



MATEUS LOURES LUCAS

**A MOBILIZAÇÃO DO MODELO AIR NO ENSINO DO
CONCEITO DE CALOR: TENSÕES E POTENCIALIDADES SOB
A ÓTICA DO PROFESSOR-PESQUISADOR**

LAVRAS – MG

2026

MATEUS LOURES LUCAS

**A MOBILIZAÇÃO DO MODELO AIR NO ENSINO DO CONCEITO DE CALOR:
TENSÕES E POTENCIALIDADES SOB A ÓTICA DO PROFESSOR-PESQUISADOR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM), área de concentração em Práticas Pedagógicas e Formação Docente, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Jefferson Adriano Neves
Orientador

Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel
Coorientador

**LAVRAS – MG
2026**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Lucas, Mateus Loures.

A MOBILIZAÇÃO DO MODELO AIR NO ENSINO DO CONCEITO DE
CALOR : TENSÕES E POTENCIALIDADES SOB A ÓTICA DO
PROFESSOR-PESQUISADOR / Mateus Loures Lucas. - 2026.
94 p.

Orientador: Jefferson Adriano Neves

Coorientador: Antônio Marcelo Martins Maciel

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Modelo AIR. 2. Cognição epistêmica. 3. Formação de professores. 4. Ensino de
calor. 5. Pesquisa sobre a própria prática. I. Neves, Jefferson Adriano. II. Maciel,
Antônio Marcelo Martins. III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

MATEUS LOURES LUCAS

**A MOBILIZAÇÃO DO MODELO AIR NO ENSINO DO CONCEITO DE CALOR:
TENSÕES E POTENCIALIDADES SOB A ÓTICA DO PROFESSOR-PESQUISADOR**

**THE MOBILIZATION OF THE AIR MODEL IN HEAT TEACHING: TENSIONS AND
POTENTIALITIES FROM THE PERSPECTIVE OF THE TEACHER-RESEARCHER**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM), área de concentração em Práticas Pedagógicas e Formação Docente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2026.

Profa. Dra. Iraziet Da Cunha Charret UFLA

Prof. Dr. Wagner Franklin Balthazar IFRJ

Prof. Dr. Jefferson Adriano Neves
Orientador

Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel
Co-Orientador

**LAVRAS – MG
2026**

*Dedico este trabalho ao meu avô, Joaquim Carvalho Lucas, que sua luz, sua sabedoria e sua
alegria continuem sendo meu guia e minha meta.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, à minha avó Helena e ao meu avô Jalvora, por todo o apoio que me deram nesta etapa da minha vida; sem eles, eu não estaria onde estou agora. Também agradeço à minha avó Conceição, por ter me recebido em sua casa nos últimos meses desta jornada, e ao meu avô Joaquim, que nos deixou neste ano, mas cuja presença em minha vida foi essencial para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje. Muito obrigado, meus avós queridos. Agradeço também aos meus pais, Karina e Kincárlus, por me apoiarem em meus sonhos desde que decidi sair de casa. Aos meus irmãos, André, Iolanda e Isadora, agradeço por serem um incentivo constante para que eu me torne uma pessoa melhor a cada dia, buscando construir um exemplo digno para vocês.

Gostaria de agradecer, do fundo do meu coração, a minha companheira, Gabriela Silva Lopes, que me acompanhou na maior parte da jornada ao longo do mestrado, oferecendo conforto, refúgio e serenidade nos momentos mais difíceis. Saiba que sua presença, seu amor e seu carinho me mantiveram firme em todos os instantes em que pensei em desistir.

Agradeço também ao meu orientador, Jefferson Adriano, e ao meu coorientador, Antônio Marcelo, por não desistirem de mim, mesmo nos momentos em que os irritei com minhas discussões, quando os contrariei e, principalmente, com meus atrasos na escrita deste trabalho. Vocês são exemplos que busco seguir, e um dia espero estar ao lado de vocês como colega de profissão.

Agradeço ainda a todos os meus amigos, em especial a Vinicius Henrique e Ana Lima. Estes últimos meses, sem poder conversar com vocês e sem ter tanto contato, foram difíceis. Vocês são como irmãos mais novos para mim. Fico muito feliz por todas as discussões que tivemos e por saber que, juntos, conseguimos construir nossas visões. Muito obrigado, queridos.

Por fim, agradeço ao corpo docente do PPGECEM, em especial à professora Marianna, por depositar sua confiança em mim e, acima de tudo, pelo reconhecimento que me foi dado. Os pequenos gestos de gratidão e de incentivo me fizeram extremamente feliz.

*Belief is all that we have,
but belief is all that we need
(Hollywood Undead)*

RESUMO

A despeito do consenso sobre a importância da Alfabetização Científica, ainda há escassez de orientações sobre como operacionalizá-la e monitorá-la na formação inicial docente. Diante dessa lacuna, esta pesquisa investigou a implementação do Modelo AIR (Aims, Ideals, Reliable Processes) no planejamento, execução e reflexão de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) sobre a evolução dos conceitos de Calor. Adotou-se uma abordagem qualitativa, caracterizada como pesquisa sobre a própria prática, desenvolvida em uma turma de primeiro período de Licenciatura em Física. O objetivo foi analisar as tensões, os desafios e as potencialidades da mobilização desse referencial no desenvolvimento epistêmico em sala de aula, sob a ótica do professor-pesquisador. Os resultados empíricos distanciaram-se da expectativa de um engajamento ideal, revelando forte resistência discente justificada por uma Epistemologia de Autoridade. Identificaram-se profundas tensões na negociação do contrato didático e barreiras na transição para um ensino investigativo. Contudo, a análise dos Diários Reflexivos evidenciou que o Modelo AIR transcende a sua função original de avaliação de estudantes. No contexto formativo, conclui-se que o referencial atua como um potente suporte metacognitivo, promovendo a emancipação epistêmica do professor-pesquisador frente à inércia do ensino transmissivo e qualificando sua identidade docente para mediar a cultura científica escolar.

Palavras-chave: Modelo AIR; Cognição Epistêmica; Formação de Professores; Ensino de Calor; Pesquisa sobre a Própria Prática.

ABSTRACT

Despite the broad consensus regarding the importance of Scientific Literacy, there is still a lack of guidance on how to operationalize and monitor it in initial teacher education. In light of this gap, this study investigated the implementation of the AIR Model (Aims, Ideals, Reliable Processes) in the planning, enactment, and reflection stages of a Teaching and Learning Sequence (TLS) on the evolution of the concepts of Heat. A qualitative approach was adopted, characterized as research on one's own practice, and conducted with a first-semester Physics Teacher Education class. The objective was to analyze the tensions, challenges, and potentialities associated with mobilizing this framework to foster epistemic development in the classroom from the perspective of the teacher-researcher. The empirical findings diverged from the expectation of ideal engagement, revealing strong student resistance grounded in an Epistemology of Authority. Significant tensions were identified in the negotiation of the didactic contract, as well as barriers to the transition toward inquiry-based teaching. Nevertheless, the analysis of the Reflective Journals demonstrated that the AIR Model transcends its original function as a student assessment framework. Within the context of teacher education, the findings suggest that the framework serves as a powerful metacognitive support, promoting the epistemic emancipation of the teacher-researcher from the inertia of transmissive teaching practices and strengthening their professional identity as a mediator of school scientific culture.

