os que apresentam tempo de escoamento abaixo de nove segundos e como VF2 os que apresentam este tempo entre nove e vinte e cinco segundos.

Dessa forma, como mostra a Figura 8, os concretos em estudo estão em total conformidade com a norma regulamentadora que os rege, todos pertencentes a classe de concretos do tipo VF1 e além disso todos apresentaram valores aproximados de índice de fluidez confinado quando comparados entre si.

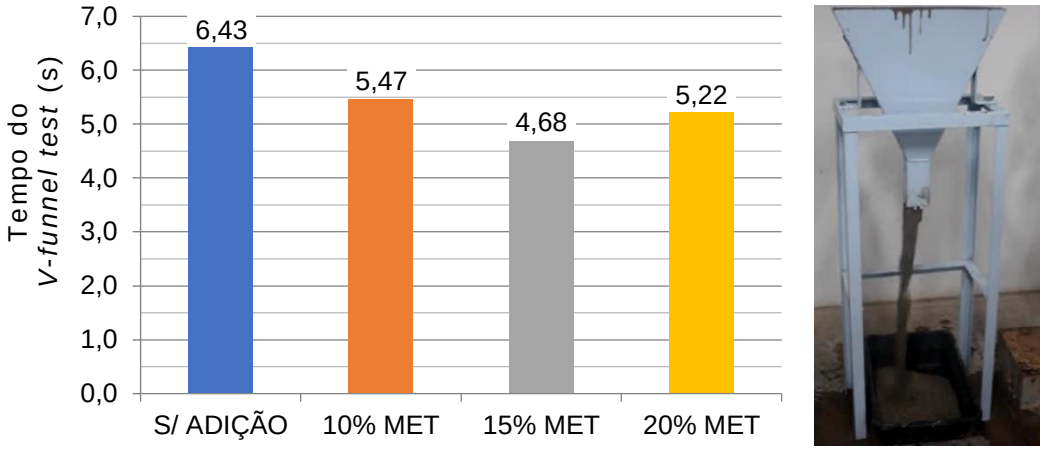


Figura 8 – Variação da viscosidade plástica aparente em fluxo confinado pelo *V-funnel test* dos diferentes traços de CAA e execução do ensaio *V-funnel test* no traço com 15% de metacaulim.

Fonte – O autor, 2017.

3.3 Resistência à compressão

A Figura 9 apresenta as resistências dos concretos aos 28 e 365 dias, fator este, importante para a análise da durabilidade de concretos, pois deve-se considerar a agressividade forte para a região segundo a ABNT NBR 6118 (2014) e o consumo de cimento de cada composição.

ISBN: 978-85-65425-32-2

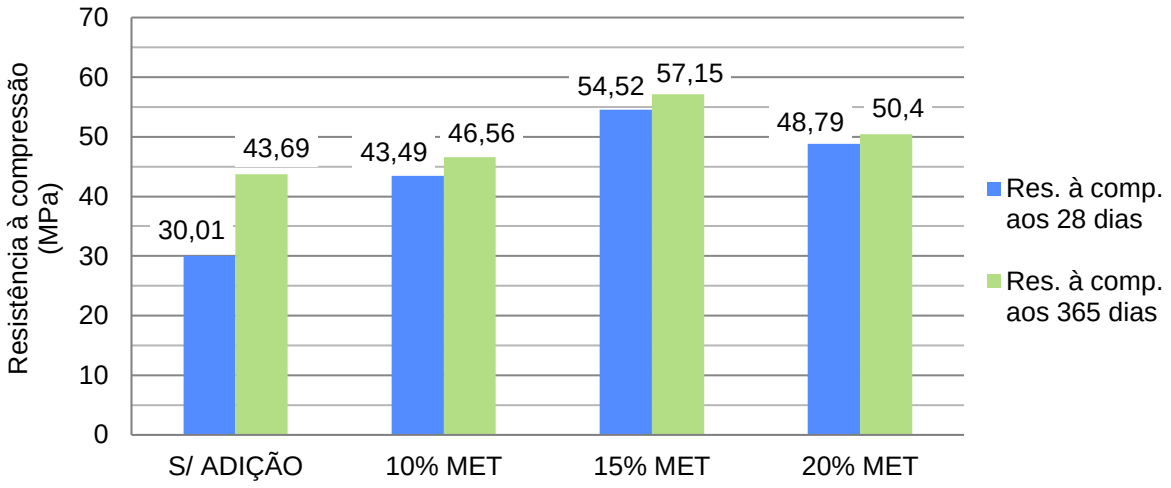


Figura 9 – Resistência à compressão.
Fonte – O autor, 2017.

Constata-se a influência do fator de empacotamento causado pela maior finura dos ligantes através da substituição parcial do cimento por metacaulim. Os CAA's com 15% de metacaulim e 20% de metacaulim em estudo apresentaram maior resistência. Esse aumento de resistência justifica-se pelo metacaulim apresentar atividade pozolânica, o que imputa em melhores resistências mecânicas.

3.3 Difusão de íons cloreto

O coeficiente de difusão de íons cloreto em regime não estacionário é apresentado na Figura 10 e Tabela 11. Percebe-se que mesmo possuindo menor consumo de cimento as dosagens de CAA com metacaulim apresentaram uma penetração menor, principalmente o traço com 15% e 20% de metacaulim, uma vez que a presença do metacaulim promoveu melhor empacotamento da mistura contribuindo para um refinamento de poros da pasta de cimento endurecida do concreto.

Além disso, o alto teor de alumina (Al2O3) presente na composição de metacaulim, aumenta a fixação dos cloretos no concreto, através da formação do cloroaluminato de cálcio, conhecido como sal de Friedel. Dessa forma, o metacaulim possibilitou a diminuição da quantidade de cloretos livres que penetraram através do concreto corroborando com o que foi apresentado por Medeiros (2016).

ISBN: 978-85-65425-32-2

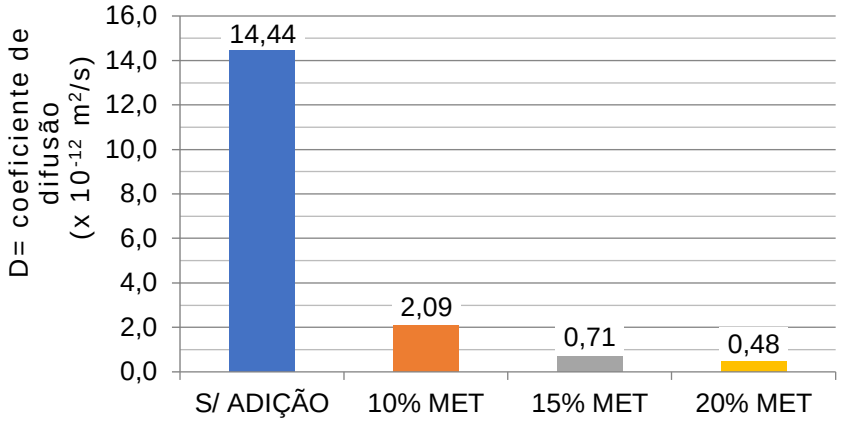


Figura 10 – Determinação do coeficiente de difusão de íons cloreto aos 365 dias.
Fonte – O autor, 2017.

A Tabela 11 apresenta as profundidades de penetração dos íons cloreto dos concretos juntamente com o respectivo coeficiente de difusão no estado não estacionário, medidos de acordo com a LNEC E-463 (2004).

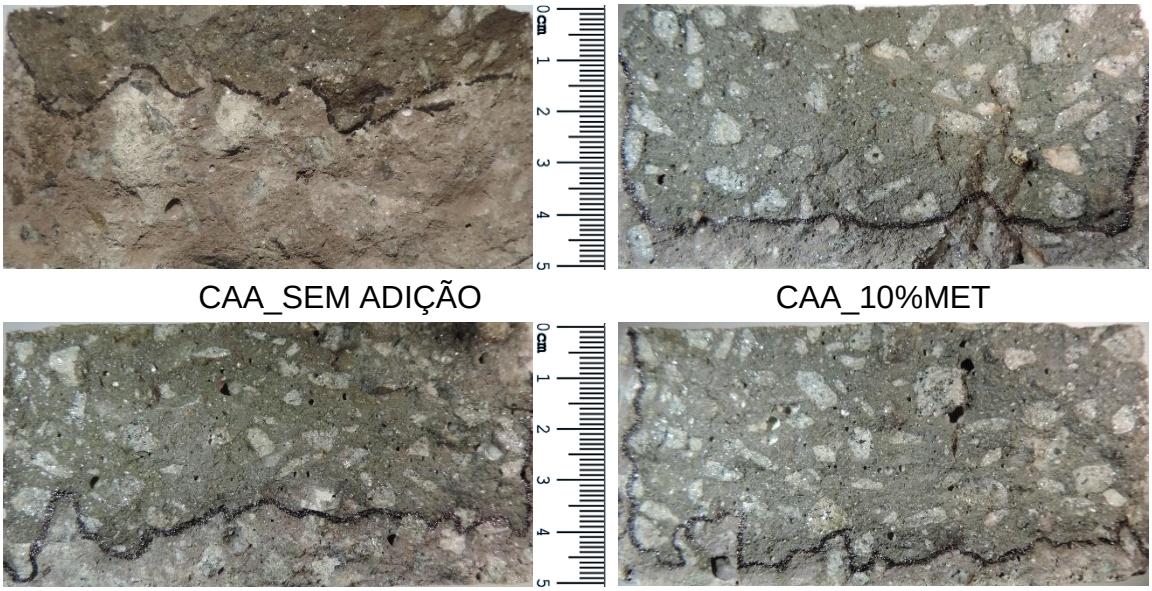
Tabela 11 – Frente de penetração dos íons cloreto e coeficiente de difusão

IDENTIFICAÇÃO	Frente de penetração média (mm)	Coeficiente de difusão (10^{-12} m^2/s)
S/ ADIÇÃO	30.27	14.44
10% MET	9.37	2.09
15% MET	12.29	0.71
20% MET	8.70	0.48

Fonte – O autor, 2017.

Através da análise visual da penetração de íons nos provetes na Figura 11 e relacionando-a com os resultados numéricos representados graficamente na Figura 10 evidencia-se a eficiência dos CAA's com metacaulim perante ao concreto sem adição mineral. A região clarificada é a área afetada pela difusão dos íons cloreto, a coloração é resultado da precipitação do cloreto de prata após a reação dos íons cloreto com o nitrato de prata.

ISBN: 978-85-65425-32-2



CAA_SEM ADIÇÃO CAA_10%MET

CAA_15% MET CAA_20% MET

Figura 11 – Provetes submetidos ao ensaio de difusão de íons cloreto pelo método LNEC E-463 (2004) e, posteriormente, ao indicativo de nitrato de prata.

Fonte – O autor, 2016.

4. Conclusões

Através deste estudo pode-se concluir:

- O comportamento dos concretos no estado fluido indica que todos os traços atendem aos requisitos prescritos na norma ABNT NBR 15823 (2010) para o CAA.
- As substituições parciais do cimento por metacaulim em teores de 10%, 15% e 20%, no CAA, são viáveis do ponto de vista econômico por reduzir o consumo de cimento sem prejudicar a resistência à compressão, e do ponto de vista técnico por melhorar as características do compósito, inclusive reduzindo a exsudação e segregação.
- É possível a composição de CAA's com resultados positivos de durabilidade frente à penetração de íons cloreto, reduzindo até 20% o consumo de cimento com o auxílio do metacaulim e possuindo melhores resistências à compressão.
- O CAA com 20% metacaulim quando comparado ao CAA referência proporcionou resultados superiores para durabilidade frente à penetração de íons cloreto e resistência a compressão. Porém quanto aos critérios no estado fluido, esse concreto apresentou certa resistência ao espalhamento sendo necessário um maior teor de aditivo.
- Desse modo, o traço com 15% de metacaulim, que também apresentou um índice de difusão bastante baixo, assim como o traço com 20% de metacaulim, e apresentou resultados nos ensaios plásticos bem mais significativos é, portanto, considerado o teor ótimo de substituição do cimento por metacaulim nos concretos autoadensáveis estudados.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Referências Bibliográficas

ANDRADE, C. Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements. Cement and Concrete research, v. 23, 1993, p. 724-742.

ANJOS, M.; FARIAS, E.; ARAÚJO, T.; SIQUEIRA, A.; ALMEIDA DE SÁ, M.; NÓBREGA, A. Estudo comparativo da durabilidade de concretos convencionais e autoadensáveis utilizados em postes de distribuição de energia. In: XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção. Lisboa, 2015. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 12653: Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto – especificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 15823-1: Concreto auto-adensável - Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15823-2: Concreto auto-adensável - Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15823-3: Concreto auto-adensável - Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15823-5: Concreto auto-adensável - Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V - Rio de Janeiro, 2010.

ISBN: 978-85-65425-32-2

BORJA, E. V. Efeito da adição de argila expandida e adições minerais na formulação de concretos leves estruturais. 2011. 231f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

CAMPOS, P. G. S. Betões eco-eficientes com elevados teores de adições Minerais. 2012. 94f. Dissertação (mestrado), Universidade do Minho, 2012.

EUROPEAN FEDERATION OF NATIONAL ASSOCIATIONS REPRESENTING PRODUCERS AND APPLICATORS OF SPECIALIST BUILDING PRODUCTS FOR CONCRETE (EFNARC). The European Guidelines for Self Compacting Concrete: Specification, Production and Use. BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO. Maio, 2005. Hampshire, UK; 2005.

FLOREA, M. V. A.; BROUWERS, H. J. H. Chloride binding related to hydration products. Cement and Concrete Research, nº42, 2012, pp. 282–290.

GOMES, P. C. C.; LISBOA, E. M.; CAVALCANTE, D. J. H.; BARROS, A. R.; BARROS, P. G. S.; LIMA, F. B.; BARBOZA, A. S. R. Concreto Auto-adensável: obtenção, propriedades e aplicações. In: IV Simpósio Internacional de Concretos Especiais, 2008, FORTALEZA. IV SINCO, 2008.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – PORTUGAL - LNEC. E-463: Betão – Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por migração em regime não estacionário, Documentação normativa, Especificação LNEC, 2004.

MALHEIRO, R.; CAMÕES, A.; FERREIRA, R. M.; MEIRA, G.; AMORIM, T.; REIS, R. Influência da carbonatação no transporte de cloretos em argamassas submetidas à ação combinada destes dois agentes. 1º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Guimarães, Portugal, 2014.

MEDEIROS, F. K. Estudo de concretos autoadensáveis com reduzidos teores de cimento e elevados teores de adições minerais. 2016.134f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MEDEIROS, F. K.; ANJOS, M.; SÁ, M.; FARIAS, E. Estudo de concretos autoadensáveis com reduzidos teores de cimento e elevados teores de adições minerais. XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Porto, Portugal, 2016. P.2 e 12.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014. 782p.

NEVILLE, A. M. Properties of concrete. 4. ed. UK: Addison Wesley Longman limited, 1997.

NICOLAS, R. S.; CYR, M.; ESCADEILLAS, G. Performance-based approach to durability of concrete containing flash-calcined metakaolin as cement replacement. Construction and Building Materials, nº 55, 2014, pp. 313–322.

ISBN: 978-85-65425-32-2

RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUSA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z.; HELENE, P. Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 272 p.

RICHARDSON, M. G. Fundamentals of durable reinforced concrete. 1. ed. USA: Spon Press, Taylor & Francis Group, 2002.

SIDDIQUE, R. Properties of self-compacting concrete containing class fly ash. Materials & Design, nº 32, 2011, pp.1501–1507.

SOUZA, P. S. L. Verificação da influência do uso de metacaulim de alta reatividade nas propriedades mecânicas do concreto de alta resistência. 2003. 203f. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia da UFRGS. Porto Alegre, 2003.

THOMAS M. D. A.; HOTTON, R. D.; SCOTT, A.; ZIBARA, H. The effect of supplementary cementitious materials on chloride binding in hardened cement paste. Cement and Concrete Research, nº 42, 2012, pp. 1–7.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. Concreto auto-adensável. 1. ed. São Paulo: PINI, 2008.

WONGKEO, W.; THONGSANITGARN, P.; NGAMJARUROJANA, A.; CHAIPANICH, A. Compressive strength and chloride resistance of self-compacting concrete containing high level fly ash and silica fume. Elsevier: Materials and Design, nº 64, 2014, pp. 261-269.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ESTUDIO DE LA PERLITA COMO ADICION Y COMO REEMPLAZO DEL CEMENTO EN EL HORMIGON

Study Of The Perlite As Adding And Replacing The Cement In Concrete

Verónica ARTIGAS[1], **Franco** CORTEZ[2], **Ángel** OSHIRO[3]

[1] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, becaria CONICET, veronicaartigas6@gmail.com

[2] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, becario CONICET, franco6cortez@gmail.com

[3] Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, Argentina, oshiroangel@gmail.com

Resumen: La perlita es una roca de origen volcánico, cuya propiedad sobresaliente es la de expandirse cuando es sometida a la acción del calor aumentando hasta veinte veces su volumen. Expandida, es utilizada principalmente en la industria de la construcción como aislante térmico y acústico. En San Antonio de los Cobres (Salta-Argentina) se sitúan numerosas canteras de extracción de perlita, la misma es sometida a un proceso mecánico para llevar la roca a un tamaño más pequeño para poder transportarlo a la planta procesadora, esto produce desechos del mineral llamados “finos de perlita”. Este trabajo abarca el estudio de hormigones convencionales con la incorporación de finos de perlita, planteando distintas dosificaciones con el fin de concluir si la perlita puede ser considerada como una adición activa (presentando efecto puzolánico) o simplemente como una adición que modifica ciertas propiedades del hormigón. Para ello, se elaboró un pastón de referencia y luego pastones en los cuales se incorporó perlita como adición(serie HP+)y como reemplazo del cemento (serie HP-). Se evaluaron las siguientes propiedades en estos hormigones:

- Consistencia (asentamiento del cono de Abrams)
- Tiempos de fragüe
- Resistencia a compresión (a 7, 28 y 90 días de edad)
- Módulo de elasticidad

Palabras clave: Hormigón, Perlita, Adición, Sustentabilidad

Keywords: Concrete, Perlite, Adition, Sustentability

1. Introduccion

La elaboración del hormigón conlleva un importante consumo de recursos naturales y de energía, además de ocasionar residuos. Dentro de los materiales constituyentes del hormigón, la elaboración del clinker de cemento Portland es la que mayor emisión de CO_2 produce, entre 730 y 990 kg de CO_2 por tonelada de material procesado, Battelle (2002). Este trabajo propone evaluar los efectos de la adición de perlita finamente molida en el hormigón, analizando la viabilidad de emplearla como reemplazo de parte del cemento,

ISBN: 978-85-65425-32-2

disminuyendo de esta forma el consumo de clinker y consecuentemente minimizando la emisión de CO_2 y produciendo un ahorro energético.

La energía que se gasta en las obras de ingeniería, tanto en la fase de construcción, como en la de operación o uso deéstas, depende en gran medida, del diseño, de la tecnología y de los materiales empleados, Astori *et al*.(2005).

Sin duda el consumo de hormigón se va incrementando año a año con los nuevos avances de la industria de la construcción. Por eso desde el punto de vista de la ciencia de los materiales es importante el desarrollo dehormigones sustentables que no sólo contemplen mantener y mejorar la calidad de éstos como material estructural sino que se lo considere un elemento sustentable deconstrucción, Raggiotti (2015).

1.1 La perlita

Geológicamente el “Mineral de Perlita” es una roca industrial de origen volcánico, con la propiedad saliente de tener del 2 al 7 % de agua en estado de adsorción.Al ser extraída de diferentes minas situadas en Salar de Pocitos y San Antonio de los Cobres (Salta, Argentina), se la somete a un proceso mecánico para llevar la roca a un tamaño más pequeño para poder transportarlo a la planta procesadora. Esto produce desechos del mineral llamados “finos de perlita”, Cardozo *et al*. (2015).

2. Materiales y programa experimental

Se empleó cemento portland fillerizado (CPF 40, densidad 3.09), perlita finamente molida (partículas menores a 0.075 mm, densidad 2.64; la Tabla 1 muestra su composición química), arena silícea natural (densidad 2.65, módulo de finura 2.23), canto rodado (densidad 2.65, módulo de finura 5.97, TMAG 19 mm) y aditivo superfluidificante a base de policarboxilatos (residuo sólido 35%).

Tabla 1 – Composición químicatípicade los finos de perlita

Compuesto	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	Sulfato	O_2	H_2O
%	30-36	6-8	0-1	0-1	0-1	2.5-5	2-4	exenta	44.5-47.5	3-5

Cabe destacar que los finos de perlita empleados en la elaboración de los hormigones fueron secados a 110ºC, durante 48 horas.

2.1 Asentamiento del cono de Abrams

La importancia de conocer la fluidez del hormigón radica en el hecho de que está directamente ligada a la trabajabilidad del mismo. El *American Concrete Institute* (ACI 116R-00) describe la trabajabilidad como “la propiedad del hormigón fresco que determina la facilidad con que puede ser mezclado, colocado, consolidado y terminado en una condición homogénea”.

ISBN: 978-85-65425-32-2

2.2 Tiempos de fragüe

La importancia de la medición del tiempo de fraguado radica en que es un período en el cual las reacciones químicas entre el cemento y el agua conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos, éstos en la pasta de cemento generan que ésta endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de hormigón, adquiriendo de este modo cierta resistencia, este tiempo es de suma importancia debido a que nos permite colocar y acabar el hormigón.

Generalmente, el fraguado inicial ocurre entre dos y cuatro horas después del hormigonado, y nos define el límite de manejo, o sea el tiempo durante el cual el hormigón fresco ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado. El fraguado inicial indica el momento en el que la masa ha adquirido rigidez y no puede ser vibrada sin dañar su estructura interna.

El fraguado final ocurre entre cuatro y ocho horas después del hormigonado, y está definido por el desarrollo de la resistencia, que se genera con gran velocidad. El fraguado inicial y el fraguado final se determinan por el ensayo de resistencia a la penetración, especificado en la norma IRAM 1662-1995.

2.3 Resistencia a compresión

El ensayo de compresión constituye el método preferencial para valorar las características del hormigón y su nivel de resistencia en particular. Salvo contadas excepciones, ha sido probado que las propiedades más importantes se relacionan directamente con la resistencia a compresión; además el hormigón no sólo se utiliza preponderadamente para sobrellevar esfuerzos de compresión sino que los códigos y reglamentos se basan fundamentalmente en esta propiedad; finalmente y no menos importante, representa un ensayo económico y de fácil realización.

Para el presente trabajo se moldearon probetas cilíndricas de 200 milímetros de altura y 100 milímetros de diámetro, siguiendo las especificaciones de la norma IRAM 1534-2004 y luego se las ensayaron de acuerdo a la norma IRAM 1546-2013 a las edades de 7, 28 y 90 días. Cabe destacar que conocer la resistencia del hormigón a los 90 díaspermitiría valorar el grado de puzolanidad de la adición empleada.

2.4 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez, o sea de la resistencia del hormigón a la deformación. El hormigón no es un material verdaderamente elástico, pero cuando ha endurecido por completo y se ha cargado en forma moderada tiene una curva de esfuerzo de compresión/ deformación que, en esencia, es una recta dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo.

En general, los módulos de elasticidad se determinan a partir de pruebas a la compresión de cilindros de hormigón. Para este trabajo se utilizaron probetas cilíndricas de 200 milímetros de altura y 100 milímetros de diámetro y se siguieron los pasos y procedimientos indicados en la norma IRAM 1865-2009.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3. Dosificaciones

Para verificar la influencia de la adición de perlita se planteó la elaboración de pastones de hormigón con distintas dosificaciones, partiendo de un hormigón patrón (HP0) que cuenta con las siguientes características:

- 450 kg/m^3 de cemento
- Relación agua/cemento de 0,42
- Volumen de agregados: 42% de arena y 52% de agregado grueso
- Aditivo Superfluidificante necesario para alcanzar un asentamiento de 14±1 cm

En base al patrón, se definió en primer lugar la adición de perlita finamente molida en los siguientes porcentajes: 5, 10 y 15% del peso de cemento, conformando de esta manera la serie HP+. En segundo lugar, se planteó el reemplazo del cemento por perlita en los mismos porcentajes mencionados anteriormente, a la serie obtenida se denominó HP-.

En la Tabla 2 se presentan las dosificaciones consideradas, detallando el contenido por metro cubico de cada material constituyente.

El valor numérico colocado a la derecha del signo (+ ó -) indica el porcentaje de perlita que contiene la mezcla, en relación al peso del cemento.

Para obtener un asentamiento de 14±1 cm en el hormigón patrón fue necesaria una dosis de aditivo superfluidificante igual al 0.22% con respecto al peso del material cementante. Luego se mantuvo constante dicha dosis en los demás pastones y así verificar la influencia de las adiciones.

Cabe destacar que los finos de perlita y el cemento fueron homogeneizados previamente a ser incluidos en la mezcla y que el aditivo superfluidificante se incorporó diluido en el agua de mezclado correspondiente.

Tabla 2 – Dosificaciones

Pastón	HP0	HP+5	HP+10	HP+15	HP-5	HP-10	HP-15
Cemento (kg/m³)	450	450	450	450	427.5	405	382.5
Agua (kg/m³)	190	190	190	190	190	190	190
Perlita (kg/m³)	0	22.5	45	67.5	22.5	45	67.5
Arena (kg/m³)	738	729	719	709	737	735	734
Ag Grueso (kg/m³)	1019	1006	993	979	1017	1015	1013
Aditivo Superfl. (%)	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22

ISBN: 978-85-65425-32-2

4. Resultados y análisis

4.1 Asentamiento

La Tabla 3 presenta los resultados de los asentamientos obtenidos para cada pastón.

Tabla 3 –Asentamientos

Pastón	Asentamiento (cm)
HP0	13.5
HP+5	7.0
HP+10	2.0
HP+15	2.5
HP-5	8.0
HP-10	5.0
HP-15	2.0

Los resultados obtenidos permiten distinguir claramente que la incorporación de perlita en la mezcla produce un marcado descenso del asentamiento en el hormigón fresco, lo cual indica una disminución en la fluidez y consecuentemente en la trabajabilidad del mismo. Considerando que para todas las mezclas se utilizó igual porcentaje de aditivo superfluidificante y se mantuvo constante la relación agua/material cementante, se puede asegurar que la variabilidad en los resultados de asentamiento son exclusivamente causados por la incorporación de la adición.

El Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (CIRSOC 201-2005) establece que el ensayo de asentamiento del cono de Abrams es aplicable para consistencias seca, plástica, muy plástica y fluida.

En los pastones HP0, HP+5, HP+15, HP-5, HP-10 y HP-15 el tipo de asentamiento fue “normal”, es decir que la masa fresca se deformó plásticamente sin grandes cambios de forma, siendo éste comportamiento el adecuado para evaluar por el método de Abrams.

Se puede observar que al incluir solamente un 5% de perlita en la mezcla (HP+5) la disminución del asentamiento es del 48% respecto del patrón, esto indicaría que la perlita absorbe una parte del agua de mezclado. Al incluir un 10% y un 15% de perlita, el asentamiento se redujo en un promedio del 83% respecto a la mezcla sin contenido de perlita.

Al reemplazar perlita por cemento el asentamiento disminuye en un 41, 63 y 85% respectivamente para porcentajes de adición de 5, 10 y 15%. Lo cual reafirmaría la teoría de que la inclusión de perlita finamente molida en la mezcla conlleva una pérdida de fluidez en la misma.

4.2 Tiempos de fragüe

En la Figura 1 se presenta el grafico con los resultados de los tiempos de inicio y fin de fragüe obtenidos para cada pastón.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Se puede observar que el hormigón patrón inicia su fraguado a las 3 horas y 19 minutos y lo culmina a las 4 horas y 15 minutos. Al adicionar perlita a la mezcla los tiempos de fraguado se acortan con respecto al patrón pero no de forma significativa, por ejemplo,el inicio de fragüe se acelera en un 7% cuando la adición es del 5%, en un 14% cuando se adiciona 10% de perlita y en un 38% cuando se incorpora el 15%. En cuanto a los tiempos de fin de fragüe, se puede apreciar que la diferencia con el patrón es irrelevante (como máximo un 12% en el HP+15).

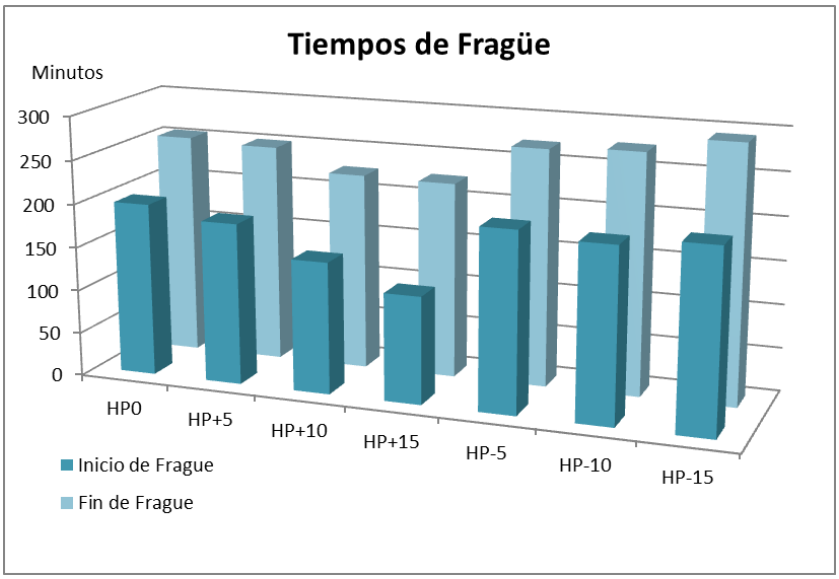


Figura 1 – Tiempos de fragüe

Al reemplazar partedel cemento por perlita en la mezcla se observa que los tiempos de inicio de fragüe prácticamente son los mismos que para el patrón, mientras que para el fin de fragüe son levemente superiores (hasta un 15% para el caso del HP-15).

