

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA – SBF
MESTRADO NACIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA

Roseberg Pereira de Sousa

EM CASA DE FERREIRO O ESPETO É CIENTÍFICO:
Ensino da radiação eletromagnética relacionado com a arte dos
ferreiros de Potengi, CE em uma perspectiva significativa e afetiva

Potengi, CE – 2025



ROSEBERG PEREIRA DE SOUSA

EM CASA DE FERREIRO O ESPETO É CIENTÍFICO:

**Ensino da radiação eletromagnética relacionado com a arte dos
ferreiros de Potengi,CE em uma perspectiva significativa e afetiva**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado Nacional Profissional em Ensino
de Física, ofertado pela Universidade do
Cariri – URCA, em parceria com a
Sociedade Brasileira de Física, como
requisito para obtenção do título de Mestre
em Ensino de Física.

Orientador: Claudio Rejane da Silva Dantas

Potengi, 2025

Roseberg Pereira de Sousa

EM CASA DE FERREIRO O ESPETO É CIENTÍFICO:

Ensino da radiação eletromagnética relacionado com a arte dos ferreiros de Potengi,CE em uma perspectiva significativa e afetiva

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade do Cariri – URCA, em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em ____ de _____ de 2025

Prof. Dr. Claudio Rejane da Silva Dantas (orientador)

Prof. Dr. Cícero Magérbio Gomes Torres (URCA)

Prof. Dr. Marco Aurélio Clemente Gonçalves (UNIVASF)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, sem o apoio e as brigas dela, não teria feito minha primeira graduação em ciências biológicas;

Agradeço à minha família, minha esposa Daiane pelo apoio e à minha filha Flora por me proporcionar momentos de alegrias, diversão e amor.

Agradeço ao meu irmão professor José Saymon R. Pereira pelo apoio físico e moral.

Agradeço à EEMTI Menezes Pimentel em nome do professor Dr. Roberto C.B. da Silva e da professora Graciela R. de Sousa por me possibilitar trabalhar em um ambiente acolhedor.

Agradeço ao Professor Dr. Claudio R. da S. Dantas por ser paciente e atencioso e por ter sido um profissional extremamente qualificado.

Agradeço ao companheiro e professor Marciano Ventura por ajudar um desconhecido com a perna quebrada em seu primeiro dia de aula.

Agradeço à turma do MNPEF de 2022 pelo companheirismo.

Agradeço aos estudantes José Kennedy, Murilo, Athirson, Pedro Felipe, Riquelme e Rai, por ajudarem na construção desse trabalho realizando investigações sobre o projeto.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Este trabalho investiga a física envolvida na arte dos ferreiros da cidade de Potengi, CE associada à aprendizagem sobre a radiação eletromagnética por estudantes do ensino médio. A arte de forjar o ferro é destaque na cidade de Potengi, localizada aos pés da Chapada do Araripe, conhecida como “cidade que não dorme”, possui aproximadamente 30 oficinas artesanais com pouco mais de 100 trabalhadores. O estudo explora a compreensão do por que essa cidade se tornou nacionalmente referência na arte da forja. Em visita às muitas oficinas da cidade, os estudantes envolvidos na pesquisa acharam interessante o fato de que, o ferreiro sabe a hora certa de malhar o ferro apenas analisando a cor emitida pelo metal aquecido. Por isso, o ponto chave para entender as propriedades físicas de um metal incandescente emitir radiação eletromagnética recai sobre a física descoberta por Max Planck no início do século XX e o entendimento do que seja o corpo negro. Uma sequência de ensino investigativa se baseando nas ideias de uma aprendizagem afetiva articulada uma costura teórica sobre a aprendizagem significativa, foi elaborada para explicitar o mecanismo por trás da luminescência de um metal aquecido e como consequência dessa análise reescrevemos a história do município inserindo a contribuição desses homens para o desenvolvimento cultural, histórico e econômico do lugar. Os estudantes demonstraram interesse no estudo da física vinculado ao contexto de sua realidade.

Palavras-chave: Ferreiros, Potengi, física moderna, história, calor, temperatura

ABSTRACT

In a small town in the interior of Ceará, an ancient tradition still echoes in the early hours of the morning. The art of forging iron is a highlight in the city of Potengi, located at the foot of Chapada do Araripe. Known nationally as the “city that never sleeps”, Potengi is home to approximately 30 workshops with just over 100 workers. But what made this city a reference in the art of forging? Before answering this question, the main objective of this work is to investigate some of the many physical aspects involved in the profession of blacksmith. When visiting the many workshops in the city, the students involved in the research found it interesting that the blacksmith knows the right time to strike the iron simply by analyzing the color emitted by the heated metal. Therefore, the key point to understanding the physical properties of an incandescent metal emitting electromagnetic radiation lies in the physics discovered by Max Planck at the beginning of the 20th century and the understanding of what a black body is. An investigative teaching sequence based on the ideas of affective learning through Wallonian learning theory, carrying out a methodological connection with Ausubelian meaningful learning, was designed to explain the mechanism behind the luminescence of a heated metal and as a consequence of this analysis, we rewrote the history of the municipality of Potengi, including the contribution of these men to the economic development of the place.

Keywords: Blacksmiths, Potengi, modern physics, history, heat, temperature

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese da sequência de ensino.....	83
Quadro 2: Ementa da eletiva de introdução à física quântica: fonte: Governo do estado do Ceará	86

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2: Relação entre intensidade da radiação em função da frequência, comparação da teoria clássica e da teoria de Planck	57
Gráfico 3: Radiância espectral de uma cavidade a 2000K. A linha tracejada representa os resultados obtidos pela teoria clássica.....	59
Gráfico 4: Evolução do IDEB da Escola Menezes Pimentel ao longo dos anos.....	70
Gráfico 5: Evolução da escala do Saeb para as disciplinas de Português e Matemática da Escola Menezes Pimentel ao longo dos anos.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática de um corpo negro.	53
Figura 2: Grupo de estudantes visitando uma oficina de ferreiro. Fonte: acervo particular.....	77
Figura 3: Ferreiro Vanderlei Leite, Filho de Luis Leite, entrevistado pelos estudantes realizando uma demonstração. O fato de as fagulhas não queimarem as mãos dele também foi observado pelo grupo de estudantes. Fonte: Acervo particular	77
Figura 4: Grupo de estudantes na etapa 5 da SEI: Fonte: acervo particular	78
Figura 5: O equipamento usado na aula foi desenvolvido usando materiais de baixo custo. Fonte: Acervo particular.	79
Figura 6: Aula inicial de ondulatória usando a mola para criar perturbações gerando cristas e vales. Fonte: redes sociais.....	79
Figura 7: Imagem do caderno do estudante X - fonte: arquivo pessoal	99
Figura 8: Fotografia do caderno do estudante K - fonte: arquivo pessoal.....	100
Figura 9: Fotografia do caderno do estudante Y - fonte: arquivo pessoal.....	101

SUMÁRIO

CONTANDO UM POUCO DE MIM.....	8
1 INTRODUÇÃO	18
2. A RELAÇÃO ENTRE A APRENDIZAGEM AFETIVA E A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	27
2.1. O ensino de física baseado na emotividade	27
2.2. A aprendizagem significativa de David Ausubel.....	36
2.2.1 <i>Conceituando a Aprendizagem Significativa</i>	36
2.2.2 <i>Os subsunçores</i>	37
2.2.3 <i>Aprendizagem subordinada, superordenada e combinatória</i>	38
2.2.4 <i>Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa</i>	39
2.3 – Correlação entre a teoria da aprendizagem afetiva com a teoria da aprendizagem significativa.....	41
3 A HISTÓRIA POR TRÁS DA CHEGADA DOS FERREIROS AO MUNICÍPIO DE POTENGI.....	43
3.1 Como surgiu a cidade de Potengi e seus ferreiros	44
3.2 Breve história dos ferreiros de Potengi.....	46
4 FUNDAMENTOS DA TERMODINÂMICA: A física dos homens de ferro	49
4.1 A evolução do conceito de calor.....	49
4.2 Corpo negro.....	52
4.2 Variação da temperatura em um corpo: Como os ferreiros sabem o momento ideal para forjar o ferro?.....	61
4.4 Emissão de ondas eletromagnéticas por corpos aquecidos.....	64
5 CAMINHOS METODOLÓGICO DO TRABALHO.....	67
5.1 A pesquisa Qualitativa.....	67
5.2 O Contexto da pesquisa.....	68
5.3 Instrumentos de coleta de dados.....	73
5.4 Sequência de ensino investigativa (SEI) para basear a intervenção didática	74
5.4.1 Elaboração da sequência didática para o estudo da radiação eletromagnética no ensino médio contextualizando com o trabalho dos ferreiros de Potengi, CE	75
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS.....	87

6.1 Etapa I	87
6.3 Etapa III	93
6.4 Etapa IV	96
6.5 Etapa V	97
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
8 REFERÊNCIAS	110

APÊNDICE A: PRODUTO/ RECURSO EDUCACIONAL

CONTANDO UM POUCO DE MIM

Me chamo Roseberg Pereira de Sousa. Sim, há um erro ortográfico no meu nome. Mas antes de explicar o motivo dele, esse nome veio de um piloto de fórmula 1 da década de 80 chamado Keijo Erik Rosberg conhecido como Keke Rosberg que meu tio Chicão gostou e resolveu pedir a sua irmã (minha mãe) para colocar esse nome diferente. Aparece aí um segundo problema relacionado ao meu nome de batismo. Nasci no dia 19 de abril do ano de 1986 na cidade do Crato. Mas eu fui lá só para nascer mesmo, porque eu sou potengiense (Potengi, CE).

O Dia de meu nascimento é marcante para história do Brasil pois se celebra também o dia dos povos originários. O ano de 1986 foi marcado pelo trágico acidente com o ônibus espacial Challenger, ocorrido em 28 de janeiro. Apenas 73 segundos após o lançamento, a espaçonave explodiu no ar, resultando na morte dos sete astronautas a bordo. Este evento foi especialmente significativo devido à presença de Christa McAuliffe, a primeira professora civil selecionada para participar de uma missão espacial. Christa planejava ministrar duas aulas de 15 minutos diretamente do espaço para milhões de alunos, como parte do Projeto Professor no Espaço.

Certamente percebe-se que tenho uma ligação forte com o esporte e a ciência (não que eu acredite nisso) mas como tenho uma personalidade de curioso, procurei eventos importantes que ocorreram - e ocorrem - na data de meu nascimento para escrever sobre eles.

Meu nome de cartório era para ser uma homenagem ao piloto de fórmula 1, mas um pequeno incidente de natureza alcoólica, fez com que meu pai, José Pereira de Sousa, conhecido como Dedé de Alderiza, me registrasse com a grafia “Roseberg” e ainda mais não inserindo o sobrenome de minha mãe, Francisca Rodrigues de Oliveria, como parte integrante de meu nome. Resumindo a história, meu nome era pra ser “Rosberg” mas meu pai registrou “Roseberg” e todos me chamam de “Rosemberg”.

Desde muito pequeno sempre me mostrei curioso a respeito das coisas que estavam ao meu redor. Me lembro que, minha irmã, Sheyla Rodrigues, havia

ganhado um conjunto de bonecas que, ao fazer movimentos com elas, emitiam um som semelhante a um choro de bebê: aí eu ficava me perguntando como que aquela boneca chorava sem ter pilhas, baterias e outros mecanismos eletrônicos. Uma vez resolvi abrir uma dessas bonecas para desvendar o truque por trás do choro. Era uma pequena peça plástica em formato de cilindro contendo uma camisinha (nessa época eu não sabia do que se tratava) e um peso também cilíndrico na sua ponta. Ao mudar a boneca de posição, o peso caía criando uma bolsa de ar entre o peso e o mecanismo sonoro, o ar fazia uma pequena peça vibrar e daí sai o som de choro¹. Acho que foi aí que começou minha carreira de físico.

Sou uma pessoa muito criativa e acredito fortemente que, o que me tornou assim, foi a minha infância pobre. A condição social que a minha família ocupava na década de 90, favoreceu na intensificação de minha personalidade como professor. Sem ter condições e acesso aos brinquedos industrializados, meus irmãos, Saymon R. Pereira e Sheyla R. Pereira e eu fabricávamos nossos próprios brinquedos. Em uma dessas brincadeiras veio a se tornar minha primeira profissão: a de músico. Mas antes de chegar lá, a gente adorava brincar de bandinha de lata usando baldes velhos, lata de doce de goiabada (na época era de metal) e algumas peças de bicicleta para fazer uma bateria e alguns instrumentos de corda. Hoje tem gente usando esses mesmos recursos para ganhar dinheiro na internet. E como professor que sou, me consumi dessas ideias para transpassar para os meus alunos: sempre peço que eles produzam algo e que usem a criatividade para finalizar o estudo de um tema.

Um episódio marcante da minha infância foi o ensinamento de minha mãe sobre a importância do trabalho desde cedo. Ela preparava pequenos bolinhos de massa de trigo recheados com mortadela para que pudéssemos vendê-los pelas ruas da nossa cidade. Essa atividade nos permitia ganhar dinheiro para comprar carne e garantir um almoço digno.

Trabalhei na feira de Potengi por aproximadamente 10 anos de minha vida. Toda sexta-feira, estava na banca do Senhor Marveniê Soares da Silva, a quem eu

¹ Para ver como funciona o mecanismo descrito acima, procurei um vídeo de uma boneca que usa o mesmo dispositivo e coloquei a disposição aqui <https://www.youtube.com/watch?v=yoafaURHQuI>

agradeço profundamente pelos ensinamentos e orientações, vendendo sapatos e roupas para ganhar R\$ 10,00 ao final do dia.

Eu era umas das crianças que animava, com músicas e batucadas, as noites de missa na igreja matriz de Potengi compondo um grupo com outras crianças. Dentre elas, meu irmão José Saymon, um amigo chamado Júnior de Assis Pretim e uma pessoa que foi o grande mentor desta ideia, o meu professor, Francisco José de Oliveira, vulgo Manicô. Nós contagiávamos as noites de missas e novenas de São José tocando a música “é o carpinteiro”. Eu ficava muito feliz ao ver que as pessoas olhavam para nós e cantavam as músicas da igreja ao som de nossas batidas. E talvez seja por isso que, em uma brincadeira de amigos me colocou de frente de uma bateria de verdade pela primeira vez em minha vida. Todos já sabiam que eu era filho de um dos maiores músicos que a cidade de Potengi tem. E por causa disso, pensavam eles que, a habilidade artística de meu pai havia geneticamente migrado para mim e por isso me colocaram nessa situação. Lembro-me de ser bastante sônico e fingir saber tocar para poder ficar na bandinha. Eu pensei comigo mesmo que “se eu fizer qualquer coisa aleatória eles vão achar bacana”. E deu certo. Todos acharam fantástico o que fiz. Foi nessa bandinha que mudei de instrumento. Comecei a tocar teclado. Engraçado que no meu primeiro dia com o instrumento emprestado por Jonh Kennedy (um amigo meu) já toquei minha primeira música de ouvido; tapioca da banda Mastruz com Leite. Rapidamente corri e chamei minha mãe para mostrar a ela o feito que acabara de acontecer. A partir daí então foi só para frente, desenvolvi a habilidade musical cedo (com 12 anos de idade) e comecei a tocar na igreja já como tecladista. Dizem que é a melhor escola de qualquer músico.

Na escola, nunca fui exemplo para ninguém, ria de tudo que era engraçado. Essa era minha única maldade. Dona Cacilda, *In memorian*, professora de artes contava para Manicô nas reuniões que: “não aguentava mais a quarta série. Tem um menino lá que quando olho para ele só vejo dente”. Se referindo a mim pois toda vez que ela falava comigo eu estava rindo de uma situação.

Desenvolvi minhas habilidades musicais com pouco ou nenhum incentivo de meu pai, o que talvez tenha sido benéfico, pois, como professor, ele não tinha muita paciência. Tornei-me um músico autodidata. Com essa habilidade musical bem

desenvolvida, juntei-me a alguns amigos músicos e formamos uma banda chamada Eclipse. Ensaiávamos no quintal da casa do hoje médico potengiense, Luiz Geraldo. Meu irmão, Saymon, era o vocalista da banda. Infelizmente, a banda teve uma vida curta e acabou sem sequer tocar em uma festa.

Nessa mesma época em Potengi, havia uma banda de forró chamada Lua de Prata de propriedade de Náscer Brilhante, e que dois de seus integrantes, Ivanildo e Alex, ajudaram na criação da banda Sereia do Norte (não me pergunte que até hoje não sei o motivo desse nome). Ivanildo se tornou um mestre para nós e Alex se tornou uma referência musical para mim. Essa banda, já madura, reunia os garotos da formação da extinta banda Eclipse. A banda Sereia do Norte cresceu e nós evoluímos junto com ela. A banda tocou em alguns lugares, porém, em nenhum deles ganhamos dinheiro. A gente tocava de graça só pelo prazer de tocar. Lembro-me de um festival que ocorrera em minha cidade chamado de *fast dance* estudantil. Foi um festival musical com diversos cantores da cidade que tinha como banda base para acompanhá-los, a nossa Sereia do Norte. Esse dia me marcou profundamente porque recebi um elogio público de um cantor famoso da época, que estava como jurado do festival. Já deu para perceber que, como músico, tecladista eu era desenrolado como diz aqui na minha cidade. A banda Sereia do Norte teve seu fim, e nós músicos, procurávamos uma maneira de permanecer tocando. Foi aí onde surgiu a oportunidade de ir até a cidade de Nova Olinda para compor a banda Carícia de Menina do grande Zé Torino. Lá às vezes a gente tocava de graça só pelo prazer de tocar. O único cachê que recebíamos era para fazer o trajeto de ida e de vinda entre Potengi e Nova Olinda. Foram momentos felizes nessa cidade. Desenvolvi mais ainda a habilidade de músico até ser convocado para tocar na banda Primeiro Beijo da Cidade de Assaré. Lá me tornei profissional. Recebi meu primeiro cachê (R\$50,00) e foi uma comemoração só. Nesse período minha relação com a escola já começou a ser conturbada. Não queria mais estudar, era só viajar e tocar. Mas um episódio com minha mãe me forçou a concluir o ensino médio. Graças às brigas dela hoje estou aqui escrevendo esta história para vocês. Ao final do ensino médio, tentei um vestibular no Centec para técnico em alimentos. Não deu certo. Foquei na carreira de músico da banda na cidade de Assaré e depois de 7 anos aproximadamente longe dos vestibulares, participei de uma seleção de bolsistas do Fecop – fundo de combate à pobreza, que realizou um vestibular para

os cursos de licenciatura em ciências biológicas e letras da Universidade Regional do Cariri Urca na cidade de Potengi. Fiz essa seleção e passei em 5º lugar de 40, para cursar ciências biológicas. As aulas ocorriam todas as sextas e sábados. Durante 4 anos vivi essa rotina de trabalhar em bandas de forró e estudando às sextas e sábados todo mês. Porém o que me marcou foi a certeza de que, com o resultado da aprovação, eu já sabia que a carreira de músico estava com os dias contados. Não porque eu queria, mas porque não havia como conciliar uma coisa pela outra. Por volta do 4º semestre do curso resolvi, conversar com a minha professora, Mônica Siqueira, sobre a minha provável desistência do curso. Até hoje sou grato a ela por me aconselhar e me direcionar para a conclusão do curso. Eu era um dos destaques da turma, mas não queria ser professor. Aliás, odiava ter a ideia de um dia ser professor. Me descobri professor nas aulas da disciplina de Ação Docente Supervisionada – ADS, já perto de finalizar o curso.

Nessa mesma época também, já havia sido convidado para ser integrante da penúltima geração da banda Cacau com Mel². Por lá fiquei até o período que a banda teve seu fim e deu brecha para formação de sua última formação.

Com a conclusão do curso de licenciatura em ciências biológicas, recebi de presente um curso de pós-graduação em educação ambiental da senhora professora Dra. Arlene Pessoa. Trabalhava (voluntariamente) no herbário da URCA de ilustrador científico. Não contei essa parte da minha história, mas eu era desenhista quando pequeno. Melava as folhas de caderno com óleo de cozinha para cobrir os desenhos que eu gostava e estavam em álbuns de figurinhas. Essa nova habilidade me tornou pintor na minha adolescência e até trabalhei realizando pinturas para o município de Potengi.

No herbário, percebendo a necessidade de me tornar independente, resolvi procurar outro emprego já que eu estava na cidade do Crato e lá as oportunidades eram maiores. Foi nessa busca que eu participei de meu primeiro concurso público para professor do Estado do Ceará em 2009. Na mesma sala que eu, estava o meu ex-professor e conterrâneo Roberto, C.B. da Silva. Nesse concurso não consegui colocar meu nome na lista dos selecionados. Porém, no mês seguinte, participei de uma entrevista para trabalhar como professor na rede pública do estado do Ceará.

² Uma pequena amostra está nesse vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=96OqQZ2wZo8>

Era uma seleção para professor de um curso preparatório para o vestibular que toda escola teria que ter. Fiz a seleção e passei. Comecei a trabalhar como professor na cidade de Potengi definitivamente aí. Nesse curso, além de professor de biologia, fui o professor de física. Enrolei o ensino de física durante o ano todo, ensinando aos meus alunos somente cinemática e dinâmica (era o que eu sabia). Dois anos depois, fiz a seleção para professor temporário na CREDE 18 com sede no município do Crato. Fui um dos selecionados e comecei a trabalhar como professor regente de sala de aula no ano de 2010. Nesse tempo já não tocava mais em bandas de forró. Mas convite não faltou. Fui convidado a tocar na banda Caninana do Forró pelo meu grande amigo e mestre Valdemir Vieira, vulgo Vall Guittar. Felizmente, recusei seu convite.

Em 2012, casei-me com Antônio M.F. Alves, minha esposa com quem convivo até hoje. Foquei minha carreira como professor de Biologia na Escola Menezes Pimentel e me tornei uma referência na área, mas sentia que algo estava faltando. Apesar de meus esforços dentro da área biológica, nunca consegui grandes conquistas e sempre figurava entre os resultados medianos em eventos científicos. O máximo que consegui foi um terceiro lugar na V Feira regional de ciências e cultura no ano de 2012.

Em 2015, participei do concurso para professor da minha cidade e passei em primeiro lugar na minha área, mas, infelizmente, o concurso foi suspenso por irregularidades. Permaneci com essa sensação de incompletude por seis anos até que o destino me colocou diante de uma aula de Física para a melhor turma da escola. Tive alguns dias para preparar a aula, já que o professor de Física havia se afastado por motivo de saúde. Dediquei-me intensamente a essa preparação, criando uma aula tão complexa que os estudantes tiveram dificuldade em acompanhá-la. Foi então que percebi: o "tcham" que faltava estava nas aulas de Física. Apaixonei-me pela disciplina e decidi iniciar o curso de Licenciatura em Física pela Universidade Paulista (UNIP), na modalidade EAD, em 2016. Ocorre também neste mesmo ano o nascimento da minha filha Flora A.P. Rodrigues. Batizei ela com este nome influenciado pelo apreço que tinha à biologia. Nome este que veio da Deusa romana da primavera.

Percebi que estava no lugar certo, quando em, 2017, no ano seguinte ao início do curso, fui agraciado com o melhor projeto científico da região com o trabalho intitulado “SIREL – sistema de reconhecimento luminoso de automóveis” na área de robótica. Com esse primeiro lugar, também veio o credenciamento para participar da feira de ciências a nível estadual. Levamos este trabalho para ser apresentado na cidade de Fortaleza, no Ceará Científico etapa estadual e lá, ficamos em último. Em 2018, com a promessa de voltar a disputar uma etapa estadual, desenvolvi um trabalho com alguns estudantes intitulado “SIMEL – sistema de monitoramento eletrônico” que consistia em instalar um sensor de temperatura no corpo de uma criança para avisar aos pais quando ela estivesse com febre. A inspiração para esse trabalho foram as noites sem dormir por preocupação com a saúde de minha filha. Ficamos em segundo lugar na feira regional e não conseguimos credenciamento para irmos à feira estadual. Mesmo assim, seguimos confiantes. Foi então que no ano de 2019, período que antecedeu a pandemia de COVID19, que desenvolvi um trabalho intitulado “MANGEL – gel de assepsia produzido com suco de *Mangifera indica*” juntamente com uma estudante que considero como parte de minha família, Arineia Dias. Com este trabalho além de sermos escolhidos como o melhor projeto científico da região, conseguimos o feito de obtermos o segundo melhor trabalho do estado do Ceará. O ano de 2020 não houve eventos científicos por conta da pandemia. No ano de 2021, o trabalho intitulado “ARMEL – armadilha elétrica para mosquitos³” foi campeão regional e estadual. Conquistamos um título inédito para região do Cariri. Esse trabalho foi completo porque combinou conhecimentos em física, química e biologia para desenvolver uma armadilha para mosquitos. No ano de 2022, desenvolvi um trabalho voltado para área esportiva. O trabalho intitulado “SEEINOUT⁴” é um mecanismo de verificação se uma bola ultrapassa ou não a linha que marca os limites de um campo de jogo. Com este trabalho e os estudantes envolvidos, conseguimos fazer o melhor trabalho da região do Cariri na área de robótica e tecnologia da Informação, mas uma regra do edital nos tirou o primeiro lugar e infelizmente já era de nosso conhecimento que, o trabalho teria que ser de acordo com o tema proposto pela feira.

³ Para saber mais assista em <https://www.youtube.com/watch?v=4mXF3eWTvcY>

⁴ Para saber mais assista em <https://www.youtube.com/watch?v=1ioM5XLQsT0>

Percebe-se claramente que a partir do momento que a física entrou na minha vida, tudo começou a mudar para melhor. Figuro como um professor capaz de lecionar física com preciosidade.

Concluo a faculdade de física no ano de 2021 (atrasei em um ano o termino por conta da pandemia) e, assim que me licenciiei, resolvi procurar um curso de pós-graduação na área de ensino de físico. Foi aí que encontrei o edital da seleção de mestrado no MNPEF – Mestrado Nacional em Ensino de Física ofertado pela URCA. Fiz a seleção no final do ano de 2021. Sem esperança de ser aprovado, não acompanhei o processo seletivo até o fim.

No mês de fevereiro de 2022, estava indo para o trabalho na minha moto junto com a minha filha, onde me envolvi em um acidente. Um motoqueiro veio em alta velocidade na via em que eu estava, não conseguiu contornar a curva devido a sua alta velocidade e colidiu frontalmente comigo. Antes de ocorrer a colisão, percebi que a colisão era inevitável, ofereci o lado esquerdo na moto para o impacto livrando minha filha do acidente. Na hora eu não senti dor, nem vi sangue. Apenas minha filha chorando em meus braços assustada. Já no hospital, ao remover minhas vestimentas, percebi muito sangue no meu tênis. Fui transferido para o hospital da cidade do Crato e, através de radiografias, constatou-se uma fratura no meu pé esquerdo, fratura exposta do dedo anelar esquerdo, fratura do dedo mindinho esquerdo e fratura no terceiro metacarpo também da mão esquerda. Passei por duas cirurgias e depois de ter alta, na semana seguinte estava em casa. Fiquei 15 dias em repouso tomando medicamentos. Tirei uma licença de 30 dias da escola Menezes Pimentel a quem eu sou extremamente grato a Aila S. de Lima, Graciela R. de Sousa e a Roberto C.B. da Silva, gestores na época e que foram extremamente compreensivos com a situação. Minha filha, bateu a cabeça dela na minha, o médico solicitou uma tomografia e foi liberada no mesmo dia. Ela simplesmente não teve sequela ou ferida alguma desse acidente. Saiu ilesa.

Durante o período em que estava em casa me recuperando do acidente, recebi uma ligação no meu celular. Era Claudio R. da S. Dantas, Coordenador do curso de mestrado profissional na URCA, me convocando para comparecer à aula da sexta-feira porque eu acabara de entrar na lista dos aprovados com a desistência de um dos candidatos. Nessa hora fiquei muito feliz, nem lembrei que estava com a

perna quebrada. Saí correndo no corredor de minha casa aos pulos e gritos de alegria. Na sexta-feira, a pedido do coordenador me fiz presente na sala de aula com a perna quebrada e com as mãos cheias de “ferro” parecendo o Wolverine. Foi nesse dia que conheci o amigo Marciano Ventura. Pessoa que sou extremamente grato por ajudar um desconhecido com deficiência na locomoção. Por causa disso nos tornamos grandes amigos. Participamos juntos do Congresso Norte-nordeste de física na cidade de Fortaleza. Nossa primeira experiência com esse tipo de evento.

Passado 30 dias após acidente retornei ao trabalho. Precisava de uma maneira de chegar até no meu ambiente de trabalho. Foi aí que veio a ideia de ir de bicicleta. Não contei a vocês, mas eu conto agora: me tornei ciclista no ano de 2017 quando comprei minha primeira bicicleta. Foi ela quem me ajudou a locomover de casa para o trabalho. Pedalava usando somente um dos lados do pé de vela (o direito). Faltando uns 40 metros para chegar ao portão, começava a gritar pelo nome do porteiro para que ele abrisse o portão da escola e eu entrasse com bicicleta e tudo no recinto.

Nesse período dei uma pausa nos trabalhos científicos com os estudantes para me dedicar ao mestrado. Somente voltei a fazer esse tipo de trabalho científico no ano de 2023 procurando compreender a relação entre o ensino de física e a arte dos ferreiros da cidade de Potengi, CE. Nos capítulos seguintes vocês irão entender como e porque a minha cidade é conhecida como a terra dos ferreiros.

