GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA

CENTRO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CCBS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLÓGICA E RECURSOS NATURAIS - PPGDR

ARTHUR DA SILVA NASCIMENTO

POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO E PERCEPÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO PELA FLORA ARBÓREA DE UMA ÁREA VERDE URBANA EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ.

CRATO, CEARÁ

2024

ARTHUR DA SILVA NASCIMENTO

POTENCIAL DE SEQUESTRO CARBONO E PERCEPÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO PELA FLORA ARBÓREA DE UMA ÁREA VERDE URBANA EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri-URCA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. João Tavares Calixto Júnior

CRATO, CEARÁ
2024

Ficha Catalográfica elaborada pelo autor através do sistema
de geração automático da Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri - URCA

Nascimento, Arthur Da Silva

N244p POTENCIAL DE SEQUESTRO CARBONO E PERCEPÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO PELA FLORA ARBÓREA DE UMA ÁREA VERDE URBANA EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ. / Arthur Da Silva Nascimento. Crato - CE, 2024.

93p. il.

Dissertação. Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Regional do Cariri - URCA.

Orientador(a): Prof. Dr. João Tavares Calixto Júnior

1.Biodiversidade urbana, 2.Mitigação climática, 3.Sequestro de carbono, 4.Conforto térmico, 5.Microclima urbano; I.Título.

CDD: 577.5

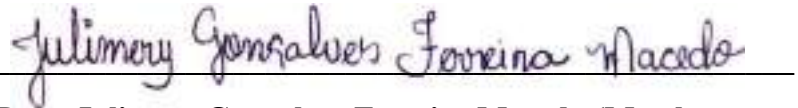
POTENCIAL DE SEQUESTRO CARBONO E PERCEPÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO PELA FLORA ARBÓREA DE UMA ÁREA VERDE URBANA EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ. Dissertação do Mestrado em Diversidade Biológica e Recursos Naturais apresentada à Universidade Regional do Cariri – URCA, para obtenção do título de Mestre em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

APROVADA EM: 30/julho/2024

BANCA EXAMINADORA

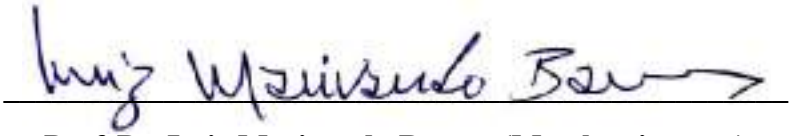
Dr. João Tavares Calixto Júnior (Orientador)

Universidade Regional do Cariri – URCA



Prof.ª Dr.ª : Julimery Gonçalves Ferreira Macedo (Membro externo)

Universidade Regional do Cariri – URCA



Prof. Dr. Luiz Marivando Barros (Membro interno)

Universidade Regional do Cariri – URCA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por toda a força, proteção e bênçãos que me sustentaram e permitiram que eu alcançasse muitos objetivos ao longo desta jornada.

A minha família, especialmente aos meus pais, Josenadia Alves da Silva e José Arnor Carlos do Nascimento, e minha irmã, Victoria Silva Nascimento, por seu apoio incondicional em todas as minhas decisões e por tornarem esta conquista possível. Esta vitória é para vocês.

A minha companheira, Ana Lyvia Secundo Sampaio, por seu carinho, compreensão e incentivo constantes, mesmo diante dos desafios desta importante fase da minha vida. Sou profundamente grato por tudo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Tavares Calixto Júnior, por sua orientação, paciência e amizade ao longo deste percurso. Suas orientações e apoio foram fundamentais para minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas do Laboratório de Estudos da Flora Regional do Cariri (LEFLORE), amigos que ganhei ao longo desta jornada, e companheiros de trabalho que estiveram comigo nesta etapa crucial do mestrado, pela amizade e pela dedicação, tempo e esforço: Maria Amanda Nobre Lisboa, Leonardo Vitor Alves da Silva, Sara Cardoso Ferreira da Silva, Alana de Oliveira Silva, Eliana Ribeiro Beserra, Mardonio Freitas Rodrigues Ferreira, Clarine Vieira Gonçalves, Mário Jorge Vital de Melo, Antonio César Vieira da Silva, Maria Rayssa Alves Teixeira, Erik David Pereira Barros. E a todos que me ajudaram de forma direta ou indireta, saibam que sua contribuição foi essencial e continuarei contando com vocês para o meu desenvolvimento profissional.

À Universidade Regional do Cariri (URCA), por proporcionar um ambiente seguro e enriquecedor, onde pude amadurecer profissionalmente e me preparar para os desafios da carreira de biólogo. Assim como a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela concessão da bolsa de pesquisa e pelo suporte financeiro que possibilitaram a realização deste estudo.

RESUMO

A emissão de CO_2 por atividades humanas intensifica o efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global. Nas cidades, isso resulta em temperaturas mais altas, alterações climáticas e impacta diretamente o conforto térmico, a saúde pública e a biodiversidade urbana. Neste estudo, o Parque Natural Municipal das Timbaúbas foi investigado no seu papel de mitigação das mudanças climáticas e das ilhas de calor para o local em que está inserido, destacando-se por ser a única Unidade de Conservação de Juazeiro do Norte. A análise incluiu levantamento arbóreo, avaliação do sequestro de carbono, estudos do microclima e da percepção térmica dos frequentadores, estabelecendo um alicerce para futuras pesquisas na área. Cem indivíduos foram selecionados aleatoriamente em diferentes pontos do parque, utilizando como critério indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 5cm. A estimativa do carbono foi realizada por métodos diretos (analisando amostras de folhas, galhos finos e caule) e indiretos, empregando o DAP para estimar a biomassa e o carbono. A análise de conforto térmico foi feita por meio do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e Índice de Calor (IC). A percepção da população acerca do conforto térmico oferecido pela vegetação foi avaliada mediante entrevistas com os frequentadores da área estudada, simultaneamente à coleta de dados climáticos, que ocorreu de maio de 2023 a abril de 2024, assegurando uma avaliação completa das condições climáticas ao longo do ano. No primeiro artigo, foram amostrados 100 indivíduos, distribuídos em 25 espécies e 9 famílias, com destaque para Fabaceae, Arecaceae e Anacardiaceae. O índice de Shannon (*H'*) alcançou 2,82 e o de Pielou (*J'*), 0,87. Os teores médios de carbono variaram de 49,22% a 58% nos diferentes compartimentos, com destaque para *Enterolobium contortisiliquum*, que apresentou altos valores de matéria orgânica (99,19%) e de teor de carbono (57,67%) nos galhos, e *Syzygium cumini*, com 97,64% de matéria orgânica e 56,77% de teor de carbono para folhas e caule. *Astronium fraxinifolium* registrou o maior valor, com 99,81% de matéria orgânica e 57,18% de teor de carbono. Os 100 indivíduos amostrados totalizaram 196,8 t/ha^{-1} de biomassa, 88,56 t/ha^{-1} de carbono estocado e 325 t/ha^{-1} de CO_2 absorvido. No segundo artigo, foram analisadas diferenças de temperatura do ar, umidade e índice de calor (IC) em diversas áreas do parque ao longo de 12 meses. As áreas com cobertura vegetal apresentaram uma redução média de 3,3 ºC na temperatura do ar e um aumento de 7,3% na umidade relativa em comparação às áreas sem cobertura vegetal. A maior diferença de temperatura e umidade foi observada na área mais densamente arborizada, com uma redução de 6,4 ºC na temperatura e um aumento de 16,2% na umidade. A tarde é o período mais quente, com temperaturas médias de 35,97 ºC nas áreas sem cobertura vegetal, enquanto a manhã é o mais fresco, com médias de 28,9 ºC nas áreas com cobertura vegetal. A variação máxima de temperatura entre áreas com e sem cobertura vegetal foi de 3,67 ºC durante a tarde. Para entender a percepção dos visitantes foram aplicados 500 formulários. A maioria (91,8%) acredita que as árvores reduzem a temperatura local e 44,8% consideram a vegetação excelente para o conforto térmico. A análise revelou que 68,4% dos visitantes frequentam o parque à tarde, coincidentemente o horário com os maiores valores de temperatura, sugerindo que buscam alívio térmico proporcionado pela vegetação. Os resultados reforçam a necessidade de políticas públicas e planos de manejo que promovam a expansão e manutenção das áreas verdes, servindo de modelo para outras regiões enfrentarem desafios semelhantes.

Palavras-Chave: Biodiversidade urbana; Mitigação climática; Sequestro de carbono; Conforto térmico; Microclima urbano.

ABSTRACT

The emission of CO_2 from human activities intensifies the greenhouse effect, contributing to global warming. In cities, this results in higher temperatures, climate changes, and directly impacts thermal comfort, public health, and urban biodiversity. This study investigated the role of the Parque Natural Municipal das Timbaúbas in mitigating climate change and urban heat islands, highlighting it as the only Conservation Unit in Juazeirc do Norte. The analysis included an arboreal survey, carbon sequestration evaluation, microclimate studies, and thermal perception of visitors, establishing a foundation for future research in the area. One hundred individuals were randomly selected from different points in the park, using the criterion of individuals with a diameter at breast height (DBH) ≥ 5 cm. Carbon estimation was performed using direct methods (analyzing samples of leaves, fine branches, and stems) and indirect methods, employing DBH to estimate biomass and carbon. Thermal comfort analysis was conducted using the Temperature and Humidity Index (THI) and Heat Index (HI). The population's perception of the thermal comfort provided by the vegetation was assessed through interviews with park visitors, alongside the collection of climatic data from May 2023 to April 2024, ensuring a comprehensive evaluation of the climatic conditions throughout the year. In the first article, 100 individuals were sampled, distributed among 25 species and 9 families, with a focus on Fabaceae, Arecaceae, and Anacardiaceae. The Shannon index (*H'*) reached 2.82 and the Pielou index (*J'*) was 0.87. Average carbon content ranged from 49.22% to 58% across different compartments, with Enterolobium contortisiliquum showing high values of organic matter (99.19%) and carbon content (57.67%) in branches, and *Syzygium cumini* with 97.64% organic matter and 56.77% carbon content in leaves and stems. *Astronium fraxinifolium* recorded the highest value, with 99.81% organic matter and 57.18% carbon content. The sampled individuals totaled 196.8 t/ha^{-1} of biomass, 88.56 t/ha^{-1} of stored carbon, and 325 t/ha^{-1} of CO_2 absorbed. In the second article, differences in air temperature, humidity, and heat index (HI) were analyzed in various areas of the park over 12 months. Vegetated areas showed an average reduction of 3.3 °C in air temperature and an increase of 7.3% in relative humidity compared to non-vegetated areas. The greatest difference in temperature and humidity was observed in the most densely wooded area, with a reduction of 6.4 °C in temperature and an increase of 16.2% in humidity. Afternoon is the hottest period, with average temperatures of 35.97 °C in non-vegetated areas, while morning is the coolest, with averages of 28.9 °C in vegetated areas. The maximum temperature variation between vegetated and non-vegetated areas was 3.67 °C during the afternoon. To understand visitor perceptions, 500 questionnaires were applied. The majority (91.8%) believe that trees reduce local temperature and 44.8% consider vegetation excellent for thermal comfort. The analysis revealed that 68.4% of visitors frequent the park in the afternoon, coinciding with the highest temperature values, suggesting they seek thermal relief provided by the vegetation. The results underscore the need for public policies and management plans that promote the expansion and maintenance of green areas, serving as a model for other regions facing similar challenges.

Keywords: Urban biodiversity; Public Spaces; Climate mitigation; Carbon Sequestration; Thermal Comfort; Urban Microclimate.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS 11

Capítulo 1 11

Capítulo 2 11

LISTA DE ILUSTRAÇÕES 12

Capítulo 1 12

Capítulo 2 13

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS 15

INTRODUÇÃO 16

MATERIAL E MÉTODOS 18

Area de Estudo 18

Estrutura da flora lenhosa e potencial de sequestro de carbono de área verde urbana no semiárido brasileiro 20

Coleta e tratamento de dados 20

Análises estatísticas 21

Estrutura e Diversidade alfa 22

Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla (método direto) 23

Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas (método indireto) 25

Percepção de Conforto Térmico e Microclima em Área Verde no Semiárido Brasileiro 26

Conforto térmico 26

Índice de calor 27

Percepção da população quanto ao conforto térmico 28

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 28

RESULTADOS E DISCUSSÃO 32

CAPÍTULO 1 Estrutura da flora lenhosa e potencial de sequestro de carbono de área verde urbana no semiárido brasileiro 32

INTRODUÇÃO 32

MATERIAL E MÉTODOS 35

Área de estudo **35**

Coleta e tratamento de dados **36**

Análises estatísticas **37**

Estrutura e Diversidade alfa **37**

Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla (método direto) **38**

Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas (método indireto) **38**

RESULTADOS E DISCUSSÃO **39**

Composição florística e diversidade alfa **39**

Estrutura fitossociológica **42**

Distribuição diamétrica e hipsométrica **44**

Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla **46**

Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas **49**

CONCLUSÃO **52**

Referências Bibliográficas **53**

CAPITULO 2 Entendendo o microclima urbano e a percepção dos usuários da única unidade de conservação de Juazeiro do Norte, Nordeste brasileiro **59**

INTRODUÇÃO **59**

MATERIAL E MÉTODOS **62**

Área de estudo **62**

Obtenção dos dados **63**

Percepção da população quanto ao conforto térmico **64**

Análises estatísticas **65**

RESULTADOS **66**

Questionários **68**

DISCUSSÃO **70**

Questionarios **74**

CONCLUSÃO **76**

Referências Bibliográficas **77**

APÊNDICE 01 ..... **89**

CONSIDERAÇÕES FINAIS **92**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do índice de calor (IC).....26

Capítulo 1

Tabela 1. Parâmetros florísticos e fitossociológicos organizada por IVI no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. Onde EC: Estado de Conservação; LC= Menos preocupante; NE= Não avaliadas; DR = Densidade Relativa; DD= Dados Deficientes; FR = Frequência Relativa; DoR(%) = Dominância Relativa; IVI = Índice de Valor de Importância; V = Voucher depositado no Herbário HCDAL.....37

Tabela 2. Matéria orgânica (M.O) e Teor de carbono (T.C) dos compartimentos analisados separadamente. Em que min = mínimo; max = máximo; m ± dp = média ± DP = Desvio padrão, em triplicata.....44

Tabela 3. Valores encontrados nos diferentes componentes coletados das amostras das dez espécies de maior IVI no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. Em que min = mínimo; max = máximo; m ± dp = média ± DP = Desvio padrão, em triplicata.....45

Tabela 4. Relação das espécies com a biomassa arbórea, carbono estocado e CO2 sequestrado por cada espécie de acordo com equações alométricas.....48

Capítulo 2

Tabela 1. Níveis de alerta à saúde humana conforme o índice de calor de uma determinada região, com sintomas descritos.....80

Tabela 2. ANCOVA para a relação entre temperatura e umidade dentro de cada ponto amostral. Indicando a variação entre as áreas com cobertura vegetal (CCV) e sem cobertura vegetal (SCV). Df – Degrees of freedom; SSq – Sum of squares; MSq – Mean of squares; F – F-Statistics; P – Significance.....78

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Imagens obtidas via drone do Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará.....13

Figura 2. Mensuração dos indivíduos com o DAP maior ou igual a 5cm com o auxílio da suta.....14

Figura 3. Lacre de identificação no individuo amostrado durante a coleta de dados.....15

Figura 4. Amostras de galhos finos, folhas e caule separadas individualmente.....17

Figura 5. A. Processo de pesagem do material vegetal; B. Material no forno mufla; C. Material após a calcinação do forno mufla.....18

Figura 6. A. Estação Meteorológica Digital Completa – HM-1080; B. Display de armazenamento de dados.....20

Figura 7. Entrevista sendo realizada a transeunte do Parque Natural Municipal das Timbaúbas.....22

Capítulo 1

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo e dos indivíduos amostrados - Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil.....31

Figura 2. Distribuição dos indivíduos amostrados por classes de diâmetro no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil.....39

Figura 3. Distribuição dos indivíduos amostrados por classes de altura no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil.....40

Figura 4. Valores expressos em diferentes tonalidades de cores (heatmap), analisados por ANOVA de duas vias, seguindo o teste de Tukey. Considerando p< 0,01(equivalente ao intervalo de 99%). Onde: A: Galhos, B: Folhas e C: Caule.....44

Capítulo 2

Figura 1. Área de estudo, com os respectivos pontos amostrais no Parque Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil.....79

Figura 2. Variação dos valores de temperatura, umidade e índice de calor ao longo dos meses de estudo.....80

Figura 3. Variação dos valores de temperatura (A), umidade (B) e índice de calor (C) entre os pontos amostrais. Letras diferentes entre os horários indicam diferença significativa (P < 0,05) 81

Figura 4. Variação dos valores de temperatura (A), umidade (B) e índice de calor (C) entre os horários manhã (08:00 am), tarde (01:00 pm) e noite (05:30 pm),

dentro de cada ponto amostral.....82

Figura 5. Variação dos valores de temperatura (A), umidade (B) e índice de calor (C) entre as áreas com cobertura vegetal (CCV) e sem cobertura vegetal (SCV) dentro de cada ponto amostral. * Diferenças estatisticamente significativas em cada ponto amostral.....83

Figura 6. Gráfico de dispersão da relação entre temperatura e umidade, com comparação entre as áreas com cobertura vegetal (CCV) e sem cobertura vegetal (SCV) dentro de cada ponto amostral.....85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BA – Biomassa de árvores

BVT – Biomassa Vegetal Total

C – Índice de Concentração de Simpson

CNCFlora – Centro Nacional de Conservação da Flora

CO_2 – Dióxido de Carbono

CS - Carbono Sequestrado

CTBV - Carbono Total na Biomassa Aérea Viva

CVB – Carbono da Biomassa Vegetal

DAP – Diâmetro à Altura do Peito

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

H' – Índice de Shannon-Wiener

Ha – Hectare

HCDAL - Herbário Caririense Dárdamo de Andrade Lima

IC – Índice de Calor

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

IUCN - International Union for Conservation of Nature

J' – Índice de Equabilidade de Pielou

MME – Ministério de Minas e Energia

MO – Matéria Orgânica

MOS – Matéria Orgânica no Solo

SEMASP - Secretaria de Meio Ambiente e Serviços Públicos

UR – Umidade Relativa

URCA – Universidade Regional do Cariri

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil testemunhou um fenômeno de expansão urbana desordenada, um processo caracterizado por um crescimento acelerado e muitas vezes sem o devido planejamento ambiental e urbanístico, que provocou alterações significativas no ambiente natural, resultando em mudanças drásticas na composição da atmosfera e no clima local, comprometendo a qualidade de vida nas áreas urbanas (COSTA; SILVA; PERES, 2010; MELO FILHO, 2018). A falta de planejamento adequado levou a impactos negativos no microclima, na dinâmica atmosférica, afetando o ciclo hidrológico, o relevo, a vegetação e a fauna, criando um cenário desafiador para a sustentabilidade urbana (BARBOSA; ALENCAR; ALENCAR, 2020).

A conversão do espaço natural em áreas urbanizadas intensifica problemas ambientais, como o aumento do desconforto térmico e a emergência de ilhas de calor, fenômenos amplamente observados na literatura científica (SILVA et al., 2016). Um exemplo notável dessa tendência é Juazeiro do Norte, no Ceará, que reflete o desafio de equilibrar desenvolvimento urbano e qualidade de vida em um contexto de urbanização intensa. Em 2021, esta cidade destacou-se como a terceira mais populosa do estado, com uma taxa de urbanização de 95,3%, um indicativo da pressão sobre os recursos naturais e a infraestrutura urbana (IPECE, 2022).

Diante desses desafios, o papel da vegetação urbana na mitigação dos impactos negativos da urbanização ganha destaque. A presença de áreas verdes nas cidades contribui significativamente para a redução das temperaturas, a interceptação da radiação solar, a diminuição da poluição do ar e do ruído, além de oferecer um alívio ao consumo de energia em regiões quentes (NOWAK et al., 2000; GOMES; SOARES, 2003; ORTOLANI; VITALE, 2016; TAKÁCS et al., 2016). Espaços verdes urbanos funcionam como elementos chave para adaptação e mitigação das ilhas de calor urbanas e das mudanças climáticas, através do resfriamento proporcionado pela vegetação (BALOGUN et al., 2014).

A importância dos estudos fitossociológicos na gestão da vegetação urbana é incontestável, oferecendo uma compreensão abrangente da distribuição de espécies, da dinâmica comunitária e das estruturas vegetais. Estas análises permitem avaliar tanto a estrutura vertical quanto a horizontal, indicando o estágio sucessional da área e elucidando o padrão de distribuição espacial das espécies e a composição vegetal

(FELFILI et al., 2011; CALLEGARO et al., 2011; MORO et al., 2012; MARTINS; BAUCHPIESS; ARAÚJO, 2021). A inserção de tecnologias avançadas e inovações em práticas de gestão urbana aprimora o manejo dos recursos naturais e fortalece as iniciativas de sustentabilidade. A aplicação de estudos fitossociológicos e análises de conforto térmico em espaços verdes urbanos fornece dados essenciais para o planejamento eficaz, considerando as necessidades ecológicas e sociais. Estes estudos identificam as melhores práticas para a criação e manutenção de áreas verdes que enriquecem a biodiversidade urbana e melhoram a qualidade de vida, combatendo as ilhas de calor. A participação comunitária é um pilar essencial, incentivando a criação de espaços verdes comunitários e promovendo a conscientização ambiental. Essas abordagens, aliadas a políticas públicas eficazes, têm o potencial de transformar o cenário urbano, tornando as cidades mais resilientes e melhorando a qualidade de vida dos habitantes (NERY, 2012).

Ademais, emissão de dióxido de carbono (CO_2) nas cidades, sobretudo decorrente da queima de combustíveis fósseis, queimadas e desmatamento, coloca a vegetação urbana como um componente crucial na estratégia de mitigação desses impactos. Através da fotossíntese, as árvores urbanas desempenham um papel vital na purificação do ar, absorvendo CO_2 e liberando oxigênio, o que sublinha a importância de preservar e expandir as áreas verdes nas cidades para melhorar a qualidade ambiental (QUARANTA et al., 2021; HUANG, 2022). A restauração e o estabelecimento de áreas verdes não só oferecem uma solução eficaz para a fixação de carbono, mas também representam uma estratégia valiosa para enfrentar as mudanças climáticas em escala global. Essas iniciativas contribuem para a captura e armazenamento de CO_2, destacando-se como práticas essenciais para a sustentabilidade urbana e a saúde pública (WATZLAWICK et al., 2002; WATSON, 2009).

Em suma, a integração de planejamento urbano com a conservação e o desenvolvimento de espaços verdes emerge como um imperativo para mitigar os impactos ambientais negativos associados à urbanização desordenada. A promoção de uma infraestrutura verde robusta nas cidades do semiárido brasileiro, aliada a uma gestão ambiental eficaz e inovadora, é fundamental para garantir uma qualidade de vida sustentável para as gerações presentes e futuras. Assim, o presente estudo busca contribuir para o conhecimento fornecendo dados da fitossociologia e do conforto térmico dentro de um parque verde urbano situado em Juazeiro do Norte, evidenciando como essas áreas verdes desempenham um papel fundamental na melhoria das condições climáticas locais

e no bem-estar da população, ao mesmo tempo em que contribuem para a biodiversidade e a sustentabilidade ambiental da cidade.

Neste estudo buscou-se entender: (1) As árvores apresentadas no Parque Natural Municipal das Timbaúbas desempenham um papel significativo no sequestro de carbono na cidade em que se localiza? (2) A biodiversidade apresentada no local é característica do ambiente a qual está inserido? (3) Qual a quantidade de carbono sequestrado e quais espécies apresentam os melhores índices para uso futuro em ambientes similares? Ao abordar estas questões, a pesquisa enfatiza a importância das áreas verdes urbanas no semiárido brasileiro na absorção de CO_2, oferecendo perspectivas inovadoras para a gestão ambiental. Ao elucidar o papel crucial da vegetação urbana, este trabalho busca contribuir para o avanço do conhecimento científico e para a implementação de políticas públicas eficazes na ecologia urbana e na gestão de espaços verdes, servindo como um modelo referencial para outras regiões com características climáticas e ecológicas no contexto do semiárido. O segundo artigo, busca responder as seguintes perguntas: Quais são os efeitos de resfriamento proporcionados pelas árvores do Parque Natural Municipal das Timbaúbas? Quais são as diferenças de temperatura do ar, umidade e índice de calor ao longo do dia e em diferentes áreas do parque? Os frequentadores estão satisfeitos com o conforto térmico oferecido pela vegetação do parque? Como a temperatura do ar influencia a umidade em diferentes áreas do parque? Este trabalho contribuirá para a compreensão do efeito de resfriamento de espaços verdes de Juazeiro do Norte (Ceará) e para subsidiar a criação e gestão de novos espaços verdes urbanos.