4.3 Resistencia a compresión

La Figura 2 presenta los resultados de las resistencias a 7, 28 y 90 días obtenidos para cada pastón en forma de gráfico para facilitar su interpretación.

Como se puede ver, a edades tempranas (7 días) el hormigón patrón es el que presenta la mayor resistencia, seguido por los pastones HP+5 y HP-5. A medida que se incrementa la cantidad de perlita en la mezcla, las resistencias disminuyen tanto en la serie HP+ (disminución del 12% en el HP+15) como en la HP- (disminución del 26% en el HP-15).

A la edad de 28 días, se aprecia un incremento de la resistencia a compresión en todos los casos, como es de esperarse. Las resistencias de las probetas con mayor contenido de perlita fueron las que sufrieron un mayor aumento con respecto a las obtenidas a los 7 días, en los pastones HP+15 y HP-15 dicho incremento fue de más del 20%, mientras que en el patrón fue solamente del 7%. Todo lo cual llevó a que las probetas de la serie HP+5, +10 y -5 superaran los valores de resistencia patrón, mientras que las de HP+15 y HP -10 fueron apenas inferiores y HP-15 fue el pastón menos resistente a esta edad (13% menos resistente que el patrón).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Los ensayos a compresión realizados a los 90 días brindan resultados muy interesantes, ya que puede observarse que la evolución de la resistencia en comparación a la obtenida a los 28 días fue superior en los hormigones con perlita (a excepción del hormigón HP+10). Se observa claramente que el pastón que alcanza los valores de resistencia más elevados es el HP+5 (un 10% por encima del patrón), el HP+10 resultó ser un 5% más resistente que el patrón mientras que el HP+15 alcanzó una resistencia del mismo orden que el hormigón sin contenido de perlita. Analizando los valores obtenidos en este ensayo para la serie HP+, se puede concluir que la adición de perlita en la mezcla tiene un efecto beneficioso en la resistencia a largo plazo del hormigón, pero dicho efecto disminuye a medida que aumenta la cantidad de perlita incluida, alcanzando un máximo para una relación P/C (perlita sobre cemento) en peso de 0.05, disminuyendo hasta igualar al patrón para una relación P/C de 0.15.

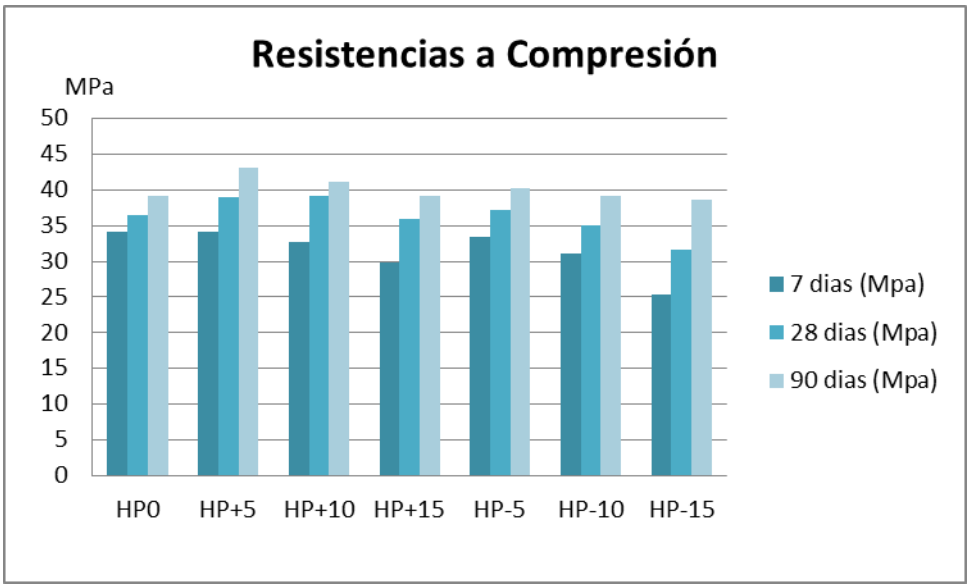


Figura 2 – Resistencias a compresión

Para la serie HP- se puede ver que los incrementos de las resistencias desde los 28 días hasta los 90 fueron los más significativos, destacándose el pastón HP-15 el cual incremento su resistencia en un 22%. Un mayor contenido de perlita en la mezcla conlleva un mayor incremento de la resistencia a compresión a largo plazo cuando la perlita es colocada en reemplazo del cemento. Todos los hormigones de esta serie alcanzaron valores de resistencias similares a los del pastón patrón, aunque cabe mencionar que dentro de la serie el más resistente fue el HP-5 (3% por encima del patrón), y a medida que la incorporación de perlita es mayor, la resistencia del hormigón disminuye pero de manera prácticamente insignificante.Se manifiesta el efecto puzolánico de la perlita.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.4 Módulo de elasticidad

La Tabla 4 presenta los resultados de los módulos de elasticidad obtenidos para cada pastón.

El módulo de elasticidad es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras de hormigón ya que se emplea en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales. Se ha verificado que el módulo de elasticidad del hormigón (E) crece a medida que crece la resistencia a compresión (f'_c). Los códigos y reglamentos proponen diversas relaciones entre E y f'_c como forma de estimación de la rigidez. En la Ecuación 1 se presenta la propuesta del reglamento CIRSOC 201-2005 para la estimación del módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión para hormigón de densidad normal.

Tabla 4 – Módulos de elasticidad

Pastón	E [GPa]
HP0	23.0
HP+5	22.4
HP+10	18.5
HP+15	19.1
HP-5	21.4
HP-10	19.7
HP-15	17.4

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \tag{1}$$

Si bien para determinar el valor de la resistencia a compresión (f'_c) para cada uno de los hormigones elaborados son necesarios numerosos ensayos a compresión de probetas, podemos aplicar la fórmula de la Ecuación 1 sobre los valores de los promedios de las resistencias a 28 días obtenidas para cada hormigón y se observa que se cumple la premisa que a mayor resistencia se tiene un mayor módulo de elasticidad en prácticamente todos los casos (Tabla 5).

Tabla 5 – Módulo de elasticidad aplicando la fórmula sugerida por CIRSOC

Pastón	E [GPa] (según CIRSOC)	Resistencia a compresión [MPa] (28 días)
HP0	28.4	36.5
HP+5	29.3	39.0
HP+10	29.4	39.1
HP+15	28.2	36.0

ISBN: 978-85-65425-32-2

HP-5	28.7	37.2
HP-10	27.8	35.1
HP-15	26.4	31.7

Cabe destacar que cualquiera sea la expresión que se use, no se debe perder de vista que el valor que se obtenga es útil solamente a nivel de anteproyecto, para el proyecto final de una obra se debe emplear el módulo de elasticidad del hormigón que realmente se usará en la obra.

5. Conclusiones

De los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede concluir en primer lugar que la inclusión de finos de perlita en la elaboración de hormigones produce un efecto positivo en el incremento de resistencia a edades tardías, en contraposición con el efecto que causa en la resistencia a edades tempranas, donde la perlita no tiene influencia.

Por otra parte la reducción de la consistencia se debe posiblemente al aumento de partículas finas que aumentan el poder de retención de agua.

Adicionar perlita a la mezcla manteniendo constante el contenido de cemento, disminuye los tiempos de inicio y fin de fragüe e incrementala diferencia entre ambos, mientras que al reemplazar parte del cemento por perlita, los tiempos de inicio de fragüe no se modifican sustancialmentepero si se atrasa el fin de fragüe, incrementándose de esta manera el tiempo de fragüe.Consecuentemente no influye en sus aplicaciones.

En relación al módulo de elasticidad, se concluye que la inclusión de finos de perlita influye en el resultado obtenido a 28 días, disminuyendo su rigidez. Esto se ve reflejado claramente en la serie HP-, en la cual, al disminuir la cantidad de cemento en cada pastón, disminuye la resistencia a 28 días y lo propio ocurre con el módulo de elasticidad.

De lo expuesto anteriormente se concluye que la perlita puede considerarse como una adición activa debido a su efecto puzolánico pero debido a que se trata de partículas muy finas, es necesario incorporar mayor cantidad de aditivo fluidificante para obtener una adecuada trabajabilidad y así aprovechar mejor sus propiedades.

Por otro lado se concluye que el porcentaje de reemplazo o adición de perlita es factible técnicamente y estaría limitado por el tipo de cemento utilizado. En este caso, estaría en el orden del 5 al 10%.

6. Referencias Bibliograficas

Astori, R. E., Sanguinetti, B. M., Bizzotto, M. (2005) La tecnología del hormigón y el desarrollo sustentable.

Battelle (2002). The business of innovation. Summary report. Toward a sustainable cement industry.

An independent study commissioned by World Business Council for Sustainable Development.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Cardozo, H. J.; Sastre, M. I.; Artigas, V. F.; Cortez, F. R. y Burgos, L. R. (2015) Dosificación de hormigones autocompactantes con adiciones activas de la región. X Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA – Salta, Argentina, Mayo 2015.

Norma IRAM 1534 (2004). Hormigón de cemento pórtland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorios.

_____ 1546 (2013). Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de compresión.

_____ 1662 (1995). Hormigones y morteros. Determinación del tiempo de fraguado. Método de resistencia a la penetración.

_____ 1865 (2009). Métodos de ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson de probetas y testigos cilíndricos de hormigón sometidos a esfuerzos de compresión axial.

Raggiotti B. B. (2015) Hormigones con adiciones activas: diseño,optimización y caracterización con criterio desustentabilidad. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba.

Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón 201 (2005).

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

PRODUÇÃO DE CONCRETO PARA PISO INTERTRAVADO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU INSERVÍVEL

Production Of Concrete For Interlocked Floor With Addition Of Waste Of Tireless Rubber

Samuel MARQUES[1], Aline SOUSA[2], Adeildo SILVA[3], Perboyre ALCÂNTARA[4]

[1] Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, samusamu2x@yahoo.com.br

[2] Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, alineislia@gmail.com

[3] Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, adeildocabral@gmail.com

[4] Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, perboyre@ifce.edu.br

Resumo: o pneu foi inventado em 1888 pelo escocês John Boyd Dunlop e com aperfeiçoado por Charles Goodyear com a criação do processo de vulcanização, mas desde a sua criação o seu descarte é um problema ecológico. Este trabalho é um ensaio experimental, que busca demonstrar estudos dos resíduos de pneus incorporados ao concreto, dando-os uma destinação final como produto. Foram produzidos 3 (três) traços do concreto, calculado através do método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), onde 1 (um) não havia nada de resíduo de borracha e nos outros dois o volume do agregado miúdo foi substituído respectivamente 10% e 15% pelo aditivo reaproveitado. Nos ensaios de compressão os corpos de prova, obteve-se valores abaixo dos 35 Mpa definidos pela Norma ABNT NBR 9781 para pisos intertravados, onde valor máximo da resistência obtida foi de 25,98 Mpa para corpo com 10% de resíduo de borracha de pneu inservível, valor próximo à resistência máxima obtida para o corpo de prova sem borracha, que foi de 26,36 Mpa. Com os resultados obtidos observou-se que o concreto adicionado do agregado de borracha chega a valores próximo dos sem resíduos, para alcançar os 35 Mpa será necessário um maior controle do ambiente de fabricação e a utilização de um cimento de alta resistência.

Palavras-chave: pneu; borracha; concreto.

Abstract: the tire was invented in 1888 by Scotsman John Boyd Dunlop and perfected by Charles Goodyear with the creation of the vulcanization process, but since its inception its disposal is an ecological problem. This work is an experimental test, which seeks to demonstrate studies of the waste tires built into the concrete, giving them a final destination as a product. Three (3) traces of the concrete were produced, calculated using the ABCP (Brazilian Portland Cement Association) method, where 1 (one) had no rubber residue and in the other two the volume of the small aggregate was replaced respectively by 10% And 15% by the reused additive. In the compression tests, the test specimens obtained values below the 35 Mpa defined by Standard ABNT NBR 9781 were obtained for interlocked floors, where the maximum value of the obtained resistance was 25,98 Mpa for body with 10% of unserviceable tire rubber, value close to the maximum resistance obtained for the rubber-free test specimen, which was 26,36 Mpa. With the results obtained it was observed that the added concrete of the rubber aggregate reaches values

ISBN: 978-85-65425-32-2

close to those without residues, to reach the 35 Mpa will require greater control of the manufacturing environment and the use of a high strength cement.

Keywords: tire; rubber; concrete.

1. Introdução e justificativa

A borracha empregada nos pneus tem um histórico datado de 1826 com Faraday que estabeleceu a fórmula da borracha sintética. Com o processo de vulcanização descoberto por Charles Goodyear em 1841, a borracha adquiriu durabilidade e elasticidade, aumentando assim a vida útil do material. Com o passar dos anos novas técnicas e modelos foram desenvolvidos e/ou aprimorados para melhorar as características do mesmo (Andrade, 2007; Rodrigues, 2008).

Em 1887, John Boyd Dunlop cria o primeiro pneu de bicicleta, mas os irmãos Michelin foram os pioneiros a implantar pneus em automóveis. Hoje os pneus são compostos basicamente por borracha natural ou sintética e aço (Rodrigues, 2008).

Com o aumento da utilização dos automóveis os pneus passaram a ser um grande vilão da natureza, pois possuem um grande poder contaminante. Segundo Fernandes (2016) as principais destinações incorretas dos pneus são: descarte irregular em vias públicas, a queima a céu aberto e armazenamento em meio aquoso, todas essas formas trazem graves problemas ao meio ambiente, seja na liberação de substâncias tóxicas na terra, no ar e nas águas, como também para a saúde pública, acumulando água dentro deles, e tornando-se abrigo para vetores transmissores de doenças.

A busca por diminuir os impactos causados por esse produto quando descartado de forma irregular no meio ambiente, responsabiliza os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, obrigando-os a inserirem sistemas de logística reversa.

Pelo exposto, há algumas leis, normas, resoluções que tratam a respeito dos pneus, por causa da preocupação com preservação do ambiente.

Uma maneira para diminuir o descarte irregular desses pneus, seria mostrar que depois de chegarem ao fim da sua vida útil, ainda podem ser utilizados e gerar alguma renda. A incorporação da borracha triturada do pneu como agregado para a fabricação de concreto na construção civil, mais especificamente a produção de piso intertravado é uma alternativa para minimizar tal problema.

O objetivo deste trabalho é demonstrar que a incorporação do agregado de resíduos de borracha no concreto, produzirá blocos com à resistência compressão de 35 Mpa, valor indicado para o piso intertravado, conforme a NBR 9781.

2. Levantamento bibliográfico

2.1 Pneus e a questão ambiental

Robert Thompson criou o pneu de borracha depois do processo de vulcanização do látex por Charles Goodyear em 1841, porém, foi com John Dunlop construído o primeiro pneumático de bicicleta (Lagarinhos, 2011), sendo os processos aprimorados no decorrer do tempo.

De acordo com Mattioli *et al.* (2009, p. 7) “os pneus têm uma mistura de borracha sintética, borracha natural, óleos, enxofre, negro de fumo, óxido de zinco, entre outros compostos

ISBN: 978-85-65425-32-2

químicos". Rodrigues (2008, p. 30) ressalta que "Hoje a maior parte dos pneus é feita de 10% de borracha natural (látex), 30% de petróleo (borracha sintética) e 60% de aços e tecidos tipo lona, que servem para fortalecer ainda mais a estrutura". Esse produto é fabricado para suportar peso, transmissão, aceleração e paradas (Lagarinhos, 2011). Parte da borracha produzida no Brasil é destinada à fabricação de pneus (Rodrigues, 2008).

Com o aumento da utilização dos automóveis os pneus passaram a ser um grande vilão da natureza, pois depois de usados eram abandonados em locais inadequados constituindo um risco para o ambiente e para a saúde pública (Akasaki *et al.*, 2016). Segundo Fernandes (2016) as principais destinações incorretas dos pneus são: descarte irregular em vias públicas, a queima a céu aberto e armazenamento em meio aquoso, todas essas formas trazem graves problemas ao meio ambiente, seja na liberação de substâncias tóxicas na terra, no ar e na água, como também para a saúde pública por tornar-sem abrigo para vetores transmissores de doenças.

A Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP (2015) publicou que em 2015, a produção de pneus no Brasil, chegou a 71,9 milhões de pneus, sendo que 16,9% foram destinados ao mercado externo, o restante, um total de 246 toneladas do produto foi destinado ao mercado interno (reposição e montadoras), em que, 108.000 toneladas são recicladas. Ainda conforme as informações da ANIP (2015), as formas de destinação regular dos pneus inservíveis[1] são:

- Para a indústria de cimento, como combustível alternativo, em respondendo a 69,7% do total,
- À fabricação de granulado e pó de borracha para utilização em artefatos de borracha ou asfalto de borracha, respondendo por 17,8% da destinação,
- À laminação, que utiliza o pneu inservível como matéria-prima para fabricar solado de sapato, dutos fluviais, etc., que representam 6,0%,
- E por último o aço que corresponde a 6,5% que também é reaproveitado.

As 138.000 toneladas que não são recicladas acabam sendo descartadas de forma irregular.

Procurando sanar o problema do descarte irregular dos pneus, existem no Brasil algumas leis, normas, resoluções, que abordam sobre os pneus, como a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 258 de 1999 "Considera os pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental que resulta em sério risco ao meio ambiente e à saúde humana", e ainda responsabilizando as empresas fabricantes pelas coletas dos mesmos conforme o seu Artigo 1º.

A Resolução CONAMA 301 de 2002 "Considera que os pneumáticos novos, depois de usados, podem ser utilizados em processos de reciclagem".

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 10.004 de 2004 classifica os resíduos em: Classe I – perigosos; Classe II – não perigosos; Classe A – não inertes; Classe II B – inertes. Os pneus usados nos automóveis são da Classe II B, segundo Rodrigues (2008,

[1] Resolução CONAMA 258/99 artigo 2º "[...] aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional [...]"

ISBN: 978-85-65425-32-2

p. 31) "[...] por não conter metais pesados, não sofrer lixiviação e não ser solúvel em água.". No entanto, os pneus são considerados não biodegradáveis (Takaki *et al.*, 2016).

A política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305 de 2010, em seu artigo 33 expõe:

"São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

III – pneus;".

Com a necessidade de diminuir a produção de lixo, trabalhando com os produtos que supostamente seriam descartados, e evitar que seus "efeitos nocivos se passado na incineração de resíduos domésticos pode comprometer aterros no caso dos pneus" (Takaki *et al.*, 2016, p. 2), estudos estão sendo desenvolvidos para a aplicação de borrachas de pneu, principalmente no campo da Construção Civil, uma área que também têm grande influência no impacto ambiental, social e econômico (positivo e negativo), onde a aplicação de resíduos aos poucos está crescendo (Takaki *et al.*, 2016).

Segundo Menezes e Menezes (1999) a reciclagem ou o reaproveitamento não apresenta, a priori, qualquer limite desta natureza e é a única alternativa que pode gerar recursos financeiros.

3. Materiais e métodos

3.1 Materiais

- O concreto é formado pela mistura numa proporção de cimento Portland, agregados (graúdos, miúdos e resíduos de borracha) e água.
- Cimento Portland é um material pulverulento, constituído por vários silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cálcio livre. Esses elementos ao serem misturados com água, produzem o endurecimento da massa, que pode então produzir um material de elevada resistência mecânica (Petrucci,1993). Na fabricação dos blocos foi usado o Cimento Portland CPII E-32, recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento.
- Agregados são compostos por grãos de diferentes tamanhos, no concreto eles chegam a representar 70% a 80 % do seu volume.

Cánovas (1988) diz que essas proporções procuram adequar a granulometria do agregado resultante da mistura as curvas granulométricas, como a curva de Abrams, que estabelece a relação água cimento.

A areia grossa (agregado miúdo) e a brita (agregado graúdo) foram fornecidas pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

- Resíduo de borracha de pneu inservível, originadas do processo de recauchutagem ou reconstrução do pneu, Figura 1, a partir de um já desgastado (liso). Silva Júnior *et al.* (2016) relatam que na operação de reconstrução de pneus, ocorre uma raspagem, onde tira-se a

ISBN: 978-85-65425-32-2

superfície do mesmo, para a colocação de uma nova. E neste processo gera-se uma espécie de resíduo fibrilar de dimensões variadas (o objeto de nosso estudo).

Esse material foi fornecido pelo Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

Figura 1 – Resíduo de borracha de pneu.
Fonte: Autores (2017).

A granulometria da borracha utilizada encontra-se na Tabela 1.

3.2 Granulometria do resíduo de borracha

Tabela 1 – Granulometria do resíduo de borracha

Peneira (mm)	Massa retida (g	% retida	% acumulada
6,30	52,98	5,30	5,30
4,75	27,90	2,79	8,09
2,36	113,09	11,32	19,41
1,18	216,17	21,64	41,05
0,600	277,86	27,84	69,00
0,297	183,36	18,35	87,24
0,150	92,92	9,30	96,54
-	34,62	3,46	100
Total	998,9	100	
Dimensão máxima (mm)			6,30
Módulo de finura			3,25

Fonte: Autores (2017).

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.3 Determinação do traço

A Norma NBR-9781, para pisos intertravados, determina que a resistência a compressão do piso deve ser de 35 Mpa, para alcançar esse valor a proporção dos componentes do concreto, que será utilizado na fabricação dos corpos de prova, foi determinada através do Método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), consultando a curva de Abrams, obteve-se a relação água/cimento (A/C) de 0,41.
Utilizando essa relação A/C, com os dados dos ensaios no agregado miúdo:

- Composição granulométrica pela NBR NM 248 (2003);
- Teor de materiais pulverulentos pela NBR NM 46 (2003);
- Massa específica e massa específica aparente pela NBR NM 52 (2003);
- Absorção de água pela NBR NM 30 (2001);
- Teor de matéria orgânica pela NBR NM 49 (2001).

E com os dados dos ensaios no agregado graúdo:

- Composição granulométrica pela NBR NM 248 (2003);
- Massa unitária pela NBR NM 45 (2006);
- Massa específica e massa específica aparente pela NBR NM 53 (2009);
- Absorção de água pela NBR NM 30 (2001);
- Quantidade de materiais pulverulentos, de acordo com a NBR 7218 (2010).

Para confecção do bloco de concreto, obteve-se o traço descrito a Tabela 2, em que, 10% e 15% do volume do agregado miúdo foram substituídos por resíduo da borracha de pneu inservível.

Tabela 2 – Traço

Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água
1	0,79	1,4	0,41

Fonte: Autores (2017).

3.4 Corpos de prova

Foram confeccionados quatorze corpos de provas, no formato cilíndrico seguindo a norma NBR 9781 (Figura 2), em que, quatro não possuíam o resíduo de borracha de pneu inservível (corpos de prova: A-3, A-4, A-5, A-6), quatros foram fabricados com 10% do volume de agregado miúdo substituído por resíduo de borracha (corpos de prova: B-1, B-3, B-4, B-5 e B-6) e outros cinco foram fabricados com 15% do volume de agregado miúdo substituído por resíduo de borracha (corpos de prova: C-1, C-2, C-3, C-4 e C-5).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 2 – Corpos de prova adicionados com resíduos da borracha de pneu.
Fonte: Autores (2017).

3.5 Ensaio de resistência a compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará seguindo a NBR 9781, na máquina que atende aos requisitos da Norma, Figura 3, que fornece os resultados em toneladas, sendo necessária a conversão para Mpa posteriormente.

Figura 3 – Máquina para ensaio de compressão.
Fonte: Autores (2017).

Os ensaios foram realizados em três momentos, primeiramente nos corpos de prova com 7 dias, depois com 14 dias e por último com 28 dias, quando o concreto atinge a sua resistência máxima.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4. Resultados e discussões

Conforme a Norma os resultados obtidos da resistência a compressão com 7 dias de vida expressos na Tabela 3, são para ser iguais ou superior a 60% da resistência desejada, que é 35 Mpa, ou seja, igual ou superior a 21 Mpa. Esse valor foi alcançado com o corpo de prova sem agrega[2]do de borracha (A-3) e com os adicionados de resíduos de borracha com 10% (B-1 e B-3), mas não para o de 15% (C1). Pode-se observar nas Figuras 3 e 4 que todos romperam de forma semelhante, com fissuras longitudinais.

Tabela 3 – Ensaio da compressão com 7 dias

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (cm)	Área (cm²)	Toneladas (obtidas da máquina)	Mpa	Mpa média	Aproximação dos 35 MPA (%)
A-3	10,00	78,53	20,5	26,1	26,1	74,53
B-1	10,00	78,53	17,5	24,5	23,4	66,85
B-3	10,00	78,53	19,2	22,3		
C-1	10,00	78,53	12,6	16,0	16,0	45,71

Fonte: Autores (2017).

A-3 **B-1**

Figura 3 – Corpos de prova rompidos.

Fonte: Autores (2017).

ISBN: 978-85-65425-32-2

B-3 **C1**

Figura 4 – Corpos de prova rompidos.
Fonte: Autores (2017).

No ensaio com 14 dias de vida foram utilizado somente três corpos de prova, e se observou que os resultado, expressos na Tabela 4, foram parecidos com os de 7 dias, destacando um aumento na resistência para os corpos de prova adicionados de resíduos de borracha de pneu, onde B-5 (10% do volume do agregado miúdo é borracha) chegou a valor bem próximo de A-5 (sem o resíduo de borracha) e C-3 (15% do volume do agregado miúdo é borracha) que teve um aumento de 4,7 Mpa em relação a C-1 (7 dias de vida). Como observado na Figura 05 os corpos romperam de forma semelhante, apenas o C-3, que possui um teor maior de borracha, possuía uma textura que esfarelava ao ser pressionada.

Tabela 4 – Ensaio da compressão com 14 dias

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (cm)	Área (cm²)	Toneladas (obtidas da máquina)	Mpa	Aproximação dos 35 MPA (%)
A-5	10,00	78,53	20,7	26,36	75,31
B-5	10,00	78,53	20,4	25,98	74,22
C-3	10,00	78,53	16	20,37	58,2

Fonte: Autores (2017).

ISBN: 978-85-65425-32-2

A-5 **B-5** **C-3**

Figura 5 – Corpos de prova rompidos.
Fonte: Autores (2017).

No ensaio com 28 dias, conforme os resultados expostos na Tabela 05, a resistência dos corpos de prova sem os resíduos (A-4 e A-6) e os adicionados com 10% do resíduo (B-4 e B-6), ao contrário do esperado para esse período, em que o concreto deve atingir a sua resistência máxima, caíram. Já os corpos de prova com 15% de resíduo de borracha, a resistência aumentou em relação aos ensaios de 7 dias e de 15 dias. Pode-se observar na Figura 06 que os corpos de prova romperam igual aos ensaios anteriores, eles estão partidos devido a impactos dados posteriormente para observar o seu interior.

Tabela 5 – Ensaio da compressão com 28 dias

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (cm)	Área (cm²)	Toneladas (obtidas da máquina)	Mpa	Mpa média	Aproximação dos 35 MPA (%)
A-4	10,00	78,53	18,8	23,93	23,87	68,2
A-6	10,00	78,53	18,70	23,81		
B-4	10,00	78,53	17,45	22,60	21,29	60,82
B-6	10,00	78,53	15,70	19,99		
C-2	10,00	78,53	18,70	23,81	21,85	62,42
C-5	10,00	78,53	14,40	18,33		
C-1	10,00	78,53	18,40	23,43		

Fonte: Autores (2017).

ISBN: 978-85-65425-32-2

A-6 **B-6** **C-5**

Figura 5 – Corpos de prova rompidos.
Fonte: Autores (2017).

Como observou-se nos ensaios a resistência média dos corpos de provas aumentou até os ensaios de 14 dias de vida, tendo uma queda nos de 28 dias de vida, mas vale salientar que apesar de não alcançar os 35 Mpa determinado pela Norma ABNT 9781 para pisos intertravados, tal fato deve ter ocorrido por falta de controle na produção do concreto, pois os traços não puderam ser feitos no mesmo dia devido a indisponibilidade do Laboratório de Materiais do IFCE, o que pode ter levado a uma hidratação prévia do cimento, alterando os resultados esperados, mas apesar disso os valores obtidos da resistência a compressão para os corpos de prova com concreto puro, ficaram bem próximo dos que tiveram 10% do volume de agregado miúdo substituído por borracha de pneu inservível, tornado uma alternativa viável.

5. Conclusão

Não foi possível alcançar a resistência determinada pela Norma ABNT 9781, os 35 Mpa, mas os valores para o concreto adicionado de borracha ficaram bem próximos do concreto puro, essa resistência pode ser alcançada em ensaios futuros com o maior controle na produção dos corpos de prova, bem como a utilização de um cimento de alto resistência como o CP V. A aplicação do resíduo de borracha de pneu inservível no concreto diminuiria o seu lançamento nos aterros sanitários, bem como a extração de minerais, pois substituiria a areia grossa, trazendo economia para a construção civil e diminuindo o uso dos recursos naturais.

