



Apêndice A:

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA - SBF

MESTRADO NACIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF POLO 31

UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA

PRODUTO EDUCACIONAL

**PROBLEMATIZANDO NO ENSINO A FÍSICA DOS HOMENS DE
FERRO DE POTENGI, CE**

**Autores: ROSEBERG PEREIRA DE SOUSA
CLAUDIO REJANE DA SILVA DANTAS**

Potengi, Ce – 2025
ROSEBERG PEREIRA DE SOUSA

Apresentação

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: **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**, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 31 – Urca, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Caro colega professor ou professora apresenta-lhes o produto educacional desenvolvido com o objetivo de oferecer suporte pedagógico ao ensino da radiação eletromagnética, relacionando-o à arte dos ferreiros da cidade de Potengi, no estado do Ceará. Este município possui uma característica peculiar: abriga a maior quantidade de ferreiros em relação ao número de habitantes, quiçá de todo o Brasil. Essa forte marca cultural fez com que Potengi ficasse nacionalmente conhecida como *a cidade que não dorme*.

Esse título decorre do horário de trabalho escolhido pelos ferreiros para exercerem sua profissão, que, em grande parte, acontece durante as madrugadas. Este costume tem raízes tanto em fatores climáticos — como a tentativa de evitar o calor intenso do dia — quanto em aspectos culturais e econômicos, que moldaram a rotina local ao longo das gerações. A proposta deste material é, portanto, utilizar esse contexto singular para aproximar os estudantes dos conceitos de radiação eletromagnética, a partir da observação e análise do trabalho dos ferreiros. Por exemplo, o aquecimento dos metais nas forjas pode ser explorado para discutir a emissão de radiação térmica, a relação entre temperatura e comprimento de onda, e fenômenos de natureza quântica. Essa abordagem contextualizada e ligada a uma característica local, buscamos promover uma aprendizagem significativa com base nos preceitos preconizados por David Ausubel fazendo uma costura metodológica com a aprendizagem afetiva de Henri Wallon.

De acordo com Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando novos conteúdos se relacionam de maneira não arbitrária e substantiva com aquilo que o aluno já sabe, ou seja, com seus conhecimentos prévios. Nesse sentido, ao ancorarmos os conceitos de radiação eletromagnética em uma vivência concreta e culturalmente relevante — como a prática ancestral da forja em Potengi — facilitamos a formação de subsunçores, promovendo uma aprendizagem duradoura e com sentido. Do mesmo modo em que a teoria de Henri Wallon nos convida a considerar o papel das emoções e das interações sociais no processo educativo com a valorização da cultura local, despertando o interesse e o envolvimento afetivo dos estudantes, criando, não somente um ambiente propício ao desenvolvimento cognitivo, afetivo e social, mas também reconhecendo e valorizando os conhecimentos acumulados através das gerações de artesãos que colaboraram com a construção histórica e econômica do município de Potengi.

O grande questionamento que se deve fazer para que, nós professores de física, consigamos entrelaçar o conhecimento técnico científico com uma característica cultural é: como fazer isso? O grande questionamento que se deve fazer para que nós, professores de Física, consigamos entrelaçar o conhecimento técnico-científico com uma característica cultural é: *como fazer isso?*

Para responder a essa demanda, desenvolvemos uma sequência de ensino investigativa SEI, fundamentada nas ideias de Ana Maria Pessoa de Carvalho, que defende uma abordagem ativa, reflexiva e centrada na construção do conhecimento pelo estudante através de uma investigação criteriosa.

Essa sequência foi cuidadosamente planejada para promover a investigação como eixo central da aprendizagem, permitindo que os alunos levantem hipóteses, realizem observações, analisem dados e construam explicações com base em evidências — sempre partindo da realidade local. Ao explorar a atividade dos ferreiros de Potengi como ponto de partida, os estudantes não apenas se apropriam de conceitos de radiação eletromagnética, mas também desenvolvem habilidades científicas em um contexto culturalmente significativo.

A proposta assume que o conhecimento científico não deve ser apresentado de forma descontextualizada, mas sim construído em diálogo com o cotidiano dos alunos, valorizando seus saberes prévios e promovendo o engajamento cognitivo e

afetivo. Assim, a investigação deixa de ser um fim em si mesmo e passa a ser um meio poderoso para articular ciência e cultura, promovendo uma educação mais crítica, ativa e significativa.

Todo o processo foi desenvolvido na Escola de Ensino Médio em Tempo Integral Menezes Pimentel, utilizando o tempo pedagógico destinado a uma eletiva — parte do itinerário formativo — e teve como ponto de partida visitas *in loco* as oficinas dos ferreiros da cidade de Potengi. Durante a etapa inicial de desenvolvimento da Sequência de Ensino Investigativa (SEI), diversos aspectos científicos, especialmente da Física, foram observados pelos estudantes. Um exemplo marcante foi o fenômeno das fagulhas incandescentes que, ao serem expelidas durante a amolação de foices, não causavam queimaduras visíveis na pele dos ferreiros, mesmo sem o uso de equipamentos de proteção individual. Esse fato chamou bastante atenção por contrariar expectativas iniciais.

No entanto, o aspecto físico que mais despertou o interesse dos alunos durante as visitas foi o brilho colorido do metal aquecido. As diferentes tonalidades observadas no processo de aquecimento suscitaram questionamentos que direcionaram toda a sequência investigativa para a compreensão dos fenômenos físicos relacionados à radiação térmica, ao espectro visível da luz e à relação entre temperatura e cor da radiação emitida por um corpo aquecido. A partir desse ponto de interesse genuíno dos estudantes, foi possível construir uma trilha investigativa rica e significativa, aliando teoria científica e realidade local de forma concreta e envolvente. Aproveitou-se também esse momento de aprendizagem fora da sala de aula para investigar como os ferreiros de Potengi se tornaram o que são hoje, por meio de uma pesquisa qualitativa voltada à compreensão das origens e da história desse movimento cultural.