Keywords: AIR Model; Epistemic Cognition; Teacher Education; Heat Teaching; Self-Study Research.

INDICADORES DE IMPACTO

A presente pesquisa apresenta impactos predominantemente sociais, educacionais e formativos, com desdobramentos culturais e tecnológicos em potencial, especialmente no campo da formação inicial de professores de Física. Os resultados obtidos contribuem para o aprimoramento das práticas pedagógicas no ensino de ciências, ao propor e analisar uma Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) fundamentada em referenciais contemporâneos da Alfabetização Científica e do desenvolvimento epistêmico, com foco na mobilização do raciocínio epistêmico de licenciandos.

Do ponto de vista social e educacional, o principal impacto reside na qualificação da formação de futuros professores de Física, favorecendo o desenvolvimento de uma postura reflexiva e investigativa sobre a própria prática docente. A pesquisa contribui para ampliar a compreensão dos licenciandos acerca dos processos de construção, validação e comunicação do conhecimento científico, o que pode refletir, em médio e longo prazo, na melhoria da qualidade do ensino de ciências na educação básica. Esses impactos são caracterizados como diretos no contexto formativo investigado e potenciais no que se refere à ampliação para outros cursos, turmas ou instituições.

No que se refere ao caráter extensionista, embora a pesquisa esteja situada no âmbito da pós-graduação *stricto sensu*, ela dialoga diretamente com princípios da extensão universitária ao articular ensino, pesquisa e prática docente, especialmente ao assumir a perspectiva do professor-pesquisador. O público diretamente beneficiado é composto por licenciandos em Física, além do próprio pesquisador e docentes envolvidos no processo formativo. O trabalho também apresenta potencial de impacto junto a professores da educação básica, a partir da possibilidade de adaptação e replicação da SEA em diferentes contextos escolares.

O território impactado corresponde, inicialmente, ao contexto institucional de uma universidade federal do sul de Minas Gerais, especialmente no âmbito da formação de professores de Física. Em perspectiva ampliada, os resultados podem alcançar outros territórios educacionais por meio da socialização do produto educacional, de publicações acadêmicas e de práticas pedagógicas inspiradas na proposta desenvolvida.

Quanto às áreas temáticas da Política Nacional de Extensão, os impactos do trabalho enquadram-se prioritariamente na área 4 – Educação, ao promover ações formativas voltadas à qualificação do ensino e da formação docente.

Por fim, os impactos da pesquisa estão alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, especialmente ao ODS 4 – Educação de Qualidade, ao contribuir para a formação de professores mais críticos, reflexivos e preparados para promover a Alfabetização Científica. Indiretamente, o trabalho também se relaciona ao ODS 10 – Redução das Desigualdades, ao favorecer práticas pedagógicas que promovem maior equidade no acesso ao conhecimento científico, ao estimular o desenvolvimento do pensamento crítico e da argumentação fundamentada no ensino de ciências.

IMPACT INDICATORS

The present research presents predominantly social, educational, and formative impacts, with potential cultural and technological developments, especially in the field of initial teacher education in Physics. The results contribute to the improvement of pedagogical practices in science education by proposing and analyzing a Teaching and Learning Sequence (TLS) grounded in contemporary frameworks of Scientific Literacy and epistemic development, with a focus on fostering epistemic reasoning among preservice Physics teachers.

From a social and educational perspective, the main impact lies in enhancing the education of future Physics teachers by promoting the development of a reflective and investigative stance toward their own teaching practice. The research contributes to broadening preservice teachers' understanding of the processes of construction, validation, and communication of scientific knowledge, which may, in the medium and long term, lead to improvements in the quality of science education in basic education. These impacts are characterized as direct within the investigated formative context and potential with regard to their expansion to other courses, cohorts, or institutions.

With respect to its extension-oriented character, although the research is situated within the scope of *stricto sensu* graduate education, it directly engages with principles of university extension by articulating teaching, research, and teaching practice, particularly through the adoption of the teacher-researcher perspective. The public directly benefited consists of preservice Physics teachers, in addition to the researcher and the faculty members involved in the formative process. The study also presents potential impact for basic education teachers through the possibility of adapting and replicating the TLS in different school contexts.

The impacted territory initially corresponds to the institutional context of a federal university in the southern region of the state of Minas Gerais, particularly within the scope of Physics teacher education. From a broader perspective, the results may reach other educational territories through the dissemination of the educational product, academic publications, and pedagogical practices inspired by the developed proposal.

Regarding the thematic areas of the National Extension Policy, the impacts of the study are primarily classified under Area 4 – Education, as it promotes formative actions aimed at improving teaching and teacher education.

Finally, the impacts of the research are aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations, especially SDG 4 – Quality Education, by contributing to

the education of teachers who are more critical, reflective, and prepared to promote Scientific Literacy. Indirectly, the study is also related to SDG 10 – Reduced Inequalities, by fostering pedagogical practices that promote greater equity in access to scientific knowledge and encourage the development of critical thinking and well-founded argumentation in science education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Relação entre objetivos, critérios e processos confiáveis no modelo AIR. . .	25
Figura 2.2 – Esquema experimental utilizado por Conde de Rumford em seus estudos sobre a produção de calor por atrito	30
Figura 6.1 – Relação entre objetivos, critérios e processos confiáveis no modelo AIR. . .	65
Figura 6.2 – Esquema experimental utilizado por Conde de Rumford em seus estudos sobre a produção de calor por atrito	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Operacionalização das Práticas Epistêmicas: Ação Discente e Mediação	
Docente	22
Quadro 2.2 – Aspectos do desempenho epistêmico adequado: uma visão geral	27
Quadro 2.3 – Aspectos do Desempenho Epistêmico do Apt-AIR em Relação ao Modelo	
AIR de Cognição Epistêmica	28
Quadro 3.1 – <i>Matriz de Intencionalidade Epistêmica da SEA</i>	43
Quadro 4.1 – Síntese da Análise Textual Discursiva – Desafios e Potencialidades	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Alfabetização Científica, práticas epistêmicas e o Ensino de Ciências	20
2.2	Cognição Epistêmica e o Modelo AIR	23
2.2.1	O Modelo AIR	24
2.2.2	O Modelo de Desenvolvimento Epistêmico (Apt-AIR)	26
2.3	A evolução do Conceito de Calor sob as lentes do AIR	29
2.4	Desenvolvimento Profissional Docente	32
3	PERCURSO METODOLÓGICO	37
3.1	Delineamento e Contexto da Pesquisa	37
3.1.1	Aspectos Éticos e a Delimitação do Objeto	38
3.2	Instrumentos de Construção de Dados	38
3.3	Concepção e Construção da SEA	40
3.3.1	Natureza e Abordagem da SEA:	40
3.4	Dimensões Teórico-Pedagógicas do Design	40
3.4.1	A História da Ciência como Eixo Estruturante	41
3.4.2	Matriz de Intencionalidade e Descrição da SEA	42
3.4.3	A SEA como Laboratório de Investigação da Prática Docente	44
3.5	Procedimentos Analíticos	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Categorização	50
4.2	Metatexto: A Reconstrução Interpretativa	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	58
6	APÊNDICE A - Sequência de Ensino e Aprendizagem: Os Conceitos de Calor e a Construção do Conhecimento Científico.	60
6.1	Fundamentação Teórica	64
7	APÊNDICE B - MATERIAL DO ESTUDANTE	85