No ano de 2024, fui convocado a me fazer presente na prefeitura de Potengi porque acabara de ser chamado a dar entrada no processo de efetivação do concurso de 2015. Isso ocorreu no mês de julho de 2024 até que, o prefeito e meu amigo de adolescência, Edson V. da Silva, contraiu um câncer no estômago e infelizmente veio a falecer meses depois, com apenas 37 anos de idade, não dando tempo de realizar e assinar meu termo de posse no cargo. Até que no mês de fevereiro do ano de 2025, o prefeito Salviano L. Alencar, finalmente assinou meu termo de posse e hoje estou professor efetivo no município de Potengi e atualmente estou como professor formador na Secretaria Municipal da Educação.

Atualmente participo como co-autor de três artigos acadêmicos e autor de um publicado nos anais do décimo Congresso Nacional de Educação – X CONEDU⁵.

Capítulos dessa nova jornada já estão sendo escritos pelo tempo. Atualmente estou ajudando na coordenação da Escola Quilombola de Educação Infantil e ensino Fundamental em tempo Integral Maria Virgem da Silva localizada na zona rural, no sítio Carcará. Esse lugar se caracteriza por ser um reduto de escravos fugitivos que eram propriedade do Barão de Aquiraz. Me identifiquei demais com a colhida do povo, da carência das crianças por afeto, por me ver como ídolo, e principalmente, de lidar com um público com faixa etária muito diferente daquilo que tinha costume.

A curiosidade das crianças sempre me cativou. E é por isso e outros motivos que me sinto bem onde estou agora e espero contribuir fortemente com a educação de qualidade que tanto sonhamos.

⁵ Para saber mais sobre as publicações acesse o link de meu currículo na plataforma Lattes <https://lattes.cnpq.br/2867165486510816>

1 INTRODUÇÃO

A Física, como disciplina acadêmica, passou por um longo processo de desenvolvimento até se consolidar como um dos pilares do conhecimento científico. Desde a antiguidade, filósofos como os atomistas gregos como Leucipo e Demócrito que formularam as primeiras ideias sobre a existência dos átomos, de Aristóteles que estudou na academia de Platão, desenvolveu uma física particular para explicar o movimento natural dos objetos terrestres e de corpos celestes fundando as bases do geocentrismo, de Arquimedes que desenvolveu estudos em hidrostática e mecânica como a aplicação do princípio das alavancas, já buscavam compreender, em suas épocas, os fenômenos naturais⁶.

Durante a Idade Média, os estudos sobre mecânica e a astronomia continuaram sua evolução precedido, lógico, de uma evolução no pensamento de como o ser humano percebeu objetos ao seu redor, influenciados por pensadores como Ptolomeu, que consolidou o modelo geocêntrico do universo, de filósofos islâmicos como Alhazen, que fez contribuições fundamentais para a óptica e a compreensão da luz que a física conquistou espaço culminando na grande revolução científica ocorrida durante o Renascimento, quando cientistas começaram a questionar antigas concepções e desenvolver abordagens mais experimentais. Galileu Galilei foi uma figura central nesse período, pois com suas observações astronômicas e experimentos sobre o movimento dos corpos, lançou as bases da dinâmica e do princípio da inércia, desafiando o modelo aristotélico e destruindo as bases do geocentrismo. Posteriormente, Johannes Kepler aprimorou os estudos sobre o movimento planetário, formulando suas famosas leis. (PRÄSS)

Para muitos o grande referencial da física e da matemática de todos os tempos tenha sido o físico e matemático do século XVII, Isaac Newton que revolucionou a ciência ao formular as leis do movimento e a lei da gravitação universal, consolidando as bases da Física clássica e da matemática com a publicação do livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1686/1687) que é muitas vezes considerado a obra científica mais importante e de maior influência até

⁶ Disponível em: História da Física: Resumo | Prof. Alberto Ricardo Präss

hoje escrita, publicada depois de 20 anos de dedicação ao estudo⁷ em áreas relacionadas à compreensão da luz como partícula, desenvolvimento de leis da mecânica, teorema binominal, cálculo infinitesimal (diferencial e integral) e muitos outros problemas matemáticos e físicos⁸. Esse período marcou a transição da Física como um campo filosófico para uma disciplina formal baseada em princípios matemáticos e experimentais.

Grandes avanços no final do século XIX em áreas como a termodinâmica, que permitiram entender melhor a relação entre calor e energia, e do eletromagnetismo, com as equações de James Clerk Maxwell que conseguiu a unificação entre eletricidade coulombiana e magnetismo elucidado parcialmente por Peregrinus⁹, foram cruciais para o desenvolvimento tecnológico e científico que impulsionaram invenções que iniciaram uma segunda revolução industrial no início do século XX. Novas revoluções à Física como a formulação da teoria da relatividade proposta por Albert Einstein, que mudou a percepção do espaço e do tempo, o desenvolvimento da mecânica quântica proposto por Max Planck e outros, contribuíram fortemente para que a ciência tivesse uma transformação profunda na maneira como compreendemos o universo nessa época e influencia todo um aparato tecnológico que rege a vida de todos os cidadãos do planeta.

Podemos dividir a Física em algumas áreas principais, cada uma delas com aplicações práticas no nosso cotidiano. Algumas delas como a Mecânica, o eletromagnetismo, a óptica, as ondas e a termodinâmica, são grandes áreas da física amplamente difundida nos livros didáticos que servem como auxílio pedagógico para professores de física. Na Base Nacional Comum Curricular – BNCC (2017), ela aparece como uma disciplina componente do eixo que pertence às ciências da natureza e suas tecnologias que foi incorporada que foi formalmente integrada ao currículo escolar das escolas brasileiras a partir da Reforma Francisco Campos, em 1931, que organizou o ensino secundário e incluiu disciplinas científicas como Física e Química. Posteriormente, com a Lei de Diretrizes e Bases

⁷ Informações extraídas de <https://portal.if.usp.br/control/sites/portal.if.usp.br.ifusp/files/9%20-%20Isaac%20Newton.pdf>

⁸ Informações extraídas de <https://portal.if.usp.br/control/sites/portal.if.usp.br.ifusp/files/9%20-%20Isaac%20Newton.pdf>

⁹ História da Eletricidade e do Magnetismo: da Antiguidade à Idade Média: disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/fQ4Ck9MFSK5gHxKnQJy7T3x/?format=pdf&lang=pt>

da Educação Nacional (LDB) de 1961, a disciplina passou a ser obrigatória no ensino médio, consolidando sua presença na formação dos estudantes brasileiros.

Na BNCC para o ensino fundamental, a disciplina de ciências cuja a física está presente, possui “compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências” (p. 321). Para tanto, prevê que os estudantes desenvolvam competências e habilidades que lhes possibilitem mobilizar e articular conhecimentos desses componentes simultaneamente a dimensões socioemocionais, em situações de aprendizagem que lhes sejam significativas e relevantes para sua formação integral. (BRASIL, Base Nacional Comum Curricular. 2017)

E, de acordo com Silva *et. al.* (2025), o desenvolvimento de competências que têm natureza emocional/afetiva

são molas propulsoras da elevação do desempenho acadêmico e da melhoria da qualidade da educação, tendo em vista que o aluno motivado e com um sonho a realizar, relaciona-se melhor com as pessoas, tem melhor autogestão, quer estar mais tempo na escola, quer aprender mais e possui um projeto de vida que vai contribuir para sua realização pessoal e profissional. (p.222)

O ensino de Física, não só no ensino médio, mas em toda comunidade acadêmica que vai desde o ensino fundamental até a educação superior, enfrenta diversos desafios, muitos dos quais estão relacionados à sua abordagem tradicional, à abstração dos conceitos e à falta de conexão direta com o cotidiano dos estudantes. Segundo Carvalho (2013), a Física é frequentemente apresentada como um conjunto de fórmulas e leis desvinculadas de suas aplicações reais, o que pode dificultar a compreensão e reduzir o interesse dos alunos. Além disso, pesquisas indicam que muitos estudantes veem a disciplina como excessivamente teórica e distante das suas experiências práticas, o que contribui para dificuldades na aprendizagem (Carvalho; Sasseron, 2018).

Dentre os diversos conteúdos da Física, a Termodinâmica é um dos que mais sofre com esse afastamento da realidade estudantil. Como apontado por Gaspar (2014), os princípios da Termodinâmica estão intrinsecamente ligados ao funcionamento de máquinas térmicas, ao clima e até mesmo ao metabolismo humano, mas sua abordagem em sala de aula muitas vezes se limita ao estudo de equações e transformações de estados físicos, sem explorar essas conexões de

forma prática e acessível. Isso faz com que os alunos tenham dificuldade em perceber a relevância desse conhecimento no seu dia a dia.

Este trabalho visa realizar uma análise detalhada de como a radiação emitida por um corpo aquecido, como uma barra de metal, emite luz visível em uma determinada frequência, usando, como objeto de investigação, o trabalho manual realizado pelos ferreiros da cidade de Potengi, município localizado na região do Cariri cearense. Muitos aspectos físicos poderiam ser objetos dessa investigação sobre este trabalho que ainda é realizado de forma artesanal. Áreas da física como a termodinâmica, mecânica, ondas e sons e até mesmo a física ambiental poderiam ser exploradas nessa atividade que é preponderante nesta cidade.

Conhecida como a cidade que não dorme, em Potengi atualmente se contabilizam 40 oficinas e aproximadamente 150 profissionais trabalhando na profissão de ferreiro que contribuem também para o desenvolvimento econômico do município. Os métodos de forja replicam as mesmas técnicas usadas durante a idade média e, por causa dessa característica peculiar, a cidade é conhecida nacionalmente como a terra dos ferreiros e, “a cidade que não dorme” porque a rotina de trabalho desses profissionais inicia na madrugada e se estende ao amanhecer do dia.

Para tentar compreender porque Potengi tem essa fama em âmbito nacional, esse trabalho também traz os resultados de uma investigação realizada para procurar entender as origens dessa profissão no município de Potengi através de entrevistas, relatos orais, dos descendentes dos primeiros ferreiros que chegaram ao município ainda na década de 1930. Logo percebeu-se que, a história desses primeiros homens se confunde com a própria história do município de Potengi. Existe aí um ponto de convergência entre as duas linhas do tempo que une essas histórias, porém, não há registros oficiais da contribuição dos ferreiros na construção cultural e histórica da cidade de Potengi. Pode haver aqui uma relação política entre classe dominante e classe dominada, na linguagem de Paulo Freire, “opressores” e “oprimidos” (FREIRE, ano).

Inserir a atividade de ferreiro como objeto de estudo na escola de educação básica, especialmente no ensino de física, é uma das maneiras de valorizar esse trabalho que exporta o nome da cidade a nível nacional. Temos como propósito

elaborar uma sequência de ensino baseada na abordagem de ensino investigativo (SEI) proposta por Carvalho e Sasseron (2018). Ela é importante porque o professor usa estratégias que chama a atenção dos estudantes para o aprendizado dos conteúdos e dos conceitos exigidos nas orientações curriculares. Assim, a Sequência de Ensino por Investigação mostra-se, nesta dissertação, como opção viável como proposta metodológica para o desenvolvimento de um trabalho pedagógico que alie o ensino de física com as demais áreas do conhecimento além de ser uma metodologia de ensino que envolve determinados procedimentos conexos, que permitem aos sujeitos envolvidos a atuação ativa nas atividades propostas para a aprendizagem. (CARVALHO, SASSERON, 2018)

O desenvolvimento de uma SEI, faz o estudante se envolver emocionalmente com o contexto e isso possibilita o aprendizado a longo prazo. O envolvimento emocional, a aprendizagem afetiva, traz sentido e oferece significado para dar uma finalidade e atingir os objetivos propostos. Nesse sentido, a aprendizagem afetiva de Wallon (1968), surge como esqueleto teórico/metodológico que sustenta as bases desse trabalho. Para ele, os fatores que interferem no desenvolvimento da criança não poderiam ser analisados de maneira fragmentária e esparsa. É por esse motivo que a sua teoria é conhecida como psicogênese da pessoa completa. Ela tem como fundamento a integração organismo-meio e identifica quatro campos funcionais: a afetividade, o ato motor, o conhecimento e a pessoa. (WALLON, 1968)

Diferentemente das teorias de aprendizagens mais difundidas no meio acadêmico, como a aprendizagem significativa de Ausubel, apesar de importante, ela não leva em consideração os aspectos emocionais/afetivos inerente à natureza humana. Este trabalho procura interrelacionar o envolvimento dos sentimentos e emoções da teoria walloniana e a condição neurológica que está relacionada com o ato de aprender. Logo percebemos que aprender de maneira significativa e afetiva, portanto, necessita intenção da parte de quem ensina e, se esta intenção não se manifestar nas ações do professor em afetar emocionalmente, o que deseja que seu aluno aprenda acaba por se transformar em quase inútil memorização ou “decoreba”.

Da mesma maneira que Mora (2018) também aponta para a importância de se levar em consideração as emoções e os sentimentos para a consolidação do

processo de aprendizagem quando afirma que é essencial conhecer o mundo das emoções para captar a essência do ensino. Biologicamente, isso corresponde a outro cérebro que se conhece como sistema límbico ou cérebro emocional. A emoção é a energia que move o mundo.” (p. 45). Este autor ainda reitera que cognição-emoção é um binômio indissolúvel e nos leva a conceber de certeza que não há razão sem emoção. O termo cognição é empregado para identificar o conjunto de processos mentais que participam na aquisição do conhecimento, na percepção do mundo (e de nós mesmos) e de como esse mundo é representado. (LONGHI et al, 2009, p 205).

O docente desempenha papel central na superação das dificuldades de aprendizagens dos alunos ao buscar a cada dia ferramentas e meios de transformação da realidade, seja por sua dedicação e comprometimento, seja por sua resistência no que tange aos atravessamentos sofridos pela escola, em âmbito político, cultural e social e, entender como o aluno é afetado por sentimentos e emoções em um ambiente que se objetiva a construção do conhecimento e, como o professor pode desenvolver estratégias para valer-se deste universo afetivo para facilitar a construção de conhecimento no ambiente escolar. Daí a importância do papel de incentivador que o professor carrega consigo (FRANCELINO, 2017)

Diante do exposto, o papel do professor não somente de física, mas qualquer pessoa que tenha intenção de ensinar, é mobilizar para que o aluno fique atento, romper os filtros neurais de aprendizagem (SELBACH, 2010) e envolvê-lo emocionalmente para que seja afetado, no sentido de estimular suas percepções humanas (emoções e sentimentos), para que, enfim, se tenha uma aprendizagem significativa e consolidada. (FRANCELINO, 2017)

O objetivo geral deste trabalho é investigar o desenvolvimento de aprendizagens sobre o conceito de radiação eletromagnética por estudantes do ensino médio por meio de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) que vise compreender a ciência por trás do brilho de um metal incandescente usado para fazer ferramentas pelos ferreiros de Potengi, CE.

Como objetivo específico pretendemos:

(i) Investigar as concepções dos estudantes sobre a radiação eletromagnética e sua relação com o trabalho dos ferreiros;

(ii) Elaborar e avaliar uma sequência de ensino investigativa que problematize como os ferreiros conseguem identificar o momento certo — ou a temperatura ideal — para preparar o metal (malhá-lo), utilizando golpes de marreta para a produção de ferramentas. A proposta busca associar essa situação do cotidiano, relacionada ao trabalho dos ferreiros, com os conteúdos de Física, especificamente os conceitos da Termodinâmica.

(iii) Elaborar um produto educacional que integre a proposição de uma sequência de ensino e destaque o ensino da radiação emitida por um corpo, usando como objeto de estudo o trabalho de ferreiro na cidade de Potengi, CE através de uma sequência de ensino investigativa tendo como referencial teórico as ideias de Henri Wallon e a aprendizagem significativa de Ausubel.

Este produto educacional deve levar em consideração os fatores afetivos/emocionais, sociais e da aprendizagem significativa para o desenvolvimento da cognição. Logo, mobilizar os sentimentos positivos e até os negativos para o desenvolvimento da aprendizagem significativa, potencializa e consolida o processo de ensino e aprendizagem, uma vez que, se apropriar desses conhecimentos possibilita acessar os recantos mais íntimos das sensações humanas para que seja usado em favor do desenvolvimento cognitivo do aprendiz. Esse produto educacional foi planejado para ampliar a visão de como se enxerga atividade de ferreiro pela ótica cultural e do ensino de física.

Uma vez determinadas as objetividades deste trabalho, os capítulos que descrevem seu desenvolvimento consistem em uma organização sistemática que contribui para a sua melhor compreensão. Inicialmente, no capítulo 2, é apresentado a relação entre a teoria da aprendizagem afetiva e a teoria da aprendizagem significativa. Nele entenderemos como a emotividade afeta no processo de ensino apresentando os conceitos básicos das duas teorias em questão e finaliza apontando uma correlação entre elas.

Como se trata de uma abordagem de ensino que leva em consideração a contribuição cultural e econômica que o ferreiro potengiense traz ao município de

Potengi, apresentamos, no capítulo 3, uma breve história de como estes homens se tornaram referência na arte da metalurgia, inserindo a cidade na tradição regional do trabalho com o ferro. Essa trajetória não apenas revela a importância desses artesãos para a economia local, mas também destaca o saber popular como um conhecimento legítimo, construído na prática e transmitido entre gerações e que merece a realização de estudos que focalizam na valorização do trabalho como também, na dinamização do currículo escolar ao levar em consideração uma característica local para realização de uma investigação com fomento à aprendizagem de física. Dessa forma, buscamos valorizar os saberes tradicionais e dialogar com eles no contexto escolar, promovendo uma aprendizagem emocionalmente significativa por meio da integração entre ciência, cultura e realidade local.

Logo em seguida, o leitor compreenderá como é complexa a ciência que explica o trabalho do ferreiro. O capítulo 4 apresenta os conceitos da Física, enriquecidos com textos que abordam os fundamentos da Termodinâmica, os quais permitem interpretar, sob uma perspectiva científica, os processos envolvidos no aquecimento e na moldagem do metal, origem conceitual do conceito de calor como forma de energia, relacionando-os diretamente às práticas cotidianas da forja. Este capítulo tem como objetivo proporcionar aos estudantes e leitores uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos físicos presentes no ofício do ferreiro, como a explicação quântica do fenômeno da luminescência emitida por um corpo aquecido. Ou seja, o estudo dos fundamentos em física quântica surge como alicerce que estabelece as bases fundamentais para a compreensão da emissão eletromagnética de um corpo/objeto quando submetido a aumento de temperatura.

O próximo capítulo apresenta o caminho metodológico traçado para construir as ideias-base para o aprendizado dos conceitos fundamentais da Física Quântica. Para isso, foi elaborada uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), contendo cinco etapas que contemplam a elaboração das primeiras hipóteses dos estudantes, a observação de fenômenos, a análise de situações-problema, a construção coletiva de explicações e, por fim, a sistematização dos conhecimentos adquiridos. Esta abordagem permitiu compreender, de forma ativa e crítica, os princípios quânticos, partindo de situações contextualizadas e próximas de sua realidade fugindo da mera memorização-repetição como é visto em muitas aulas.

E, por fim, apresentamos o capítulo 6, que analisa o impacto que a abordagem afetiva-significativa tem ao promover a aprendizagem dos conceitos científicos, especialmente no contexto da Física. A partir de observações, relatos dos estudantes e resultado das avaliações, percebemos que a valorização dos saberes locais e o vínculo emocional com o tema favorecem o engajamento dos alunos, aumentando sua motivação e facilitando a construção do conhecimento obtido a partir da aplicação da sequência de ensino investigativa com os estudantes, analisando, ainda, suas percepções, dificuldades e avanços em relação à compreensão dos conceitos físicos envolvidos.

2. A RELAÇÃO ENTRE A APRENDIZAGEM AFETIVA E A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Neste capítulo estudaremos como a teoria de desenvolvimento proposta por Henry Wallon (ano) surge como esqueleto teórico/metodológico que sustenta as bases desse trabalho fazendo uma interlocução com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (ano).

2.1. O ensino de física baseado na emotividade

Para Wallon (1968), os fatores que interferem no desenvolvimento da criança não poderiam ser analisados de maneira fragmentária e esparsa. Essa teoria tem como fundamento a integração organismo-meio, o que possibilita um completo desenvolvimento cognitivo. E isso se engloba em um movimento dialético entre a afetividade, a cognição e os níveis biológicos e socioculturais, trazendo contribuições fundamentais para o processo de ensino e aprendizagem. Neste contexto, para este autor, a emoção surge como componente biológico do comportamento humano, estado afetivo que comporta as diversas sensações de prazer/desprazer sendo o momento marcante onde há ativação das atividades fisiológicas e alega que ela é a exteriorização da afetividade.

A emoção, para Wallon (1968), é a energia que move o mundo. Para ele Cognição-emoção é um binômio indissolúvel e diz que esta relação nos leva a conceber a consideração de que não há razão sem emoção. Para ele o termo cognição é empregado para identificar o conjunto de processos mentais que participam na aquisição do conhecimento, na percepção do mundo e de como esse mundo é representado. Nesta perspectiva, segundo este pensador, o docente desempenha papel central para entender como o aluno é afetado por sentimentos e emoções em um ambiente que se objetiva a construção do conhecimento que muitas vezes valorizam-se os aspectos somente cognitivos.

A aprendizagem não sendo desta forma um processo simples de explicar porque envolve muitos fatores sendo que a motivação, interesse, gosto ou mesmo incentivo, em suma, o que mobiliza o aluno ao aprendizado é o universo afetivo que

atravessa a sala de aula pelo relato de experiências das manifestações emotivas e suas ressonâncias nas interrelações entre professor e aluno. Interpretamos que as emoções e os sentimentos e o gerenciamento adequado dessas forças pode promover o desenvolvimento da inteligência e ela não pode ocorrer sem que os disparadores motores e afetivos participem do processo.

Para Wallon *apud* Francelino (2022) o desenvolvimento afetivo, cognitivo e motor ocorrem de forma integrada com o meio social. Ele reforça a importância do trabalho em grupo como indispensável ao desenvolvimento da criança, não apenas pela aprendizagem social como também pelo desenvolvimento de sua personalidade. E Ainda ressalta que o meio ambiente é um fator crucial para alavancar o desenvolvimento das crianças. Para ele esse processo e, precisamente a interação do indivíduo com o meio ambiente, produz mudanças contínuas no cérebro, de forma que a aprendizagem se traduz em mudar as conexões sinápticas do cérebro. Ele diz que se informação possui os atributos descritos, necessita ainda conquistar a amígdala e, para tanto, precisa se envolver afetivamente algum tipo de emoção. Superar essas barreiras, a dopamina, em cérebros saudáveis, se encontra disponível e a aprendizagem significativa pode se consolidar.

Mora (2018) diz que a atenção é como uma janela que se abre no cérebro através do qual se aprende e se memoriza a informação que procede do mundo que nos rodeia. Sem atenção não há aprendizagem nem memória explícita nem conhecimento. Como já ressaltado anteriormente, a emoção é a força motriz que empurra o mundo. As implicações neurológicas do fenômeno emotivo para a aprendizagem são extremamente fundamentais.

A emoção é a energia que move o mundo. A emoção é uma invenção biológica e evolutiva tão poderosa que persistiu no cérebro humano desde suas primeiras raízes nos invertebrados, 450 milhões de anos atrás. As emoções são processos inconscientes que o indivíduo utiliza para sobreviver e se comunicar e para fortalecer os processos de aprendizagem e memória. É na emoção que residem os fundamentos básicos de um bom ensino, que sem ela, não há processos mentais e coerentes, nem tomadas de decisão corretas, nem processos de aprendizagem e memória. (MORA, 2018)

Henry Wallon¹⁰ (1968) surge como esqueleto teórico/metodológico que sustenta as bases desse trabalho. Para ele, os fatores que interferem no desenvolvimento da criança não poderiam ser analisados de maneira fragmentária e esparsa. E esse é um dos motivos que levam sua teoria ser chamada de psicogênese da pessoa completa. Essa teoria tem como fundamento a integração organismo-meio, o que possibilita no desenvolvimento cognitivo. Para ele a aprendizagem é um processo contínuo ao longo da vida e pode ser influenciada por diversos fatores, como a motivação, o interesse, a experiência prévia, o ambiente social e cultural, entre outros. Em seus escritos, ele identifica quatro campos funcionais: a afetividade, o ato motor, o conhecimento e a pessoa.

Desses campos funcionais, a afetividade refere-se à capacidade, à disposição do ser humano de ser afetado pelo mundo externo/interno por sensações ligadas a tonalidades agradáveis ou desagradáveis (Mahoney e Almeida, 2005, p. 19 *apud* Francelino, 2022. p. 36).

Wallon¹¹ (1934) diferencia três fatores que agem sobre o desenvolvimento de um indivíduo que são os aspectos afetivo, cognitivo e motor, o que justifica a sua teoria da psicogênese da pessoa completa, pois as partes que constituem nosso ser, são indissociáveis. E isso se engloba em um movimento dialético entre a afetividade, a cognição e os níveis biológicos e socioculturais, trazendo contribuições fundamentais para o processo de ensino e aprendizagem.

A afetividade é uma área que compreende três outros momentos marcantes que resultam de fatores orgânicos e sociais: 1 – emoção, onde há predomínio da ativação fisiológica; 2- sentimento, no qual há o predomínio da ativação representacional e, 3 – a paixão, cujo predomínio da ativação do autocontrole são observáveis. (Francelino, 2022. p. 36)

Mahoney e Almeida (2005) Damásio (1996) enfatizam a emoção como componente biológico do comportamento humano, estado afetivo que comporta as diversas sensações de prazer/desprazer. Já a afetividade tem

¹⁰ Henri Paul Hyacinthe Wallon nasceu em Paris em 15 de junho de 1879, e passou para frente o nome da família. ele é reconhecido pelo seu trabalho de pesquisa sobre Psicologia do Desenvolvimento. Graças à sua formação em Medicina que Wallon pôde trabalhar com crianças portadoras de necessidades mentais, ensinou a respeito da Psicologia infantil e focou na produção literária sobre esse campo desde o seu doutorado

¹¹ Em sua Obra "Les origines du caractère chez l'enfant" (As origens do caráter na criança), publicada em 1934 — considerada uma das principais obras onde ele articula os aspectos afetivo, motor e cognitivo no desenvolvimento infantil.

um sentido mais amplo, envolvendo as vivências individuais e as formas de expressão mais complexas do ser humano, uma das quais é a linguagem. (FRANCELINO, 2022. P. 38).

A emoção é o momento marcante, como já dito, onde há ativação das atividades fisiológicas e, segundo Wallon, ela é a exteriorização da afetividade. Ela apresenta-se como a expressão da afetividade e, portanto, observável.

Uma reflexão interessante é compreender por que um estudante consegue lembrar de um filme por exemplo mesmo passando muito tempo depois enquanto uma aula não consegue fazer o mesmo? O que está por trás desse fenômeno? Para iniciar a responder a estes questionamentos, Selbath (2010) afirma que,

aprender de maneira significativa, portanto, necessita intenção da parte de quem ensina e, se esta intenção não se manifestar nas ações do professor, o que deseja que seu aluno aprenda acaba por se transformar em quase inútil memorização ou “decoreba”. (2010 p. 10-20)

Mora (2018) aponta para a importância de se levar em consideração as emoções e os sentimentos para a consolidação do processo de aprendizagem quando afirma que “é essencial conhecer o mundo das emoções para captar a essência do ensino. Para este autor a elaboração das emoções corresponde a outro cérebro que se conhece como sistema límbico ou cérebro emocional. Para ele a emoção é a energia que move o mundo.” (p. 45). Este autor ainda reitera que cognição-emoção é um binômio indissolúvel e nos leva a conceber de certeza que não há razão sem emoção. O termo cognição é empregado para identificar o conjunto de processos mentais que participam na aquisição do conhecimento, na percepção do mundo (e de nós mesmos) e de como esse mundo é representado. (Longhi et al., 2009, p 205).

A motivação é um processo intrínseco à pessoa e, portanto, ela parte do sujeito (Cortella, 2016 p.59-62). Entender como o aluno constrói conhecimento e como os afetos interferem nesse processo,

é fundamental para que vislumbremos novos prismas que possam servir de parâmetros às novas propostas de políticas públicas em educação, de diretrizes que possam melhor nortear o atual currículo, a formação inicial e continuada de nossos professores, bem como, a formas de apresentação dos conteúdos, com o desenvolvimento de situações de aprendizagens mais próximas a condição psicogenética dos educandos. (Francelino, 2022. P. 18)

Francelino (2022) afirma que a perspectiva walloniana,

refletem diretamente no nível de comprometimento e motivação no momento de realizar uma atividade. A mediação docente é fundamental para dinamizar e potencializar as emoções e sentimentos positivos e para filtrar e amenizar as emoções negativas (p. 167)

Entendemos, baseado em nossas experiências na docência que, dificilmente um estudante se mantém interessado se não percebe a pertinência ou utilidade do conteúdo da disciplina de física e, portanto, não consegue enxergar a resposta para a pergunta: para que necessito estudar isso (relação com o mundo)? Ou, mais especificamente, se o conteúdo não lhe tiver significado algum (ter relação com seu cotidiano), sendo tratado inteiramente de forma mecânica e abstrata, ou se o grau em que ele for capaz de situar a tarefa no contexto de sua experiência é inexistente, o estudante se vê incapaz de determinar implicações futuras de sua realização.