Essa abordagem permitiu aos estudantes não apenas explorar conceitos científicos, mas também mergulhar na trajetória sociocultural da profissão de ferreiro na cidade, valorizando o patrimônio imaterial local e reconhecendo a importância dessa atividade para a identidade da comunidade reconstruindo a história e formação do município.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	5
2 A RELAÇÃO ENTRE A APRENDIZAGEM AFETIVA E A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	8
3 A FÍSICA DOS HOMENS DE FERRO	23
3.2. Variação da temperatura em um corpo: Como os ferreiros sabem o momento ideal para forjar o ferro?.....	36
3.3. Emissão de ondas eletromagnéticas por corpos aquecidos.....	39
4 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA RADICAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NO ENSINO MÉDIO CONTEXTUALIZANDO COM O TRABALHO DOS FERREIROS DE POTENGI, CE	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
6 ALGUMAS REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A Física passou por um longo processo histórico até se firmar como ciência. Na Antiguidade, pensadores como Leucipo, Demócrito, Aristóteles e Arquimedes iniciaram reflexões sobre os fenômenos naturais. Durante a Idade Média, nomes como Ptolomeu e Alhazen contribuíram para a continuidade e evolução desses estudos, especialmente em astronomia e óptica. No Renascimento, Galileu Galilei rompeu com o modelo aristotélico, iniciando a abordagem experimental. Kepler, com suas leis do movimento planetário, e Newton, com as leis do movimento e da gravitação universal, consolidaram a Física clássica. No século XIX, avanços em termodinâmica e eletromagnetismo, com destaque para as equações de Maxwell, impulsionaram a Revolução Industrial. No século XX, a Física passou por novas transformações com a teoria da relatividade de Einstein e a mecânica quântica de Planck, revolucionando a compreensão do universo e influenciando profundamente a tecnologia moderna.

A Física é dividida em áreas como Mecânica, Eletromagnetismo, Óptica, Ondas e Termodinâmica, amplamente presentes nos livros didáticos e no currículo escolar brasileiro. Sua inclusão formal ocorreu com a Reforma Francisco Campos (1931) e foi reforçada pela LDB de 1961. Segundo a BNCC (2017), a Física integra o componente de Ciências da Natureza e contribui para o desenvolvimento do letramento científico, visando à formação integral dos estudantes.

A BNCC enfatiza a articulação entre conhecimentos científicos e dimensões socioemocionais, reforçando que o aluno motivado tende a ter melhor desempenho escolar. No entanto, o ensino de Física ainda enfrenta desafios, como o excesso de abstração e a distância dos conteúdos em relação à realidade dos alunos. A Termodinâmica, por exemplo, apesar de estar ligada ao cotidiano (máquinas térmicas, clima, metabolismo), é frequentemente ensinado de forma teórica e descontextualizado, o que dificulta sua compreensão e reduz o interesse estudantil.

Este trabalho tem como objetivo central investigar o desenvolvimento da aprendizagem sobre o conceito de radiação eletromagnética por estudantes do ensino médio, por meio da elaboração e aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI). O contexto escolhido para essa abordagem foi o trabalho artesanal dos ferreiros da cidade de Potengi, localizada na região do Cariri cearense, reconhecida

nacionalmente como "a cidade que não dorme" devido ao ritmo peculiar de trabalho que começa ainda na madrugada.

Durante as visitas pedagógicas realizadas às oficinas de forja, os estudantes observaram diversos fenômenos físicos, entre eles o que mais despertou curiosidade foi o brilho colorido do metal incandescente ao ser aquecido. A partir dessa observação, foi estruturada uma sequência didática que problematiza o fenômeno da radiação térmica e sua relação com o espectro da luz visível, conectando o conteúdo de Física à prática cotidiana dos ferreiros. A proposta também considera aspectos de outras áreas da Física como a Termodinâmica, a Mecânica e as Ondas, o que evidencia a interdisciplinaridade envolvida na atividade.

Além da dimensão conceitual, o trabalho incorpora uma pesquisa qualitativa para investigar as origens da prática da ferraria em Potengi, por meio de entrevistas e relatos orais com descendentes dos primeiros ferreiros que chegaram à região na década de 1930. Esses relatos demonstram que a história dos ferreiros se confunde com a própria formação histórica do município, embora ainda pouco registrada oficialmente. Esse apagamento cultural pode ser interpretado à luz da pedagogia crítica de Paulo Freire, ao abordar as relações entre opressores e oprimidos e a ausência de reconhecimento das classes trabalhadoras na construção histórica das comunidades.

Do ponto de vista metodológico, a SEI foi fundamentada nas ideias de Carvalho e Sasseron (2018), que defendem uma abordagem de ensino por investigação como forma de tornar o aluno protagonista no processo de aprendizagem. A proposta também dialoga com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, ao buscar ancorar os novos conteúdos nos conhecimentos prévios e nas experiências dos alunos, e se complementa com os fundamentos da aprendizagem afetiva de Henri Wallon, que ressalta a importância da emoção e da afetividade como componentes fundamentais no processo educacional.

Autores como Mora (2018) reforçam a ideia de que cognição e emoção são dimensões indissociáveis da aprendizagem, sendo a emoção uma força motivadora que potencializa a retenção e o sentido do que se aprende. Assim, o professor assume um papel central como mediador que busca estratégias para mobilizar o interesse, romper os filtros neurais da aprendizagem (SELBACH, 2010) e transformar o

conteúdo escolar em algo significativo para o estudante, tanto em termos intelectuais quanto humanos.

Dessa forma, a proposta pedagógica deste trabalho pretende não apenas ensinar Física de forma mais contextualizada e eficaz, mas também valorizar a cultura local, promover o protagonismo discente e articular conhecimento científico com experiências afetivas e reais.

Os objetivos específicos do trabalho incluem:

- Investigar as concepções dos estudantes sobre radiação eletromagnética e sua relação com o trabalho dos ferreiros;
- Elaborar, aplicar e avaliar uma SEI que explore o fenômeno da incandescência do metal como indicativo da temperatura ideal para a forja, articulando essa prática cultural com os conceitos de Termodinâmica.

Este trabalho tem como propósito primordial a elaboração de um produto educacional que integre uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) centrada no ensino da radiação emitida por corpos aquecidos, tendo como objeto de estudo o trabalho artesanal dos ferreiros da cidade de Potengi, CE. A proposta fundamenta-se nas contribuições teóricas de Henri Wallon, com sua teoria da aprendizagem afetiva, e David Ausubel, com a aprendizagem significativa, destacando a importância dos fatores emocionais, sociais e culturais no processo de desenvolvimento cognitivo.

O produto educacional visa articular os saberes tradicionais da forja com os conceitos científicos da Física, promovendo uma aprendizagem significativa e afetivamente engajada. Ao mobilizar sentimentos — positivos e até negativos — como parte do processo de ensino, busca-se consolidar o conhecimento a partir de experiências emocionalmente marcantes, acessando dimensões profundas da subjetividade dos alunos, o que potencializa o envolvimento e a retenção da aprendizagem.