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECEM), Mestrado Profissional, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), na área de concentração Práticas Pedagógicas e Formação Docente, vinculada à Linha de Pesquisa Processos de Ensino e Aprendizagem e ao Macroprojeto Processos de Ensino e Aprendizagem em Ciências (Física e Química) e Matemática. Como Produção Técnico-Tecnológica decorrente desta investigação, foi elaborado o Produto Educacional intitulado “OS CONCEITOS DE CALOR E A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO” (Lucas; Maciel; Neves, 2026), classificado na tipologia PTT1 — Material didático/instrucional, entregue como documento independente, em formato de e-book, na Coleção Práticas Pedagógicas e Formação Docente do Selo Editorial do PPGECEM/UFLA.

Esta pesquisa nasce da minha busca por aprimoramento profissional. Ao ingressar no Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Educação Matemática, meu principal objetivo era expandir meus referenciais teóricos para qualificar minha prática enquanto educador. Essa preocupação com a prática não surge apenas no mestrado, mas já estava presente na minha formação inicial, especialmente no desenvolvimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso, no qual trabalhei com a perspectiva da prática reflexiva, compreendendo o professor como alguém que analisa, questiona e ressignifica continuamente suas ações em sala de aula.

Durante o planejamento do meu pré-projeto de mestrado, tive meu primeiro contato formal com o conceito de Alfabetização Científica (AC). Embora minha trajetória na graduação já tivesse sido permeada por discussões alinhadas a esse campo, eu ainda não havia sido apresentado formalmente ao termo nem aos seus referenciais teóricos. Ao me aprofundar na área, passei a reconhecer a centralidade da AC para o ensino de ciências. No entanto, esse movimento também trouxe uma inquietação inicial: embora eu considerasse fundamental almejar a Alfabetização Científica, eu ainda não sabia como fomentá-la efetivamente na prática da sala de aula. Essa insegurança estava associada à percepção de uma lacuna na literatura no que se refere à operacionalização da AC, especialmente no planejamento de Sequências de Ensino e Aprendizagem.

Com a entrada no mestrado, fui inserido no grupo de estudos em Práticas Científicas e Epistêmicas em Situações de Ensino (PraCESE), coordenado por meu orientador. Nesse espaço formativo, tive contato com as práticas epistêmicas e científicas como estratégias potenciais

para promover a Alfabetização Científica. Esse movimento dialoga diretamente com minha concepção de formação docente, na qual investigar a própria prática não se configura como um simples relato de experiências, mas como um ato formativo, pois permite ao professor compreender, analisar e transformar suas ações pedagógicas à luz de referenciais teóricos. Nesse sentido, o professor assume simultaneamente o papel de sujeito da prática e de investigador do próprio processo formativo.

Sempre tive afinidade com discussões relacionadas à Filosofia da Ciência, o que despertou meu interesse pela epistemologia, por perceber aproximações conceituais entre esses campos. Ao aprofundar meus estudos, tive contato com a tese de Martin (2019), na qual é discutido o modelo Apt-AIR, até então desconhecido para mim.

O modelo Apt-AIR, que neste trabalho passo a denominar como “modelo de desenvolvimento epistêmico”, foi desenvolvido por Barzilai & Chinn (2024) e tem como objetivo analisar as ações docentes em sala de aula que favorecem o desenvolvimento epistêmico dos estudantes. Inicialmente, tive certa resistência em relação a alguns termos utilizados no modelo, mas, à medida que avancei nos estudos, passei a reconhecer seu potencial analítico e sua viabilidade de implementação. Com o tempo, compreendi que, por se tratar de um trabalho originalmente produzido em língua estrangeira, uma tradução literal dos termos não seria a abordagem mais adequada, uma vez que os significados podem variar conforme o contexto linguístico e cultural.

Foi nesse movimento de aproximação entre minhas inquietações formativas, o campo da Alfabetização Científica, as práticas epistêmicas e o modelo de desenvolvimento epistêmico que se delineou o foco desta pesquisa. A busca por compreender como promover, de forma concreta, o desenvolvimento epistêmico dos estudantes em sala de aula levou à proposição e ao desenvolvimento de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem orientada por esses referenciais. Assim, este trabalho se constitui como um desdobramento direto da minha trajetória formativa e investigativa, articulando teoria e prática na tentativa de compreender e qualificar o ensino de ciências a partir de uma perspectiva epistemicamente orientada.

1 INTRODUÇÃO

A Alfabetização Científica (AC) consolidou-se, nas últimas décadas, como um objetivo fundamental para o ensino de ciências (Sasseron; Carvalho, 2011b). A literatura da área aponta que o domínio da ciência vai além do acúmulo de fatos, exigindo a compreensão de como o conhecimento é produzido, validado e comunicado. No entanto, apesar do consenso teórico sobre a importância de almejar a AC (Sasseron; Carvalho, 2011b), identifica-se uma lacuna significativa sobre como fomentá-la, de fato, na prática da sala de aula.

Embora muitos trabalhos tratem da AC teoricamente (Sasseron; Carvalho, 2011a), observa-se uma escassez de orientações claras sobre como transformar esses conceitos em práticas efetivas, especialmente no que tange ao planejamento de Sequências de Ensino e Aprendizagem (SEA). O desafio reside, portanto, na operacionalização: como sair da discussão abstrata sobre "ensinar sobre ciência" para a implementação de ações didáticas que mobilizem o raciocínio científico dos estudantes?

Neste cenário, as práticas epistêmicas emergem como estratégias potenciais para alcançar a AC. A filosofia da ciência e a epistemologia oferecem ferramentas para compreender essas práticas, mas é necessário um modelo didático que faça a ponte entre a filosofia e a sala de aula. É nesse contexto que se insere o referencial da Cognição Epistêmica e, especificamente, o Modelo AIR (*Aims, Ideals, Reliable Processes*).

O Modelo AIR (*Aims, Ideals and Reliable Processes*) apresenta-se como a base estruturante para entender como os indivíduos avaliam a informação científica.

Segundo Barzilai & Chinn (2018) os *Aims* (objetivos) dizem respeito às finalidades epistêmicas que orientam a produção do conhecimento; os *Ideals* (critérios) correspondem aos critérios utilizados para avaliar sua qualidade; e os *Reliable Processes* (processos confiáveis) referem-se aos procedimentos considerados confiáveis para alcançar esses objetivos e atender a esses critérios em contextos de ensino e aprendizagem.