As emoções e os sentimentos e o gerenciamento adequado dessas forças promovem o desenvolvimento da inteligência e ela não pode ocorrer sem que os disparadores motores e afetivos participem do processo (FRANCELINO, 2022). Em tese podemos acreditar que o que permite de fato que a inteligência evolua são os estímulos receptivos provindos dos inter-relacionamentos fundamentados pelos afetos e movimentos em conjunto com própria maturação biológica. É aqui onde entra uma questão chave para o entendimento da teoria psicogenética de Henry Wallon: o meio. Ele configura-se como um conjunto de circunstâncias duráveis, sejam elas físicas, sociais, culturais, imaginárias, que envolvem o indivíduo. Nós não nascemos sociais, mas sim, nos desenvolvemos em uma relação dialética ontogenética com os preceitos da cultura acumulados ao longo da história da humanidade. (Wallon, 1934).

Pino (2001) *apud* Francelino (2022) apresenta três fatores necessários para o desenvolvimento: sujeito, meio e objeto, sendo que, o meio social configura-se como elemento mediador entre conhecimento e sujeito, entre conhecimento e aprendente (p.75).

Hoje sabemos que uma boa educação produz mudanças profundas no cérebro que ajudam a melhorar o processo de aprendizagem posterior e o desenvolvimento do ser humano. Também sabemos que os novos conhecimentos podem ajudar a desenhar programas novos que são bem melhores para o processo

de aprendizagem, assim com as necessidades de cada ser humano em particular. A interação do indivíduo com o meio ambiente, produz mudanças contínuas no cérebro, de forma que a aprendizagem se traduz em mudar as conexões sinápticas do cérebro. (Mora, 2018).

O primeiro e mais difícil passo para que o cérebro aprenda, portanto, é captar a atenção do sistema radicular. Nesse aspecto, cabe ao professor tornar interessante, novo, surpreendente, colorido, grande, criativo, desafiador, etc. Sem a superação desse obstáculo, o cérebro rapidamente bloqueia a informação e, dessa forma, ela fica na memória por pouco tempo e se esvai. Mas, se informação possui os atributos descritos, necessita ainda conquistar a amígdala e, para tanto, precisa se envolver afetivamente algum tipo de emoção. (Não é a toa que os adolescentes não esquecem as palavras de sincero amor que, apaixonados, escutam.) Superar essas barreiras, a dopamina, em cérebros saudáveis, se encontra disponível e a aprendizagem significativa se consolida. SELBATH (2010 p.17-18)

Captar a atenção do sistema radicular é então envolver emocionalmente o sujeito. É colocá-lo em um ambiente estimulante para construir pilares sólidos para um ensino efetivo. Ganhar a atenção é o “truque” por traz do rompimento do primeiro filtro. A atenção é como uma janela que se abre no cérebro através do qual se aprende e se memoriza a informação que procede do mundo que nos rodeia. Sem atenção não há aprendizagem nem memória explícita nem conhecimento. Um dos requisitos fundamentais é ter a capacidade de captar a atenção dos alunos (Mora, 2018. p. 86).

Uma informação que seja capaz de atrair a atenção de um jovem, passará adiante para a “avaliação” do segundo filtro: a amígdala, que está ligada a quase todas as áreas do cérebro, permite que as ideias abstratas, com os quais os córtex de associação trabalham para criar pensamentos e imbuídos de emoção. Mora (2018) afirma que,

(...) As emoções são um ingrediente básico dos próprios processos cognitivos. Não há pensamento sem o fogo emocional que o alimenta. É na emoção que residem os fundamentos básicos de um bom ensino, que sem emoção não há processos montados e coerentes, nem tomadas de decisão corretas, nem processos de aprendizagem e memória. Emoção é a energia codificada na atividade de certos circuitos do cérebro que nos mantém vivos. indica movimento, interação com o mundo. Uma conduta que inclui todas as mudanças que se produzem no corpo disparado por uma ampla faixa de estímulos que vem de tudo que rodeia o indivíduo (...). As emoções são a base mais importante sobre o que sustenta todos os processos de aprendizagem e memória. As emoções são mecanismos inconscientes. Os sentimentos são a experiência consciente de uma determinada emoção. (p. 69-73)

Para Wallon a emoção é o caminho e a força motriz que dispara o aparelho psíquico a realizar suas sinapses e aprender. E entender como se dá esse envolvimento emocional do sujeito com o objeto de interesse, faz com que o professor consiga compreender as especificidades do desenvolvimento poderá valer-se de ferramentas mediativas eficazes no auxílio, construção da autonomia e dos valores morais valorizados pela sociedade (Francelino, 2022 p. 172).

A liberação do neurotransmissor dopamina que atua em diversas regiões do cérebro, sua ação influencia as nossas emoções, aprendizado, humor e atenção e oferta sensação de prazer. Mora (2018) diz que ela é importante porque a aprendizagem

é cerebral baseada no prazer, o que, por sua vez, reforça a ideia de que a busca pelo conhecimento e a tomada de decisões que levam à obtenção desse conhecimento são biologicamente prazerosas. Prazer que não é simples prazer mental, mas compartilha os mesmos circuitos neurais e substrato como prazeres biológicos. (p. 80)

Os sentimentos manifestam-se como uma das respostas da produção de sentido, que por sua vez, configura-se em um estado subjetivo do intelecto. Os sentimentos possuem uma característica receptiva, com produções ativas na psique, enquanto as emoções possuem uma característica reativa com manifestações internas e externas por meio das alterações químicas, tônicas (interna) do movimento e da fala (externa). Os sentimentos podem produzir emoções do mesmo modo que as emoções podem produzir “os sentimentos possuem como características a durabilidade, profundidade, intensidade e o fato de não se manifestarem obrigatoriamente em alterações corporais fisiológicas.” sentimentos (Francelino, 2022 p. 48). Eles, nas palavras de Galvão (1995) *apud* Francelino (2022)

É muito importante conhecer o fenômeno da aprendizagem, principalmente quando se trata do ensino de física. Historicamente, os estudantes criam uma aversão muito grande em relação a disciplina. Muito provavelmente em consequência de um ensino que desconsidera muitos dos fatores emocionais e afetivos apresentados neste texto. Mora (2018) aponta que falta ao professor competências de ordem afetivo/relacional, que lhes permita entender o universo afetivo que envolve os estudantes.

Hoje sabemos que existem professores com larga experiência e profundos conhecimentos que falham em seus ensinamentos por falta de empatia e habilidades de comunicação social, o que leva a algumas crianças, de um nascente impulso de aprender, terminar com um apagão comum no interesse pelas disciplinas. (Mora, 2018, p. 55)

E na perspectiva walloniana,

a compreensão desse contexto permitiria ao professor entender as vicissitudes de sua ação sobre os educandos e proporcionar melhor estado de bem-estar e consequentemente redução do sofrimento. O ser humano não busca sofrimento; emoções negativas nos atravessam e o sofrimento do próprio docente diante de situações da qual não possui os meios e ferramentas de ações, causa sofrimento, angústia, medo, sentimento de incapacidade, de limitação. Em situações conflituosas, a frustração do professor reverbera em todos ao seu redor, causando consequências para o processo. Compreender como as emoções se manifestam permitiria ao adulto o maior nível de autocontrole e consequentemente de maior otimismo e segurança em relação a sua atuação e práticas. (FRANCELINO, 2022 p. 73-75).

Wallon posiciona o desenvolvimento no contexto em que o indivíduo está inserido — a concretização do potencial geneticamente herdado por uma pessoa dependerá das condições do ambiente, que podem alterar as manifestações das determinações genéticas e, com isso, a sua teoria também classifica em estágios de desenvolvimento considerando, segundo Mahoney e Almeida (2005), “os conjuntos ou domínios funcionais são, portanto, constructos de que a teoria se vale para explicar o psiquismo, para explicar didaticamente o que é inseparável: a pessoa.” Eles são agrupados em quatro, que são eles:

- I. O conjunto afetivo: que oferece as funções responsáveis pelas emoções, pelos sentimentos e pela paixão;
- II. O conjunto ato motor: que oferece a possibilidade de deslocamento do corpo no tempo e no espaço, as reações posturais que garantem o equilíbrio corporal, bem como o apoio tônico para as emoções e sentimentos se expressarem;
- III. O conjunto cognitivo: que oferece um conjunto de funções que permite a aquisição e a manutenção do conhecimento por meio de imagens, noções, ideias e representações, e;
- IV. A pessoa; expressa a integração em todas as suas inúmeras possibilidades.

Todos os conjuntos funcionais inicialmente se apresentam de forma sincrética, ou seja, de maneira nebulosa e indistinta. No caso da afetividade, ela

origina-se das sensibilidades internas de interocepção (vísceras) e propriocepção (músculos), responsáveis pela atividade geral do organismo. Essas sensibilidades, juntamente com as respostas externas (exterocepção), desenvolvem sentimentos e emoções cada vez mais específicos, como medo, alegria, raiva, ciúmes e tristeza.

A seguir, Mahoney e Almeida (2005), apresentam e classificam os estágios de desenvolvimento pela perspectiva da teoria walloniana sobre a alternância na predominância dos conjuntos. Eles (os estágios) propõem que o desenvolvimento de habilidades ocorre em estágios que se alternam entre primazia afetiva e cognitiva. Wallon identificou cinco estágios¹² principais que são eles:

Estágio Impulsivo Emocional (0-1 ano): O recém-nascido se comunica através de impulsos e emoções básicas, como o choro e o sorriso, que são suas formas de interagir com o mundo.

Estágio Sensório-Motor e Projetivo (1-3 anos): A criança começa a explorar o mundo através dos sentidos e da motricidade. Nessa fase, o jogo é essencial e ajuda na descoberta e no entendimento do meio ambiente.

Estágio do Personalismo (3-6 anos): A criança desenvolve um sentido de identidade e começa a afirmar-se. Surge a fase do “não” e a busca por autonomia. Aqui, a criança é muito influenciada pelas relações sociais e a imagem que os outros têm dela.

Estágio Categorical (6-11 anos): As capacidades cognitivas e de raciocínio começam a se desenvolver de forma mais estruturada. A criança passa a categorizar e organizar informações, desenvolvendo habilidades de pensamento mais complexas.

Estágio da Adolescência (11 anos em diante): O adolescente passa por transformações físicas, emocionais e sociais significativas. Há uma busca por identidade e autonomia, além do desenvolvimento de um pensamento abstrato e crítico.

Importante salientar que, nessas etapas, um dos conjuntos predomina; isto é, fica mais em evidência, embora os outros também estejam presentes numa

¹² Classificação resumida por inteligência artificial.

relação recíproca e complementar. Assim é que o conjunto afetivo está mais evidenciado nos estágios da personalidade, da puberdade e adolescência. (MAHONEY e ALMEIDA, 2005).

2.2. A aprendizagem significativa de David Ausubel

Diante dos desafios que a educação nos coloca, temos a certeza unânime que a aprendizagem é o aspecto humano ainda com muitos desafios a serem superados. Muitas teorias sobre a aprendizagem são objetos de estudo, uma delas já conhecida e esclarecida no capítulo anterior, a psicogênese da pessoa completa de Wallon considera importante os aspectos físicos ou motores, sociais, biológicos e emocionais. David Ausubel (1918-2008) foi um psicólogo e educador norte-americano, conhecido por sua contribuição à psicologia educacional e ao desenvolvimento da teoria da aprendizagem significativa. Ele se destacou por enfatizar a importância dos conhecimentos prévios dos alunos no processo de aprendizagem, contrapondo-se à ideia de que o aprendizado ocorre de forma mecânica e isolada, assim ele faz crítica a aprendizagem mecânica em que os estudantes somente memorizam conceitos sem compreensão e transferência (FEIJÓ & DELIZOICOV, 2016).

2.2.1 Conceituando a Aprendizagem Significativa

Aprender de forma significativa é construir conhecimento de maneira profunda e duradoura, conectando novas informações com conceitos já existentes na mente do aprendiz. Diferente da mera memorização, essa forma de aprendizado promove compreensão real e aplicação prática do que foi aprendido e por isso que o próprio Ausubel afirma que “o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe” (MOREIRA & MASINI, 1982 p. 7).

Levando-se em consideração a ideia de que um aprendiz já carrega consigo conhecimentos imaturos sobre um campo de conhecimento (conhecimentos do senso comum), a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento se relaciona de maneira lógica e organizada à estrutura cognitiva do indivíduo, e a esta estrutura cognitiva pré-existente foi chamada de subsunçor (interpretado como um conhecimento prévio ancoradouro relevante a interagir com um novo conhecimento).

Para Moreira e Masini (1982) “a aprendizagem só é significativa se o conteúdo descoberto se ligar a conceitos subsunçores relevantes já existentes na estrutura cognitiva” (p.9).

2.2.2 Os subsunçores

As ideias-âncora (significado literal de subsunçor) estão relacionadas à forma como novos conhecimentos são estruturados na mente das pessoas. Essas ideias funcionam como pontos de referência dentro da estrutura cognitiva de um indivíduo, permitindo que novas informações sejam conectadas de maneira lógica e coerente (não de forma arbitrárias ou desorganizadas) e, “à medida que a aprendizagem começa a ser significativa esses subsunçores vão ficando cada vez mais elaborados e mais capazes de ancorar novas informações” (MOREIRA & MASINI, 1982 p. 10).

Intensificar a ativação destas estruturas cognitivas requer o uso do que Ausubel chamou de organizadores prévios. Eles ajudam os alunos a conectar novos conhecimentos com informações já existentes em sua mente, facilitando a compreensão e a retenção do aprendizado a longo prazo.

O uso de organizadores prévios é uma estratégia proposta por Ausubel para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva a fim de facilitar a aprendizagem significativa. Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do próprio material a ser aprendido.

Sendo que “a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, a fim de que o material possa ser aprendido de forma significativa” (MOREIRA & MASINI, 1982 p. 12).

Assim, observa-se a necessidade de o professor ter o papel de orientação de uma forma clara, visto que os estudantes tendem a concordar e consolidar, construindo seu conhecimento de acordo com as informações que já foram obtidas durante sua trajetória antes de chegar à sala de aula (não em uma forma de ruptura epistemológicas, mas de evolução conceitual). Portanto, Santos 2019 defende o pressuposto de que o conhecimento apenas é efetivo e consolidado quando os discentes conseguem acrescentar, modificar, reorganizar e incorporar novos conhecimentos, alterando a estrutura cognitiva daqueles conhecimentos já

aprendidos tornando-os mais robusto. Moreira e Masini (1982) dizem que a principal função dos organizadores prévios é, então, “superar o limite entre o que o aluno já sabe e aquilo que ele precisa saber” (p.12).

Material potencialmente significativo e a vontade de aprender como elementos essenciais para acontecer uma aprendizagem significativa

Segundo a teoria ausubeliana existem duas condições que são e estão intimamente relacionados que podem facilitar a aquisição de uma aprendizagem significativa, que o material seja potencialmente significativo e que o estudante tenha predisposição para aprender. (MOREIRA E MASINI, 1982)

Para Moreira e Massini (1982) um material potencialmente significativo é aquele é um material organizado, coerente e relacionado a conceitos previamente adquiridos pelo aluno, facilitando sua integração à estrutura cognitiva existente. Eles ainda ressaltam que, a interação entre conhecimentos prévios e novos devem ser:

“suficientemente não-arbitrária e não-aleatória em si, de modo que possa ser relacionada, de forma substantiva e não-arbitrária, a ideias correspondentemente relevantes que se situem dentro do domínio da capacidade humana de aprender” (MOREIRA & MASINI, 1982 p. 14).

Outra ideia fundamental inerente ao material potencialmente significativo, é sobre a natureza da estrutura cognitiva do aprendiz “nela devem estar disponíveis os conceitos subsunçores específicos com os quais o novo material é relacionável.” (MOREIRA & MASINI, 1982 p. 14).

Sobre a segunda condição para a facilitação da aprendizagem significativa trata da intensão do aprendiz, do interesse ou disposição para aprender. Ou seja, ela está relacionada à motivação, à curiosidade e à abertura do indivíduo para novas experiências e informações.

2.2.3 Aprendizagem subordinada, superordenada e combinatória

Moreira (1995) afirma que a aprendizagem significativa também pode possuir uma das seguintes naturezas: o processo segundo o qual uma nova informação adquire significado por meio da interação com subsunçores, reflete uma relação de subordinação do novo material em relação à estrutura cognitiva preexistente dá-se o

nome de subordinada. Ou seja, os novos conceitos se conectam a ideias já existentes.

Um segundo processo de aprendizagem ocorre quando um novo conceito mais abrangente e geral é incorporado à estrutura cognitiva do aprendiz, organizando e relacionando conhecimentos previamente adquiridos. Ela envolve a criação de um conceito mais amplo que engloba informações previamente aprendidas. Por exemplo, um aluno que conhece os conceitos de “dinâmica”, “força” e “trabalho” pode aprender o conceito mais geral de “energia mecânica”, que passa a organizar e dar sentido a esses conhecimentos anteriores. A isso, Ausubel chamou de aprendizagem superordenada (MOREIRA, 1995, p. 159).

A terceira e última maneira de organização da aprendizagem, trata da forma de como a informação é incorporada à estrutura cognitiva do aprendiz sem que haja uma relação hierárquica clara com conceitos anteriores. Diferente da aprendizagem subordinada, que se conecta a conhecimentos já existentes, e da aprendizagem superordenada, que organiza conceitos previamente adquiridos em uma estrutura mais ampla, a aprendizagem combinatória acontece quando a nova informação não é completamente nova, mas também não se encaixa diretamente em um conceito já estabelecido (MOREIRA, 1995, p. 159). Por exemplo, ao aprender sobre um novo tipo de “energia” que não se encaixa exatamente em categorias já conhecidas, o aprendiz precisa combinar características de diferentes conceitos para integrar essa nova informação. Esse tipo de aprendizagem exige que o indivíduo estabeleça conexões entre elementos distintos, promovendo um conhecimento mais flexível e adaptável. Entendemos a aprendizagem combinatória como uma forma de aprendizagem significativa que exige certa especialização em uma determinada área de conhecimento, por exemplo, para a aquisição de conhecimentos da física é preciso a realização de um curso de física.

2.2.4 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa

Dois outros fatores inerentes à aprendizagem significativa e, portanto, fundamentais para o processo de construção do conhecimento são a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Moreira 1995, nos apresenta estes fatores e sugere, na diferenciação progressiva que, o aprendizado ocorre de forma mais

eficaz quando as ideias mais gerais e abrangentes são apresentadas primeiro, permitindo que, ao longo do processo, os conceitos sejam gradualmente diferenciados e detalhados, *i.e.*, o aluno inicialmente aprende um conceito amplo e, à medida que avança, vai refinando sua compreensão ao distinguir aspectos específicos e particulares desse conhecimento. Por exemplo, ao estudar física, primeiro se aprende sobre os conceitos da mecânica newtoniana de maneira geral, para depois aprofundar-se em categorias como força e aceleração. Já na reconciliação integrativa, refere-se à capacidade de relacionar e integrar diferentes ideias dentro da estrutura cognitiva do aprendiz, reconciliando possíveis discrepâncias entre conceitos previamente adquiridos e novos conhecimentos. Este processo facilita a assimilação do conhecimento, pois permite que o aprendiz organize as informações de maneira hierárquica, tornando o aprendizado mais estruturado e significativo (MOREIRA, 1995 p. 160). Por exemplo, ao estudar física, um estudante pode inicialmente ver a teoria da relatividade como oposta às leis da mecânica clássica, mas, por meio da reconciliação integrativa, ele aprende a entender como ambas coexistem dentro de diferentes contextos científicos.

A aprendizagem significativa ocorre quando a pessoa constrói novos conhecimentos a partir da interação com conhecimentos existentes que funcionam como um ponto de ancoragem. Esse conhecimento pré-existente, permite a assimilação gradual de novos conceitos. No entanto, para que o aprendizado seja efetivo, é necessário que um processo conhecido como diferenciação progressiva ocorra. O indivíduo distingue gradativamente os elementos do conteúdo estudado. Por exemplo, ao aprender operações matemáticas, ele precisará identificar e separar, pouco a pouco, os diferentes sinais de soma, subtração, divisão e multiplicação até compreendê-los plenamente. Assim a diferenciação progressiva é entendida como forma de hierarquização dos conceitos em que o conhecimento começa com conceitos gerais e progride para informações mais específicas e detalhadas (SANTOS, 2019).

Após essa diferenciação progressiva dos elementos a serem aprendidos, a pessoa é capaz de reintegrá-los pouco a pouco no que ficou conhecido como reconciliação integrativa, a união de tudo o que separamos para compreender melhor. Em seguida, ocorre o que Ausubel chamou de assimilação obliteradora, que reúne a aprendizagem de maneira mais consistente, deixando para trás o processo

de separação e reunião (MOREIRA & MASINI, 1982). A assimilação obliteradora o processo de reaprendizagem é facilitado ou seja, quando a aprendizagem é significativa o conhecimento, mesmo com esquecimento, pode ser lembrado quando revisitado.

2.3 – Correlação entre a teoria da aprendizagem afetiva com a teoria da aprendizagem significativa.

A aprendizagem afetiva e a aprendizagem significativa estão profundamente interligadas, pois ambas enfatizam a importância das emoções e do envolvimento ativo no processo de aquisição do conhecimento. A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel como vimos destaca que novos conceitos são assimilados de maneira mais eficaz quando se conectam ao conhecimento prévio do aluno, tornando o aprendizado mais estruturado e duradouro. Já a aprendizagem afetiva na visão de Wallon enfatiza o papel das emoções, motivações e relações interpessoais na construção do conhecimento.

Podemos então pensar em algumas correlações entre essas duas abordagens que podem ser observadas em diversos aspectos. Considerando como pressuposto que as duas teorias podem ser correspondentes, ao considerá-las para garantir um aprendizado mais significativo e duradouro, as metodologias de ensino adotadas com base nas duas vertentes, pode garantir motivação e engajamento pois, a afetividade influencia diretamente o interesse do aluno pelo aprendizado, tornando a assimilação de novos conteúdos mais significativa.

Defendemos nesta dissertação que a motivação pode melhorar a relação entre professor e aluno gerando um ambiente acolhedor e emocionalmente positivo que pode favorecer o desenvolvimento da aprendizagem significativa, permitindo que o aluno se sinta seguro para explorar e conectar novos conceitos. Pode melhorar os processos de memória e retenção, uma vez que, as informações associadas a experiências afetivas positivas tendem a ser melhor armazenadas e recuperadas, fortalecendo a aprendizagem significativa e, facilita a construção de significados e a internalização do aprendizado pois promove interação social através da troca de conhecimentos em um ambiente colaborativo e emocionalmente estimulante.

A aprendizagem significativa poderá acontecer naturalmente quando há um componente afetivo envolvido, pois as emoções desempenham um papel essencial na motivação, na retenção do conhecimento e na construção de relações interpessoais que favorecem o aprendizado como defende Wallon. Ao considerar os fatores afetivos dentro da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, podemos obter um novo ramo de estudo epistemológico, podendo ser objeto de pesquisa de um novo campo da aprendizagem significativa: a aprendizagem só é significativa se, *a priori*, for afetiva.

3 A HISTÓRIA POR TRÁS DA CHEGADA DOS FERREIROS AO MUNICÍPIO DE POTENGI

A construção histórica e a contribuição dos ferreiros de Potengi para a formação cultural e econômica do município, são um dos pilares fundamentais da identidade local. Ao longo das décadas, os ferreiros mantiveram viva uma tradição passada de geração em geração, tornando o município reconhecido regionalmente como um dos maiores centros de produção artesanal de ferramentas do Ceará.

Infelizmente não há documentos que comprovem a existência dos fatos descritos e toda a memória desse ofício se sustenta principalmente na oralidade e na vivência dos descendentes vivos dos primeiros ferreiros que chegaram ao município. Trata-se de um saber popular transmitido no convívio cotidiano, dentro das oficinas, entre pais e filhos, mestres e aprendizes. Essa ausência de registros formais, no entanto, não diminui a importância histórica da atividade — ao contrário, evidencia a urgência de valorização, documentação e preservação desse patrimônio imaterial.

Diante do exposto, percebe-se que, há a necessidade de investigação desta história da maneira mais óbvia: foram realizadas coletas dos dados através de entrevistas com os filhos ou descendentes diretos daqueles que iniciaram a caminhada nas décadas de 30 e 40. Cidadãos como Mairton Gomes e Dionê Gomes filhos do ferreiro Mestre Nêgo, Vanderlei Leite de Andrade filho do ferreiro Luis Leite, o ferreiro conhecido como Seu Luiz, ajudante do ferreiro José Feitosa e o Sr. Antoni que foi vizinho do ferreiro Zezinho Nonato, filho do ferreiro Zé Nonato. São pessoas que colaboraram através de relatos de experiências vivenciadas diretamente com aqueles que desencadearam e consolidaram a tradição da forja em Potengi. Seus testemunhos orais servem como ponte entre o passado e o presente, trazendo à tona histórias, técnicas e modos de vida que marcaram profundamente a identidade local. Por meio destas memórias, torna-se possível reconstruir parte significativa da história do município, reconhecendo o papel central dos ferreiros na formação cultural e econômica da região. Também foco deste trabalho de dissertação que é relacionar esta arte da forja, seus processos manuais com o conhecimento científico, assim problematizando a física em seu contexto real e local.

3.1 Como surgiu a cidade de Potengi e seus ferreiros

A macrorregião do Cariri, no Ceará, cujo nome tem origem na etnia Tupi e significa "silencioso", foi dado em referência aos povos indígenas que habitavam a região antes da chegada dos colonizadores. Sua ocupação territorial foi marcada pela interação entre indígenas, africanos escravizados e europeus, resultando em uma rica miscigenação cultural. É a segunda maior macrorregião populacional do Estado, reunindo 11,30% da população e representando 7,62% do PIB cearense. Composto por 27 municípios, destaca-se pela forte influência cultural e religiosa, expressa no artesanato, literatura de cordel, xilogravuras e músicas tradicionais. A região também possui paisagens naturais diversificadas, com serras (Chapada do Araripe), vales, grutas e rios, tornando-se um importante destino turístico.

Potengi, um dos municípios do Cariri, e também tem nome de origem Tupi, significando "riacho dos camarões". O nome da cidade foi escolhido pelo primeiro prefeito, Luiz Gonzaga de Figueiredo, que percebeu a presença de um riacho abundante em crustáceos, provavelmente do gênero *Macrobrachium*. Ao perceber isso, ele pegou emprestado o termo "*Poti*", da etnia indígena, que significa camarão e unificou com o termo "y" que significa água. Agrupando os dois termos para formar o substantivo aglutinado, temos que seu significado literal pode ser traduzido como "água de camarão" ou "rio de camarão".

Antes de ser chamada assim, Potengi pertencia aos domínios territoriais do município de Assaré e era conhecida como Xique-Xique. Esse nome surgira em decorrência dos primeiros habitantes que formaram um povoado, no final do século XIX, ao redor de uma lagoa (hoje centro da cidade) com muita aglomeração de cactáceas do gênero *Piloceneus*. Esses primeiros habitantes chegaram ao vilarejo e formaram suas bases familiares que até hoje são influentes. A saber, temos a família Guedes que veio de Portugal e de Manoel Monteiro e Israel Tenório Cavalcante, oriundos de Palmeira dos Índios, Alagoas. A vila de Xique-Xique recebeu status oficial de vila em 22 de novembro de 1913.

Nos primeiros 40 anos da história de Xique-Xique, a construção da sua primeira capela foi um marco significativo para a comunidade. Inaugurada em março de 1910, estava localizado onde hoje se encontra a Praça Cézar Carls e sua frente

era virada para o sul (a atual igreja matriz de São José tem sua frente virada para o leste). Um dos momentos mais emblemáticos ocorrera no ano de 1902, quando, o já reconhecido, Padre Cícero Romão Batista¹³ trouxera a imagem de São José, padroeiro da cidade, para ser celebrada a primeira missa, prevendo que o vilarejo ainda se tornaria uma grande cidade no futuro.

A construção dessa capela e a presença do Padre impulsionaram o crescimento populacional e a formação de núcleos familiares miscigenados. Destacam-se dois casamentos importantes: em 1920, Antônia Brilhante com Manoel Monteiro, unidos por um episódio curioso envolvendo o empréstimo a morte de um boi e, Antônia Guedes com Israel Tenório Cavalcante que faleceu em 1932, deixando seus bens para a esposa, incluindo um casarão que até hoje é morada dos descendentes dela.

Entre 1925 e 1945, Xique-Xique recebeu novos habitantes, como Herculino Marrocos Leite e Seu filho Geraldo Marrocos, que formaram família com a viúva Antônia Guedes. O período também foi marcado pela chegada de José Saraiva Correia, conhecido como Seu Zuzinha, homem religioso e intelectual. Nascido em Jardim (antigo distrito de Barbalha), foi designado pela Diocese de Crato como professor no distrito de estiva, Santana do Cariri, e casou-se em 1922 com Luzia Correia da Luz, cuja irmã, Francisca Correia da Luz, ganhou notoriedade como parteira, sendo homenageada com o nome de uma rua em Potengi.