O trabalho está organizado em capítulos que dão suporte à compreensão da proposta pedagógica:

- **Capítulo 2:** Apresenta os fundamentos teóricos das teorias de Wallon e Ausubel, discutindo como a afetividade interfere diretamente na aprendizagem e propondo uma articulação entre essas duas abordagens.
- **Capítulo 3:** Resgata a história da tradição dos ferreiros de Potengi, destacando seu valor cultural e econômico para o município. Enfatiza a importância do saber popular como conhecimento legítimo e a necessidade de valorizá-lo dentro do currículo escolar, estabelecendo pontes entre ciência e cultura local.
- **Capítulo 4:** Aborda os conceitos físicos relacionados ao ofício do ferreiro, com ênfase na Termodinâmica e na Física Quântica. O capítulo analisa como o calor modifica a estrutura do metal e como o fenômeno da luminescência térmica pode ser interpretado à luz da física moderna, dando sentido aos fenômenos observados no cotidiano da forja.
- **Capítulo 5:** Produto educacional detalhando a Sequência de Ensino Investigativa desenvolvida, composta por cinco etapas: levantamento de hipóteses, observação de fenômenos, análise de situações-problema, construção coletiva de explicações e sistematização dos conhecimentos. Essa metodologia propicia uma aprendizagem ativa, crítica e contextualizada, distante do modelo tradicional baseado em memorização.
- **Capítulo 6:** Analisa os impactos da abordagem afetiva-significativa no aprendizado dos estudantes. A partir de observações, relatos e avaliações, verifica-se que a valorização dos saberes locais, aliada ao envolvimento emocional dos alunos, favoreceu o engajamento, a motivação e a apropriação dos conceitos científicos, demonstrando o sucesso da proposta pedagógica adotada.

Logo se conclui que este trabalho propõe uma nova maneira de ensinar Física na educação básica, reconhecendo a cultura local como ponto de partida legítimo para o desenvolvimento do conhecimento científico, e reforçando que a aprendizagem se torna mais efetiva quando mobiliza a razão e a emoção de forma integrada.

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

Neste capítulo, analisaremos como a teoria psicogenética de Henri Wallon (1934), centrada na integração entre emoção, cognição e motricidade no desenvolvimento humano, oferece uma base sólida para compreender a aprendizagem como um processo integral. Estabelecemos, assim, um diálogo com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1968), que destaca a importância dos conhecimentos prévios e da motivação do aluno para a assimilação de novos conteúdos. Ao articular essas duas abordagens, buscamos evidenciar como o envolvimento afetivo potencializa a construção significativa do conhecimento.

2.1. Ensino de física baseado na emotividade

A teoria psicogenética de Henri Wallon (1934) propõe que o desenvolvimento da criança deve ser compreendido de forma integral e não fragmentada, considerando a interação constante entre o organismo e o meio. Para ele, a aprendizagem ocorre por meio de uma dinâmica dialética entre afetividade, cognição, fatores biológicos e socioculturais. Nesse processo, a emoção assume papel central: ela não é apenas uma reação fisiológica, mas sim a exteriorização da afetividade, com impacto direto sobre o comportamento e o desenvolvimento intelectual.

Complementando essa perspectiva, Mora (2018) afirma que a emoção é a energia que move o mundo, defendendo que emoção e cognição são indissociáveis no processo de aprendizagem. A cognição, entendida como o conjunto de funções mentais relacionadas à aquisição do conhecimento, só se efetiva quando há envolvimento emocional. Isso coloca o professor como figura essencial, capaz de identificar e mobilizar os sentimentos dos alunos para tornar a aprendizagem mais significativa.

A aprendizagem, portanto, não é um processo meramente racional ou linear. Ela envolve aspectos como motivação, interesse, vínculo afetivo e a forma como os conteúdos se conectam com as experiências e emoções dos estudantes. O ambiente escolar, marcado pelas relações interpessoais entre docentes e discentes, carrega um universo afetivo que influencia diretamente o engajamento e a compreensão.

Wallon *apud* Francelino (2022) também destaca que o desenvolvimento afetivo, cognitivo e motor ocorre em interação com o meio social, sendo o trabalho

coletivo e colaborativo indispensável ao crescimento da criança. Além disso, ele afirma que o meio ambiente pode funcionar como gatilho para mudanças cerebrais, ativando mecanismos emocionais que favorecem a aprendizagem. Para que o conhecimento seja consolidado, é necessário que a informação ative a amígdala cerebral, centro das emoções, desencadeando a liberação de dopamina, neurotransmissor associado ao prazer e à motivação — elementos essenciais para a aprendizagem significativa.

Do ponto de vista neurocientífico, como enfatiza Mora (2018), a atenção funciona como uma janela neural: sem ela, não há retenção de conteúdo nem memorização efetiva. E a atenção, por sua vez, é sustentada por estímulos emocionais. Isso revela que a emoção não é acessória, mas sim fundamental para o funcionamento mental, a tomada de decisões, e a retenção do conhecimento. Em suma, sem emoção, não há aprendizagem real.

Este conjunto de ideias fortalece a tese de que as teorias de Wallon (1934) e Ausubel (1968) podem dialogar entre si, pois ambas reconhecem que o conhecimento só é construído de forma duradoura quando há envolvimento pessoal e afetivo. Assim, a aprendizagem significativa defendida por Ausubel ganha força quando é atravessada pelas emoções, como propõe Wallon, contribuindo para uma formação integral do sujeito.

A teoria psicogenética é um dos alicerces teóricos deste trabalho por entender o desenvolvimento humano como um processo integrado e dinâmico, em que afetividade, cognição, motricidade e ambiente interagem de forma indissociável. Wallon propôs uma abordagem que rompe com visões fragmentadas do desenvolvimento da criança, o que justifica o nome de sua teoria: a psicogênese da pessoa completa. Seu modelo parte da ideia de que a aprendizagem é influenciada por múltiplos fatores — emocionais, sociais, culturais e biológicos — e ocorre ao longo da vida. Ele estruturou essa proposta em quatro campos funcionais: afetividade, ato motor, conhecimento e pessoa.

Dentre esses campos, a afetividade ocupa posição central, sendo entendida como a capacidade de ser afetado por estímulos internos ou externos, provocando sensações de prazer ou desprazer. Ela é composta por três momentos: emoção (ativação fisiológica imediata), sentimento (representação mais elaborada) e paixão

(envolvimento emocional intenso e duradouro). A emoção, segundo Wallon, é a forma visível da afetividade, sendo a primeira resposta da criança diante do mundo e base para o desenvolvimento da inteligência. (FRANCELINO, 2022)

Autores como Mahoney e Almeida (2005) e Damásio (1996) reforçam essa ideia ao apontar que a emoção é um componente biológico do comportamento, enquanto a afetividade abrange experiências mais complexas, ligadas à linguagem, cultura e identidade. Esses elementos interferem diretamente na aprendizagem, pois mobilizam o aluno de forma mais profunda do que a simples memorização mecânica.