Para compreender de maneira consistente o desenvolvimento epistêmico (foco do Apt-AIR), faz-se necessário, primeiramente, aprofundar a implementação do modelo que o antecede e fundamenta: o AIR. A escolha por investigar o AIR nesta pesquisa justifica-se pela necessidade de construir uma base analítica que permita entender, como implementar os processos epistêmicos em uma aula, antes de avançar para modelos de maior complexidade.

A relevância desta investigação é reforçada pelo estado da arte. Uma revisão da literatura nacional revelou a existência de apenas uma tese abordando modelos correlatos, evidenciando o ineditismo e a necessidade de estudos que testem a viabilidade desses referenciais no contexto brasileiro. Investigar a aplicabilidade do Modelo AIR mostra-se, assim, não apenas viável, mas urgente para o avanço das discussões sobre epistemologia no ensino de Física.

Buscando averiguar a aplicabilidade deste referencial e assumindo a perspectiva do professor-pesquisador na construção e desenvolvimento da SEA, a pesquisa orienta-se pelo seguinte problema:

Quais são as tensões, desafios e potencialidades percebidas pelo professor-pesquisador na Licenciatura em Física ao implementar os componentes estruturantes do Modelo AIR no ciclo de planejamento, execução e reflexão de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem?

Com base nesse problema, estabeleceu-se o seguinte objetivo geral: *Analisar a implementação do Modelo AIR em uma turma de Licenciatura em Física, identificando as dificuldades operacionais e as possibilidades pedagógicas para o desenvolvimento epistêmico sob a ótica da docência reflexiva.*

Para operacionalizar este objetivo, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar as tensões e os êxitos enfrentados pelo docente durante o ensino dos componentes do Modelo AIR (Objetivos, Critérios e Processos Confiáveis) no planejamento e replanejamento das atividades.
- Analisar, a partir dos registros reflexivos, as tensões no contrato didático e as barreiras à apropriação dos critérios de validade científica por parte dos licenciandos na transição para um ensino investigativo.
- Avaliar a viabilidade do Modelo AIR como ferramenta estruturante para o ensino de História da Ciência na formação inicial de professores.
- Avaliar o impacto da utilização do Modelo AIR como instrumento de regulação metacognitiva e suporte para a estruturação da identidade do próprio professor-pesquisador.

A escolha pela Licenciatura em Física justifica-se pelo efeito multiplicador: compreender como futuros professores se apropriam de objetivos, critérios e processos confiáveis é essencial, pois tais elementos influenciarão posteriormente suas práticas de ensino na Educação

Básica. Além disso, por estarem no início da formação, estes estudantes apresentam características híbridas que permitem vislumbrar adaptações tanto para o Ensino Superior quanto para a Educação Básica.

O recorte temático da SEA recai sobre a construção histórica dos conceitos que fundamentam a Termodinâmica. Inicialmente, cogitou-se a abordagem da teoria do Flogisto. Contudo, a evolução histórica da calorimetria e da Termodinâmica oferece um terreno epistêmico mais fértil para discutir a mudança de *Critérios* explicativos e a evolução dos *Processos Confiáveis* de medição, alinhando-se diretamente aos eixos do Modelo AIR.

A estrutura desta dissertação reflete a lógica da investigação desenvolvida. O trabalho está organizado em seis seções. Na seção 1, apresentamos esta introdução, contextualizando o problema, a lacuna teórica e os objetivos. A seção 2 aprofunda a fundamentação teórica, detalhando o Modelo AIR e sua conexão com a Alfabetização Científica. Na seção 3 discutimos, de maneira analítica e fundamentada, o processo de construção e reelaboração da Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA). A seção 4 descreve o percurso metodológico, explicitando a natureza qualitativa da pesquisa, o uso de diários reflexivos e os procedimentos da Análise Textual Discursiva (ATD). Na seção 5, desenvolvemos a análise dos dados, confrontando as tensões da prática com o referencial teórico. Por fim, na seção 6, expomos as considerações finais, respondendo à questão de pesquisa e indicando caminhos para futuras investigações na área.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção mobiliza as lentes teóricas necessárias para investigar os desafios e potencialidades da implementação do Modelo AIR no ensino de Física. A articulação conceitual orienta a análise dos dados, fundamentando a interpretação do fenômeno sob a perspectiva do desenvolvimento epistêmico.

A discussão inicia-se pela Alfabetização Científica (AC) e pelas práticas epistêmicas como vetores desse processo. Posteriormente, abordam-se a cognição epistêmica e o modelo AIR.

2.1 Alfabetização Científica, práticas epistêmicas e o Ensino de Ciências

A Alfabetização Científica (AC) constitui um eixo fundamental no ensino de Ciências, ao considerar a apropriação do conhecimento científico, suas relações intrínsecas e a perspectiva histórico-cultural de sua construção. A ênfase na AC reflete a demanda pela formação de sujeitos capazes de atuar em uma sociedade onde a ciência e a tecnologia desempenham funções estruturantes. (Sasseron; Carvalho, 2011b).

Embora a literatura apresente terminologias correlatas, como “Letramento Científico” e “Enculturação Científica”, que guardam sutis distinções semânticas (Sasseron; Carvalho, 2011b), há consenso de que tais conceitos designam “o objetivo desse ensino de Ciências que almeja a formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de sua vida” (Sasseron; Carvalho, 2011b, p.60).

Sasseron (2015, p.56) esclarece:

ainda que parem discussões acerca de qual termo adotar – alfabetização, letramento ou enculturação científica –, os preceitos e os objetivos para o Ensino de Ciências registram a clara intenção de formação capaz de prover condições para que temas e situações envolvendo as ciências sejam analisados à luz dos conhecimentos científicos, sejam estes conceitos ou aspectos do próprio fazer científico.

Reconhecendo o caráter dinâmico e contextual do conceito, define-se a Alfabetização Científica, contemporaneamente, como “a capacidade construída para a análise e a avaliação de situações que permitam ou culminem na tomada de decisões e o posicionamento” (Sasseron, 2015, p.56).

Sasseron & Carvalho (2011b, p.75) sistematizam essas competências nos Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica, que fornecem bases para o planejamento de aulas.

O primeiro eixo refere-se à “compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais”. Envolve a capacidade de aplicar o conhecimento científico em diversas situações, promovendo uma compreensão prática e crítica que capacita os alunos a resolver problemas com base em evidências.

O segundo eixo, “compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que cercam sua prática”, aborda as relações epistêmicas da ciência. Inclui reflexões sobre os aspectos da Natureza da Ciência (NdC), trazendo discussões éticas e políticas para a sala de aula.

O terceiro eixo, “entendimento das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente”, intersecciona-se com os anteriores ao enfatizar o impacto das atividades científicas na sociedade. Assim como o segundo eixo relaciona-se à Natureza da Ciência (NdC), o terceiro conecta-se aos aspectos de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Depreende-se que a AC transcende o domínio conteudista, exigindo a interação crítica com fenômenos contemporâneos. A promoção da AC, portanto, estabelece-se como objetivo central para a formação de sujeitos aptos a enfrentar os desafios éticos e sustentáveis do século XXI.