Seu Zuzinha, ao se estabelecer no vilarejo, contribuiu significativamente para o desenvolvimento da comunidade ao fundar uma escolinha para alfabetização infantil e uma sociedade cristã de apoio aos mais necessitados, tornando-se a personalidade mais influente da época. No ano de 1936, José Correia Saraiva, é informado sobre a passagem do então governador do Ceará, Francisco de Menezes Pimentel, pelo povoado de Xique-Xique e é designado, pela diocese de Crato, para recepcionar o Governador com um discurso em que Seu Zuzinha impressionou com sua eloquência e habilidades intelectuais. Sensibilizado com o depoimento, o governador decretou a construção de uma escola batizada em homenagem ao seu

¹³ Fundador da cidade de Juazeiro do Norte, CE e representante religioso que influenciou as grandes romarias de Juazeiro que reúnem fiés de todo Brasil (Romaria das Candeias, Romaria de Finado, Romaria de Nossa Senhora das Dores)

nome, do açude Barragem e a instalação dos correios e telégrafos e, ainda nomeando seu Zuzinha interinamente como oficial do Registro Civil do distrito.

Nos anos 40, Luiz Gonzaga de Figueiredo, conhecido como “Seu Luzinho”, usou sua influência política para retirar Xique-Xique dos domínios de Assaré e anexá-lo ao município de Araripe, julgando enfrentar dificuldades de acesso ao município a qual o vilarejo pertencia. Esse processo foi oficializado em 1935, pelo Decreto nº 1.540, tornando Chique-Chique (com esta grafia) um dos distritos de Araripe.

Com a proximidade e o crescimento político da região, Dona Maria Loiola, liderança política influente no município de Araripe, incentivou Luiz Gonzaga a se candidatar à prefeitura de Araripe em 1954. Ele venceu e isso abriu caminhos para a independência do distrito. Em um acordo político, renunciou ao cargo para governar Chique-Chique por dois anos. Junto com Francisco Guedes e Maria Loiola de Alencar, articulou um projeto de lei para a emancipação do distrito. Em 1951, Chique-Chique foi renomeado Ibitiara e, em 1957, tornou-se o município de Potengi, nome dado por Luiz Gonzaga de Figueiredo.

3.2 Breve história dos ferreiros de Potengi

O desenvolvimento político e estrutural de Xique-Xique, impulsionado pelas lideranças de José Saraiva Correia e Luiz Gonzaga de Figueiredo, atraiu figuras importantes para a região. Entre elas, Raimundo Gomes da Silva, conhecido como Mestre Nêgo, um ferreiro que chegou ao povoado em 1932, vindo do distrito de Estiva, Santana-do-Cariri, em busca de melhores condições de vida.

Inicialmente, Xique-Xique tinha sua economia baseada na agricultura e pecuária, mas com a chegada dos ferreiros Antônio Leite, Antônio Paraibano do estado da Paraíba e José Feitosa, Zé nonato e Mestre Nêgo do município de Santana do Cariri, a metalurgia se tornou uma forte atividade econômica e próspera, sendo Mestre Nêgo reconhecido por ser o primeiro ferreiro a pisar em solo potengiense. Os habilidosos ferreiros fabricavam facas, foices, enxadas e facões, expandindo a produção para além da vila e carregando a fama do lugar para outras regiões do nordeste.

A liderança comunitária exercida por José Saraiva Correia como professor no distrito de Estiva, município de Santana do Cariri, e outros como Seu Luzinho, pode ter motivado a vinda de Mestre Nêgo ao vilarejo no ano de 1932, após uma tentativa frustrada de instalar moradia no município de Assaré. Ele se estabeleceu em Xique-Xique provavelmente, atraído pelo rápido crescimento econômico local e pelas fortes influências que os líderes comunitários tinham à época.

Devido ao calor intenso da região somado ao calor da fornalha, estes pioneiros na arte da metalurgia desenvolveram o hábito de trabalhar à noite, conferindo a Potengi a fama de “a cidade que não dorme”. Este conhecimento de forja começou a ser transmitido entre gerações, e o uso de técnicas e instrumentos milenares como o fole, “tanásia”, bigorna e a marreta. O fole, por exemplo, já era empregado há séculos pelos povos do Saara para controlar fogueiras e foi fundamental na evolução da metalurgia local, consolidando Potengi como referência na fabricação de ferramentas metálicas.

A tradição metalúrgica de Potengi tem raízes na Idade Média, e suas técnicas de forja ainda são aplicadas nos dias de hoje. O trabalho de forja ocorre em dupla: o mestre, que detém o conhecimento e direciona o processo, e o ajudante, cujo trabalho é voltado para o esforço.

Mestre Nêgo, por exemplo, transmitiu seu conhecimento a dois ajudantes, Jurema (sem registros de descendência) e Raimundo Batista de Lima, conhecido como Durval. Este por sua vez, já era ferreiro na região dos Inhamuns, estado do Ceará mesmo antes de chegar a Potengi. Juntos, construíram um patrimônio significativo. Outro mestre ferreiro, Antônio Leite, treinou seus sobrinhos, Antônio Batista e Luiz Batista, que começaram a trabalhar como ferreiros na década de 1960 e revolucionaram a forja de metais na região. Seu Luiz Batista manteve sua oficina ativa por décadas, e seu filho, Raimundo Vanderlei Leite de Andrade, mantém viva a tradição iniciada por seu pai até os dias de hoje.

A inovação na metalurgia potengiense veio com o uso de novas matérias-primas e técnicas, como a têmpera de foices feitas com molas de caminhão e resfriadas em óleo queimado, garantindo maior resistência. Além da forja, os mestres ferreiros também eram agricultores. As contribuições dos irmãos Batista e

de Mestre Nêgo revolucionaram a qualidade das peças produzidas, consolidando Potengi como um centro de referência na metalurgia.

Outros ferreiros também contribuíram para a identidade metalúrgica e cultural de Potengi, como Chiquinho Engenho, Dedé de Alderiza que também fazia manutenção de instrumentos de trabalho, e Zezinho Nonato.

A relação cultural entre Potengi e seus ferreiros é tão marcante que, além de serem destaque em diversas mídias, tornaram-se tema de estudo do produtor musical Raimundo Erivan Lucena. Sua obra *Madrugada em Potengi*, uma composição instrumental, captura o ritmo das marretadas e o som do impacto do metal na bigorna musicalizando nossa característica mais marcante.

A profissão de ferreiro sempre desempenhou um papel essencial no desenvolvimento econômico e cultural da cidade. Inicialmente, foi uma das principais impulsionadoras da economia local, fabricando instrumentos agrícolas fundamentais para a agricultura, principal atividade da região. Com influências africanas e técnicas que remontam à Idade Média, essa tradição se mantém viva, mas enfrenta o risco de desaparecer devido à falta de retorno financeiro para as novas gerações.

Diante desse cenário, torna-se urgente resgatar e registrar a história dos ferreiros de Potengi, cuja contribuição para o município ainda não recebe o reconhecimento merecido. Conhecida como "a cidade que não dorme" por conta do trabalho incansável dos ferreiros, os habitantes e políticos da cidade de Potengi precisam valorizar esse legado para preservar sua identidade cultural e histórica.

4 FUNDAMENTOS DA TERMODINÂMICA: A física dos homens de ferro

4.1 A evolução do conceito de calor¹⁴

A fascinante jornada que acompanha o desenvolvimento da ciência ao longo dos séculos, trouxeram muitas contribuições importantes que colaboraram com o progresso da sociedade. Com o conceito de calor, não foi diferente. Desde as primeiras especulações filosóficas até as teorias modernas da termodinâmica, a compreensão do calor evoluiu significativamente.

O estudo das interpretações históricas de fenômenos requer recortes temáticos e temporais bem definidos pois a definição dos conceitos depende diretamente da visão de mundo que a sociedade possui, como por exemplo, os gregos consideravam o calor como uma qualidade elementar associada ao fogo (SILVA, FORATO & GOMES, 2013). A alquimia, presente em diversas culturas, buscava compreender os segredos da matéria, a cura de males e aprimorar o espírito vinculados à transformação da matéria. Paracelsus, considerado o pai da toxicologia, introduziu o termo "alcahest" como substância purificadora e medicinal, posteriormente associado ao fogo por Jan Baptist Van Helmont. (SILVA, FORATO & GOMES, 2013).

Com o surgimento do método científico, começaram as primeiras investigações mais rigorosas sobre o calor. Um dos primeiros modelos foi a teoria do calórico, que dominou o pensamento científico por mais de um século. Segundo essa teoria, o calor era considerado um fluido invisível que se movia entre os corpos. Essa ideia foi reforçada por cientistas como Antoine Lavoisier, que tentava explicar fenômenos térmicos com base nessa substância hipotética (SILVA, FORATO & GOMES, 2013).

Diferentes teorias buscavam explicar a natureza do calor, tanto o entendendo como substância, ou relacionado ao movimento da matéria. À primeira visão eram adeptos, dentre outros, alguns dos filósofos naturais já

¹⁴ Todas as informações apresentadas neste item é um resumo do artigo: concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos, que está disponível no link: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165536.pdf> e referenciado no final deste trabalho.

discutidos, por exemplo, Becher, Stahl, Priestley, Black e Lavoisier (SILVA, FORATO & GOMES, 2013 p. 519).

O século XVIII trouxe mudanças na forma de fazer ciência, com a necessidade de sistematização das observações e a comunicação das ideias e, com ela, surge outra concepção a respeito da teoria do calor. George Ernst Stahl atribuiu ao princípio inflamável dos corpos o nome de flogístico, explicando combustão e calcinação (SILVA, FORATO & GOMES, 2013).

Adeptos desta teoria, estudaram os ares (gases) e construíram equipamentos para analisar seus comportamentos. Vários filósofos naturais se dedicaram às medições de temperatura e ao desenvolvimento de termômetros. Joseph Black realizou estudos sobre calor específico e calor latente¹⁵, evidenciando a ideia do calor como uma quantidade de algo, logo ele chegou à conclusão que diferentes corpos possuem diferentes capacidades para a matéria do calor, influenciando sua distribuição (SILVA, FORATO & GOMES, 2013).

Antoine Laurent Lavoisier, na tentativa de refutar a teoria do flogístico, afirmou que o fósforo e o enxofre aumentavam de peso ao queimar e, juntamente com Priestley e Cavendish, realizaram alguns experimentos que fizeram eles a chegar à conclusão de que a combustão era uma reação química que ocorria devido ao calórico presente no ar (SILVA, FORATO & GOMES, 2013).

O dilema sobre a natureza do calor envolvia a dicotomia entre calor como substância (calórico) e calor como movimento. Lavoisier e Laplace discutiram essas interpretações num trabalho científico publicado em 1780 intitulado Memórias sobre

¹⁵ Joseph Black, químico e físico escocês do século XVIII, foi um dos pioneiros nos estudos sobre calor, sendo responsável por descobertas fundamentais para o desenvolvimento da Termodinâmica. Entre 1760 e 1764, ele formulou os conceitos de calor específico e calor latente, a partir de experimentos cuidadosos envolvendo substâncias como água, gelo e mercúrio. Ao observar que diferentes materiais exigiam quantidades distintas de calor para elevar sua temperatura em um mesmo grau, Black desenvolveu a noção de calor específico — a quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância. Em seus estudos sobre mudanças de estado físico, Black também percebeu que, durante a fusão do gelo ou a vaporização da água, o calor era absorvido sem provocar variações na temperatura. A esse fenômeno, ele deu o nome de calor latente, por estar “oculto” no processo de transformação da matéria. Essas descobertas foram fundamentais para a criação da calorimetria moderna e influenciaram diretamente o avanço dos motores térmicos, como os desenvolvidos por James Watt. A partir da compreensão de que o calor pode atuar tanto no aumento da temperatura quanto na mudança de estado físico, Joseph Black ajudou a estabelecer os princípios que mais tarde seriam formalizados na ciência da Termodinâmica.

o calor (em francês, "Mémoire sur la Chaleur"), isso foi fundamental para o desenvolvimento da teoria matemática do calor e para a compreensão da natureza da energia.

As tentativas de refutar o calórico continuaram no início do século XIX, com os trabalhos de Humphry Davy e Thomas Young (SILVA, FORATO & GOMES, 2013). Davy, por exemplo, realizou experimentos que mostravam que o calor podia ser gerado sem a necessidade de um fluido calórico. Em um de seus experimentos notáveis, ele friccionou dois blocos de gelo um contra o outro em um ambiente isolado, observando que o gelo derretia devido ao atrito, mesmo sem a presença de um fluido térmico. Esse resultado reforçava a ideia de que o calor era um efeito do movimento das partículas, em vez de uma substância material que se transferia entre os corpos.

Thomas Young, por sua vez, contribuiu para essa mudança de paradigma ao apoiar a concepção de que o calor era uma forma de energia associada ao movimento das moléculas. Young, que também fez contribuições fundamentais para a teoria ondulatória da luz, ajudou a consolidar a ideia de que fenômenos naturais poderiam ser explicados por princípios mecânicos e energéticos, em vez de fluidos hipotéticos, pondo um fim na teoria do calórico (BUCUSSI, 2006).

Pegando carona nas ideias de Young, Julius Robert Mayer e James Prescott Joule associaram o calor a um tipo de trabalho realizado, formulando, assim o princípio da conservação da energia. O termo "energia" incorporado ao conceito de calor e a sua concepção como energia em trânsito pareceu responder às perguntas, embora a natureza da energia permanecesse complexa (SILVA, FORATO & GOMES, 2013).

O entendimento do calor como uma onda eletromagnética começou a se desenvolver no século XIX com os avanços na física. A principal revelação veio com James Clerk Maxwell, que formulou suas equações do eletromagnetismo em 1864. Essas equações mostraram que a luz e outras formas de radiação eletromagnética eram ondas que se propagavam no espaço. Mais tarde, em 1900, Max Planck deu um grande passo ao introduzir a teoria dos quanta para explicar a radiação térmica emitida por corpos quentes. Esse estudo lançou as bases da mecânica quântica e permitiu uma compreensão mais profunda de como o calor pode ser associado à

radiação eletromagnética. Dessa maneira então, o calor começou a ser compreendido como uma forma de energia que pode ser transferida por ondas eletromagnéticas, como a radiação infravermelha, e, é assim que hoje podemos compreender melhor o funcionamento básico da “mecânica” térmica uma vez que, ela é o princípio básico para entender a maneira de como o eletromagnetismo se trata do transporte de energia por meio de flutuações dos campos elétrico e magnético. A luz, ou radiação eletromagnética¹⁶, pode ser observada sob diferentes formas, ou seja, em diferentes faixas espectrais: visível, infravermelho, ultravioleta, ondas rádio, etc.

A seguir, entenderemos como a física quântica contribui para o entendimento sobre o comportamento da energia térmica em níveis microscópicos. A física quântica revolucionou nossa compreensão sobre o calor ao mostrar que a energia térmica não é um fluxo contínuo, mas sim transferida em quantidades discretas, chamadas quanta.

4.2 Corpo negro

Um objeto em altas temperaturas, assim como o nosso sol, é capaz de emitir luz. A pergunta é: como esse fenômeno deu origem à física quântica? De 1860 até 1890, graças ao físico James Clarke Maxwell, ocorreram avanços significativos na teoria eletromagnética e, conseqüentemente, a dimensão da real natureza da luz como sendo uma onda eletromagnética. Graças aos estudos de Maxwell, o eletromagnetismo se consolidou como uma das teorias mais completas da física, assim como a termodinâmica, essa outra área da física, também já era considerada uma das teorias mais completas na época (VIEIRA & VIDEIRA, 2019)

Só que havia um pequeno problema. No final do século XIX, o experimento chamado radiação de corpo negro desafiava os físicos. Esse experimento consiste em objeto que emite luz por conta da sua temperatura. O ponto interessante aqui é que a luz é um dos tópicos de estudo do eletromagnetismo, enquanto a temperatura é núcleo de estudo da termodinâmica. Então, nada mais justo do que utilizar essas

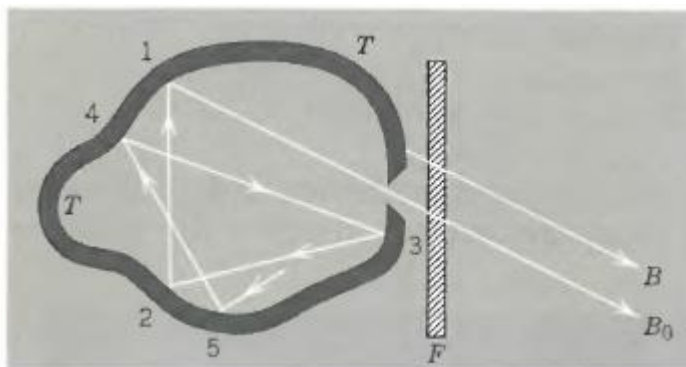
¹⁶ Enciclopédia Britânica, 2025. Disponível em: https://www.britannica.com/science/electromagnetic-spectrum?utm_source=chatgpt.com data de acesso: 20/06/2025.

duas teorias para explicar por que objetos com alta temperatura brilham, assim como o nosso sol ou um metal aquecido usado para forjar ferramentas (JAMMER, 1989). Antes de prosseguirmos, vamos entender melhor o que é corpo negro.

Nós aprendemos sobre o espectro eletromagnético que todos os objetos emitem radiação devido à sua temperatura. O ser humano, por exemplo, tem uma temperatura que varia entre 36°C a 37°C . Isso significa que o corpo está emitindo uma radiação de acordo com essa temperatura, que seria uma radiação infravermelha pois não é visível aos olhos humanos. O ponto chave é o seguinte: se colocarmos um objeto capaz de detectar qual radiação que está saindo no meu corpo, ele vai detectar a radiação térmica, que é a radiação produzida pela temperatura do corpo, mas também vai acabar captando a radiação ambiente que chega no corpo e é refletida na direção de um detector. Essa mistura não é legal para física, porque você acaba misturando efeitos diferentes, coisas diferentes. No caso, corpo negro é objeto idealizado aonde toda a luz que bate nesse objeto não é refletida (STUDART, 2000 p.524)

A ideia do corpo negro surge porque a gente aprende em ótica que, um objeto negro, objeto preto, não reflete luz, ele absorve toda a luz. Mas nada impede de que, por conta da sua temperatura, ele consiga emitir radiação térmica. Então, o corpo negro, figura 01 a seguir, é aquele objeto que não reflete, mas que conseguimos estudar aquele efeito gerado por radiação térmica. (JAMMER, 1989)

Figura 1: Representação esquemática de um corpo negro.



Fonte: Halliday e Resnick. Basics concepts in relativity early theory quantum. P.130

No final do século XIX, já existiam dados experimentais que mostravam que corpo negro emitia vários tipos de radiações em quantidades específicas, e que elas poderiam variar com a temperatura. O ponto interessante é que até então não existia nenhuma teoria, nenhuma expressão matemática que explicasse esse comportamento e essa variação na quantidade de radiação produzida de acordo com a temperatura. Uma das ideias mais pertinentes acerca do corpo negro, foi iniciada por Josef Stefan no ano de 1879 e ela descreve empiricamente a relação entre a energia radiada por um corpo negro e sua temperatura. Ele deduziu que a potência total emitida por um corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Essa revelação foi posteriormente derivada teoricamente por Ludwig Boltzmann em 1884¹⁷, consolidando um dos princípios fundamentais da radiação térmica. (STUDART, 2000)

A Lei de Stefan-Boltzmann, é essencial para diversas aplicações na física, incluindo a compreensão da radiação estelar e dos processos térmicos em diferentes materiais. Logo, temos a famosa relação entre a constante de Boltzmann (σ) e a temperatura na escala absoluta. (JAMMER, 1989)

Suponha que P seja a energia térmica radiante emitida por segundo, A seja a área da superfície do emissor e T seja a temperatura da superfície em escala absoluta. De acordo com a lei de Stefan-Boltzmann,

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \quad (1)$$

em que P/A é o fluxo radiativo, T é a temperatura e σ é a constante de Stefan-Boltzmann cujo valor é conhecido e igual a $5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-4}$. Esse valor foi matematicamente obtido por ele quando se resolve a expressão. (JAMMER, 1989)

$$\sigma = \frac{2P^5 k_B^4}{15h^3 c^2} \quad (2)$$

onde, k_B é a constante Boltzmann, h é a constante de Planck e c , é a velocidade da luz no vácuo.

Para objetos que não são corpos negros, a equação de Stefan-Boltzmann modifica para

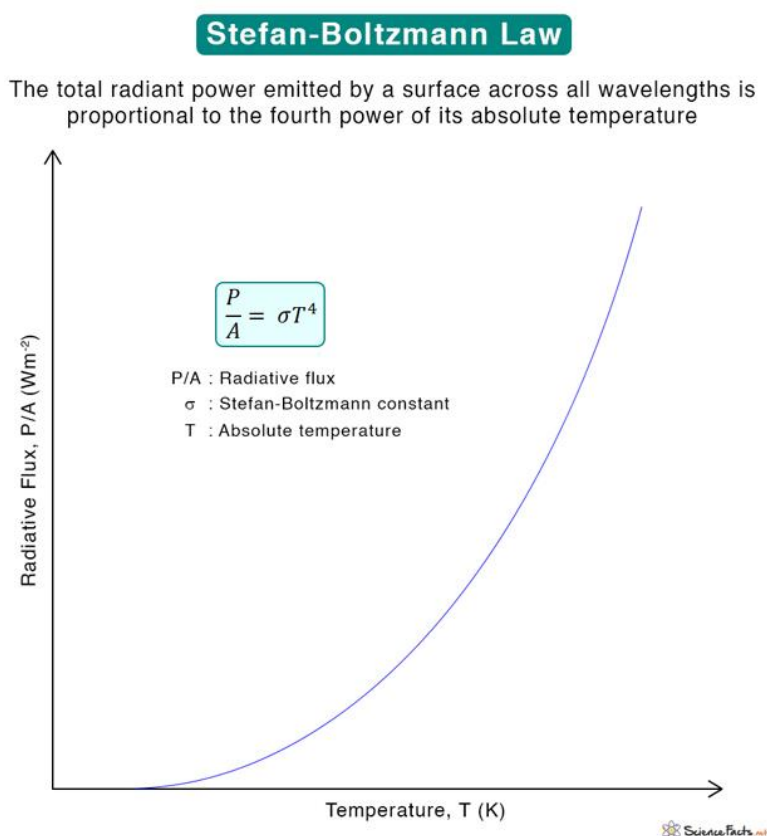
¹⁷ Informações disponíveis em Stefan-Boltzmann Law: Statement and Formula data de acesso: 17/05/2025

$$\frac{P}{A} = \varepsilon \sigma T^4 \quad (3)$$

em que ε é a emissividade e se trata de uma propriedade física que descreve a capacidade de um material de emitir energia na forma de radiação térmica. Ela varia entre 0 e 1, onde 1 corresponde a um corpo negro ideal, que absorve e emite toda a radiação incidente sobre ele.

A lei de Stefan-Boltzmann pode ser derivada usando a fórmula de Planck para radiação. Ela é integrada ao longo do comprimento de onda para obter a potência radiativa (JAMMER, 1989). O gráfico 01 a seguir ilustra o comportamento da potência radiante total emitida por uma superfície em todos os comprimentos de onda sendo proporcional a quarta potência da temperatura na escala absoluta.

Gráfico 1: Potência radiante total emitida por uma superfície em todos os comprimentos de onda



Fonte: <https://www.sciencefacts.net/stefan-boltzmann-law.html> data de acesso: 18/05/2025

Até compreender como o problema do corpo negro foi solucionado, tentativas muito pertinentes e porque não, famosas, surgiram antes da solução

definitiva proposta por Max Planck, dois esforços notáveis foram feitos para explicar a radiação do corpo negro (STUDART, 2000).

A primeira tentativa foi feita pelo físico Wilhelm Wien. Ele unificou a termodinâmica com o eletromagnetismo, chegando na expressão matemática

$$\rho(\lambda, T)d\lambda = \frac{c^4}{\lambda^5} f\left(\frac{c}{\lambda T}\right) d\lambda = \lambda^5 \phi(\lambda T) d\lambda \quad (04)$$

e como o comprimento de onda varia com a temperatura (T) temos que

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = b \quad \text{ou} \quad \lambda_{m\acute{a}x} \propto \frac{1}{T} \quad (05)$$

ou (3)

Nessa expressão, λ é o comprimento de onda em metros, para qual a intensidade da radiação eletromagnética emitida é máxima, T é temperatura do corpo na escala absoluta e b é constante de proporcionalidade, chamada de constante de dispersão de Wien que tem valor igual a $b = 2,8977685 \times 10^{-3} m.K$ e isso resulta em

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{0,0028976}{T} \quad (06)$$

em que b é dependente da forma da função

$$f\left(\frac{c}{\lambda T}\right)$$

A lei de deslocamento de Wein formulada em 1892, como ficou conhecida, explica muito bem o funcionamento do corpo negro para pequenos comprimentos de onda (altas frequências), ou seja, ela dava certo perto do ultravioleta, mas falha em altos comprimentos de onda (baixas frequências) na parte do infravermelho (HALLIDAY, RESNICK, 1992).

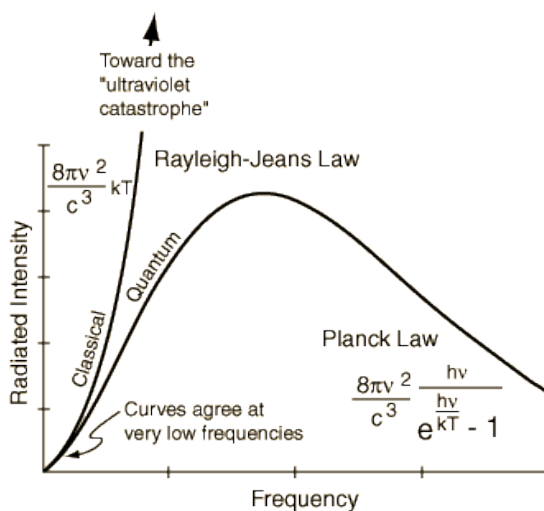
A segunda a alternativa de explicar a radiação de corpo negro foi apresentada por Rayleigh Jeans e Sir James em 1905. Eles também unificaram o eletromagnetismo com a termodinâmica e chegaram numa expressão matemática.

$$N(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu}{c^3} \nu^2 d\nu \quad (07)$$

Porém, a expressão acima apresentada dava certo para os altos comprimentos de onda (infravermelho), só que, à medida que se caminha para os

baixos comprimentos de onda (ultravioleta) ela simplesmente aumenta infinitamente. E isso apresentou vários problemas físicos, porque seria a mesma coisa que dizer que corpo negro emitiu uma quantidade infinita de energia na forma de ultravioleta. Isso fere todos os princípios físicos. Essa tentativa ficou conhecida como a catástrofe do ultravioleta (Ver gráfico 02). (HALLIDAY, RESNICK, 1992).

Gráfico 2: Relação entre intensidade da radiação em função da frequência, comparação da teoria clássica e da teoria de Planck



Fonte: Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/dimensional/2009/02/07/023/>

Como que duas teorias que utilizaram tanto o eletromagnetismo quanto a termodinâmica, chegaram em resultados totalmente diferentes? Isso acontece porque, ao juntar duas teorias, nós precisamos, antes de tudo, propor um modelo. É como se a gente estabelecesse algumas regras antes de começar a misturar as teorias matematicamente¹⁸ (KUHN, 1962).

No modelo de Rayleigh-Jeans se postula que os átomos do corpo negro vibram com a mesma frequência, como se tivéssemos uma frequência média. Esse modelo parecia excelente porque ele estava completamente alinhado com a física da época. Só que ele apresentava problema muito grande. Isso porque dentro do

¹⁸ Um autor que discute como diferentes teorias podem chegar a resultados incompatíveis quando aplicadas fora de seu domínio de validade é Thomas Kuhn, especialmente em seu trabalho "A Estrutura das Revoluções Científicas" de 1962. Kuhn examina como a ciência avança não apenas por adições incrementais de conhecimento, mas por mudanças de paradigma, onde modelos previamente estabelecidos precisam ser revisados ou totalmente reformulados para acomodar novas observações.

espectro do infravermelho, os átomos vibram com uma baixa frequência, a uma determinada quantidade de energia. À medida que os átomos iam vibrando cada vez mais, a quantidade de energia aumenta proporcionalmente, uma vez que, dentro do espectro do ultravioleta os átomos vibram com uma quantidade de energia relativamente maior. E, em nenhum momento, a teoria descrita por Rayleigh-Jeans prevê uma queda dessa energia, como a gente observa nos dados experimentais. Então veio o Max Planck, que propôs modelo com energia quantizada. (HALLIDAY, RESNICK, 1992).

Richard Feynman (1918-1988), conhecido por sua habilidade didática em física, trouxe uma explicação bem interessante, comparando o modelo de Rayleigh-Jeans com modelo de Planck, e explica por que o modelo de Planck representa o nascimento da mecânica quântica. Feynman dizia que o modelo de Rayleigh-Jeans era composto por átomos sem personalidade. Uma expressão popular que ajuda a entender essa falta de personalidade da teoria de Rayleigh-Jeans é o famoso “Maria vai com as outras”, o que se uma multidão de átomos estivesse fazendo ao redor dele, ele acabava acompanhando aquela multidão. Já o modelo de Max Planck era diferente, era composto por átomos com personalidade. Então quando átomo acabava encontrando outro, empurrando outro, esse átomo que foi empurrado, ele poderia não sair do lugar e não acompanhar aquela multidão. Ele só iria fazer isso caso aquele empurrão tivesse uma quantidade de energia razoável, uma quantidade de energia mínima e específica. Caso contrário, o átomo de Planck seria daquele tipo: “Daqui não saio, daqui ninguém me tira.” (FEYMAN, 1963).