Agradecimentos

Aos Laboratórios de Energias Renováveis e Conforto Ambiental (LERCA) e de Materiais do Instituto Federal do Ceará Campus Fortaleza.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Referências bibliográficas

Akasaki, J. L.; Lemos, P. E.; Fioriti, C. F. (2016). Pó de pedra e borracha de pneus utilizados como substituto da areia natural em concretos. Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis 2016, João Pessoa, Paraíba, Brasil, XX 2016.

Andrade, H. S. (2007) Pneus Inservíveis: alternativas possíveis de reutilização. Monografia (Ciências econômicas) - Centro Sócio-Econômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP. (2015). Livro branco da indústria de pneus: uma política industrial para o setor. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/f8201-white-book-versao-final.pdf>. Acesso em 30/05/2017>. Acesso em: 30 abr. 2017.

_____. Produção e Vendas 2015. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao_vendas.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1987). NBR 1004: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2003). NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2003). NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através de peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2003). NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2001). NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2001). NBR NM 49: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2006). NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2009). NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. (2010). NBR 7218: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, Brasil.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Brasil. (2010). Lei 12305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências, Brasil.

Cánovas, F. M. Patologia e Terapia do concreto armado. São Paulo: Pini, 1988.

Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. (1999). Resolução nº 258. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

_____. (2002). Resolução 301. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

Fernandes, J. (2016). Reutilização da Borracha Residual de Pneus na Criação de Contra Piso. IFCE, Ceará. Brasil.

Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro – FETRANSPOR. [2012]. Manifesto de Resíduos: Diretriz INEA (DZ – 1310.R-7). Disponível em: <http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/44FManifestoResiduos.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2017.

Lagarinhos, C. A. F. (2011). Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Mattioli, L. M. L.; Monteiro, M. A.; Ferreira, R. H. (coord.). (2009). *Plano de gerenciamento de resíduos pneumáticos*. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, Fundação Israel Pinheiro, Brasil.

Menezes, R. A.; Menezes, M. A. A. (1999). *Considerações sobre gerenciamento integrado de resíduos sólidos (GRS)*. Revista Limpeza Pública: Associação Brasileira de Limpeza Pública, 53, 144-157.

Petrucci, G. R. P. (1993). *Concreto de cimento Portland*. 12 ed. São Paulo: Globo, Brasil.

Rodrigues, M. R. P. (2008). Caracterização e utilização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compósitos aplicáveis na construção civil. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Silva Junior, F. A. da *et al.* (2016). Concreto com resíduos de borracha de pneu e brita granítica. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais – CBECiMat, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

Takaki, P. M.; Fioriti, C. F.; Pinto, N. A. (2016). *Avaliação de chapas de gesso para interiorização de ambientes produzidos com borracha de pneus*. Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis 2016, João Pessoa, Paraíba, Brasil, XX 2016.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS

Analysis Of The Influence Of The Use Of Recycled Concrete Aggregate In The Mechanical Strength Of Mortars

Thais SILVA[1], **Romildo** BERENGUER[2], **Yane** COUTINHO[3], **Antonio** JÚNIOR[4], **Tiago** Agra[5]

[1] UNICAP, Recife – PE, Brasil, thaism21@ymail.com

[2] UFPE, Recife – PE, Brasil, romildo.berenguer@ufpe.br

[3] UFPE, Recife – PE, Brasil, yane_coutinho@hotmail.com

[4] UPE, Recife – PE, Brasil, jodraomagnanimo@hotmail.com

[5] UFPE, Recife – PE, Brasil, tiagoagraengenharia@gmail.com

Resumo

A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais têm levado á busca de alternativas mais sustentáveis que minimizem o impacto ambiental por parte de todos os segmentos da sociedade. A reciclagem de resíduos sólidos tem se apresentado como uma boa alternativa para reduzir os impactos gerados pelo uso desordenado de matéria prima e pela redução das áreas de disposição, causados em virtude do grande volume de descartes de resíduos gerados ao longo do ano em todo mundo. Neste contexto, se inserem os resíduos da construção civil. Os resíduos provenientes de atividades construtivas e demolições geralmente apresentam-se de forma sólida, com materiais densos e com características variáveis por conter diversos tipos de materiais. Essas características muitas vezes apresentam-se como empecilho para serem reutilizados em novos concretos. Dentre os vários resíduos da construção civil, podem ser citados os resíduos de concreto pré-moldado (resíduos cinza) como tendo um dos maiores potenciais de utilização, devido ao conhecimento de suas propriedades básicas (resistência à compressão, idade, materiais utilizados, etc.) e seu menor grau de contaminação por outros materiais, quando comparados com outros resíduos da construção. O objetivo deste trabalho é avaliar as características do desempenho mecânico de matrizes cimentícias confeccionadas com resíduo cinza e a sua possível utilização em larga escala. Foram confeccionadas matrizes cimentícias para argamassas com a substituição de 0%, 25%, 50% e 75% do agregado miúdo natural pelo resíduo cinza e relação água/cimento de 0,48. Através do ensaio de resistência à compressão foi observado aos 28 dias que as matrizes cimentícias com substituição de 25% e 50% obtiveram um incremento de 4% na resistência comparando com a matriz cimentícia de referência.

Palavras-chave: Resíduo cinza. Agregado reciclado. Resistência do concreto. Sustentabilidade.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Abstract

Concern about the environment and the scarcity of natural resources has led to the search for more sustainable alternatives that minimize the environmental impact of all segments of society. Solid waste recycling has been presented as a good alternative to reduce the impact caused by the disorderly use of raw material and the reduction of disposal areas caused by the large volume of waste discards generated throughout the year around the world. In this context is included the construction waste. Wastes from construction activities and demolitions are usually solid, with dense materials and with variable characteristics because it contains several types of materials. These characteristics are often obstacles to reuse it in new concretes. Among the various construction residues, precast concrete residues (gray residues) can be cited as having one of the greatest potentials of use, due to the knowledge of its basic properties (compressive strength, age, materials used, etc.) and its lower degree of contamination by others materials, when compared to other building wastes. The objective of this research is to evaluate mechanical performance characteristics of cement matrix made from gray residue and its possible use in large scale. Cement matrixes were made by the replacement of 0%, 25%, 50% and 75% of the natural aggregate (sand) by the gray residue and water / cement ratio of 0.48. Through the compressive strength test, it was observed at 28 days that mortars with 25% and 50% of replacement obtained a 4% increase in strength compared to the reference cement matrix.

Keywords: Gray residue. Recycled aggregate. Concrete strength. Sustainability.

1. Introdução

O grande aquecimento no setor da construção civil no Brasil tornou-se um incentivo para que pesquisas sejam desenvolvidas em busca de tecnologias que visem à reutilização de materiais reciclados em substituição das matérias-primas naturais, ou seja, materiais alternativos. Na mesma proporção do crescimento econômico do setor de construção civil, pode-se observar também o aumento do consumo do concreto, este sendo o material de construção mais utilizado no setor.

Segundo John & Agopyan (2000), a construção civil tem provocado impactos severos no Brasil, como o uso da ordem de 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. No caso do uso de concreto, considera-se um consumo médio de 1,9 toneladas por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água (PEDROSO, 2009). Com isto, incorporar resíduos a este material é interessante, uma vez que sua produção é feita em larga escala, tem fácil aplicação, é flexível, durável e razoavelmente resistente a agentes químicos e físicos.

Os resíduos provenientes de obras da construção civil e de demolição apresentam características que dependem do tipo de obra, das técnicas construtivas, da fase em que se encontra a construção, das características socioeconômicas da região considerada, entre outros fatores. Estes muitos fatores muitas vezes tornam a pesquisa inviável, por se tratar de materiais com propriedades variáveis, como tipo de material, resistência, absorção de água, idade. Porém, é cada vez maior a utilização de peças pré-fabricadas de concreto,

ISBN: 978-85-65425-32-2

onde pode-se obter uma maior homogeneidade dos materiais, como resíduos a serem incorporados em novos materiais cimentícios.

Segundo Butller (2003), dentre os vários resíduos da construção civil, podem ser citados os resíduos de concreto como tendo um dos maiores potenciais de utilização, devido ao conhecimento de suas propriedades básicas (fck, idade, etc.) e seu menor grau de contaminação por outros materiais, quando comparados com outros resíduos da construção. Em uma indústria de pré-fabricados, o concreto desperdiçado é proveniente de elementos rejeitados pelo controle de qualidade, final de linhas de produção e sobras de concreto fresco ao final do processo. Em tais empreendimentos ocorre basicamente a geração de dois tipos de resíduos: rejeitos de concreto no estado fresco e rejeitos de concreto no estado endurecido, existindo inúmeros processos que podem ser aplicados na sua reciclagem (FERREIRA, 2013)

A reciclagem é uma das melhores alternativas para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos. Nos últimos anos a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo mundo, seja por questões politicas, econômicas ou ecológicas. A reciclagem de resíduos da construção irá minimizar também problemas com o gerenciamento dos resíduos sólidos dos municípios, uma vez que a geração de resíduos juntamente com o impacto ambiental causado em determinada região não é mais um problema local.

Perante a necessidade de alternativas para a diminuição da geração de resíduos, este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico das argamassas através do ensaio de resistência à compressão axial e a viabilidade técnica do uso de resíduos na produção de concreto.

2. Materiais

As argamassas utilizadas neste trabalho foram produzidas com cimento, areia natural, resíduo cinza de material proveniente de uma fabrica de pré-moldados e água.

2.1 Cimento: CPV ARI

Para realização do procedimento experimental, utilizou-se o cimento CPV ARI. O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), embora contemplado pela ABNT como norma separada do cimento Portland comum, é, na verdade, um tipo particular deste, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências nos primeiros dias da aplicação. As características físico-químicas do cimento mencionadas nos Quadros 1 e 2 são importantes para proporcionar maior conhecimento sobre o material e analisar seu comportamento nos ensaios que serão realizados.

Quadro 1 – Composição do cimento Portland de alta resistência inicial

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Material carbonático	
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	0-5	NBR 5733

Fonte - ABNT BT 106 (2002).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 2 – Exigências Físicas e Mecânicas do CP V-ARI

Tipo de Cimento Portland	Classe	Finura		Tempo de Pega		Expansibilidade		Resistência á compressão				
		Resíduos na Peneira 75mm (%)	Área especifica (m^2/kg)	Inicio (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	1 dia (MPa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	91 dias (MPa)
CP V-ARI		≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≥ 14	≥ 24	≥ 34	-	-

Fonte - ABNT BT 106 (2002).

2.2 Agregado miúdo: Areia natural

A origem desses agregados pode ser natural ou artificial. Os naturais são aqueles encontrados e extraídos da natureza, como por exemplo, areias e seixos rolados. Os agregados transformados ou fabricados são chamados de agregados artificiais, exemplo pedra britada, argila expandida, escórias siderúrgicas, resíduos de lixo e esgoto sintetizados, Resíduo da Construção e Demolição (RCD), isopor, borracha (NBR 9935:1987).

Foi utilizado agregado miúdo natural, de origem quartzosa da região de Recife- PE, isento de impurezas e umidade para a confecção dos concretos. A areia foi posta na estufa por cerca de 24h para retirada da umidade. Depois, foi utilizada uma amostra de 300 g para a realização do ensaio de caracterização, levando em consideração o seguinte ensaio: Granulometria do agregado miúdo - NBR NM 248:2003.

A composição granulométrica da areia utilizada no presente trabalho está apresentada no Quadro 3 e na Figura 1 abaixo:

Quadro 3 – Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo (areia natural).

Determinações	Abertura da Peneira	Porcentagem (%)		Método de ensaio
	ABNT (mm)	Retida	Acumulada	
Composição Granulométrica	9,5	0	0	NBR 7217/1987
	4,8	0	0,00	
	2,4	9,00	3,00	
	1,2	34	14,33	
	0,6	94,0	45,67	
	0,3	131,0	89,33	
	0,15	25	97,67	
	Fundo	7	100,00	
DMC	2,4 mm			
Modulo de finura	2,00			
Zona Granulométrica	Zona 3 e 4 (Média-Grossa))			NBR 7211/2005

Fonte – O autor , 2017

ISBN: 978-85-65425-32-2

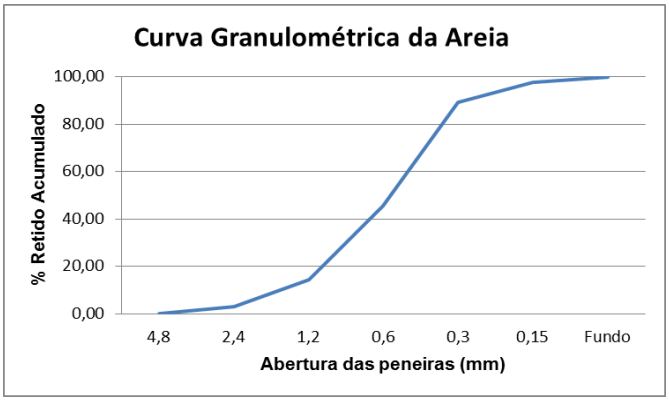


Figura 1: Curva Granulométrica da areia. **Fonte** – O autor , 2017

2.3 Agregado Miúdo: Resíduo de concreto

O material utilizado nesta pesquisa foi coletado de uma empresa de fabricação de blocos pré-moldados de concreto na Região Metropolitana do Recife – RMR. Após a obtenção dos blocos que seriam descartados por não passar pelo controle de qualidade da empresa, o material foi levado para passar pelo processo de trituração em uma empresa que trabalha com reaproveitamento de materiais da construção civil e demolição, a qual possui a máquina trituradora. O material de descarte foi disposto na máquina Gipo Kombi, que fez o processo de trituração. A máquina dispõe de quatro esteiras que funcionam como saídas dos materiais após o processo de trituração, fornecendo, assim, quatro diferentes granulometrias: Areia, Brita 19 mm, Brita 25 mm e material de aterro, como mostra a Figura 2.

Figura 2: Material após o processo de trituração em diferentes granulometrias.
Fonte – O autor , 2017

O material para esta pesquisa foi coletado, disposto pelo equipamento, na granulometria mais próxima da areia natural utilizada. O Quadro 4 e a Figura 3 dispõem de informações

ISBN: 978-85-65425-32-2

dos ensaios de granulometria realizados com o resíduo de concreto (resíduo cinza) de acordo com a NBR 248:2003.

Quadro 4 – Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo reciclado (Resíduo cinza).

Determinações	Abertura da Peneira ABNT (mm)	Porcentagem (%) Retida	Porcentagem (%) Acumulada	Método de ensaio
Composição Granulométrica	9,5	0	0	NBR 7217/1987
	4,8	0,33	0,33	
	2,4	14,67	15,00	
	1,2	32,67	47,67	
	0,6	25,0	72,67	
	0,3	14,3	87,00	
	0,15	7,67	97,67	
	Fundo	5,33	100,00	
DMC	2,4 mm			
Modulo de finura	2,00			
Zona Granulométrica	Zona 4 (Grossa)			NBR 7211/2005

Fonte – O autor , 2017

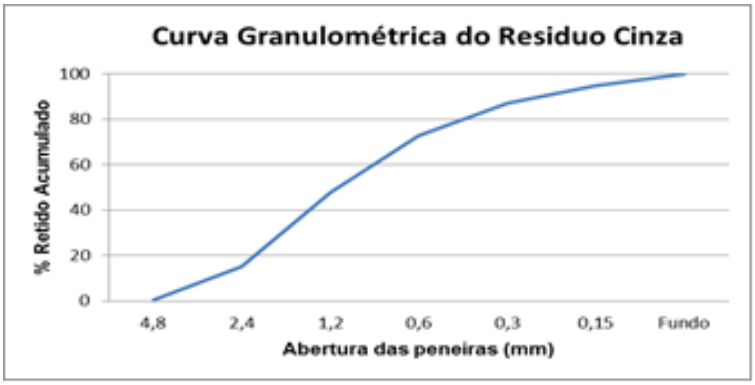


Figura 3: Curva Granulométrica do resíduo cinza.

Fonte – O autor , 2017

2.4 Água

A água destinada ao amassamento do concreto deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas. De acordo com a NBR 15900:2009, julgam-se satisfatórias as águas potáveis. No caso das não potáveis, é necessário controlar o conteúdo de matéria orgânica, assim como os sulfatos (SO_4) e os cloretos (Cl^-) (FUSCO, 2012). Quando em excesso, as impurezas na água de amassamento podem afetar a resistência, o tempo de pega, a eflorescência e a corrosão da armadura passiva ou protendida (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Neste trabalho, utilizou-se água da rede pública da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), considerada potável, destacando-se que não foram realizados ensaios para sua caracterização.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3. Métodos

3.1 Confecção das Argamassas

Segundo a NBR 13281:2005, argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). Para estudo e análise do comportamento mecânico de argamassas confeccionadas com resíduo cinza, foram moldados corpos-de-prova (10 cm de altura x 5 cm de diâmetro) de acordo com a NBR 7215:1996.

Os corpos-de-prova base foram elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia natural em massa e com relação água/cimento constante de 0,48. As porcentagens usadas de resíduo cinza em substituição da areia natural foram de 25%, 50% e 75%. O Quadro 5 mostra em detalhe todos os traços de argamassa elaborados para esta pesquisa.

Quadro 5 – Delineamento Experimental.

Traço	Resíduo cinza (%)	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	a/c	Resíduo cinza (Kg)
Referência	0	1	3	0,48	0
T25	25	1	2,75	0,48	0,75
T50	50	1	1,5	0,48	1,5
T75	75	1	0,75	0,48	2,75

Fonte – O autor , 2017

A argamassa foi preparada por meio de um misturador mecânico (argamassadeira) e, logo após, compactada manualmente nos moldes cilíndricos através de procedimento normalizado. Os corpos-de-prova incialmente ficaram dispostos por 24h em temperatura ambiente, como mostra a Figura 4, e após este tempo foram desmoldados e submetidos à cura em água.

Figura 4: Corpos-de-prova de argamassa de cada traço executado. **Fonte** – O autor , 2017

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2 Ensaio de Resistência à compressão

O desempenho de uma argamassa depende de suas características no estado plástico e no estado endurecido. As características para o estado endurecido são: resistência à compressão adequada, boa resistência de aderência ou ao cisalhamento, boa resiliência. A resistência à compressão da argamassa afeta diretamente a resistência das componentes de alvenaria.

A contribuição da argamassa na resistência da alvenaria é limitada pela resistência dos blocos. Neste sentido, algumas recomendações devem ser respeitadas para a alvenaria estrutural.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão foram separados seis corpos-de-prova de cada traço de argamassa com resíduo cinza e mais seis corpos-de-prova padrão, sem o resíduo cinza, para verificação da resistência à tração por compressão axial aos 28 dias. A Figura 5 mostra a disposição de alguns CP's para a realização do ensaio de resistência.

Figura 5: Procedimento de ensaio de resistência à compressão simples nos CP's de argamassa.

Fonte – O autor , 2017

4. Resultados e Discussões

4.1 Resistência à compressão axial

Após os 28 dias submetidos à cura, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão para ánalise do desempenho mecânico. No primeiro momento, os CP's foram retificados da cura e em seguida submetidos à prensa para realização do ensaio.

Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 1 e nas Figuras 6 e 7, que mostram os gráficos do ensaio realizado com os valores obtidos.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Tabela 1 – Resistência à compressão aos 28 dias

Traço	Resistência à compressão (MPa)						
	CP I	CP II	CP III	CP IV	CP V	CP VI	**Média**
Referência (0%)	46,7	49,6	48,5	48,3	50,3	50	**49**
Substituição de 25%	50,4	54	49,6	53,9	53,9	55,8	**53**
Substituição de 50%	50,6	51	49,9	51,3	50,6	51,5	**51**
Substituição de 75%	51,1	51,9	49	50,6	47,2	50,6	**50**

Fonte – O autor , 2017

Observa-se através dos resultados que os corpos-de-prova de argamassa forneceram resultados semelhantes entre si, porém as argamassas com percentuais de substituição forneceram um ganho significativo no valor médio da resistência à compressão axial, comparando-as com os CP's de referência.

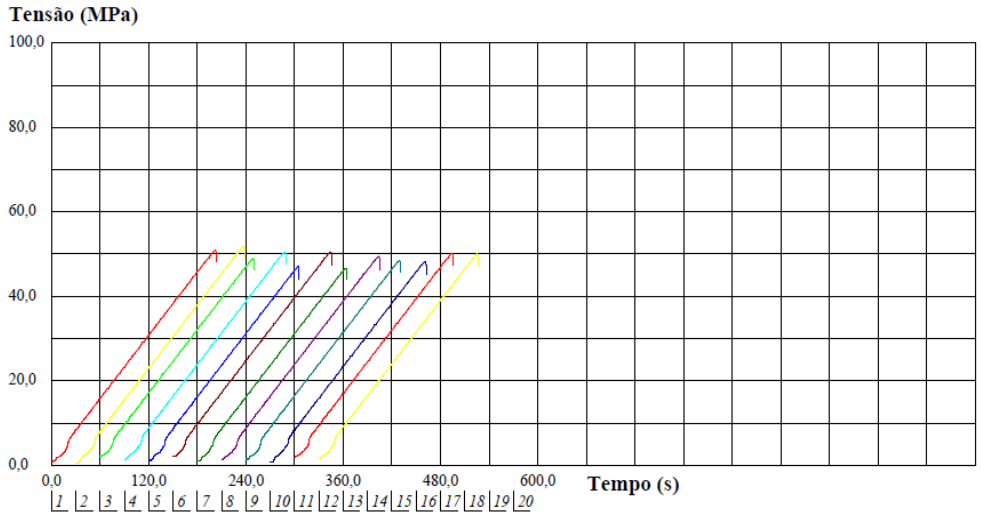


Figura 6 – Gráfico de resistência dos CP's com 0% e 75% de substituição. Fonte: TECOMAT (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

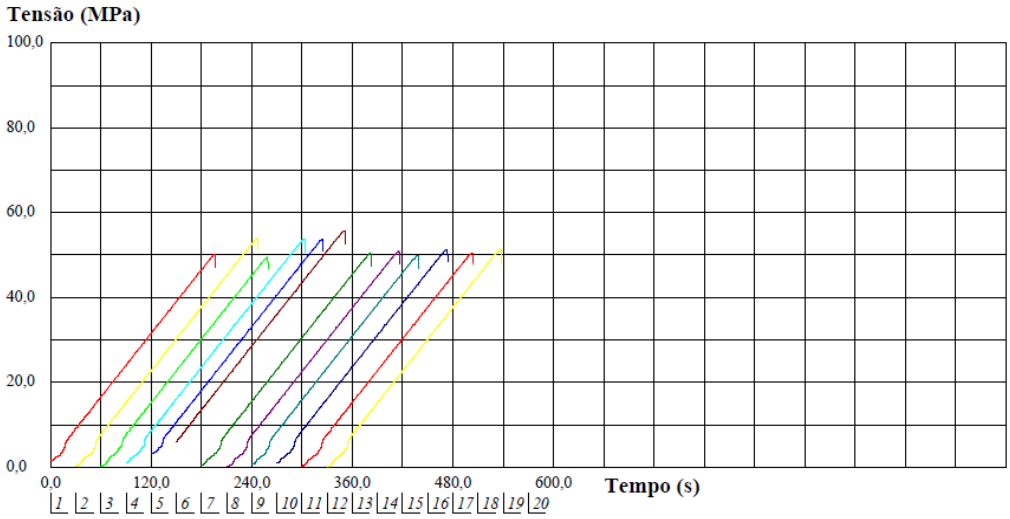


Figura 7 – Gráfico de resistência dos CP's com 25% e 50% de substituição. Fonte: TECOMAT (2017)

Observa-se através do gráfico que os corpos-de-prova de argamassa forneceram resultados semelhantes entre si, porém as argamassas com percentuais de substituição forneceram um ganho significativo no valor médio da resistencia à compressão axial, comparando-as com os CP's de referência.

Verifica-se no gráfico da Figura 8 que o traço sem resíduo cinza apresentou resistência média à compressão de 49,0 MPa, enquanto os traços com 25%, 50% e 75% de substituição, quando comparados ao traço de 0% de susbstituição de resíduo cinza (referência), apresentaram um incremento de 8,16%, 4,1% e 2,1%, respectivamente.

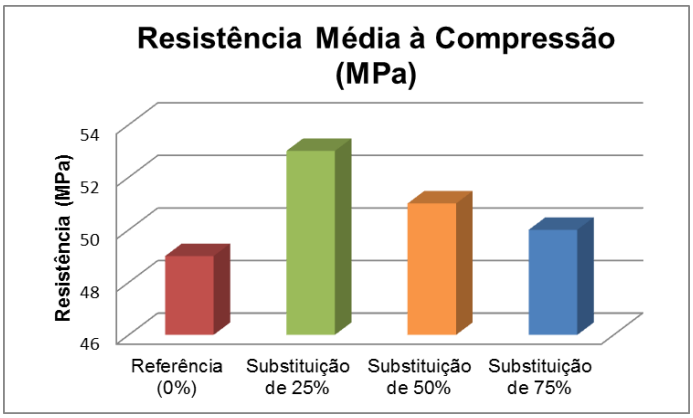


Figura 8 – Gráfico da Resistência Média à Compressão.
Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

5. Conclusões

A partir dos resultados e discussões realizados, foi possível concatenar conclusões a respeito da viabilidade do uso do resíduo cinza proveniente da britagem de blocos de pré-moldados de concreto em substituição de 25%, 50% e 75% da areia natural, bem como sua influência na resistência mecânica em traços de argamassas. Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que, no geral, o emprego do resíduo cinza em argamassas apresentou um desempenho satisfatório para o emprego como agregado miúdo quando utilizado em substituição da areia natural.

Considerando a dosagem proposta no presente trabalho, as substituições parciais de areia por resíduo cinza, nos teores de 25%, 50% e 75%, em massa, proporcionaram um incremento de 8,16%, 4,1% e 2,1% respectivamente, na resistência à compressão aos 28 dias em relação à amostra de referência.

Sendo a reciclagem uma das melhores alternativas para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos, pode-se concluir que o resíduo cinza proveniente da britagem de concretos pré-moldados, utilizado nesta pesquisa, conferiu aos traços de argamassas com substituição de até 75% da areia natural por resíduo cinza uma resistência mecânica adequada e superior ao traço de referência. Sendo assim, o uso deste resíduo torna-se viável na confecção de novos produtos em argamassa, colaborando com uma possível redução de custos e impacto ambiental para a empresa e sociedade.

Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2005

_____.NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão: Procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

_____.NBR 7211: Agregado para Concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

_____.NBR 9935: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 1987.

_____.NBR NM 248: Determinação da composição granulométrica: Método de ensaio: Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____.NBR 15900: Água para amassamento de concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – Guia Básico de utilização de cimento Portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

ISBN: 978-85-65425-32-2

BUTTLER, A.M. Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influencia da idade de Reciclagem das propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

FERREIRA, H.L.A. Estudo da substituição do agregado graúdo natural por resíduo de concreto britado. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2013.

FUSCO, Péricles Brasiliense; Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados., 2a edição, Pini, 2012.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos, 2000, São Paulo.

PEDROSO, F.L. Concreto & Construções: concreto: material construtivo mais consumido no mundo. São Paulo: Ipisis, v. 1, n 53, 2009. Trimestral.

MEHTA, P. Kumar, MONTEIRO, Paulo J. M.; Concreto: Estrutura, propriedades e materiais, São Paulo, Pini, 2014.

ISBN: 978-85-65425-32-2

TELHAS DE ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE LAMA DE MARMORARIA PARA DIMINUIÇÃO DE MANCHAMENTOS SUPERFICIAIS

Mortar Slabs With Embedding Of Marble Slurry To Reduce Surface Staining

Lucas KAEFER[1], **Vanderson** J. LOPES[2], **Daiana** C. M. ARNOLD[3], **Adriana** T. da SILVA[4]

[1] Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil, lucaskaefer@hotmail.com

[2] Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil, vandylopes@yahoo.com.br

[3] Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil, daim@feevale.br

[4]Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil, adrianat@feevale.br

Resumo:. A preocupação ambiental cresce acentuadamente em todo o mundo. O elevado consumo de materiais pela indústria da construção civil no cenário atual e o consequente aumento da geração de resíduos oriundos dessa utilização, fazem com que sejam necessárias alternativas para que esse impacto ambiental seja diminuido. Juntamente com o desenvolvimento da construção civil, aumenta-se o consumo de rochas ornamentais utilizadas para revestimentos, lavatórios, bancadas, etc, que necessitam de processos de extração e beneficiamento. As indústrias que atuam no desdobramento das rochas (mármores, granitos) geram resíduos dentro do processo de produção, no momento em que a matéria prima é desdobrada, serrada ou polida. Este rejeito denominado lama, acaba sendo lançada diretamente nos rios, solos e aterros, poluindo o meio ambiente e impactando na qualidade de vida. Devido ao atual modelo de beneficiamento de rochas no mercado brasileiro, pesquisas são necessárias para que haja uma melhor destinação desse rejeito. Neste estudo, apresenta-se a análise da influência da lama de marmoraria, devidamente recuperada junto aos tanques de decantação de empresa beneficiadora de rochas ornamentais, no manchamento superficial das telhas, visto que esse problema patológico ocorre com frequencia pelas telhas de argamassa. Foram utilizados cinco traços diferentes, seguindo as especificações da NBR 13858-2 (ABNT, 2009), foi substituido o agregado natural pela lama de marmoraria, em teores de 0, 25, 50, 75 e 100%. Observou-se diferenças expressivas em agumas prorpiedades das telhas confeccionadas com diferentes teores de resíduo, como: aumento da absorção de água e perda de resistência a tração. Porém, nota-se uma melhora no aspecto visual e consequentemente diminuição do manchamento superficial. Salienta-se a necessidade de maiores estudos para adequação da lama de marmoraria em telhas de argamassa.