MATERIAL E MÉTODOS

Area de Estudo

O estudo foi conduzido no Parque Natural Municipal das Timbaúbas (Figura 1) (7°14'13.55" S, 39°18'45.33" O), popularmente conhecido como “Parque Ecológico das Timbaúbas” localizado no município de Juazeiro do Norte, sul do Ceará, Nordeste do Brasil. Instituído pelo Decreto Municipal nº 352 de 2017, o Parque é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, abrangendo uma área de 234.059,458m² (23,41 ha). Criado pelo decreto de lei municipal nº 1.083 de 23 de março de 1995, o Parque visa proteger o lençol freático situado no interior do espaço urbano, que faz parte da bacia do Rio Salgado, sob gestão municipal.

Figura 1. Imagens obtidas via drone do Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará.

O município de Juazeiro do Norte possui altitude de 377,3 m (IPECE, 2017) e a região é caracterizada por um clima semiárido quente, classificado como BSh segundo a classificação de Köppen. O regime climático local divide-se em uma estação chuvosa de janeiro a abril e uma estação seca nos meses restantes (LUNA et al., 2023). A precipitação média anual varia entre 900 e 1000 mm, tendo uma média de 925,1 mm (IPECE, 2017). Para o ano de 2023, a pluviosidade registrada foi de 919.5mm (FUNCEME, 2023) e as temperaturas oscilaram com mínima de 22 ºC e máxima de 33 ºC (INMET, 2024), sendo setembro o mês mais seco e novembro o mais quente.

Do ponto de vista geográfico, Juazeiro do Norte divide-se em dois compartimentos morfológicos distintos: as áreas aplainadas ao norte e o relevo de planalto da Chapada do Araripe ao sul. Os solos predominantes, aluviais e podzólicos, são propícios para a vegetação típica da Caatinga e do Cerrado. O substrato geológico é composto principalmente por xistos, quartzitos, granitos, conglomerados e arenitos do Paleozóico, além de arenitos e calcários do Mesozóico (MME, 1998).

Estrutura da flora lenhosa e potencial de sequestro de carbono de área verde urbana no semiárido brasileiro

Coleta e tratamento de dados

O estudo foi realizado entre março e outubro de 2023 e adotou metodologia de amostragem florestal aleatória, selecionando 100 indivíduos arbóreos para garantir a representatividade da diversidade de espécies do Parque Natural Municipal das Timbaúbas. A coleta de dados focou nas características morfológicas e ecológicas desses indivíduos, incluindo o diâmetro à altura do peito (DAP) (Figura 2) com critério mínimo ≥ 5 cm, utilizando uma suta, para a altura um hipsômetro laser LCD PF3S, e um GPS para demarcar a localização individual do espécime.

Figura 2. Mensuração dos indivíduos com o DAP maior ou igual a 5cm com o auxílio da suta.

As identificações das espécies foram realizadas com base em literatura especializada e comparação com materiais previamente identificados, apoiadas por consultas online nas bases de dados da plataforma REFLORA, Flora e Funga do Brasil (2024), CNCFlora, Centro Nacional de Conservação da Flora (2024) e a IUCN, International Union for Conservation of Nature (2024) para avaliar o status de conservação. Isso permitiu a validação dos nomes das espécies, exclusão de sinonímias e correção da grafia e autoria, além de verificar o status de conservação de cada espécie. Espécimes não reconhecidos foram coletados com ramos férteis durante o período de floração e incorporados ao acervo do Herbário Caririense Dárdamo de Andrade Lima (HCDAL) da Universidade Regional do Cariri - URCA.

Figura 3. Lacre de identificação no individuo amostrado durante a coleta de dados.

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas usando os softwares Microsoft Excel® e GraphPad Prisma 10.1.2. Para avaliar diferenças significativas no teor de carbono entre

os compartimentos vegetais (folhas, galhos e caule) no método direto, utilizou-se o modelo de regressão não linear das curvas e ANOVA de duas maneiras. Os testes de Tukey e a correlação de Pearson (r) foram empregados para examinar a influência de cada variável na absorção de carbono nos compartimentos, considerando significativas as correlações com $p<0,01$.

Estrutura e Diversidade alfa

Para a análise da comunidade vegetal, foram considerados parâmetros gerais como densidade total, área basal, alturas e diâmetros dos indivíduos. Parâmetros específicos das espécies, incluindo densidade relativa (DR), frequência relativa (FR), dominância relativa (DoR) e índice de valor de importância (IVI) também foram examinados, oferecendo uma visão detalhada da composição e estrutura da comunidade vegetal.

Para o cálculo dos índices ecológicos foram analisados a diversidade e a uniformidade de espécies presentes na arborização de cada praça. Foi calculado o Índice de diversidade de Shannon-Wiener (*H*') utilizando a equação:

$$H' = - \sum_{i=1}^{S} pi.Ln\,pi$$

Equação 1. S = riqueza de espécies; Ln = logaritmo neperiano; pi = abundância relativa de cada espécie, calculada pela proporção de indivíduos da iésima espécie pelo número total de indivíduos na comunidade $\frac{ni}{N}$; ni = abundância da iésima espécie; N = número total de todos os indivíduos.

Para Wihlm (1972), esta equação é a mais satisfatória dentre as desenvolvidas para diversidade específica e de dominância, pois expressa a importância relativa de cada espécie e não apenas a proporção entre espécies e indivíduos.

Calculou-se o índice de uniformidade ou equabilidade de Pielou (*J'*) (PIELOU, 1966) o qual considera o número total de espécies e o índice de diversidade de Shannon-Wiener. Os valores do índice de uniformidade apresentam um intervalo de variação entre 0 a 1, onde 1 representa a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies são igualmente abundantes (CIATEC, 2001). Portanto, serão calculados com o emprego das seguintes expressões:

$$J' \frac{H'}{H'\,max}$$

Equação 2. J’ = índice de Equabilidade de Pielou; H’ = índice de Diversidade de Shannon-Weaver; H’ max = índice de diversidade máxima; ln = logaritmo neperiano; S = número total de espécies amostradas = riqueza

O índice de Concentração de Simpson (*C*’) foi calculado para avaliar a dominância de espécies nas comunidades.

$$C = \Sigma \left[\frac{ni\ (ni\ -\ 1)}{N\ (N-1)} \right]$$

Equação 3. l = Medida de dominância; C = índice de dominância de Simpson; n i = número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie; N = número total de indivíduos amostrados; S = número de espécies amostradas.

Por fim, utilizou-se o teste T de Student para verificar a significância estatística entre as médias, adotando um erro máximo de aceitação de 0,05 (5%).

Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla (método direto)

Na abordagem direta da pesquisa, foram coletadas amostras de folhas, galhos e caule de 10 espécies selecionadas com base na estrutura horizontal, representando cerca de 40% do total de espécies (SILVA et al., 2015) e contribuindo com 80% de IVI e 91% da área basal do local estudado. A seleção das espécies foi fundamentada no Índice de Valor de Importância (IVI) e na área basal. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos individuais (Figura 4) e secas em estufa a uma temperatura de 70±2ºC durante 24 horas.

Figura 4. Amostras de galhos finos, folhas e caule separadas individualmente.

Para determinar o teor de carbono total das amostras (folhas, galhos e caule) foi empregado o método de secagem por via seca (mufla) (Figura 5). Este processo, seguiu o método estabelecido por Goldin (1987). As amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório Multidisciplinar do Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UNILEÃO), onde cada amostra foi colocada em um cadinho de porcelana sem tampa e pesado (Figura 5), e submetida a calcinação em forno mufla a uma temperatura de 550 °C. Após a calcinação, as amostras foram resfriadas em dessecador e posteriormente pesadas, quando atingiram a temperatura ambiente (CARMO E SILVA, 2012).

Figura 5. A. Processo de pesagem do material vegetal; B. Material no forno mufla; C. Material após a calcinação do forno mufla.

O método da mufla consiste na determinação gravimétrica do CO_2 evoluído e, por conseguinte, na perda de massa de resíduo submetido à alta temperatura por certo intervalo de tempo; na determinação da MO (matéria orgânica), considera-se, assim, a diferença de peso inicial (amostras secas a 105 ºC) e de peso computado após a incineração da amostra a 550-600 ºC (SUGUIO, 1973). Para este método, estimou-se o teor de MO (Matéria Orgânica), multiplicando teor de carbono (C) pelo fator de van Bemmelem 1,72 (100/58), considerando que em média, o teor de MOS (matéria orgânica do solo) apresenta 58% de C (YEOMANS E BREMNER, 1988; SATO, 2014; ZEYEDE, 2020).

Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas (método indireto)

O estoque de carbono e quantificação da biomassa ocorreu em nível de cobertura arbórea da área, isto é, não se levou em consideração as árvores mortas. Na obtenção dos resultados, foi utilizado os procedimentos criados por Arevalo et al. (2002) e citados por Denardin et al., (2014), Rocha et al., (2014), Rocha et al., (2017), e Nunes (2018). Nessa pesquisa, foi utilizada a equação alométrica (Equação 1) para calcular a biomassa arbórea para indivíduos vivos (kg/árvore).

$$BA = 0{,}1184 * DAP^{2{,}53}$$

Equação 4. BA= biomassa de árvores vivas e mortas em pé; 0,1184 = constante; DAP = diâmetro a altura do peito (cm); 2,53= constante

Em seguida foi calculado o carbono na biomassa vegetal total (t/ha^{-1}), através da equação 2.

$$CBV\ (t/ha^{-1}) = BVT * 0{,}45$$

Equação 5. CBV (t/ha^{-1}) = carbono na biomassa vegetal; BVT = biomassa vegetal total; 0,45 = constante

No presente estudo, a determinação do estoque total de carbono da parte aérea de árvores vivas foi efetuada através do cálculo da média do carbono estocado (toneladas por hectare).

Conforme apresentado por Fernandes et al. (2007), essa estimativa de estoque de carbono reflete a quantidade de carbono que foi removida da atmosfera e atualmente se encontra armazenada na biomassa aérea na forma de carbono orgânico. Para a conversão desses valores em dióxido de carbono (CO_2), adotou-se a premissa de que uma tonelada de carbono é equivalente a 3,67 toneladas de CO_2. Portanto, a fórmula utilizada para calcular o CO_2 sequestrado da atmosfera foi baseada na Equação 3.

$$CS\ (t/ha^{-1}) = CTBV * 3{,}67$$

Equação 6. CS (t/ha^{-1}) = carbono sequestrado; CTBV (t/ha^{-1}) = carbono total na biomassa aérea viva; 3,67 = constante.

Percepção de Conforto Térmico e Microclima em Área Verde no Semiárido Brasileiro

Conforto térmico

O conforto térmico foi avaliado através do índice de calor (IC). As variáveis meteorológicas medidas incluíram a temperatura do ar (ºC) e a umidade relativa do ar (%). Essas medições foram realizadas utilizando um termo-higrômetro a uma altura de 1,5 m da superfície do solo, tanto em áreas com cobertura vegetal quanto em áreas sem cobertura. O monitoramento ocorreu de maio de 2023 a abril de 2024, abrangendo os períodos chuvosos e secos da região. Para avaliar a influência da arborização no microclima, foi instalada nas propriedades da SEMASP (Secretaria de Meio Ambiente e Serviços Públicos), que se localiza no interior do parque uma Estação Meteorológica Digital Completa – HM-1080 (Figura 6), onde os dados referentes à temperatura, umidade e precipitação estão sendo coletados mensalmente. Os dados foram registrados uma vez por mês em diferentes pontos do Parque Natural Municipal das Timbaúbas.

Figura 6. A. Estação Meteorológica Digital Completa – HM-1080; B. Display de armazenamento de dados.

O aumento da temperatura ocorre do período da manhã até a tarde, apresentando os maiores valores depois das 12 h, perto das 14 h (FERREIRA; HERRMAN, 2016;

MARTINI et al., 2016). Sendo coletado os dados dos horários: 8:00h, 13:00 e 17:00h perfazendo o estudo da relação em questão com o IC.

Índice de calor

Segundo Nóbrega e Lemos (2011), o índice de calor (IC) combina a temperatura e a umidade relativa do ar para determinar uma temperatura aparente que representa o calor que se sente realmente. O Índice de Calor é elaborado a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para dados valores de temperatura e umidade relativa do ar, nas situações em que as temperaturas estão elevadas, estando a pessoa à sombra em condições de vento fraco (COSTA et al., 2013).

Foi utilizada a metodologia de Steadman (1979) para o cálculo do índice de IC. A fórmula é representada pela equação:

$$IC = -42,379 + 2,04901523 * T + 10,14333127 * UR - 0,22475541 * T * UR - 6,83783 * 10^{-3} * (T)^2 - 5,481717 * 10 – 2 * (UR)^2 + 1,22874 * 10^{-3} * (T)^2 \times UR + 8,5282 \times 10 - 4 * T * (UR)^2 - 1,99 * 10 * (T)^2 * (UR)^2$$

Equação 8: IC - índice de calor; T - temperatura (ºC); UR - umidade relativa do ar (%)

Com os resultados obtidos do IC serão indicados os níveis de alerta e as consequências para o ser humano, conforme consta no tabela 1.

Tabela 1. Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do índice de calor (IC).

Nível de alerta	Índice de calor	Síndrome de calor (sintomas)
Perigo extremo	54º C ou mais	Insolação ou ação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1 – 54º C	Câimbras, insolação e provável esgotamento. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela extrema	32,1º - 41º C	Possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física.
Cautela	27,1 – 32º C	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
Não há alerta	Menor que 27º C	Não há problemas.

Fonte: Nóbrega e Lemos (2011)

Percepção da população quanto ao conforto térmico

Para avaliar o ponto de vista da população sobre o nível de conforto térmico proporcionado pela presença da arborização no Parque, paralelamente à coleta de dados meteorológicos, foram aplicadas 500 entrevistas dentre um período de um ano (Figura 8) aos transeuntes estacionários do local (Figura 7). É notável destacar que este instrumento de coleta de dados foi devidamente submetido e aprovado pela Plataforma Brasil, órgão responsável pela avaliação ética de pesquisas envolvendo seres humanos no Brasil, garantindo o cumprimento das diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos conforme estabelecido pelo Comitê de Ética em Pesquisa. O parecer aprovativo do comitê foi registrado sob o número 6.316.850, assegurando que o estudo foi conduzido em conformidade com os princípios éticos nacionais e internacionais.

Figura 7. Entrevista sendo realizada a transeunte do Parque Natural Municipal das Timbaúbas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arevalo, L. A., Alegre, J. C., & Vilcahuaman, L. J. M. (2002). Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra.

Balogun, A. A., Morakinyo, T. E., & Adegun, O. B. (2014). Effect of tree-shading on energy demand of two similar buildings. Energy and buildings, 81, 305-315.

Barbirato, G. M. (2007). Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. UFAL.

Barboza, E. N., da Silva Alencar, G. S., & de Alencar, F. H. H. (2020). A arborização melhora o conforto térmico em áreas urbanas: o caso de Juazeiro do Norte, Ceará. Research, Society and Development, 9(6), e105963691-e105963691.

Callegaro, R. M., Longhi, S. J., Araujo, A. C. B., Kanieski, M. R., Floss, P. A., & Gracioli, C. R. (2012). Estrutura do componente arbóreo de uma floresta estacional decidual ripária em Jaguari, RS. Ciência Rural, 42, 305-311.

Carmo, D. L. D., & Silva, C. A. (2012). Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36, 1211-1220.

Castro Ferreira, R., & Herrmann, C. R. A. (2016). Influência de espécies arbóreas no microclima e conforto térmico de seu entorno imediato sob condições climáticas do cerrado goiano. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 11(1).

CITY, E. I. R. (2011). O microclima e o (des) conforto térmico em ambientes abertos na cidade do recife. Revista de Geografia (UFPE), 28(1), 93.

Costa, D. F. D., Silva, H. R., & Peres, L. D. F. (2010). Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias. Engenharia Agrícola, 30, 974-985.

Felfili, J. M., Eisenlohr, P. V., Melo, M. M. R. F., Andrade, L. A., & Meira Neto, J. A. A. (2011). Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos. Viçosa: UFV, 1, 556.

Fernandes, T. J. G., Soares, C. P. B., Jacovine, L. A. G., & Alvarenga, A. D. P. (2007). Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de Hevea sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. Revista Árvore, 31, 657-665.

Goldin, A. (1987). Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. Communications in soil science and plant analysis, 18(10), 1111-1116.

Gomes, M. A. S., & Soares, B. R. (2003). A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras. Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia, 1(1), 19-29.

Huang, K. (2022). Urban forests facing climate risks. Nature Climate Change, 12(10), 893-894.

LUNA, V. F. (2023). Eventos extremos de chuva e suscetibilidade a inundação em Juazeiro do Norte, Ceará (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).

Magurran, A. E. (2013). Ecological diversity and its measurement. Springer Science & Business Media.

Martini, A., Biondi, D., Batista, A. C., & da Silva Filho, D. F. (2015). Microclima em diferentes tipologias de floresta urbana. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 10(4), 12-22.

Martins, S. V., Bauchspiess, C., Araújo, E.F. (2021). Fitossociologia e aspectos ecológicos de um remanescente florestal em um mosaico campo-floresta no rio grande do sul como referência para a restauração ecológica. águas e florestas: desafios para conservação e utilização, 1(1), 262-276.

Melo Filho, J. M. M. (2018). Urban expansion and environmental impacts: an analysis of urban intervention projects for the city of Teresina, Piauí. GEOSABERES, 9(19).

Moro, M. F., Souza, V. C., Oliveira-Filho, A. T. D., Queiroz, L. P. D., Fraga, C. N. D., Rodal, M. J. N., Araújo, F. S., Martins, F. R. (2012). Alienígenas na sala: o que fazer com espécies exóticas em trabalhos de taxonomia, florística e fitossociologia?. Acta botanica brasílica, 26, 991-999.

Nery, N. S. (2012). Inclusão socioespacial de comunidades pobres: programa de requalificação urbanística e inclusão social da Comunidade do Pilar, Bairro do Recife-PE (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).

Nicoloso Denardin, R. B., Luis Mattias, J., do Prado Wildner, L., Nunes Nesi, C., & Sordi, A. (2014). CARBON STOCK IN SOIL UNDER DIFFERENT FOREST FORMATIONS, CHAPECÓ, SANTA CATARINA STATE. Ciência Florestal, 24(1), 59-69.

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. Environmental pollution, 116(3), 381-389.

NUNES, Á. R. V. (2018). Conforto térmico e estimativa da captura do carbono pela vegetação em diferentes áreas da Cidade de Catolé do Rocha-PB.

Ortolani, C., Vitale, M. (2016). The importance of local scale for assessing, monitoring and predicting of air quality in urban areas. Sustainable Cities and Society, 26, 150-160.

Quaranta, E., Dorati, C., & Pistocchi, A. (2021). Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios. Scientific reports, 11(1), 12163.

Rocha, G. P., Fernandes, L. A., Cabacinha, C. D., Lopes, I. D. P., Ribeiro, J. M., Frazao, L. A., & Sampaio, R. A. (2014). Characterization and carbon storage of agroforestry systems in Brazilian savannas of Minas Gerais, Brazil/Caracterizacao e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. Ciência Rural, 44(7), 1197-1204.

Rocha, W. D. O., Pereira, A. M., da Silva, A. E., & Fraga, J. A. (2017). Estimativa de biomassa vegetal e sequestro de carbono no Parque Natural Municipal Flor do Ipê, Várzea Grande, MT. Multitemas.

Sato, J. H., Figueiredo, C. C. D., Marchão, R. L., Madari, B. E., Benedito, L. E. C., Busato, J. G., & Souza, D. M. D. (2014). Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. Scientia Agricola, 71, 302-308.

Silva, G. D. J. O., Caione, C., Souza, V. L., Ramos, A. W. P., da Silva Neves, S. M. A., & dos Santos Galvanin, E. A. (2016). Ilhas de calor nas cidades contidas na Bacia do Alto Paraguai, Brasil. Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 6, 433-441.

Silva, H. F., Ribeiro, S. C., Botelho, S. A., Faria, R. A. V. B., Teixeira, M. B. R., & Mello, J. M. (2015). Carbon stock estimate using indirect methods in a forest restoration area in Minas Gerais State. Scientia Forestalis, 43(108), 943-953.

Takács, Á., Kiss, M., Hof, A., Tanács, E., Gulyás, Á., & Kántor, N. (2016). Microclimate modification by urban shade trees–an integrated approach to aid ecosystem service based decision-making. Procedia Environmental Sciences, 32, 97-109.

Watson, C. (2009). Forest carbon accounting: overview and principles. Forest carbon accounting: overview and principles.

Watzlawick, L. F., Sanquetta, C. R., Arce, J. E., & Balbinot, R. (2003). Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Kuntze no sul do estado do Paraná, Brasil. Revista Acadêmica Ciência Animal, 1(2), 63-68.

Yeomans, J. C., & Bremner, J. M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in soil science and plant analysis, 19(13), 1467-1476.

Zeyede, A. (2020). Optimization of the analytical method for the determination of organic matter. Journal of Soil Science and Environmental Management, 11(1), 1-5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CAPÍTULO 1 Estrutura da flora lenhosa e potencial de sequestro de carbono de área verde urbana no semiárido brasileiro

Structure of the woody flora and carbon sequestration potential of an urban green area in the Brazilian semi-arid region

Artigo submetido à revista Journal of Sustainable Forestry, classificação A2 no Qualis/CAPES, e percentil de 75%.

Resumo: Em cidades do interior do semiárido brasileiro áreas verdes urbanas, como parques públicos, são praticamente inexistentes. Neste contexto, esta pesquisa visou analisar a biodiversidade e a eficiência da vegetação lenhosa na absorção de carbono, destacando o papel de uma área verde urbana na região semiárida brasileira. O local de estudo foi o Parque Natural Municipal das Timbaúbas em Juazeiro do Norte, nordeste do Brasil. A quantificação do carbono ocorreu de forma direta, analisando-se o teor de carbono e matéria orgânica de folhas, caule e galhos das espécies com maior IVI por via seca; e indireta, utilizando dados estruturais da comunidade vegetal para calcular biomassa e carbono. Foram amostrados 100 indivíduos de 25 espécies distribuídas em 9 famílias com destaque para Fabaceae, Arecaceae e Anacardiaceae. O índice de Shannon (*H'*) foi de 2,82 e Pielou (*J'*) 0,87. Os teores médios de carbono variaram de 49,22% a 58% nos diferentes compartimentos, destacando-se *Enterolobium contortisiliquum* com altos valores de matéria orgânica (MO) (99,19%) e teor de carbono (TC) de (57,67%) nos galhos, *Syzygium cumini* (97,64% de MO e 56,77% de TC para folhas e caule). O maior valor foi observado em *Astronium fraxinifolium* com 99,81 % de MO e 57,18% de TC. Os indivíduos amostrados obtiveram o total de 196,8 t/ha^{-1} de biomassa, 88,56 t/ha^{-1} de carbono estocado e 325 t/ha^{-1} de CO_2 absorvido. Estes resultados apontam a necessidade de estratégias essenciais de planejamento urbano sustentável, servindo de referência para a criação de espaços similares nessa região do Brasil, fortalecendo práticas de conservação e mitigação das emissões de GEE.

Palavras-chave: Sequestro de Carbono; Fitossociologia; Mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam a maior ameaça para os habitats, as espécies e os meios de subsistência dos seres humanos (WWF, 2022). Essas mudanças referem-se às alterações no clima do planeta e são principalmente uma consequência do acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (Work, 2019), que derivam principalmente da atividade humana (Sanz-Elorza, 2018). As principais atividades antropogênicas que geram GEE são: mudanças no uso do território, desmatamento de

florestas, produção de energia, agricultura, pecuária, eliminação de resíduos, transporte e indústria, cujas emissões foram registradas desde a Revolução Industrial (IPCC, 2018; Kongboon et al., 2022). É preocupante saber que a maior parte desses focos de emissão são gerados dentro das áreas urbanas e representam mais de 70% das emissões mundiais (Luqman et al., 2023), o que ativou os alertas nas cidades, pois a taxa de emissão é alarmante ao considerar que a área que cobrem representa menos de 5% da superfície terrestre do planeta (Paolini et al., 2019).