A apresentação do conceito de *quantum* de energia se deu no dia 14 de dezembro de 1900 por Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1957) para a sociedade alemã de física com um trabalho intitulado “*Sobre a teoria da lei de distribuição de energia no espectro normal*” (Stuart, 2000). O termo usado por Planck para representar a sua nova cosmovisão sobre quantização da energia só foi admitido por ele em um trabalho de revisão do ano de 1911 intitulado “lições sobre a teoria da radiação térmica” (SIMÕES, p.7-11).

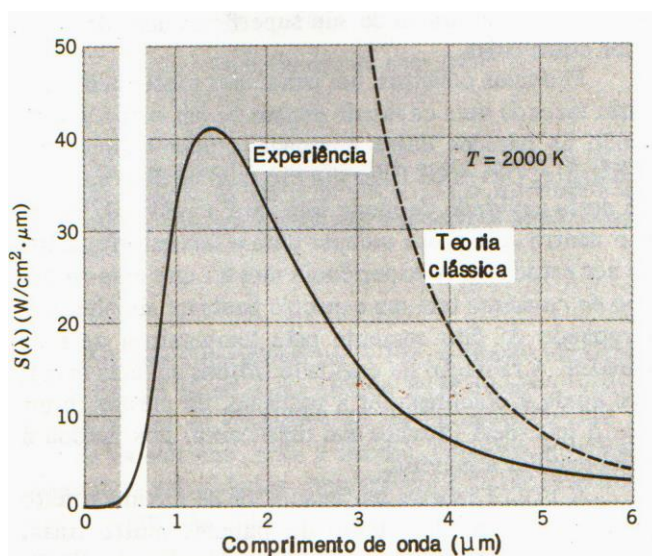
A lei de radiação de Planck representa uma ruptura com as ideias clássicas, até então dominantes à época, como afirma Thomas Kuhn (1987), Halliday e Resnick (1991), Stuart (2000) e muitos outros autores. Sem saber ainda do que se

tratava seu trabalho, Planck descreve-se como um conservador e não aceitou a sua teoria quântica logo de primeira. (STUDART, 2000).

A lei da radiação clássica, conforme dito anteriormente, “está em bom acordo com a experiência para grandes comprimentos de onda não ocorrendo o mesmo para pequenos comprimentos de onda, onde o desacordo é total” (HALLIDAY, RESNICK, 1992 p.158) (ver gráfico 03) A equação a seguir apresenta a lei da radiação clássica em que c é a velocidade da luz no vácuo e k é a constante de Boltzmann.

$$S(\lambda) = \frac{2\pi ckT}{\lambda^4} \quad (08)_$$

Gráfico 3: Radiância espectral de uma cavidade a 2000K. A linha tracejada representa os resultados obtidos pela teoria clássica



Fonte: (HALLIDAY, RESNICK, 1992. p. 158)

Para tentar resolver o problema que ficou cientificamente conhecido como a catástrofe do ultravioleta, Max Planck, se apoiando nas ideias da termodinâmica, muito em função da influência que seu professor Gustav Kirchhoff (1824-1887) e Ludwig Boltzmann (1844–1906) acerca da relação entre entropia e probabilidade, lhe tiveram, ele

...começou a investigar o problema da radiação do corpo negro. De acordo com o teorema de Kirchhoff, a radiação possuía um caráter universal, de modo que Planck procurou uma abordagem que se baseasse na eletrodinâmica e na irreversibilidade do processo que conduzia a radiação ao equilíbrio térmico. A questão principal seria determinar como a radiação e matéria interagem e atingem o equilíbrio. Como podemos explicar um

sistema conservativo formado de radiação eletromagnética e uma coleção de osciladores harmônicos – que Planck chamou de ressonadores – chega ao equilíbrio sem invocar outras hipóteses além das leis da teoria eletromagnética e da termodinâmica? A escolha dos osciladores harmônicos, como um modelo simples para a matéria, pode ser justificada pelo teorema de Kirchhoff que assegura a independência da distribuição da radiação do corpo negro em relação à composição da matéria. (Sturdat, 2000. p. 527)

Segundo Studart (2000) no ano de 1900, Planck propôs uma fórmula para radiância espectral que se adequou perfeitamente aos dados obtidos empiricamente para todos os comprimentos de onda. A lei da radiação de Planck, como ficou conhecida, prevê que a radiância espectral pode ser obtida matematicamente pela expressão conhecida como Lei da radiação de Planck (RALLIDAY e RESNICK, 1992 p.158):

$$S(\lambda) = \frac{2\pi c^4 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (09)$$

Note que, a primeira parte da expressão $\left[\frac{2\pi c^4 h}{\lambda^5} \right]$ está relacionada à densidade de estados das oscilações eletromagnéticas. A segunda parte $\left[\frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right]$ representa a distribuição de ocupação dos estados quânticos. A lei de Planck descreve como a radiação eletromagnética é emitida por um corpo negro à medida que sua temperatura aumenta. Ela é fundamental para entender fenômenos como a radiação de fundo cósmico de micro-ondas¹⁹ e a radiação térmica de objetos aquecidos²⁰. Surgia aqui, uma nova área da física. “A física quântica moderna teve início com a apresentação da lei da radiação de Planck” (HALLIDAY, RESNICK, 1992 p.158)

Ao derivar a lei da radiação de Planck, Einstein descobriu que a introdução de uma constante h (agora chamada de constante de Planck) e, se apoiando nessa teoria ele desenvolveu uma hipótese arrojada: a de que a luz se comporta como se sua energia estivesse concentrada em pacotes discretos, que ele chamou de *quanta*

¹⁹ Um ótimo autor para citar sobre a Lei de Planck e seus efeitos em diferentes fenômenos, incluindo a radiação cósmica, é Steven Weinberg. Em seu livro "Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity", ele aborda como a Lei de Planck e a radiação de corpo negro se relacionam com a formação do universo e a radiação de fundo cósmico.

²⁰ Outra referência importante seria David J. Griffiths, em seu livro "Introduction to Electrodynamics", que também dedica um capítulo à radiação de corpo negro e como ela está relacionada aos conceitos de temperatura e energia térmica.

de luz. Hoje conhecido como fóton de luz, Einstein propôs no ano de 1905 que a energia de um único fóton fosse dado por

$$E = h\nu \quad (10)$$

onde h é a constante de Planck e ν a frequência. Ele assumiu que a energia eletromagnética absorvida pelos átomos durante o efeito fotoelétrico era quantizada, semelhante à sugestão de Planck para a explicação da emissão de corpo negro. (STUDART, 2000)

Considerando cada átomo como sendo um oscilador harmônico, Planck estabeleceu a reação entre densidade de energia $\rho(\nu, T)$ e a energia média $\bar{u}(\nu, T)$ do conjunto dos osciladores harmônicos (STUDART, 2000) chegando à seguinte conclusão:

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \bar{u}(\nu, T) \quad (11)$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo e ν representa tanto a frequência da radiação incidente como a possível frequência dos modos de oscilação dos átomos na parede da cavidade.

4.2 Variação da temperatura em um corpo: Como os ferreiros sabem o momento ideal para forjar o ferro?

De modo que, termodinamicamente falando, a probabilidade de um corpo oscilar em determinada frequência depende da temperatura a qual este corpo está sujeito e da energia dessa oscilação. Nesse caso então, se um corpo oscila com uma energia muito alta, a probabilidade desse corpo vibrar em um modo, é muito baixa. Caso contrário, a probabilidade aumenta para frequências de um corpo em que a energia é mais baixa. (JAMMER, 1989)

O ferreiro do município de Potengi sabe, pela experiência, a hora exata para malhar o metal aquecido. Alguns métodos são relevantes e merecem destaque. Um deles consiste no uso de um ímã: ele é aproximado do metal aquecido, se houver atração, o metal ainda não está quente o suficiente, caso contrário ocorra, ou seja, se o metal perde suas propriedades ferromagnéticas, significa dizer que o metal está na temperatura ideal para início do trabalho.

Estranhamente curioso o uso dessa metodologia por que é a aplicação prática dos conhecimentos sobre o ponto Curie. Também é conhecida como temperatura Curie, é um conceito que se refere à temperatura na qual um material ferromagnético perde suas propriedades magnéticas. Abaixo dessa temperatura, o material é ferromagnético e possui um magnetismo permanente. Acima dessa temperatura, o material se torna paramagnético, ou seja, ele é atraído por um campo magnético, mas não retém o magnetismo quando o campo magnético externo é removido (AUGUSTO, 2025). Para o caso do ferro potengiense, essa temperatura é aproximadamente 1043 K ou 1316,15°C²¹ e sua análise matemática não será objeto de estudo desse trabalho.

Para a situação que envolve uma quantidade de calor, a mudança de temperatura pode ser analisada sobre o enfoque termodinâmico mais clássico. Em 1822, Joseph Fourier escreveu um livro intitulado "Teoria Analítica do Calor", no qual ele apresenta um estudo detalhado e aprofundado sobre a propagação do calor em diferentes materiais e com diversas geometrias. Neste trabalho, Fourier chega à famosa equação do calor sem utilizar operadores diferenciais e analisa a solução desta equação para diferentes casos (PIFER; AURANI, 2015).

A equação do calor também é conhecida como equação da difusão, com algumas pequenas adaptações. Isso significa que o fenômeno de difusão de partículas é muito semelhante ao fenômeno de propagação do calor. Embora a equação possa parecer bastante complexa, já que é uma equação diferencial parcial, podemos utilizar um método chamado "métodos finitos" para trabalhar na solução da equação do calor. Para isso precisamos de uma equação de continuidade que verifique a variação da energia por unidade de tempo descrita em termos de uma corrente de energia em que $\vec{j}$ é a densidade de corrente (JACKSON, 1999).

$$\oint \vec{j} \cdot d\vec{S} = - \frac{dE}{dt} \quad (12)$$

Aplicando o teorema da divergência na equação acima obtemos:

²¹ AUGUSTO, Nathan. Influência da temperatura sobre a Imantação. Brasil escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/influencia-temperatura-sobre-imantacao.htm> data de acesso: 09/01/2025

$$\int_v (\nabla \cdot \vec{J}) dV = \int_v \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right) dV \quad (13)$$

Logo, se obtêm a equação de continuidade

$$\nabla \cdot \vec{J} = - \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (14)$$

Segundo Halliday & Resnick (1992) o calor específico que uma substância pode receber obedece à seguinte equação:

$$dQ = m \cdot c \cdot dT \therefore d\rho = \rho_m \cdot c \cdot dT \quad (15)$$

Usando a equação de continuidade e a equação do calor específico de uma substância, obtemos a seguinte expressão:

$$\nabla \cdot \vec{J} = - \rho_m c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (16)$$

No processo de difusão, o fluxo difusional (J) mede a quantidade de átomos ou a massa (M) que atravessa uma seção transversal de área unitária, perpendicular ao movimento. Na difusão em regime estacionário, considera-se que o fluxo difusional permanece constante ao longo do tempo. Ou seja, a massa do componente que entra na região analisada é igual à massa que sai, sem haver acúmulo. Nesse sentido, a primeira Lei de Fick para estados estacionários, é definida como:

$$\vec{J} = -k \nabla T \quad (17)$$

onde k, é uma constante de proporcionalidade e determina a relação entre o fluxo difusional e o gradiente de concentração.

Tendo como base a equação de continuidade e a equação do calor específico, se substituirmos os termos, na lei de Fick, obtemos a seguinte relação:

$$\nabla(-k \nabla T) = - \rho_m c \frac{\partial T}{\partial t} \therefore \nabla^2 T = \frac{\rho_m c}{k} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (18)$$

A equação acima descrita, descreve a variação da temperatura em um sistema ao longo do tempo.

Uma segunda metodologia de verificação empírica da temperatura é o aspecto visual do metal aquecido. A cor que ele apresenta em determinado instante determina também o início das marretadas para moldar uma peça metálica e

transforma-la em ferramenta. Essa metodologia é ainda mais fascinante pois ela lida com uma área da física que ainda é um campo novo, do ponto de vista temporal, em relação às outras grandes áreas da física. Ela trata justamente das observações realizadas por Max Planck e que desencadeou uma ciência de um campo desconhecido para o início do século XXI e que ainda não se conhece completamente.

4.4 Emissão de ondas eletromagnéticas por corpos aquecidos.

“All objects emit electromagnetic radiation according to their temperature. Colder objects emit waves with very low frequency (such as radio or microwaves), while hot objects emit visible light or even ultraviolet and higher frequencies²².”

A frase dita acima reflete uma consequência extraordinária das descobertas realizadas através da compreensão da física quântica. Em tradução livre, podemos afirmar que qualquer corpo emite radiação eletromagnética de acordo com sua temperatura. Tal afirmação está baseada e relacionada à teoria da radiação de corpo negro, explicada por Max Planck através de sua equação que relaciona densidade de energia $\rho(\nu, T)$ e a energia média $\bar{u}(\nu, T)$ para os átomos considerando-os como osciladores harmônicos.

Quando um metal é aquecido, por exemplo, algumas consequências físicas ocorrem. Segundo Heng²³ (2023), um metal quando aquecido pode sofrer dilatação térmica, aumento de ductilidade, pode causar mudanças no tipo de sua estrutura cristalina, como também oxidação da superfície do metal e a formação de uma camada de óxido sobre ele, destruição das ligações interatômicas causando fusão e,

A radiação térmica dos metais quando aquecidos causa o brilho cereja escuro do aço, que já é perceptível quando aquecido a 550°C (1022°F), e a 850°C (1562°F) torna-se vermelho brilhante, e depois em laranja (950°C, 1742°F), amarelo (1000°C, 1832°F) e branco (1300°C, 2372°F e acima). (...)o espectro da radiação térmica depende da temperatura, portanto, observar as cores da têmpera pode ser usado para estimar a temperatura do metal, que é frequentemente usado em tratamento térmico e forjamento,

²² Disponível em: <https://lco.global/spacebook/light/black-body-radiation/#:~:text=Todos%20os%20objetos%20emitem%20radia%C3%A7%C3%A3o,ultravioleta%20e%20frequ%C3%Aancias%20mais%20altas>. Data de acesso: 30 de maio de 2025.

²³ HENG, SanSi Yong. **O que acontece quando os metais são aquecidos?**. Jun 17, 2023. Disponível em: [O que acontece quando os metais são aquecidos?-pt.sansitesting.com](https://pt.sansitesting.com) data de acesso: 14 de junho de 2025.

especialmente antes da invenção de termômetros sem contato . Nomes de cores brilhantes: "calor vermelho", "calor branco", ainda são frequentemente usados por metalúrgicos em vez de determinar a temperatura exata. A mudança na cor da radiação se deve ao aumento das energias das interações internas, excitação e relaxamento dos átomos metálicos, com o aumento da temperatura. Quanto maior a temperatura, mais intensa essa radiação. Seu espectro é gradualmente enriquecido com radiação de ondas curtas resultante de interações com aumento de energia. Portanto, a principal contribuição da radiação infravermelha em baixas temperaturas muda com o aumento da temperatura para a faixa de luz visível e para a radiação ultravioleta em temperaturas muito altas. (HENG, 2023)

Em outras palavras, a emissão de radiação eletromagnética por metais submetidos a aquecimento é um fenômeno fundamentado na interação dos elétrons com a estrutura cristalina do material. À medida que a temperatura aumenta, há uma intensificação das energias das interações internas, incluindo processos de excitação e relaxamento eletrônico (UAIFISICA, 2020).

Essas transições energéticas resultam na emissão de radiação em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Em temperaturas relativamente baixas, a radiação emitida pelos metais encontra-se predominantemente na região do infravermelho, sendo caracterizada por comprimentos de onda longos e menor energia. Com o aumento da temperatura, há uma gradual incorporação de radiação de ondas mais curtas, levando à emissão de luz visível. Esse fenômeno pode ser observado em metais como o ferro e o aço, que ao atingirem temperaturas superiores a 550°C começam a emitir um brilho avermelhado, evoluindo para tons alaranjados e amarelos conforme a temperatura se eleva. Em temperaturas extremamente altas, acima de 1300°C, a radiação visível torna-se predominantemente branca, podendo até alcançar a faixa do ultravioleta (MOREIRA, 2018).

Essa transição no espectro da radiação é explicada pela lei de radiação de Planck, que descreve a distribuição espectral da radiação térmica de corpos negros, em que, a variação da cor da radiação emitida por metais aquecidos é consequência direta do aumento da temperatura e da ampliação do espectro radiativo, evidenciando estreita relação entre a energia interna dos materiais e suas propriedades ópticas, de modo que, o dipolo oscilante atômico (interação entre o núcleo e a nuvem eletrônica) oscilam devido ao fato do corpo estar em uma determinada temperatura e, de acordo com o eletromagnetismo básico, em que,

dipolos que oscilam a uma determinada frequência, emitem radiação nesta mesma frequência²⁴ (UAIFISICA, 2020). Esse princípio está fundamentado nas equações de Maxwell e na teoria da radiação de dipolo, desenvolvida por Heinrich Hertz.

E assim, podemos compreender que a emissão de radiação eletromagnética por um corpo aquecido se dá, inicialmente por causa dos efeitos vibratórios que a temperatura causa aos átomos, que por possuir natureza de dipolo oscilante, emite radiação térmica na frequência dos efeitos vibratórios que a temperatura causa.

Assim, chegamos ao entendimento que o grande salto para a física quântica ocorreu no final do século XIX, com o trabalho de Max Planck, que propôs a quantização da energia para resolver o "problema da radiação do corpo negro". Sua Lei de Planck, ao introduzir a ideia de que a energia é emitida ou absorvida em quantidades discretas (quanta), revolucionou a compreensão do calor e da radiação. Em vez de tratar a radiação como um fenômeno contínuo, Planck mostrou que ela era quantizada, estabelecendo as bases para o desenvolvimento da mecânica quântica.

Hoje, a compreensão das mudanças de temperatura em um corpo continua a ser influenciada por essas descobertas. Sabemos que a variação de temperatura está relacionada à energia cinética média das partículas dentro de um corpo. A termodinâmica, agora complementada pela mecânica quântica, explica como a energia térmica é transferida através de processos como condução, convecção e radiação, sendo a última um fenômeno governado pela física quântica.

Assim, a história do calor percorreu um caminho que vai da ideia de um fluido misterioso até a moderna física quântica, revelando cada vez mais a complexidade e a beleza dos processos térmicos. Quem diria que uma “simples” atividade de ferreiro traria consigo todas essas formulações e conceituações!

²⁴ Disponível em: Radiação de Dipolo data de acesso 14 de junho de 2025.

5 CAMINHOS METODOLÓGICO DO TRABALHO

5.1 A pesquisa Qualitativa

A abordagem qualitativa na pesquisa em educação destaca-se por sua capacidade de explorar fenômenos educacionais em profundidade, valorizando os significados, percepções e contextos vividos pelos sujeitos. Moreira (2011) contribui significativamente para o entendimento dessas perspectivas.

Pesquisa qualitativa é um termo que tem sido usado alternativamente para designar várias abordagens a pesquisa em ensino, tais como pesquisa etnográfica, participativa observacional, estudo de caso, fenomenológica construtivista, interpretativa, antropológica cognitiva. (p.46)

Embora alguns autores usem outro termo para caracterizar este tipo de pesquisa, não se reduz a um conjunto de técnicas: entrevista, questionário, observação, teoria fundamentada etc. São instrumentos ao serviço de uma postura reflexiva. Supõe-se rigor metodológico necessário mesmo diante da subjetividade dos dados, afirmando que essa abordagem pode gerar conhecimentos profundos e relevantes para o ensino das ciências (MOREIRA, 2011). Além disso, ele defende uma postura integradora, reconhecendo que os paradigmas quantitativo e qualitativo podem dialogar por meio da triangulação metodológica, ampliando a validade e a profundidade dos estudos educacionais.

A partir da visão metodológica de Moreira (2011), a pesquisa qualitativa em educação se apresenta como uma abordagem robusta, reflexiva e transformadora. Ele valoriza o contexto dos sujeitos, o rigor epistemológico, a articulação entre teoria e prática, bem como um caráter político e colaborativo da investigação. Essa abordagem oferece subsídios sólidos para pesquisadores, docentes e estudantes que desejam estudar a educação de forma crítica e contextualizada e utilizá-la de forma responsável no contexto educacional que envolve uma característica cultural inerente a uma situação (como é o caso dos ferreiros de Potengi), possibilita imersão no ambiente estudado, permitindo uma compreensão rica e contextualizada, que valorizam a experiência dos participantes, construindo conhecimentos emocionalmente significativos extraídos de casos particulares.

Importante ressaltar também, o fato de que a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDBEN garante que o ensino seja ministrado em alguns princípios norteadores, e que o currículo seja construído considerando as características culturais regionais e que ele seja complementado, em cada sistema de ensino e em cada estabelecimento escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e dos educandos (BRASIL, 1996).

Percebe-se de forma evidente a importância da valorização da cultura local, não apenas no pequeno município de Potengi, mas em todas as cidades, uma vez que cada uma possui características sociais singulares que oferecem ricas possibilidades de exploração, análise, estudo e debate por parte de professores e estudantes. Essas particularidades locais podem e devem dialogar com os conteúdos das diversas disciplinas escolares.

No caso específico do ensino de Física, que é o foco deste trabalho, a abordagem qualitativa possibilitou uma compreensão mais aprofundada da dinâmica do ofício do ferreiro potengiense, revelando sua relevância econômica, social e cultural para a cidade. A investigação permitiu não apenas conectar conceitos físicos ao cotidiano, mas também contribuir para a construção de uma identidade histórica local. Isso porque o trabalho do ferreiro, além de ser tecnicamente significativo, carrega consigo uma trajetória que ajuda a explicar por que Potengi é conhecida como a cidade que não dorme. Através da análise sob a ótica da Física, foi possível reconstruir elementos dessa história, compreendendo suas origens e os motivos que marcaram a cultura e o modo de vida e, talvez, futuramente, Potengi ser conhecida como a “terra dos ferreiros quânticos”.

5.2 O Contexto da pesquisa

Com a implementação do Novo Ensino Médio, a estrutura curricular passou por mudanças significativas, estabelecendo uma nova organização dos conteúdos escolares. Essa reformulação está prevista na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e regulamentada pela Lei nº 13.415/2017, que altera a LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional). Um dos pilares dessa mudança são os

itinerários formativos. Eles são a grande inovação do Novo Ensino Médio. Eles representam a parte flexível do currículo e têm como objetivo permitir que os estudantes aprofundem seus estudos em áreas de interesse, de acordo com seu projeto de vida e suas aspirações profissionais ou acadêmicas permitindo, ainda, flexibilização do currículo escolar através da implementação de temas que não são “tradicionais”. Por possuir um caráter optativo, os itinerários formativos são conhecidos como disciplinas eletivas. Eles e têm como principal objetivo oferecer aos estudantes maior autonomia, protagonismo e liberdade de escolha, permitindo que aprofundem seus conhecimentos em áreas de interesse pessoal, acadêmico ou profissional. (BRASIL, 2017).

É importante falar sobre a estruturação da atual forma de organização curricular, por que a escola que foi usada como *locus* pedagógico para o desenvolvimento deste trabalho, foi a Escola de Ensino Médio em Tempo Integral Menezes Pimentel, localizada no município de Potengi. Ela faz parte do sistema estadual de ensino público e recebeu esse nome em homenagem ao então governador que estava de passagem pelo distrito de xique-xique²⁵ no ano de 1936.

Situada na Rua Severino Paulino, no bairro São Francisco, a escola atende jovens do Ensino Médio em turmas diurnas e noturnas e, mais recentemente, passou a funcionar em tempo integral, conforme as diretrizes do Novo Ensino Médio.

A escola conta com biblioteca e sala de leitura, laboratórios de Ciências e Informática com acesso à internet, quadra esportiva coberta, pátio amplo e instalações adaptadas para estudantes com deficiência. Além disso, oferece alimentação escolar e possui um ambiente escolar que valoriza a inclusão, a participação e o protagonismo juvenil.

Com base nos dados do último censo escolar²⁶ realizado no ano de 2024, o corpo docente é composto por 30 professores, que atendem cerca de 435 alunos distribuídos em 11 turmas que estão divididas em: ensino médio em tempo integral e ensino técnico de nível médio noturno.

O IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica) é um indicador criado para medir a qualidade do ensino nas escolas públicas do Brasil. Ele é

²⁵ Ver capítulo da história do município de Potengi.

²⁶ Mais informações em <https://qedu.org.br/escola/23154721-eefm-menezes-pimentel>

calculado a cada dois anos com base em dados do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB) e atribui uma pontuação às instituições em uma escala de 0 a 10. O índice é composto por dois principais elementos: o desempenho dos alunos em provas padronizadas — como as avaliações de português e matemática aplicadas pelo INEP — e a taxa de aprovação dos estudantes, ou seja, a capacidade dos alunos de avançar de ano sem repetência.

O gráfico 04 abaixo extraída do portal Qedu.org.br, mostra a evolução do índice da escola EEMTI Menezes Pimentel ao longo dos anos.

Gráfico 4: Evolução do IDEB da Escola Menezes Pimentel ao longo dos anos.



Fonte: <https://qedu.org.br/escola/23154721-eefm-menezes-pimentel/ideb>

Pelos dados coletados do Instituto Nacional de Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira -INEP, o índice alcançado pela a Escola de Ensino Médio em Tempo Integral Menezes Pimentel no ano de 2023 foi de 4,2. Isso significa uma queda em relação ao IDEB de 2021 significando que houve uma piora no desempenho geral da

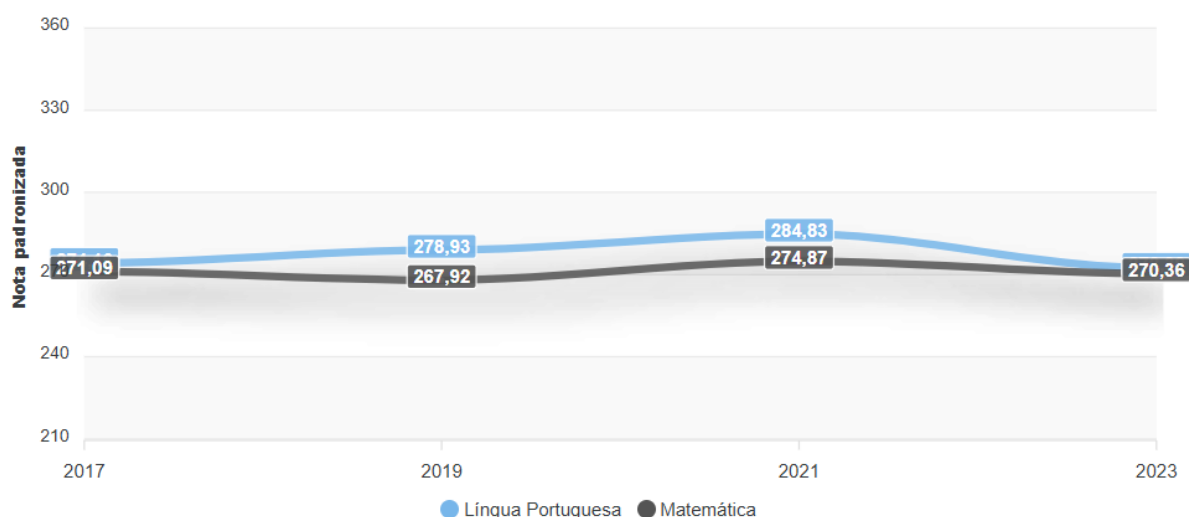
instituição em relação aos critérios avaliados. Essa queda pode indicar que os alunos tiveram um rendimento inferior nas provas padronizadas de português e matemática aplicadas pelo INEP, ou que a taxa de aprovação diminuiu, ou seja, mais estudantes repetiram o ano ou abandonaram os estudos. O IDEB é composto justamente por esses dois fatores — desempenho nas avaliações e fluxo escolar — e uma queda no índice é um sinal de alerta. Ela aponta para a necessidade de análise e intervenção por parte da escola e dos gestores educacionais, a fim de identificar as causas do problema e buscar soluções para melhorar a qualidade do ensino e o aprendizado dos alunos.

O gráfico 05 a seguir mostra a evolução das notas do Saeb, obtidas por meio de provas padronizadas de português e matemática aplicadas a estudantes da Escola, elaboradas e aplicadas pelo INEP.

Gráfico 5: Evolução da escala do Saeb para as disciplinas de Português e Matemática da Escola Menezes Pimentel ao longo dos anos.



Evolução nota Saeb



Fonte: Ideb 2023, Inep.