Contudo, é imperativo reconhecer a sala de aula como espaço de cultura híbrida, onde normas científicas e escolares colidem. Sasseron (2015) alerta para o descompasso entre a “ciência dos cientistas” — marcada por incertezas e revisões — e a “ciência escolar”, frequentemente apresentada como verdades inquestionáveis. Freire (2018) destaca que esse distanciamento epistêmico pode reforçar visões ingênuas sobre a construção do conhecimento científico. O objetivo, portanto, não é replicar o laboratório na escola, mas constituir uma “cultura científica escolar” que permita vivenciar a investigação como prática social.

Dada a centralidade da AC, especificamente no eixo das práticas epistêmicas, este estudo alinha-se às investigações do grupo PraCESE, um grupo de estudos formado por docentes e discentes de graduação e pós-graduação, que participei. A premissa é que o trabalho com tais práticas aprofunda a AC, pois envolve não apenas a compreensão, mas a vivência de como o conhecimento é gerado, comunicado e validado.

A defesa do uso de conceitos de práticas epistêmicas baseia-se em Kelly & Luedeke (2018, p.161), que afirmam: “o envolvimento em práticas epistêmicas é uma parte importante

de uma educação científica” (tradução nossa). Boyd, Gasper & Trout (1991 apud Kelly, 2008, p.53) definem Epistemologia como “o ramo da filosofia dedicado ao estudo da natureza, origens, objetos e limitações do conhecimento” (tradução nossa).

Consequentemente, práticas epistêmicas são formas socialmente organizadas e interativamente realizadas em que um grupo propõe, comunica, avalia e legitima os modos de conhecimento relacionados à sua área de atuação.(Kelly, 2008).

Para compreender como essas práticas se materializam na dinâmica da sala de aula, é necessário decompor o ciclo de construção do conhecimento em ações discentes e docentes correlatas. O Quadro 2.1 sistematiza essa relação, evidenciando que para cada movimento epistêmico do estudante, exige-se uma intervenção pedagógica específica que atue como suporte (*scaffold*).

Quadro 2.1 – Operacionalização das Práticas Epistêmicas: Ação Discente e Mediação Docente

Prática Epistêmica	Ação Esperada do Estudante	Função do Professor-Pesquisador
Proposição	Levantar hipóteses explicativas e sugerir modelos causais para o fenômeno.	Problematizar o senso comum e propor situações-desafio que exijam novos modelos.
Comunicação	Expressar ideias utilizando linguagens multimodais (gráficos, diagramas, texto).	Mediar as interações discursivas, exigindo clareza e precisão terminológica.
Avaliação	Confrontar dados empíricos com modelos teóricos; identificar anomalias.	Fornecer "andaimes"(<i>scaffolds</i>) cognitivos e questionar a robustez das evidências.
Legitimação	Validar ou refutar explicações com base em critérios coletivamente aceitos.	Orientar a construção de consensos e institucionalizar o saber validado pela turma.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Sasseron & Carvalho (2011b).

Essa sistematização reforça que a implementação do Modelo AIR não ocorre no vazio, mas através dessa microgestão das interações em sala, onde o professor atua constantemente na regulação dos critérios de validade (Legitimação) e na oferta de métodos seguros de investigação (Avaliação).

Tais práticas, relevantes à ciência e ao ensino, envolvem a interação com membros familiarizados com seu reconhecimento social; no ensino, o professor assume esse papel. Semelhante à AC, essas práticas são dinâmicas, moldadas pela comunidade e adaptáveis, baseando-se

em premissas fundamentais como as categorias ontológicas ¹ de uma disciplina (Kelly; Luedeke, 2018). No contexto educacional, variam conforme os objetivos pedagógicos (Kelly; Luedeke, 2018).

Kelly & Luedeke (2018) destacam, nos EUA, a proposta de organizar a educação científica baseada em objetivos conceituais, epistemológicos e sociais coexistentes, evitando a fragmentação do processo de ensino-aprendizagem.

O conhecimento disciplinar e as práticas “são construídos pelas comunidades por meio de ações coordenadas e coletivas” (tradução nossa) (Kelly, 2008, p.54). Esses estudos elucidam como o conhecimento é “proposto, comunicado, avaliado e legitimado” (tradução nossa) (Kelly; Luedeke, 2018, p.139). Portanto, “os alunos aprendem práticas epistêmicas (por exemplo, formular perguntas, justificar afirmações) ao se envolverem em problemas nos quais o conhecimento conceitual é invocado e aplicado” (Kelly; Luedeke, 2018, 159).

Assume-se, nesta pesquisa, que a AC não é um estado final estático, mas um processo dinâmico intrinsecamente dependente do engajamento em Práticas Epistêmicas.

Para operacionalizar tal abordagem, recorre-se à cognição epistêmica e ao Modelo AIR, detalhados a seguir.

2.2 Cognição Epistêmica e o Modelo AIR

A cognição epistêmica refere-se aos processos pelos quais os indivíduos refletem sobre suas ações epistêmicas. Trata-se do modo como as pessoas constroem conhecimento e regulam suas próprias práticas.

Essa competência ganha relevância crítica no cenário contemporâneo, frequentemente caracterizado pelo fenômeno da "pós-verdade". Conforme apontam Chinn, Barzilai & Duncan (2020), a cognição epistêmica deixa de ser apenas uma ferramenta de aprendizagem escolar para se tornar um requisito de sobrevivência democrática. Nesse contexto, a capacidade de lidar com informações conflitantes, avaliar a confiabilidade de fontes e distinguir crença de evidência constitui a base para o exercício da cidadania em uma sociedade saturada de dados, mas carente de critérios de validação.

¹ Entende-se por categorias ontológicas os tipos fundamentais de entidades e fenômenos que uma determinada área do conhecimento assume como existentes e relevantes para a construção de explicações, como, por exemplo, objetos, processos, interações ou propriedades. Essas categorias orientam a forma como os fenômenos são descritos, interpretados e explicados no âmbito de uma disciplina.

Essa distinção é crucial para avançar de uma “epistemologia formal” (o discurso abstrato sobre a ciência) para uma “cognição epistêmica situada” (o pensamento e ação diante de tarefas específicas). Tradicionalmente, a pesquisa mapeava crenças estáticas, mas estudos recentes indicam que concepções sofisticadas não garantem práticas de ensino alinhadas. Como argumenta Barzilai & Chinn (2018), a cognição epistêmica é um processo dinâmico, não um repositório passivo.

Segundo Freire (2018, p.116), a cognição epistêmica ocorre quando “o sujeito está engajado em um processo reflexivo que tem como objeto da reflexão ‘o conhecimento e o processo do conhecer’”. Embora adotemos a cognição epistêmica como foco, reconhece-se a complexidade da prática docente (Freire, 2018).