A concentração de CO_2 na atmosfera tem continuado a subir, atingindo níveis alarmantes. Em maio de 2023, o valor registrado foi de 421 partes por milhão (ppm), de acordo com dados da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Este aumento na concentração de CO_2 é um dos principais fatores que contribuem para o aquecimento global e os registros indicam que estamos a caminho de exceder as metas de aquecimento estabelecidas pelo Acordo de Paris em 2015. A preocupação é que, se as emissões de gases de efeito estufa continuarem no ritmo atual, podemos esgotar o "orçamento de carbono" - a quantidade de CO_2 que podemos emitir enquanto ainda nos mantemos dentro do limite de aumento de temperatura de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2022).

A preservação de áreas verdes urbanas, em particular as florestas, é reconhecida como uma estratégia fundamental na mitigação das mudanças climáticas. Estudos recentes evidenciam o papel crucial desses ecossistemas no sequestro de carbono, onde atuam como significativos sumidouros de CO_2, absorvendo aproximadamente o dobro do dióxido de carbono que emitem (Asanopoulos, 2020; Li et al., 2022). Esta capacidade de captura e armazenamento de carbono, através da fotossíntese, resulta na conversão de CO_2 em biomassa vegetal, contribuindo de maneira essencial para a regulação climática urbana e a conservação da biodiversidade (Racelis et al., 2019). Para Quaranta et al. (2021) e Huang (2022), a crescente concentração atmosférica de CO_2 e o consequente agravamento da crise climática ressaltam a urgência na expansão e preservação desses espaços naturais nas áreas urbanas, não apenas para a redução de gases de efeito estufa, mas também para o fortalecimento da resiliência urbana frente aos impactos do aquecimento global. Além disso, a relevância das florestas urbanas estende-se além do sequestro de carbono, incluindo a ornamentação e a biodiversidade urbana, a regulação de microclimas, a melhoria da qualidade do ar, a conservação da água, o controle de erosão e a oferta de habitats para diversas espécies. A diversidade florística desses ecossistemas urbanos, com suas distintas capacidades de fotossíntese e armazenamento

de carbono, contribui significativamente para a mitigação das mudanças climáticas, aumentando a resiliência aos impactos climáticos (Costa, 2023). A crescente preocupação com as mudanças climáticas tem impulsionado estudos sobre fitossociologia como subsídio para pesquisas sobre sequestro de carbono, destacando a importância de políticas públicas e práticas de gestão voltadas para a conservação e expansão dessas áreas verdes (Hogan et al., 2024).

O levantamento florístico nessas florestas permite identificar espécies chave para a captura de carbono e a estabilidade do ecossistema, evidenciando a necessidade de políticas públicas e práticas de gestão que promovam a expansão e conservação desses espaços. A integração dessas informações ao planejamento e gestão ambiental urbanos emerge como estratégia crucial para enfrentar os desafios das mudanças climáticas, destacando o valor das florestas urbanas no contexto global de conservação ambiental e sustentabilidade (Vechi et al. 2023).

Collalti et al. (2020) e Aponte et al. (2020) destacam que, em áreas urbanas, a quantificação do carbono armazenado na vegetação é um processo complexo, que exige uma avaliação detalhada da biomassa e análises químicas minuciosas de diferentes partes das plantas, uma tarefa que ganha contornos ainda mais desafiadores ao ser expandida para uma escala regional. Ao direcionar o foco para o Nordeste brasileiro, com extensão territorial de 1.558.000 km², observa-se um cenário complexo de emissões de GEE, onde de acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) a região contribui com 300,9 milhões de toneladas de CO_2 equivalente para o ano de 2022, sendo deste 22,507 milhões de toneladas de CO_2 equivalente para o estado do Ceará e 363,2 toneladas de CO_2 equivalente produzido pelo município de Juazeiro do Norte, uma quantidade significativa que destaca a importância de estratégias de mitigação adaptadas às suas peculiaridades geográficas e socioeconômicas.

Dentro deste contexto o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) relata 64 Unidades de Conservação (UC's) de esfera municipal para a região Nordeste, sendo destas 21 Parques Municipais. Diante desta realidade, a proposta do Projeto de Lei 4309/21 surge como uma iniciativa legislativa promissora, estabelecendo o marco regulatório da arborização urbana. Com o objetivo de auxiliar os municípios brasileiros no planejamento e implementação de estratégias eficazes de arborização, o PL busca mitigar os impactos negativos da urbanização acelerada. Ao promover a expansão e manutenção de áreas verdes urbanas, este projeto de lei almeja fortalecer a capacidade das cidades de contribuir para a redução das emissões de CO_2, enfatizando a importância

da vegetação urbana na promoção da sustentabilidade ambiental e na melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas.

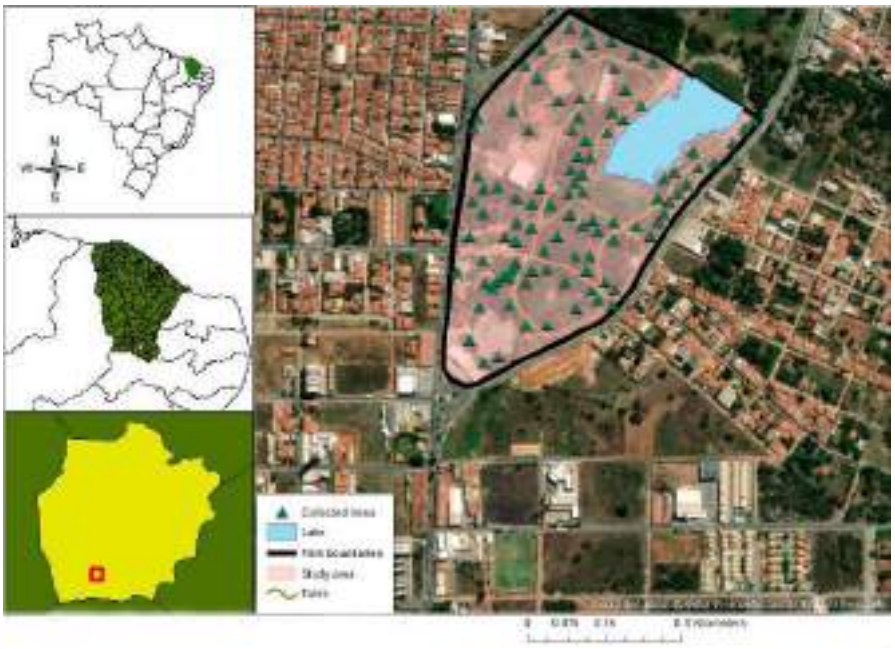
Neste contexto, este estudo levanta as seguintes hipóteses: (1) As árvores apresentadas no Parque Natural Municipal das Timbaúbas desempenham papel significativo no sequestro de carbono na cidade em que se localiza? (2) A biodiversidade apresentada no local é característica do ambiente a qual está inserido? (3) Qual a quantidade de carbono sequestrado e quais espécies apresentam os melhores índices para uso futuro em ambientes similares? Ao abordar estas questões, a pesquisa enfatiza a importância das áreas verdes urbanas no semiárido brasileiro na absorção de CO_2, oferecendo perspectivas inovadoras para a gestão ambiental. Ao elucidar o papel crucial da vegetação urbana, este trabalho busca contribuir para o avanço do conhecimento científico e para a implementação de políticas públicas eficazes na ecologia urbana e na gestão de espaços verdes, servindo como um modelo referencial para outras regiões com características climáticas e ecológicas no contexto do semiárido.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido no Parque Natural Municipal das Timbaúbas (7°14'13.55" S, 39°18'45.33" O), popularmente conhecido como “Parque Ecológico das Timbaúbas” localizado no município de Juazeiro do Norte, sul do Ceará, Nordeste do Brasil (Figura 1). Instituído pelo Decreto Municipal nº 352 de 2017, o Parque é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, abrangendo uma área de 234.059,458m² (23,41 ha). Criado pelo decreto de lei municipal nº 1.083 de 23 de março de 1995, o Parque visa proteger o lençol freático situado no interior do espaço urbano, que faz parte da bacia do Rio Salgado, sob gestão municipal.

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo e dos indivíduos amostrados - Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará. Brasil.



O município de Juazeiro do Norte possui altitude de 377,3 m (IPECE, 2017) e a região é caracterizada por um clima semiárido quente, classificado como BSh segundo a classificação de Köppen (1954). O regime climático local divide-se em uma estação chuvosa de janeiro a abril e uma estação seca nos meses restantes (Luna et al., 2023). A precipitação média anual varia entre 900 e 1000 mm, tendo uma média de 925,1 mm (IPECE, 2017). Para o ano de 2023, a pluviosidade registrada foi de 919.5mm (FUNCEME, 2023) e as temperaturas oscilaram com mínima de 22 ºC e máxima de 33 ºC (INMET, 2024), sendo setembro o mês mais seco e novembro o mais quente.

Do ponto de vista geográfico, Juazeiro do Norte divide-se em dois compartimentos morfológicos distintos: as áreas aplainadas ao norte e o relevo de planalto da Chapada do Araripe ao sul. Os solos predominantes, aluviais e podzólicos, são propícios para a vegetação típica da Caatinga e do Cerrado. O substrato geológico é composto principalmente por xistos, quartzitos, granitos, conglomerados e arenitos do Paleozóico, além de arenitos e calcários do Mesozóico (MME, 1998).

Coleta e tratamento de dados

O estudo foi realizado entre março e outubro de 2023 e adotou uma metodologia de amostragem florestal aleatória, selecionando 100 indivíduos arbóreos para garantir a representatividade da diversidade de espécies do Parque Natural Municipal das Timbaúbas. A coleta de dados focou nas características morfológicas e ecológicas desses

indivíduos, incluindo o diâmetro à altura do peito (DAP) com critério mínimo ≥ 5 cm, utilizando uma suta e para a altura um hipsômetro laser LCD PF3S

As identificações das espécies foram realizadas com base em literatura especializada e comparação com materiais previamente identificados, apoiadas por consultas online nas bases de dados da plataforma REFLORA, Flora e Funga do Brasil (2024), CNCFlora, Centro Nacional de Conservação da Flora (2024) e a IUCN, International Union for Conservation of Nature (2024) para avaliar o status de conservação. Isso permitiu a validação dos nomes das espécies, exclusão de sinonímias e correção da grafia e autoria, além de verificar o status de conservação de cada espécie. Espécimes não reconhecidos foram coletados com ramos férteis durante o período de floração e incorporados ao acervo do Herbário Caririense Dárdano de Andrade Lima (HCDAL) da Universidade Regional do Cariri - URCA.

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas usando os softwares Microsoft Excel® e GraphPad Prisma 10.1.2. Para avaliar diferenças significativas no teor de carbono entre os compartimentos vegetais (folhas, galhos e caule) no método direto, utilizou-se o modelo de regressão não linear das curvas e ANOVA de duas maneiras. Os testes de Tukey e a correlação de Pearson (r) foram empregados para examinar a influência de cada variável na absorção de carbono nos compartimentos, considerando significativas as correlações com $p<0,01$.

Estrutura e Diversidade alfa

Para a análise da comunidade vegetal, foram considerados parâmetros gerais como densidade total, área basal, alturas e diâmetros dos indivíduos. Parâmetros específicos das espécies, incluindo densidade relativa (DR), frequência relativa (FR), dominância relativa (DoR) e índice de valor de importância (IVI) também foram examinados, oferecendo uma visão detalhada da composição e estrutura da comunidade vegetal.

A diversidade alfa foi avaliada pelo índice de Shannon-Wiener (H'), usando logaritmo neperiano, e pelo índice de concentração de Simpson (C'). O Índice de Equabilidade de Pielou (J') foi utilizado para medir a uniformidade na distribuição dos indivíduos entre as espécies. O teste T de Student foi aplicado para analisar a significância

estatística entre as médias, com um erro máximo aceitável de 0,05 (5%), conforme Magurran (1988).

Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla (método direto)

Na abordagem direta da pesquisa, foram coletadas amostras de folhas, galhos e caule de 10 espécies selecionadas com base na estrutura horizontal, representando cerca de 40% do total de espécies (Silva et al., 2015) e contribuindo com 80% de IVI e 91% da área basal do local estudado. A seleção das espécies foi fundamentada no Índice de Valor de Importância (IVI) e na área basal. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos individuais e secas em estufa a uma temperatura de 70±2ºC durante 24 horas.

Para determinar o teor de carbono total das amostras (folhas, galhos e caule) foi empregado o método de secagem por via seca (mufla). Este processo, seguiu o método estabelecido por Goldin (1987). Cada amostra foi colocada em um cadinho de porcelana sem tampa e submetida a calcinação em forno mufla a uma temperatura de 550 °C. Após a calcinação, as amostras foram resfriadas em dessecador e posteriormente pesadas, quando atingiram a temperatura ambiente (Carmo e Silva, 2012).

Para este método, estimou-se o teor de MO (Matéria Orgânica), multiplicando teor de carbono (C) pelo fator de van Bemmelem 1,72 (100/58), considerando que em média, o teor de MOS (matéria orgânica do solo) apresenta 58% de C (Yeomans e Bremner, 1988; Sato, 2014; Zeyede, 2020).

Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas (método indireto)

O estoque de carbono e quantificação da biomassa ocorreu em nível de cobertura arbórea da área, isto é, não se levou em consideração as árvores mortas. Na obtenção dos resultados, foi utilizado os procedimentos criados por Arevalo et al. (2002) e citados por Denardin et al., (2014), Rocha et al., (2014), Rocha et al., (2017), e Nunes (2018). Nessa pesquisa, foi utilizada a equação alométrica (Equação 1) para calcular a biomassa arbórea para indivíduos vivos (kg/árvore).

$$BA = 0{,}1184 * DAP^{2{,}53}$$

Equação 1. BA= biomassa de árvores vivas e mortas em pé; 0,1184 = constante; DAP = diâmetro a altura do peito (cm); 2,53= constante

Em seguida foi calculado o carbono na biomassa vegetal total (t/ha^{-1}), através da equação 2.

$$CBV\ (t/ha^{-1}) = BVT * 0,45$$

Equação 2. CBV (t/ha^{-1}) = carbono na biomassa vegetal; BVT = biomassa vegetal total; 0,45 = constante

No presente estudo, a determinação do estoque total de carbono da parte aérea de árvores vivas foi efetuada através do cálculo da média do carbono estocado (toneladas por hectare).

Conforme apresentado por Fernandes et al. (2007), essa estimativa de estoque de carbono reflete a quantidade de carbono que foi removida da atmosfera e atualmente se encontra armazenada na biomassa aérea na forma de carbono orgânico. Para a conversão desses valores em dióxido de carbono (CO_2), adotou-se a premissa de que uma tonelada de carbono é equivalente a 3,67 toneladas de CO_2. Portanto, a fórmula utilizada para calcular o CO_2 sequestrado da atmosfera foi baseada na Equação 3.

$$CS\ (t/ha^{-1}) = CTBV * 3,67$$

Equação 3. CS (t/ha^{-1}) = carbono sequestrado; CTBV (t/ha^{-1}) = carbono total na biomassa aérea viva; 3,67 = constante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição florística e diversidade alfa

Foram analisados 100 indivíduos pertencentes a 25 espécies distribuídos em 24 gêneros e nove famílias (Tabela 1). As famílias mais representativas foram: Fabaceae (8) (33,33%), Arecaceae (4) (16,67%) e Anacardiaceae (4) (16,67%), o que corresponde a cerca de 66% das espécies analisadas. As demais obtiveram valor abaixo de 8%.

Tabela 1. Parâmetros florísticos e fitossociológicos organizada por IVI no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará. Brasil. Onde EC: Estado de Conservação; LC= Menos preocupante; NE= Não avaliadas; DR = Densidade Relativa; DD= Dados Deficientes; FR = Frequência Relativa; DoR(%) = Dominância Relativa; IVI = Índice de Valor de Importância; V = Voucher depositado no Herbário HCDAL.

Família	Nome cientifico	Nome Popular	Origem	Endemismo	EC	DR	FR	DoR	IVI	V
Fabaceae	*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong	Timbaúba	Nativa	Não endêmica	LC	17	17	35,5	69,5	15.998
Anacardiaceae	*Mangifera indica* L.	Mangueira	Exótica	Não endêmica	DD	7	7	18,2	32,2	16.439
Anacardiaceae	*Anacardium occidentale* L.	Cajueiro	Nativa	Não endêmica	LC	8	8	13,4	29,4	16.437
Fabaceae	*Mimosa caesalpiniifolia* Benth.	Sabiá	Nativa	Endêmica	LC	11	11	2,38	24,4	16.001
Anacardiaceae	*Astronium fraxinifolium* Schott	Gonçalo Alves	Nativa	Não endêmica	LC	10	10	4,01	24	16.004
Rhamnaceae	*Sarcomphalus undulatus* (Reissek) Hauenschild	Juá	Nativa	Endêmica	LC	6	6	2,74	14,7	15.999
Myrtaceae	*Syzygium cumini* (L.) Skeels	Oliveira	Exótica	Não endêmica	LC	5	5	3,37	13,4	16.430
Bignoniaceae	*Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Ipê rosa	Exótica	Não endêmica	LC	6	6	1,32	13,3	16.434
Anacardiaceae	*Spondias mombin* L.	Cajarana	Nativa	Não endêmica	LC	3	3	3,4	9,4	16.003
Fabaceae	*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.	Angico branco	Nativa	Não endêmica	LC	4	4	1,26	9,26	16.000
Myrtaceae	*Eucalyptus globulus* Labill.	Eucalipto	Exótica	Não endêmica	LC	2	2	5,14	9,14	-
Arecaceae	*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.	Babaçu	Nativa	Endêmica	LC	3	3	1,61	7,61	-
Fabaceae	*Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke	Angelim de cerrado	Nativa	Não endêmica	LC	3	3	0,83	6,83	-
Meliaceae	*Azadirachta indica* A.Juss.	Nim indiano	Exótica	Não endêmica	LC	2	2	1,12	5,12	16.438
Fabaceae	*Tamarindus indica* L.	Tamarindo	Exótica	Não endêmica	LC	1	1	3,04	5,04	16.435
Arecaceae	*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.	Macaúba	Nativa	Não endêmica	LC	2	2	0,93	4,93	-
Fabaceae	*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.	Mata Fome	Exótica	Não endêmica	LC	2	2	0,12	4,12	-
Arecaceae	*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E.Moore	Carnaúba	Nativa	Endêmica	NE	1	1	0,57	2,57	-
Fabaceae	*Senna cearensis* Afr.Fern.	Canafistula	Nativa	Endêmica	LC	1	1	0,24	2,24	-
Fabaceae	*Machaerium acutifolium* Vogel	Jacarandá	Nativa	Não endêmica	LC	1	1	0,21	2,21	16.002
Sapindaceae	*Talisia esculenta* (Cambess.) Radlk.	Pitomba	Nativa	Não endêmica	NE	1	1	0,2	2,2	-
Arecaceae	*Cocos nucifera* L.	Coqueiro	Exótica	Não endêmica	NE	1	1	0,18	2,18	-
Fabaceae	*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.	Jurema	Nativa	Não endêmica	LC	1	1	0,14	2,14	-
Malvaceae	*Sterculia striata* A.St.-Hil. & Naudin	Chichá	Nativa	Endêmica	LC	1	1	0,12	2,12	-
Malvaceae	*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.	Barrigudinha	Nativa	Não endêmica	LC	1	1	0,03	2,03	16.439

Estudos de Rocha (2017), Costa e Almeida Jr. (2020), Almeida et al. (2021) e Neves (2021) encontraram resultados similares para o Nordeste. A família Fabaceae destaca-se por sua elevada diversidade de espécies, que têm vantagens competitivas no ambiente vegetal devido a associações simbióticas com fungos micorrízicos e rizóbios, e pela sua variedade de formas biológicas (Silveira e Mioto, 2013; Lima et al., 2021). A família Arecaceae, como descrita por Lima e Almeida Jr. (2020) é uma das mais significativas nas regiões tropicais, tanto em número de espécies quanto em abundância. Já a família Anacardiaceae compreende espécies de grande relevância socioeconômica para o Nordeste, seja pelas frutas nativas ou cultivadas, potencial madeireiro e medicinal, como destacado por Santos et al. (2008) e Souza e Lorenzi (2008).

A flora da área em estudo revela uma complexa interação entre espécies vegetais nativas e exóticas, refletindo um ecossistema antropizado. A diversidade de origens das espécies, incluindo representantes asiáticos como *Mangifera indica* e australianos como *Eucalyptus globulus*, coexiste com espécies sul-americanas como *Enterolobium contortisiliquum* e *Anacardium occidentale*, indicando um ambiente com grande variedade de espécies, processos e interações ecológicas de origens diversas, o que é corroborado por estudos sobre restauração ecológica que mostram a presença frequente de espécies nativas e exóticas em processos de recuperação ambiental (Assis et al., 2013).

Este mosaico vegetal abrange uma ampla gama de ecossistemas, desde litorâneos, sugeridos pela presença de *Cocos nucifera*, até regiões de cerrado e caatinga, onde espécies como *Ceiba pentandra* e *Acrocomia aculeata* são mais prevalentes, destacando a importância de espécies nativas em contextos de conservação e desenvolvimento sustentável (Silva et al., 2021). Notável também é a presença de árvores frutíferas e medicinais, como *Spondias mombin* e *Eucalyptus globulus*, denotando uma seleção humana voltada para plantas com utilidades práticas. Além disso, a presença de espécies frequentemente utilizadas em reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, como *Mimosa caesalpiniifolia* e *Senna cearensis*, sugere um histórico de intervenções de restauração ecológica (Salomão et al., 2014).

O índice de Shannon (*H'*) foi de 2,82, indicando uma diversidade considerável e uma distribuição relativamente equitativa dos indivíduos entre as espécies. Complementarmente, o índice de Equitabilidade de Pielou (*J'*) apresentou um valor de 0.87. Por fim, o índice de Diversidade de Simpson (*C'*) apresentou um valor de 0,912.

O valor de *H'* é similar a encontrados em estudos de áreas verdes urbanas de Kramer e Krupek (2012) no estado do Paraná, Santos et al. (2013) e Pinheiro et al. (2022), no estado de Tocantins, Alvim et al. (2021) e Rocha (2023) no estado de Minas Gerais, Neves (2021) no estado do Pará, que variam de 2,25 a 3,05 sugerindo uma diversidade de espécies moderada

segundo Magurran (1988). Segundo Santos et al. (2018), o índice de diversidade e Shannon (*H'*) na Caatinga, baseado na literatura, pode variar de 1-4 nats. De acordo com Floriano (2009) o valor 2.82 se enquadra na categoria de média diversidade. Para comparação, comunidades florestais maduras frequentemente apresentam valores de H' entre 3.5 e 4.5, mas não tão rica quanto em ecossistemas mais complexos como por exemplo florestas tropicais que podem exceder 4.5 *H'*.

Neste estudo o índice de equabilidade de Pielou (*J'*) é similar ao obtido por Pessoa et al., (2022) em um remanescente florestal urbano do Parque Natural Municipal da Lajinha em Juiz de Fora no estado de Minas Gerais; Prado Júnior et al., 2012 que encontrou o valor de 0,89 em um fragmento florestal urbano de cerrado em Monte Carmelo, Minas Gerais; e Gomes et al (2023) apresentou 0,87 em Santa Bárbara no estado do Pará superior ao quantificado por Lima (2021) que foi de 0,50 na região de Pernambuco e por Pachecho (2023) que atingiu 0,53 na análise do Parque João Coelho em Belém, no estado de Pará.

O índice de dominância de Simpson (*C'*) foi de 0,912. Comparativamente, Lima (2021) reportou 0,38 para o Parque do Atalaia, sul de Pernambuco; Menéndez et al., 2018 observaram 0,94 e 0,95 em duas áreas no Parque Nacional da Tijuca, no Rio de Janeiro, e André (2021) registrou 0,88 em um levantamento da vegetação urbana para um bairro no município de Natal, estado do Rio Grande do Norte.