O processo de aprender, conforme discutido por autores como Selbach (2010) e Mora (2018), exige envolvimento emocional. Para Selbach, sem intenção afetiva por parte do professor, o ensino perde eficácia e se reduz a uma memorização vazia. Já Mora ressalta que o cérebro só aprende aquilo que chama sua atenção e envolve a emoção, pois não há razão sem emoção. A emoção ativa o sistema límbico, mais precisamente a amígdala cerebral, liberando dopamina, neurotransmissor essencial para a consolidação da memória e da aprendizagem significativa.

A perspectiva da aprendizagem afetiva, retomada por Francelino (2022), mostra que o desenvolvimento infantil só ocorre em relação com o meio — um conjunto de fatores físicos, sociais, culturais e simbólicos que influenciam o sujeito desde seu nascimento. Nesse sentido, a mediação do professor é crucial para transformar experiências afetivas em situações de aprendizagem, favorecendo o engajamento e a formação de vínculos entre o aluno e o conteúdo. O professor deve ser capaz de ativar emoções positivas e atenuar emoções negativas, criando um ambiente favorável ao aprendizado.

A motivação, como destaca Cortella (2016), é um impulso interno, um desejo que parte do próprio aluno. Contudo, esse impulso só se sustenta quando os conteúdos escolares têm significado e relevância, especialmente quando conectados ao cotidiano dos estudantes. O desinteresse surge, muitas vezes, da ausência de sentido ou de uma abordagem excessivamente abstrata e descontextualizada.

Mora (2018) destaca sobre a importância da atenção para o processo de aprendizagem, e sem ela o conhecimento não é retido de forma duradoura. Quando o conteúdo desperta curiosidade, surpresa, emoção ou identificação, ele é mais

facilmente absorvido, pois ultrapassa os filtros cerebrais e chega à memória de longo prazo. A informação que atinge a amígdala emocional é tratada com mais prioridade pelo cérebro, o que ajuda a consolidar o conhecimento de forma significativa.

As ideias de Pino (2001) apud Francelino (2022) complementam esse panorama ao identificar três fatores fundamentais para o desenvolvimento: sujeito, meio e objeto, sendo o meio social o elo entre o aluno e o conhecimento. Compreender essas relações possibilita repensar a formação de professores, o currículo escolar e as práticas pedagógicas. A aprendizagem significativa, portanto, só se concretiza quando há conexão entre emoção e cognição, entre o mundo interno do estudante e o conteúdo que se deseja ensinar.

A teoria de Wallon, articulada com os estudos neurocientíficos contemporâneos, evidencia que sem emoção não há aprendizagem duradoura. O papel do professor é, portanto, emocionar para ensinar, promovendo experiências que envolvam o aluno de forma integral — corpo mente e coração. Essa perspectiva reforça a importância de um ensino humanizado, afetivo e significativo para transformar a escola em um espaço de desenvolvimento pleno. Ela propõe que o desenvolvimento humano ocorre a partir da integração entre o indivíduo e o meio, em um processo dialético no qual emoção, cognição e motricidade atuam de forma indissociável. Nessa perspectiva, a emoção não é apenas um fenômeno acessório, mas sim a força motriz que dispara o funcionamento psíquico e possibilita a aprendizagem. Segundo Francelino (2022), compreender como se dá esse envolvimento emocional do sujeito com o objeto de interesse é essencial para que o professor desenvolva estratégias eficazes de mediação pedagógica, promovendo a construção da autonomia e de valores sociais e morais relevantes.

A emoção atua diretamente sobre o cérebro, desencadeando a liberação de neurotransmissores como a dopamina, que está associada ao prazer, à atenção, ao humor e ao aprendizado. Mora (2018) destaca que a aprendizagem é cerebral e baseada no prazer, ou seja, o ato de aprender está ligado a mecanismos biológicos de recompensa – mas não a recompensa skineriana. Isso significa que o conhecimento só se consolida de forma significativa quando há engajamento emocional — prazer e interesse — no processo de aprendizagem.

Nesse processo, emoções e sentimentos desempenham papéis diferentes, embora interligados. As emoções são reações rápidas e fisiológicas, observáveis no corpo (como suor, tremor, alterações vocais), enquanto os sentimentos são mais duradouros e subjetivos, não necessariamente expressos de forma visível. Segundo Francelino (2022), as emoções são reativas e imediatas, enquanto os sentimentos envolvem reflexão e interpretação interna, compondo o campo afetivo do indivíduo.

No ensino de disciplinas como a física, muitas vezes tratadas de maneira fria e técnica, ignorar esses aspectos emocionais pode levar à aversão e ao desinteresse por parte dos estudantes. Muitos alunos não conseguem estabelecer vínculo com os conteúdos justamente por falta de mediação afetiva. Mora (2018) observa que professores com excelente domínio técnico podem falhar no ensino por não desenvolverem competências afetivo-relacionais, o que compromete a motivação e a atenção dos estudantes.

A teoria de Wallon alerta que emoções negativas não apenas atravessam os alunos, mas também afetam o professor, sobretudo quando este se vê sem ferramentas para lidar com situações pedagógicas desafiadoras. Isso pode gerar sofrimento, angústia, medo e frustração, prejudicando a qualidade do ensino e o ambiente de aprendizagem. Francelino (2022) reforça que entender como as emoções se manifestam pode ajudar o professor a desenvolver autocontrole, segurança e otimismo, melhorando sua atuação em sala de aula.

No modelo walloniano destacado do Francelino (2022), o desenvolvimento ocorre por meio de conjuntos funcionais que não se desenvolvem isoladamente, mas em constante interação. São eles:

1. **Conjunto afetivo** – responsável por emoções, sentimentos e paixões;
2. **Conjunto ato motor** – relacionado à movimentação corporal e expressividade;
3. **Conjunto cognitivo** – voltado para aquisição de conhecimento;
4. **A pessoa** – integração de todos os outros conjuntos.

Esses conjuntos se desenvolvem de forma sincrética, ou seja, misturados e pouco diferenciados nos primeiros anos de vida, e vão se especializando com o

tempo. A afetividade, por exemplo, nasce das percepções internas e externas do corpo e dá origem a emoções mais complexas, como alegria, medo, raiva e tristeza.