Fonte: <https://qedu.org.br/escola/23154721-eefm-menezes-pimentel/ideb>

Para entender melhor o significado dos números indicado pela tabela acima, a escala de proficiência do SAEB é uma ferramenta que expressa, em forma numérica, o nível de aprendizagem dos alunos avaliados nas disciplinas de Língua Portuguesa (com foco em leitura) e matemática. Essa escala varia de acordo com a etapa de ensino – 5º e 9º anos do ensino fundamental e 3º ano do ensino médio – e é construída com base na Teoria de Resposta ao Item (TRI), um método estatístico que permite comparações ao longo do tempo, mesmo que as provas não sejam exatamente iguais em cada edição. A pontuação dos alunos é representada em uma escala contínua e cumulativa: quanto maior a pontuação, maior o nível de habilidades e conhecimentos demonstrados. Nesse sentido, no 5º ano do ensino fundamental, por exemplo, os resultados costumam variar entre 125 e 325 pontos; no 9º ano, entre 225 e 375 pontos; e no 3º ano do ensino médio, entre 275 e 425 pontos, aproximadamente. Esses resultados são agrupados em faixas ou níveis de proficiência, cada um representando o que o aluno é capaz de fazer.

Verifica-se então que, ao compararmos as proficiências da EEMTI Menezes Pimentel com a escala do aprendizado, disposta na imagem a seguir, podemos inferir que esses resultados mostram que os alunos demonstram domínio de habilidades básicas e intermediárias em leitura e resolução de problemas matemáticos. No entanto, ainda não atingem os níveis mais altos da escala, que exigem competências mais avançadas, como a interpretação de textos complexos, a identificação de recursos linguísticos mais sutis ou a resolução de problemas matemáticos que envolvem múltiplas etapas e raciocínio abstrato. Isso significa que, embora não se trate de um desempenho baixo, também não é considerado excelente, apontando a necessidade de reforço pedagógico para garantir o avanço dos estudantes em direção a níveis mais elevados de aprendizagem. Esses dados são importantes porque permitem que professores, escolas e gestores compreendam em que estágio os alunos se encontram e possam planejar ações voltadas à superação das dificuldades ainda existentes.

Desde 2022, com a adesão ao modelo de Ensino Médio em tempo integral, a escola passou a oferecer um currículo expandido, composto tanto pela formação geral básica (com disciplinas obrigatórias da BNCC) quanto por itinerários formativos

e disciplinas eletivas. Ela – BNCC - estabelece uma carga horária total de 3.000 horas ao longo dos três anos dessa etapa de ensino, com o objetivo de ampliar o tempo dos estudantes na escola e proporcionar uma formação mais flexível e personalizada. Desse total, pelo menos 1.800 horas devem ser destinadas à Formação Geral Básica, que corresponde às disciplinas obrigatórias definidas pela Base Nacional Comum Curricular, como Língua Portuguesa, Matemática, Ciências, História, Geografia, entre outras. As demais 1.200 horas são reservadas para os itinerários formativos, que são percursos de aprofundamento nas áreas do conhecimento — Linguagens, Matemática, Ciências da Natureza, Ciências Humanas — e na formação técnica e profissional. Esses itinerários permitem que os estudantes escolham, dentro da oferta da escola, os conteúdos que mais se alinham aos seus interesses e projetos de vida. Além disso, com a nova organização curricular, a carga horária anual mínima passou de 800 para 1.000 horas, o que implica um aumento na jornada diária dos alunos, especialmente nas escolas que não adotam o modelo de tempo integral. Essa mudança busca tornar o ensino médio mais atrativo e conectado às necessidades dos jovens e às exigências do mundo contemporâneo.

Na prática, as disciplinas da base possuem menos tempo de trabalho pedagógico uma vez que, durante a semana, há apenas uma aula destinada às disciplinas das áreas das ciências da natureza (física, química e biologia) enquanto as disciplinas de caráter eletivo, possuem o dobro de aulas. E está aí, o motivo deste trabalho ter sido desenvolvido em uma eletiva escolhida, pela instituição escolar, de um cardápio de componentes eletivos, disponibilizado pela Secretaria de Educação do Estado do Ceará – SEDUC. A eletiva de introdução à física quântica, foi usada como “pretexto” para o desenvolvimento das aulas que procuraram compreender os mecanismos nos quais os ferreiros potengienses conseguem se apropriar empiricamente de conceitos físicos ligados à quântica.

5.3 Instrumentos de coleta de dados

Neste caso é importante salientar que a metodologia desenvolvida neste trabalho considera os fatores biológicos, sociais e afetivos na construção do conhecimento. E para que esta consciência de aprendizagem seja construída para

que seja sólida e duradoura, foi desenvolvida uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) baseada nas concepções de Carvalho (2009).

5.4 Sequência de ensino investigativa (SEI) para basear a intervenção didática

A SEI é uma metodologia de ensino que envolve determinados procedimentos conexos, que permitem aos sujeitos envolvidos a atuação ativa nas atividades propostas para a aprendizagem. Para Carvalho, o “objetivo das atividades relacionadas ao conhecimento científico é fazer os alunos resolverem os problemas e questões que lhes são colocados, agindo sobre os objetos oferecidos e estabelecendo relações entre o que fazem e como o objeto reage à sua ação” (CARVALHO, 2009, p.18).

A Sequência de Ensino Investigativa (SEI) consiste em um conjunto de etapas interligadas que conduzem o aluno a experimentar, refletir e buscar explicações para os fenômenos observados. Carvalho (2009) destaca que a resolução de problemas experimentais deve envolver reflexão, relato, discussão, ponderação e explicações, permitindo que as hipóteses formuladas sejam constantemente testadas, incentivando o pensamento científico desde cedo.

Para isso, é fundamental planejar atividades que possibilitem aos alunos a transição da manipulação prática para a reflexão intelectual. Assim, a estrutura de uma SEI deve contemplar etapas como:

- (i) apresentação de um problema;
- (ii) experimentação com os objetos analisados;
- (iii) compreensão dos efeitos gerados;
- (iv) explicação das causas e possíveis soluções;
- (v) registro das observações e estabelecimento de conexões com o cotidiano.
- (vi) oportunidades de comunicação de resultados pelos estudantes ou abertura para a negociação de significados.

5.4.1 Elaboração da sequência didática para o estudo da radiação eletromagnética no ensino médio contextualizando com o trabalho dos ferreiros de Potengi, CE

A utilização de uma SEI interligadas aos princípios epistemológicos socioafetivos da teoria walloniana e dos preceitos estabelecidos pela aprendizagem ausubeliana como apresentados nesta dissertação, foi elaborada levando-se em consideração não somente o aporte teórico/metodológico, mas também que, ela promove um aprendizado participativo, estimulando nos alunos a capacidade de explorar, formular hipóteses e construir conhecimento de maneira ativa. (HILÁRIO & SOUZA, 2017)

O desenvolvimento da SEI ocorreu com os estudantes do 3º ano do ensino médio da Escola de Ensino Médio em tempo Integral Menezes Pimentel da cidade de Potengi, Ceará. Com a reforma do novo ensino médio ocorrida com a publicação da lei Lei nº 13.415, o currículo passou a ser flexibilizado (Brasil, ano). Os alunos passaram a ter itinerários formativos, podendo escolher áreas de aprofundamento como linguagens, matemática, ciências da natureza, ciências humanas e ensino técnico. Conhecido como eletivas, os itinerários formativos são componentes do currículo do Ensino Médio que permitem aos alunos explorar temas de interesse além das matérias obrigatórias. É importante esclarecer que existem dois tipos de currículo atualmente no ensino médio: um que trata da Base Comum Curricular e outro que trata dos componentes eletivos. As disciplinas da base são de caráter nacional e são divididos em áreas do conhecimento: Linguagens e suas tecnologias; matemáticas e suas tecnologias; ciências humanas e suas tecnologias e ciências da natureza e suas tecnologias (BRASIL, ano).

Os componentes eletivos têm caráter regional e procura atender as necessidades locais de cada instituição. O estado do Ceará, oferece às instituições de ensino, o catálogo unidades curriculares eletivas que “possibilita ao estudante exercer protagonismo” conforme seus interesses, “aprofundar e ampliar as aprendizagens em uma ou mais áreas do conhecimento” (CEARÁ, ano).

Desse modo, foi sugerido à referida instituição de ensino, a inserção do componente curricular relativo ao tema desenvolvido por este trabalho. A eletiva de

Introdução elementar à física quântica, então, foi colocada à disposição dos estudantes do ensino médio.

O primeiro contato com os estudantes que escolheram a eletiva, foi a apresentação da ementa²⁷ da disciplina, bem como dos seus objetivos. Realização de um diagnóstico prévio sobre o que seria a tal física quântica e ainda da proposta de promover uma investigação científica do estudo da radiação eletromagnética integrada ao contexto cultural mais marcante no município de Potengi: o ofício de ferreiro.

Apresentamos em detalhes a construção da sequência de ensino articulando nossos pressupostos teóricos sobre a teoria da aprendizagem significativa, a perspectiva da aprendizagem afetiva e ensino de física investigativo. Foram pensadas cinco etapas. As etapas consistem em: formulação do problema; elaboração de hipóteses;

Etapas 1 – formulação de problemas: é essencial para a inicialização de investigação, pois orienta a pesquisa e a busca por soluções eficazes. Quando um problema é bem definido, ele permite que os estudantes direcionem seus esforços de maneira mais precisa e produtiva. Um problema bem formulado estabelece um foco claro para a investigação, evitando dispersão de esforços. Pensando nisso, os estudantes foram orientados a seguir um roteiro contendo algumas perguntas base:

1. Porque Potengi se transformou na terra dos ferreiros?
2. Com quem o ferreiro aprendeu esse ofício?
3. Porque trabalha nessa profissão?
4. Como o ferreiro sabe a hora de marretar o metal?

Etapas 2 – elaboração de hipóteses: esta etapa permite formular suposições que podem ser fontes de prováveis explicações para os problemas sugeridos na etapa 1 desta SEI.

As etapas 1 e 2 ocorrem em duas aulas de 50min cada e consistiu de uma visita técnica a uma oficina de ferreiro em que o proprietário foi submetido às perguntas da primeira etapa sendo, todas as respostas, devidamente registradas.

²⁷ Disponível na página 171 do link https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2023/03/catalogo_unidades_curriculares_eletivas_2023.pdf

É importante ressaltar que as três primeiras perguntas da etapa inicial geraram respostas que contribuíram para a construção do capítulo "História dos Homens do Ferro" deste trabalho. Além disso, possibilitaram o registro histórico de várias pessoas que ajudaram na formação da identidade cultural do município de Potengi. Parte desse registro foi gravada em vídeo, por meio de entrevistas com os descendentes dos primeiros ferreiros que chegaram à cidade. A figura 02 e 03 abaixo mostra momentos da visita a uma oficina de forja.

Figura 2: Grupo de estudantes visitando uma oficina de ferreiro. Fonte: acervo particular



Fonte: Próprio autor

Figura 3: Ferreiro Vanderlei Leite, Filho de Luis Leite, entrevistado pelos estudantes realizando uma demonstração. O fato de as fagulhas não queimarem as mãos dele também foi observado pelo grupo de estudantes. Fonte: Acervo particular



Fonte: Próprio autor

A resposta gerada através da pergunta de número quatro foi fundamental para prosseguimento e desenvolvimento das aulas sobre física quântica pois, a resposta obtida por todos os grupos de estudantes na oficina foi a mesma. O ferreiro potengiense sabe empiricamente que a melhor hora para se malhar o metal quente é identificada pela cor que ele adquire quando atinge determinada temperatura. E esse foi o ponto chave para que os estudantes – intrigados com a afirmação – atribuísem uma explicação para o fenômeno elaborando suas próprias ideias sobre ele.

Etapa 3 – experimentação: com duração de uma aula de 50min, esta etapa reproduz experimentalmente, em sala de aula, o mesmo comportamento físico do efeito luminoso observado na oficina de ferreiro. Usando um bico de Bunsen acoplado a um botijão de gás para aquecer a ponta de uma faca de mesa. Depois de um tempo, os estudantes observam que ela adquire coloração avermelhada. E ao serem perguntados pelo motivo, a resposta dos estudantes soou em um uníssono tom: “*por causa da temperatura*”. As figuras 04, 05 e 06 abaixo revelam alguns recortes das situações didáticas em sala de aula.

Figura 4: Grupo de estudantes na etapa 5 da SEI: Fonte: acervo particular



Fonte: Próprio autor

Figura 5: O equipamento usado na aula foi desenvolvido usando materiais de baixo custo. Fonte: Acervo particular.



Fonte: Próprio autor

Figura 6: Aula inicial de ondulatória usando a mola para criar perturbações gerando cristas e vales. Fonte: redes sociais



Fonte: Próprio autor

Os experimentos em aulas de Física desempenham um papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem, pois permitem que os alunos observem fenômenos físicos na prática, testem hipóteses e desenvolvam o pensamento científico. Segundo Gaspar (2014), a prática experimental é essencial para tornar o ensino de Física mais dinâmico e significativo. Ele destaca que os experimentos ajudam a conectar teoria e prática, permitindo que os estudantes compreendam conceitos abstratos por meio da observação direta. Além disso, as demonstrações experimentais podem ser utilizadas como ferramentas pedagógicas eficazes, especialmente quando integradas ao contexto teórico da disciplina ressaltando que essas atividades despertam o interesse dos alunos e favorecem a construção do conhecimento de forma ativa (GASPAR, 2014). É nessa etapa também em que há reformulação das hipóteses levantadas. Os estudantes constroem ou reconstroem os pontos de ancoragem (subsunçores) que são representações esquemáticas das primeiras ideias que eles mesmos elaboram para tentar explicar o fenômeno.

Etapa 4 - Interferência: esta etapa deve ocorrer assim que acaba a fase de experimentação. A função do professor nesta etapa é de corrigir prováveis descaminhos interpretativos. Nesta fase, o erro desempenha um papel fundamental no processo de aprendizagem. Os equívocos não devem ser vistos como falhas, mas sim como oportunidades para a construção do conhecimento (SALSA, 2017).

Em sua teoria do desenvolvimento cognitivo, Piaget²⁸ destaca que o erro é essencial para que o aluno reorganize suas ideias e avance na compreensão dos conceitos. Ao cometer erros, os estudantes passam por um processo de

²⁸ Disponível em: Erros que Transformam: A Importância do Equívoco na Visão de Piaget!

desequilíbrio cognitivo²⁹, no qual percebem que suas concepções anteriores não são suficientes para explicar um fenômeno. Esse desequilíbrio os impulsiona a buscar novas explicações, promovendo um aprendizado mais profundo e significativo. (SALSA, 2017 p. 89)

O erro do aluno pode trazer consigo um leque de oportunidades para compreender com mais nitidez os porquês das dificuldades do estudante; as origens dos equívocos que permeiam a construção dos conceitos por ele aprendidos; nesse sentido, esse erro pode ser explorado como estratégia didática. (SALSA, 2017 p. 89)

Ao valorizar o erro como ferramenta pedagógica, o ensino se torna mais dinâmico e eficaz, incentivando os alunos a explorarem diferentes possibilidades e a construir conhecimento de forma afetiva, pois os estudantes podem ser emocionalmente afetados positivamente caso haja correlação científica, dos pontos de ancoragem desenvolvidos, com o fenômeno ou, negativamente caso haja equívocos científicos (o que Piaget denomina de equilíbrio majorante e equilíbrio minorante). É muito importante ressaltar que o discurso a ser usado pelo professor no caso negativo, deve ser direcionado para que o estudante evite algumas emoções básicas como a raiva e tristeza. Apesar de elas fazerem parte do arcabouço emocional da natureza humana, marcam desfavoravelmente e tendem a arruinar a relação entre professor/aluno caso elas sejam ativadas.

Além disso, Mora (2018), que é um pensador no campo da neurociência educacional, enfatiza que um ambiente estressante pode comprometer significativamente a plasticidade cerebral, dificultando a formação de novas conexões neurais essenciais para o aprendizado. O excesso de cortisol, quando produzido de forma prolongada, pode levar à redução da capacidade de armazenamento de informações e ao enfraquecimento da memória de longo prazo.

Dessa forma, um ambiente positivo e estimulante é crucial para favorecer o desenvolvimento cognitivo, proporcionando condições para que os alunos se sintam motivados e engajados no processo de aprendizagem. Estratégias como a aprendizagem baseada em experiências, estímulos criativos e um clima emocional favorável podem minimizar os impactos do estresse e melhorar o desempenho

²⁹ Importante ressaltar que não adotamos a teoria de Piaget para fundamentar o trabalho de dissertação, somente estamos usando aspectos de sua teoria da equilíbrio e desequilíbrio no processo de desenvolvimento intelectual associado aos esquemas cognitivos.

escolar (por isso defendemos neste trabalho que existe uma relação indissociável entre aprendizagem significativa e afetiva). É nesta etapa também que se estimula a curiosidade.

Tornar curioso e interessante o que ensina e verás que até o mais lento dos alunos, e em qualquer matéria, aprende e memoriza bem. A curiosidade é como uma fagulha perceptiva. A curiosidade é uma característica inata do mamífero que o leva a explorar e que é muito dependente do estado nutricional, ritmos cardíacos, horas de luz e de outros diferentes estímulos. Sem curiosidade não há, nem atenção nem conhecimento. A curiosidade se expande para ocupar esse terreno, que leva, junto com a atenção e a aquisição de conhecimento inovador, ao mundo do novo conhecimento, o que fornece a investigação científica ou humanista. (MORA, 2018 p.77)

...

Ainda, segundo este autor, a curiosidade é o mecanismo cerebral capaz de detectar o diferente na monotonia diária do entorno. E com isso se presta atenção ao que se destaca. E o que se destaca é importante para a sobrevivência, é aprendido e, portanto, memorizado. (p.78)

Etapa 5 – compartilhamento de ideias: etapa final da sequência de ensino investigativa que precisou de duas aulas de 50min. Esta metodologia permitiu a troca de conhecimentos, estimulou a criatividade e fortaleceu a colaboração entre indivíduos. Pode ser realizado através de seminários, ou apresentação por grupo contando somente com a presença do professor em uma espécie de banca examinadora.

Para o desenvolvimento desta sequência de ensino, a apresentação se deu por grupo na presença apenas do professor. Esta organização permitiu que os estudantes se sentissem mais à vontade e mais seguros nas defesas de suas ideias perante um especialista da área. Essa abordagem pode valorizar o processo de aprendizagem coletiva, onde a construção do conhecimento ocorre de forma colaborativa e gradual. Mesmo que os conceitos ainda estejam em desenvolvimento, o respeito pelas diferentes interpretações contribuiu nesta intervenção para um ambiente de troca mais produtivo.

Ao permitir que os integrantes do grupo expressem suas ideias sem receio de serem corrigidos imediatamente, criou-se uma atmosfera de reflexão e amadurecimento intelectual. Esse processo também favoreceu o pensamento crítico, à medida que os participantes analisam perspectivas variadas e ajustaram suas concepções com base em novos argumentos.

O desenvolvimento de uma sequência de ensino investigativa (SEI) para abordagem do tema relacionado à física quântica usando como fonte de pesquisa, a atividade cultural preponderante no município de Potengi (o trabalho dos ferreiros), possibilitaram a construção de estruturas mentais de uma área de conhecimento completamente desconhecida (pelos estudantes) para a compreensão de conceitos fundamentais da física quântica. Ao relacionar esse conhecimento científico com elementos culturais presentes no município de Potengi, os alunos conseguiram estabelecer conexões afetivas/emocionais entre sua realidade e um campo de estudo que, inicialmente, parecia distante e abstrato.

A integração entre ciência e cultura permitiu que os estudantes desenvolvessem uma aprendizagem significativa, tornando o processo mais acessível, engajador e emocionalmente relevante. Por meio da investigação ativa, da formulação de hipóteses e da experimentação, foi possível estruturar um raciocínio lógico e crítico, fortalecendo habilidades cognitivas essenciais para a assimilação dos princípios da física quântica, proporcionando momentos de reflexão e colaboração, incentivando os alunos a trabalharem em grupo na resolução de problemas científicos e na interpretação dos fenômenos quânticos a partir de referências culturais locais. Desta forma este trabalho de dissertação do MNPEF contribuiu não apenas para o entendimento da física, mas também para a valorização do conhecimento tradicional do município.

Para facilitar a compreensão o quadro 01 abaixo resume a sequência de ensino e comprime os dados para que sejam mais claros.

Quadro 1: Síntese da sequência de ensino

Etapas	Nº de aulas (tempo)	Objetivo	Estratégia Metodológica
1	2 aulas de 50min	Definir claramente uma questão que precisa ser investigada, servindo como ponto de partida para pesquisas e análises.	Separação em grupos de estudantes, formulação de questionamentos previamente planejados, visitas técnicas a oficinas de forja no município de Potengi, CE e registro videográfico de entrevistas.
2	2 aulas de 50min	Fornecer uma explicação provisória para um	Análise dos aspectos mais importantes observados na

		fenômeno ou problema de pesquisa, orientando a investigação científica.	visita técnica e do registro videográfico, selecionando as informações que direcionam para o foco do conhecimento.
3	1 aula de 50 min	Testar as hipóteses, verificar fenômenos e obter dados que possam confirmar ou refutar uma teoria científica.	Replicação em sala de aula ou laboratório do fenômeno observado através de aula demonstrativa.
4	1 aula de 50 min	Orientar o aprendizado, garantindo que os alunos compreendam seus erros e aprimorem seu conhecimento	Aproveitamento da aula experimental para fornecer informações importantes sobre o fenômeno sem deixar claro ainda todas as relações envolvidas, permitindo que os alunos construam gradualmente seu entendimento favorecendo a curiosidade e corrigindo prováveis equívocos.
5	2 aulas de 50 min	Promover a troca de conhecimento, estimular a criatividade e fortalecer a colaboração entre indivíduos.	Seminários ou apresentação tipo banca de defesa.

Fonte: elaboração própria

Ao final do desenvolvimento da SEI, iniciou-se um trabalhado voltado para aulas um pouco mais tradicionais que tiveram a finalidade/objetivo de construir novos pontos de ancoragem (subsunçores) para compreensão e internalização dos conceitos. Poderia, este trabalho, a partir deste ponto em diante, reutilizar os elementos desta SEI para dar sequência às aulas de iniciação a mecânica quântica (estudo da radiação), mas não foi pois nem todos os estudantes se identificam com determinadas metodologias e, alternando estratégias pedagógicas, é importante porque procuramos adaptar a abordagem para atender à diversidade de perfis da turma e suas variadas formas de aprendizagens.

A implementação da SEI e a execução das etapas das intervenções totalizou 16h e que deram o ponta pé inicial na busca da explicação da emissão de radiação eletromagnética do metal aquecido. Desta forma é possível dar continuidade ao

ensino com uma nova sequência de aulas, seguindo a ementa da eletiva Introdução à Física Quântica, disponibilizada pelo Governo do Estado do Ceará.

O quadro A imagem 6 logo a seguir apresenta os objetivos, objetos do conhecimento, justificativa, objetivos da aprendizagem, recursos, avaliação e sugestão de culminância.

Quadro 2: Ementa da eletiva de introdução à física quântica: fonte: Governo do estado do Ceará



CEARÁ
GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

CÓDIGO
CNT003

UNIDADE CURRICULAR ELETIVA
INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA

DURAÇÃO
40 H/A

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Entender que há uma íntima relação da física quântica com a tecnologia, buscando conhecer os impactos positivos da física quântica na vida das pessoas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Compreender aspectos conceituais da mecânica quântica, bem como algumas de suas aplicações.

Entender que todo universo é matéria e energia.

Ampliar a percepção da realidade.

JUSTIFICATIVA

A sociedade atual vive momentos em que avanços significativos surgem na ciência e na tecnologia no dia a dia. Os resultados destes avanços são rapidamente revertidos em benefícios desta sociedade. Estamos no século XXI, os estudantes estão rodeados de tecnologias que foram desenvolvidas com a aplicação da física, sobretudo da mecânica quântica. Esta é a abordagem que suporta todas as explicações e previsões das fórmulas matemática.

OBJETOS DO CONHECIMENTO

A importância da física quântica.

Mecânica quântica em nossas vidas.

Radiação de corpo negro.

Velha teoria quântica.

Paradoxos Ondas-Partículas.

Mecânica Matricial e Ondulatória.

Dualidade Onda-Partícula.

Aspectos Ondulatórios da Luz.

Aspectos Corpuscular da Luz.

Ondas em uma dimensão: Introdução.

OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

COMPETÊNCIA: Avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza.

HABILIDADES: Comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais. Ampliar o conhecimento nas diferentes temáticas da física quântica.

RECURSOS DIDÁTICOS

Livros.
Artigos científicos. Textos.
Vídeos do Youtube.
Computadores.

AVALIAÇÃO

Participação nas atividades propostas.
Produção de um relatório final.
Apresentação de um vídeo que pode ser individual ou em grupo, sobre a temática estudada.
Estudo de caso enfocando a importância da mecânica quântica.

SUGESTÃO PRODUTO FINAL / CULMINÂNCIA

Debate para a apresentação dos conhecimentos construídos e/ou habilidades desenvolvidas ao longo da eletiva.
Apresentação de um relatório final.

OBSERVAÇÕES

Outros objetos do conhecimento podem ser trabalhados, uma vez que é considerado essencial para atender as necessidades

REFERÊNCIAS

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 18, n. 3, p. 298-316, dezembro de 2001. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6666/6136>>
PAULO, I. J. C.; MOREIRA, M. A. Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 4, n. 2, 2004. Disponível em: <<http://www.fae.ufmg.br/abraprec/revistas/V4N2/v4n2a6.pdf>>. Acesso em: 14 dez 2020.

Fonte: disponível em: https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2023/03/catalogo_unidades_curriculares_eletivas_2023.pdf

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

6.1 Etapa I

A etapa de formulação de problemas é uma das mais importantes no início de qualquer processo de investigação científica, especialmente para estudantes do ensino médio que estão aprendendo a pensar de forma crítica e estruturada. Essa etapa consiste em identificar uma dúvida ou questão clara, específica e investigável, que orientará toda a pesquisa. Sem uma boa pergunta, o estudante pode se perder em informações soltas, sem foco nem objetivo definido.

Uma boa forma de entender essa importância é comparando com o famoso detetive Sherlock Holmes, criado pelo escritor inglês, Conan Doyle³⁰. Antes de sair resolvendo qualquer caso, Holmes escuta com atenção os relatos, observa os detalhes e, principalmente, define com clareza qual é o mistério a ser desvendado. Ele nunca começa uma investigação sem saber exatamente o que está procurando.

Da mesma forma, na ciência, não basta dizer “quero estudar o meio ambiente” — é preciso formular uma pergunta mais focada, como “porque o metal fica vermelho quando aquecido?” Essa pergunta define os caminhos da investigação, os dados que serão coletados e como as respostas serão analisadas.

Assim como Sherlock Holmes precisa de uma boa pergunta para encontrar pistas relevantes, o estudante de ensino médio precisa de orientação e uma boa formulação de problema para iniciar o processo de aprendizagem afetiva/significativa. Portanto, essa etapa não é apenas o começo da pesquisa — é o que dá sentido, direção e profundidade a todo o processo investigativo, uma vez que ele, envolve uma característica cultural marcante no município e que, nós devemos aproveitar dessas condições para que se construa no estudante, senso de pertencimento e envolvimento afetivo com a situação analisada. Nesta etapa também, é superada o primeiro filtro do sistema RAD. A ativação do sistema

³⁰ Em 22 de maio de 1859, na Escócia, nasceu Arthur Conan Doyle, criador do famoso detetive Sherlock Holmes. Autor de obras como As Aventuras de Sherlock Holmes, O Cão dos Baskervilles e Um Estudo em Vermelho, Conan Doyle foi um dos mais importantes escritores do gênero policial. Inspirado por um professor que Doyle teve quando estudou medicina, o personagem de Sherlock Holmes surpreende os leitores por sua imensa capacidade de análise, dedução e observação e por seu vasto conhecimento em diversas áreas da ciência.

radicular entendida como o início de um processo profundo de busca e captação de informações essenciais — assim como as raízes de uma planta se aprofundam no solo para absorver os nutrientes e a água necessários à sobrevivência e ao crescimento da planta. Essa ativação se refere ao despertar da curiosidade e da atenção crítica, que são fundamentais para captar dados relevantes e fazer conexões significativas despertando a capacidade de observar, questionar e buscar informações com profundidade e foco para que a pesquisa apresente resultados sólidos que sejam emotivamente duradouros.

Devemos considerar também que alguns conceitos como a atenção e a curiosidade são fundamentais para o processo de construção do conhecimento, pois influenciam diretamente o engajamento, a motivação e a capacidade de retenção de informações através dos incentivos. Se o professor conseguir tornar o que ensina algo curioso e interessante, até mesmo o aluno com mais dificuldades, independentemente da matéria, conseguirá aprender e memorizar com eficácia. A curiosidade funciona como uma centelha perceptiva. Ela é uma característica natural que estimula a exploração do ambiente. Sem ela, não existe atenção nem construção de conhecimento. Juntamente com a atenção, amplia o campo de visão da aprendizagem para preencher esse espaço mental, abrindo caminhos para o surgimento do novo saber – geração de subsunçores - tanto no campo científico quanto no humanístico (MORA, 2018).

É perceptível o engajamento dos estudantes principalmente nesta etapa, uma vez que existem elementos externos que estimulam e atizam a curiosidade principalmente diante de contextos inovadores e desafiadores, que rompem com a rotina tradicional de ensino. A exposição a novas linguagens, tecnologias, metodologias ativas e problemas do mundo real desperta o interesse genuíno dos discentes, incentivando a participação, ativa na construção colaborativa do conhecimento. A inserção de um elemento cultural no processo de investigação para compreender conceitos em física, foi fundamental para que houvesse afetividade uma vez, que estabeleceu uma conexão mais próxima entre o tema abordado e a realidade da comunidade local. Esse vínculo afetivo despertou ainda mais o interesse e a curiosidade diante dos fenômenos físicos observados, ao reconhecer aspectos de sua cultura no ambiente de aprendizagem, fazendo com que eles

valorizem as características regionais, motivando-os a participar ativamente contribuindo para uma aprendizagem mais significativa.