Palavras-chave: Lama de marmoraria, rochas ornamentais, telhas de argamassa.

Abstract: Environmental concern is growing sharply around the world. The high consumption of materials by the construction industry in the current scenario and the consequent increase in the generation of waste resulting from this use mean that

ISBN: 978-85-65425-32-2

alternatives are needed to reduce this environmental impact. Along with the development of civil construction, the consumption of ornamental stones used for coatings, washbasins, countertops, etc., that need extraction and processing processes is increased. The industries involved in the devel- opment of rocks (marble, granite) generate waste within the production process, at the moment the raw material is unfolded, sawn or polished. This waste, called mud, ends up being thrown directly into rivers, soils and landfills, polluting the environment and impacting the quality of life. Due to the current model of rock processing in the Brazilian market, research is necessary to have a better disposal of this waste. In this study, we present an analysis of the influence of the sludge mud, duly recovered with the decantation tanks of a company that produces ornamental rocks, in the superficial staining of the tiles, since this pathological problem frequently occurs by the mortar tiles. Five different traces were used, following the specifications of NBR 13858-2 (ABNT, 2009), the natural aggregate was replaced by mud from slab, in contents of 0, 25, 50, 75 and 100%. Significant differences were observed in different properties of the tiles made with different residue contents, such as: increased water absorption and loss of tensile strength. However, an improvement in the visual aspect and consequently decrease of the superficial spotting is noticed. It is highlighted the need for further studies on the adequacy of marble slurry in mortar tiles.

Keywords: Mud of marble, ornamental rocks, mortar tiles

1. Introdução

O Brasil detém grande parte de todas as reservas mundiais de granito. A partir da década de 60, com o crescimento do setor mineral, muitas empresas de beneficiamento de granito surgiram. Esse crescimento fez com que surgissem muitos problemas ambientais, como a geração de grandes quantidades de resíduos os quais, em sua maioria, são destinados de forma inadequada levando à contaminação dos recursos hídricos, do solo, desfiguração da paisagem, danos a saúde e poluição atmosférica (LIMA, 2010).

A indústria de rochas ornamentais gera por ano toneladas de resíduos que são depositados em aterro ou descartados no meio ambiente de maneira irregular, se transformando em um grave problema urbano. Esse resíduo surge na utiliazação de água para a refrigeração das máquinas em conjunto com o pó gerado nos processos de corte e polimento. Um dos grandes desafios para as empresas no século XXI é a disposição final dessa lama (LIMA, 2010).

Como na maioria dos segmentos da construção civil, a indústria de rochas ornamentais também passa por modernizações em sua produção e na escolha de matérias-primas adequadas além de um maior controle nos processos de polimento, corte e estoque (OLIVEIRA, 2011).

Segundo Junior (2011), esse quadro obriga a busca por soluções modernas e sustentáveis que minimizem o efeito da indústria da construção no meio ambiente. E nessa perspectiva a reciclagem é uma das alternativas mais eficazes na redução da geração de resíduos e também na diminuição do impacto gerado contra o meio ambiente, produzindo novos produtos resistentes e duráveis

ISBN: 978-85-65425-32-2

Reduzir os índices de perdas de materiais é extremamente desejável levando-se em consideração os aspectos econômicos e ambientais. Sob o ponto de vista econômico, tal diminuição pode ser determinante para a sobrevivência das empresas diante de um mercado cada vez mais competitivo. Já no ponto de vista ambiental, a redução das perdas de materiais trazem como benefício a redução do consumo de recursos naturais, além da minimização do entulho, cujas áreas para sua destinação final estão se exaurindo, principalmente nos grandes centros urbanos (CORDEIRO, 2007).

A incorporação da lama de marmoraria ou serraria na cadeia produtiva contribuiria com a preservação ambiental e com a economia dos setores envolvidos (CHIODI, 2012). Outro beneficio para essa incorporação é a redução do consumo de energia, visto que seria necessário menor extração de areia devido ao uso de resíduos, em alguns casos pode reduzir também distâncias de transporte e contribuir para a redução da poluição ocasionada, dependendo da localização do resíduo gerado (GONÇALVES, 2000).

Nos últimos anos algumas pesquisas vêm sendo realizadas para que este rejeito seja reaproveitado e utilizado para outros objetivos, aumentando assim a sua vida útil (ZANELATO, 2016). Em muitos casos o resíduo vem demonstrando bom potencial de uso para diversos materiais na industria da construção civil.

Lima (2010) observa que a utilização de resíduo oriundo do processo de beneficiamento de rochas graníticas pode vir a aumentar a absorção de água e diminuir a perda de massa ao longo do tempo, devido a suas caracteristicas .

Gonçalves (2000), após utilização de resíduos de corte de granito como adição para produção de concretos, argumenta que o resíduo pode gerar um aumento de resistência à tração para baixas incorporações, apresentando um bom potencial de uso.

Neste contexto, devido ao grande volume de resíduos de corte de granito e mármore gerados e sem destinação adequada, este trabalho visa a incorporação da lama de marmoraria no traço de dosagem de telhas de argmassa utilizados na construção civil, minimizando seu impacto negativo junto ao meio ambiente e buscando diminuir a ocorrência de manchas geradas pela alta porosidade superficial das telhas, reforçando que esse é um dos maiores problemas apresentados pelas mesmas na industria de telhas para a construção civil.

2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade técnica da incorporação de lama de marmoraria em substituição a areia de cava, para confecção de telhas de argamassa, buscando diminuir a porosidade superficial e consequente manchamento ocasionado pelo depósito de sujeiras nesses poros.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar a lama de marmoraria, gerada junto ao processo de beneficiamento de rochas ornamentais;
- Confeccionar traços de dosagem para incorporação de diferentes porcentagens de lama de marmoraria na produção de telhas de argamassa;

ISBN: 978-85-65425-32-2

- Analisar as telhas quanto a suas propriedades de absorção de água, permeabilidade, resistência a flexão e manchamento;

3. Materiais e métodos

O principal objetivo do estudo é a substituição de parte dos agregados naturais utilizados no processo de produção de telhas por um resíduo oriundo de marmoraria, denominado no trabalho como lama de marmoraria, buscando diminuir a ocorrência de manifestações patologiacas como a concentração de sujeiras nos poros das telhas.

3. 1. Materiais

No processo de produção da telha utiliza-se três tipos diferentes de agregados miúdos: uma areia quartzosa oriundo do Rio Jacuí das proximidades de Porto Alegre, uma areia de britagem de rocha basáltica da região da Serra Gaúcha, (Nova Prata, Paraí, Nova Bassano) e uma areia de cava adquirida em uma jazida no município de Osório/RS. Para os ensaios será substituída apenas a areia de Osório.

A lama de marmoraria que foi utilizada é oriunda de empresa localizada no vale do Paranhana, no município de Rolante - RS, e é gerada no processo de polimento das bordas de rochas ornamentais. A coleta do material foi realizada após decantação do resíduo em uma cisterna da própria empresa.Após a sepração da lama, a mesma passou por um processo de secagem em estufa, onde permaneceu durante 7 dias.

Posteriormente a secagem da lama, foi necessária o destorroamento. Por fim, foi realizado peneiramento em peneira de 600 mm para retirada de materiais impróprios que se depositaram no processo de decantação.

O cimento utilizado é do tipo CP V – ARI. Este produto quando ativado possui resistência elevada nos primeiros dias. A água utilizada é retirada de um poço artesiano.

O aditivo utilizado na confecção do traço das telhas é um superplastificante que também tem a função de impermeabilizar as telhas de argamassa. A eficácia do aditivo evita ou reduz o aparecimento de eflorescências e facilita a desmoldagem das telhas.

3. 2. Métodos

O processo de produção das telhas e agregados utilizados neste estudo seguiu os procedimentos empregados por empresa da região de Vale Real – RS, que produz telhas de argamassa. O programa experimental elaborado para caracterização do resíduo e análise mecânica da influência do mesmo na produção de telhas de argamassa está representado no fluxograma da Figura 1.

ISBN: 978-85-65425-32-2

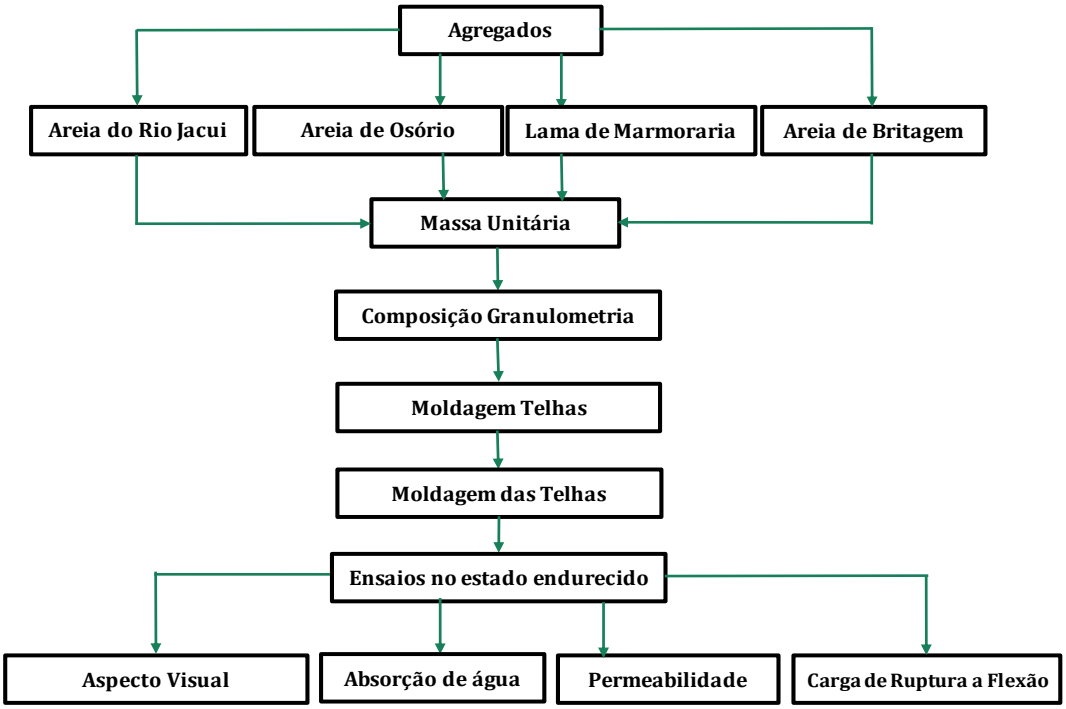


Figura 1 – Fluxograma do programa experimental

Fonte – O autor, 2017.

3. 2. 1. Caracterização do resíduo

Para uma melhor análise das caracteristicas do resíduo e comprovação da possível influência do mesmo nas telhas de argamassa foram realizados ensaios de caracterização da lama de marmoraria, como descrito nos itens subsequentes.

3.2.1.1. Massa unitária

O ensaio de massa unitária baseou-se no método C da NBR NM 45 (ABNT, 2006), com algumas adaptações em relação ao recipiente utilizado. Foi utilizado um recipiente diferente do indicado pela norma, com dimensõs de 10,8 x 10,8 cm, com altura de 11,64 cm, resultante em um volume de 1.357,69 cm³, o peso do cubo vítreo é de 516,30 g.

3.2.1.2. Composição Granulometrica

O ensaio de composição granulométrica da lama de marmoraria e agregados naturais baseou-se nas recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003). A lama por ser um material muito fino, passou por dois ensaios de composição granulometria, um peneiramento com agitação mecânica, para grãos retidos em peneira de abertura de até 0,075mm. Para os grãos passantes na peneira 0,075 mm foi utilizado um processo de granulometria a laser para análise do material. A lama de marmoraria foi encaminhada ao laboratório de materiais cerâmicos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, LACER/UFRGS.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2.2. Confecção das telhas de argamassa

O principal fator para incorporação da lama de marmoraria em substituição a areia de Osório, na confecção das telhas, é o fechamento do maior número possível de poros superficiais, devido as caracteristicas de fíler do resíduo, impedindo o depósito de sujeiras e proliferação de fungos durante a vida útil das telhas. Porém, a dosagem com agregados muito finos, eleva a superfície específica, o que provoca maior probabilidade de retração, sendo necessário adições de materiais alternativos visando reduzir estas manifestações patologicas, nesse contexto, optou-se pela incorporação de lama de marmoraria devido a suas caracteristicas granulometricas visando avaliar a influência em telhas de argamassa. O traço foi de 1:4 (cimento: agregados miúdos), onde a porcentagem de cada areia é de 75% areia do Rio Jacuí, 20% da jazida de cava de Osório e 5% de areia basáltica. Foram elaborados cinco traços distintos para análise (Quadro 1).

Quadro 1 – Traços desenvolvidos

Traços	Cimento (kg)	Areia do Jacuí (kg)	Areia de Osório (kg)	Lama de Marmoraria (KG)	Areia de Britagem (Artificial) (kg)	Água (lts)
Referência	20,00	60,00	16,00	0,00	4,00	8,00
25%	20,00	60,00	12,00	4,00	4,00	8,00
50%	20,00	60,00	8,00	8,00	4,00	8,00
75%	20,00	60,00	4,00	12,00	4,00	8,00
100%	20,00	60,00	0,00	16,00	4,00	8,00

Fonte – O autor, 2017.

Após o processo de moldagem, em extrusora, as telhas foram identificadas e armazenadas em estufa por um período de 36 horas. Após as 36 horas de repouso, as telhas foram retiradas, carregadas e encaminhadas para as dependências do laboratório de técnicas construtivas da universidade Feevale (LABTEC), onde permaneceram novamente numa estufa. Esta fase, foi composta por um segundo processo de secagem em estufa, onde as telhas permaneceram por 72 horas num aquecimento de 60º C.

3.2.2.2. Aspecto visual

Todas as telhas moldadas no trabalho foram analisadas quanto ao aspecto visual, conforme especificado na NBR 13858-2 (ABNT, 2009). Segundo a norma, a telha não deve apresentar defeitos sistemáticos, tais como fissuras, bolhas, esfoliações, desagregações, quebras e rebarbas. As telhas foram analisadas após 5 dias da moldagem e cura.

3.2.2.3. Absorção de água

O ensaio seguiu as prescrições da NBR 13858-2 (ABNT, 2009), verificando a absorção de água pelas telhas de argamassa, a absorção foi analisada em 6 telhas.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2.2.4. Permeabilidade

A análise da permeabilidade nas amostras seguiu a NBR 13858-2 (ABNT, 2009), o objetivo do ensaio é registrar a formação de gotas, vazamentos, aparecimentos de manchas e umidade na parte inferior da telha.

3.2.2.5. Resistência à flexão

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 13858-2 (ABNT, 2009), foram analisadas 6 amostras para cada traço.

4. Resultados

Serão apresentados neste item os resultados dos ensaios de caracterização e no estado endurecido das telhas de argamassa com incorporação de lama de marmoraria.

4.1 Caracterização dos agregados

4.1.1 Massa unitária

Os resultados da massa unitária da areia de Osório e a lama de marmoraria estão apresentados na Figura 2.

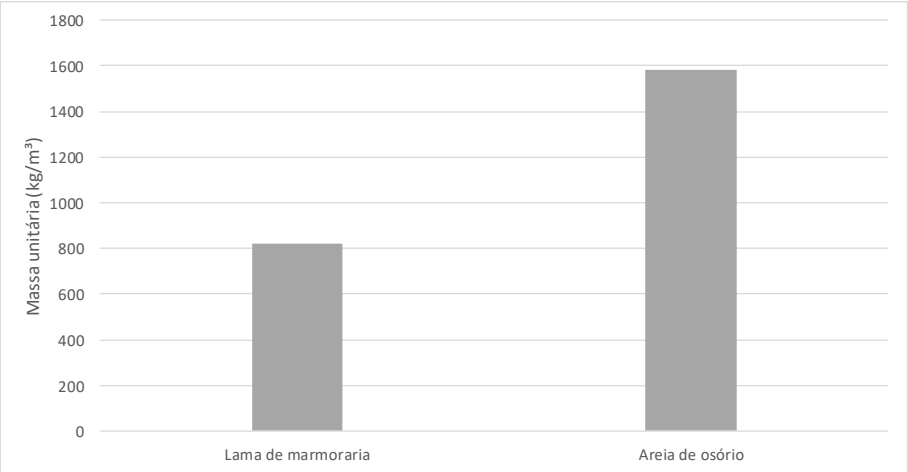


Figura 2 – Massa unitária
Fonte – O autor, 2017.

Analisando a Figura 2, nota-se uma variação em relação aos dois agregados, verificou-se que a lama tem uma massa unitária 48% menor do que a areia de Osório. Esta diminuição é similar ao estudo de Oliveira (2015), que cita a finura, forma dos grãos e composição granulometrica do resíduo de marmoraria como principal causador da diminuição da massa unitária.

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.1.2 Composição Granulometrica

A Figura 3 apresenta a composição granulométrica dos agregados utilizados para confecção das telhas de argamassa.

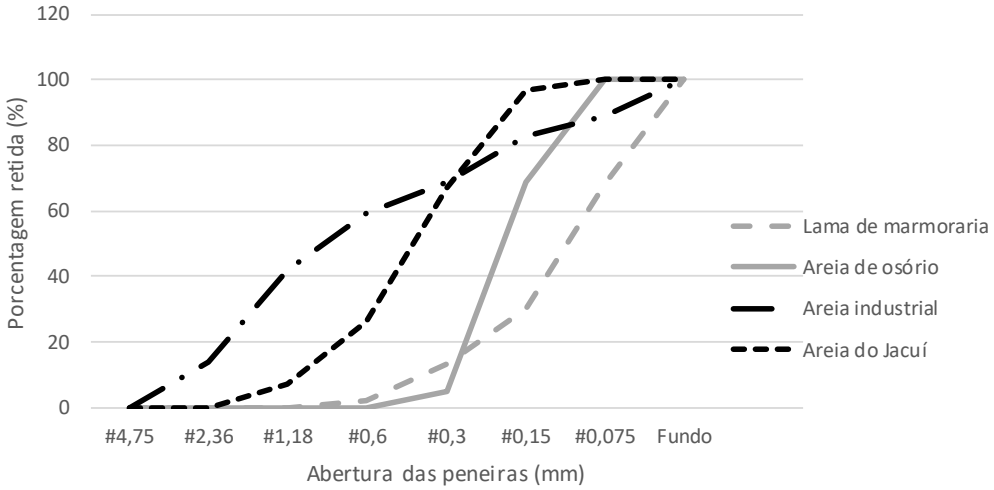


Figura 3 – Análise granulométrica do resíduo

Fonte – O autor, 2017.

As curvas granulométricas mostram que tanto a areia de Osório quanto a lama de marmoraria apresentam as menores dimensões de grãos entre os agregados. Porém, nota-se claramente que o resíduo apresenta grande quantidade de finos, já que apenas 30% da amostra acumulada ficou retida na peneira de 0,15mm e o restante cerca de 70% retida apenas no fundo, apresentando um resultado positivo já que o intuito da utilização do resíduo é o fechamento dos poros superficiais e consequente diminuição do depósito de sujeiras e proliferação de fungos. São apresentados no Quadro 2 os valores das dimensões máximas e módulos de finura dos agregados.

Quadro 2 – Módulo de finura e dimensão máxima

	Areia Jacuí	Areia Osório	Areia Basáltica	Lama Marmoraria
Módulo de finura	1,96	0,74	2,67	0,43
Dimensão máxima (mm)	2,4	0,3	4,8	0,6

Fonte – O autor, 2017.

Como a lama de marmoraria apresentou grande parte da amostra passante na peneira de 0,075mm, foi necessário ensaio que avaliasse com maior exatidão o diâmetro médio dos grãos de resíduo. Para isso, foram analisados os 32% de material retidos no fundo através de ensaio de granulometria a laser, os resultados estão apresentados na Figura 4.

ISBN: 978-85-65425-32-2

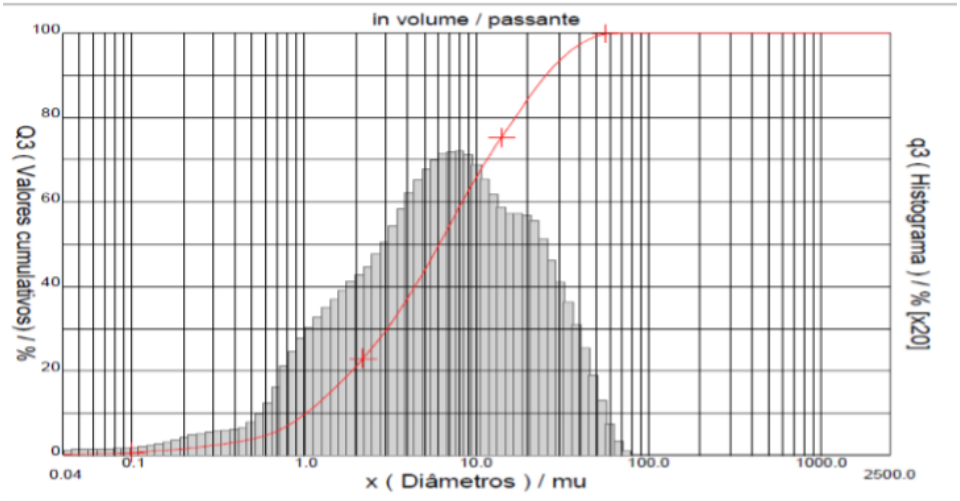


Figura 4 – Granulometria a laser dos grãos de resíduo passantes na peneira #0,075 mm

Fonte – O autor, 2017.

Com o ensaio de granulometria a laser, nota-se que a maior parte da amostra está entre os diâmetros 5,0 µm e 11,0 µm. Sendo a maior porcentagem retida de 3,32% localizada no diâmetro 7,5 µm, apresentado resultado favorável ao uso com fíler, agindo possívelmente no preenchimentos dos poros e consequente redução do depósito de sujeiras e proliferação de fungos.

4.2 Aspecto visual

Foi realizada análise visual de todas as telhas moldadas no estudo, é visto que nenhuma telha apresentou defeitos sistêmicos, como fissuras, bolhas, esfoliações, desagregações e rebarbas. Porém, percebeu-se diferenças de rugosidade nas telhas na utilização de pincel atômico para marcação das mesmas quando comparado ao traço referência. O traço referência apresentou uma textura superficial mais rugosa que os demais traços, danificando a ponta do pincel quando utilizado. A maior diferença observada está no traço de 100%, onde a textura superficial ficou com melhor acambamento devido a diminuição da porosidade superficial das amostras, mostrando o potencial para diminuição dos poros superficiais do resíduo de marmoraria e consequentemente do depósito de sujeiras, visto que esse é um dos principais defeitos apresentados por esse produto na industria da construção civil. Esse resultado se originou devido a grande quantidade de finos do resíduo, preenchendo uma maior quantidade de vazios.

4.3 Absorção de água

Analisando o ensaio de absorção de água e comparando com os critérios prescritos pela NBR 13858-2 (ABNT, 2009), nota-se que todos os teores analisadas estão dentro do limite estipulado para uso, apresentando absorção de água menor que 10%.

ISBN: 978-85-65425-32-2

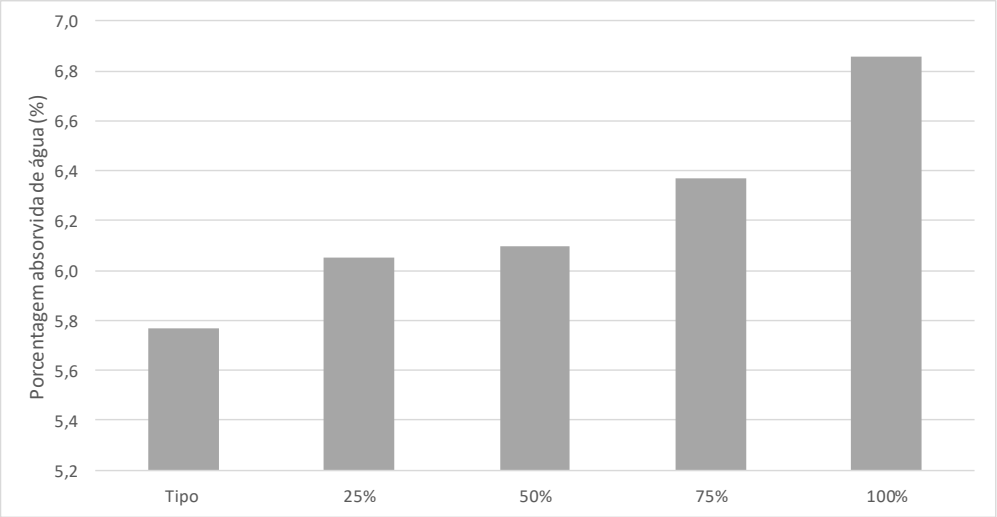


Figura 5 – Resultados do ensaio de absorção de água

Fonte – O autor, 2017.

Percebe-se que ocorreu um pequeno aumento de absorção de água nas telhas concomitantemente ao aumento de resíduo incorporado, sendo o teor de 100% o que absorveu maior quantidade de água. Mesmo com a melhora no aspecto visual e aparente diminuição dos poros superficiais, as telhas de argamassa absorveram maior quantidade de água, esse aumento é explicado devido a lama de marmoraria ter os grãos com dimensões menores que a areia de Osório e maior superficie especifica das partículas provocando um maior consumo de água na mistura e moldagem, ocasionando maior porosidade total na amostra.

O resultado encontrado é similar ao apresentado por Souto *et al*. (2001), que utilizou resíduo de serragem de granitos, as amostras apresentaram um aumento de absorção ao passo em que se aumentava o teor de resíduo. Já no estudo de Zanelato *et al*. (2016), o autor utiliza resíduos de rocha na fabricação de telhas, encontrando uma diminuição da absorção de água com o aumento de teor de ar incorporado.

4.4 Permeabilidade

Ao acrescentar resíduo de marmoraria nas telhas de argamassa, o acréscimo do mesmo não prejudicou a permeabilidade das amostras, não apresentando qualquer tipo de vazamento, manchamento ou formação de gotas aderentes na face inferior das telhas oriunda da coluna de água aplicada na superfície da mesma, tanto na nervura longitudinal que é mais espessa, quanto na parte mais fina, conforme Figura 6. Ao comparar o traço referência com os demais traços confeccionados não houve diferença constatada no ensaio de permeabilidade entre os mesmos. As telhas analisadas, obtiveram o mesmo comportamento no ensaio. Todas as telhas encontram-se em conformidade com a NBR 13858-2 (ABNT, 2009).

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 6 – Face inferior da telha após ensaio de permeabilidade

Fonte – O autor, 2017.

O resultado encontrado vai de encontro ao apresentado pelo autor Cintra (2008), que utilizou resíduos de pneus em diversas porcentagens, encontrando resultados positivos quanto a permeabilidade das telhas, as mesmas não apresentaram vazamentos ou manchamentos.

Como os resultados de todas as amostras foram similares, não foi possível fazer uma análise criteriosa sobre a influência da lama de marmoraria na permeabilidade das amostras, sendo necessário a realização de ensaios mais minuciosos para um resultado mais preciso, no entanto nota-se que o resíduo não prejudicou na permeabilidade das telhas.

4.5 Carga de ruptura a flexão

A Figura 7 mostra a comparação dos resultados encontrados com a classificação da NBR 15310 (ABNT, 2009), a norma expressa que as telhas devem atingir resistência minima de 1000 N para sua utilização, resistência essa que não foi atingida por nenhum traço.

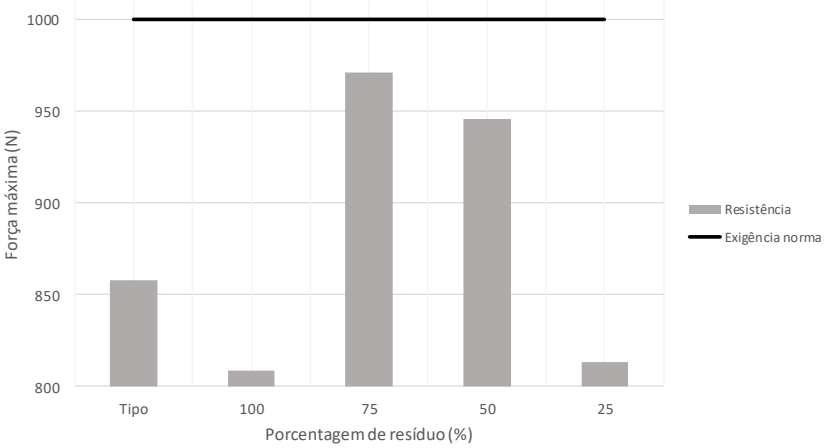


Figura 7 – Resultados médios das cargas de ruptura a flexão

Fonte – O autor, 2017.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Percebe-se que a incorporação de resíduo de lama de marmoraria influência na carga de ruptura a flexão, as amostras tiveram uma queda de resistência no traço de 25%, porém, para teores intermediarios como os de 50 e 75% as telhas apresentaram aumento de resistência, sendo o teor de 75% o teor com maior resistência. Os resultados demonstram que em baixos teores o resíduo não apresenta bom desempenho, porém, ao ser incorporado em quantidades intermediárias onde o resíduo é predominante em relação a areia de Osório, a carga de ruptura aumenta em consequencia do maior fechamento de vazios devido as propriedades fíler do resíduo. Já o teor de 100% apresentou uma queda de resistência em torno de 5,68% em relação o de referência, portanto, ao substituir totalmente a areia de Osório o resultado não foi satisfatório, mostrando que em grandes quantidades o resíduo prejudica a resistência das telhas. Os resultados encontrados são similares ao estudo de Cintra (2008), que utilizou resíduo de pneu moído, as amostras tiveram uma grande variação nos resultados, porém, apresentaram tendência ao crescimento.