Considerando que objetivos conceituais, epistêmicos e sociais impõem demandas comunicativas (Kelly; Luedeke, 2018), adota-se o modelo de desenvolvimento epistêmico (Barzilai; Chinn, 2024) como ferramenta para construção de Sequências de Ensino e Aprendizagem (SEAs).

Distingue-se, para fins analíticos, o Modelo AIR do Modelo de Desenvolvimento Epistêmico, ressaltando sua complementaridade prática.

2.2.1 O Modelo AIR

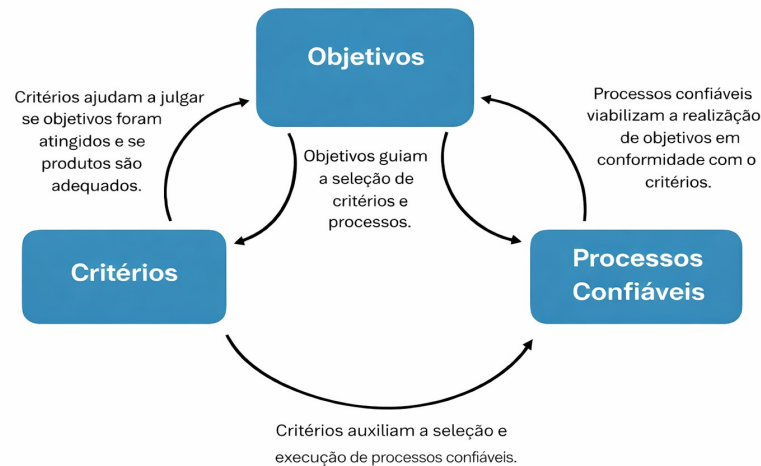
O modelo AIR (Barzilai; Chinn, 2024) descreve três componentes interdependentes do pensamento epistêmico: Objetivos epistêmicos (*Aims*) que passaremos a denominar apenas por objetivos, Critérios/Ideais epistêmicos (*Ideals*) que passaremos a chamar apenas de critérios e Processos Confiáveis (*Reliable Processes*).

- **Objetivos epistêmicos (*Aims*):** Referem-se à busca pela construção do conhecimento. No contexto docente, transcende a lista de conteúdos, focando no que se deseja alcançar: memorização e/ou explicação causal? Freire (2018) ilustra que objetivos distintos acionam práticas divergentes.
- **Critérios epistêmicos (*Ideals*):** Padrões utilizados para validar o conhecimento. Funcionam como “filtro de qualidade”: o professor pode sustentar um critério de autoridade ou de justificação baseada em evidências.

- **Processos confiáveis (Reliable Processes):** Métodos empregados para aplicar os critérios. Envolve decidir quais estratégias (ex: experimentação, argumentação) são confiáveis para atingir os objetivos epistêmicos.

A representação gráfica (Figura 6.1) evidencia a interdependência entre os componentes.

Figura 2.1 – Relação entre objetivos, critérios e processos confiáveis no modelo AIR.



Fonte: Adaptado de Barzilai & Chinn (2024, p.91).

A figura representa a relação dinâmica entre os três componentes do modelo AIR: objetivos (Aims), critérios (Ideals) e processos confiáveis (Reliable Processes). Nesse modelo, os objetivos orientam a definição dos critérios e a escolha dos processos que serão utilizados para produzir e avaliar conhecimentos. Os critérios, por sua vez, permitem julgar se os objetivos foram alcançados e se os produtos obtidos são adequados. Já os processos confiáveis correspondem às estratégias e procedimentos empregados para alcançar os objetivos de acordo com os critérios estabelecidos. Assim, os três elementos se articulam de forma interdependente, constituindo um ciclo no qual cada componente orienta e é orientado pelos demais.

O Modelo AIR atua, assim, como indicador do sucesso do ensino da epistemologia. A Figura 6.1 ilustra a coordenação dinâmica onde critérios regulam a confiabilidade dos processos para atingir objetivos epistêmicos.

Barzilai & Chinn (2018) e Freire (2018) utilizam o AIR para investigar concepções docentes, permitindo explicitar Objetivos, Critérios e Processos no planejamento. Neste trabalho, o modelo guia a elaboração da SEA, explicitando os aspectos da cognição epistêmica a serem trabalhados e alinhando o planejamento às metas de desenvolvimento epistêmico.

2.2.2 O Modelo de Desenvolvimento Epistêmico (Apt-AIR)

O conceito de desenvolvimento epistêmico (Barzilai; Chinn, 2018) constitui um referencial central neste trabalho para compreender como o conhecimento é construído, justificado e regulado no contexto da SEA. Nesse sentido, enquanto o Modelo AIR permite caracterizar os componentes envolvidos nesse processo (como objetivos, critérios e processos confiáveis) a noção de desenvolvimento epistêmico volta-se à compreensão de como esses elementos se manifestam, evoluem e se articulam na prática. A seguir, apresentam-se os cinco aspectos estruturantes dessa concepção.

1. Engajamento cognitivo: Envolvimento ativo na construção do conhecimento, avaliando e aplicando critérios epistêmicos. Exige objetivos de aprendizagem com valor epistêmico, permitindo validação de modelos por investigação e argumentação.
2. Adaptação: Capacidade de ajustar abordagens epistemológicas a diferentes contextos (ex: métodos para desenvolver vacinas diferem da investigação cosmológica).
3. Regulação metacognitiva: Planejamento, monitoramento e ajuste de estratégias epistêmicas, com compreensão das adaptações. Requer discussão coletiva sobre critérios epistêmicos.
4. Apreciação e cuidado: Interesse e motivação na busca pelo conhecimento, incluindo curiosidade e compromisso com a construção do saber.
5. Participação em comunidade: Envolvimento social na construção do conhecimento. O professor deve criar ambiente favorável à colaboração, refletindo o caráter social da ciência.

Os Quadros 2.2 e 2.3 sintetizam o desempenho epistêmico adequado e sua relação com o Modelo AIR, conforme Barzilai & Chinn (2018).

Quadro 2.2 – Aspectos do desempenho epistêmico adequado: uma visão geral

Aspecto	Desempenho Epistêmico Adequado
Engajamento cognitivo no desenvolvimento epistêmico	Engajar-se em processos cognitivos que alcancem de forma confiável os objetivos epistêmicos, conforme os critérios epistêmicos. Isso inclui: • Selecionar objetivos epistêmicos de maior valor; • Utilizar critérios apropriados para avaliar, criar e comunicar objetivos epistêmicos; • Realizar processos cognitivos avaliativos, criativos e comunicativos de forma confiável.
Adaptação do desenvolvimento epistêmico	Alcançar objetivos epistêmicos de forma adaptativa em diversas situações, incluindo: • Sensibilidade às demandas e condições específicas de cada situação; • Proficiência em processos confiáveis; • Conhecimento metacognitivo das condições e critérios epistêmicos.
Regulação metacognitiva e compreensão do desenvolvimento epistêmico	Utilizar a metacognição epistêmica para guiar o desempenho epistêmico. Isso inclui: • Planejar, monitorar, avaliar e controlar o desempenho epistêmico em situações dinâmicas; • Conhecer objetivos, critérios e processos epistêmicos, compreendendo como, quando e por que são utilizados.
Apreciar e se importar com o desenvolvimento epistêmico	Valorizar objetivos epistêmicos e estar motivado a alcançá-los. Isso inclui: • Demonstrar atitudes e disposições emocionais que inspirem e motivem um desempenho epistêmico adequado.
Participação no desenvolvimento epistêmico em comunidade	Alcançar objetivos epistêmicos em colaboração com outras pessoas. Isso inclui: • Trabalhar em configurações sociais diversas; • Engajar-se no desenvolvimento, justificativa, crítica e aplicação conjunta de critérios e processos epistêmicos; • Ser criticamente consciente da natureza social da produção e disseminação do conhecimento.