Para ilustrar que, o que até agora foi analisado à luz da aprendizagem afetiva e significativa, o relato de um dos estudantes que realizou a observação, deixa evidente que ele, em particular, se envolveu afetivamente com a situação, criando um significado.

"Quando aquela peça de metal foi tirada da forja, meus olhos ficaram presos no brilho forte que ela fazia. Parecia que o fogo tava grudado no ferro — uma luz meio alaranjada, quase vermelha. Dava pra ver o calor saindo, o ar em volta até parecia tremulo. Eu nunca tinha pensado que o calor podia fazer isso com um pedaço de metal. Na escola a gente vê essas coisas de energia, calor, radiação... mas lá na oficina, parecia que tudo isso tava acontecendo de verdade, bem na minha frente. O metal parecia vivo, tipo mostrando que tava cheio de energia dentro. Fiquei pensando, por que ele brilha desse jeito? Será que tem a ver com a temperatura? E por que a cor muda quando começa a esfriar? Nunca tinha parado pra pensar que física podia tá tão perto assim. Foi nessa hora que eu percebi que a ciência não é só coisa de livro, ela tá no fogo, no som das marteladas, na cor do ferro quente." (Relato do estudante X)

Percebemos que o relato do estudante X já antecede a etapa II desta sequência de ensino. A formulação de hipóteses é uma ação natural e que está atrelada à curiosidade.

6.2 Etapa II

Elaborar hipóteses é uma etapa essencial no processo de aprendizagem afetiva/significativa porque representa o momento em que o estudante, diante de uma situação-problema, começa a construir sentido com base em seus conhecimentos prévios, suposições e observações, readequando seus pontos de ancoragem (subsúcores) ou desenvolvendo novos. É a partir das hipóteses que se define o rumo da investigação: elas são como bússolas que apontam para possíveis respostas e permitem que o aluno avance com intencionalidade e criticidade na construção do conhecimento. A partir disso há o processo de reunificação de saberes, experiências e percepções divergentes, com o objetivo de construir uma compreensão mais ampla, coesa e significativa, o que Ausubel (1980) chamou de reconciliação integrativa.

Nesta etapa, é preciso que filtro amígdala seja superado. Este filtro, ao ser ativado, é responsável principalmente pelas respostas cerebrais no campo das emoções — como medo, raiva, ansiedade e prazer — e por processar memórias ligadas a elas, desempenhando papel fundamental na forma como o estudante reage a situações potencialmente significativas porque, a amígdala, “está ligada a quase todas as áreas do cérebro” (MORA, 2018 p. 46) devendo, o docente, ter o cuidado de mediar para dinamizar e potencializar as emoções e sentimentos positivos, amenizando as emoções negativas pois eles refletem diretamente o nível de comprometimento e da motivação no momento de realizar alguma atividade (FRANCELINO, 2022).

Logo, esta etapa da sequência de ensino promove a readequação de esquemas cognitivos adquiridos e construídos ao longo do tempo através da releitura de si próprio em interação com o meio. O que Wallon³¹ (1949) chamou de conflito e o Piaget³² (1975) chamou de desequilíbrio (FRANCELINO, 2022). Entende-se que o ensino não é apenas a transmissão de informações novas, mas também uma oportunidade de o aluno reinterpretar o que já sabe, confrontando suas ideias anteriores com novos conhecimentos e experiências. Esse processo de "releitura de si próprio em interação com o meio" sugere que a aprendizagem é reflexiva e contextual, ou seja, o aluno aprende melhor quando é levado a refletir sobre sua própria trajetória, crenças e vivências, em constante diálogo com o ambiente, os outros e os conteúdos. “Precisamente, a interação do indivíduo com o meio ambiente produz mudanças contínuas no cérebro, de certo, aprender e memorizar é isso, conexões sinápticas do cérebro (MORA, 2028 p. 44). E é dessa maneira que o “meio configura-se como um conjunto de circunstâncias duráveis, sejam elas física, sociais, culturais, imaginárias, que envolvem o indivíduo” (FRANCELINO, 2022 p. 66).

³¹ Uma das obras mais importantes onde Wallon discute o conflito como motor do desenvolvimento é: "Les origines du caractère chez l'enfant" (1949) – As origens do caráter na criança.

³² Em sua obra de 1975, "O equilíbrio das estruturas cognitivas", Piaget apresenta o conceito de equilíbrio, que é o processo pelo qual o sujeito busca superar o desequilíbrio cognitivo por meio da coordenação entre assimilação e acomodação. Esse é o motor do desenvolvimento intelectual, segundo Piaget.

Nesse sentido então, esta etapa é fundamental para o desenvolvimento do pensamento crítico, da autonomia intelectual e da aprendizagem afetiva/significativa. Ao serem incentivados a levantar suposições diante de problemas ou situações novas e contextualizadas considerando as características regionais, os estudantes deixam de ser meros receptores de informações e passam a atuar como protagonistas do próprio conhecimento. Esse processo estimula a curiosidade, a reflexão e a capacidade de articular ideias, promovendo uma aprendizagem duradoura e emocionalmente significativa. Além disso, os discentes exercitam a argumentação, o raciocínio lógico e a disposição para lidar com o erro como parte natural do aprendizado. Portanto, fomentar a elaboração de hipóteses em um contexto de aprendizado e construção de conhecimento, é parte essencial para formar sujeitos críticos, criativos e capazes de construir saberes de forma autônoma e contextualizada. Importante salientar de um ponto crucial nesta etapa: dentro do grupo de emoções básicas classificadas por Ekman (1992), o medo “da crítica ou da ridicularização, perante os colegas torna-se um empecilho à manifestação das dúvidas durante a explicação de um professor” (FRANCELENO, 2022 p. 95). É necessário estimular o estudante na superação das condições adversas e aproveitar o erro no processo de aprendizagem para promover a construção de saberes mais sólidos, desenvolver a resiliência cognitiva e valorizar o percurso reflexivo que leva à compreensão. Ao enxergar o erro como parte integrante do aprender, o aluno se sente mais seguro para experimentar, questionar e elaborar novas estratégias, fortalecendo sua autonomia e seu protagonismo no processo educativo (SALSA, 2017).

Nesta etapa, é importante não haver interferência externa, uma vez que as hipóteses são geradas pelos estudantes se aproveitando de seus conhecimentos prévios para explicar o fenômeno observado. Tal situação descrita só ocorre na etapa IV desta sequência porque entende-se que se deve respeitar o processo para que se evite emoções negativas, como frustração ou insegurança, que poderiam comprometer a autonomia do aluno e inibir sua capacidade de elaborar suposições espontâneas. Ao permitir que o estudante explore livremente suas ideias, cria-se um ambiente propício ao pensamento investigativo, valorizando o erro como parte do percurso e fortalecendo o vínculo afetivo com o saber.

O impacto que essa etapa causa no pensamento do estudante é evidente quando analisamos as informações fornecidas pelo estudante Y, ao ser questionado sobre o motivo da emissão da radiação.

Eu sei que isso tem a ver com temperatura — porque o metal tava quente, muito quente. Mas eu ainda não entendo direito por que ele brilha assim. Por que ele muda de cor? E por que justamente essa cor? Será que se ele esquentasse mais, ia ficar de outra cor?

Parece que, quando um material esquentar demais, ele começa a emitir luz... mas eu não sei exatamente o que faz isso acontecer. Só sei que é calor envolvido. Foi uma sensação estranha ver com os olhos uma coisa que a gente geralmente só lê nos livros. Fiquei com muita vontade de entender como isso funciona de verdade. Talvez a gente descubra isso nas próximas aulas." (relato do estudante Y).

Para confrontar algumas hipóteses levantadas, foi solicitado ao outro estudante, chamado de K, sobre o conceito científico que seria a explicação do fenômeno. Ele disse:

No caso do ferro, como ele estava muito quente, a energia térmica que ele absorveu fez os átomos vibrarem mais rápido. Essas vibrações intensas acabam emitindo radiação, e por isso a peça começa a brilhar. Primeiro ela fica vermelha, depois laranja, e se aquecer mais ainda, pode até ficar branca. Acho que isso acontece porque, com o aumento da temperatura, o comprimento de onda da radiação emitida diminui, e a luz que a gente vê muda de cor. Não sei se expliquei tudo certo, mas foi muito legal perceber que aquilo que parecia só uma cena impressionante também tem toda uma explicação científica por trás. Foi como ver a física acontecendo bem na minha frente — e isso fez tudo fazer mais sentido."

Este estudante em especial, já carrega consigo elementos trazidos de sua realidade de conceitos científicos mais amadurecida. Neste caso em especial, é possível observar que sua interpretação do fenômeno ultrapassa a simples descrição empírica, revelando indícios de uma compreensão mais articulada sobre a relação entre temperatura e emissão de radiação. Sua fala demonstra não apenas curiosidade, mas também uma tentativa inicial de estabelecer conexões entre o que observa e os conhecimentos prévios adquiridos em contextos formais ou informais de aprendizagem. Ao associar a luminosidade do metal aquecido à sua elevação de temperatura, o estudante revela uma noção incipiente do que futuramente poderá ser entendido como parte da teoria da radiação térmica.

6.3 Etapa III

Esta fase do processo de investigação trata de confirmar, experimentalmente, os resultados observacionais extraídos da etapa I (formulação de perguntas) e da etapa II (elaboração de hipóteses) através de uma experimentação planejada que acontece em um ambiente controlado, sistemática e orientada, que permita testar as hipóteses formuladas de maneira objetiva. Nesse momento, os estudantes têm a oportunidade de confrontar suas ideias iniciais com dados empíricos, analisando evidências, observando variáveis e identificando possíveis contradições ou confirmações em relação ao que foi previsto. Trata-se de uma etapa crucial para o desenvolvimento do pensamento científico, pois fortalece o raciocínio lógico, a capacidade analítica e o entendimento da relação entre teoria e prática.

A experimentação no ensino de Física, à luz das ideias de Alberto Gaspar (2014), representa uma prática essencial para promover uma aprendizagem significativa e crítica. Para o autor, a experimentação não deve ser vista apenas como uma demonstração técnica ou um momento isolado para ilustrar fórmulas e teorias, mas sim como parte integrante de um processo investigativo em que o estudante se torna protagonista da construção do conhecimento. Ele defende ainda que, ao colocar os estudantes em contato direto com fenômenos reais, a prática experimental desperta a curiosidade, estimula a (re)formulação de hipóteses e amplia a capacidade de interpretação da realidade. Mais do que isso, ela permite que os erros e os imprevistos sejam incorporados ao processo de aprendizagem como oportunidades de reflexão e reconstrução do saber. Ao contrário de um ensino meramente transmissivo, a abordagem experimental valoriza o diálogo, a interação entre pares e a mediação pedagógica ativa, aproximando a ciência do cotidiano dos estudantes tornando-se uma ponte entre a teoria e a prática, contribuindo não apenas para a compreensão dos conceitos reforçando ou reconstruindo as ideias ancoras.

Usando como referencial a visão que o estudante tem em relação ao processo de investigação inicializada na sequência de ensino, esta etapa é mais interativa pois desperta interesse ao permitir que ele atue de forma prática e participativa reforçando ainda mais a relação afetiva que o fenômeno traz. Realizar

um experimento é, para muitos alunos, uma atividade altamente chamativa, pois rompe com a rotina tradicional de ensino baseada apenas na exposição teórica e oferece a oportunidade de ver, tocar, testar e descobrir. Essa vivência concreta torna o conteúdo mais acessível e potencialmente significativo, favorecendo a curiosidade e o envolvimento emocional com o aprendizado. Além disso, o caráter dinâmico e muitas vezes lúdico da experimentação contribui para criar um ambiente mais motivador, no qual o estudante se sente parte do processo e não apenas um receptor passivo de informações. A prática experimental, portanto, não apenas reforça conceitos, mas também fortalece a relação do aluno com o saber científico, estimulando sua autonomia, seu senso investigativo e sua confiança para propor e testar ideias (GASPAR, 2014).

Você pode estar se perguntando como desenvolver um experimento que envolva conceitos físicos robustos e desafiadores, como é o caso da física quântica. Para um professor perspicaz, no entanto, esse desafio se torna um mero detalhe, especialmente considerando que fenômenos quânticos estão, cada vez mais, presentes em nosso cotidiano. No caso do ferreiro potengiense em questão, o conflito filosófico reside em compreender por que o metal aquecido adquire colorações específicas conforme a variação da temperatura. Esse fenômeno, conhecido como radiação térmica, pode ser facilmente replicado em sala de aula ou laboratório, aquecendo a ponta de uma faca de aço inoxidável com o uso de uma vela, um maçarico ou outra fonte de calor controlada. É importante que o professor oriente os estudantes nesta etapa para eles próprios entrem em contato com o procedimento, tomando as devidas precauções, é claro, para que eles façam conexões conscientes entre a teoria, pré-estabelecida por eles, e a prática, promovendo uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos envolvidos através da manipulação procedimental.

Esta metodologia de “fazer” estimula ainda mais a curiosidade, porém, agora se trata de uma curiosidade que envolve a liberação de dopamina (terceiro filtro do sistema RAD) e

...disso se conclui que a curiosidade que se satisfaz por meio da aprendizagem cerebral, é baseada no prazer, o que, por sua vez, reforça a ideia de que a busca pelo conhecimento e a tomada de decisões que levam à obtenção desse conhecimento são biologicamente prazerosas. Prazer que não é simples prazer mental, mas compartilha os mesmos circuitos neurais e substrato como prazeres biológicos. (MORA, 2018 p. 79-80)

Ainda reitera que

os indivíduos que se mostram curiosos ante estímulos ou informações novas ou relevantes, ativam ao mesmo tempo as áreas da recompensa e o prazer que os substratos neurais da aprendizagem (córtex pré-frontal) e a memória explícita (hipocampo), o que reforça a ideia do papel positivo da curiosidade nos processos de aprendizagem e memória. (MORA, 2018 p.80)

Esta etapa propicia a intensificação da curiosidade através uma atividade emocionalmente significativa ou potencialmente significativa que tem como consequência biológica a liberação de neurotransmissores responsáveis pela consolidação das informações, pois áreas particulares da percepção humana como os órgãos do sentido, são ativadas simultaneamente conseguindo conectar o mundo externo ao circuito de redes neurais responsáveis pela elaboração da memória a longo prazo (MORA, 2018).

Ao se deparar com um experimento, o estudante visualiza, ouve e sente — ou seja, ativa múltiplos sentidos em sua experiência de aprendizagem. Essa vivência sensorial contribui para que o conhecimento não seja apenas abstrato, mas incorporado de maneira concreta, conectando-se a percepções reais e emocionais. Isso é o que o relato do estudante W mostra. Ele escreveu:

"Quando vi o metal incandescente pela primeira vez na oficina, fiquei com várias perguntas na cabeça. Por que ele brilhava daquela forma? Tinha alguma coisa a ver com o calor, com a temperatura... isso eu meio que já imaginava. Mas era só uma ideia, uma hipótese que nasceu daquilo que eu vi e senti. Hoje, fazendo o experimento em sala, foi como se tudo se encaixasse."

Vemos, pelo relato acima, o quão é importante replicar, em sala de aula, os resultados obtidos em extra sala. Essa conexão entre o vivido e o experimentado formalmente reforça o processo de construção do conhecimento, permitindo que o estudante perceba que suas ideias, mesmo que inicialmente intuitivas, têm valor e podem ser investigadas, testadas e confirmadas cientificamente.

Ao oferecer esse espaço para a experimentação controlada e guiada, a escola valida as experiências prévias do aluno, promovendo o que Ausubel chamou

de aprendizagem significativa — aquela que ocorre quando novos conhecimentos se conectam de forma não arbitrária a conceitos já existentes na estrutura cognitiva do estudante.

6.4 Etapa IV

Até este momento do processo da sequência de ensino, as etapas anteriores transcorreram sem interferências diretas do professor, que atuou principalmente como um incentivador, promovendo o desenvolvimento de ideias, a construção de saberes e a elaboração/reformulação de conhecimentos para que se atinja os objetivos descritos no quadro 01 que contém a síntese da sequência de ensino. Nesta etapa chamada de interferência, consiste basicamente em corrigir rumos. Prováveis descaminhos que podem comprometer a construção de conceitos científicos evitando a consolidação de ideias equivocadas. Essa interferência, no entanto, não se dá de forma autoritária, mas como um diálogo reflexivo, em que o docente propõe questionamentos, provoca a dúvida e conduz o estudante a rever suas hipóteses à luz do conhecimento científico validado. Assim, o professor assegura que o processo investigativo mantenha seu caráter formativo, mas sem abrir mão do rigor conceitual necessário à aprendizagem.

Aqui, é necessário realizar o processo de correção de caminhos com o devido cuidado, de modo a evitar emoções negativas e frustrações. A intervenção do professor deve ser sensível e estratégica, respeitando o ritmo de aprendizagem de cada estudante, preservando sua autoestima. Ao invés de apontar o erro de forma direta e punitiva, o ideal é conduzir o aluno à reflexão, por meio de questionamentos orientadores que o levem a revisar suas ideias e a (re)construir novas compreensões por conta própria. Essa abordagem favorece a confiança do estudante no processo investigativo, reforça sua autonomia intelectual e fortalece a relação de confiança com o saber científico. Com isso, a correção de rumos deixa de ser vista como um fracasso e passa a ser reconhecida como parte natural e produtiva da aprendizagem, considerando o fato de que, o tema abordado já esteja inserido no universo de interesse dos estudantes. Quando o conteúdo faz sentido para o estudante e está conectado emotivamente à sua realidade, ele tende a

aceitar com mais abertura os ajustes propostos, compreendendo que os equívocos e possíveis descaminhos fazem parte do processo de construção do conhecimento. Nesse contexto, a intervenção do professor é de atuar como um apoio necessário para aprofundar a compreensão e avançar na elaboração de conceitos mais precisos com o desenvolvimento de ideias ancoras sólidos.

Esta etapa deve ocorrer em um momento da sequência de ensino em que seja possível realizar atendimentos individualizados ou em pequenos grupos, garantindo que a etapa V, seguinte a esta, seja realizada com sucesso. É fundamental que os conceitos científicos específicos de cada tema abordado, articulados aos conhecimentos prévios mobilizados ao longo da sequência didática planejada previamente e desenvolvida antes da SEI a que este trabalho propõe (descrita na metodologia deste trabalho), sejam consolidados de forma clara e significativa para permitir que o professor identifique dúvidas específicas, corrija possíveis distorções e fortaleça as conexões conceituais essenciais para o avanço da aprendizagem. Dessa maneira, assegura-se que os estudantes prossigam para a próxima fase do processo com bases sólidas, preparados não apenas para aplicar o que aprenderam, mas também para compreender criticamente os fenômenos envolvidos, exercitando sua autonomia intelectual e capacidade investigativa.

6.5 Etapa V

Ao finalizar a etapa de correção de rotas, garantindo que a sequência de ensino caminhe rumo ao seu objetivo — descobrir a explicação de um fenômeno com base em conceitos científicos — inicia-se, então, a fase de sistematização das ideias desenvolvidas pelos grupos de estudantes. Trata-se da etapa de consolidação do conhecimento e de compartilhamento das ideias e das construções cognitivas realizadas ao longo do processo investigativo. Nesse momento, os alunos organizam suas descobertas, comparam resultados, confrontam hipóteses iniciais com as explicações científicas e apresentam suas conclusões de maneira crítica e reflexiva. Essa fase é essencial para transformar o conhecimento empírico em saber científico, permitindo que o estudante compreenda não apenas o “o quê”, mas também o “porquê” dos fenômenos estudados. Segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), a sistematização do conhecimento é uma etapa crucial da

abordagem por investigação, pois é nela que se busca estabelecer relações entre as ideias dos alunos e os conceitos da ciência, promovendo uma aprendizagem mais significativa, contextualizada e afetiva.

É importante incentivar a exposição oral dos estudantes uma vez que isso possibilita, tanto a autonomia intelectual, quanto o desenvolvimento da capacidade argumentativa e da expressão do domínio relativo a um tema. Ao verbalizarem suas ideias, os alunos organizam o pensamento, reelaboram conceitos e aprendem a sustentar suas hipóteses com base em evidências e raciocínios lógicos, obedecendo é claro, às orientações realizadas na etapa anterior. Esse processo fortalece a autoconfiança, amplia a habilidade de comunicação científica e promove o diálogo entre diferentes pontos de vista, o que enriquece a aprendizagem coletiva, favorecendo o protagonismo estudantil e estimulando uma postura investigativa e reflexiva diante do conhecimento.

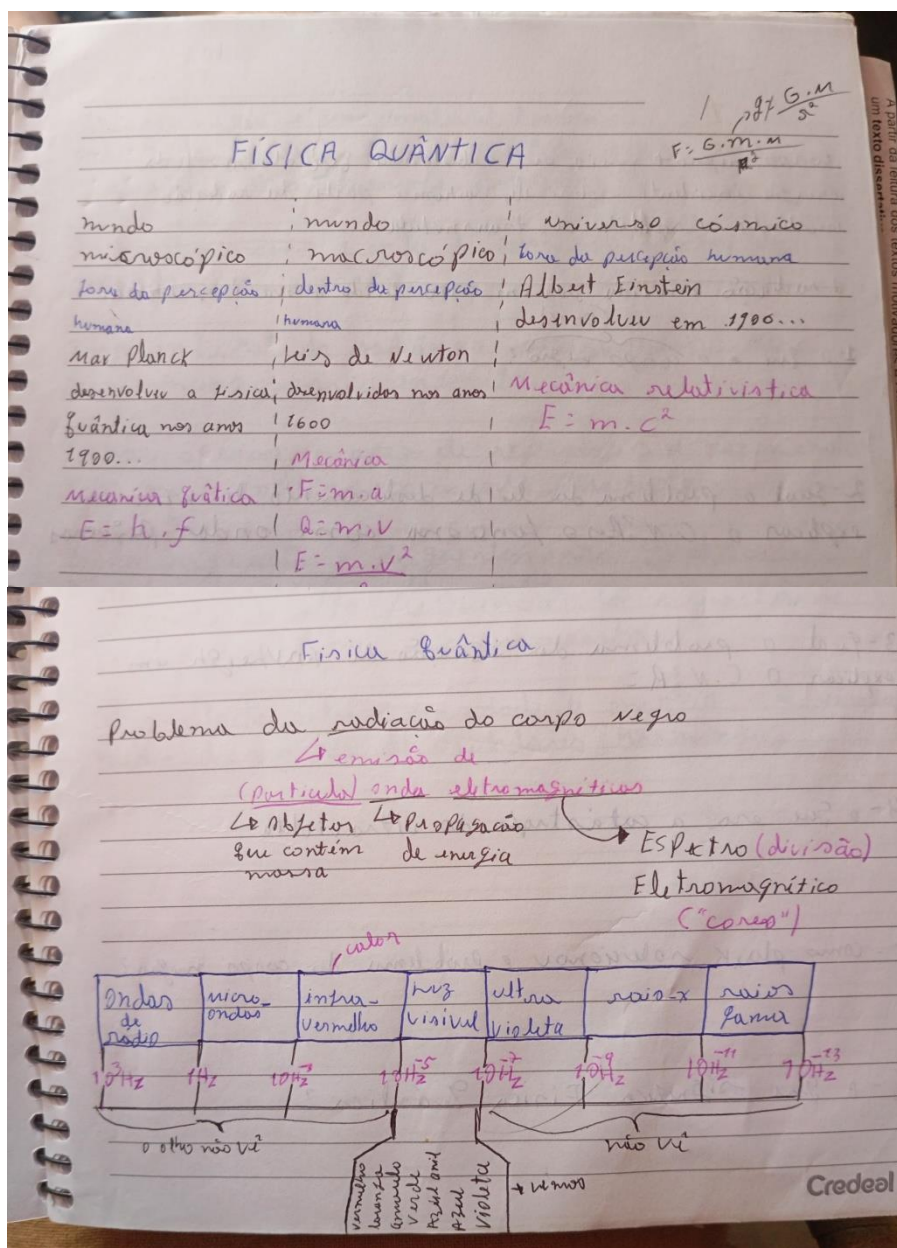
Relevante salientar o fato de que essa exposição e verbalização das ideias pode ocorrer com o apoio de diferentes metodologias didáticas. No caso específico desta sequência de ensino, a estratégia utilizada para o desenvolvimento e conclusão das atividades realizadas pelos estudantes, foi o modelo de apresentação no formato de banca de defesa. Nessa dinâmica, os grupos apresentaram suas descobertas e conclusões diante de uma banca avaliadora composta por colegas, professores ou convidados, que assumiram a função de *persona* crítica, responsável por questionar, aprofundar e dialogar com os argumentos apresentados. A presença dessa figura de autoridade cria um ambiente de simulação acadêmica que estimula os estudantes a se prepararem melhor, estruturarem seus discursos com mais clareza e se posicionarem com segurança frente a questionamentos, favorecendo o aprofundamento conceitual, promovendo habilidades comunicativas, pensamento crítico e senso de responsabilidade sobre o conhecimento produzido, desenvolvendo e consolidando aprendizagens que ficarão retidas na memória de longo prazo.

No primeiro momento a relação com a física quântica foi pouco explorada, pois pensamos que seja fundamental estabelecer uma base conceitual mais contextualizada e fenomenológica antes de avançar para temas mais complexos. A compreensão da radiação eletromagnética, que engloba desde ondas de rádio até raios gama, depende do conhecimento prévio de suas propriedades. Esse processo

segue um dos princípios da aprendizagem significativa, garantindo que novos conceitos sejam assimilados de forma estruturada e conectada ao que já foi aprendido como nos diz Ausubel.

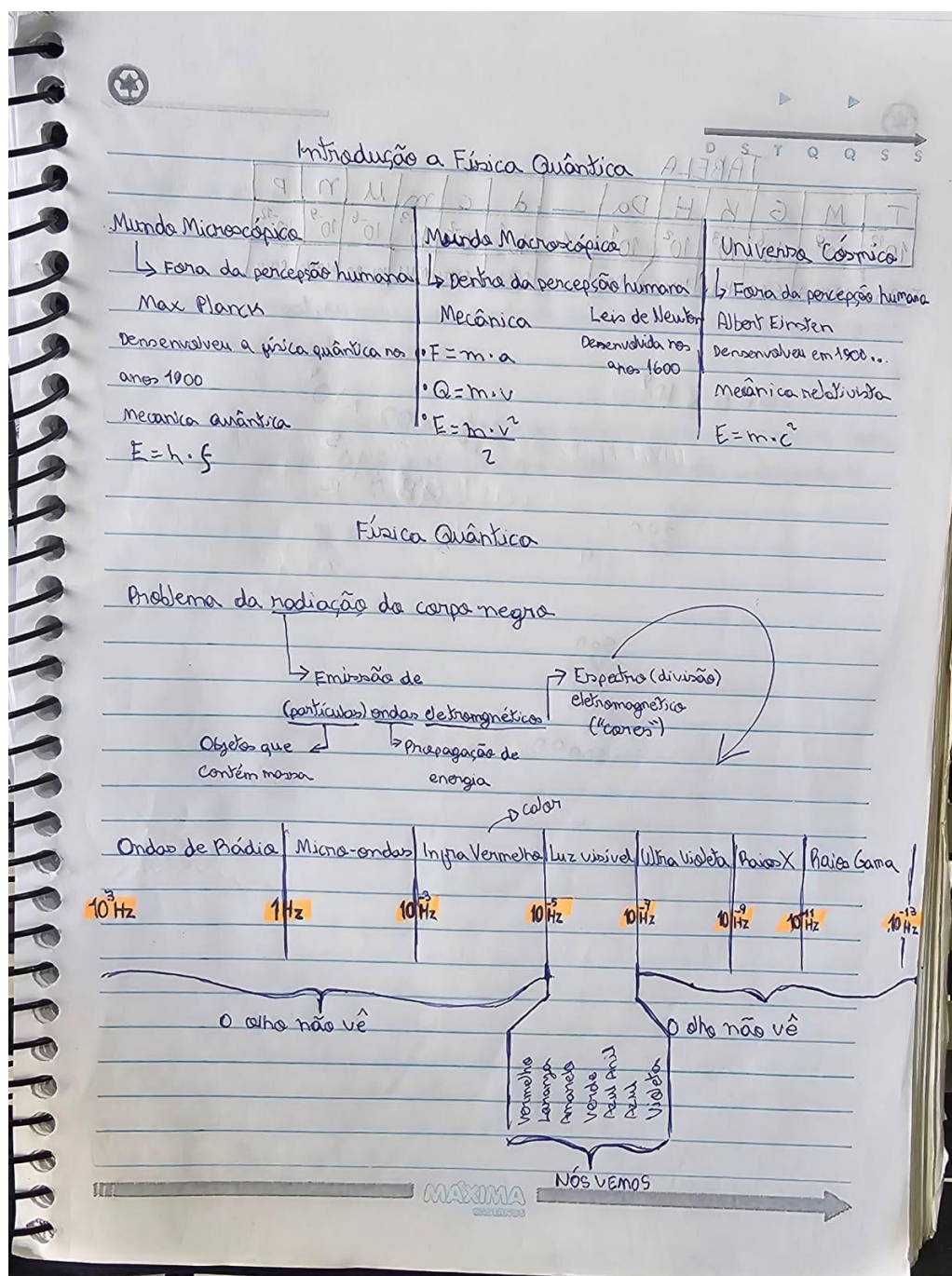
Como se trata de um tema ainda pouco explorado no ensino médio, foram necessárias algumas aulas em que o objetivo era apenas dar um sentido ao termo quântico, uma vez que a ideia central (esquema mental ou subsunçor) ainda não havia sido desenvolvida. Nesse sentido, estão dispostas nas figuras 07, 08 e 09, capturadas dos cadernos de três estudantes escolhidos aleatoriamente, uma visão de como ocorreu o primeiro contato da física quântica dos estudantes nas aulas que inicializam o processo de explicação do fenômeno observado durante o desenvolvimento da sequência de ensino investigativa.