5. Conclusões

Na caracterização da lama de marmoraria percebe-se um material com grande porcentagem de finos, gerando um resíduo com baixa massa unitária e módulo de finura, que consequentemente pode produzir telhas mais leves, sendo uma boa alternativa quando necesário peças de baixo peso.

O aspecto visual demonstrou que as telhas tiveram melhora no acabmento final, apresentando amostras com pequeno indice de porosidade superficial, corroborando para a diminuição de depósitos de sujeiros e proliferação de fungos nas telhas, manifiestações patológicas muito frequentes nas telhas comercializadas atualmente.

As telhas com incorporação de resíduo de marmoraria apresentaram um aumento entre 5 e 19% na absorção de água, mostrando que para altos teores o resíduo absorveu uma grande quantidade de água, devido a presença de grande quantidade de poros totais nas amostras, principalmente na parte interna.

Constatou-se que o ensaio de permeabilidade não apresentou nenhum tipo de vazamento ou formação de gotas aderentes na face inferior das terlhas oriunda da coluna de água aplicada na surpefície da telha. O aumento da quantidade de resíduo na confecção das telhas não demonstrou afetar o desempenho das mesmas, indicando o potencial dos resíduos, já que a porosidade superficial diminuiu, apresentando menor risco para infiltração de sujeiras e da água.

As telhas demonstraram um aumento de resistência à flexão entre 10 a 13% para os teores de 50 e 75% de resíduo, porém, até mesmo com o aumento de resistência as amostras não ficaram dentro das exigências da NBR 15310 (ABNT, 2009), a norma especifica que a resistência minima deve ser de 1000 N para telhas planas, entretanto nenhum traço atingiu essa resistência, sendo necessário maiores estudos para uma melhor análise da real influência do resíduo.

De modo geral, os resultados obtidos nos ensaios atenderam os objetivos específicos propostos neste trabalho, indicando assim que a utilização de resíduos de marmoraria podem vir a diminuir a porosidade superficial de telhas de argamassa e com isso evitar o

ISBN: 978-85-65425-32-2

depósito de sujeiras e proliferação de fungos, além de dar um melhor acabamento final as telhas. Porém, o trabalho ainda é insipiente, necessitando de maiores estudos para uma melhor análise da influência do resíduo nas propriedades das telhas de argamassa.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15310 - Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

___. NBR 13858-2 - Telhas de concreto - Parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

___. NBR NM 45: Agregados – Determinação da densidade de massa e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

___. NBR NM 248: Agregados – Determinação da distribuição granulométrica . Rio de Janeiro, 2003.

CHIODI, C. Balanço da produção mundial e do comércio internacional de rochas ornamentais em 2011. Informe Abirochas, nov. 2012.

CINTRA, A. D. Utilização de pneu moído e resíduos da Construção na fabricação de telhas de Concreto. 2008. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

CORDEIRO, F.R.F.S. Orçamento e controle de custos na construção civil. Belo Horizonte – MG, UFMG, 2007.

GONÇALVES, J.P. Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos. Porto Alegre, RS. PPGEC/UFRGS. 2000. 135p., il. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

JUNIOR, A. N. Avaliação da resistência à compressão de concreto utilizando adição de resíduos de cerâmica vermelha. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Tecnologia. Universidade Estadual de Feira de Santana – Feira de Santana. 2011.

LIMA, R. C. O., Neves, G. A., carvalho, J. B. Q. Durabilidade de tijolos de solocimento produzidos com resíduo de corte de granito. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Paraíba, v. 5.2, p. 24-31, 2010.

OLIVEIRA, D. M. *et al*. Utilização de resíduo de granito como substituição ao cimento Portland em matrizes cimentícias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 53, 2011, Florianópolis . Anais... Santa Catarina: IBRACON, 2011.

ISBN: 978-85-65425-32-2

SOUTO, K. M. *et al*. Aproveitamento de resíduos da serragem de granitos para confecção de tijolos e telhas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CERÂMICA, 45, 2001, Florianópolis . Anais... Santa Catarina, 2001.

ZANELATO E. B. *et al*. Avaliação da incorporação de resíduo de rocha na fabricação de telhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 60, 2016, Águas de Lindóia. Anais... São Paulo, 2016.

ISBN: 978-85-65425-32-2

ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DE AREIA DE RIO POR RESÍDUO PROVENIENTE DA ESCARIFICAÇÃO DE PNEU

Coating Mortar With Replacement Of River Sand By Residue From Tire Scarification

Letícia ANDREOLLI D.[1], **Lucas** KAEFER[2], **Bianca** F. FINGER[3], **Daiana** C. M. ARNOLD[4]

[1] Estudante, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil, leticia.dias.nh@hotmail.com

[2] Estudante, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil, lucaskaefer@hotmail.com

[3] Engenheira Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil, bia.fornari@hotmail.com

*[4] Me. Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil, daim@feevale.br

*Co orientador

Resumo: A quantidade de resíduos de pneus gerados aumentou consíderavelmente nos últimos anos, sendo que estes muitas vezes são depositados de forma incorreta, ocasionando problemas ambientais, por conta disto, estudos para a utilização desse resíduo vêm sendo realizados, encontrando uma destinação final adequada para o mesmo ou aumentando sua vida útil. Concomitantemente, a industria da construção civil é conhecida pela grande geração de resíduos e por seu expressivo consumo de matéria prima, como por exemplo, a areia natural que é oriunda do leito dos rios. Com a exploração excessiva desse agregado, criaram-se leis rígidas de controle de extração, aumentando o custo final do mesmo. Portanto, essa industria busca novas alternativas de materiais para a subtituição da areia natural e para melhoraria das propriedades da argamassa. Assim, o resíduo de pneu se mostra um material com características importantes na substituição parcial da areia natural, como alta capacidade de deformação e baixa massa específica. O presente trabalho buscou avaliar as propriedades de uma argamassa de revestimento no estado endurecido com a substiuição de 4%, 4,5% e 5% de areia natural por resíduo de pneu. O resíduo apresentou potencial para sua utilização, diminuindo a fissuração, aumentando as propriedades mecânicas da argamassa e diminuindo a densidade de massa, tornando a mistura mais leve. Porém, salienta-se a necessidade de maiores estudos, para verificar suas reais influências e melhores teores de incorporação desse resíduo na argamassa.

Palavras-chave: Fissuração, *Resíduo de pneu, Argamassa de revestimentol.*

Abstract: The amount of tire waste generated has increased considerably in recent years, and these are often incorrectly deposited, causing environmental problems, because of it, studies for the use of this waste have been carried out, with the objective of finding an adequate final destination or even increasing its useful life. At the same time, the construction industry is known for the great generation of waste and for its expressive consumption of raw material, such as the natural sand that comes from riverbeds. With the excessive exploration of this aggregate, rigid control laws for extraction were created,

ISBN: 978-85-65425-32-2

increasing the final cost of it. Therefore, this industry looks for new material alternatives for the substitution of natural sand and for improvement of the properties of the mortar. Thus, the tire residue shows a material with important characteristics in the partial replacement of natural sand, such as high deformation capacity and low specific mass. The present work sought to evaluate the masonry mortar properties in the hardened state with the substitution of 4%, 4.5% and 5% of natural sand by tire residue. The residue presented potential for its use, reducing the cracking, increasing the mortar mechanical properties and reducing the mass density, making the mixture lighter. However, the need for further studies to verify its real influences and better percentage of this residue incorporation in the mortar is emphasized.

Keywords: Craking, Tire residue, Masonry mortar.

1. Introdução

Atualmente mais de 1,5 bilhões de pneus são produzidos a nível mundial por ano (CENK, 2014), sendo que destes mais de 67 milhões são produzidos no Brasil (ANIP, 2016). Assim, a geração de pneus descartados aumentou, ao passo em que a industria automobilistica se expandiu e agora representa um sério problema em termos ecológicos, ambientais e de recursos renováveis (ANGELIN *et al*., 2015). Com esse aumento, foram desenvolvidos estudos para encontrar destinação final adequada dos resíduos gerados, visto que estes quando depositados ao ar livre representam uma ameaça ao meio ambiente (PEDRO *et al*., 2013).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou a resolução n° 258, onde exige que as industrias façam a destinação correta dos pneus descartados (CONAMA-1999), isto para proibir a eliminação destes resíduos inteiros ou retalhados em aterros. Esta resolução levou à investigação de pesquisadores para tentar maximizar o potencial uso desse rejeito na indústria da construção civil.

Nesse cenário, Sayegh (2014) relata que algumas entidades e empresas que atuam no mercado de reciclagem de pneus no Brasil têm empreendido várias ações para promover o desenvolvimento destas atividades. Entre elas pode-se citar a criação de um Grupo de Trabalho composto de representantes destes órgãos, para atuar junto ao Inmetro - instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial na elaboração de uma norma que garanta a qualidade, tanto dos pneus novos quanto dos recauchutados, fabricados no Brasil.

Uma das técnicas de reaproveitamento de pneus mais empregada no Brasil é a recapagem, que de acordo com o Inmetro (2006), é o “processo pelo qual um pneu é reformado pela substituíção de sua banda de rodagem”, onde a banda de rodagem representa toda a parte do pneu em contato com o solo. Contudo, salienta-se que nesse processo ocorre a geração de um resíduo, que é destinado a outros fins, como por exemplo, para a fabricação de tapetes de automóveis, recobrimento de áreas de lazer e quadras espostivas, colas e adesivos, tiras para industrias de estofados ou até mesmo o uso em saltos e solados de sapatos (SAYEGH, 2014).

De maneira paralela, a Indústria da Construção Civil, até pouco tempo, era reconhecida por apresentar um modelo construtivo tradicional, ou seja, utilizando técnicas

ISBN: 978-85-65425-32-2

extremamente artesanais (ALVES, 2016). Porém, com as exigências do mercado e a escassez de agregados naturais devido ao seu uso intensivo, como é o caso da areia oriunda dos leitos dos rios, essa indústria foi impulsionada a buscar novos materiais para suprir suas necessidades atuais (BOUKOUR *et al*., 2016).

Diante do exposto, a adição de resíduos de pneus incorporados em concretos e argamassas se tornou uma alternativa para estabelecer uma prolongação da vida útil desse rejeito e para substituir a areia natural nas misturas, visando reduzir o impacto ambiental causado por esse resíduo e pela extração da areia e melhorar as propriedades das estruturas com a inserção de um material emborrachado e com menor massa unitária.

Alguns estudos já foram apresentados como o de Angelin *et al*. (2015) que incorporou resíduos em forma de esferoides e de fibras emborrachadas nas argamassas substituindo parcialmente a areia natural, com isto constatou uma queda nas propriedades mecânicas e na trabalhabilidade da mesma, gerando um aumento na porosidade e na absorção de água ao passo em que se aumentou o resíduo, resultado devido a influência da forma das partículas incorporadas. Porém, segundo os autores, com teor de 5% de resíduo de borracha a argamassa resultou em uma relação entre resistência e peso satisfatória, podendo ser aplicada na engenharia como em pavimentos flexíveis e fachadas.

Canova *et al*. (2015) , comparou três argamassas diferentes, uma com areia natural, a segunda com areia de britagem e a terceira com pó de borracha proveniente de pneus, onde relatou que a argamassa com areia de britagem aumentou a resistência a compressão e a retenção de água e com pó de borracha também ocorreu o aumento da retenção de água e reduziu significativamente o surgimento de fissuras, sendo que os autores concluíram que embora tenha havido uma redução nas propriedades mecânicas o teor ideal de pó de borracha seria de 8% para diminuir a fissuração.

Na *et al* (2017), estudou as propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas com pó de borracha de resíduos de pneus, concluindo que o pó de borracha pode melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e de durabilidade das argamassas. Sendo que os requisitos especiais, como resistência, baixo encolhimento e baixa permeabilidade podem ser obtidos com adtivos alternativos, tais como éter de celulose, polímero em pó e fibras de madeira.

Pinto *et al* (2016), incorporou 3 granulometrias de resíduos de pneus oriundos do processo de recauchutagem em argamassas de revestimentos com substituição de 4% e 10% em volume de areia. Os autores verificaram uma redução no valor de densidade de massa aparente, tanto no estado fresco como no endurecido. Também houve aumento da absorção de água por capilaridade e a taxa de evaporação e de retenção de água ficaram muito semelhantes em condições normais de laboratório, já em condições severas a argamassa com resíduo teve mais evaporação, necessitando procedimentos para atenuar a perda de água da mesma. Contudo a granulometria que apresentou os melhores resultados foi a média.

Sendo assim, estudou-se a incorporação de resíduo de pneu oriundo do processo de escarificação em uma argamassa de revestimento com a substituição parcial da areia de

ISBN: 978-85-65425-32-2

rio. A argamassa foi caracterizada no estado endurecido, bem como os seus agregados, afim de encontrar um melhor aranjo entre as particulas, gerando uma menor fissuração no revestimento.

2. Objetivo

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a fissuração e as propriedades mecânicas de uma argamassa de revestimento com resíduo de pneu proveniente da escarificação.

Os objetivos específicos são:

- Comparar as características do resíduo de pneu com a areia natural na distribuição granulométrica, empacotamento dos grãos e massa unitária;
- Avaliar as propriedades das argamassas com incorporação de resíduo de pneu, no estado endurecido através de ensaios de resistência mecânica, absorção de água por capilaridade, absorção de água total, densidade de massa, aderência e fissuração.

3. Metodologia

3.1 Materiais

Para a composição da argamassa os aglomerantes utilizados foram Cimento Portland Pozolânico IV-32 e cal hidratada tipo II-A. O agregado miúdo foi a areia de rio quartzosa oriunda do Rio Jacuí e a água utilizada é proveniente de poço artesiano.

O resíduo de pneu empregado nesse estudo foi obtido em uma empresa da região metropolitana de Porto Alegre que realiza a escarificação da banda de rodagem do pneu. O processo de geração desse rejeito está explicado na figura 1, o resíduo foi utilizado na forma bruta, ou seja, na forma em que foi fornecido pela empresa, com a retirada de partículas maiores e fios metálicos ocasionalmente encontrados.

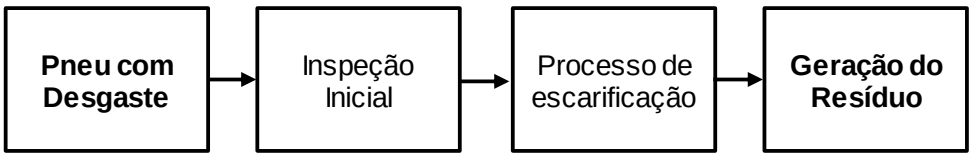


Figura 1 – Fluxograma do processo de geração do resíduo de pneu

As argamassas foram produzidas no traço, em massa, de 1:2:9 (cimento:cal hidratada:areia). O traço apresentou como única variável, o agregado miúdo, visto que os demais materiais como a cal, o cimento e a água se mantiveram fixos, bem como o índice de consistência (260 ± 5 mm).

3.2 Método

A pesquisa visa a incorporação de resíduo de pneu na argamassa de revestimento como substituição parcial da areia natural quartzosa, buscando a diminuição da fissuração. Para tanto foram construidas quatro mini paredes com blocos cerâmicos de 19 x 29 x 11 cm, as

ISBN: 978-85-65425-32-2

mesmas foram executadas sobre piso de concreto em local coberto, ou seja, livre de interpéries. O assentamento dos blocos foi realizado com argamassa polímerica e as mini paredes finalizadas apresentaram dimensões de 60 x 60 cm cada.

O chapisco realizado em todas as mini paredes teve traço de 1:3 (cimento e areia), foi aplicado com mão de obra especializada e com o auxílio de equipamento mecânico para chapisco, afim de diminuir a influência do operador. O tempo de cura do chapisco foi de vinte e oito dias.

O revestimento de argamassa foi utilizado como acabamento final. Em cada mini parede, utilizou-se diferente teores de substituição de areia por residuo de pneu, conforme demostrado no quadro 1.

Quadro 1 – Traços utilizados

Cimento:Cal:Agregado	Areia Natural	Resíduo
1;2;9	100,0%	0,0%
1;2;9	96,0%	4,0%
1;2;9	95,5%	4,5%
1;2;9	95,0%	5,0%

Os ensaios de caracterização dos agregados e análise da argamassa no estado endurecido estão demonstrados na figura 2.

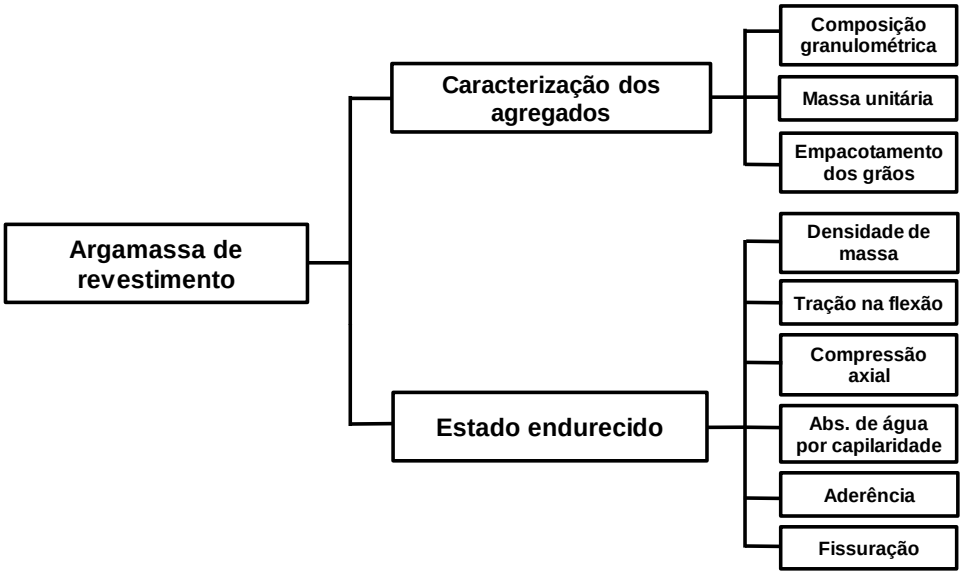


Figura 2 – Fluxograma dos ensaios realizados

3.2.1. Composição Granulométrica

O ensaio de composição granulométrica da areia natural e do resíduo de pneu foi realizado conforme NBR 248 (ABNT, 2003).

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2.2 Massa Unitária

Os ensaios de massa unitária da areia natural e do resíduo de pneu seguiram a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006), adotando o método C. Houve adaptação de recipiente de ensaio, utilizou-se um cubo vítreo de dimensão 10,8 cm x 10,8 cm, com altura de 11,64 cm, resultando em um volume de 1357,69 cm³ .

3.2.3 Empacotamento dos Grãos

O ensaio de empacotamento dos grãos baseou-se no ensaio de massa unitária, conforme NBR NM 45 (ABNT, 2006). Este ensaio foi realizado para quantificar os espaços vazios que ocorrem na composição dos traços em estudo. Portanto, afim de encontrar o melhor arrajo entre os grãos com o menor índice de vazios realizou-se o ensaio de empacotamento entre a areia natural e o resíduo de pneu, ressaltando que para substituição de resíduo de pneu por areia natural foram levadas em consideração o volume de cada material.

3.2.4 Densidade de massa

O ensaio de densidade de massa foi realizado após os vinte e oito dias de cura dos corpos de prova, seguindo as prescrições da NBR 13280 (ABNT, 2005), visto que para cada traço foram moldados seis corpos de prova.

3.2.5 Tração na flexão

O ensaio de resistência a tração na flexão foi executado conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Para a realização do ensaio foram utilizados três corpos de prova para cada traço. O precedimento aconteceu após vinte oito dias de cura, com tolerância de oito horas, em conformidade com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005).

3.2.6 Compressão axial

Para a determinação de resistência à compressão axial o ensaio foi realizado de acordo com as pescrições da NBR 13279 (ABNT, 2005). Deste modo, foram utilizados seis corpos de prova de cada traço.

3.2.7 Absorção de água por capilaridade

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade foram utilizados três corpos de prova de cada traço realizado conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005).

3.2.8 Resistência de aderência a tração

O ensaio de resistência à tração foi executado de acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010). O equipamento utilizado no ensaio de tração foi do tipo digital da marca DeFelsko e modelo Positest AT-A, com taxa de carregamento de aproximadamente 50 N/s.

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2.9 Fissuração

Para análise de fissuração foi utilizado o método proposto por Arnold (2011). As fissuras foram medidas linearmente as 24 horas, aos três, sete, quatorze, vinte e um e aos vinte e oito dias de idade. Além disso, após os vinte e oito dias as fissuras foram analisadas quanto à espessura, avaliando o metro linear das mesmas pela metragem quadrada de parede.

4. Resultados

Nesse item serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados e dos ensaios no estado endurecido das argamassas de revestimento.

4.1 Composição Granulométrica

Após analisar a composição granulometrica da areia natural e do resíduo de pneu (figura 3), percebe-se que a maior parte das partículas de resíduo ficaram retidas na peneira de abertura 1,2 mm, enquanto as de areia ficaram na 0,3 mm. Conforme já constatado por Boukour (2016), que utilizou resíduo de borracha em comparação com a distribuição granulometrica da areia, verifiando que os grãos de areia natural ficaram retidos nas malhas inferiores e do resíduo nas malhas superiores. Arnold (2011) relaciona esse resultado com a forma das partículas, já que a areia natural apresenta grãos mais arredondados (figura 4) e passa mais facilmente pelas peneiras. Enquanto se constatou que os grãos de pneu são mais lamelares.

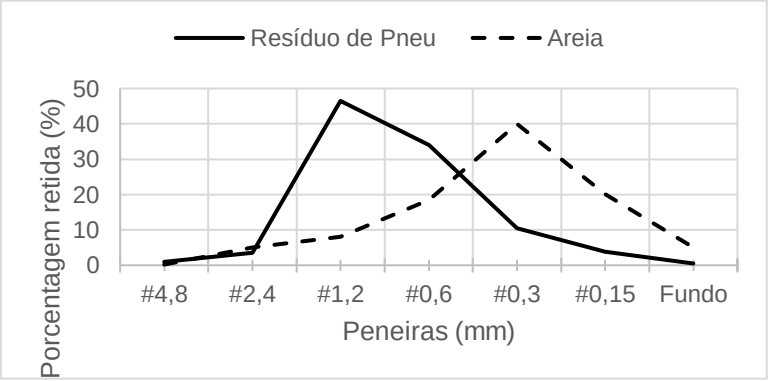


Figura 3 – Gráfico composição granulometrica areia natural e resíduo de pneu

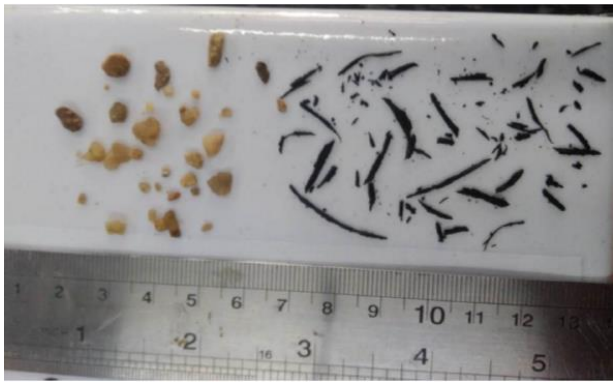


Figura 4 – Forma dos grãos de areia natural e resíduo de pneu

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.2 Massa Unitária

Após análise dos resultados, verificou-se que a areia natural apresenta maior massa unitária quando comparada ao resíduo de pneu (quadro 2), como já verificado por Arnold *et al*. (2015) e por Canova (2007). Comprovando a interferêcia da forma do grão, por ser mais lamelar gerou maior quantidade de espaços vazios, diminuindo a massa unitária.

Quadro 2 – Massa unitária da areia natural e do resíduo de pneu

Agregados	Massa Unitária (kg/m³)
Areia Natural	1615,96
Resíduo de Pneu	422,31

4.3 Empacotamento dos Grãos

Verificou-se o melhor empacotamento dos grãos na substituição de 4,5 % de areia por resíduo de pneu, obtendo-se um melhor preenchimento dos vazios nesta mistura (quadro 3). Contudo, constatou-se que houve uma queda de massa ao incorporar o resíduo, em comparação com a massa unitária da areia, pois o resíduo possui grãos mais lamenares, proporcionando uma maior incorporação de ar a mistura.

Quadro 3 – Empacotamento dos grãos da areia natural e do resíduo de pneu

Traços	Empacotamento (kg/m³)
4%	1532,36
4,5%	1570,31
5%	1560,1

4.4 Densidade de Massa

Ao analisar os resultados de densidade de massa no estado endurecido, verificou-se que houve uma tendência a queda da densidade de massa ao passo em que se substititui a areia pelo resíduo de pneu (figura 5), conforme já constatado por Kong *et al*. (2015) e Pinto *et al*. (2016) que utilizou resíduo de borracha oriundo de pneus em três granulometrias diferentes na incorporação em uma argamassa de revestimento nos teores de 4% e 10%. Comprovando a influência do formato do grão neste ensaio.

Os traços com a incorporação de 4,5% e 5 % de resíduo apresentam resultados similares, concluindo-se que nesses traços tende a ocorrer uma estabilização das massas. Ressalta-se a influência da composição granulometrica, conforme Nacif *et al*. (2012) e Angelin *et al*. (2015) relataram em seus estudos que quanto mais agregados finos na mistura, menor a densidade de massa. Angelin *et al*. (2015) também constatou que ao se adicionar borracha oriunda de pneu nas argamassas sua densidade de massa diminui por conta da sua menor massa unitária quando comparada a areia, fato também confirmado no presente estudo.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Então, conclui-se que quanto mais arredondados forem os grãos, maior será sua massa unitária e consequenemente, maior a densidade de massa.

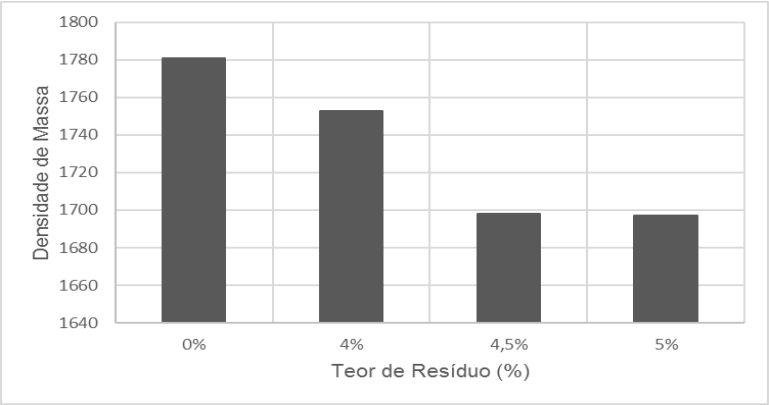


Figura 5 – Gráfico composição granulometrica areia natural e resíduo de pneu

Todas as argamassas estão classificadas como M5 > 1600 e <2000 kg/m³ de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) quanto a densidade de massa.

4.5 Resistência a Tração na Flexão

Nos resultados de resistência à tração na flexão percebeu-se melhora significativa na resistência ao se aumentar o teor de resíduo de pneu (figura 6). Este fato se deve pelo formato e características dos grãos de resíduo de pneu. O formato lamelar e o grau de elasticidade podem ter-se comportado como uma fibra, melhorando as características da argamassa em relação ao traço referência no ensaio de tração na flexão. Contudo, em estudos como o de Oikonomou *et al*. (2009), Boukour *et al*. (2016) e Nehdi *et al*. (2001), onde utilizaram resíduo de pneu na forma granular a resistência a tração na flexão sofreu uma queda ao passo em que se aumentou o teor de resíduo. O que indica que o formato do grão está diretamente ligado à sua funcionalidade.