Quadro 2.3 – Aspectos do Desempenho Epistêmico do Apt-AIR em Relação ao Modelo AIR de Cognição Epistêmica

Aspecto	Objetivos	Critérios	Processos Confiáveis
Engajamento cognitivo no desenvolvimento epistêmico	Selecionar e priorizar objetivos epistêmicos que tenham relevância e valor significativo para o aprendizado	Aplicar apropriadamente critérios epistêmicos para avaliar, criar e comunicar diversos produtos epistêmicos	Realizar processos cognitivos avaliativos, criativos e comunicativos que resultam na conquista confiável de objetivos epistêmicos
Adaptação do desenvolvimento epistêmico	Identificar e adaptar objetivos epistêmicos com base nas possibilidades e restrições de contextos, tarefas e disciplinas	Selecionar e ponderar critérios que sejam apropriados aos contextos, tarefas e disciplinas	Selecionar e ajustar processos para se adequar às condições situacionais
Regulação metacognitiva e compreensão do desenvolvimento epistêmico	Identificar, planejar e monitorar a conquista de objetivos epistêmicos; compreender os objetivos epistêmicos, seu valor e o que é necessário para alcançá-los	Usar critérios epistêmicos apropriados para selecionar, planejar, monitorar, avaliar e controlar processos e estados de crença epistêmicos em andamento; compreender os critérios epistêmicos, por que são importantes, quando se aplicam e as condições para sua aplicação	Identificar, selecionar, monitorar e avaliar processos epistêmicos; compreender os processos epistêmicos, quão confiáveis são, por que são confiáveis, quando e como usá-los e as condições para sua confiabilidade
Apreciar e se importar com o desenvolvimento epistêmico	Formar inclinações e intenções para perseguir objetivos epistêmicos; experimentar emoções epistêmicas, como a curiosidade	Valorizar critérios epistêmicos e aspirar a alcançá-los; experimentar satisfação quando os critérios epistêmicos são alcançados e preocupação quando não são	Preferir processos confiáveis em vez de não confiáveis, mesmo quando têm um custo; preocupar-se com a forma como os processos são realizados; querer aprender a usar processos confiáveis
Participar do desenvolvimento epistêmico em comunidade	Engajar-se na conquista colaborativa e coletiva de objetivos epistêmicos que são valiosos para as comunidades	Formar e aplicar colaborativamente critérios e normas epistêmicas; apreciar a natureza social da construção do conhecimento e suas implicações; compreender critérios para avaliar testemunhos e discordâncias	Ter a capacidade de se envolver em processos epistêmicos sociais, como a conquista conjunta de objetivos epistêmicos e a resolução de discordâncias; compreender os benefícios e limitações desses processos sociais

O modelo de desenvolvimento epistêmico instrumentaliza a análise sobre como os princípios do AIR influenciam as interações em sala e o desempenho discente durante a SEA.

2.3 A evolução do Conceito de Calor sob as lentes do AIR

O embate entre aristotélicos e atomistas perdurou séculos. O recorte metodológico aqui adotado foca na ruptura paradigmática entre as concepções substancialistas (Calórico) e energéticas (Termodinâmica), onde a disputa de critérios se apresenta de forma mais evidente para fins didáticos.

Sob a ótica do Modelo AIR, observa-se que os Processos Confiáveis neste período baseavam-se na observação direta e argumentação lógica (retórica), em detrimento da experimentação instrumental. O *Critério* explicativo era a coerência ontológica. Na SEA, o objetivo epistêmico é compreender esses critérios de validação distintos da ciência moderna.

O primeiro momento a ser tratado se refere à teoria do Calórico, marcado por uma ruptura epistêmica: a introdução do instrumento de medida. Embora Gomes (2012, p.1032) destaque que os estudos quantitativos dependeram da invenção do termômetro, é importante ressaltar que a consolidação dessa teoria envolveu um arcabouço conceitual sofisticado. Conforme demonstra Fox (1971), a teoria do calórico não se resumiu a um equívoco histórico, mas constituiu um sistema explicativo que respondeu com sucesso a diversos problemas empíricos de sua época. O aperfeiçoamento instrumental permitiu a Joseph Black diferenciar calor de temperatura e formular descobertas fundamentais sobre a natureza térmica (Gomes, 2012).

Para Black, o calor era uma quantidade física mensurável. Ele constatou que o calor se difunde do corpo mais quente para o mais frio até o equilíbrio. Seus experimentos fundamentaram as definições de calor específico e latente (Gomes, 2012). Sobre a mudança de estado, Black refutou a crença de que pequenas quantidades de calor bastariam para fundir sólidos. Como argumenta Kuhn (2020), ainda que algumas anomalias comessem a tensionar esse paradigma, a teoria do calórico preservava grande coerência explicativa frente às tecnologias de medição disponíveis, organizando de maneira lógica a pesquisa em termodinâmica.

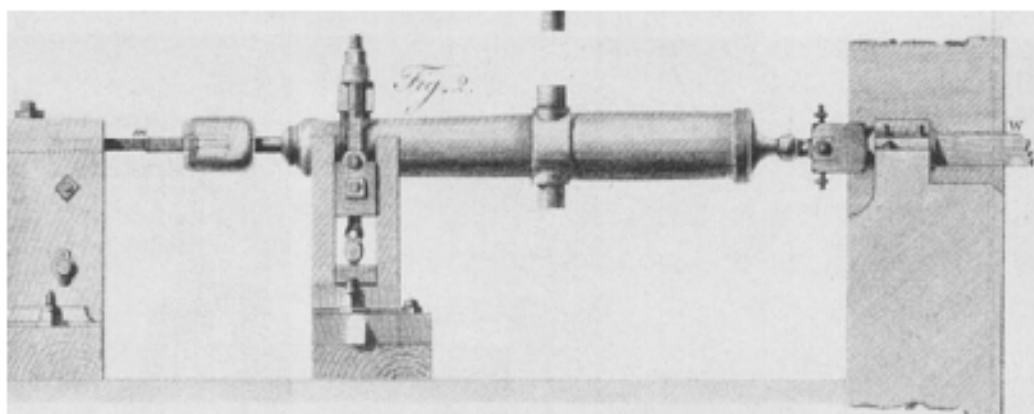
Lavoisier contribuiu ao propor o termo "calórico" para o fluido responsável pela repulsão entre corpos (Gomes, 2012). As características do calórico (substância material, fluido elástico, indestrutível, peso desprezível) atendiam estritamente às exigências de conservação do incipiente e rigoroso sistema químico do final do século XVIII (Fox, 1971).