Figura 7: Imagem do caderno do estudante X - fonte: arquivo pessoal



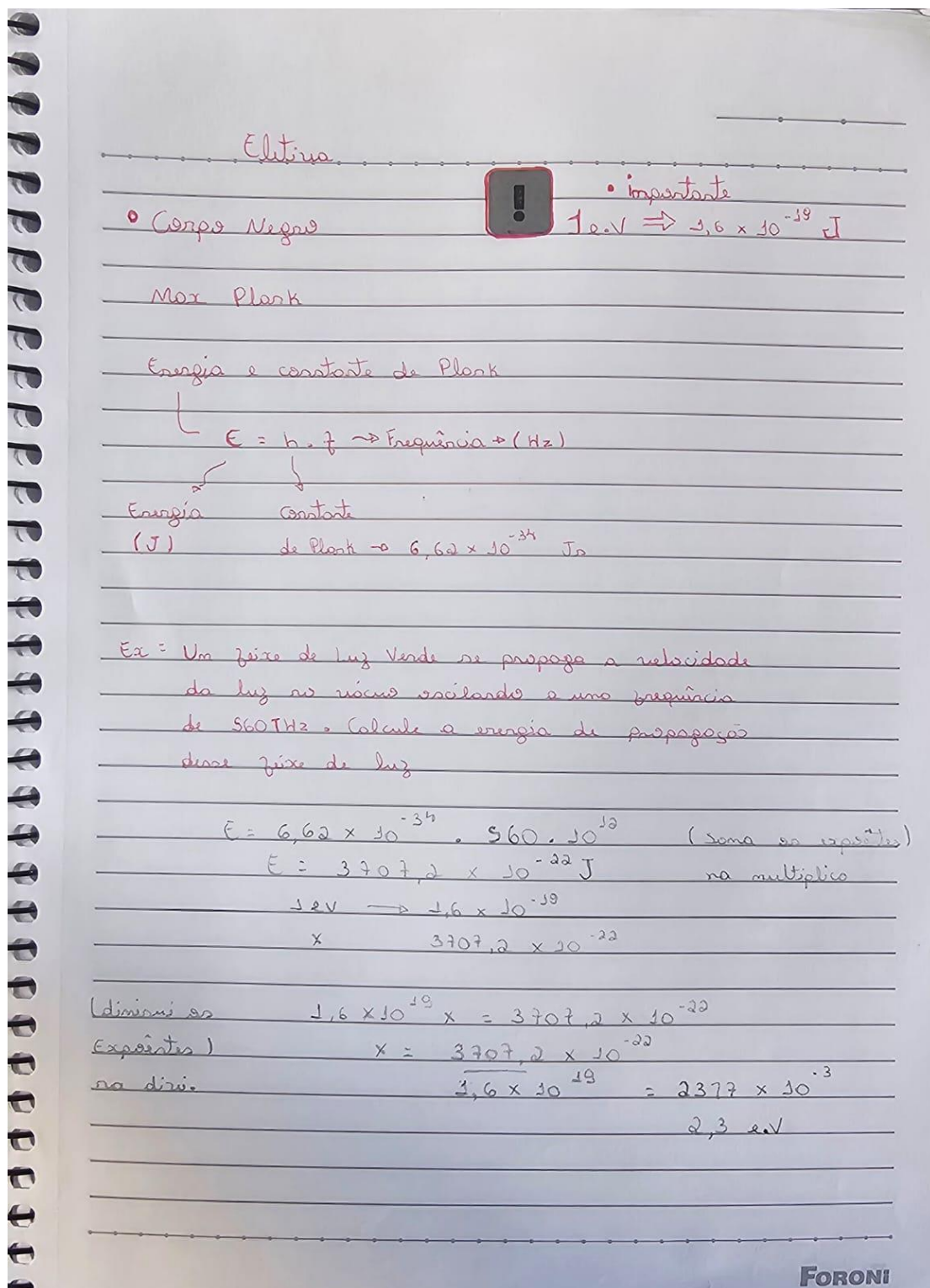
Fonte: Próprio autor

Figura 8: Fotografia do caderno do estudante K - fonte: arquivo pessoal



Fonte: Próprio autor

Figura 9: Fotografia do caderno do estudante Y - fonte: arquivo pessoal



Fonte: Próprio autor

O desenvolvimento de uma sequência de ensino investigativa que valorizou o processo de construção de conhecimento baseado em duas grandes teorias epistemológicas da aprendizagem, revelaram aspectos fundamentais sobre a aquisição de saberes basilares, mas também, a valorização da participação ativa dos estudantes no próprio processo investigativo. Além disso, os resultados indicam

que tanto a aprendizagem afetiva, quanto a aprendizagem significativa, quando aplicadas corretamente como modelo pedagógico, contribui para o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo, fortalecendo a autonomia intelectual dos aprendizes e incentivando a criatividade, inovação, possibilitando uma compreensão mais profunda dos mecanismos envolvidos na assimilação e construção do conhecimento, promovendo um aprendizado mais dinâmico, emotivo e significativo, principalmente porque o resultado da investigação culminou em uma área da física que ainda não está (e nem vai ser) completamente dominada pelos cientistas: a física quântica.

Logo, percebemos que as etapas da sequência de ensino investigativa, contribuem diretamente para o direcionamento de atitudes e construção de esquemas mentais (subsunçores) nos estudantes que participaram dos estágios da sequência, e isso, além de promover uma aprendizagem mais sólida, pois novas conexões (sinapses cerebrais) são feitas, reconfigurando toda uma articulação neural, também permite a interação contínua entre conhecimentos os prévios e sua posterior diferenciação progressiva.

Precisamos compreender que os aspectos emocionais exercem um papel fundamental na construção do conhecimento e na retenção das informações ao longo do tempo. Ao integrar os fatores afetivos e significativos ao processo de ensino e aprendizagem, os educadores não apenas podem potencializar motivações nos estudantes, mas também fortalecem a conexão entre os novos conteúdos e os conhecimentos previamente adquiridos. Dessa maneira, ao investir em metodologias pedagógicas que valorizam emoções positivas, elas desempenham um papel central no desenvolvimento da personalidade e da aprendizagem, não sendo apenas um “sentimento”, mas uma força que impulsiona o estudante a agir, explorar e se relacionar com o mundo, podendo ainda, contribuir significativamente para um aprendizado mais profundo e duradouro. E, para isso, os professores podem (devem) adaptar estratégias de ensino que favoreçam uma maior participação e engajamento, promovendo um ambiente de aprendizagem bem mais estimulante afetivamente.

Para comprovar que a unificação das teorias fortalece o processo de ensino e aprendizagem no ensino de física em especial, foram registrados relatos de alguns

estudantes escolhidos aleatoriamente, independentemente de suas habilidades. O estudante X, relata:

“Nunca tinha ouvido falar em física quântica. Achei muito bacana estudar física quântica. A parte que eu mais gostei foi quando a gente descobriu que o ferreiro de Potengi usa a própria experiência para saber a hora de marretar o metal aquecido. Estudar a física assim se torna muito mais legal porque aprendemos algo que não vamos esquecer”

Dentro da mesma perspectiva do estudante X, o estudante K também relata:

“Estudar física quântica ligada à história dos ferreiros foi algo bastante interessante e, para mim, facilitou o aprendizado. Entender que, mesmo sem saber, eles manipulavam o comportamento dos átomos com base em conhecimentos empíricos vindos de uma tradição passada de geração em geração, foi o que mais me chamou atenção. Descobri que a flexibilidade e a dureza do metal mudam conforme os átomos se reorganizam em determinadas temperaturas e como esses processos afetam a matéria. Quando eles aquecem e resfriam o ferro, estão, na verdade, alterando a estrutura interna do material, ou seja, mudando a organização atômica, algo que a física quântica explica com detalhes, mesmo sendo invisível a olho nu.”

O terceiro estudante, chamado de W, escreve:

“Minha experiência sobre física foi a surpresa que os ferreiros utilizaram a física quântica, sem saber os princípios quânticos. O jeito como aquecem o metal, lidam com a incerteza do ponto exato de moldar, isso mostra que o conhecimento popular ajudou bastante no desenvolvimento de ferramentas. Com isso foram muitas aulas de campo para analisar seu métodos de produção e saber como eles aperfeiçoaram suas técnicas”

Podemos inferir que, pelas declarações relatadas pelos estudantes, estar diante de uma situação nova conduzida intencionalmente para que haja a capacidade de descobrimento de informações ou dados associados a um tema, pode produzir efeitos satisfatórios no cérebro e no organismo do indivíduo que está experimentando uma metodologia capaz desenvolver a curiosidade e a descoberta.

Logo, o profissional do ensino se torna um instrumento com a possibilidade de proporcionar ferramentas úteis ao processo de ensino e, com ele, alcançar um pensamento verdadeiramente crítico em um mundo cada vez mais abstrato e simbólico. Isso significa que o professor moderno deve, sobretudo, atuar para evitar falhas em seus ensinamentos por falta de empatia e habilidades de comunicação social, o que leva alguns estudantes a terminar com um apagão no interesse pelas

disciplinas. Não obstante, professores que conseguem de alguma forma, manipular as emoções e os sentimentos da forma correta abrem a mente das crianças, os inspiram, os envolvem curiosos pelo conhecimento, graças a suas qualidades para a empatia ou porque eles têm cuidado e ampliado suas habilidades sociais e de comunicação. Portanto, a abordagem emocional, é a porta que abre o conhecimento e, com ele, a construção de um bom ser humano e conseqüentemente, a criação de pontos de ancoragem cerebrais mais robustos e sólidos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado através de uma sequência de ensino investigativa – SEI, com os estudantes do ensino médio, permitiu uma compreensão mais profunda da importância histórica e da relevância que os ferreiros de Potengi têm para o desenvolvimento econômico e cultural da cidade. Ao longo da pesquisa, foi possível identificar como a tradição da metalurgia moldou a identidade local, fornecendo instrumentos, equipamentos e contribuindo para o avanço de diversas atividades produtivas.

Tal compreensão, permitiu não somente entender a dinâmica de trabalho, mas também, assimilar e discernir sobre as relações entre uma classe oprimida por uma estrutura social que perpetua desigualdades históricas exige uma análise crítica dos fatores que contribuem para essa opressão. É fundamental compreender os mecanismos que reforçam a marginalização desse grupo, seja por meio de barreiras econômicas, sociais ou políticas, tornando possível identificar caminhos para a construção de estratégias que promovam a equidade e a justiça, permitindo que essa classe alcance maior autonomia e reconhecimento dentro da sociedade.

Muito além de um trabalho científico, essa investigação é galgada em entender as relações de poder que se estende pela estrutura social e econômica da comunidade, revelando os mecanismos que perpetuam desigualdades e influenciam a dinâmica entre diferentes grupos sociais. Ao analisar essas relações, é possível identificar os fatores históricos e culturais que moldaram as condições atuais, permitindo uma reflexão crítica sobre os desafios enfrentados pelos indivíduos em contextos de vulnerabilidade.

Dessa forma, esta investigação não apenas contribui para o conhecimento de aspectos conceituais da física na área da física quântica (uma iniciação no ensino médio), mas também abre espaço para um diálogo mais amplo sobre justiça social e transformação comunitária. E o estudo e a investigação da construção histórica e política do município de Potengi, deixaram claro e evidente que é cada vez mais importante complementar, em cada sistema de ensino e estabelecimento escolar, uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e da clientela, ainda mais porque, quando se

trata de física, o uso de metodologias que permitem este olhar mais politizado sobre uma situação, ainda é uma barreira a ser superada.

E no que tange ao ensino da radiação eletromagnética relacionado com a profissão de ferreiro tendo como abordagem teórica uma mescla entre a epistemologia walloniana e a ausubeliana, permitiu que o conhecimento fosse construído de maneira significativa, considerando tanto os aspectos emocionais e sociais dos alunos quanto os processos de assimilação cognitiva. A abordagem dentro da perspectiva afetiva proporcionou uma compreensão do aprendizado como um processo dinâmico, onde a interação entre emoção e intelecto pode fortalecer a apropriação do conhecimento. Paralelamente, a perspectiva significativa permitiu que os conceitos de radiação eletromagnética fossem introduzidos de forma organizada, partindo das estruturas cognitivas prévias dos estudantes e promovendo conexões lógicas com seus conhecimentos anteriores sobre a prática dos ferreiros.

Esta integração teórica possibilitou um ensino emocionalmente mais significativo, no qual os alunos não apenas compreendem os princípios científicos do brilho do metal ao ser aquecido (em uma perspectiva cognitivista), mas também percebem sua aplicabilidade dentro do contexto histórico e profissional da metalurgia local (ou seja um ensino de física que ultrapassa os muros escolares em direção a compreensão dos fenômenos da realidade local dos estudantes de uma turma em particular do ensino médio na cidade de Potengi, CE).

Dessa forma, a investigação não apenas amplia a compreensão científica dos estudantes, mas também valoriza o conhecimento tradicional dos ferreiros, criando um diálogo enriquecedor entre saberes acadêmicos e empíricos, colocando os ferreiros potengienses como marco importante na construção histórica do município de Potengi.

A investigação sobre o mecanismo físico por trás do brilho dos metais aquecidos revelou conexões entre os conhecimentos históricos e científicos, demonstrando que o aquecimento induz transições eletrônicas nos átomos metálicos, resultando na emissão de radiação luminosa em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Esse estudo não apenas possibilitou o entendimento de uma área pouco explorada no ensino médio (física quântica e física moderna), mas também ampliou a percepção que os estudantes têm sobre a física quântica iniciada

no início do século XX com as proposições de cientistas como Max Planck e Albert Einstein,

Assim, percebemos que estudos investigativos desempenham um papel fundamental na construção do conhecimento, pois incentivam a pesquisa ativa, a experimentação e a análise crítica dos fenômenos naturais e sociais. Diferente da aprendizagem baseada apenas na memorização de conteúdos, esta investigação permitiu que os estudantes explorassem conceitos de forma aprofundada, formulando hipóteses, testando ideias e chegando a conclusões fundamentadas.

Além disso, o caráter exploratório da sequência de ensino investigativa contribui para o desenvolvimento da autonomia intelectual, estimulando o pensamento crítico e a capacidade de resolver problemas, elaborando senso crítico e desenvolvendo a habilidade de questionar, conectar conhecimentos pré-existentes e construir novas perspectivas sobre um determinado tema. Esse processo é essencial para que os estudantes desenvolvam habilidades de pesquisa, interpretação de dados e aplicação prática do conhecimento, tornando o aprendizado emocionalmente envolvente, significativo e dinâmico, promovendo inovação, descobertas e a evolução do pensamento humano.

Outras sequências de ensino investigativas podem ser elaboradas a partir da costura teórico-metodológica desenvolvida neste trabalho, sem se limitar exclusivamente ao desenvolvimento de SEI's. Além disso, sequências didáticas, jogos educativos e metodologias ativas representam alternativas viáveis para o desenvolvimento conjunta da teoria da aprendizagem afetiva e da aprendizagem significativa, podendo ser exploradas em diversas áreas do conhecimento. Essa abordagem ampliada favorece a adaptação dos princípios teóricos a diferentes contextos educacionais, enriquecendo as práticas pedagógicas e potencializando o engajamento dos estudantes.

A aprendizagem afetiva e a aprendizagem significativa estão profundamente interligadas, pois ambas enfatizam a importância das emoções e do envolvimento ativo no processo de aquisição do conhecimento. A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel destaca que novos conceitos são assimilados de maneira mais eficaz quando se conectam ao conhecimento prévio do aluno, tornando o aprendizado mais estruturado e duradouro. Já a aprendizagem afetiva

ênfatiza o papel das emoções, motivações e relações interpessoais na construção do conhecimento.

Podemos então pensar em algumas correlações entre essas duas abordagens que podem ser observadas em diversos aspectos. Considerando como pressuposto que as duas teorias podem ser correspondentes, ao considera-las para garantir um aprendizado mais eficaz e duradouro, as metodologias de ensino adotadas com base nas duas vertentes, pode garantir motivação e engajamento pois, a afetividade influencia diretamente o interesse do aluno pelo aprendizado, tornando a assimilação de novos conteúdos mais significativa. Pode melhorar a relação entre professor e aluno gerando um ambiente acolhedor e emocionalmente positivo que favorece a aprendizagem significativa, permitindo que o aluno se sinta seguro para explorar e conectar novos conceitos. Pode melhorar os processos de memória e retenção, uma vez que, as informações associadas a experiências afetivas positivas tendem a ser melhor armazenadas e recuperadas, fortalecendo a aprendizagem significativa e, facilita a construção de significados e a internalização do aprendizado pois promove interação social através da troca de conhecimentos em um ambiente colaborativo e emocionalmente estimulante.

Em resumo, a aprendizagem significativa se torna mais eficaz quando há um componente afetivo envolvido, pois as emoções desempenham um papel essencial na motivação, na retenção do conhecimento e na construção de relações interpessoais que favorecem o aprendizado. Ao considerar os fatores afetivos dentro da teoria da aprendizagem significativa, podemos obter um novo ramo de estudo epistemológico, podendo ainda, ser objeto de pesquisa de um novo campo da aprendizagem significativa: a aprendizagem só é significativa se, *a priori*, for afetiva.

8 REFERÊNCIAS

BATISTA, Célio Augusto Alves; BATISTA, Halley Guimarães. **Breve história dos municípios do cariri cearense**. Edições Inesp. Fortaleza -Ce, 2020.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf data de acesso: 20/09/2023

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/529732/lei_de_diretrizes_e_bas es_1ed.pdf data de acesso: 30/06/2025

BUCUSSI, Alessandro A. **Introdução ao conceito de energia. Textos de apoio ao professor de física**. Trabalho de conclusão do Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007 v.17 n.3 2006 disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n3_Bucussi.pdf data de acesso: 16/05/2025

CARVALHO, Anna Maria Pessoa; SASSERON, Lúcia Helena. **Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores**. Ensino de Ciências • Estud. av. 32 (94) • Sep-Dec 2018 • <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0004> data de acesso: 18/04/2025

CARVALHO, Ana Maria Pessoa; et al. **Ciência no Ensino Fundamental: o conhecimento físico**. São Paulo: Scipione. 2009.

CEARÁ. **Catálogo unidades curriculares eletivos**. Fortaleza, 2023. Disponível em: https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2023/03/catalogo_unidades_curriculares_eletivas_2023.pdf data de acesso: 30/01/2025

CORTELLA, Mario Sérgio. **Porque fazemos o que fazemos?**. 2ª edição. ED. Planeta. São Paulo, 2016.

CORREIA, Nestor. **A história da física na educação brasileira**. Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC. Disponível em: [A Historia da Fisica na Educao Brasileira](#) Data de acesso: 18/04/2025

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria Castanho. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DOMINGUINI, Lucas. **Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM**. Desenvolvimento em Ensino de Física. Rev. Bras. Ensino Fís. 34 (2). Jun, 2012. Disponível em: [SciELO Brasil - Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM](#) data de acesso: 01/01/2025

DUARTE, Fátima. **Potengi: de suas origens aos nossos dias**. Editora Mentor. Crato, 2019.

FEIJÓ, Natanael Feijó; DELIZOICOV, Nadir Castilho. Periódico Retratos da Escola. **Professores da educação básica: conhecimento prévio e problematização**. Disponível em: [Vista do Professores da educação básica: Conhecimento prévio e problematização](#) data de acesso: 26/03/2025.

FEYMAN, Richard P. **The Feynman Lectures on Physics**. New millennium edition. Volume 1. New York, 1963. Disponível em: https://www.academia.edu/79025714/The_Feynman_Lectures_on_Physics_Volume_1 data de acesso: 25/01/2025

FRANCELINO, Ricardo. **Emoções e sentimentos no processo de ensino aprendizagem: contribuições da teoria de Wallon**. Dialética. São Paulo, 2022.

GASPAR, Alberto. **Atividade experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. Coleção contextos da ciência. Editora Livraria da física. São Paulo, 2014.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Basics concepts in relativity early quantum theory**. 2ª edição. Wiley, New York. 1985.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert.

HILÁRIO, Thiago Wedson; SOUZA, Ruberley Rodrigues de. **Sequência de ensino por investigação: uma proposta para o processo de alfabetização**. Produto educacional vinculado à dissertação Vai Equilibrar? As contribuições da Sequência de Ensino por Investigação para Alfabetização em Linguagem no ensino de Ciências. Jataí, 2017. Disponível em: [https://ifg.edu.br/attachments/article/10717/Produto_2018_Thiago_Wedson_Hil%C3%A1rio\(.pdf1500kb\).pdf](https://ifg.edu.br/attachments/article/10717/Produto_2018_Thiago_Wedson_Hil%C3%A1rio(.pdf1500kb).pdf) data de acesso: 02/01/2025

JACKSON, John David. **Classical Electrodynamics**, 3rd Edition, John Wiley & sons, Inc. U.S.A. 1999. Disponível em: <https://archive.org/details/john-david-jackson-classical-electrodynamics-wiley-1999/mode/2up> data de acesso: 30/06/2025

JAMMER, Max. **The conceptual development of quantum mechanics**. McGRAW-HILL BOOK COMPANY. Bar-Ilan University, Israel, 1989 disponível em: <https://dokumen.pub/qdownload/the-conceptual-development-of-quantum-mechanics.html> data de acesso: 30/04/2025

KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. — 12. ed. Debates. São Paulo: Perspectiva, 2013. Disponível em: <https://ppec.ufms.br/files/2020/10/A-estrutura-das-revolu%C3%A7%C3%B5es-cient%C3%ADficas-Kuhn.pdf> data de acesso: 19/06/2025

MAHONEY, Abigail Alvarenga; ALMEIDA, Laurinda Ramalho de. **Afetividade e processo ensino-aprendizagem: contribuições de Henri Wallon**. Psicologia da educação, n.20. São Paulo, jun. 2005. ISSN 2175-3520. disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-69752005000100002#:~:text=Em%20cada%20est%C3%A1gio%20de%20desenvolvimento,mais%20em%20evid%C3%A2ncia%2C%20embora%20os data de acesso: 05/03/2025

MORA, Francisco. **Neuroeducaión: solo se puede aprender aquello que se ama**. Alianza Editorial. Madrid. 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem**. Editora pedagógica e universitária. São Paulo, 2009.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elsie F. Salzano. **Aprendizagem significativa: a teoria de Ausubel**. Editora Moraes LTDA. São Paulo, 1982.

MOREIRA, Marco Antônio. **Metodologias de pesquisa de ensino**. LF editorial. São Paulo, 2011. Disponível em: <https://dokumen.pub/qdownload/metodologias-de-pesquisa-em-ensino-978-85-7861-110-1.html> data de acesso: 24/06/2025.

MOREIRA, José R. Simões. **Notas de aula de PME 3361 – Processos de Transferência de Calor**. Atualização Novembro/2018. Disponível em: [AULA 10](#) data de acesso: 14 de junho de 2025.

PESSOA, Augusto. **Potengi: A arte de forjar o ferro**. Revista Continente. Janeiro de 2013. Disponível em: <https://revistacontinente.com.br/edicoes/145/potengi--a-arte-de--forjar-o-ferro> data de acesso: 20/03/2023

PIFER, Anderson; AURANI, Katya Margareth. **The analytical theory of heat of Joseph Fourier: an analysis of the conceptual and epistemological foundations**. História da Física e Ciências Afins. Revista Brasileira de Ensino de Física. 37. Jan-Mar 2015 disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11173711681> data de acesso: 04/03/2025

PODCAST IDEAL. **Entrevista com Dr. Luiz Jamil Rodrigues**. Youtube. 25 de out de 2022. 3h03min31s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xvGQtLhDQwA&t=4704s> acesso em: 09 de setembro de 2023.

PRÄSS, Alberto Ricardo. **História e epistemologia da física**. Disponível em: [História da Física: Resumo | Prof. Alberto Ricardo Präss](#) data de acesso: 19/04/2025

SALSA, Ivone da Silva. **A importância do erro do aluno em processos de ensino e de aprendizagem**. REMATEC/Ano 12/n. 26/set.-dez. 2017, p. 86 – 99. Disponível em: <https://www.rematec.net.br/index.php/rematec/article/view/236/237> data de acesso: 26/03/2023

SANTOS, Ana Paula dos; JUNIOR, Henrique Antunes Cunha. **Patrimônio cultural afro-caririense: tecnologia ancestral dos ferreiros de Potengi**. Revista Travessias, Cascavel. V.14, n. 1, p. 299-311, jan./abr. 2020.

SANTOS, Pedro Emanuel. **Foles: sopros de ar e fogo**. Notícias Magazine. Disponível em: <https://www.noticiasmagazine.pt/2019/foles-sopros-de-ar-e-fogo/historias/244211/#:~:text=Um%20salto%20no%20tempo%20leva,primeiro%20f%20ole%20mec%C3%A2nico%20de%20sempre>. Data de acesso: 09 de set de 2023.

SANTOS, Raíssa Carvalho dos. **Sobre a influência do conhecimento prévio e aprendizagem**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Linguística, Português e Línguas Clássicas da Universidade de Brasília (UnB) como

requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em letras. Brasília, 2019 disponível em: [2019_RaissaCarvalhoDosSantos_tcc.pdf](#) data de acesso: 21/04/2025

SANTOS, A.C.; NASCIMENTO, S. D.; SOUZA, D. N. **Ensino de Física Moderna: perspectivas e desafios sob o olhar de alguns professores de Física do Ensino Médio**. Revista Scientia plena. Vol. 12. Num.: 11 disponível em: [Vista do Ensino de Física Moderna: Perspectivas e desafios sob o olhar de alguns professores de Física do Ensino Médio](#) data de acesso: 02/01/2025

SELBACH, Simone. **Ciências e didática**. Coleção como ensinar bem. Editora Vozes. Rio de Janeiro, 2010.

SETTE, Catarina Possenti; ALVES, Gisele. (Orgs). **Competências socioemocionais: a importância do desenvolvimento e monitoramento para a educação integral**. São Paulo: Instituto Ayrton Senna, 2021.

SILVA, Ana Paula Bispo; FORATO, Thaís Cyrino de Mello; GOMES, José Leandro de A. M. Costa. **Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos**. Cad. Bras. Ens. Fis., v. 30, n. 3, p. 492-537, dez. 2013. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165536.pdf> data de acesso: 17/05/2025

SILVA, Roberto C. B. *et al.* **Ensino médio e desenvolvimento socioemocional: uma análise comparativa da educação em tempo integral com a educação em tempo parcial em uma escola pública estadual do interior do ceará**. In: SARAIVA, Luciano ; SANTANA, Wilder (Orgs.). **Caderno dialógico Educação, Linguagens, & outros diálogos possíveis**. Pedro e João Editores. Vol 3. – São Carlos – SP, 2025. Disponível em: <https://pedroejoaoeditores.com.br/produto/caderno-dialogico-educacao-linguagens-outros-dialogos-possiveis-vol-3/> data de acesso: 28/02/2025

SOUSA, Roseberg Pereira de, *et al.* **A relação entre a abertura ao novo e desempenho escolar dos alunos da 2ª série do ensino médio em tempo integral de uma escola pública estadual do interior do ceará**. Anais do X Congresso Nacional de Educação. Fortaleza, 2024. ISSN: 2358-8829. Publicado em 08 de novembro de 2024. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/112392> data de acesso: 04/03/2025

SOUSA, Roseberg Pereira de *et. al.* **Casa de ferreiro, espeto de pau: a história não contada da profissão símbolo da cidade de Potengi – Ce**. No prelo.

SOUZA, Vitor Fabrício Machado; SASSERON, Lucia Helena. **As interações discursivas no ensino de física: a promoção da discussão pelo professor e a alfabetização científica dos alunos**. Ciênc. educ. (Bauru) 18 (3) • 2012 • <https://doi.org/10.1590/S1516-73132012000300007> data de acesso: 19/03/2025

STURDAT, Nelson. **A invenção do conceito de quantum de energia segundo Planck**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 4, Dezembro, 2000

UAIFISICA. **EMIÇÃO TÉRMICA - Por que corpos com temperatura emitem radiação?**. Youtube, 24 de jun. de 2020. 24min57s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AURqxsSnPWc> data de acesso: 19 de abril de 2024.

VIEIRA, Cásio Leite; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. **História da física: artigos, ensaios e resenhas**. 2ª edição. CBPF, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/cbpf/pt-br/divulgacao-cientifica/livros/historia-da-fisica.pdf> data de acesso: 20/07/2025.