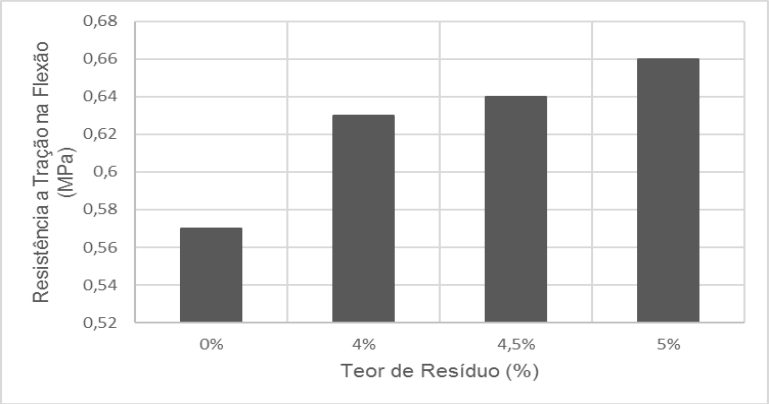


Figura 6 – Gráfico resistência a tração na flexão

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quanto a resistência a tração na flexão, todas as argamassas se classificaram como R1(<1,5 MPa) conforme NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.6 Resistência à Compressão

Nos ensaios de resistência à compressão, notou-se uma tendência ao aumento da resistência ao passo em que se incorpora o resíduo de pneu, com exceção do traço com 4,5% de resíduo no qual a resistência sofreu uma queda (figura 7). Essa queda de resistência pode ter ocorrido em função dos defeitos do corpo de prova que foram ensaiados, pois no ensaio de resistência à tração este traço apresentou valores superiores ao traço sem incorporação de resíduo.

Porém, em estudos como o de Canova *et al* (2007), Pinto *et al* (2016) e Boukour *et al* (2016) ao adicionarem resíduo de pneu na argamassa os autores verificaram um decréscimo na resistência a comprexão axial. Contudo, ressalta-se que todos os autores citados utilizaram teores de resíduos superiores aos utilizadados e grãos com formas diferentes ao adotados neste trabalho.

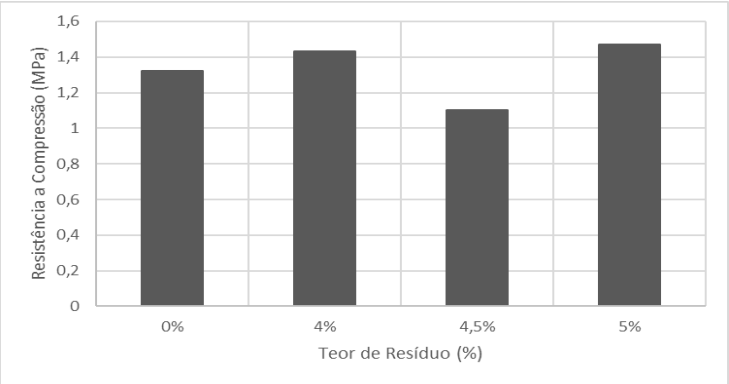


Figura 7 – Gráfico resistência a compressão

A classificação de todas as argamassas quanto a resistência à compressão é de P1 (<2,0 MPa) conforme NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.7 Absorção de água por capilaridade

No quadro 4 apresentam-se os resultados da absorção de água por capilaridade encontrados a partir da equação estabelecida pela NBR 15259 (ABNT,2005), sendo A10 referente ao tempo de 10 minutos e A90 referente ao tempo de 90 minutos.

Verifica-se que a absorção de água do corpo de prova diminui ao passo em que se aumenta o teor de rejeito, ou seja, quanto mais resíduo é substituído na composição da argamassa, mais impermeável esta fica, conforme já constatado por Boukour (2016), onde o autor explica esse resultado pelo fato da borracha ser hidrofóbica. O coeficiente de capilaridade diminui ao aumentar a porcentagem de resíduo incorporado. Pode-se perceber que no traço sem incorporação de resíduo a argamassa fica mais suscetível a absorção de água por capilaridade.

ISBN: 978-85-65425-32-2

O responsável pela obstrução dos poros capilares do corpo de prova, é o resíduo de pneu que possui formato de grão lamelar, criando obstáculos para a passagem de água, bem como o traço com incorporação de resíduo possuem um melhor empacotamento entre os grãos, diminuindo assim os vazios que possibilitam a permeabilidade da água pela argamassa de revestimento.

Quadro 4 – Resultados de absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Traço	A_9	A_{10}	Coeficiente de Capilaridade
0%	0,56 g	1,68 g	1,1
4%	0,45 g	1,24 g	0,8
4,5%	0,40 g	1,13 g	0,7
5%	0,42 g	1,14 g	0,7

Todas as argamassas se classificaram como C1 <1,5 g/dm².min$^{1/2}$ conforme NBR 13281 (ABNT, 2005) quanto ao coeficiente de capilaridade.

4.8 Resistência de aderência à tração

Nas argamassas sem resíduo e no teor de 4,5% a ruptura foi do tipo D (ruptura na interface chapisco/argamassa), já nos teores de 4% e 5% a ruptura foi do tipo E (ruptura na argamassa), conforme quadro 5 e figura 9.

Quadro 5 – Resultados de aderência a tração

Traço	Resistência (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Classificação NBR 13281:2005
0%	0,2	0,06	D
4%	0,2	0,08	E
4,5%	0,21	0,04	D
5%	0,23	0,08	E

Figura 9 – Ruptura na argamassa e na interface chapisco/argamasssa

ISBN: 978-85-65425-32-2

Verificou-se que o traço com substituição de areia natural por resíduo de pneu em 5% apresentou resistência mais elevada em comparação aos demais, isso ocorreu devido as propriedades elásticas do rejeito, comprovada no ensaio de resistência à tração na flexão.

Analisando as formas predominantes de rompimento em cada traço, percebeu-se que o traço sem resíduo e o traço de 4,5% possuem sua incidência de ruptura na interface da argamassa com chapisco, enquanto que os traços de 4% e 5% apresentam ruptura na argamassa, o que indica nestes traços maior fragilidade do revestimento.

Nos resultados de resistência de aderência à tração, verificou-se que quanto mais resíduo de pneu é incorporado à mistura maior a resistência, porém quanto mais elevado o teor de substituição na argamassa maior a fragilidade da mesma quando comparada a forma de ruptura. Deste modo, considerado a forma de ruptura e a resistência de aderência à tração o traço que apresenta melhores resultados é com substituição de 4,5% de areia natural pelo resíduo de pneu.

Canova *et al* (2007), utilizou resíduo de pneu com dimensão máxima de 5 mm incorporado na argamassa e encontrou um leve acréscimo na resistência de aderência a tração ao passo em que se adicionou o resíduo na mistura. Já Massolla *et al* (2012), obteve um decréscimo no valor de aderência a tração ao passo em que se aumentou o teor de resíduo de borracha, porém ressalta-se que os autores utilizaram teores de resíduos superiores aos substituídos no presente estudo e foram utilizados na dimensão máxima de 2 mm.

4.9 Análise de Fissuração

Ao analisar as mini paredes, percebeu-se que o traço de 4,5% apresentou menor comprimento de fissuras e abertura máxima igual ao traço referência (figuras 10 e 11). Enquanto que os demais traços com substituição apresentaram índices maiores de fissuração (comprimento e abertura). As aberturas e os comprimentos verificados estão expressos no quadro 6. Os resultados encontrados neste ensaio e no ensaio de resistência de aderência à tração comprovam a qualidade do ensaio de empacotamento dos grãos, demonstrando que quanto melhor for o arranjo entre as partículas, estas tendem a formar uma maior coesão no revestimento.

Quadro 6 – Resultados de abertura máxima e comprimento das fissuras

	Abertura Máxima	**Comprimento de fissura (m)**	
	Máx. (mm)	**Área (m²)**	**Total**
0%	0,2	0,72	0,99
4%	0,3	0,72	1,7
4,5%	0,2	0,72	0,78
5%	0,4	0,72	2,18

ISBN: 978-85-65425-32-2

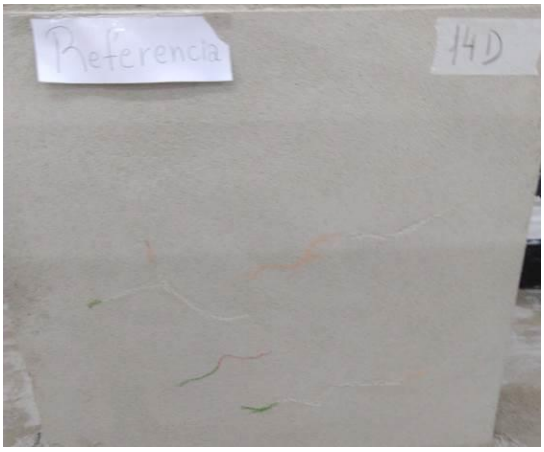


Figura 10 – Fissuração no revestimento referência aos 14 dias

Figura 11 – Fissuração no revestimento com substituição de 4,5% aos 21 dias

di (2001) e Canova (2015), concluíram que ao adicionar resíduo de pneu à argamassa, ocorre a redução da fissuração, conforme ocorreu no presente estudo, pois o resíduo de borracha suporta grandes deformações de tensão, atuando como molas, diminuindo o aumento das fissuras e impedindo a desintegração total do revestimento. Neste trabalho verificou-se que a forma do grão e resíduo, bem como o melhor empacotamento, atuam suportando e distribuindo uniformemente as tensões que o revestimento recebe, de maneira que impediu ou diminuiu o aparecimento das fissuras.

5. Conclusões

Nos ensaios de caracterização dos agregados foram encontradas diferenças quanto a granulometria e massa unitária dos mesmos. Sendo que o resíduo de pneu ficou retido em maior número nas peneiras inferiores enquanto que a areia ficou nas superiores, fato que está relacionado com a forma do grão. O traço que apresentou melhor empacotamento entre os materiais foi o de 4,5%. No ensaio de massa unitária percebeu-se que o resíduo

ISBN: 978-85-65425-32-2

era mais leve que a areia natural, o que proporcionaria uma menor densidade de massa e maior incorporação ar.

A argamassa no estado endurecido apresentou menor densidade de massa ao passo que se adicionou resíduo de pneu na mistura. Já no ensaio de resistência à tração na flexão obteve-se resultados mais elevados conforme aumento da substituição de areia pelo rejeito, bem como a resistência à compressão axial que aumentou ao se incorporar o resíduo. Quanto à absorção de água por capilaridade, percebe-se que o traço que obteve menor absorção e baixo coeficiente de capilaridade simultaneamente foi o de 4,5%.

Quanto ao ensaio de resistência a aderência, analisando a forma de ruptura e a resistência, o traço que obteve melhor desempenho foi de 4,5%, resultados estes que estão diretamente ligados a forma do grão e as propriedades elásticas do pneu. Bem como verificou-se neste traço o menor comprimento e abertura de fissura igual ao referência, a fissuração tende a diminuir pela elasticidade e forma do grão do resíduo.

Com os ensaios realizados foi possível observar que a substituição no teor de 4,5% possui melhor desempenho frente aos demais traços estudados, com exceção de sua resistência mecânica obtida no ensaio de compressão axial.

Desta forma, é possível concluir que há viabilidade na substituição parcial de areia natural por resíduo de pneu no teor de 4,5%, tendo em vista a melhora em relação aos ensaios realizados. Porém, ressalta-se a necessidade de maiores pesquisas a fim de caracterizar as reais influências desse resíduo quanto a fissuração e durabilidade da argamassa.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 13279: 2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. ABNT. NBR 13280: 2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____. ABNT. NBR 13281: 2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. ABNT. NBR 13528: 2010. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência a aderência a tração. Rio de Janeiro, 2005.

_____. ABNT. NBR 15259: 2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. ABNT. NBR 248: 2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ISBN: 978-85-65425-32-2

_____. ABNT. NBR NM 45: 2006. Agregados - Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. ABNT. NBR 9778: 1987. Argamassa e Concreto endurecidos- Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

ALVES, M. K. (2016). Industrialização na construção civil: análise da possibilidade de adoção de ações de um programa de desenvolvimento tecnológico europeu na construção civil brasileira. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2016.

ANGELIN, A. F.; ANDRADE, M. F. F.; BONATTI, R.; LINTZ, R. C. C.; GACHET- BARBOSA, L. A.; OSÓRIO, W. R. (2015). Effects of spheroid and fiber-like waste-tire rubbers on interrelation of strength-to-porosity in rubberized cement and mortars. Journal Construction and Building Materials. Volume 95. Outubro, 2015.

ARNOLD, D. C. M. (2011). Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Dissertação de Mestrado. São Leopoldo, 2011.

ARNOLD, D. C. M.; SILVA, A. T.; SILVA, A. V.; KAISER, A. A.; ROSA, J. S. (2015). Utilização de resíduos de pneus em argamassa para revestimento. In Latin American and European Conference on Sustainable Bulldings and Communities. Guimarães, 2015.

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP). Produção e vendas 2016. Disponível em < http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2017.

BOUKOUR, S., BENMALEK, M.L. (2016). Performance evaluation of a resinous cement mortar modified with crushed clay brick and tire rubber aggregate. Journal Construction and Building Materials. Volume 120. Setembro, 2016.

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; NETO, G. de A. (2007). A utilização de resíduos de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. Journal Technology Acta Scientiarum. Volume 29. 2007.

CANOVA, J. A.; NETO, G. de A.; BERGAMASCO, R. (2015). Dry ripened mortar with quarry waste and rubber powder from unserviceable tires. Journal Technology Acta Scientiarum. Volume 37. Janeiro, 2015.

CENK, K. (2014). Microstructure properties of waste tire rubber composites: an overview. Journal of Material Cycles Waste Management. Volume 17. Julho 2015.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n°258 - 1999. Disponível em < http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030342.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2017.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (inmetro) - 2006. Procedimento de Fiscalização – Pneus Reformados. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/fiscalizacao/treinamento/pneus_reformados.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2017.

KONG, X.; LIU, H.; LU, Z. B.; WANG, D. M. (2015). The influence of silanes on hydration and strength development of cementitious systems. Journal Cement and Concrete Research. Volume 67. Janeiro, 2015.

MASSOLLA, D. A. O.; SÁ, M. R. T.; VALLE, R. M.; BASTOS, P. K. (2012). Estudo do Uso de Resíduo de Borracha Proveniente da Recauchutagem de Pneus em Argamassas de Revestimento. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de fora. Outubro, 2012.

Na, O.; Xi, Y. (2017). Mechanical and durability properties of insulation mortar with rubber powder from waste tires. Journal of Material Cycles Waste Management. Volume 19. Abril, 2017.

NACIF, G. L.; PANZERA, T. H.; STRECKER, K.; CHRISTOFORO, A. L.; PAINE, K. (2013). Investigations on Cementitious Composites Based on Rubber Particle Waste Additions. Journal Materials Research. Volume 16. Agosto, 2012.

NEHDI, M., KHAN, A. (2001). Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications. Journal Cement Concrete and Aggregates. Volume 23. Junho, 2001.

OIKONOMOU, N., MAVRIDOU, S. (2009). Improvement of chloride ion penetration resistance in cement mortars modified with rubber from worn automobile tires. Journal Cement & Concrete Composites. Volume 31. Abril, 2009.

PEDRO, D.; BRITO, J.; VEIGA, R. (2013). Mortars Made with Fine Granulate from Shredded Tires. Journal of Materials in Civil Engineering. Volume 25. Abril 2013.

PINTO, N. A., FIORITI, C. F. (2016). Avaliação de argamassas mistas de revestimento produzidas com borracha de pneus. Revista Tecno-lógica. Volume 20. Dezembro, 2016.

SAYEGH, R. M. (2014). Estudo do Reaproveitamento de Resíduos de Borracha Provenientes do Processo de Recapagem de Pneus. Universidade Federal de Santa Catarina. Monografia (Engenharia de Transportes e Logística). Joinville, 2014.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

INFLUÊNCIA DA ADERÊNCIA GRAUTE/ BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONJUNTO

Influence Of Grout Adhesion/ Structural Ceramic Block On The Mechanical Strength Of The Set

Leonel GUARNIERI[1], **Carlos** PÉREZ BERGMANN[2], **Luiz** CARLOS PINTO DA SILVA FILHO[3]

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGE3M, Porto Alegre, Brasil, leonelguarnieri@hotmail.com
[2] Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGE3M, Porto Alegre, Brasil, bergmann@ufgrs.br
[3] Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGCI, Porto Alegre, Brasil, lcarlos66@gmail.com

Resumo: A alvenaria estrutural desenvolveu-se desde a década de 1960 e, atualmente, é um sistema construtivo eficiente para a construção contemporânea de edificíos, atingindo alturas de até 20 pavimentos. Para aumentar a capacidade de absorção de esforços de compressão e tração, barras de aço são inseridas nos vazados dos blocos e consolidadas com graute, formando um único elemento. Pesquisas identificaram que a aderência graute/ bloco cerâmico é muito baixa, quando as amostram são submetidas a esforços de compressão (*push-out*) e tração (*pull-out*), acarretando no escorregamento do graute e consequente limitação estrutural do conjunto. A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) não especifica um valor de resistência característica de aderência entre graute e bloco cerâmico, somente entre barras de aço e graute. Frente a esta constatação, a presente pesquisa tem o objetivo de complementar o estudo sobre o comportamento de ruptura do conjunto formado pelos elementos bloco cerâmico estrutural e graute, quando submetidos à compressão axial. Também objetiva avaliar a influência da aderência graute/ bloco cerâmico na resistência mecânica, a fim de contribuir com informações para a NBR 15812-1 (ABNT, 2010). Para desenvolvimento da pesquisa, inicialmente foi realizada a caracterização dos materiais e, posteriormente, realizados ensaios de *push-out*, compressão de blocos preenchidos com graute e microscopia óptica. As amostras foram constituídas de blocos cerâmicos com resistência mecânica à compressão de 7, 10, 15 e 18 MPa, preenchidos com graute de resistência à compressão estimada em 30 MPa. Os resultados indicam que a aderência graute/ bloco cerâmico é maior que a resistência mecânica à tração e que a ruptura do conjunto ocorrerá por tração do bloco, não por falta de aderência.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Bloco cerâmico. Graute. *Push-out*. Aderência.

Abstract: The structural masonry has developed since the 1960s and is currently an efficient building system for the contemporary buildings construction, reaching heights of up to 20 floors. In order to increase the absorption capacity of compression and tensile forces, steel bars are inserted inside of the blocks on the vertical holes and filled with grout forming, becoming a single element. Researches had identified that the adhesion grout/ ceramic block is very low, when the samples were submitted to push-out and pull-out test, leading to sliding of the grout and consequent structural limitation of the set. The NBR 15812-1 (ABNT, 2010) doesn't specify a characteristic strength of adhesion between grout and ceramic

block, only between steel bars and grout. Against this background, the present research has the mind of complementing the study on the rupture behavior of the set formed by the structural ceramic block elements and grout when submitted to axial compression. Also to evaluate the influence of adhesion grout/ ceramic block on mechanical resistance, in order to contribute with information to NBR 15812-1 (ABNT, 2010). For the research development, first was carried out the material characterization, after that the push-out test, compression of the blocks filled with grout and the optical microscopy. The samples were composed of ceramic blocks with compressive strength of 7, 10, 15 and 18 MPa, filled with grout with estimated compressive strength of 30 MPa. The results indicate that the grout/ ceramic block adhesion is greater than the mechanical tensile strength and that the rupture of the joint will happen by tensile of the block and not by lack of adhesion.

Keywords: Structural masonry. Ceramic block. Grout. Push-out test. Adherence.

1. Introdução

No Brasil, construções em alvenaria estrutural tiveram início na década de 1960. Porém somente no final da década de 1980 e início de 1990, o sistema ganhou força através de parcerias com universidades e empresas, que proporcionaram pesquisas e criações de materiais e equipamentos. A partir desse momento, pode-se dizer que o conceito de alvenaria estrutural, dimensionada a partir de conceitos técnicos e detalhada de forma racional, substituiu a estrutura de alvenaria, que era construída com blocos maciços e de forma empírica. Desde então, as significantes melhorias nos materiais e os avanços na produção de blocos, métodos de cálculo e técnicas construtivas, contribuíram para que a alvenaria estrutural fosse reconhecida como uma solução economicamente eficiente para a construção contemporânea de edifícios, visto que blocos de alta resistência, argamassas e grautes industrializados são, hoje, disponíveis e contribuem para o aumento do desempenho e produtividade (PARSEKIAN *et al*., 2013).

De acordo com a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), o sistema de alvenaria estrutural é basicamente composto pelos elementos bloco, argamassa, graute e armadura. Sendo a armadura inserida nos vazados dos blocos e consolidada com graute, a fim de proporcionar maior rigidez e absorver os esforços de tração e compressão das paredes (PARSEKIAN *et al*., 2013). Portanto, o conhecimento das interações entre esses elementos é necessário para entender o funcionamento do sistema e, consequentemente, reconhecer algumas limitações, pois seu comportamento depende não somente da qualidade de cada elemento empregado, mas também das interações físico-químicas que se processam entre eles (MOHAMAD *et al*., 2011).

Pesquisas foram realizadas para compreender a influência do graute na alvenaria estrutural, mas poucos pesquisadores estudaram a influência da aderência graute/ bloco cerâmico na resistência mecânica do conjunto. Dentre os trabalhos, no Brasil, que estudaram a influência do graute na alvenaria estrutural pode-se destacar MENDES (1998), GARCIA (2000), CARVALHO (2003), GROHMANN (2006), MOHAMAD (2011), RIZZATI (2012), CAMACHO (2015), IZQUIERDO (2015) e FISHER (2016). No exterior, são importantes os trabalhos de HILSDORF (1969), HAMID & DRYSDALE (1979), SORIC & TULIN (1987), NAWAWY & HADDAD (1990) e HAMID & CHANDRAKEERTHY (1992). Na

ISBN: 978-85-65425-32-2

pesquisa realizada por TULIN & SORIC (1987), estudou-se a aderência entre graute e blocos de concreto estrutural. Já nas pesquisas realizadas por IZQUIERDO (2015) e FISHER (2016), foi estudada a aderência entre graute e bloco cerâmico estrutural.

Em virtude da grande variabilidade de blocos e grautes, esclarecimentos a respeito do tema são fundamentais para conhecer as interações entre os elementos constituintes da alvenaria estrutural com blocos cerâmicos e, consequentemente, complementar informações técnicas. A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) recomenda que a influência do graute na resistência da alvenaria seja verificada em laboratório, mediante o emprego de ensaios de compressão de prismas, grauteados e argamassados nas condições empregadas na obra. No entanto, não especifica um valor de resistência característica de aderência entre bloco e graute, somente entre aço, argamassa e graute.

O principal objetivo estabelecido para a pesquisa é complementar o estudo sobre o comportamento de ruptura do conjunto formado pelos elementos bloco cerâmico estrutural e graute quando submetidos à compressão axial, bem como avaliar a influência da aderência graute/ bloco no desempenho e resistência mecânica do conjunto, a fim de determinar um valor característico que possa contribuir com a NBR 15812-1 (ABNT, 2010).

Para desenvolvimento da pesquisa foram realizados ensaios de *push-out* em amostras constituídas de blocos cerâmicos do tipo meio bloco, com dimensões de 140 x 140 x 190 mm, com resistência à compressão (fb) de 7, 10, 15 e 18 MPa e vazados preenchidos com graute de resistência à compressão (fc) de 30 MPa. Optou-se pela utilização do meio bloco por proporcionar maior facilidade de uso e segurança durante o rompimento das amostras na prensa. Também decidiu-se por amostras formadas pelo conjunto dos elementos bloco e graute, e não por prismas, a fim de isolar a variável argamassa.

2. Materiais

2.1 Caracterização dos blocos

Os blocos cerâmicos estruturais utilizados na pesquisa foram fornecidos pela empresa Pauluzzi Produtos Cerâmicos. Os blocos são produzidos com uma composição de três tipos de argila, e a densidade desta mistura de argilas é de, aproximadamente, 1,8 g/cm³. O processo de fabricação ocorre através de extrusão, secagem e queima, a uma temperatura de, aproximadamente, 900°C. Na Figura 1, são apresentados os quatro tipos de blocos utilizados na pesquisa, onde se verificam as diferentes configurações entre eles.

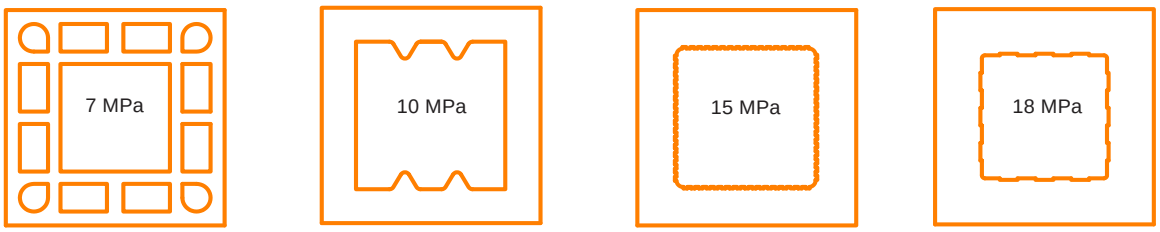


Figura 1 – Tipos de blocos utilizados na pesquisa

ISBN: 978-85-65425-32-2

As caracterizações geométricas, físicas e mecânicas foram realizadas conforme preconizado pelas normas NBR 15270-3 (ABNT, 2005) e ASTM C 1006 (2013). A resistência à compressão foi determinada levando em consideração a área bruta das treze amostras de blocos. No Quadro 1, são apresentadas as médias de resistências à compressão (fb médio) em megapasgals, onde, posteriormente, calculou-se o desvio padrão, o coeficiente de variação e a resistência característica estimada (fbk, est), em megapascals.

Quadro 1 – Resistência à compressão característica dos blocos

Tipos de blocos	fb médio (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação	fbk, est (MPa)
7 MPa	13,29	1,71	12,87%	9,80
10 MPa	13,90	2,80	20,13%	10,1
15 MPa	24,66	4,30	17,45%	17,8
18 MPa	23,29	3,21	13,76%	18,9

No Quadro 2, são apesentados os resultados da resistência à tração por fendilhamento (ft), preconizada pela norma ASTM C 1006 (2013). Foram rompidas seis amostras para cada tipo de bloco e, posteriormente, calculou-se a tensão média de tração (ft médio) em megapascals, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o percentual de relação entre ft e fbk, est.

Quadro 2 – Resistência à tração por fendilhamento dos blocos

Tipos de blocos	ft médio (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Tração em relação ao fbk, est
7 MPa	0,25	0,04	19,13%	2,55%
10 MPa	0,44	0,11	26,95%	4,36%
15 MPa	0,60	0,12	20,64%	3,37%
18 MPa	0,62	0,12	19,57%	3,28%

Conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), o índice de absorção inicial d`água determina a quantidade de água que o bloco cerâmico absorve da argamassa de assentamento ou revestimento em um minuto. Quando o índice de absorção d`água inicial (AAI) resulta superior a 30 (g/193,55 cm²) / min, os blocos devem ser umedecidos antes do assentamento ou da aplicação do revestimento, a fim de evitar a retirada de água da argamassa e, consequentemente, diminuir sua resistência mecânica. Esse ensaio também pode ser extrapolado para o graute, visto que a retirada de água em excesso irá prejudicar a aderência ao bloco, bem como afetará a resistência mecânica. Portanto, para realização desse ensaio, foi levada em conta a área da face externa dos blocos, na qual aplica-se o

ISBN: 978-85-65425-32-2

revestimento, e considerou-se que a absorção da face interna (vazado do bloco) é a mesma da face externa. No Quadro 3, são apresentados os resultados do AAI, bem como da área líquida (Aliq), e o índice de absorção total (AA).

Quadro 3 – Caracterização física e geométrica dos blocos

AMOSTRAS DE BLOCOS	Índice de absorção d`água (AA)	Índice de absorção inicial - AAI (g)	Ab média (cm²)	Aliq média (cm²)
7 MPa	13,00%	18	194,3	91,0
10 MPa	10,90%	18	193,5	97,8
15 MPa	11,40%	23	196,0	103,6
18 MPa	10,70%	21	195,3	121,1

2.2 Caracterização do cimento

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI-RS). Esse cimento foi escolhido por apresentar o menor teor de adições em sua composição, obtendo as características físicas desejáveis (hidratação e resistência à compressão), além de ser o cimento disponível para pesquisas no laboratório. Os ensaios químicos para o cimento utilizado, de acordo com informações do fabricante em relação ao lote utilizado, podem ser visualizados na Quadro 4. A caracterização física está apresentada na Quadro 5, e a caracterização mecânica está apresentada no Quadro 6.