Estrutura fitossociológica

A área basal total dos indivíduos analisados correspondeu a 14,163 m^2/ha^{-1}. As Espécies com maiores índices de valor de importância (IVI) foram: *E. contortisiliquum* (69,46), *M. indica* (32,16), *A. occidentale* (29,41), *M. caesalpiniifolia* (24,38) e *A.fraxinifolium* (24,01), representando 53% da abundância da comunidade. Estas espécies apresentam maiores valores quanto à densidade relativa: 17%, 11%, 10%, 8% e 7%, respectivamente.

Em relação a Área Basal e Dominância Relativa (%), as espécies com os maiores valores foram: *E. contortisiliquum* (5,02/35,46)*, M. indica* (2,57/18,16*), A. occidentale* (1,9/13,41)*, E. globulus* (0,73/5,14*) e A. fraxinifolium* (0,57/4,01)*. P. dulce* e *C. pentandra* apresentaram o menor valor em área basal com 0,017 ind/ha^{-1} e 0,004 ind/ha^{-1} respectivamente.

A importância das espécies arbóreas ou arbustivas pode ser evidenciada por apresentarem funções produtivas e protetoras do solo. Dentre as funções protetoras do solo podem ser destacados o controle da erosão, a estabilidade de taludes, barraventos e o aumento no estoque e qualidade da água (Bertoni e Lombardi Neto, 2008). Segundo Resende et al. (2006), algumas espécies de início de sucessão (pioneiras) têm seu crescimento inicial bastante

rápido, o que permite o sombreamento da área, fazendo com que as espécies de estágios sucessionais mais avançados tenham seu crescimento acelerado a partir da formação do dossel proporcionado pelas pioneiras.

A análise da composição florística no parque urbano destacou uma marcante coexistência entre espécies nativas e introduzidas. As espécies nativas, representando 68% (17) do total, demonstram a resiliência no ecossistema urbano, embora a presença de 32% (8) de espécies exóticas sugira uma influência antrópica significativa, alinhando-se às observações de Melo (2022). A classificação da IUCN evidenciou espécies em “LC” (84%), “NE” (12%) e “DD” (4%) com uma predominância de espécies com *status* "Menos Preocupante", um indicativo positivo que, no entanto, não minimiza a importância de monitoramento contínuo. A questão do endemismo é especialmente relevante em contextos urbanos (Rosa et al., 2020), ressaltando a necessidade de esforços conservacionistas direcionados. Essa tríade de fatores — origem, *status* de conservação e endemismo — oferece um panorama essencial para a formulação de políticas de manejo urbano que priorizem tanto a conservação da biodiversidade quanto a manutenção dos serviços ecossistêmicos providos por essa biodiversidade.

A composição florística e a diversidade alfa em ecossistemas como a Caatinga e Cerrado são fundamentais para compreender as relações ecológicas e a resiliência dos biomas frente às mudanças ambientais. O estudo de Gomes et al. (2023), que explorou a transição de um fragmento florestal em área urbana, ilustra a importância de conhecer a composição florística e suas relações ecossistêmicas para a implementação de práticas sustentáveis de manejo.

Quando se trata de parâmetros fitossociológicos, a densidade, a frequência e a dominância das espécies são cruciais para entender a estrutura e a composição da vegetação. Por exemplo, o estudo realizado por Aguiar et al. (2021) demonstrou como a biomassa das espécies reflete o número de indivíduos e seus diâmetros, influenciando a produção de biomassa do fragmento de Caatinga. Essa análise é vital para identificar espécies que contribuem significativamente para a biomassa e, potencialmente, como fontes de energia renovável no bioma.

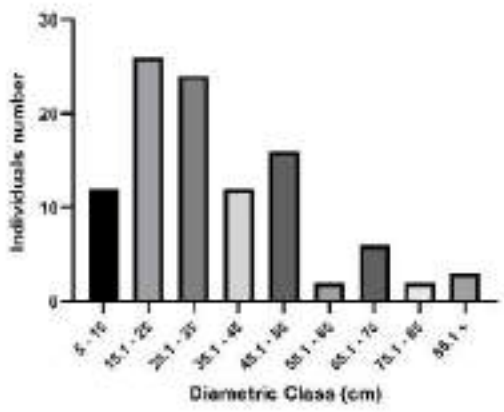
Ademais, estudos como o de Santana et al. (2016) salientam a importância de analisar a vegetação arbóreo-arbustiva sob diferentes sistemas silviculturais na Caatinga. Eles demonstram que fatores como alterações na estrutura da vegetação, seus arranjos e interdependências são fundamentais para entender o desenvolvimento e comportamento no fenômeno de sucessão. Esses *insights* são essenciais para a promoção de ações voltadas à preservação da diversidade genética e à utilização sustentável do bioma.

Distribuição diamétrica e hipsométrica

Os diâmetros máximos registrados foram de 159 cm para um indivíduo de *Enterolobium. contortisiliquum,* 95 cm para um indivíduo de *Mangifera indica* L., 84 cm para um de *Eucalyptus globulus* e 74 cm para um espécime de *Tamarindus indica.* O diâmetro médio registrado foi 35,47 cm.

A distribuição das classes diamétricas teve amplitude de 10cm, com 9 centros de classes. Do total de indivíduos amostrados, observou-se maior concentração nas classes 2 e 3 com 26% e 24%, respectivamente (figura 2). Sugerindo uma população de árvores jovens ou em estágio de crescimento intermediário. Essa estrutura pode ser indicativa de uma floresta em regeneração ou em sucessão secundária, como apontado por Chapman et al., (2008). Esta interpretação pode ser indicativa de um regime relativo de impactos sofridos por ação antrópica e regeneração em fluxo contínuo (Benício et al.,2023).

Figura 2. Distribuição dos indivíduos amostrados por classes de diâmetro no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará. Brasil.



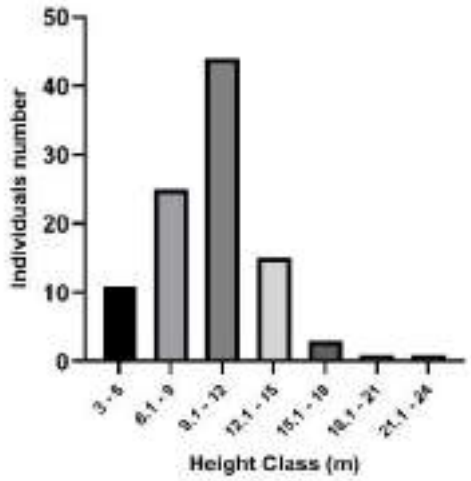
A predominância de árvores nessas classes diamétricas pode estar associada a distúrbios anteriores que criaram condições para o estabelecimento de novos indivíduos, ou pode ser resultado de práticas de manejo que favorecem a regeneração natural. Segundo a pesquisa de Poorter et al., (2016) florestas secundárias jovens tendem a ter uma distribuição diamétrica que favorece classes menores, o que é consistente com o padrão observado.

Por outro lado, a presença reduzida de árvores em classes diamétricas maiores (acima de 65 cm) é notável e pode levantar preocupações sobre a continuidade do estoque de árvores maduras, que são importantes para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, como discutido por Lindenmayer et al. (2016). A falta de grandes árvores pode indicar uma lacuna na sucessão florestal ou um histórico de extração seletiva. A maior

representatividade das classes intermediárias sugere uma floresta em crescimento, enquanto a escassez de árvores maiores pode indicar a necessidade de manejo para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

A variação da estrutura vertical resultou em alturas mínimas e máximas de 3,2 e 22 metros, respectivamente, sendo a média de 9,92 m (figura 3). A altura máxima foi registrada para um indivíduo de *Eucalyptus globulus*, seguido de *Mangifera indica* com 16,8 m *Enterolobium contortisiliquum* e *Astronium fraxinifolium* apresentaram um indivíduo com 15,3 e 15 m de altura.

Figura 3. Distribuição dos indivíduos amostrados por classes de altura no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará. Brasil.



A distribuição hipsométrica mostra que a maior concentração de indivíduos está na classe de altura entre 9,1-12 m, indicando a presença de um estrato de árvores de altura média significativa na composição arbórea, seguida pela classe de 6,1-12 m. Isso sugere que a floresta possui uma camada dominante média, com uma boa representação de árvores em estágio de crescimento intermediário, mas ainda não no seu ápice de altura (Lima et al., 2021). A predominância de indivíduos nestas classes de altura pode estar relacionada a condições ambientais favoráveis ou a práticas de manejo florestal que permitem que as árvores alcancem tais alturas antes de serem colhidas ou afetadas por distúrbios naturais (Zhou et al., 2019).

A representatividade de árvores mais altas em menor número pode indicar um estágio sucessional mais maduro, mas a falta de árvores muito altas (acima de 18 metros) pode apontar para limitações ambientais ou histórico de perturbações. Segundo o estudo de King et al. (2006) a altura das árvores é influenciada tanto por fatores intrínsecos quanto por condições ambientais, como disponibilidade de luz e nutrientes. Portanto para Feldpausch et al. (2012),

este padrão de distribuição indica uma floresta potencialmente em um estado de equilíbrio dinâmico, com uma classe dominante significativa que contribui para a estrutura e biodiversidade do ecossistema.

Essas variações nos tamanhos das árvores, tanto em diâmetro quanto em altura, têm implicações significativas para o manejo florestal. O estudo de Pretzsch (2009) ressalta que o entendimento da distribuição diamétrica e hipsométrica é crucial para o desenvolvimento de práticas de manejo sustentável.

Quantificação do teor de carbono pelo método de combustão por via seca - gravimetria por incineração em forno mufla

A tabela 2 mostra as contribuições dos compartimentos arbóreos (galhos, folhas e caule). O grupo de caule no quesito de matéria orgânica (%) apresentou a maior média ± desvio padrão, com 96,20 ± 2,43, seguido de galhos 95,15 ± 2,66 e folhas com 93,09 ± 3,49. Para Teor de carbono (%), caule apresentou 55,93 ± 1,41, galhos 55,32 ± 1,53 e folhas 54,12 ± 2,03.

Tabela 2. Materia orgânica (M.O) e Teor de carbono (T.C) dos compartimentos analisados separadamente. Em que min = mínimo; max = máximo; m ± dp = média ± DP = Desvio padrão, em triplicata

Compartimento	Analises (%)	Mínimo	Máximo	Média ± DP*
Galhos	M.O	88,83	99,71	95,15 ± 2,66
	T.C	51,65	57,97	55,32 ±1,53
Folhas	M.O	84,67	99,51	93,09 ± 3,49
	T.C	49,22	57,85	54,12 ± 2,03
Caule	M.O	91,23	99,81	96,20 ± 2,43
	T.C	53,04	58,03	55,93 ± 1,41

Foram observou valores similares para os três componentes analisados com 3% de diferença para biomassa, e menos de 2% para teor de carbono, similar a estudos de quantificação de carbono por via seca (Mendonza, 2011; Watzlawick, 2011; Brun, 2007). Neste estudo as maiores quantidades de carbono estão armazenadas nos caules e galhos (tabela 3), esta diferença pode ser explicada pela maior biomassa e longevidade dos caules e galhos em relação às folhas. Enquanto as folhas são órgãos transitórios, com alta taxa de renovação e uma função primordialmente metabólica e fotossintética, caules e galhos formam a estrutura permanente da árvore, acumulando carbono ao longo de vários anos.

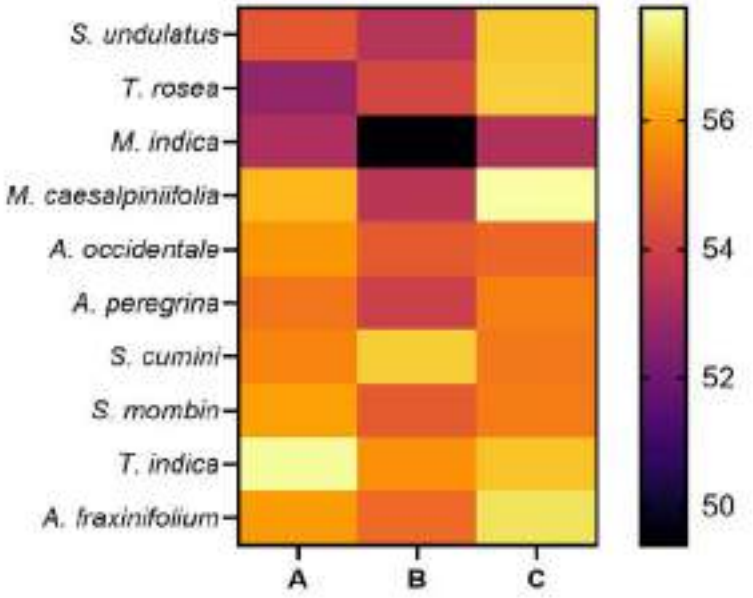
Tabela 3. Valores encontrados nos diferentes componentes coletados das amostras das dez espécies de maior IVI no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará. Brasil. Em que min = mínimo; max = máximo; m ± dp = média ± DP = Desvio padrão, em triplicata.

Espécie	Componentes	Matéria Orgânica (%)			Teor de Carbono (%)		
		Min	Max	M ± DP*	Min	Max	M ± DP*
Sarcomphalus undulatus	Galhos	93,56	94,40	93,88 ± 0,45	54,4	54,9	54,58 ± 0,26
	Folhas	90,69	94,42	91,96 ± 2,13	52,7	54,9	53,47 ± 1,24
	Caule	97,17	97,85	97,53 ± 0,34	56,5	56,9	56,7 ± 0,2
Tabebuia rosea	Galhos	88,83	94,21	90,70 ± 3,04	51,6	54,8	52,73 ± 1,77
	Folhas	90,36	96,03	93,10 ± 2,84	52,5	55,8	54,13 ± 1,65
	Caule	97,35	98,27	97,71 ± 0,49	56,6	57,1	56,81 ± 0,29
Mangifera indica	Galhos	90,92	92,01	91,62 ± 0,61	52,9	53,5	53,27 ± 0,36
	Folhas	84,67	85,30	84,97 ± 0,32	49,2	49,6	49,4 ± 0,19
	Caule	91,23	92,61	91,70 ± 0,79	53,0	53,8	53,32 ± 0,46
Mimosa caesalpiniifolia	Galhos	96,42	97,65	97,00 ± 0,62	56,1	56,8	56,39 ± 0,36
	Folhas	91,99	92,27	92,10 ± 0,15	53,5	53,6	53,55 ± 0,09
	Caule	99,03	99,81	99,35 ± 0,41	57,6	58,0	57,76 ± 0,24
Anacardium occidentale	Galhos	95,35	96,87	96,08 ± 0,76	55,4	56,3	55,86 ± 0,44
	Folhas	93,87	94,07	93,98 ± 0,10	54,6	54,7	54,64 ± 0,06
	Caule	94,33	94,51	94,45 ± 0,10	54,8	54,9	54,91 ± 0,06
Anadenanthera peregrina	Galhos	94,62	95,66	95,03 ± 0,55	55,0	55,6	55,25 ± 0,32
	Folhas	92,72	92,90	92,78 ± 0,11	53,9	54,0	53,94 ± 0,06
	Caule	95,19	95,53	95,32 ± 0,18	55,3	55,5	55,42 ± 0,11

	Galhos	94,85	95,94	95,51 ± 0,58	55,1	55,8	55,53 ± 0,34
Syzygium cumini	Folhas	94,69	99,51	97,64 ± 2,59	55,0	57,9	56,77 ± 1,5
	Caule	94,90	95,15	95,06 ± 0,14	55,2	55,3	55,27 ± 0,08
	Galhos	94,88	97,11	96,34 ± 1,26	55,2	56,5	56,01 ± 0,73
Spondias mombin	Folhas	93,03	95,85	94,00 ± 1,60	54,1	55,7	54,65 ± 0,93
	Caule	93,33	97,61	95,20 ± 2,19	54,3	56,7	55,35 ± 1,27
	Galhos	98,75	99,71	99,19 ± 0,48	57,4	58,0	57,67 ± 0,28
Enterolobium contortisiliquum	Folhas	94,23	96,98	95,83 ±1,43	54,8	56,4	55,72 ± 0,83
	Caule	94,69	99,62	97,34 ± 2,49	55,1	57,9	56,59 ± 1,45
	Galhos	95,00	97,31	96,17 ± 1,16	55,2	56,6	55,92 ± 0,67
Astronium fraxinifolium	Folhas	93,59	96,28	94,53 ± 1,51	54,4	55,9	54,96 ± 0,88
	Caule	96,11	99,61	98,34 ± 1,94	55,9	57,9	57,18 ± 1,13
TOTAL		**84,67**	**99,81**	**94,81 ± 3,14**	**49,2**	**58,0**	**55,12 ± 1,82**

Três espécies se destacam em termos de teor de matéria orgânica (MO) e teor de carbono (TC) (Figura 4): *E. contortisiliquum* apresentou o maior teor de MO(%) e TC(%) para galhos, com 99,19 e 57,67 respectivamente. Para folha a *S. cumini* se destacou com 97,64 de MO, e 56,77 de TC e para o caule, a de maior valor foi *A. fraxinifolium* com 99,81 de MO e 57,18 de TC. A comparação entre estas espécies sugere uma variação na estratégia de alocação de carbono, o que pode ser atribuído a diferenças em suas características morfológicas e fisiológicas. *E. contortisiliquum* com maior teor de carbono nos galhos, pode indicar adaptação para armazenar mais carbono em estruturas de suporte, enquanto a *S. cumini* concentra mais carbono nas folhas, possivelmente devido a uma maior atividade fotossintética. *M. indica*, apresenta uma similaridade entre as medidas, tanto de MO quanto de TC em relação aos seus componentes, o que pode ser resposta ao ambiente inserido refletindo um equilíbrio entre diferentes funções biológicas.

Figura 4. Valores expressos em diferentes tonalidades de cores (headmap), analisados por ANOVA de duas vias, seguindo o teste de Tukey. Considerando p< 0,01(equivalente ao intervalo de 99%). Onde: A: Galhos, B: Folhas e C: Caule.



Estes resultados corroboram com outros trabalhos em condições semelhantes. Para Ma et al. (2018) o teor de carbono varia nos diferentes órgãos das plantas. Esta observação está alinhada com os estudos de Weber et al., (2006) e Watzlawick et al., (2011) e Vieira et al., 2009, reforçando a ideia de que a distribuição de carbono em uma árvore não é uniforme, é um processo complexo e está diretamente relacionada à sua estratégia de crescimento e sobrevivência em diferentes ambientes e varia significativamente entre seus diferentes órgãos.

O teor de carbono na biomassa das plantas é resultado da interação dos genes com o meio, e do tipo de manejo e método de quantificação (Lamlom e Savidge, 2006; Sette Jr et al., 2006). O IPCC determina que as plantas tenham 50% do teor de carbono em sua biomassa, todavia, essa afirmação induz a super ou sub estimar o estoque de carbono (IPCC, 2006; Ma et al., 2018).

Captura do carbono e estimativa da biomassa através de equações alométricas

A soma dos valores obtidos da área total nesse estudo é de 196,8 t/ha^{-1} para biomassa vegetal arbórea, 88,56 t/ha^{-1} para o carbono estocado e 325,01 t/ha^{-1} de CO_2 sequestrado. Analisando as espécies com maior e menor capacidade de armazenamento de biomassa e carbono, destacam-se três espécies com valores significativamente altos: *E. contortisiliquum* lidera com uma soma de biomassa arbórea individual de 82,663 t/ha^{-1} (42%), carbono estocado de 37,198 t/ha^{-1} (42%), seguida pela *M. indica* com 38,766 t/ha^{-1} (18,68) de biomassa e 17,445

t/ha^{-1} (19,7%) de carbono estocado, e *A.occidentale* com 25,207 t/ha^{-1} (12,81%) de biomassa e 11,343 t/ha^{-1} (12,81%) de carbono estocado. A soma das três espécies representa cerca de 73,5% de biomassa e 74,51% de carbono estocado. Por outro lado, as espécies com os menores valores registrados são a *C. pentandra*, com apenas 0,016 t/ha^{-1} (0,01%) de biomassa e 0,007 t/ha^{-1} (0,007%) de carbono, e a *P. dulce*, com 0,094 t/ha^{-1} (0,04) de biomassa e 0,042 t/ha^{-1} (0,047%) de carbono.

Para o CO_2 sequestrado das espécies (Tabela 4) *T. indica* apresentou o maior valor, de 10,48 t/ha, seguidos da *M. indica* com 9,15 t/ha^{-1}, *E.globulus* e *E. contortisiliquum*, com 8,88 t/ha^{-1} e 8,03t/ha^{-1} respectivamente. Igualmente a biomassa vegetal arbórea e ao carbono estocado, as espécies *C. pentandra* e *P. dulce* apresentaram os menores valores para o CO_2 sequestrado, com 0,03t/ha^{-1} e 0,08t/ha^{-1}.

Tabela 4. Relação das espécies com a biomassa arbórea, carbono estocado e CO_2 sequestrado por cada espécie de acordo com equações alométricas.

Espécie	Biomassa arbórea (t/ha^{-1})	Carbono estocado (t/ha^{-1})	CO_2 Sequestrado (t/ha^{-1})
Enterolobium contortisiliquum	4,86	2,19	8,03
Mangifera indica	5,54	2,49	9,15
Anacardium occidentale	3,15	1,42	5,20
Eucalyptus globulus	5,38	2,42	8,89
Tamarindus indica	6,35	2,86	10,48
Astronium fraxinifolium	0,56	0,25	0,93
Spondias mombin	1,86	0,83	3,06
Syzygium cumini	0,99	0,45	1,64
Sarcomphalus undulatus	0,59	0,27	0,97
Mimosa caesalpiniifolia	0,25	0,11	0,41
Attalea speciosa	0,71	0,32	1,17
Anadenanthera peregrina	0,37	0,17	0,62
Azadirachta indica	0,75	0,34	1,24
Tabebuia rosea	0,24	0,11	0,39
Acrocomia aculeata	0,60	0,27	0,98
Vatairea macrocarpa	0,31	0,14	0,51
Copernicia prunifera	0,76	0,34	1,26
Senna cearensis	0,26	0,12	0,43

Machaerium acutifolium	0,22	0,10	0,36
Talisia esculenta	0,20	0,09	0,34
Cocos nucifera	0,18	0,08	0,29
Mimosa tenuiflora	0,13	0,06	0,22
Sterculia striata	0,11	0,05	0,18
Pithecellobium Dulce	0,05	0,02	0,08
Ceiba pentandra	0,02	0,01	0,03

Estudos em outros estados do país sobre biomassa, carbono estocado e CO_2 sequestrado em diferentes ecossistemas mostram variações significativas, que podem ser atribuídas a diversos fatores. Por exemplo, Fernandes et al. (2008) observaram no Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, valores de 58,695 t/ha^{-1} de biomassa, 29,348 t/ha^{-1} e carbono estocado e 107,707 t/ha^{-1} de CO_2 sequestrado em uma área de 0,25 ha. Por outro lado, Lopes e Miola (2010) registraram no cerrado de Pará de Minas, Minas Gerais, valores consideravelmente menores em uma área de 0,1 ha: 7,33 t/ha^{-1} de biomassa, 3,30 t/ha^{-1} de carbono e 12,11 t/ha^{-1} de CO_2.

Rocha et al. 2017 conduziram um estudo no Parque Natural Municipal Flor do Ipê no estado de Mato Grosso, abrangendo uma área de 4,8 hectares. Neste estudo, eles registraram um total de 406,64 toneladas de biomassa vegetal viva, 207,29 toneladas de carbono armazenado e 760 toneladas de carbono sequestrado. Estendendo os resultados amostrados no Parque Ecológico Municipal das Timbaúba para uma área de 1 hectare, estima-se que o Parque poderia abrigar aproximadamente 4607,09 toneladas de biomassa vegetal viva, 2073,19 toneladas de carbono estocado e 7608,48 toneladas de carbono sequestrado, demonstrando assim o potencial significativo do parque para a conservação ambiental e sequestro de carbono.

A variação na capacidade de acumulação de biomassa entre espécies vegetais é um fenômeno amplamente reconhecido e documentado na literatura científica. Espécies como os maiores valores de biomassa e carbono analisadas, são tipicamente caracterizadas por seu grande porte e crescimento vigoroso. Estes atributos são consistentes com as observações de Chave et al. (2005), que descreveram como a densidade da madeira e as taxas de crescimento são críticas na determinação do potencial de armazenamento de carbono em florestas tropicais.