Wallon (1934) também propôs cinco estágios do desenvolvimento infantil, eles foram sintetizados por Francelino (2022) nos quais, se destacam eventos psicológicos marcados por alternância na predominância dos conjuntos afetivo e cognitivo:

- **Estágio impulsivo-emocional (0–1 ano)** – predominância das emoções básicas como choro e sorriso;
- **Estágio sensório-motor e projetivo (1–3 anos)** – exploração do mundo por meio dos sentidos e movimentos;
- **Estágio do personalismo (3–6 anos)** – formação da identidade e busca de autonomia emocional;
- **Estágio categorial (6–11 anos)** – fortalecimento das capacidades cognitivas e organização das informações;
- **Estágio da adolescência (11 anos em diante)** – busca por identidade, pensamento abstrato e crise emocional.

Embora cada fase tenha um conjunto funcional predominante, todos os conjuntos estão sempre em atividade, influenciando-se mutuamente. A afetividade, por exemplo, é particularmente relevante nos estágios do personalismo e adolescência, quando o sujeito está mais vulnerável a influências externas e sociais.

A relevância pedagógica dessa abordagem está em perceber que ensinar é, antes de tudo, provocar envolvimento emocional com o conhecimento. O professor que entende a dinâmica emocional de seus alunos é capaz de desenvolver situações de aprendizagem mais significativas, despertando o interesse, a atenção e o prazer de aprender. A atenção, como destaca Mora (2018), é a porta de entrada da aprendizagem, e só é aberta quando o estímulo consegue atravessar os filtros emocionais do cérebro, especialmente o sistema límbico e a amígdala.

Podemos entender a emoção como o ponto de partida do desenvolvimento cognitivo. Somente quando o estudante se envolve afetivamente com o conteúdo, seja por curiosidade, prazer ou identificação, é que se cria espaço para uma aprendizagem significativa e duradoura. Portanto, ensinar exige sensibilidade emocional, escuta

ativa e empatia, pois a aprendizagem não ocorre apenas na mente, mas no corpo e nas emoções porque, *“solo se puede aprender, aquello que se ama”* (MORA, 2018).

2.2. A aprendizagem significativa de 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 importantes 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 Massini (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. Subsunçores

A teoria da aprendizagem significativa proposta por David Ausubel destaca a importância das ideias-âncora, ou subsunçores, na estruturação do conhecimento humano. Essas ideias são conceitos já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo, funcionando como pontos de referência para que novas informações sejam integradas de maneira lógica e organizada, e não de forma aleatória ou desconexa. À medida que a aprendizagem avança de forma significativa, esses subsunçores tornam-se mais complexos e eficazes, permitindo a ancoragem de conhecimentos cada vez mais elaborados (MOREIRA & MASINI, 1982).

Para facilitar essa ancoragem e promover uma aprendizagem significativa, Ausubel propôs o uso dos chamados organizadores prévios. Esses organizadores são recursos introdutórios apresentados antes do conteúdo novo, cuja função principal é servir de ponte entre os conhecimentos prévios dos alunos e o novo material a ser aprendido, facilitando a compreensão e a retenção das informações (MOREIRA & MASINI, 1982). Com isso, o professor assume um papel fundamental como orientador, ajudando os estudantes a construir novos significados com base em conhecimentos anteriormente adquiridos, promovendo não uma ruptura epistemológica, mas sim uma evolução conceitual contínua.

Nesse contexto, Santos (2019) ressalta que o conhecimento só é consolidado efetivamente quando os estudantes são capazes de acrescentar, reorganizar e incorporar novas informações à sua estrutura cognitiva, tornando os conhecimentos anteriores mais robustos e integrados.

Muitos autores que usam a teoria da aprendizagem significativa como base referencial para análises sobre os impactos que um bom ensino pode afetar estão em acordo com a proposição quando afirmam que há duas condições essenciais para que ocorra a aprendizagem significativa:

1. O material deve ser potencialmente significativo, ou seja, deve ser apresentado de maneira organizada, coerente e estar relacionado a conceitos já presentes na estrutura cognitiva do aluno. A aprendizagem só ocorrerá se houver possibilidade de o novo conhecimento ser conectado de forma não arbitrária com os conceitos existentes (MOREIRA & MASINI, 1982).

2. O aprendiz precisa ter disposição para aprender, ou seja, deve haver motivação, curiosidade e abertura para novas experiências. A vontade de aprender é, portanto, tão fundamental quanto à qualidade do material apresentado.

A interação entre conhecimentos novos e prévios, segundo Moreira e Massini (1982), precisa ser não-arbitrária e significativa, de modo que a aprendizagem ocorra de forma substancial e duradoura. Para isso, é indispensável que a estrutura cognitiva do aprendiz contenha os subsunçores adequados, prontos para assimilar as novas informações de forma coerente.

2.2.3. Aprendizagem subordinada, superordenada e combinatória

Moreira (1995) descreve diferentes formas pelas quais novas informações são incorporadas à estrutura cognitiva de um indivíduo. De acordo com essa teoria, a aprendizagem significativa pode assumir três naturezas distintas: subordinada, superordenada e combinatória, cada uma caracterizada pelo tipo de relação estabelecida entre o novo conhecimento e os conceitos já existentes na mente do aprendiz.

A aprendizagem subordinada ocorre quando novos conhecimentos são adquiridos por meio da relação de subordinação com conceitos já presentes na estrutura cognitiva do aluno. Ou seja, as novas informações são compreendidas ao serem conectadas e organizadas em torno de ideias preexistentes, que funcionam como subsunçores. Nessa modalidade, o conhecimento prévio serve como base para dar significado ao novo conteúdo. Por exemplo, ao aprender o conceito de “pressão”, um aluno pode relacioná-lo com a ideia já conhecida de “força” distribuída sobre uma área, permitindo que o novo conceito seja compreendido de forma significativa. Esse é um processo comum em situações de aprofundamento ou detalhamento de temas já estudados.

Em contrapartida, a aprendizagem superordenada acontece quando o novo conhecimento é mais geral e abrangente do que os conceitos já existentes, passando a organizá-los sob uma nova perspectiva. Nesse caso, o novo conceito se posiciona em um nível superior na hierarquia cognitiva, permitindo que conceitos anteriores

sejam reorganizados sob uma estrutura mais ampla. Um exemplo clássico é o aluno que, já compreendendo os conceitos de “força”, “trabalho” e “movimento”, aprende o conceito mais geral de “energia mecânica”, que passa a unificar e dar novo sentido aos conhecimentos prévios. Essa forma de aprendizagem favorece a reorganização e a ampliação da estrutura conceitual do estudante, promovendo um salto qualitativo no entendimento do conteúdo.