Quadro 4 – Caracterização química do cimento

Ensaios	Metodologia	Unidade	Resultado	Exigência
Resíduo Insolúvel - RI	NBR NM 15 (ABNT, 2012)	%	1,00	não aplicável
Perda ao Fogo – PF	NBR NM 18 (ABNT, 2012)	%	3,99	≤ 4,5
Óxido de Magnésio – MgO	NBR NM 14 (ABNT, 2012)	%	1,77	≤ 6,5
Trióxido de Enxofre - SO3	NBR NM 16 (ABNT, 2012)	%	2,64	≤ 4,5
Anidrido Carbônico - CO2	NBR NM 20 (ABNT, 2012)	%	2,65	≤ 3,0

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 5 – Caracterização física do cimento

Ensaios	Metodologia	Unidade	Resultado	Exigência
Área Específica (Blaine)	NBR NM 76 (ABNT, 1998)	cm²/g	4.612	≥ 3.000
Massa Específica	NBR NM 23 (ABNT, 2001)	g/cm³	3,01	não aplicável
Índice de finura - # 75 µm (nº 200)	NBR 11579(ABNT, 2013)	%	0,01	≤ 6,0
Resíduo na peneira #325	NBR 9202 (ABNT, 1985)	%	0,46	não aplicável
Água de consistência normal	NBR NM 43 (ABNT, 2003)	%	30,1	não aplicável
Início de Pega	NBR NM 65 (ABNT, 2003)	minutos	164	≥ 60
Fim de Pega		minutos	223	≤ 600
Expansibilidade à quente	NBR 11582(ABNT, 2012)	mm	0,00	≤ 5,0

Quadro 6 – Caracterização mecânica do cimento

Ensaios	Metodologia	Unidade	Desvio padrão	Resultado	Exigência
Resistência à compressão – 1 dia	NBR 7215 (ABNT, 1996)	MPa	0,59	22,8	11,0
Resistência à compressão – 3 dias			1,93	36,3	24,0
Resistência à compressão – 7 dias			2,71	45,7	34,0
Resistência à compressão – 28 dias			2,26	55,0	não aplicável

2.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média proveniente do Rio Jacuí, com origem quartzosa, que se encontra disponível no mercado local. As características físicas e granulométricas dos agregados miúdos estão expostas no Quadro 7, com o respectivo método de ensaio normatizado.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 7 – Caracterização do agregado miúdo

Característica		Método de ensaio	Areia natural média	
Massa específica (g/cm³)		NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,63	
Dimensão máxima característica (mm)		NBR NM 248, (ABNT, 2009)	2,36	
Módulo de finura		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,40	
Abertura da peneira (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
Distribuição granulométrica	4,75		0,2	0
	2,36		3,8	4
	1,18		10,0	14
	0,60		29,9	44
	0,30		45,3	89
	0,15		0,1	89

2.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi rocha basáltica britada (pedrisco). As características físicas e granulométricas dos agregados graúdos estão expostas no Quadro 8, com o respectivo método de ensaio normatizado.

Quadro 8 – Caracterização do agregado graúdo

Característica	Método de ensaio	Pedrisco	
Massa específica (g/cm³)	NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,80	
Dimensão máxima característica (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	12,50	
Módulo de finura	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	5,56	
Abertura da peneira (mm)			

ISBN: 978-85-65425-32-2

			Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
Distribuição granulométrica	19	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	0,0	0
	12,5		0,4	0
	9,5		10,4	11
	6,3		38,9	50
	4,75		19,5	69
	2,36		19,3	88
	1,18		5,3	94
	0,6		2,5	96
	0,3		2,0	98
	0,15		1,7	100
	0,075		0,1	100

2.5 Graute

O traço do graute, apresentado no Quadro 9, foi o mesmo utilizado por Izquierdo (2015) em sua tese de doutorado, com resistência à compressão estimada de 30 MPa. A escolha desde traço teve como objetivo dar continuidade à linha de pesquisa e obter novos resultados.

Quadro 9 – Traço do graute

fc graute	Cimento	Areia	Pedrisco	Relação a/c
30 MPa	1	1,9	2,21	0,65

A determinação da consistência foi realizada através do abatimento de tronco cone, conforme a NM 67 (ABNT, 1998), e o resultado obtido foi de 230 mm. Para determinar as propriedades mecânicas de resistência à compressão e módulo de elasticidade, foram moldados corpos de prova de 100 x 200 mm, e armazenados em água saturada com cal, conforme preconizado pela NBR 5738 (ABNT, 2015). A resistência à compressão foi determinada através de ensaios realizados aos 28 dias, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). Já o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson do graute foram determinados conforme a NBR 8522 (ABNT, 2008). No Quadro 10, são apresentados os resultados obtidos na caracterização do graute.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 10 – Caracterização do graute.

CP	Média H (mm)	Média ø (mm)	Área (mm²)	Carga (kN)	fc (MPa)	E (GPa)	Poisson
1	187,3	99,7	7806,93	280,2	35,89	31,58	0,22
2	192,2	100,2	7885,43	264,4	33,53	32,01	0,16
3	188,5	99,9	7838,28	245,6	31,33	29,94	0,18
4	187,2	99,7	7806,93	268,2	34,35	29,19	0,22
Média					**33,78**	**30,68**	**0,19**
Desvio padrão					**1,90**	**1,34**	**0,03**
Coeficiente de variação					**5,63%**	**4,35%**	**16,80%**

2.6 Digitalização a laser

Foi realizada a digitalização a laser da superfície dos vazados dos blocos, a fim de determinar com precisão o perímetro do vazado e, consequentemente, definir a área de contato, entre graute e bloco, para cada tipo de amostra. As digitalizações foram realizadas no Laboratório de Design e Seleção de Materiais – LdSM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, através do scanner a laser, modelo Digimill 3D, marca Tecnodrill, com lente de 250 mm e precisão de 0,1 mm em z. A resolução adotada (espaçamento entre os pontos x e y) foi de 0,1 mm, e os dados foram processados no *software* Geomagic Studio. Na Figura 2, são apresentados os resultados da digitalização, bem como o perímetro do vazado de cada tipo de bloco.

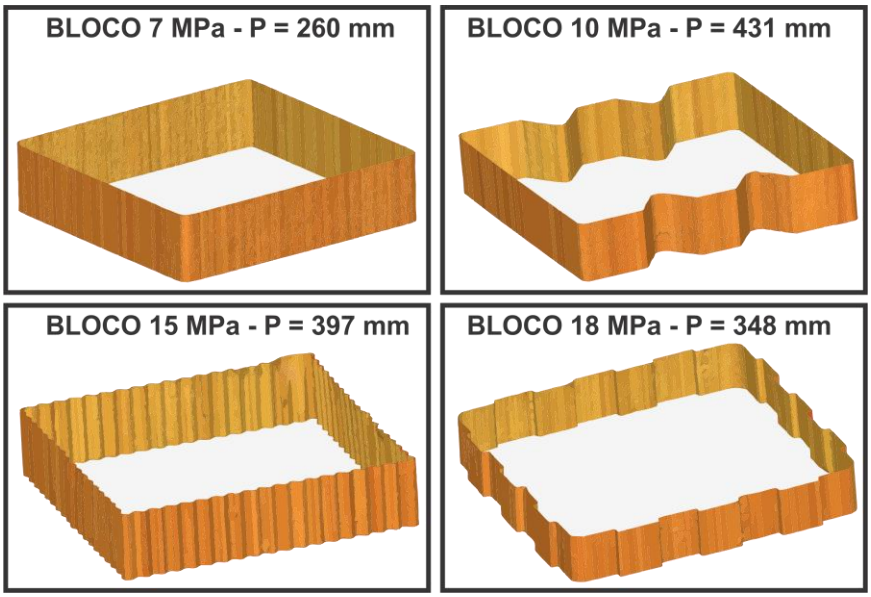


Figura 2 – Digitalização da superfície dos vazados dos blocos

ISBN: 978-85-65425-32-2

3. Método

O programa experimental desenvolveu-se no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e consistiu na realização de ensaios de *push-out*, *push-out* com área de contato reduzida, resistência à compressão dos blocos preenchidos com graute e microscopia óptica. No Quadro 11, são descritos os ensaios realizados no programa experimental e a quantidade de amostras para cada ensaio.

Quadro 11 – Programa experimental

Tipo Ensaios	Bloco 7 MPa	Bloco 10 MPa	Bloco 15 MPa	Bloco18 MPa
Push-out	6	6	6	6
Push-out área de contato reduzida	6	6	6	6
Compressão com bloco cheio	6	6	6	6
Microscopia óptica	1	1	1	1

3.1 *Push-out*

O ensaio de *push-out* objetivou avaliar a tensão de aderência na interface graute/ bloco, através de amostras constituídas de blocos cerâmicos, preenchidos com graute e com enchimento de 8 mm no fundo da amostra para possibilitar o possível escorregamento do graute. O rompimento ocorreu em um equipamento para ensaios universal, marca Shimadzu, modelo UH – F, com capacidade de 2.000 kN. A carga foi aplicada somente nas paredes do bloco, com carregamento contínuo e velocidade de 0,02 mm/s, até ocorrer o escorregamento do graute ou ruptura do conjunto. Na parte superior da amostra, foi utilizada uma chapa de aço para concentrar a força somente na região do graute, gerando um esforço cisalhante entre graute e bloco cerâmico. Na Figura 3, é possível observar um esquema que demostra a configuração das amostras para realização do ensaio.

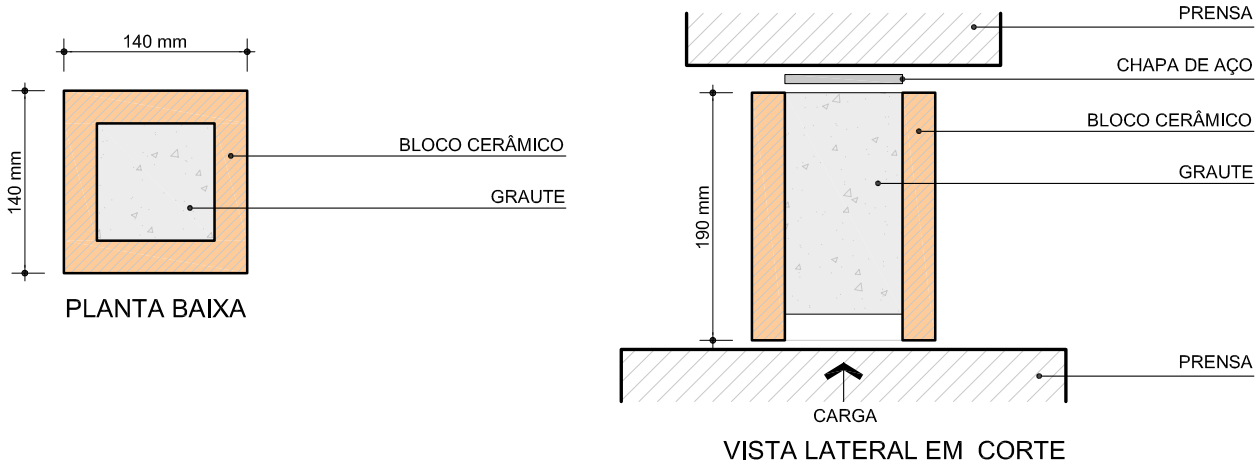


Figura 3 – Esquema com a configuração de moldagem e ensaio das amostras de *push-out*

ISBN: 978-85-65425-32-2

3.2 *Push-out* com área de contato reduzida

O objetivo do ensaio de *push–out* com área de contato reduzida foi obter um valor característico da tensão de aderência entre graute e bloco cerâmico, partindo do princípio de reduzir ao máximo a área de contato entre os elementos e, consequentemente, diminuir a transferência de tensões do graute para o bloco. Para isso, a espessura do graute foi, em média, 20 mm. Através da inserção de chapas de acrílico, foi possível limitar o contato para somente duas laterais do vazado do bloco. O rompimento das amostras deu-se pelo mesmo procedimento adotado no *push-out.* Na Figura 4, observa-se um esquema que demonstra a configuração de moldagem das amostras.

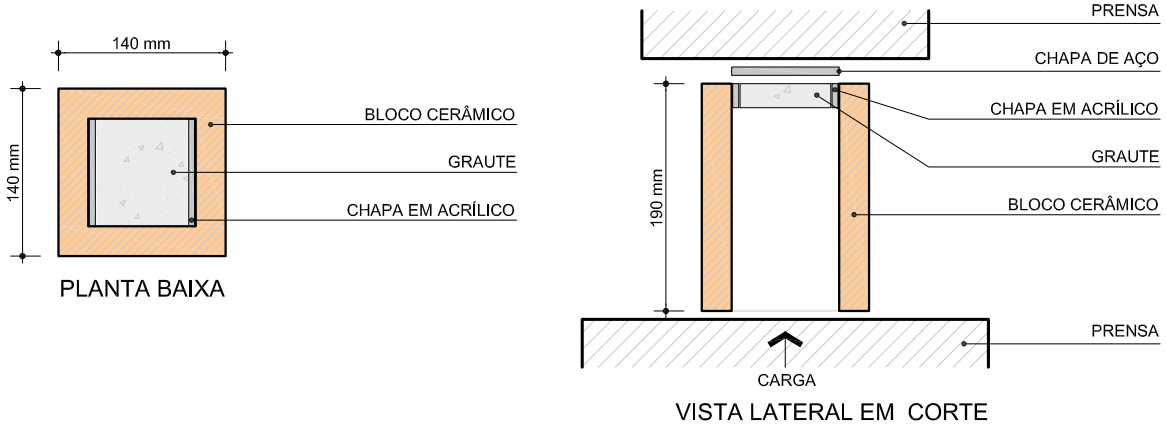


Figura 4 – Esquema com a configuração de moldagem e ensaio das amostras de *push-out*

3.3 Compressão com bloco cheio

O presente ensaio objetivou comparar os resultados de resistência à compressão entre bloco vazio e bloco cheio, a fim de avaliar o possível ganho de resistência dos blocos preenchidos com graute em relação aos blocos vazios. Foram moldadas seis amostras para cada tipo de bloco, sendo os vazados completamente preenchidos com graute e rompidos aos 28 dias. Para rompimento, as amostras foram previamente capeadas com pasta de cimento e areia, e saturadas. O equipamento utilizado foi o mesmo dos ensaios de *push-out*, mas com velocidade de carregamento de 0,05 MPa/s, conforme preconizado pela NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

3.4 Microscopia óptica

A fim de analisar a interface graute/ bloco cerâmico, foi utilizado um microscópio estereoscópio, modelo SteREO Discovery V12, da marca ZEISS, para análise das amostras após rompimento. A utilização desse equipamento permitiu visualizar, com mais detalhes, o contato do graute com as diferentes superfícies do bloco cerâmico.

4. Resultados

4.1 *Push-out*

Os resultados do ensaio de *push-out* mostraram que a aderência graute/ bloco é superior à resistência de tração do bloco, pois em todas as amostras ocorreu a ruptura do bloco

ISBN: 978-85-65425-32-2

antes do escorregamento do graute e, em algumas delas, os elementos permaneceram aderidos após a ruptura do conjunto. Na Figura 5, é possível observar a forma de ruptura das amostras de 7 e 10 MPa, onde a carga máxima de ruptura registrada para a amostra de 7 MPa foi de 102,6 kN e, para a amostra de 10 MPa, foi de 151,6 kN.

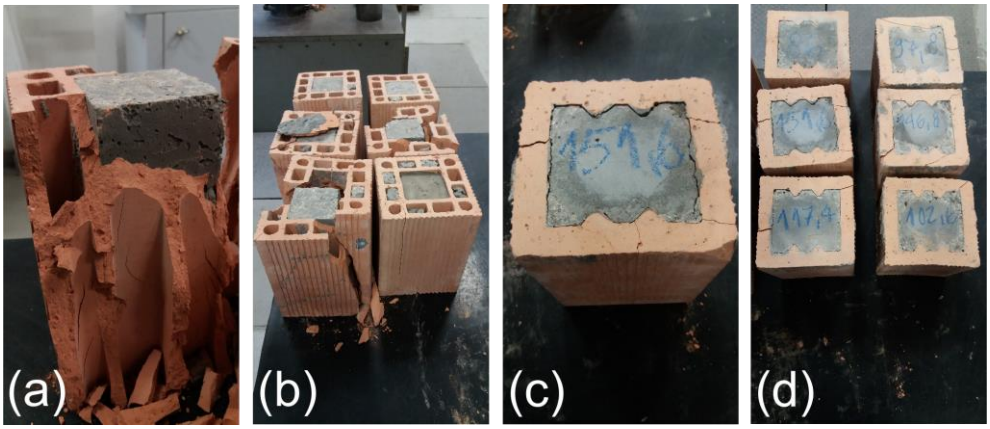


Figura 5 – Ruptura das amostras no ensaio de *push-out*, (a) e (b) bloco de 7 MPa; (c) e (d) bloco de 10 MPa

O rompimento das amostras de 15 e 18 MPa também ocorreu no bloco, mostrando que a aderência graute/ bloco foi superior à capacidade do mesmo de absorver esforços de tração. As amostras com blocos de 15 MPa romperam com cargas mais elevadas, sendo a carga máxima atingida de 222 kN. Para as amostras com blocos de 18 MPa, a carga máxima atingida foi de 178 kN.

Após a ruptura do conjunto, identificou-se que, em algumas regiões, o contato não foi satisfatório, visto que a superfície do bloco apresenta-se limpa e sem nenhum resquício de graute. Todavia, em outras regiões, o contato foi satisfatório, pois, após o rompimento, graute e bloco apresentavam-se aderidos entre eles, conforme é mostrado na Figura 6.

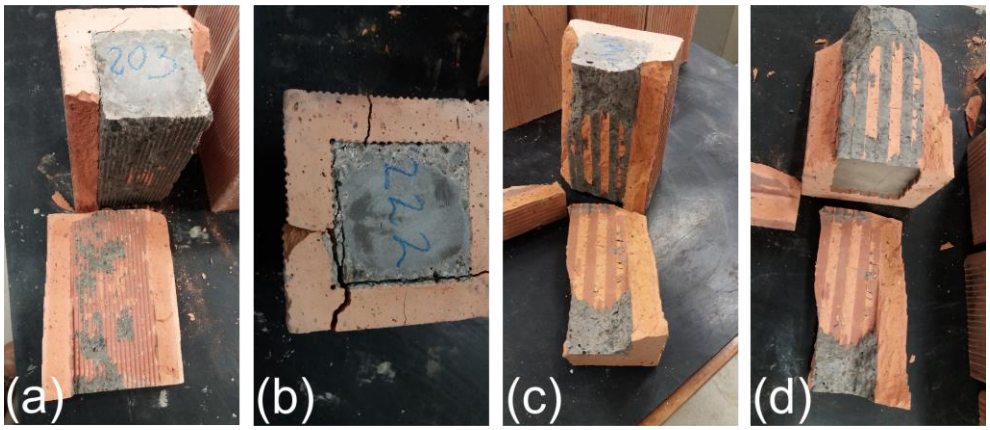


Figura 6 – Ruptura das amostras no ensaio de *push-out*, (a) e (b) bloco de 15 MPa; (c) e (d) bloco de 18 MPa

ISBN: 978-85-65425-32-2

No Quadro 12, são apresentados os resultados da carga média de ruptura das amostras em kN, sendo essa carga dividida pela área de contato média em mm² e resultando na tensão média de aderência em megapascals. Também obteve-se o desvio padrão e o coeficiente de variação dos resultados individuas da tensão de aderência para cada tipo de bloco.

Quadro 12 – Resultados do ensaio de *push-out*

Bloco	Carga média de ruptura (kN)	Área de contato média (mm²)	Tensão média de aderência (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação
7 MPa	102,60	47067	2,18	0,23	13,44%
10 MPa	86,00	77409	1,11	0,34	23,84%
15 MPa	222,00	70825	3,13	0,38	12,89%
18 MPa	178,00	62536	2,85	0,37	14,09%

Na Figura 7, é mostrado graficamente a relação entre a carga de ruptura no *push-out* e a área de contato das amostras. Com exceção do bloco de 10 MPa, que possui elevada área de contato, mas tensão de aderência baixa, os demais tipos de blocos apresentaram um crescimento linear quando aumentou-se a área de contato e resistência mecânica do bloco. O bloco de 15 MPa obteve resultado superior ao bloco de 18 MPa, visto que a elevada área de contato superou a resistência mecânica.

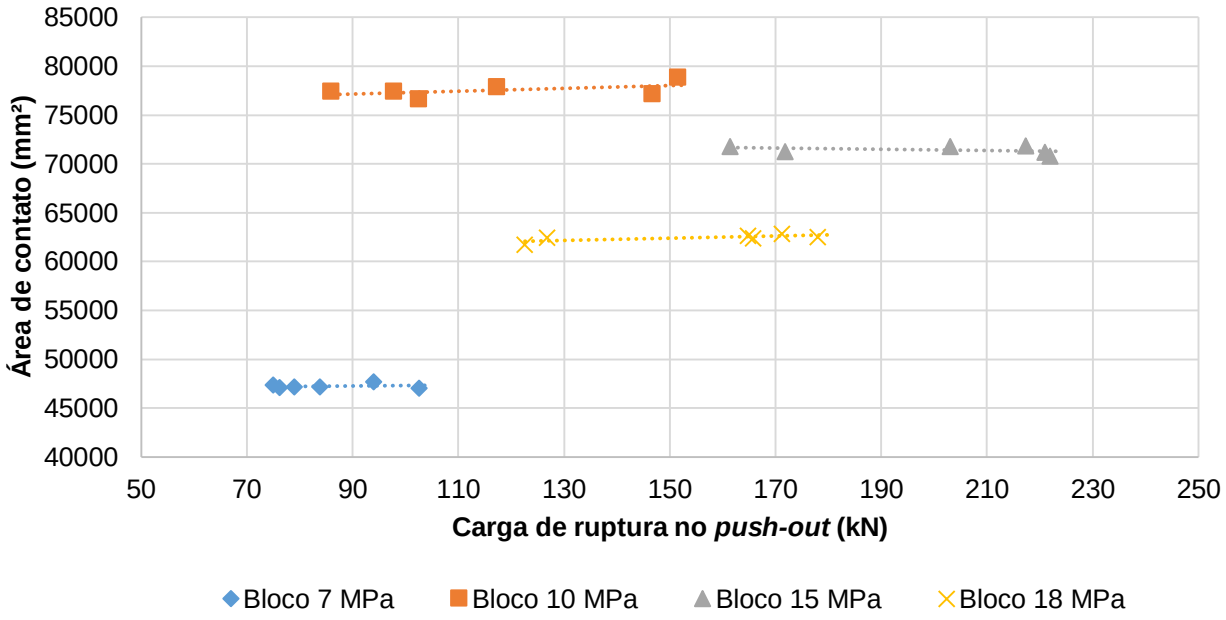


Figura 7 – Relação entre carga de ruptura no *push-out* e área de contato

ISBN: 978-85-65425-32-2

4.2 *Push-out* com área de contato reduzida

Os resultados das amostras de *push-out* com área de contato reduzida apresentaram boa aderência, pois, conforme é mostrado na Figura 8, a ruptura ocorreu, predominantemente, no bloco, indicando que a aderência é superior à resistência mecânica do bloco.

Com exceção do bloco de 7 MPa, que possui as paredes dos vazados integralmente lisas, os demais blocos possuem saliências com dimensões e configurações variadas, que proporcionam rupturas distintas como, por exemplo, no bloco de 10 MPa, em que os "dentes" apresentaram boa aderência, ao contrário das regiões lisas em que a aderência não foi significativa. Já as ranhuras do bloco de 15 MPa proporcionam elevada área de contato, mas, em contrapartida, favorecem o aprisionamento de ar e, consequente, falha de contato.

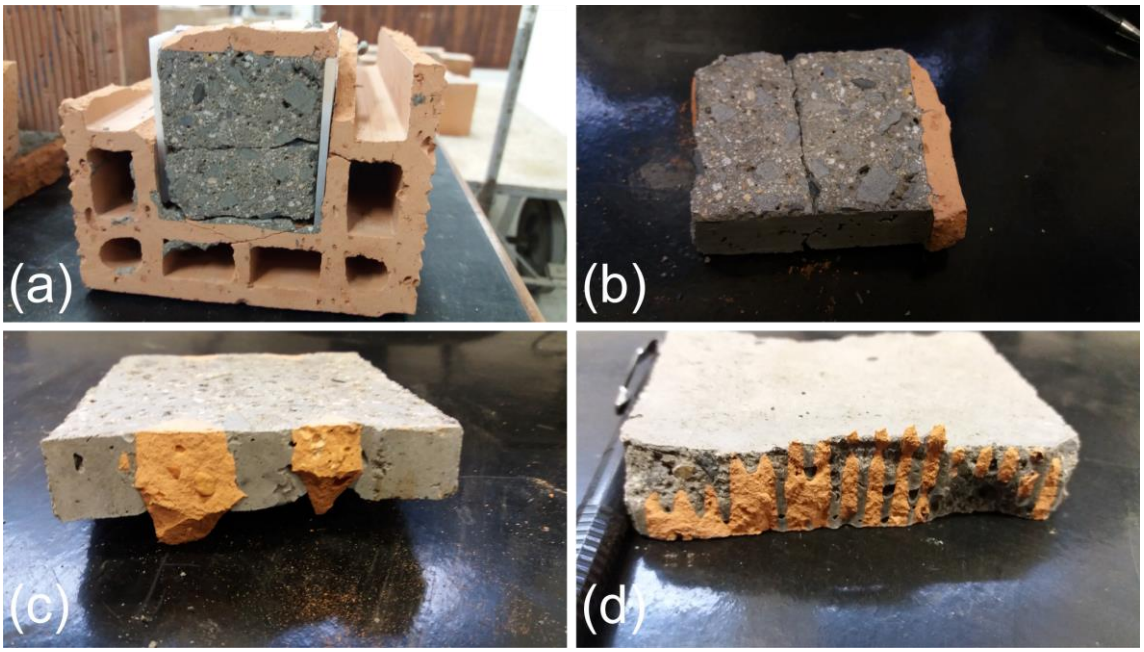


Figura 8 – Ruptura das amostras de *push-out* com área de contato reduzida; (a) e (b) bloco de 7 MPa; (c) bloco de 10 MPa e (d) bloco de 15 MPa

A partir da divisão da carga média de ruptura pela área de contato reduzida, obteve-se a tensão média de aderência, que pode ser comparada com a tensão obtida anteriormente no ensaio de *push-out*. No quadro 13, são apresentados os resultados de carga média de ruptura, área de contato, tensão média de aderência, desvio padrão e coeficiente de variação.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 13 – Resultados do ensaio de *push-out* com área de contato reduzida

Bloco	Carga média de ruptura (kN)	Área de contato (mm²)	Tensão média de aderência (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação
7 MPa	6,17	2221	2,51	0,51	20,46%
10 MPa	9,23	3885	2,37	0,57	24,01%
15 MPa	4,67	3154	1,51	0,22	14,69%
18 MPa	8,82	2922	3,01	0,56	18,60%

Na Figura 9, é apresentada uma relação para todas as amostras entre a carga de ruptura no *push-out* e a área de contato reduzida, onde verifica-se que, apesar da elevada área de contato, o bloco de 15 MPa não apresentou boa aderência comparado aos demais, pois, como mostrado anteriormente, a ruptura deu-se nas saliências do substrato.

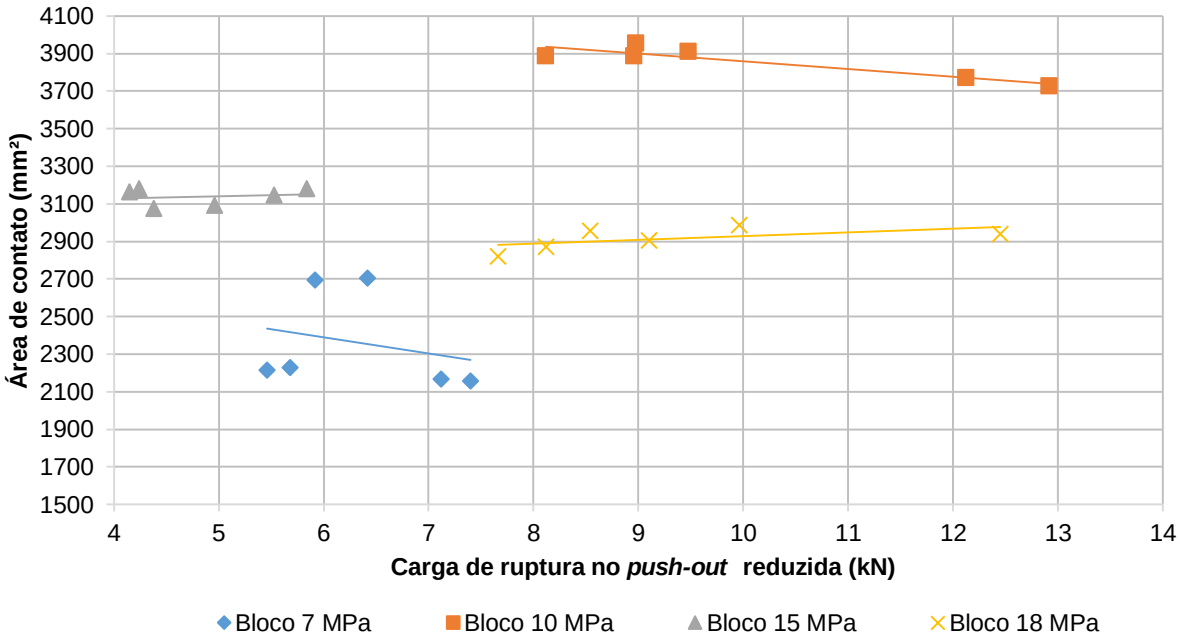


Figura 9 – Relação entre carga de ruptura no *push-out* e área de contato reduzida

4.3 Resistência à compressão com bloco cheio

Os blocos preenchidos com graute apresentaram ganho significativo de resistência à compressão, principalmente os de 7 e 10 MPa, que tiveram ganho de 70 e 167 %, respectivamente. No Quadro 14, são mostradas as cargas e tensões médias de ruptura das amostras, bem como o desvio padrão e o coeficiente de variação. Seguindo o mesmo procedimento dos blocos, foi calculada a resistência característica estimada em megapascals dos blocos cheios.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 14 – Resultados de resistência à compressão dos blocos cheios

Bloco	Carga média de ruptura (kN)	Tensão média de ruptura (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação	fbk, est cheio (MPa)
7 MPa	385	19,87	1,87	9,43%	16,66
10 MPa	629	32,22	3,61	11,19%	27,02
15 MPa	487	24,80	6,45	25,99%	19,29
18 MPa	629	32,16	2,57	8,00%	26,62

4.4 Microscopia

As imagens de microscopia foram realizadas após o rompimento das amostras de *push-out* com área de contato reduzida, a fim de analisar a interface graute/ bloco. De acordo com a Figura 10 (a), o bloco de 7 MPa apresentou boa aderência em toda a área de contato. Já no bloco de 10 MPa, observou-se aumento da aderência na interface com os “dentes”. Conforme mostrado na Figura 10 (c), o bloco de 15 MPa não apresenta boa aderência com as ranhuras, pois elas provocam o aprisionamento de pequenas bolhas de ar e, consequentemente, a diminuição do contato.