Por outro lado, as espécies que se destacaram pelos menores valores de biomassa e carbono, podem representar indivíduos jovens, ainda não plenamente desenvolvidos, o que justificaria seus valores reduzidos. Esta hipótese é suportada por estudos como os de Poorter et al. (2016), que demonstraram como a idade e o estágio de desenvolvimento são fatores determinantes na alocação de biomassa.

Além disso, a menor biomassa e sequestro de carbono nessas espécies podem estar relacionados a limitações ambientais, como a competição por recursos, que podem ser mais acentuadas em espécimes jovens, conforme observado por Uriarte et al. (2004). Esses fatores podem não apenas restringir o crescimento, mas também influenciar a estrutura da vegetação e a dinâmica do ecossistema em áreas verdes urbanas.

É crucial reconhecer a complexidade envolvida na comparação de dados sobre o sequestro de CO2, devido à diversidade de metodologias aplicadas, às dimensões variáveis das áreas amostradas e aos distintos estágios sucessionais da vegetação nas áreas analisadas. As metodologias empregadas são determinadas não somente pela extensão da área em estudo, mas também pelo tipo de compartimento de carbono considerado. Especificamente, este estudo focou na biomassa viva aérea, incluindo troncos, galhos e folhas. Estudos anteriores, como os de Laera (2006), Fernandes et al. (2008) e Silva et al. (2014), enfatizam a importância de contemplar esses diferentes compartimentos para uma estimativa mais abrangente do sequestro de carbono em ecossistemas terrestres. Ademais, é importante salientar a ausência de resultados para áreas similares no Nordeste do Brasil, o que sublinha uma lacuna de conhecimento na região e reforça a necessidade de pesquisas adicionais que possam fornecer dados comparativos para uma melhor compreensão do potencial de sequestro de carbono nessas localidades.

CONCLUSÃO

A análise fitossociológica e a avaliação da diversidade florística evidenciaram a diversidade da flora lenhosa do Parque Natural Municipal Ecológico de Juazeiro do Norte, destacando a significativa contribuição desta área verde para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. A presença dominante de *Enterolobium contortisiliquum* (Timbaúba) ressalta a singularidade ecológica do local.

O teor de carbono e a biomassa vegetal observados nas árvores aponta para a considerável capacidade das espécies de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. Há variação no acúmulo de carbono entre diferentes partes das árvores, com os caules apresentando o maior teor de carbono. Através das equações alométricas foi possível estimar um total de 196,8 t/ha^{-1} de biomassa vegetal arbórea, 88,56 t/ha^{-1} de carbono estocado e 325,01 t/ha^{-1} de CO_2 sequestrado, valores considerados importantes para a região.

Este estudo introduz uma abordagem inovadora e essencial para o planejamento de áreas verdes urbanas em municípios do interior do nordeste brasileiro, sobretudo, na região semiárida. Entendendo-se os indicadores ambientais, é possível otimizar essas áreas para maximizar a absorção de carbono e mitigar o calor urbano, assegurando uma contribuição efetiva para a qualidade de vida dos moradores. Além disso, a pesquisa destaca a importância de árvores de

grande porte e os impactos negativos de sua remoção, ressaltando a necessidade de políticas de conservação e manejo apropriado desses recursos.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, Maria Ivanilda et al. Composição, abundância e diversidade da fauna edáfica em um fragmento de Caatinga. Nature and Conservation, v. 14, n. 2, p. 46-55, 2021.

ALMEIDA JR, Eduardo Bezerra et al. Estudo florístico no Parque Estadual do Sítio do Rangedor, um fragmento florestal urbano em São Luís, Maranhão, Brasil. Biodiversidade, v. 20, n. 3, 2021.

ALVIM, Francine Seehaber; FURTADO, Samyra Gomes; MENINI NETO, Luiz. Are vascular epiphytes in urban green areas subject to the homogenization of biodiversity? A case study in the Brazilian Atlantic Forest. Urban Ecosystems, v. 24, n. 4, p. 701-713, 2021.

ANDRÉ, Daniel Henrique Correia. Composição da flora lenhosa e análise da arborização urbana do bairro Barro Vermelho-Zona Leste do município de Natal/RN. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

APONTE, Cristina et al. Structural diversity underpins carbon storage in Australian temperate forests. Global ecology and biogeography, v. 29, n. 5, p. 789-802, 2020.

AREVALO, Luis Alberto; ALEGRE, Julio Cesar; VILCAHUAMAN, Luciano Javier Montoya. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. 2002.

ASANOPOULOS, Christina Helen. Characterising blue carbon: An assessment of soil carbon in temperate coastal wetlands. 2020. Tese de Doutorado.

ASSIS, Geissianny Bessão de et al. Uso de espécies nativas e exóticas na restauração de matas ciliares no estado de São Paulo (1957-2008). Revista Árvore, v. 37, p. 599-609, 2013.

BENÍCIO, Roberta Maria Arrais et al. Um refúgio de Mata Úmida no interior do Nordeste brasileiro: estrutura e diversidades alfa e beta. Ciência Florestal, v. 33, p. e69097, 2023.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo, 7ª Edição, São Paulo: Editora Ícone, 355 p. 2008.

CARMO, Davi Lopes do; SILVA, Carlos Alberto. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 1211-1220, 2012.

CHAPMAN, Colin A. et al. A 10-year evaluation of the functional basis for regeneration habitat preference of trees in an African evergreen forest. Forest ecology and management, v. 255, n. 11, p. 3790-3796, 2008.

CHAVE, J.; ANDALO, C. BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia, 145: 87-99, 2005

CNCFlora. Centro Nacional de Conservação da Flora. 2024. Disponível em: < http://cncflora.jbrj.gov.br/portal>. Acesso em 02/01/2024

COLLALTI, Alessio et al. Plant respiration: controlled by photosynthesis or biomass?. Global Change Biology, v. 26, n. 3, p. 1739-1753, 2020.

COOLEY, Sarah et al. Oceans and coastal ecosystems and their services. In: IPCC AR6 WGII. Cambridge University Press, 2022.

COSTA SILVA, Luann Brendo; ALMEIDA JR, Eduardo Bezerra. Checklist da flora fanerogâmica e mapeamento das áreas de fragmentos florestais urbanos em São Luís, Maranhão. Revista Equador, v. 9, n. 3, p. 26-39, 2020.

DENARDIN NICOLOSO, Rosiane Berenice et al. CARBON STOCK IN SOIL UNDER DIFFERENT FOREST FORMATIONS, CHAPECÓ, SANTA CATARINA STATE. Ciência Florestal, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014.

FELDPAUSCH, Ted R. et al. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. Biogeosciences, v. 9, n. 8, p. 3381-3403, 2012.

FERNANDES, AHBM et al. Estoques de carbono do estrato arbóreo de cerrados no Pantanal da Nhecolândia. 2008.

FERNANDES, Tarcísio José Gualberto et al. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de Hevea sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. Revista Árvore, v. 31, p. 657-665, 2007.

FERNANDES, Tarcísio José Gualberto et al. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de Hevea sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. Revista Árvore, v. 31, p. 657-665, 2007.

FLORIANO, E. P. Fitossociologia Florestal. São Gabriel: UNIPAMPA, 2009. 142p.

FUNCEME. Chuva média do ano por município – juazeiro do norte. 2023. Disponível em: <http://www.funceme.br >. Acesso em 08/01/2024

GOLDIN, Alan. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. Communications in soil science and plant analysis, v. 18, n. 10, p. 1111-1116, 1987.

GOMES, Carla Michelle Matos et al. Florística, fitossociologia e caracterização sucessional de um remanescente florestal urbano, Santa Bárbara-PA. Research, Society and Development, v. 12, n. 7, p. e16012742646-e16012742646, 2023.

HOGAN, J. Aaron et al. Climate change determines the sign of productivity trends in US forests. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 121, n. 4, p. e2311132121, 2024.

HUANG, Kangning. Urban forests facing climate risks. Nature Climate Change, v. 12, n. 10, p. 893-894, 2022.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em 10/01/2024.

Intergovernmental panel on climate change [IPCC]. Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [S. l.]. 2006.

IPECE. Perfil Municipal 2017 Juazeiro do Norte, 2017. Disponível em: < https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/09/Juazeiro_do_Norte_2017.pdf>. Acesso em 10/01/2024

IUCN. International Union for Conservation of Nature. 2024. Disponível em: < https://www.iucnredlist.org>. Acesso em 11/01/2024

JUAZEIRO DO NORTE. Prefeito Municipal. Decreto nº 352 de 23 de outubro de 2017.

KING, David A.; DAVIES, Stuart J.; NOOR, Nur Supardi Md. Growth and mortality are related to adult tree size in a Malaysian mixed dipterocarp forest. Forest Ecology and Management, v. 223, n. 1-3, p. 152-158, 2006.

KONGBOON, Ratchayuda; GHEEWALA, Shabbir H.; SAMPATTAGUL, Sate. Greenhouse gas emissions inventory data acquisition and analytics for low carbon cities. Journal of Cleaner Production, v. 343, p. 130711, 2022.

KRAMER, João Alberto; KRUPEK, Rogério Antonio. Caracterização florística e ecológica da arborização de praças públicas do município de Guarapuava, PR. Revista Árvore, v. 36, p. 647-658, 2012.

LAERA, Luiza Helena Nunes et al. Potencialidades da cidade do Rio de Janeiro no contexto da política global do clima: um enfoque em árvores urbanas. 2011.

LAMLOM, Sabah H.; SAVIDGE, Rodney A. Carbon content variation in boles of mature sugar maple and giant sequoia. Tree physiology, v. 26, n. 4, p. 459-468, 2006.

LI, Y. et al. Deforestation-induced climate change reduces carbon storage in remaining tropical forests, Nat. Commun., 13, 1964. 2022.

LIMA, G.P.; ALMEIDA JR., E.B. Synopsis of the tribe Cocoseae Mart. (Arecoideae, Arecaceae) in the state of Maranhão, Brazil. Biota Neotropica. 20(2): e20190922, 2020

LIMA, Robson Borges de et al. Height-diameter allometry for tropical forest in northern Amazonia. Plos one, v. 16, n. 12, p. e0255197, 2021.

LINDENMAYER, David B. Conserving large old trees as small natural features. Biological Conservation, v. 211, p. 51-59, 2017.

LOPES, Rosimeire Batista; MIOLA, Deise Tatiane Bueno. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do cerrado. SYNTHESIS| Revistal Digital FAPAM, v. 2, n. 1, p. 127-143, 2010.

LUNA, Vinicius Ferreira. Eventos extremos de chuva e suscetibilidade a inundação em Juazeiro do Norte, Ceará. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

LUQMAN, Muhammad; RAYNER, Peter J.; GURNEY, Kevin R. On the impact of urbanisation on CO2 emissions. npj Urban Sustainability, v. 3, n. 1, p. 6, 2023.

MA, Suhui et al. Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis. Biogeosciences, v. 15, n. 3, p. 693-702, 2018.

MAGURRAN, A. E. Ecological Diversity and its measurement. Princeton, Newjersey, p. l79, 1988.

MELO, Anne Karoline Lima de. Estimativa do sequestro de carbono no Parque da Jaqueira, Recife/PE. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.

MENÉNDEZ, Inés Gómez; ZAÚ, André Scarambone; SARTORI, Richieri Antônio. Evaluating the impacts of visitation on vegetation associated with waterfalls in Tijuca National Park (RJ, Brazil). Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur), v. 11, n. 3, 2018.

MME - Ministério de Minas e Energia. Diagnóstico do município de Juazeiro do Norte. (1998).

NEVES, Jaiton et al. Florística e índices espaciais das praças do bairro Centro no Município de Santarém (PA). Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 14, n. 2, p. 383-394, 2021.

NULLIS, Clare. El IPCC publica el Informe especial sobre el calentamiento global de 1, 5 C. Oficina de Comunicación y de Relaciones Públicas de la Organización Meteorológica Mundial, v. 67, n. 2, p. 1-3, 2018.

NUNES, Álvaro Renan Vieira et al. Conforto térmico e estimativa da captura do carbono pela vegetação em diferentes áreas da Cidade de Catolé do Rocha-PB. 2018.

PACHECO, Hiago Felipe Cardoso et al. ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA E FITOSSSANITÁRIA DA COBERTURA ARBÓREA DO PARQUE JOÃO COELHO, BELÉM, PARÁ, BRASIL. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 18, n. 2, p. 30-46, 2023.

PAOLINI, Leonardo et al. Decoupling of the urban vegetation productivity from climate. Urban Forestry & Urban Greening, v. 44, p. 126428, 2019.

PESSOA, José Felipe Salomão et al. Tree community of the urban forest remnant of the Lajinha Municipal Natural Park (Juiz de Fora, MG, Brazil). Ciência Florestal, v. 32, p. 1125-1148, 2022.

PINHEIRO, Renato Torres et al. Riqueza, diversidade e composição arbórea nas praças de Palmas, Tocantins. Ciência Florestal, v. 32, p. 856-879, 2022.

POORTER, Lourens et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. Nature, v. 530, n. 7589, p. 211-214, 2016.

PRADO JUNIOR, Jamir Afonso et al. Floristic, structural and ecological comparison of the arboreal vegetation of physiognomies in an urban remnant. Bioscience Journal, v. 28, n. 3, p. 456-471, 2012.

PRETZSCH, Hans. Forest dynamics, growth, and yield. Berlin: Springer, 2009.

QUARANTA, Emanuele; DORATI, Chiara; PISTOCCHI, Alberto. Hu Scientific reports, v. 11, n. 1, p. 12163, 2021.

RACELIS, Elenita et al. Carbon sequestration by large leaf mahogany (Swietenia macrophylla King.) plantation in Mount Makiling forest reserve, Philippines: a decade after. Journal of Environmental Science and Management, v. 22, n. 1, 2019.

REFLORA. Herbário Virtual. Flora e Funga do Brasil. 2024.

RESENDE, AS de et al. Recuperação de áreas degradadas através da reengenharia ecológica. Garay I, Becker BK, organizadores. Dimensões humanas da biodiversidade: o desafio de novas relações sociedade-natureza no século XXI. Petrópolis: Editora Vozes, p. 315-40, 2006.

ROCHA FARIA, Marcelo Henrique Fernandes et al. Análise fitossociologia e valor de importância em carbono de áreas em restauração florestal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, Brasil. DELOS: DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE, v. 16, n. 47, p. 2526-25248, 2023.

ROCHA, Germana Platao et al. Characterization and carbon storage of agroforestry systems in Brazilian savannas of Minas Gerais, Brazil/Caracterizacao e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. Ciência Rural, v. 44, n. 7, p. 1197-1204, 2014.

ROCHA, Wilian De Oliveira et al. Estimativa de biomassa vegetal e sequestro de carbono no Parque Natural Municipal Flor do Ipê, Várzea Grande, MT. Multitemas, 2017.

RODRIGUES, Priscyla Maria Silva et al. The influence of soil on vegetation structure and plant diversity in different tropical savannic and forest habitats. Journal of Plant Ecology, v. 11, n. 2, p. 226-236, 2018.

ROSA, Isabel MD et al. Challenges in producing policy-relevant global scenarios of biodiversity and ecosystem services. Global Ecology and Conservation, v. 22, p. e00886, 2020.

SALOMÃO, Rafael Paiva; BRIENZA JÚNIOR, Sílvio; ROSA, Nélson Araújo. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. Revista Árvore, v. 38, p. 1-24, 2014.

SANTANA, José Augusto silva et al. Estrutura e distribuição espacial da vegetação da Caatinga na Estação Ecológica do Seridó, RN. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 36, n. 88, p. 355-361, 2016.

SANTOS, André Ferreira; JOSÉ, Anderson Cleiton; DE SOUSA, Patrícia Aparecida. Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas das praças centrais do município de Gurupi-TO. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 8, n. 4, p. 36-46, 2013.

SANTOS, C.C.; BORBA, E.L.; QUEIROZ, L.P. A família Anacardiaceae no semiárido do estado da Bahia, Brasil. Sitientibus Ser. Ci. Biol, v.8, n.2, p.189-219, 2008.

Sanz-Elorza, M. Cap 5 - Efectos del cambio climático sobre la vegetación. (2018).

SATO, Juliana Hiromi et al. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. Scientia Agricola, v. 71, p. 302-308, 2014.

SETTE JUNIOR, Carlos Roberto; NAKAJIMA, Nelson Yoshihiro; GEROMINI, Márcio Penteado. Captura de carbono orgânico em povoamentos de Pinus taeda L. na região de Rio Negrinho, SC. Floresta, v. 36, n. 1, 2006.

SILVA, Helane Franca et al. Carbon stock estimate using indirect methods in a forest restoration area in Minas Gerais State. Scientia Forestalis, v. 43, n. 108, p. 943-953, 2015.

SILVA, Wilma Santos et al. Espécies nativas da Mata Atlântica para restauração ambiental, conservação da biodiversidade e desenvolvimento urbano sustentável (Bahia, Brasil). Desenvolvimento Sustentável, Interdisciplinaridade e Ciências Ambientais, v. 2, p. 160-176, 2021.

SILVEIRA, F.S.; MIOTTO, S.T.S. A família Fabaceae no Morro Santana, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: aspectos taxonômicos e ecológicos. Revista Brasileira de Biociências. 11(1): 93-114. 2013.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008

URIARTE, María et al. A spatially explicit model of sapling growth in a tropical forest: does the identity of neighbours matter?. Journal of Ecology, v. 92, n. 2, p. 348-360, 2004.

VECHI, Anderson et al. Diversidade e potencial de uso da vegetação em remanescente florestal urbano de Mata Atlântica. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v. 21, n. 11, p. 22787-22809, 2023.

VIEIRA, Gislaine et al. Teores de carbono em espécies vegetais da caatinga e do cerrado. Revista Acadêmica Ciência Animal, v. 7, n. 2, p. 145-155, 2009.

Watzlawick, L. F.; Ebling, A. A.; Rodrigues, A. L.; Veres, Q. J. I.; & Lima, A. M. Variação nos Teores de Carbono Orgânico em Espécies Arbóreas da Floresta Ombrófila Mista. Floresta e Ambiente, 3(18), 248-258. 2011.

WEBER, Karla Simone et al. Teores de Carbono Orgânico de Seis Espécies Naturais do Ecossistema da Floresta Ombrófila Mista Organic Carbon Contents in Six Native Species in the Araucaria Forest Ecosystem. Ambiência, v. 2, n. 2, p. 167-177, 2006.

WORK, Courtney. Climate change and conflict: Global insecurity and the road less traveled. Geoforum, v. 102, p. 222-225, 2019.

World Wild Life [WWF]. Efectos del Cambio Climatico. (2022).

YEOMANS, Jane C.; BREMNER, John Michael. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in soil science and plant analysis, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZANELLA, M. E. Caracterização climática e os recursos hídricos do estado do Ceará. In: SILVA, J. B. da.; DANTAS, E. W.; CAVALCANTE, T. (Org.). Geografia do Ceará: Um novo olhar geográfico. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, p. 169-188, 2007.

ZEYEDE, Aregahegn. Optimization of the analytical method for the determination of organic matter. Journal of Soil Science and Environmental Management, v. 11, n. 1, p. 1-5, 2020.

ZHOU, Yanping et al. Impact of climate factors on height growth of Pinus sylvestris var. mongolica. PLoS One, v. 14, n. 3, p. e0213509, 2019.

CAPITULO 2 ~~Entendendo o~~ microclima urbano e ~~a~~ percepção de conforto térmico dos usuários ~~da única~~ de uma unidade de conservação ~~de~~ em Juazeiro do Norte, Nordeste brasileiro

Understanding the urban microclimate and user perception of the only conservation unit in Juazeiro do Norte, Northeastern Brazil

Artigo com pretensão à revista Urban Forestry and Urban Greening, classificação A1 no Qualis/CAPES, fator de impacto: 6.0, e percentil de 95%.

Resumo: O crescimento urbano descontrolado no Brasil tem levado à formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICU), afetando negativamente o conforto térmico nas cidades. Este estudo investiga o conforto térmico no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, a única Unidade de Conservação em Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil, explorando como a arborização influencia o microclima local. Foram analisadas diferenças de temperatura do ar, umidade e índice de calor (IC) em diversas áreas do parque ao longo de 12 meses. Utilizando análises de variância (ANOVA). Foram analisadas diferenças entre áreas com e sem cobertura vegetal (CCV e SCV). Os resultados indicam que as áreas com cobertura vegetal apresentaram uma redução média de 3,3 ºC na temperatura do ar e um aumento de 7,3% na umidade relativa em comparação às áreas sem cobertura vegetal. A maior diferença de temperatura e umidade foi observada na área mais densamente arborizada, com uma redução de 6,4°C na temperatura e um aumento de 16,2% na umidade. A tarde é o período mais quente, com temperaturas médias de 35,9°C nas áreas SCV, enquanto a manhã é o mais fresco, com médias de 28,9°C nas áreas CCV. A variação máxima de temperatura entre áreas SCV e CCV foi de 3,67°C durante a tarde. Os pontos mais críticos, classificados como "Cautela Extrema", destacam a importância da cobertura vegetal na mitigação do calor. Para entender a percepção dos visitantes sobre conforto térmico, foram aplicados 500 questionários. A maioria (91,8%) acredita que as árvores reduzem a temperatura local e 44,8% consideram a vegetação excelente para o conforto térmico. A análise revelou que 68,4% dos visitantes frequentam o parque à tarde, coincidentemente o horário com os maiores valores de temperatura, sugerindo que buscam alívio térmico proporcionado pela vegetação. Este estudo destaca a importância da arborização urbana como estratégia para mitigar as ICU e melhorar a qualidade de vida em áreas urbanas nessa região do Brasil. Os resultados reforçam a necessidade de políticas públicas e planos de manejo que promovam a expansão e manutenção das áreas verdes, servindo de modelo para outras regiões enfrentarem desafios semelhantes.

Palavras-Chave: Ilhas de Calor, Arborização Urbana, Conforto Térmico, Microclima Urbano, Planejamento Urbano

INTRODUÇÃO

De acordo com o mais recente relatório do Programa de Assentamentos Humanos das Nações Unidas, a população urbana global atingiu 4,46 bilhões de pessoas em 2022, representando 57,5% da população mundial total. Estima-se que até 2050 essa proporção alcance 68% (ONU-HABITAT, 2022). No Brasil, a taxa de urbanização tem apresentado um crescimento constante ao longo das últimas décadas. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, mais de 85% da população do país reside em áreas urbanas,

influenciando o comportamento climático e afetando a qualidade de vida da população (IBGE, 2022). Esse processo de rápida urbanização, aliado às drásticas mudanças climáticas, cria espaços urbanos que enfrentam sérios problemas ambientais relacionados ao calor, como as Ilhas de Calor Urbanas (ICU), descritas como áreas urbanas com temperaturas significativamente mais altas do que as áreas rurais circundantes, podendo variar de 6,5°C a 22,8°C (Cheela et al., 2021).

O semiárido brasileiro, uma extensa região que abrange partes dos estados do Nordeste e do Sudeste do Brasil, é caracterizado por condições climáticas áridas e semiáridas, marcadas por baixos índices pluviométricos e altas temperaturas ao longo do ano. Nas áreas urbanas dessa região, as baixas latitudes contribuem para o aumento das temperaturas, intensificado pelas mudanças no uso e cobertura do solo, que alteram o balanço de energia e resultam na formação das ICU (Dombroski et al., 2011; Oliveira et al., 2017; Roshan et al., 2024). Estas mudanças causam impactos negativos significativos na saúde e no bem-estar dos residentes urbanos. Segundo Santos et al. (2024), entre os anos de 2000 a 2018, cerca de 48 mil brasileiros perderam a vida devido a bruscos aumentos de temperatura. Diante deste cenário, torna-se imperativo abordar essas questões e implementar medidas eficazes de mitigação para assegurar a sustentabilidade e o conforto nas áreas urbanas afetadas.