Já a aprendizagem combinatória ocorre quando a nova informação não se conecta diretamente a um conceito existente nem o engloba de forma hierárquica, como nos casos anteriores. Em vez disso, ela se estabelece por meio de associações transversais, sendo relacionada de maneira lateral a outros conceitos da estrutura cognitiva. Embora não haja uma relação hierárquica explícita, a nova informação ainda encontra algum tipo de ancoragem no conhecimento anterior, exigindo do aluno a capacidade de combinar elementos distintos para gerar sentido. Por exemplo, ao estudar um novo tipo de energia — que não se encaixa nas categorias já conhecidas como cinética ou potencial — o estudante precisará integrar diferentes conceitos para compreender esse novo conteúdo. Essa forma de aprendizagem é frequentemente associada a níveis mais avançados de especialização, exigindo uma base conceitual sólida e uma estrutura cognitiva flexível. No campo da física, por exemplo, esse tipo de aprendizagem é comum e exige uma formação específica, como um curso superior na área.

Essas três formas de aprendizagem não são excludentes, mas complementares. Elas refletem a diversidade de maneiras pelas quais o conhecimento pode ser construído de forma significativa, sempre a partir da interação entre o novo e o já conhecido. Compreender essas distinções permite ao educador planejar melhor suas estratégias didáticas, respeitando os níveis de compreensão dos alunos e promovendo a evolução contínua de suas estruturas cognitivas.

2.2.4. Diferenciação progressiva reconciliação integrativa

No contexto da aprendizagem significativa, proposta por Ausubel e aprofundada por Moreira (1995), dois mecanismos centrais no processo de construção do conhecimento são a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Esses processos estão diretamente ligados à forma como o conhecimento

se estrutura e se reorganiza na mente do aprendiz, promovendo uma aprendizagem mais profunda, duradoura e significativa.

A diferenciação progressiva é um processo que visa organizar o conhecimento de forma hierárquica, partindo de conceitos mais gerais e abrangentes para ideias mais específicas e detalhadas. Segundo Moreira (1995), a aprendizagem é mais eficaz quando se apresenta, inicialmente, uma visão ampla do conteúdo, permitindo que, ao longo do tempo, o aluno refine sua compreensão, distinguindo elementos particulares dentro desse escopo geral.

Por exemplo, ao estudar física, é comum iniciar com os princípios básicos da mecânica newtoniana, para depois aprofundar-se em temas como força, aceleração e suas aplicações específicas. Esse processo permite ao estudante construir uma estrutura cognitiva organizada, onde os conceitos vão sendo gradualmente especificados e diferenciados.

No campo da matemática, um exemplo seria o aprendizado das operações básicas: inicialmente o aluno aprende o conceito geral de operação matemática, e com o tempo vai diferenciando e compreendendo as funções específicas de soma, subtração, multiplicação e divisão (SANTOS, 2019). Essa abordagem contribui para uma aprendizagem mais significativa, pois evita a memorização isolada de dados e promove a compreensão dos conceitos em um contexto mais amplo.

E para este produto educacional em especial, para compreender os preceitos complexos associados à física da radiação eletromagnética emitida por corpos aquecidos, foi necessário hierarquizar temas basilares em termodinâmica e ondulatória para depois compreender como a matéria se comporta quando submetida ao aumento da temperatura.

Após a diferenciação dos conceitos, é necessário um movimento inverso, de reintegração dos conhecimentos, conhecido como reconciliação integrativa. Esse processo envolve a capacidade de relacionar e articular diferentes ideias, muitas vezes aparentemente contraditórias, dentro de uma estrutura cognitiva unificada.

Moreira (1995) destaca que a reconciliação integrativa permite resolver conflitos conceituais e ajustar discrepâncias entre o conhecimento prévio e as novas informações. Por exemplo, ao estudar a teoria da relatividade, um aluno pode

inicialmente vê-la como oposta à mecânica clássica, mas com o tempo aprende a reconciliar essas abordagens, entendendo que ambas se aplicam a contextos distintos e coexistem na física moderna. Esse processo contribui para uma organização mais coesa do conhecimento e favorece a compreensão interdisciplinar e contextualizada, essencial para a construção de significados profundos e duradouros.

Uma vez que os conceitos são diferenciados e integrados, ocorre o que Ausubel denominou de assimilação obliteradora. De acordo com Moreira & Masini (1982), esse fenômeno refere-se ao fato de que, com o tempo, os detalhes específicos do processo de aprendizagem podem ser esquecidos, mas o significado central permanece retido na estrutura cognitiva. Ou seja, o conhecimento não é perdido completamente: ele pode ser lembrado e reconstruído com mais facilidade quando necessário, justamente por ter sido assimilado de maneira significativa.

Esse tipo de aprendizagem é mais resistente ao esquecimento e mais útil para novas aprendizagens, pois os conceitos centrais funcionam como âncoras cognitivas para futuras conexões.

A diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa são mecanismos complementares e essenciais na teoria da aprendizagem significativa. Enquanto a primeira permite que o aluno construa o conhecimento partindo de uma base ampla para detalhes mais específicos, a segunda garante que esse conhecimento seja reorganizado e integrado de forma lógica e coerente. Juntas, essas etapas culminam na assimilação obliteradora, consolidando o aprendizado de forma duradoura. Compreender e aplicar esses princípios em contextos educacionais favorece uma abordagem mais eficaz, crítica e reflexiva no ensino e na aprendizagem.

2.3. A correlação entre a aprendizagem afetiva e a aprendizagem significativa

A aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel, e a aprendizagem afetiva, defendida por Henri Wallon, apresentam conexões profundas e complementares no campo educacional. Ambas reconhecem que o processo de aprendizagem vai além da simples transmissão de conteúdos: ele envolve fatores cognitivos, emocionais, sociais e motivacionais que influenciam diretamente na construção do conhecimento.

Segundo Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações são relacionadas de maneira não arbitrária e substantiva ao conhecimento prévio do aluno, facilitando a assimilação e a retenção de conteúdos. Para que isso ocorra, é necessário que haja uma estrutura cognitiva pré-existente que funcione como âncora para os novos conceitos, o que promove um aprendizado mais duradouro e com maior possibilidade de aplicação.

Por outro lado, Wallon destaca que as emoções, motivações e relações interpessoais são fatores fundamentais na aprendizagem. Ele enfatiza que o desenvolvimento humano se dá por meio da interação constante entre o biológico, o afetivo e o social, e que a afetividade tem papel determinante no engajamento do sujeito com o conhecimento. Assim, os aspectos emocionais não são complementos ao processo cognitivo, mas parte integrante e essencial dele.