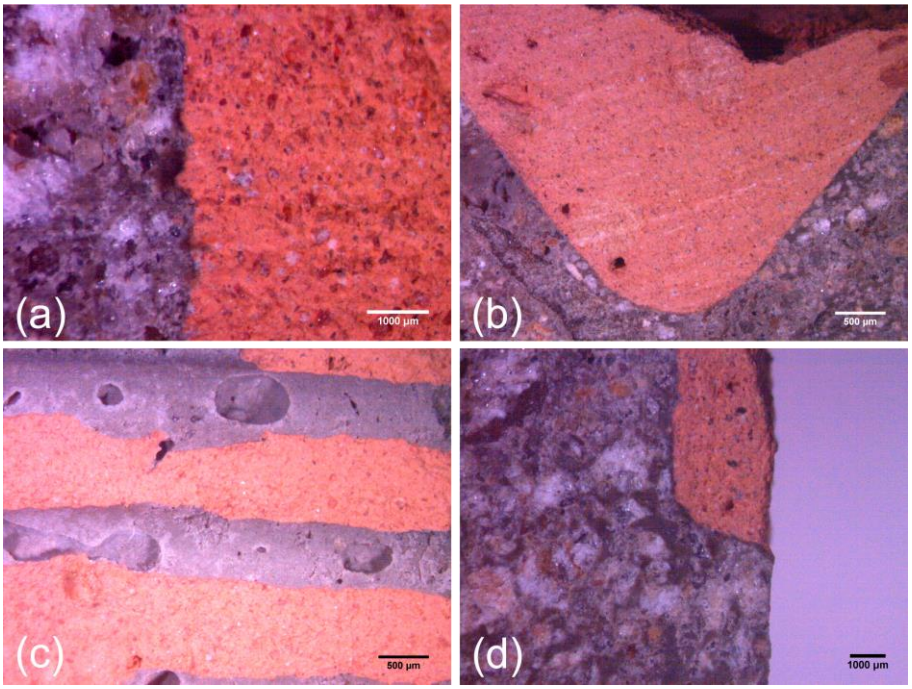


Figura 10 – Microscopia óptica; (a) bloco 7 MPa, (b) bloco 10 MPa; (c) bloco 15 MPa e (d) bloco 18 MPa.

ISBN: 978-85-65425-32-2

5. Conclusões

A caracterização dos blocos cerâmicos mostrou que a resistência mecânica à tração é muito baixa, ficando em torno de 3% da resistência característica à compressão (fbk). Os ensaios de *push-out* indicaram que a aderência é maior que a resistência mecânica à tração e, portanto, dificilmente irá ocorrer a ruptura do conjunto pela falta de contato entre os elementos, mas pela transferência de tensões do graute para a parede do bloco e consequente rompimento. Também deve-se levar em consideração os distintos coeficientes de Poisson entre bloco cerâmico e graute, sendo este último verificado em laboratório e com valor médio de 0,19.

Constatou-se que algumas características dos blocos influenciam na ruptura do conjunto e na aderência graute/ bloco como, por exemplo, a resistência mecânica e a baixa área de contato dos blocos de 7 MPa, que resultaram em uma tensão de aderência alta. Já a elevada resistência mecânica e as ranhuras, dos blocos de 15 MPa, resultaram em uma elevada tensão de aderência no *push-out*. No entanto, no *push-out,* com área de contato reduzida, as ranhuras romperam com facilidade e proporcionaram o aprisionamento de bolhas de ar, prejudicando o contato entre graute/ bloco. O bloco de 10 MPa obteve resultado no *push-out* de 1,11 MPa, valor muito baixo se levarmos em consideração a elevada área de contato do bloco. Entretanto, sua resistência mecânica característica (fbk) é de 10,1 MPa, e pode ser considerada baixa em relação aos demais. Logo, devido à elevada área de contato e consequente aumento da transferência de tensões nas laterais do bloco, ocorre rompimento por tração. No entanto, a resistência mecânica com o bloco cheio foi muito elevada, em virtude do alto volume de graute em seu vazado que teve o papel de absorver as tensões antes de transferi-las ao bloco.

Os resultados apontaram que, a aderência graute/ bloco cerâmico sempre irá apresentar valores variados, em decorrência da variabilidade dos elementos, como geometria do bloco e características do graute. No entanto, seu valor característico deverá levar em consideração a resistência mecânica à tração dos blocos cerâmicos.

Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods of splitting tensile strength of masonry units. ASTM C 1006-2013, Philadelphia, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15270: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____ NBR 15812: Alvenaria estrutural – blocos cerâmicos. Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____ NBR 5738: Concreto – procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ISBN: 978-85-65425-32-2

_____ NBR 5739: Concreto – ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____ NBR 7211: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____ NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2007.

_____ NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____ NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____ NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistêcnia pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

CAMACHO, Jefferson Sidney *et al*. Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento à compressão da alvenaria de blocos de concreto. RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal, v. 8, n. 3, 2015.

CARVALHO, Jenner Miranda de *et al*. Desempenho estrutural de prismas de blocos cerâmicos com diferentes formas e dimensões. 2003.

FISHER, H. Marcos. Análise e avaliação da aderência na interface entre bloco cerâmico e graute. Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Santa Cruz do Sul, 2016.

GARCIA, Patricia Domingues. Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GROHMANN, L. Z. Análise do comportamento de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica. 2006. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós – Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HAMID, Ahmad A.; CHANDRAKEERTHY, Sammu R.; ELNAWAWY, Omar A. Flexural tensile strength of partially grouted concrete masonry. Journal of Structural Engineering, v. 118, n. 12, p. 3377-3392, 1992.

ISBN: 978-85-65425-32-2

HAMID, Ahmad A.; DRYSDALE, Robert G. Suggested failure criteria for grouted concrete masonry under axial compression. In: Journal Proceedings. 1979. p. 1047-1062.

HILSDORF, Hubert K. Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. Designing, engineering and constructing with masonry products, p. 34-41, 1969.

IZQUIERDO, O.S. Estudo da interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural. 322 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas – Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MENDES, Ricardo José Kuerten *et al*. Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais. 1998.

MOHAMAD, Gihad; RIZZATTI, Eduardo; ROMAN, Humberto Ramos. Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais. Ambiente Construído, 2011.

NAWAWY, O. A., and M. H. Haddad. "Predicition of strength and fracture behaviour of concrete masonry wall units." Fifth North American Masonry Conference, University of Illinois at Urbana, Champaign. 1990.

PARSEKIAN, Guilherme, *et al*. Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural – 2ª Edição – São Carlos, 2013. 625 p.

RIZZATI, Eduardo, *et al*. Análise do comportamento mecânico das alvenarias estruturais de blocos cerâmicos utilizando modelos físicos reduzidos – Efeito da geometria. RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal 5.5 (2012).

SORIC, Z.;TULIN, L. G. Bond and splices in reinforced masonry. Report Nº. 6.2-2, U.S. – Japan Coordinated Progam for Masonry Building Research, University of Colorado, Boulder, Colorado, 1987.

ISBN: 978-85-65425-32-2

XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas
XIII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras
XIII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation

7-9 September, 2017, Crato (Ceara), Brasil

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE ADITIVO ENDURECEDOR DE SUPERFÍCIE NO INCREMENTO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DO EMBOÇO

Evaluation Of The Efficacy Of Surface Hardener Additive In The Increase Of The Adherence Strength Of The Plaster

Raíza Silva BEZERRA[1], **André Burgos Zenaide de** QUEIROZ[2], **Ângelo Just Costa e** SILVA[3]

[1] Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil, rbraizabezerra@gmail.com
[2] Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil, email2
[3] Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil, angelo@tecomat.com.br

Resumo: Com a grande evolução da tecnologia, cada vez mais, as edificações vão incrementando a quantidade de pavimentos. Necessitam deste modo, que as fachadas executadas de revestimentos cerâmicos sejam eficázes e de grande resistência para evitar problemas como a falta de estanqueidade, não vedação de temperatura e outros agentes externos, descolamento das placas cerâmicas, entre outros. Contudo, inúmeras fachadas apresentam problemas no seu revestimento cerâmico. Buscando melhorar a produtividade, a qualidade e uma redução de custo de uma recuperação de uma fachada sem ter que arrancar o seu emboço, foi aplicado em um emboço várias camadas de um endurecedor de superfície até satura-lo, visando verificar a eficácia e o incremento de resistência à tração. Foram realizados ensaios de aderência à tração, em áreas de características semelhantes, com amostras de corte circular e sem corte. Verificou-se que as amostras sem corte e com a adição do aditivo edurecedor de superfície obtiveram um incremento de resistência significativo.

Palavras-chave: Emboço, aditivo endurecer de superfície, resistência.

Abstract: With the great evolution of technology, more and more, the buildings are increasing the amount of pavements. In this way, facades made of ceramic tiles must be efficient and resistant to avoid problems such as lack of sealing, non-temperature sealing and other external agents, removal of ceramic tiles, among others. However, many façades present problems with their ceramic coating. Seeking to improve productivity, quality and a cost reduction of a recovery of a facade without having to tear off its plaster, it was applied in a multilayer coating of a surface hardener until saturated it, in order to verify the effectiveness and the increase Of tensile strength. Traction adhesion tests were performed in areas of similar characteristics with circular cut and uncut samples. It was found that the samples without cut and with the addition of the surface builder additive obtained a significant increase of resistance.

Keywords: plaster, surface hardening additive, strength.

ISBN: 978-85-65425-32-2

1. Introdução

Devido ao grande número de edificações com revestimento cerâmico no estado de Pernambuco, os quais apresentam diversas manifestações patológicas por motivos diversos entre eles de falhas construtivas até às ações de intempéries, se faz necessário fazer uma manutenção ou até mesmo uma recuperação da estrutura. Por vezes, ao recuperar o sistema de revestimento cerâmico, é necessário verificar se todas as camadas do revestimento estão em bom estado de trabalho, caso contrário, precisam ser removidas e uma nova camada aplicada. O emboço é uma camada componente do revestimento, que fica localizada entre o chapisco e o reboco. E tem a principal função de regularizar a superfície.

Inovações para melhorar as técnicas de recuperação desses revestimentos são muito bem quistas, pois quando essas camadas precisam ser retiradas causam um grande desconforto nas pessoas que utilizam a edificação, um custo elevado para trocar as camadas de revestimento, além de um intervalo de tempo considerável. Logo, se as camadas de revestimento como reboco, emboço e chapisco não precisarem ser removidas, todos ganham com isso.

2. Argamassa de emboço

Para o assentamento de revestimentos de placas cerâmicas é necessário uma adequada preparação da base para garantir o perfeito funcionamento da estrutura. A base que na maioria das vezes é uma alvenaria (de blocos cerâmicos ou de concreto), irá receber a primeira camada nomeada de chapisco. O chapisco usualmente tem um traço de 1:3 (cimento:areia grossa) e tem a finalidade principal de aderir a base ao substrato, sendo uma camada bastante rugosa. Posteriormente vem o emboço com um traço usual de 1:2:8 (cimento, cal hidratada, areia média) que é uma camada de regularização e depois o reboco caso a alvenaria for receber pintura ou

A classificação das argamassas se dá em função de diversos critérios como, número e tipo de aglomerantes; consistência, plasticidade, densidade e forma de preparo. Há diferentes tipos de argamassa com diferentes funções (CARASEK, 2010).

O emboço tem que apresentar resistência mecânica, capacidade de absorver deformações, pouca permeabilidade a água, alta aderência, baixa retração, adesão inicial, consistência, plasticidade e trabalhabilidade.

Tem função de compor os sistemas de vedação das edificações, proteger a alvenaria e toda a estrutura do intemperismo e regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para os acabamentos decorativos.

2.1 Aderência

Segundo Sabbatini (1986), a aderência é definida como a propriedade que viabiliza a resistência do revestimento à tensões normais ou tangenciais que atuam à ligação com a base.

O mesmo autor ainda cita que a aderência resulta da conjugação das seguintes características da interface revestimento/base de aplicação:

ISBN: 978-85-65425-32-2

- Resistência de aderência à tração;
- Resistência de aderência ao cisalhamento;
- Extensão de aderência, definida pela relação da área de contato efetiva e da área total da base que será revestida.

O mecanismo de aderência se desenvolve basicamente por um processo físico no qual há a ancoragem da pasta aglomerante nos poros macroscópicos da base. Quanto maior a área de contato entre a armassa e a base, maior será a aderência. Essa boa aderência consequentemente resiste às forças de tração e de cisalhamento.

2.2 Absorção de deformações

Segundo Sabbatini (1998) a capacidade de absorção de deformações é definida como a capacidade de deformação do revestimento tensionado sem ocorrência de fissuração ou ruptura. Sendo o alívio de tensão que implica nas deformações da base a origem das fissurações.

O revestimento não é dimensionado para absorver grandes deformações como de requalques estruturais, por exemplo, sendo assim, só devem absorver deformações causadas pela variação da temperatura, umidade, entre outros fatores ambientais que apresentam pequenas amplitudes.

Quanto maior o teor de cimento na argamassa, maior será o módulo de deformação e menor será a capacidade de absorver as deformações.

As espessuras das camadas não devem ser muito grossas, pois o seu peso próprio dificultará a aderência. Entretanto, essas camadas também não podem ser finas demais para atender suas especificações.

As juntas de trabalho diminuem as áreas determinando seções de menores áreas para serem compatíveis com as deformações. Deste modo, o revestimento não apresentará fissuras compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras danosas.

Evitará fissuras também, a aplicação no momento certo da argamassa com a compressão posterior à aplicação, bem como a compressão exercida no acabamento superficial.

2.3 Resistência Mecânica

A resistência mecânica deve suportar as ações mecânicas de diversas formas entre elas as tensões de tração, compressão e cisalhamento para consolidar o interior dos revestimentos. Os esforços de abrasão superficial, as cargas de impacto, os movimentos de contração e expansão dos revestimentos por efeito de umidade também exigem resistência mecânica do revestimento, pois ao gerar tensões internas, tendem a desagregá-los.

A resistência mecânica é influênciada pelo consumo e natureza dos aglomerantes e agregados. Reduzindo a proporção de agregado, assim como a relação água/cimento e a

ISBN: 978-85-65425-32-2

finura, a resistência mecânica do revestimento tende a aumentar pelo fato desses fatores aumentarem a coesão.

Influencia a natureza dos agregados em relação a resistência mecânica dos revestimentos o consumo de água de amassamento (para grãos demasiadamente finos), podendo causar menor resistência e revestimento com estrutura porosa.

A técnica executiva do revestimento pode resultar em maior compactação, aumentando a densidade da estrutura e sua dureza superficial, sendo mais resistente à ações de desgaste, seja por abrasão ou de impactos. O desempeno com empoladeira de aço forma uma película superficial de baixa porosidade aumentando a resistência superficial.

A avaliação quantitativa da resistência mecânica dos revestimentos pode ser realizada por meio de ensaios de corpo de prova prismáticos para avaliar a tração e compressão. Entretanto, não apresentam correlação com a porosidade e estrutura real dos revestimentos, servindo apenas para efeito de controle qualitativo das argamassas. Os ensaios de normas internacionais utilizam esferas de impacto, escovas de desgaste superficial, ou o emprego de fitas adesivas, determinando a massa de revestimento descolada. Em nenhum destes métodos são especificados valores de referência.

3. Aditivo endurecer de superfície

É habitual observar o desagregamento de poeira, sobretudo em pisos cimentícios de garagem ou indústria. Essa ocorrência afeta não somente os pisos antigos, mas também os novos, acarretando em diversos problemas como dificuldade de limpeza e perda de resistência. A ocorrência do material pulverulento, por vezes é indicada como consequência do ambiente externo, porém normalmente este não é o único fator. O pó formado é derivado do desagregamento dos materiais mais superficiais, onde a ligação destes com o concreto não é suficientemente forte e somado à abrasão gerada por ações mecânicas, resulta na deteriorização da superfície, sendo principalmente o hidróxido de cálcio [Ca (OH)2], componente abundante na pasta de cimento hidratada, que se torna instável quimicamente, podendo contribuir nos processos de degradação por abrasão.

Os endurecedores para superfícies são produtos liquidos, que através de troca iônica, penetram nos poros da argamassa, reagindo com o hidróxido de cálcio, resultando em cristais que geram maior dureza e resistência à abrasão como ilustrado na Figura 01.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Figura 01 – Mecanismo de abrasão. Fonte: Vichemical (2017)

4. Metodologia

A fachada de um edifício na cidade do Recife/BR foi escolhida para realizar este estudo devido a esta área estar em obras, sendo possível realizar ensaios no emboço existente. O fato de ser época chuvosa limitou os estudos à área que não fosse exposta a demasiada umidade, a fim de não comprometer os estudos.

O experimento foi realizado no emboço existente, sendo a área escolhida, dividida em duas partes iguais, a proximidade das mesmas foi escolhida em função de garantir condições equivalentes, sendo as únicas variáveis à análise: a aplicação de aditivo endurecedor de superfície em uma das áreas e o corte circular em uma das áreas. Resultando, desta forma, em 4 condições distintas. A Figura 02 demostra o corte circular

Figura 02 – Corte com serra circular. Fonte: Autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

A preparação das amostras seguiu os seguintes parâmetros: 48 amostras no total, sendo: 12 amostras na área sem aditivo e sem corte; 12 amostras na área sem aditivo e com corte; 12 amostras na área com aditivo e sem corte; e 12 amostras na área com aditivo e com corte. Os cortes tiveram de 15mm de profundidade.

Após 15 dias da aplicação do endurecedor de superfície, foram efetuados os 24 cortes com serra-copo de 50mm. Em seguida as placas metálicas foram aderidas aos corpos-de-prova, com cola epóxi, coforme mostra a Figura 03.

Figura 03 – Aplicação de cola epóxi. Fonte: Autores (2017)

Posteriormente, foram preparadas as outras 24 amostras utilizando pregos de mínima espessura somente para dar suporte às placas metálicas durante o período de cura do adesivo epóxi, pois essas amostras não obtiveram corte.

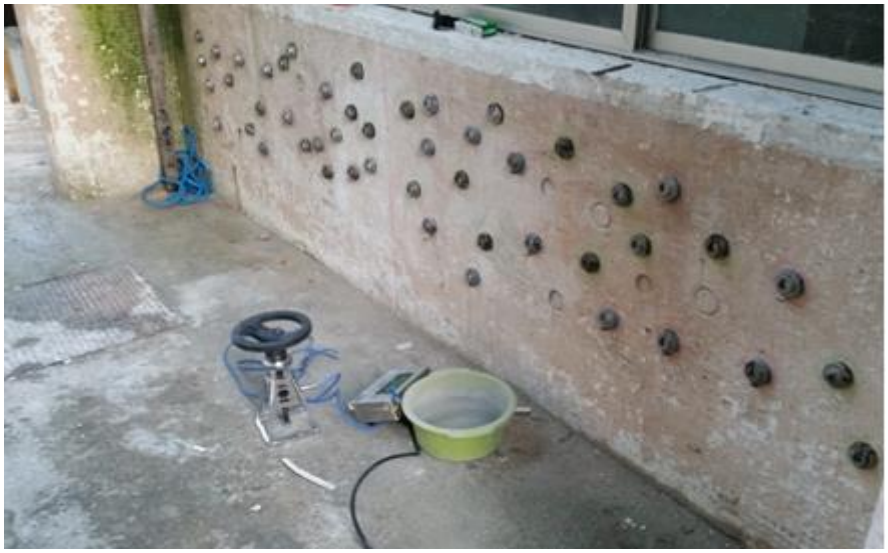


Figura 04 – Corte com serra circular. Fonte: Autores (2017)

ISBN: 978-85-65425-32-2

Então, retira-se a amostra para medir sua resistência à tração e classificá-las quanto à forma de ruptura conforme a NBR 13528 (2010) determina. A Figura 02 demonstra essa classificação da norma.

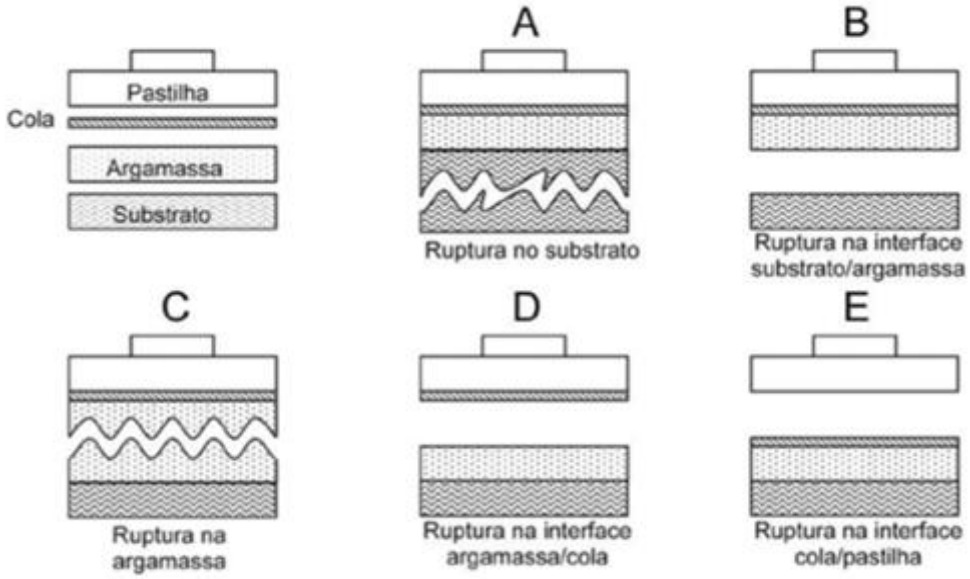


Figura 05 – Formas de ruptura do ensaio de resistência à tração. Fonte: NBR 13528 (2010)

5. Resultados

O Quadro 01 apresenta os resultados dos corpos de prova com corte e sem aditivos. Todas as rupturas foram na argamassa.

Quadro 01 - Ensaio em corpos de prova com corte e sem aditivo

CORTE 15mm SEM ADITIVO						
CORPO DE PROVA			**CARGA DE RUPTURA (Kg)**	**CARGA DE RUPTURA (Kg/m²)**	**TENSÃO DE RUPTURA (MPa)**	**FORMA DE RUPTURA**
Nº	**D (mm)**	**A (m2)**				
01	47,2	0,001750	110,6	63209,33893	0,62	C
02	46,5	0,001698	47,8	28146,99976	0,28	C
03	49,2	0,001901	81,4	42815,82513	0,42	C
04	40,6	0,001295	138,8	107213,01706	1,05	C
05	44,2	0,001534	135,8	88504,49938	0,87	C

ISBN: 978-85-65425-32-2

06	43,2	0,001466	105,6	72045,44749	0,71	C
07	39,8	0,001244	106,2	85362,76840	0,84	C
08	47,7	0,001787	174,8	97817,10130	0,96	C
09	44,7	0,001569	103,6	66016,85451	0,65	C
10	47,3	0,001757	67,2	38243,45409	0,38	C
11	47,7	0,001787	68,6	38388,17591	0,38	C
12	46,9	0,001728	120,6	69809,05210	0,68	C

Fonte: Autores (2017)

O Quadro 02 apresenta os resultados dos corpos de prova com corte e com aditivos. Todas as rupturas foram na argamassa.

Quadro 02 - Ensaio em corpos de prova com corte e com aditivo

CORTE 15mm COM ADITIVO						
CORPO DE PROVA			**CARGA DE RUPTURA (Kg)**	**CARGA DE RUPTURA (Kg/m²)**	**TENSÃO DE RUPTURA (MPa)**	**FORMAS DE RUPTURA**
Nº	**D (mm)**	**A (m2)**				
01	46,6	0,001706	57,4	33655,04516	0,33	C
02	47,6	0,001780	139,4	78335,56623	0,77	C
03	48	0,001810	91	50288,54105	0,49	C
04	47,2	0,001750	95	54293,73597	0,53	C
05	47,6	0,001780	67,5	37931,49728	0,37	C
06	48,3	0,001832	149,4	81539,20158	0,80	C

ISBN: 978-85-65425-32-2

07	47,2	0,001750	144,4	82526,47868	0,81	C
08	47,5	0,001772	93,6	52820,04272	0,52	C
09	0	0,000000	0	0,00000	0,00	C
10	47,3	0,001757	83,2	47349,03840	0,46	C
11	47,6	0,001780	159	89349,74914	0,88	C
12	47	0,001735	96,8	55794,29060	0,55	C

Fonte: Autores (2017)

O Quadro 03 apresenta os resultados dos corpos de prova sem corte e sem aditivos. Todas as rupturas foram na argamassa.

O Quadro 04 apresenta os resultados dos corpos de prova com corte e com aditivos. As rupturas foram na argamassa e na interface argamassa/cola. A Figura 05 demostra a ruptura na argamassa e a Figura 06 a ruptura na argamassa/cola.

Quadro 03 - Ensaio em corpos de prova sem corte e sem aditivo

SEM CORTE E SEM ADITIVO						
CORPO DE PROVA			CARGA DE RUPTURA (Kg)	CARGA DE RUPTURA (Kg/m^2)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	FORMA DE RUPTURA
Nº	D (mm)	A (m2)				
01	50	0,001963	134,6	68551,21709	0,67	C
02	50	0,001963	115,2	58670,87822	0,58	C
03	50	0,001963	71	36160,00307	0,35	C
04	50	0,001963	117,2	59689,46986	0,59	C
05	50	0,001963	161,2	82098,48584	0,81	C
06	50	0,001963	165,4	84237,52828	0,83	C
07	50	0,001963	206,8	105322,37514	1,03	C

ISBN: 978-85-65425-32-2

08	50	0,001963	136,4	69467,94956	0,68	C
09	50	0,001963	314,8	160326,32347	1,57	C
10	50	0,001963	140,4	71505,13283	0,70	C
11	50	0,001963	386,6	196893,76320	1,93	C
12	50	0,001963	192	97784,79704	0,96	C

Fonte: Autores (2017)

Figura 06 – Ruptura na argamassa. Fonte: Autores (2017)

Quadro 04 - Ensaio em corpos de prova sem corte e com aditivo

SEM CORTE COM ADITIVO						
CORPO DE PROVA			**CARGA DE RUPTURA (Kg)**	**CARGA DE RUPTURA (Kg/m²)**	**TENSÃO DE RUPTURA (MPa)**	**FORMA DE RUPTURA**
Nº	**D (mm)**	**A (m2)**				
01	50	0,001963	369,2	188032,01597	1,84	C
02	50	0,001963	257,4	131092,74353	1,29	C
03	50	0,001963	306,2	155946,37944	1,53	C
04	50	0,001963	166	84543,10577	0,83	C

ISBN: 978-85-65425-32-2

05	50	0,001963	273	139037,75829	1,36	C
06	50	0,001963	274,6	139852,63159	1,37	C
07	50	0,001963	233,8	119073,36222	1,17	C
08	50	0,001963	252,4	128546,26444	1,26	C
09	50	0,001963	49,4	25159,21340	0,25	C/D
10	50	0,001963	148,4	75579,49938	0,74	C/D
11	50	0,001963	91,2	46447,77859	0,46	C
12	50	0,001963	173,2	88210,03566	0,87	C

Fonte: Autores (2017)

Figura 07 – Ruptura argamassa/cola. Fonte: Autores (2017)

O Quadro 05 mostra a média dos resultados e seus respectivos desvios padrão.

ISBN: 978-85-65425-32-2

Quadro 05 - Médias e desvios padrão dos ensaios

	Com corte				Sem corte			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Com aditivo	0,59	0,2394	0,3525	0,8313	1,0800	0,4418	0,6382	1,5217
Sem aditivo	0,65	0,2376	0,4142	0,8894	0,89	0,43	0,4641	1,3186

Fonte: Autores (2017)

6. Conclusões

Os corpos de prova que não tiveram os cortes realizados antes de retirar as amostras e com a adição de aditivos obtiveram significativamente os melhores resultados. Os cortes realizados antes do ensaio decrescem a resistência do revestimento pois diminui a coesão das partículas, fazendo com que elas segreguem com maior facilidade. A aditivo endurecer de superfície incrementa a resistência pois penetra nos poros superficialmente os preenchendo e consequentemente aumentando a coesão dos grãos.

Não foram encontrados resultados significativos para os ensaios com corte.

É necessário realizar mais ensaios para comprovar que os ensaios com corte nao obtiverem resultados expressivos.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Revestimento de paredes e tetos em argamassas inorgânicas; Determinação da resistência de aderência à tração - NBR 13528. Rio de Janeiro (2010)

CARASEK, *H*; CINCOTTO, M.A; SILVA, M. A. C.. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. Instituto de Pesquisas Tecnológica, São Paulo, 1995.

SABBATINI, FERNANDO HENRIQUE. Tecnologia de execução de revestimento de argamassa - 13º Simpósio de Aplicação de Revestimentos de Argamassa.São Paulo, 1990.