Nesse contexto, os espaços verdes urbanos desempenham papel fundamental, não apenas no desenvolvimento sustentável das cidades, mas também na promoção de ambientes mais saudáveis e agradáveis para seus habitantes (Kabisch et al., 2016). Os espaços verdes urbanos são considerados ambientes urbanos dedicados à vegetação, como parques, jardins, praças e áreas arborizadas (Wolch et al., 2014; Aram, 2024), e desempenham papel fundamental na melhoria do ambiente, interceptando a radiação solar, absorvendo Gases de Efeito Estufa (GEE) e fornecendo sombra, o que reduz a absorção de calor pelo ambiente construído e colabora para a diminuição das temperaturas do ar circundante (Bowler et al., 2010; Nowak et al., 2013). A evapotranspiração das árvores, que libera vapor d’água pelas folhas, também

contribui significativamente para esse efeito, criando um ambiente mais agradável e propício ao bem-estar (Vailshery et al., 2013; Khan et al., 2022). Além disso, esses espaços desempenham um papel crucial no microclima e na conservação da biodiversidade, fornecendo alimento, abrigo e interconectividade de habitat para a fauna nativa (Markevych et al., 2017; Wood et al., 2018). Drew-Smythe et al. (2023) observaram uma em suas entrevistas uma alta consciência pública sobre os serviços ecossistêmicos benéficos que a arborização urbana pode fornecer, proporcionando espaços verdes confortáveis e propiciando qualidade para os residentes interagirem ao ar livre.

Diante dessa realidade no Brasil, a proposta do Projeto de Lei 3113/23 surge como uma iniciativa legislativa promissora. Este projeto estabelece o marco regulatório da arborização urbana, buscando auxiliar os municípios brasileiros com população acima de 20.000 habitantes no planejamento e implementação de estratégias eficazes de arborização (Senado, 2023). Ao mitigar os impactos negativos da urbanização acelerada, o PL visa criar ambientes urbanos mais saudáveis, sustentáveis e confortáveis para os seus habitantes. A solução para esses desafios requer uma abordagem integrada que combine pesquisa científica, planejamento urbano e legislação. Se aprovada, trará benefícios especialmente para áreas em desenvolvimento, como é o caso da macrorregião do Cariri, que tem testemunhado um significativo aumento na urbanização nos últimos anos (Brasil, 2021; Nobre et al., 2024).

Para solucionar os problemas mencionados e aprimorar o conforto térmico nas áreas urbanas é fundamental que as pessoas avaliem e melhorem o conforto térmico dos espaços exteriores urbanos, oferecendo diretrizes e sugestões para o planejamento urbano e o design arquitetônico (Twohig-Bennett e Jones, 2018; Li e Xi, 2023; Ren et al., 2023). Nas últimas duas décadas, pesquisadores de todo o mundo têm conduzido diversas pesquisas sobre o conforto térmico nessas áreas em diferentes condições climáticas. Por exemplo, estudos na cidade de Colombo, Sri Lanka, destacam a importância do design urbano em climas quentes e úmidos, enquanto pesquisas em áreas urbanas na China enfatizam a qualidade dos espaços externos em

comunidades residenciais (Johansson et al., 2014; Lai et al., 2014). Por meio de medições de campo e questionários a transeuntes, é possível analisar a relação entre o ambiente térmico externo e o conforto térmico humano (Gascon et al., 2016; Kwon et al., 2021).

Este estudo busca investigar o impacto do Parque Natural Municipal das Timbaúbas no microclima urbano, oferecendo informações valiosas para que auxiliem o planejamento e gestão de espaços verdes. Assim busca-se responder as seguintes perguntas: Quais são os efeitos de resfriamento proporcionados pelas árvores do Parque Natural Municipal das Timbaúbas? Quais são as diferenças de temperatura do ar, umidade e índice de calor ao longo do dia e em diferentes áreas do parque? Os frequentadores estão satisfeitos com o conforto térmico oferecido pela vegetação do parque? Como a temperatura do ar influencia a umidade em diferentes áreas do parque? Este trabalho contribuirá para a compreensão do efeito de resfriamento de espaços verdes de Juazeiro do Norte (Ceará) e para subsidiar a criação e gestão de novos espaços verdes urbanos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido no Parque Natural Municipal das Timbaúbas (7°14'13.55" S, 39°18'45.33" O), localizado no município de Juazeiro do Norte, sul do Ceará, Nordeste do Brasil. Instituído pelo Decreto Municipal nº 352 de 2017, o Parque é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, abrangendo uma área de 23,41 hectares (Figura 1). Criado pelo decreto de lei municipal nº 1.083 de 23 de março de 1995, o Parque visa proteger o lençol freático situado no interior do espaço urbano, que faz parte da bacia do Rio Salgado, sob gestão municipal. O Parque Natural Municipal das Timbaúbas é a única Unidade de Conservação da cidade, desempenhando um papel crucial na conservação ambiental e na modulação do microclima urbano. Este parque não apenas protege os recursos hídricos e a biodiversidade

local, mas também oferece espaços de lazer e educação ambiental para a comunidade, sendo essencial para a manutenção da qualidade ambiental em Juazeiro do Norte.

Juazeiro do Norte é a principal cidade da Região Metropolitana do Cariri (RMC) e possui uma população de aproximadamente 274.000 habitantes (IBGE, 2023), em 2021 era a terceira cidade mais populosa do estado e a maior do interior cearense com taxa de urbanização de 95,3% (IPECE, 2022). sendo um dos principais centros urbanos do sul do Ceará. A cidade é caracterizada por uma ocupação urbana densa, com infraestrutura abrangendo áreas residenciais, comerciais e industriais. A urbanização rápida e a alta densidade populacional intensificam a necessidade de áreas verdes para proporcionar alívio térmico e melhorar a qualidade de vida dos moradores. Juazeiro do Norte está situada a uma altitude de 377,3 metros (IPECE, 2017) e é caracterizada por um clima semiárido quente, classificado como BSh segundo a classificação de Köppen. O regime climático local divide-se em uma estação chuvosa de janeiro a abril e uma estação seca nos meses restantes (Luna et al., 2023). A precipitação média anual varia entre 900 e 1000 mm, com uma média de 925,1 mm (IPECE, 2017). As temperaturas na região oscilam significativamente ao longo do ano, com mínima de 22° C e máxima de 33° C (INMET, 2024).

Obtenção dos dados

As variáveis meteorológicas, temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), foram medidas utilizando um termo-higrômetro posicionado a 1,5 m acima do solo. Os dados foram coletados no centro do parque, sempre em dois tipos de áreas em cada ponto: sem cobertura vegetal (SCV) e áreas com cobertura vegetal (CCV). O monitoramento das variáveis foi realizado ao longo de 12 meses, abrangendo os períodos chuvosos e secos da região, com registros durante três dias consecutivos em cada mês. Para avaliar o conforto térmico no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, utilizamos o Índice de Calor (IC), que combina a temperatura do ar (T) e a umidade relativa do ar (UR) para determinar uma temperatura aparente

que representa a sensação térmica. As medições foram realizadas na sombra, de modo a evitar a influência direta da radiação solar, que poderia distorcer os resultados.

Para calcular o Índice de Calor (IC) foi utilizada a metodologia de Steadman (1979), representada pela seguinte equação:

Equação 1**:** $IC = -42{,}379 + 2{,}04901523 \times T + 10{,}14333127 \times UR - 0{,}22475541 \times T \times UR - 6{,}83783 \times 10^{-3} \times (T)^2 - 5{,}481717 \times 10 - 2 \times (UR)^2 + 1{,}22874 \times 10^{-3} \times (T)^2 \times UR + 8{,}5282 \times 10 - 4 \times T \times (UR)^2 - 1{,}99 \times 10 \times (T)^2 \times (UR)^2$

Onde:

- IC = Índice de Calor
- T = Temperatura do ar (°C)
- UR = Umidade relativa do ar (%)

Os resultados obtidos do IC foram utilizados para indicar os níveis de alerta e as possíveis consequências para a saúde humana, conforme a Tabela 1. A medição do IC na sombra é fundamental para obter uma estimativa precisa da sensação térmica real experimentada pelas pessoas, excluindo a influência direta da radiação solar. Esta abordagem permite avaliar melhor o impacto das condições climáticas na saúde humana e no conforto térmico em ambientes urbanos.

Percepção da população quanto ao conforto térmico

Para avaliar a percepção da população sobre o conforto térmico proporcionado pela vegetação no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, foram aplicados 500 questionários (apêndice 1) ao longo de 12 meses. As perguntas foram direcionadas aos transeuntes estacionários em várias áreas do parque. Primeiro, utilizou-se uma série de perguntas para obter dados sobre a experiência dos entrevistados com o parque, como a frequência e a principal

razão para suas visitas, identificando também os períodos do dia em que costumam frequentá-lo.

Em seguida, procurou-se determinar a familiaridade dos entrevistados com o conhecimento básico sobre conforto térmico, incluindo a percepção sobre a capacidade da vegetação em reduzir a temperatura local. Para entender a percepção dos usuários sobre o conforto térmico no parque, utilizaram-se perguntas diretas sobre a sensação térmica no momento da entrevista, o nível de ventilação, sombreamento e a presença de elementos de água no parque.

Além disso, investigou-se se os entrevistados acreditam que a arborização pode interferir positivamente nos bairros adjacentes e se o parque abriga espécies importantes para a biodiversidade. As perguntas também abordaram a percepção sobre possíveis problemas associados à vegetação, como a interferência na iluminação noturna, risco de queda de galhos, e conflitos entre a copa das árvores e a fiação elétrica devido à falta de manutenção periódica.
A coleta de dados seguiu as diretrizes estabelecidas pela Resolução CNS 466/12 do Conselho Nacional de Saúde. Este estudo foi submetido à Plataforma Brasil e recebeu a identificação CAAE 70319023.7.0000.5055, assegurando a avaliação ética por parte de um Comitê de Ética em Pesquisa e garantindo a proteção dos direitos e do bem-estar dos participantes.

Análises estatísticas

Todas as variáveis quantitativas foram inspecionadas quanto a normalidade e homoscedasticidade. Para isto, foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade univariada dos dados. Subsequentemente, o teste de Levene foi utilizado para avaliar a homoscedasticidade dos dados ao longo dos pontos amostrais. Dessa forma, as seguintes análises estatísticas foram realizadas de acordo com a natureza dos dados, sendo paramétricos (teste de Levene, $P < 0,05$).

Para avaliar a variação de temperatura, umidade e IC em nosso estudo, foram realizadas três avaliações distintas. Inicialmente, foi utilizada uma ANOVA two-way para avaliar a

variação de temperatura, umidade e IC, separadamente para cada variável, entre os horários (manhã, tarde e noite), os pontos dentro do parque (ponto 1, ponto 2, ponto 3, ponto 4, ponto 5) e entre os horários dentro de cada ponto do parque. Em seguida, foi utilizado o teste a *posteriori* de Tukey, para as comparações par-a-par entre os grupos de interesse. Também foi utilizada uma ANOVA two-way, para avaliar a variação de temperatura, umidade e IC entre as áreas SCV e CCV dentro dos cinco pontos amostrais. Assim como a análise anterior, também foi utilizado um teste a *posteriori* de Tukey, para as comparações par-a-par entre os grupos de interesse. Por fim, foi utilizada uma análise de covariância (ANCOVA) para avaliar se a correlação entre temperatura e umidade varia entre SCV e CCV dentro de cada ponto amostral.

RESULTADOS

Os valores de temperatura, umidade e IC variam ao longo do ano (Figura 2), indicando valores mais elevados de temperatura e menores de umidade do ar no período de menor precipitação, que geralmente se estende entre os meses de julho e dezembro. Por outro lado, no período considerado como chuvoso, os valores de temperatura foram mais baixos, com elevados níveis de umidade do ar (Figura 2). Com relação à variação ao longo do dia, nos valores de temperatura foi observada variação entre o ponto 5 e os demais pontos amostrais (Figura 3a). Os mesmos resultados foram observados para os valores de IC, exceto para a comparação entre ponto 1 vs. ponto 5 (Figura 3c). Em geral, o ponto 5 apresentou valores mais elevados de temperatura e IC, enquanto os outros pontos amostrais exibiram valores similares para estas duas variáveis. A maior temperatura e IC no ponto 5 podem ser atribuídas à ausência de cobertura vegetal nesse local, conforme indicado por estudos que mostram que a densidade e o tipo de vegetação são cruciais para o controle térmico em ambientes urbanos. Quando comparados os valores de umidade, foram observadas duas variações significativas (ponto 3 vs. ponto 4; ponto 3 vs. ponto 5; ver Figura 3b).

Os valores de temperatura, umidade e IC também variaram entre os horários manhã, tarde e noite (Tukey; $P < 0,05$). Em geral, a temperatura foi mais elevada no horário da tarde (01:00 pm), com valor médio de 34,4 ºC (± 4,22), enquanto o menor valor de temperatura foi registrado pela manhã (08:00 am), com valor médio de 30,6 ºC (± 3,66). Por fim, à noite (05:30 pm), foi observada temperatura média de 31.8 ºC (± 3,12). Essas variações diurnas são esperadas devido à incidência solar e à capacidade térmica dos materiais urbanos.

O Ponto 1, com um IC de 33.91, enquadra-se na categoria de Cautela Extrema. Nessa classificação, há uma possibilidade significativa de ocorrência de câimbras, esgotamento e insolação para indivíduos expostos de forma prolongada e que realizam atividades físicas. De maneira similar, o Ponto 3, com um IC de 32.39, e o Ponto 5, com um IC de 33.42, também se situam na categoria de Cautela Extrema, apresentando os mesmos riscos de câimbras, esgotamento e insolação em condições de exposição prolongada. Por outro lado, os Pontos 2 e 4 apresentam índices de calor de 31.97 e 31.7, respectivamente, sendo classificados na categoria de Cautela. Nesta categoria, a principal preocupação é a possível ocorrência de fadiga em casos de exposição prolongada e durante a realização de atividades físicas.

Com relação a umidade, foi observada variação significativa apenas entre manhã e tarde (Tukey; $P < 0,05$). Durante o horário da manhã, foram observados os valores mais elevados de umidade (48,1 ± 11,5 %), enquanto o horário da tarde exibiu os menores valores de umidade ao longo do estudo (48,1 ± 11,5 %). Além disso, à noite os valores médios observados para a umidade foram de 46,3 % (± 12,5). A menor umidade à tarde pode ser explicada pela maior evapotranspiração durante os horários de pico de calor.

Por fim, a exemplo da temperatura, os valores de IC variaram entre os três horários analisados (Tukey; $P < 0,05$), sendo mais elevados à tarde (30,4 ± 3,12 ºC), apresentando menores valores no horário da manhã (27,4 ± 2,80 ºC), enquanto à noite foram observados os valores intermediários (28,4 ± 2,43 ºC). As variações entre manhã, tarde e noite dentro de cada ponto amostral podem ser observadas na Figura 4.

Os resultados indicam que, em média, a temperatura na área SCV é de 34,0 ºC com uma umidade relativa de 41,5%, enquanto na área CCV a temperatura média é de 30,7 ºC com uma umidade relativa de 48,8%. A diferença entre as médias das temperaturas das duas áreas é de 3,3 ºC, com a área SCV sendo mais quente. Em relação à umidade relativa, a área CCV apresenta uma média 7,3% maior do que a área SCV.A variação de temperatura, umidade e IC também foi avaliada entre as áreas com cobertura vegetal (CCV) e sem cobertura vegetal (SCV) dentro de cada ponto amostral. Em geral, temperatura e IC foram mais elevados em áreas SCV, enquanto a umidade foi mais elevada em áreas CCV (Figura 5). A temperatura variou entre áreas CCV e SCV apenas dentro dos pontos amostrais 4 e 5 (Figura 5a). Com relação a umidade, apenas no ponto 5 foi observada variação significativa entre as áreas CCV e SCV (Figura 5b). Por fim, com relação aos valores de IC, foram observadas variações significativas entre áreas CCV e SCV nos pontos amostrais 4 e 5 (Figura 5c), a exemplo do observado para a temperatura. Além disso, quando avaliada a correlação entre temperatura e umidade dentro dos pontos amostrais, foi observado que estas variáveis são significativamente correlacionadas, apresentando correlação negativa. Desta forma, com o aumento da temperatura há uma diminuição na umidade (Figura 6). Contudo, não foi observada variação significativa da relação entre temperatura e umidade entre as áreas CCV e SCV dentro dos pontos amostrais ($P > 0,05$).

Questionários

Os dados coletados na pesquisa demonstram uma distribuição equilibrada entre os participantes, com 44,6% de mulheres (223) e 55,4% de homens (277). A faixa etária dos participantes está distribuída da seguinte forma: 21,6% têm entre 18 e 25 anos (108), 28% têm entre 26 e 35 anos (140), 22,2% têm entre 36 e 45 anos (111), 17% têm entre 46 e 55 anos (85), 9,4% têm entre 56 e 65 anos (47), e 1,8% têm acima de 65 anos (9).

No que diz respeito à frequência de visitas ao parque, 28,2% dos participantes (141) afirmaram visitar o local todos os dias, 36% (180) o fazem algumas vezes por semana, 14%

(70) visitam algumas vezes por mês, e 21,8% (109) raramente frequentam o parque. As razões para as visitas variam, com 27,2% (136) citando lazer, 41,8% (209) realizando atividades físicas, 2,4% (12) encontrando amigos ou familiares, 3,2% (16) passeando com animais de estimação, 22,4% (112) a trabalho, e 3% (15) participando de festas ou eventos.

Em relação ao período de visita, 22,2% (111) preferem a manhã, 68,4% (342) a tarde, e 9,4% (47) a noite. Quanto ao conhecimento sobre "conforto térmico", 13,6% (68) estão bastante familiarizados com o termo, 27,4% (137) têm um conhecimento básico, e 59% (295) nunca ouviram falar sobre isso.

A percepção dos participantes sobre a vegetação do parque revela que 44,8% (224) consideram muito boa e que contribui para o conforto térmico, 37,4% (187) acham boa, mas que poderia ser melhor distribuída, 4,8% (24) têm uma opinião neutra, 11,8% (59) consideram ruim e que poderia ser melhorada, e 1,2% (6) julgam muito ruim e que não contribui em nada para o conforto térmico.

No que tange à percepção de que as árvores reduzem a temperatura local, 91,8% (459) acreditam que sim, 6,6% (33) acham que talvez, e 1,6% (8) não acreditam que faça diferença. Sobre a interferência da vegetação do parque nos bairros adjacentes, 70,4% (352) afirmam que sim, 25% (125) dizem que não, e 4,6% (23) não têm certeza ou informações suficientes.

A sensação térmica relatada pelos participantes é variada: 9,8% (49) sentem o ambiente muito quente, 22,6% (113) quente, 20,6% (103) levemente quente, 24,6% (123) neutro, 18,8% (94) levemente fresco, 3,2% (16) frio, e 0,4% (2) muito frio. Em relação ao nível de ventilação, 21,4% (107) consideram muito bom, 54% (270) bom, 19,4% (97) neutro, 5,2% (26) ruim, e nenhum participante considerou muito ruim.

A percepção sobre o nível de sombreamento revela que 35,8% (179) acham ótimo, 47,4% (237) bom, 5,6% (28) neutro, 10,8% (54) ruim, e 0,4% (2) muito ruim. Sobre a presença de elementos de água no parque e sua contribuição para o conforto térmico, 82,6% (413) acreditam que sim, 9,4% (47) dizem que não, 5,6% (28) talvez, e 2,4% (12) não sabem.

Por fim, a importância do parque para a biodiversidade é reconhecida por 79,6% (398), que acreditam que o local abriga espécies importantes de fauna e flora, enquanto 11% (55) discordam, 5,6% (28) talvez, e 3,8% (19) não sabem. Esses dados fornecem uma visão abrangente das percepções e comportamentos dos usuários do parque, sendo fundamentais para futuras análises e discussões sobre o uso e gestão dos espaços verdes urbanos.

DISCUSSÃO

Os resultados indicam que os valores de temperatura, umidade e índice de calor no Parque Natural Municipal das Timbaúbas são variáveis em diferentes escalas temporais, seja ao longo do ano ou ao longo do dia. O ponto 5 foi o local onde foram observados os maiores valores de temperatura e índice de calor, resultando também em menores valores de umidade. Além disso, áreas com cobertura vegetal apresentaram sempre temperaturas mais baixas do que áreas sem cobertura vegetal. Em geral, as maiores temperaturas foram registradas no período da tarde, enquanto os menores valores foram registrados durante a manhã, semelhantes a estudos realizados por Ahmad e Eisma, no Norte do Texas (2023), e, Parece e Campbell, (2018) em Bejing na China em que destacaram que a vegetação urbana desempenha um papel crucial na regulação térmica através da evapotranspiração, similar ao observado no Parque das Timbaúbas, onde áreas vegetadas apresentaram temperaturas mais baixas. Em oposição, quando os valores de temperatura estão elevados há uma baixa umidade do ar, sendo observado que os maiores valores de umidade são registrados com a queda da temperatura. Como o índice de calor é uma variável dependente da relação entre temperatura e umidade, foi observado que a variação nos valores de IC são diretamente ocasionados pela oscilação entre temperatura e umidade, seja ao longo do ano ou dia. A relação entre temperatura e umidade apresenta uma tendência negativa, indicando que quanto maior a temperatura menor a umidade. Contudo, não foram observadas variações desta relação entre áreas com cobertura vegetal e sem cobertura vegetal dentro dos pontos amostrais do Parque das Timbaúbas. A ANCOVA (tabela 2) revela

que a cobertura vegetal tem um impacto significativo na temperatura ($P < 0.001$) em todos os pontos, mas a interação entre temperatura e local não é significativa, indicando que a variação de temperatura é mais influenciada pela presença ou ausência de cobertura vegetal do que pela localização específica.

Em relação a classificação do IC essa análise é consistente com diversos estudos recentes que investigam o impacto do calor em áreas urbanas. Por exemplo, um estudo realizado no Retiro Park em Madrid, Espanha, demonstrou que grandes espaços verdes urbanos podem ter um efeito significativo na melhoria do conforto térmico ao ar livre, reduzindo a intensidade das ilhas de calor urbanas (UHI). O estudo mediu a temperatura do ar e a umidade relativa em diferentes pontos ao redor do parque e concluiu que áreas próximas a grandes parques experimentam uma diminuição na temperatura devido ao sombreamento e à evapotranspiração das plantas (Lin et al., 2015). Outro estudo em Lucknow, Índia, focou em parques urbanos menores e descobriu que mesmo pequenos parques podem proporcionar um efeito de resfriamento significativo, embora mais localizado. Utilizando imagens de satélite de alta resolução, os pesquisadores observaram que os parques de até 1 hectare ainda conseguem reduzir a temperatura nas áreas imediatas ao seu redor, contribuindo para o conforto térmico local (Lu et al., 2017). Além disso, uma revisão recente destacou que estratégias de planejamento urbano, como a implementação de telhados verdes e fachadas verdes, também podem complementar os benefícios das áreas verdes tradicionais, ajudando a reduzir o efeito de ilha de calor e melhorar o conforto térmico nas cidades (He et al., 2020; Kalogeropoulos et al., 2022).

A variação de temperatura, umidade e índice de calor no Parque das Timbaúbas apresentou padrões consistentes. Ao longo do estudo, as temperaturas mais elevadas e menores umidades são observadas durante os meses da estação seca, enquanto os períodos considerados chuvosos apresentam menores valores de temperatura e maior umidade relativa do ar. A ICU é um fenômeno amplamente documentado em que áreas urbanas apresentam temperaturas mais

elevadas em comparação com as áreas rurais circundantes, devido a fatores como a densidade de construções, emissões de calor antropogênico e a falta de vegetação (Chun e Guldmann, 2014; Ren et al., 2023). Em cidades densamente construídas, a intensidade da ICU pode chegar a até 5 ºC acima das áreas suburbanas (Ren et al., 2023). Esses resultados são característicos da região semiárida do nordeste brasileiro, que passa por transições de estação seca para chuvosa bem definidas ao longo do ano (Rao et al., 2016; Carvalho et al., 2019). Estudos indicam que a cobertura vegetal em áreas urbanas pode efetivamente moderar essas variações sazonais. Por exemplo, Zhang e Dai (2022) demonstraram que comunidades de vegetação multi-camadas em parques urbanos são eficazes na redução das temperaturas e aumento da umidade relativa, criando microclimas mais estáveis.

Dentro da variação diária, as temperaturas mais elevadas foram registradas durante a tarde, enquanto as menores foram observadas pela manhã. Esses padrões são atribuídos à maior incidência de radiação solar durante a tarde, que aumenta significativamente as temperaturas superficiais e do ar. No entanto, no Parque das Timbaúbas a vegetação parece desempenhar um papel crucial na atenuação dessas temperaturas. Estudo da EPA (2021) (United States Enviromental Protection Agency) reforça que árvores e vegetação urbana podem reduzir as temperaturas de superfície através de sombra e evapotranspiração, processos que ajudam a mitigar o efeito de ilha de calor urbano.