Diante dessas visões, é possível estabelecer correlações significativas entre os dois enfoques teóricos. Uma das principais intersecções está no papel da motivação: quando o aluno está emocionalmente engajado, ele tende a se interessar mais pelo conteúdo, o que favorece a construção de significados. Um ambiente de aprendizagem que valoriza a afetividade — por meio de relações interpessoais positivas e acolhedoras — estimula a confiança, a curiosidade e a autonomia do estudante, fatores que aumentam sua disposição para aprender e facilitam o processo de ancoragem dos novos conhecimentos à estrutura cognitiva já existente.

Nesse contexto, o papel do professor é fundamental. A relação entre docente e discente, quando marcada por empatia, respeito e abertura ao diálogo, contribui diretamente para a criação de um ambiente emocionalmente seguro, no qual o aluno se sente encorajado a explorar, questionar e conectar novos conceitos. Tal ambiente é propício à aprendizagem significativa, pois favorece tanto os aspectos cognitivos quanto os afetivos do desenvolvimento.

Além disso, evidências mostram que informações associadas a experiências emocionais positivas tendem a ser mais bem armazenadas na memória e mais facilmente recuperadas posteriormente, o que reforça a importância da afetividade na retenção do conhecimento. A aprendizagem significativa, nesse caso, é fortalecida por experiências que envolvem emoções positivas, cooperação e senso de pertencimento.

Portanto, argumenta-se que não há aprendizagem verdadeiramente significativa sem o envolvimento afetivo do aluno. A afetividade não é apenas um facilitador, mas pode ser considerada uma condição essencial para que a aprendizagem ocorra de forma profunda e transformadora. Assim, propõe-se que a integração entre as teorias de Ausubel e Wallon pode originar um novo campo epistemológico, onde a aprendizagem significativa é compreendida como um processo que depende, em sua essência, da dimensão afetiva. Em outras palavras, a aprendizagem só é significativa se, a priori, for afetiva.

3 A FÍSICA DOS HOMENS DE FERRO

Neste capítulo apresentaremos os fundamentos que explicam os fenômenos físicos por trás da radiação eletromagnética emitida por um corpo submetido a aumento de temperatura. A emissão de radiação térmica está diretamente relacionada ao estado energético das partículas constituintes da matéria. À medida que a temperatura de um corpo aumenta, as partículas (átomos e moléculas) que o compõem passam a vibrar com maior intensidade, provocando flutuações nos campos elétricos e magnéticos associados, que por sua vez geram radiação eletromagnética.

3.1 Fundamentos em termodinâmica

3.1.1 *evolução do conceito de calor.*

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 vinculado 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 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 latente¹, 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

¹ 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.

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 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 eletromagnética², 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 contribuiu 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.

3.1.2. *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

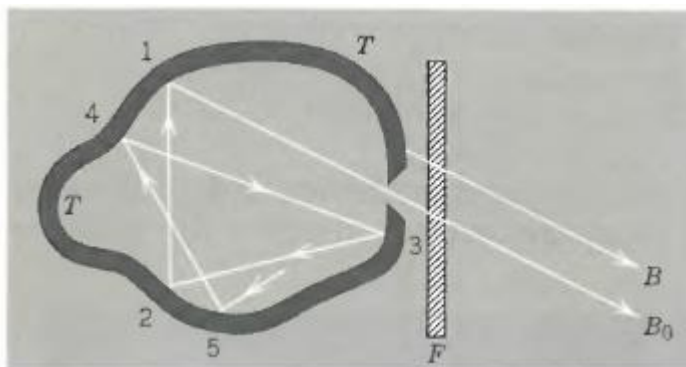
² Enciclopédia Britânica, 2025. Disponível em: https://www.britannica.com/science/electromagnetic-spectrum?utm_source=chatgpt.com data de acesso: 20/06/2025.

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 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, coisa diferente. 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.



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 1884³, 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 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$. 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.

³ Informações disponíveis em [Stefan-Boltzmann Law: Statement and Formula](#) data de acesso: 17/05/2025

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

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

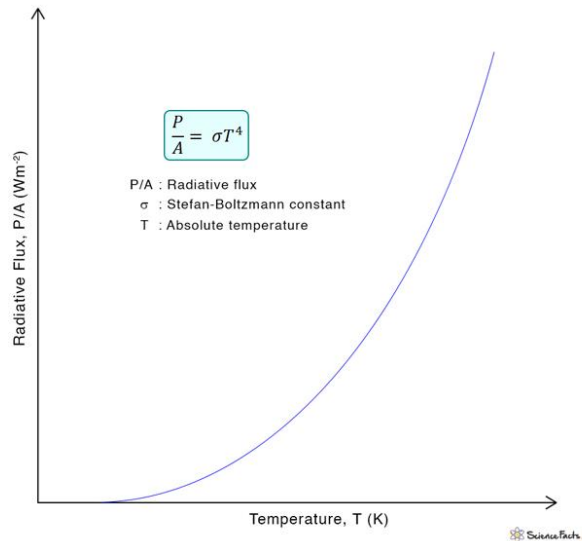
em que ε é a emissividade e se trata de uma propriedade física que descreve a capacidade de um material de emitir energia na forma de radiação térmica. Ela varia entre 0 e 1, onde 1 corresponde a um corpo negro ideal, que absorve e emite toda a radiação incidente sobre ele.

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

Stefan-Boltzmann Law

The total radiant power emitted by a surface across all wavelengths is proportional to the fourth power of its absolute temperature



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 muitas 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, $\lambda_{m\acute{a}x}$ 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

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

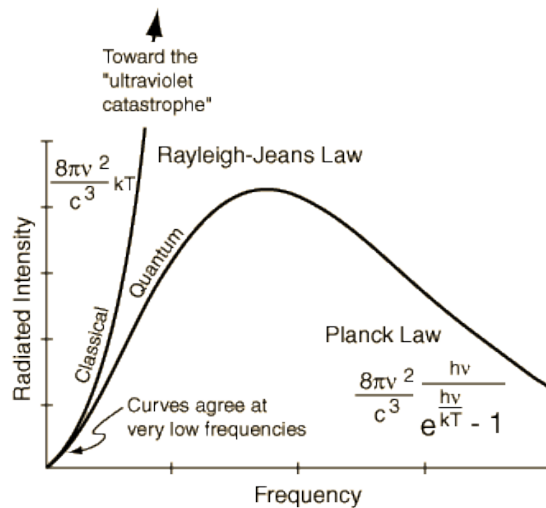
A lei de deslocamento de Wein formulada em 1892, como ficou conhecida, explica muito bem o funcionamento do corpo negro para pequenos comprimentos de onda (altas frequências), ou seja, ela dava certo perto do ultravioleta, mas falha em altos comprimentos de onda (baixas frequências) na parte do infravermelho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

A segunda 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 matematicamente⁴ (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 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.

⁴ 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.