Nota-se que o ponto 5 foi o ponto amostral com temperaturas mais elevadas. Isso ocorreu provavelmente devido a menor dominância de vegetação neste local. A presença de espaços verdes tem sido associada a menores níveis de estresse e maior satisfação com o ambiente urbano, o que reforça a necessidade de preservação e expansão dessas áreas. Estudos como o de Gascon et al. (2016) ressaltam a importância das áreas verdes não apenas para a regulação do microclima, mas também para a promoção da saúde mental e do bem-estar dos residentes urbanos. No Parque das Timbaúbas, a cobertura vegetal desempenha papel fundamental na modulação das condições microclimáticas. Pontos com maior densidade de

vegetação apresentaram temperaturas mais baixas e níveis de umidade mais elevados, evidenciando a eficácia das áreas verdes na mitigação do calor urbano. Esta relação é corroborada por Kwon et al. (2021), que mostraram que a vegetação urbana pode significativamente moderar as temperaturas e melhorar a qualidade do ar em áreas densamente urbanizadas.

A vegetação urbana é essencial para mitigar os efeitos do calor, mantendo níveis mais altos de umidade relativa e temperaturas mais baixas. Áreas verdes urbanas são capazes de reduzir as temperaturas locais em até 2°C (Bowler et al., 2010), o que pode ser crucial para melhorar o conforto térmico dos habitantes e reduzir a demanda por energia para resfriamento. Os resultados indicam que áreas com cobertura vegetal diminuem a temperatura e aumentam a umidade do ar. Isto ocorre porque as áreas com maior cobertura vegetal fornecem sombra e realizam evapotranspiração, processos que contribuem significativamente para o resfriamento do ar (Bowler et al., 2010). Além disso, durante a noite e no início da manhã, a temperatura foi mais baixa, o que permite ao ar reter mais vapor d'água (Meili et al., 2021; Sakschewski et al., 2021). Este padrão diário de variação de umidade é consistente com outros estudos que mostram a influência da cobertura vegetal na modulação da umidade relativa em ambientes urbanos (Norton et al., 2015).

A análise dos valores de índice de calor (IC) revela que essa variável é altamente dependente da interação entre temperatura e umidade, com picos ocorrendo durante a tarde, quando a temperatura é mais alta e a umidade mais baixa. Esses dados são consistentes com estudos anteriores que indicam que o IC pode ser significativamente moderado pela presença de vegetação urbana, que atua tanto na redução da temperatura quanto no aumento da umidade relativa, melhorando assim o conforto térmico (Shashua-Bar et al., 2011; Santamouris, 2014). A literatura também sugere que o IC pode ter impactos diretos na saúde pública, aumentando o risco de doenças relacionadas ao calor durante períodos de altas temperaturas (Anderson et al., 2013). Portanto, a presença de áreas verdes pode ser crucial para mitigar esses efeitos adversos.

Nossos resultados destacam a importância das áreas verdes urbanas na modulação do microclima em cidades como Juazeiro do Norte. Neste contexto, Norton et al. (2015) propõem um quadro para priorizar a infraestrutura verde para mitigar altas temperaturas em paisagens urbanas, o que poderia ser aplicável ao contexto de Juazeiro do Norte. Sabendo que estratégias de manejo que aumentem a densidade de vegetação nos pontos mais quentes e secos podem mitigar as variações microclimáticas e melhorar a qualidade ambiental local (Gascon et al., 2016; Kwon et al., 2021), a integração de espaços verdes no planejamento urbano de Juazeiro do Norte pode ajudar a atenuar os extremos térmicos e melhorar a qualidade de vida dos habitantes. Assim, os planejamentos urbanos que incorporem mais áreas verdes são necessários para reduzir os efeitos adversos das mudanças climáticas nesta cidade (Cohen et al., 2012). A expansão das áreas verdes em zonas urbanas pode ser utilizada como uma estratégia vital para mitigar os efeitos do calor e melhorar o conforto térmico dos habitantes. Conforme discutido por Cohen et al. (2012), o planejamento urbano deve considerar a implementação de áreas verdes para reduzir o índice de calor, principalmente em regiões com altas temperaturas como o Nordeste brasileiro.

Questionarios

A alta frequência de visitas durante a tarde (68,4%) pode ser influenciada por fatores sociais e culturais específicos da região, como horários de trabalho e atividades cotidianas. Comparativamente, estudos como o de Oliveira e Andrade (2007), Lin et al. (2010) e Birch et al., (2020) mostram padrões similares, onde os finais de tardes são preferidas para atividades recreativas devido ao declínio das temperaturas mais extremas observadas ao meio-dia. A adoção de práticas de resfriamento, como a instalação de fontes de água e a criação de áreas de sombra, poderia aumentar o conforto térmico e atrair visitantes em outros períodos do dia.

No Parque Natural das Timbaúbas, 91,8% dos entrevistados acreditam que as árvores reduzem a temperatura local, um resultado que corrobora com os estudos internacionais

mencionados. A maioria dos visitantes (44,8%) considera a vegetação do parque muito boa e contribui significativamente para o conforto térmico, embora 37,4% achem que a distribuição poderia ser melhorada. Esse feedback sugere que, apesar de a vegetação ser efetiva, ainda há espaço para otimização, possivelmente através de um planejamento mais estratégico da distribuição das árvores e da introdução de espécies com maior capacidade de sombreamento.

Os dados climáticos coletados incluem as temperaturas instantâneas (Temp. Ins.), máximas (Temp. Max.), mínimas (Temp. Min.), umidade instantânea (Umi. Ins.), máxima (Umi. Max.), mínima (Umi. Min.), índice de calor (IC) de maio de 2023 a abril de 2024. As temperaturas variaram de 27,7 °C a 33,2 °C, e a umidade relativa do ar variou de 48,5% a 81,6%.

Os dados mostram que as temperaturas mais altas foram registradas em novembro (33,2 °C) e as mais baixas em março (27,7 °C). A percepção de sensação térmica "quente" a "muito quente" pelos visitantes foi maior nos meses com temperaturas mais altas. Em outubro e novembro, quando a temperatura foi alta, a percepção de desconforto térmico aumentou, corroborando a ideia de que temperaturas elevadas contribuem significativamente para a sensação de calor excessivo.

A umidade relativa também desempenha um papel importante na percepção térmica. Em janeiro (umidade instantânea de 78,9%) e fevereiro (77,6%), os índices de conforto térmico foram elevados, refletindo uma sensação de desconforto devido à baixa umidade. No entanto, nos meses mais secos como setembro (52,5%) e outubro (48,5%), a umidade baixa intensificou a sensação de calor, resultando em um índice de calor (IC) mais elevado. Segundo Bueno e Broday (2021), a umidade relativa pode aumentar a percepção de desconforto térmico ao elevar a sensação de calor, principalmente em ambientes com altas temperaturas.

A vegetação no Parque das Timbaúbas contribui significativamente para o conforto térmico dos visitantes. Nos meses com temperaturas mais extremas, a presença de árvores com

copas densas pode mitigar a sensação de calor, proporcionando sombreamento e um microclima mais ameno.

Para melhorar o conforto térmico no Parque Natural das Timbaúbas, considerando os dados climáticos e as percepções dos visitantes, as seguintes medidas podem ser implementadas: aumento da densidade arbórea, plantando mais árvores com copas densas e estratégicas, focando em espécies nativas que já demonstraram eficácia na redução da temperatura local; melhor distribuição da vegetação, reavaliando a distribuição das áreas verdes para maximizar o sombreamento e a ventilação natural, utilizando técnicas de planejamento paisagístico; instalação de elementos de água, introduzindo fontes, lagos artificiais e outras estruturas de água que possam contribuir para a redução da temperatura e melhorar a ventilação; programas de educação ambiental, implementando iniciativas educacionais para aumentar a conscientização sobre os benefícios das áreas verdes e o conceito de conforto térmico; e monitoramento contínuo, realizando estudos periódicos para monitorar as condições térmicas e a percepção dos visitantes, ajustando as práticas de gestão conforme necessário.

Os resultados deste estudo no Parque Natural das Timbaúbas são consistentes com achados internacionais, destacando a importância das áreas verdes urbanas na moderação do microclima. A implementação das recomendações sugeridas pode não apenas melhorar o conforto térmico, mas também aumentar a atratividade e a utilização do parque, beneficiando a saúde e o bem-estar da comunidade local.

CONCLUSÃO

O estudo comparou áreas expostas ao sol e áreas sombreadas por árvores no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, em Juazeiro do Norte, revelando que as áreas com cobertura vegetal (CCV) apresentaram uma redução média de 3,3 ºC na temperatura e um aumento de 7,3% na umidade, proporcionando uma sensação térmica mais confortável. Os dados mostram que 44,8% dos participantes consideram a vegetação muito boa para o conforto térmico, e 91,8% acreditam que as árvores ajudam a reduzir a temperatura local.

Esses resultados destacam a importância da arborização urbana na modulação do microclima. Medidas como aumento da densidade arbórea, melhor distribuição da vegetação e instalação de elementos de água podem melhorar significativamente o conforto térmico no parque, promovendo a sustentabilidade e a qualidade de vida nas áreas urbanizadas e servindo de modelo para outras localidades.

Referências Bibliográficas

Ahmad, J., Eisma, J. A. (2023). Capturing Small-Scale Surface Temperature Variation across Diverse Urban Land Uses with a Small Unmanned Aerial Vehicle. Remote Sensing, 15(8), 2042. https://doi.org/10.3390/rs15082042.

Anderson, G. B., Bell, M. L., Peng, R. D. (2013). Methods to calculate the heat index as an exposure metric in environmental health research. Environmental Health Perspectives, 121(11-12), 1111-1119. DOI: 10.1289/ehp.1306831.

Aram, F. (2024). Resources of urban green spaces and sustainable development. Resources, 13(1), 10. https://doi.org/10.3390/resources13010010.

Birch, J., et al. (2020). University students' participation in outdoor recreation and the impact of temperature. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 31, 100327. DOI: 10.1016/j.jort.2020.100327.

Bueno, A, P, X, A., e Broday, E. (2021). Evaluating the connection between thermal comfort and productivity in buildings: a systematic literature review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(6), 244. https://doi.org/10.3390/buildings11060244

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. Landscape and Urban Planning, 97(3), 147-155. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006.

Brasil. (2021). Diagnóstico da Macrorregião do Cariri. Secretaria das Cidades. https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/08/visaogeral_diagnostico.pdf.

Carvalho, A. A. de, et al. (2019). Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 24(1), 15-23. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p15-23.

Cheela, V. R. S., John, M., Biswas, W., Sarker, P. (2021). Combating urban heat island effect—A review of reflective pavements and other mitigation measures. CivilEng. https://www.mdpi.com/2673-4109/2/1/7.

Chun, B., e Guldmann, J. M. (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and Urban Planning*, 125, 76-88. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.016

Cohen, P., Potchter, O., Matzarakis, A. (2012). Human thermal perception of coastal Mediterranean outdoor urban environments. Applied Geography, 34, 64-72. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.11.001.

Dombroski, J. L., Pereira, L. S., Oliveira, L. F. (2011). Análise dos impactos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Journal of Arid Environments, 75(9), 823-832.

Drew-Smythe, J. J., et al. (2023). Community perceptions of ecosystem services and disservices linked to urban tree plantings. Urban Forestry & Urban Greening, 82, 127870. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127870.

Fang, Z., Feng, X., Xu, X., et al. (2019). Investigation into outdoor thermal comfort conditions by different seasonal field surveys in China, Guangzhou. International Journal of Biometeorology, 63, 1357-1368. https://doi.org/10.1007/s00484-019-01752-8.

Gascon, M., Triguero-Mas, M., Martínez, D., Dadvand, P., Forns, J., Plasência, A., Nieuwenhuijsen, M. J. (2016). Mental Health Benefits of Long-Term Exposure to Residential Green and Blue Spaces: A Systematic Review. Environment International, 86, 60-67. https://doi.org/10.3390/ijerph120404354.

He, B.-J., Ding, L., e Prasad, D. (2020). Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102289. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102289

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). Panorama do Censo 2022. https://censo2022.ibge.gov.br.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). População residente em Juazeiro do Norte, Ceará. https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). (2022). Perfil Municipal de Juazeiro do Norte. http://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2024). Dados Climáticos de Juazeiro do Norte.

Johansson, E., Thorsson, S., Emmanuel, R., Krüger, E. (2014). Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies—the need for standardization. Urban Climate. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.12.002.

Kabisch, N., et al. (2016). Urban green space availability in European cities. Ecological Indicators, 70, 586-596. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.029.

Kalogeropoulos, G., Dimoudi, A., e Toumboulidis, P. (2022). Urban Heat Island and Thermal Comfort Assessment in a Medium-Sized Mediterranean City. *Atmosphere*, 13, 1102. https://doi.org/10.3390/atmos13081102

Khan, N., Jhariya, M. K., Raj, A. (2022). Urban greening toward sustainable development and sustainability. In Öztürk, M., Khan, S. M., Altay, V., Efe, R., Egamberdieva, D., Khassanov, F. O. (eds) Biodiversity, Conservation and Sustainability in Asia. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73943-0_20.

Kwon, H., Lin, T., Tsai, K., Liao, C., Huang, Y. (2021). How Does Urban Green Space Impact Residents' Mental Health: A Literature Review of Mediators. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(22), 11746. https://doi.org/10.3390/ijerph182211746.

Lai, D., Guo, D., Hou, Y., Lin, C., Chen, Q. (2014). Outdoor space quality: A field study in an urban residential community in central China. Energy and Buildings. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.051.

Li, J., Xi, T. (2023). A review of thermal comfort evaluation and improvement in urban outdoor spaces. Buildings, 13(12), 3050. https://doi.org/10.3390/buildings13123050.

Lin, T. P., Matzarakis, A., Hwang, R. L. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. Building and Environment, 45(1), 213-221. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.05.015.

Lin, W., Yu, T., Chang, X., et al. (2015). Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: method and test. *Landscape and Urban Planning*, 134, 66-75. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.012

Lisboa, M. A. N., et al. (2024). Diversity, structure, and carbon sequestration potential of the woody flora of urban squares in the Brazilian semiarid region. Trees, Forests and People, 16, 100561. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100561.

Lu, J., Li, Q., Zeng, L., et al. (2017). A micro-climatic study on cooling effect of an urban park in a hot and humid climate. *Sustainable Cities and Society*, 32, 513-522. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.017

Luna, Vinicius Ferreira. (2023). Eventos extremos de chuva e suscetibilidade a inundação em Juazeiro do Norte, Ceará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

Meili, Naika et al. (2021). Tree effects on urban microclimate: Diurnal, seasonal, and climatic temperature differences explained by separating radiation, evapotranspiration, and roughness effects. Urban Forestry & Urban Greening, 58, 126970. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126970.

Middel, A., Selover, N., Hagen, B., et al. (2016). Impact of shade on outdoor thermal comfort—a seasonal field study in Tempe, Arizona. International Journal of Biometeorology, 60, 1849-1861. https://doi.org/10.1007/s00484-016-1172-5.

Monteiro, S. D., Libonati, R., Garcia, B. N., Geirinhas, J. L., Salvi, B. B., et al. (2024). Twenty-first-century demographic and social inequalities of heat-related deaths in Brazilian urban areas. PLOS ONE, 19(1), e0295766. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295766.

Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., Williams, N. S. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. Landscape and Urban Planning, 134, 127-138. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018.

Nowak, D. J., et al. (2013). Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. Environmental Pollution, 178, 395-402. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.050.

Oliveira, P. T., Santos e Silva, C. M., Lima, K. C. (2017). Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. Theoretical and Applied Climatology, 130, 77-90. https://doi.org/10.1007/s00704-016-1865-z.

Oliveira, S., Andrade, H. (2007). An Analysis of the Influence of Social and Cultural Factors on the Use of Urban Recreational Spaces. Journal of Urban Planning and Development, 133(4), 231-238. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2007)133:4(231).

ONU-Habitat. (2022). Relatório Mundial das Cidades 2022. Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos. https://unhabitat.org/wcr/.

Parece, T. E., Campbell, J. B. (2018). Intra-Urban Microclimate Effects on Phenology. Urban Science, 2(1), 26. https://doi.org/10.3390/urbansci2010026.

Rao, V. Brahmananda, et al. (2016). An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979-2011. International Journal of Climatology, 36(1). DOI: 10.1002/joc.4345.

Ren, J., Shi, K., Li, Z., Kong, X., e Zhou, H. (2023). A Review on the Impacts of Urban Heat Islands on Outdoor Thermal Comfort. *Buildings*, 13(6), 1368. https://doi.org/10.3390/buildings13061368

Ren, J., Shi, K., Li, Z., Kong, X., Zhou, H. (2023). A review on the impacts of urban heat islands on outdoor thermal comfort. Buildings, 13(6), 1368. https://doi.org/10.3390/buildings13061368.

Roshan, G., Asadi, K., Attia, S. (2024). Spatiotemporal analysis of urban heat islands and vegetation cover using emerging hotspot analysis in a humid subtropical climate. Atmosphere, 15(2), 161. https://doi.org/10.3390/atmos15020161.

Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy, 103, 682-703. DOI: 10.1016/j.solener.2012.07.003.

Senado Federal. (2023). Projeto de Lei 3113/23. https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/158198#tramitacao_10532512.

Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., Erell, E. (2011). The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. Building and Environment, 46(2), 345-355. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.07.008.

Twohig-Bennett, C., Jones, A. (2018). The health benefits of the great outdoors: A systematic review and meta-analysis of greenspace exposure and health outcomes. Environmental Research, 166, 628-637. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.030.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2023). Climate Change and Heat Islands. https://www.epa.gov/heatislands/climate-change-and-heat-islands.

Vailshery, L. S., Jaganmohan, M., Nagendra, H. (2013). Effect of street trees on microclimate and air pollution in a tropical city. Urban Forestry & Urban Greening, 12(3), 408-415. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.03.002.

Wolch, J. R., Byrne, J., Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough’. Landscape and Urban Planning, 125, 234-244. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017.

Wood, E., Harsant, A., Dallimer, M., Cronin de Chavez, A., McEachan, R. R. C., Hassall, C. (2018). Not all green space is created equal: Biodiversity predicts psychological restorative benefits from urban green space. Frontiers in Psychology, 9, 2320. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02320.

Tabela 1: Níveis de alerta à saúde humana conforme o índice de calor de uma determinada região, com sintomas descritos.

Nível de Alerta	**Índice de Calor (°C)**	**Síndrome de Calor (Sintomas)**
Perigo Extremo	≥ 54	Insolação ou risco iminente de Acidente Vascular Cerebral (AVC)
Perigo	41,1 – 54	Cãibras, insolação e provável esgotamento. Possível dano cerebral
Cautela Extrema	32,1 – 41	Possibilidade de cãibras, esgotamento e insolação
Cautela	27,1 – 32	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física
Sem Alerta	< 27	Nenhum problema

Tabela 2. ANCOVA para a relação entre temperatura e umidade dentro de cada ponto amostral. Indicando a variação entre as áreas com cobertura vegetal (CCV) e sem cobertura vegetal (SCV). Df – Degrees of freedom; SSq – Sum of squares; MSq – Mean of squares; *F* – F-Statistics; *P* – Significance.

Site 1	**Df**	**SSq**	**MSq**	***F***	***P***
log(Temperature)	1	1.690	1.690	30.447	<0.001*
Local	1	0.018	0.018	0.317	0.575
log(Temperature):Local	1	0.000	0.001	0.008	0.927
Residuals	68	3.774	0.056		
Site 2	**Df**	**SSq**	**MSq**	***F***	***P***
log(Temperature)	1	2.114	2.114	38.353	<0.001*
Local	1	0.001	0.001	0.023	0.879
log(Temperature):Local	1	0.004	0.004	0.066	0.797
Residuals	68	3.748	0.055		
Site 3	**Df**	**SSq**	**MSq**	***F***	***P***
log(Temperature)	1	3.0688	3.0688	69.424	<0.001*
Local	1	0.0537	0.0537	1.214	0.274
log(Temperature):Local	1	0.0007	0.0007	0.016	0.898
Residuals	68	3.0058	0.0442		

Site 4	Df	SSq	MSq	*F*	*P*
log(Temperature)	1	1.825	1.8249	24.84	<0.001*
Local	1	0.001	0.0009	0.012	0.914*
log(Temperature):Local	1	0.015	0.0146	0.199	0.657
Residuals	68	4.996	0.0735		
Site 5	**Df**	**SSq**	**MSq**	***F***	***P***
log(Temperature)	1	5.002	5.002	98.347	<0.001*
Local	1	0.556	0.556	10.925	0.002*
log(Temperature):Local	1	0.017	0.017	0.329	0.568
Residuals	68	3.459	0.051		

Figura 1. Área de estudo, com os respectivos pontos amostrais no Parque Municipal das Timbaúbas, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil.

Figura 2. Variação dos valores de temperatura, umidade e índice de calor ao longo dos meses de estudo.

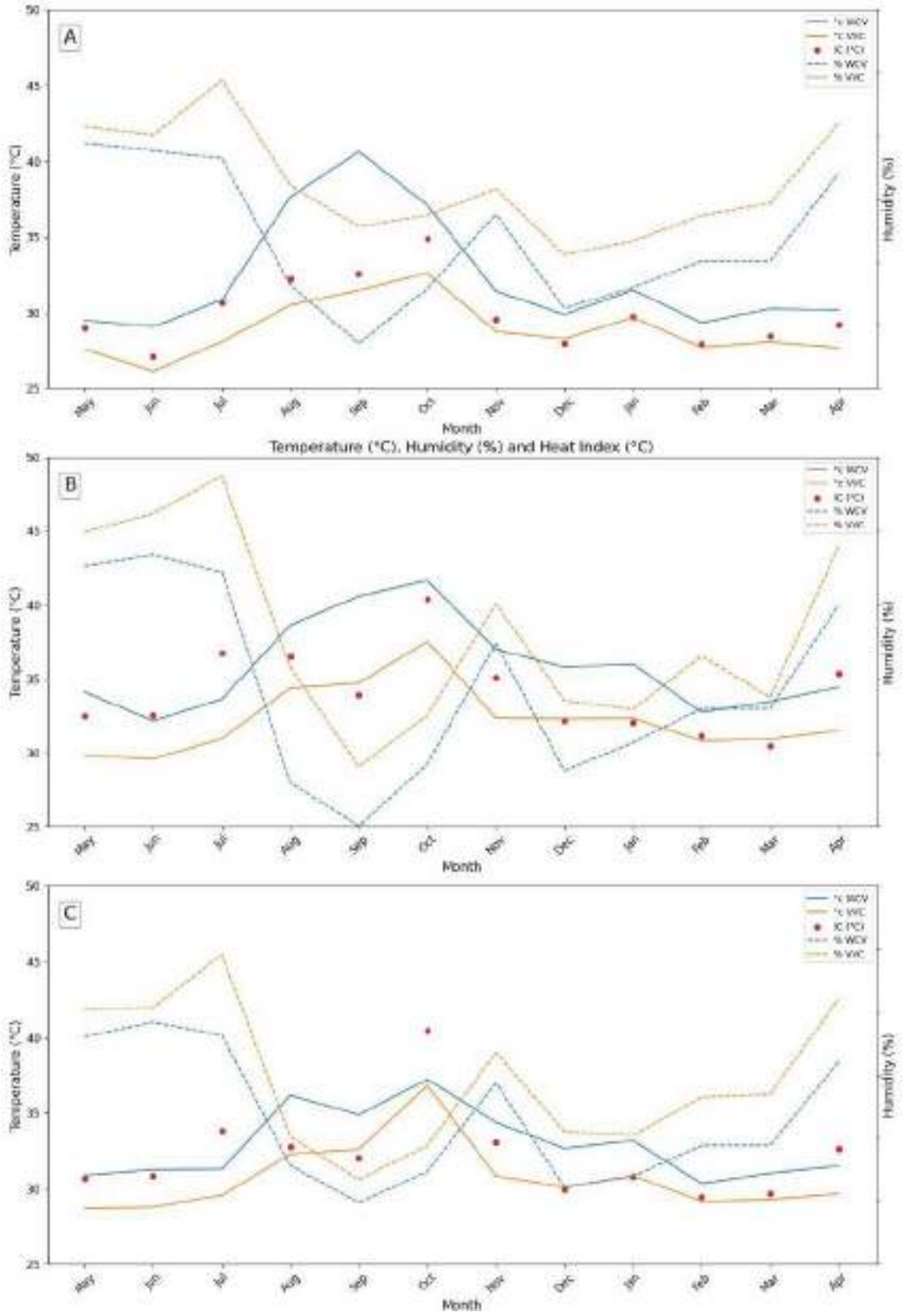


Figura 3. Variação dos valores de temperatura (A), umidade (B) e índice de calor (C) entre os pontos amostrais. Letras diferentes entre os horários indicam diferença significativa ($P < 0,05$).

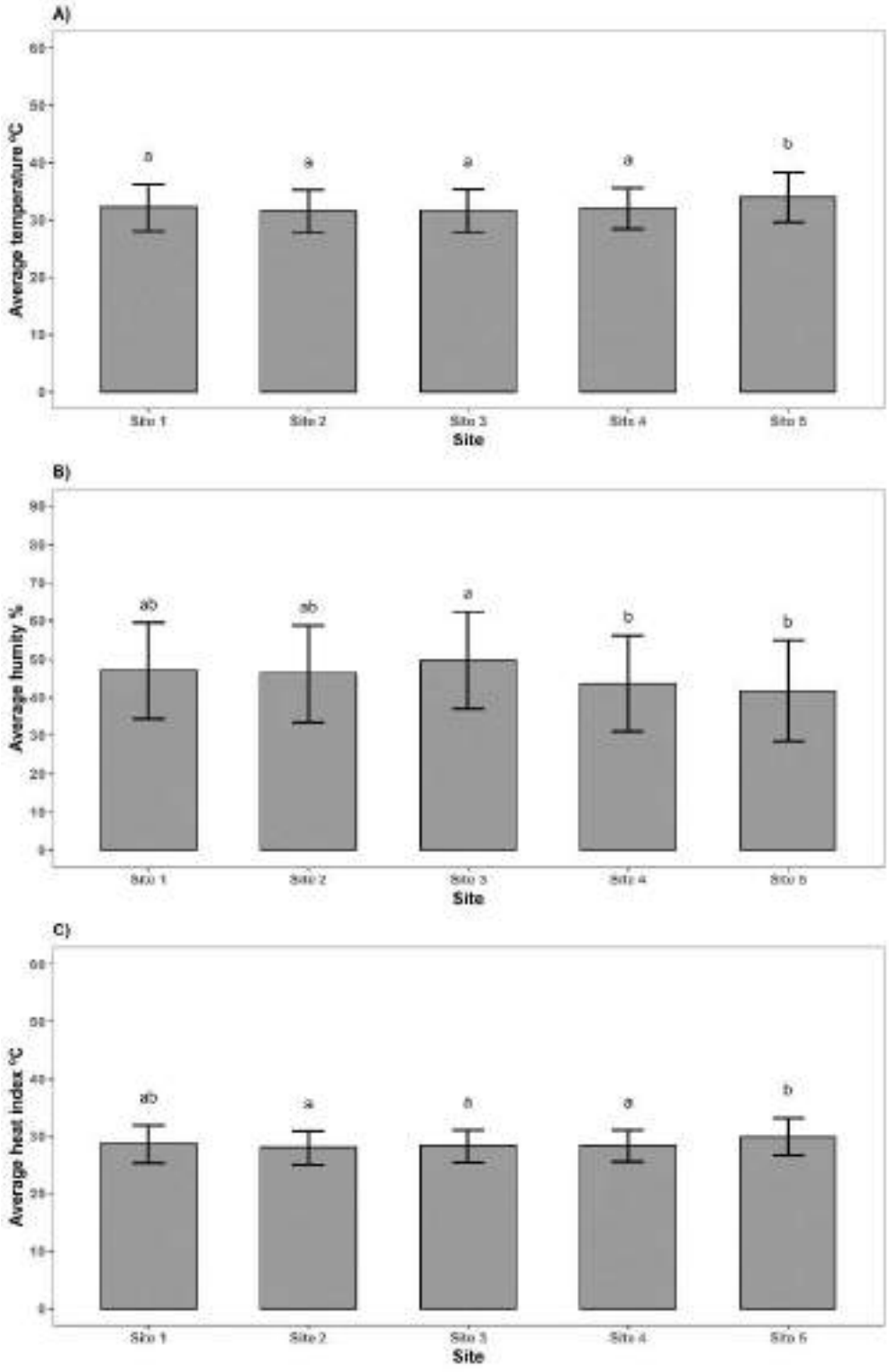


Figura 4. Variação dos valores de temperatura (A), umidade (B) e índice de calor (C) entre os horários manhã (08:00 am), tarde (01:00 pm) e noite (05:30 pm), dentro de cada ponto amostral.

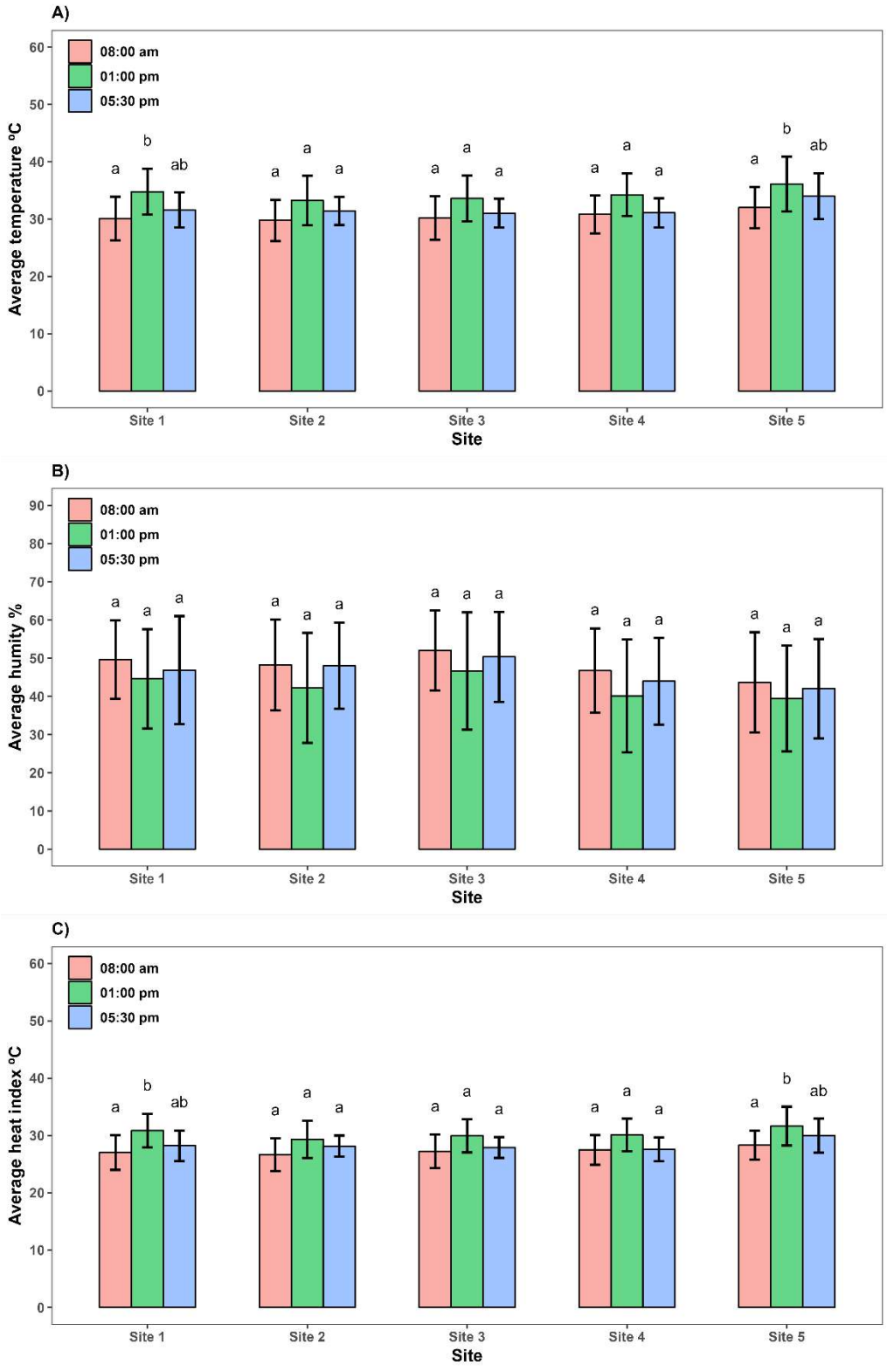


Figura 5. Variação dos valores de temperatura (A), umidade (B) e índice de calor (C) entre as áreas com cobertura vegetal (CCV) e sem cobertura vegetal (SCV) dentro de cada ponto amostral. * Diferenças estatisticamente significativas em cada ponto amostral.

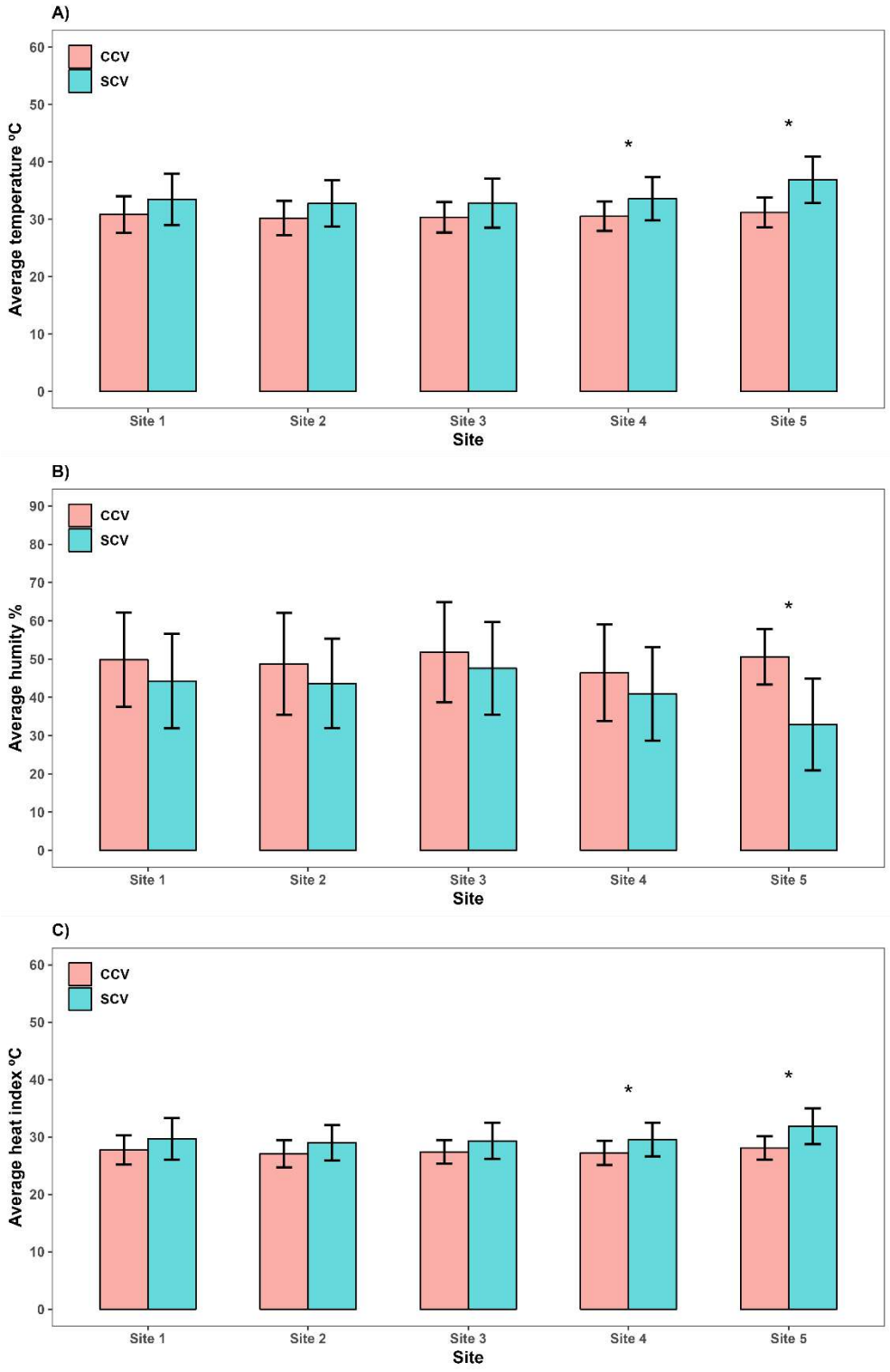
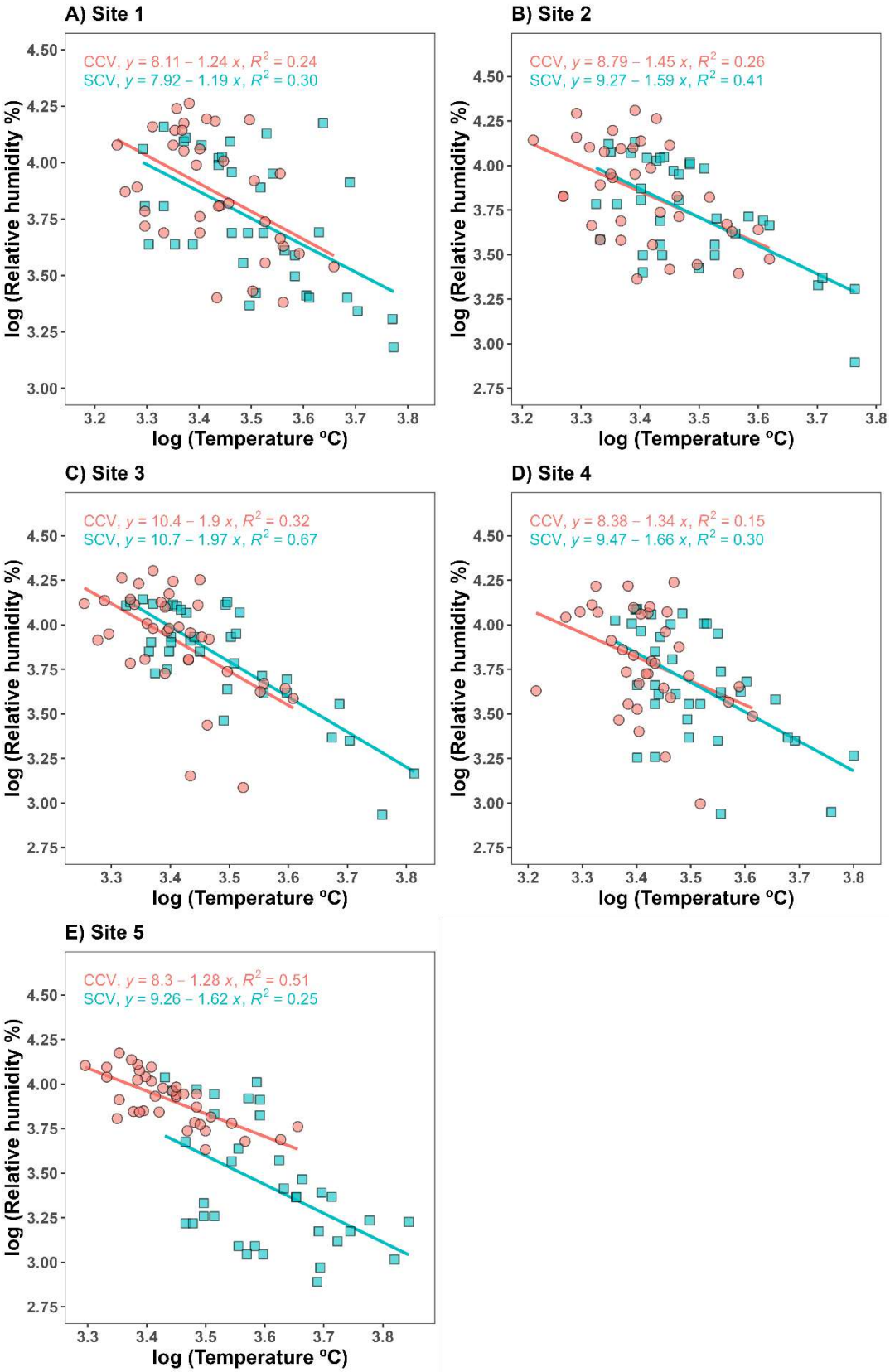


Figura 6. Gráfico de dispersão da relação entre temperatura e umidade, com comparação entre as áreas com cobertura vegetal (CCV) e sem cobertura vegetal (SCV) dentro de cada ponto amostral.


A) Site 1
CCV, y = 8.11 – 1.24 x, R2 = 0.24
SCV, y = 7.92 – 1.19 x, R2 = 0.30
B) Site 2
CCV, y = 8.79 – 1.45 x, R2 = 0.26
SCV, y = 9.27 – 1.59 x, R2 = 0.41
C) Site 3
CCV, y = 10.4 – 1.9 x, R2 = 0.32
SCV, y = 10.7 – 1.97 x, R2 = 0.67
D) Site 4
CCV, y = 8.38 – 1.34 x, R2 = 0.15
SCV, y = 9.47 – 1.66 x, R2 = 0.30
E) Site 5
CCV, y = 8.3 – 1.28 x, R2 = 0.51
SCV, y = 9.26 – 1.62 x, R2 = 0.25
log (Relative humidity %)
log (Temperature ºC)

APÊNDICE 01

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLOGICA E RECURSOS NATURAIS – PPGDR

Fitossociologia, Conforto Térmico e Estimativa de Estoque e Sequestro de Carbono em uma Área Verde Urbana no Sul do Ceará

Sexo: ( ) Feminino ( ) Masculino

Qual sua idade?

a) 18-25 anos b) 26-35 anos c) 36-45 anos d) 46-55 anos e) 56-65 anos f) acima de 65 anos

Com que frequência você visita o parque?

a) Todos os dias b) Algumas vezes por semana c) Algumas vezes por mês d) Raramente

Qual a principal razão para você visitar o parque? (escolha a opção mais relevante)

a) Lazer b) Atividades físicas c) Encontro com amigos/família d) Passeio com animais de estimação e) Trabalho f) Outro (especificar)

Em que período do dia você costuma frequentar o parque? (escolha todas as opções que se aplicam)

a) Manhã b) Tarde c) Noite

Quão familiarizado você está com o tema “Conforto térmico”?

a) Estou bastante familiarizado b) Eu tenho conhecimento básico sobre o assunto c) Nunca ouvi falar desse tema antes

Qual a sua percepção sobre a presença de vegetação neste local?

a) A presença de vegetação é muito boa e contribui para o conforto térmico

b) Eu acho que a presença de vegetação é boa, mas poderia ser melhor distribuída no parque

c) Minha percepção é neutra em relação à presença de vegetação neste parque

d) Eu acho que a presença de vegetação neste parque é ruim e poderia ser melhorada.

e) A presença de vegetação neste local é muito ruim e não contribui em nada para o conforto térmico.

Você acredita que a presença de árvores em áreas urbanas pode reduzir a temperatura local?

a) Sim, com certeza b) Talvez c) Não acredito que faça diferença

Você acredita que a vegetação do parque interfere nos bairros adjacentes?

a) Sim, a arborização do parque pode ajudar a reduzir a temperatura dos bairros vizinhos.

b) Não, arborização do parque não tem impacto significativo na temperatura dos bairros adjacentes.

c) Não tenho certeza ou não tenho informações suficientes para responder.

Como você descreve a sua sensação térmica neste momento?

a) Muito quente b) Quente c) Levemente quente d) Neutro e) Levemente fresco f) Frio g) Muito frio

Qual a sua percepção sobre o nível de ventilação neste local?

a) Muito bom b) Bom c) Neutro d) Ruim e) Muito ruim

Qual a sua percepção sobre o nível de sombreamento neste parque?

a) O parque tem um ótimo nível de sombreamento, proporcionando conforto térmico aos frequentadores.

b) Eu acho que o nível de sombreamento do parque é bom, mas poderia ser melhorado em algumas áreas.

c) Minha percepção é neutra em relação ao nível de sombreamento do parque.

d) Eu acho que o nível de sombreamento do parque é ruim e poderia ser melhorado para garantir mais conforto térmico.

e) O nível de sombreamento do parque é muito ruim e não oferece conforto térmico suficiente para os frequentadores.

Você considera a presença de elementos de água (fontes, lagos, etc.) benéfica para o conforto térmico no parque?

a) Sim, acredito que influencia a temperatura do ambiente.

b) Não, não acredito que o influencia a temperatura do ambiente.

c) Acredito que o possa influenciar a temperatura do ambiente, mas não tenho certeza.

d) Não tenho conhecimento suficiente para responder a essa pergunta.

Você acredita que o parque abriga espécies de fauna e flora importantes pra biodiversidade?

a) Sim, acredito que o parque abriga espécies de fauna e flora importantes para a biodiversidade.

b) Não, não acredito que o parque abrigue espécies de fauna e flora importantes para a biodiversidade.

c) Não tenho certeza se o parque abriga espécies de fauna e flora importantes para a biodiversidade.

d) Não tenho conhecimento suficiente para responder a essa pergunta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo sobre o Parque Natural Municipal das Timbaúbas em Juazeiro do Norte, Ceará, revelou dados importantes sobre a biodiversidade, o sequestro de carbono e o conforto térmico em uma área verde urbana do semiárido brasileiro. A investigação proporcionou uma compreensão detalhada do papel essencial que o parque desempenha na mitigação das mudanças climáticas e das ilhas de calor urbanas, destacando sua singular contribuição para a biodiversidade e a saúde ecológica da região.

Os principais achados incluem a amostragem de 100 indivíduos de 25 espécies distribuídas em 9 famílias, com destaque para Fabaceae, Arecaceae e Anacardiaceae. O índice de Shannon (H') foi de 2,82 e o de Pielou (J'), 0,87, indicando uma diversidade considerável. Os teores médios de carbono variaram de 49,22% a 58%, com destaque para *Enterolobium contortisiliquum, Syzygium cumini* e *Astronium fraxinifolium*, que apresentaram altos valores de matéria orgânica e teor de carbono. Os indivíduos amostrados totalizaram 196,8 t/ha de biomassa, 88,56 t/ha de carbono estocado e 325 t/ha de CO2 absorvido.

Além disso, a análise do conforto térmico revelou que as áreas com cobertura vegetal apresentaram uma redução média de 3,3 ºC na temperatura do ar e um aumento de 7,3% na umidade relativa em comparação às áreas sem cobertura vegetal. A maior diferença foi observada na área mais densamente arborizada, com redução de 6,4 ºC na temperatura e aumento de 16,2% na umidade. A tarde foi identificada como o período mais quente, com médias de 35,97 ºC nas áreas sem cobertura vegetal, enquanto a manhã foi o mais fresco, com médias de 28,9 ºC nas áreas com cobertura vegetal. A percepção dos visitantes, avaliada por meio de 500 questionários, mostrou que 91,8% acreditam que as árvores reduzem a temperatura local e 44,8% consideram a vegetação excelente para o conforto térmico.

A pesquisa destaca a importância da arborização urbana e das áreas verdes na mitigação dos efeitos negativos do aquecimento global e das ilhas de calor urbanas. O Parque Natural Municipal das Timbaúbas desempenha um papel vital na manutenção da biodiversidade urbana, no sequestro de carbono e na melhoria do conforto térmico dos moradores.

Os resultados deste estudo contribuem significativamente para o conhecimento científico no campo da diversidade biológica e dos recursos naturais, fortalecendo as linhas de

pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da URCA. Os dados obtidos podem servir de base para futuras pesquisas e estudos na área de conservação ambiental e ecologia urbana.

Além disso, os resultados fornecem subsídios importantes para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a conservação ambiental e a expansão de áreas verdes urbanas no Ceará. As informações sobre o sequestro de carbono e a mitigação das ilhas de calor podem ajudar a orientar iniciativas de sustentabilidade e planejamento urbano no estado.

Finalmente, a pesquisa sensibiliza a sociedade sobre a importância das áreas verdes para o bem-estar urbano, saúde pública e mitigação das mudanças climáticas. Os dados sobre a percepção dos visitantes reforçam a necessidade de manutenção e ampliação das áreas verdes, promovendo uma maior conscientização ambiental entre a população. Este estudo demonstra a relevância das áreas verdes urbanas como estratégias eficazes para enfrentar os desafios das mudanças climáticas, promovendo a qualidade de vida e a sustentabilidade nas cidades. O Parque Natural Municipal das Timbaúbas se destaca como um exemplo de como a conservação e a arborização urbana podem beneficiar tanto o meio ambiente quanto a sociedade.