Então veio o Max Planck, que propôs modelo com energia quantizada. (HALLIDAY, RESNICK, 1992).

Richard Feymann (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. Feymann 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.” (FEYMANN, 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*” (Studart, 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).

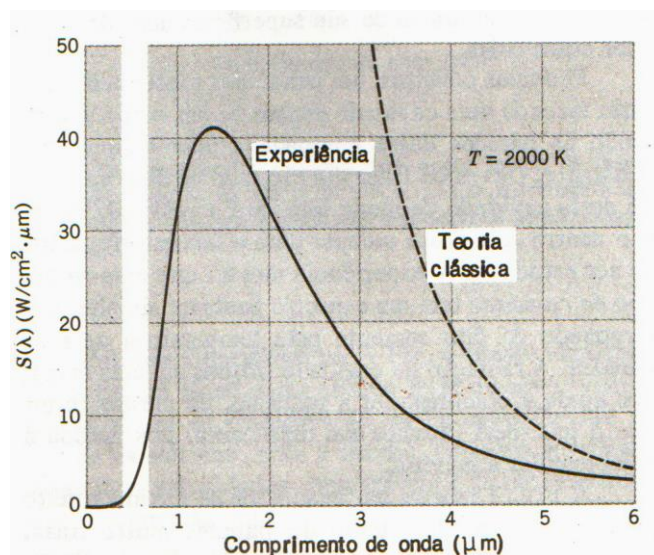
A lei de radiação de Planck representa uma ruptura com as ideias clássicas, até então dominantes à época, como afirma Thomas Kuhn (1987), Halliday e Resnick (1991), Studart (2000) e muitos outros autores. Sem saber ainda do que se tratava seu trabalho, Planck descreve-se como um conservador e não aceitou 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 uma 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-ondas⁵ e a radiação térmica de objetos aquecidos⁶. Surgiu 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* 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.

⁵ 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.

⁶ 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.

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.

3.2. 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°C⁷ 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:

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

Logo, se obtêm a equação de continuidade

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

⁷ 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

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

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

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.

3.3. 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 frequencies⁸.”

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 Heng⁹ (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, 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)

⁸ Disponível em: <https://lco.global/spacebook/light/black-body-radiation/#:~:text=Todos%20os%20objetos%20emitem%20radia%C3%A7%C3%A3o,ultravioleta%20e%20frequ%C3%AAs%20mais%20altas>. Data de acesso: 30 de maio de 2025.

⁹ 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://www.sansitesting.com/pt/pt/que-acontece-quando-os-metais-sao-aquecidos/) data de acesso: 14 de junho de 2025.

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 frequência¹⁰ (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

¹⁰ Disponível em: [Radiação de Dipolo](#) data de acesso 14 de junho de 2025.

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!

4 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA RADICAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NO ENSINO MÉDIO CONTEXTUALIZANDO COM O TRABALHO DOS FERREIROS DE POTENGI, CE

A utilização de uma SEI interligada 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 ementa¹¹ 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;

Etapa 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?

Etapa 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.

¹¹ 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 – atribuissem uma explicação para o fenômeno elaborando suas próprias ideias sobre ele.

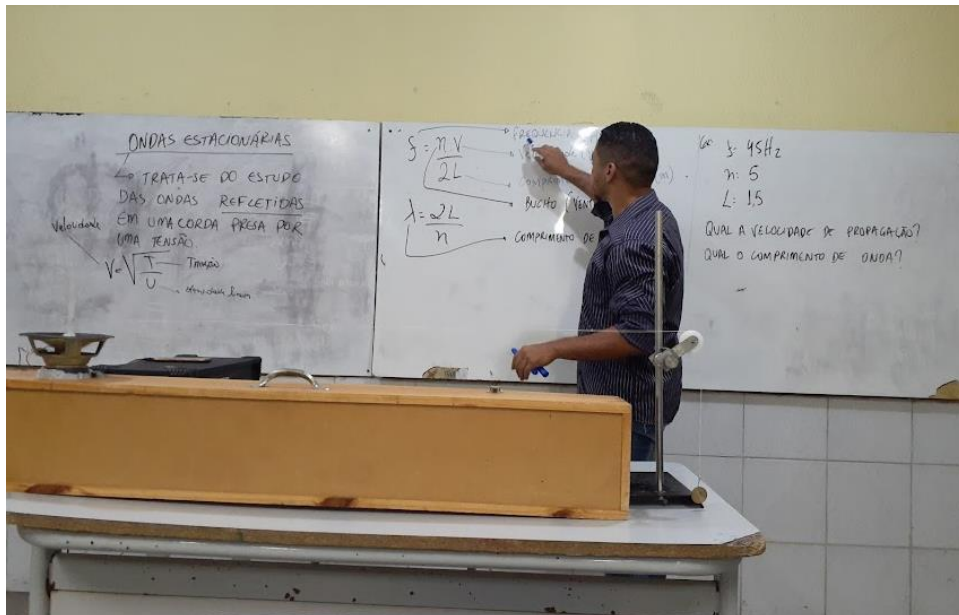
Etapa 3 – experimentação: com duração de uma aula de 50min, esta etapa reproduz experimentalmente, em sala de aula, o mesmo comportamento físico do efeito luminoso observado na oficina de ferreiro. Usando um bico de Bunsen acoplado a um botijão de gás para aquecer a ponta de uma faca de mesa. Depois de um tempo, os estudantes observam que ela adquire coloração avermelhada. E ao serem perguntados pelo motivo, a resposta dos estudantes soou em um unísono 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, Piaget¹² 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 desequilíbrio

¹² Disponível em: [Erros que Transformam: A Importância do Equívoco na Visão de Piaget!](#)

cognitivo¹³, 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

¹³ 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.

favorável podem minimizar os impactos do estresse e melhorar o desempenho 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 verá 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), possibilitou 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 afetivo-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

Etapa	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 fenômeno ou problema de pesquisa, orientando a investigação científica.	Análise dos aspectos mais importantes observados na 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.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este produto educacional consta uma sequência de ensino propositivo para apoiar o estudo 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.

Importante dizer que esta proposta pode ser adaptada para diferentes contextos de uma sala de aula de Física e pode se conectar com outras situações do cotidiano em que estão inseridos os estudantes. Assim o professor poderá contextualizar os conteúdos de física com situações reais, fenômenos reais em torno da sociedade.

Dessa forma, a proposta 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.

6 ALGUMAS REFERÊNCIAS

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

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

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](https://scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=SCIELO&pid=SCIELO&pid=SCIELO) Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM data de acesso: 01/01/2025

FEYMANN, 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

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%20fole%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. Fís., 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.