Neste contexto, o Modelo AIR identifica uma mudança radical nos *Processos Confiáveis*: a validação passa a depender da medição instrumental e reprodutibilidade. O *critério* epistêmico central era a “Substancialidade e Conservação”. A teoria do Calórico, portanto, apresentava robustez epistêmica ao satisfazer os critérios de validação e processos de medição do século XVIII.

Apesar do poder explicativo do calórico, Benjamin Thompson (Conde Rumford) iniciou sua desestabilização. O terceiro momento a ser tratado engloba a ruptura que aconteceu nesse período. Embora substancialista, Rumford atacou pontos vulneráveis da teoria. Ao perfurar canhões, observou geração de calor superior à prevista, sem confirmação experimental da presença de calor latente nas lascas metálicas (Gomes, 2012).

Em um segundo experimento (Figura 6.2), Rumford utilizou atrito mecânico em um cilindro de metal isolado, demonstrando que a quantidade de calor gerada era incompatível com a teoria do calórico e que o pó metálico produzido não justificava o fenômeno (Gomes, 2012).

Figura 2.2 – Esquema experimental utilizado por Conde de Rumford em seus estudos sobre a produção de calor por atrito



Fonte:

Imagem disponível em:

<https://opessoa.fflch.usp.br/sites/opessoa.fflch.usp.br/files/HCTex-Rumford.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.

A figura apresenta uma representação do aparato experimental utilizado por Benjamin Thompson em seus estudos sobre a natureza do calor no final do século XVIII. No experimento, um canhão metálico era perfurado continuamente por uma broca enquanto permanecia imerso em água. Durante o processo de perfuração, observava-se a produção contínua de calor, capaz de aquecer a água ao redor do canhão. A partir dessas observações, Rumford argumentou que o

calor não poderia ser uma substância material armazenada nos corpos, como defendia a teoria do calórico, mas estaria relacionado ao movimento produzido pelo atrito durante o processo de perfuração.

A montagem experimental evidenciou a geração contínua de calor por atrito, contradizendo a conservação do fluido calórico. Se o calórico fosse apenas transferido, não haveria fonte inesgotável.

Embora as causas do abandono da teoria do calórico sejam complexas (Gomes, 2012), a consolidação da termodinâmica estabeleceu o calor como energia em trânsito, fundamental para a Primeira Lei.

A transição para a Termodinâmica representa, na linguagem do Modelo AIR, a substituição dos *critérios*. O experimento de Rumford demonstrou que os *Processos Confiáveis* de geração de calor por trabalho mecânico produziam resultados incompatíveis com o *critério* substancialista, forçando a adoção da Conservação da Energia. O calor deixa de ser validado como “matéria” e passa a ser validado como “processo”.

Para tangibilizar como o Modelo AIR se manifesta no contexto específico desta pesquisa, elaboramos uma adaptação dos componentes teóricos para o ensino de Calor e Temperatura.

Esta estruturação é fundamental para a análise dos dados e planejamento da SEA, pois nos permite identificar se as dificuldades dos estudantes residem na execução dos processos (ex: erro de medição), na adoção de critérios inadequados (ex: achar que o tato é confiável) ou na confusão de objetivos (ex: querer apenas memorizar a fórmula).

A complexidade da transição histórica entre o Calórico e a Termodinâmica, conforme analisada sob as lentes do Modelo AIR, impõe desafio à prática docente em sala de aula. Não se trata apenas de ensinar uma nova fórmula, mas de mediar a substituição de Critérios de validade científica. Para sustentar o processo de ensino e aprendizagem, o professor não pode depender apenas do conhecimento do conteúdo; ele necessita mobilizar repertórios específicos de atuação profissional. É nessa interface entre a exigência epistêmica do conteúdo e a capacidade de resposta do docente que situamos a discussão sobre a Formação de Professores e os Saberes Docentes, abordada a seguir.

2.4 Desenvolvimento Profissional Docente

Esta seção discute o desenvolvimento profissional docente em articulação com os saberes docentes, compreendidos como fundamentos para a operacionalização do modelo AIR. Nesse contexto, abordam-se também as práticas reflexivas como elemento constitutivo do desenvolvimento profissional do professor-pesquisador. Apoiando-se em Maurice Tardif, Isabel Alarcão e Carlos Marcelo, argumenta-se que a cognição epistêmica do aluno relaciona-se dialeticamente ao desenvolvimento profissional do docente.

Cabe ressaltar, nesta articulação conceitual, as distinções epistemológicas subjacentes aos marcos teóricos adotados. A aproximação entre o modelo AIR (Barzilai; Chinn, 2024), fundamentado em uma matriz cognitivo-epistêmica que focaliza os processos individuais e os critérios de validação do conhecimento, e a perspectiva dos saberes docentes (Tardif, 2014a), ancorada em uma matriz sociológica e experiencial, não ocorre sem tensionamentos inerentes às suas origens. Contudo, essas abordagens configuram-se como lentes fortemente complementares nesta pesquisa. Assume-se que a promoção da cognição epistêmica do estudante (Modelo AIR) depende de forma estrutural dos suportes pedagógicos e da regulação discursiva oferecida pelo professor. Tais ações investigativas em sala de aula, por sua vez, só se tornam exequíveis mediante a mobilização de seus saberes profissionais e experienciais. Desse modo, a lente sociológica de Tardif e Alarcão provê o lastro experiencial, institucional e reflexivo necessário para que as estritas demandas da lente cognitiva se concretizem de forma significativa na dinâmica da sala de aula de Física.

O desenvolvimento profissional docente pode ser compreendido como um processo de longo prazo, voltado à promoção do crescimento profissional dos professores (Marcelo, 2009). Essa visão fundante tem sido reiterada e ampliada por investigações no Ensino de Ciências, que enfatizam a complexidade dos condicionantes contextuais. Nascimento & Barolli (2021), a partir da análise de trajetórias de professores de Física, evidenciam que esse desenvolvimento ocorre em múltiplas dimensões, abrangendo a atualização em conhecimentos científicos, a investigação da própria prática e o planejamento longitudinal da carreira frente aos desafios do ambiente escolar.

Nessa perspectiva, o desenvolvimento profissional não se configura como um processo linear, mas como um movimento dinâmico, marcado por transformações que ocorrem ao longo da trajetória (Marcelo, 2009), sendo profundamente atravessado pelas relações intersubjetivas

e institucionais. Barolli *et al.* (2019) corroboram esse aspecto ao destacarem que as dimensões afetivas e os contextos de atuação são determinantes na sustentação ou no abandono de práticas inovadoras por parte dos professores de ciências.

Outro aspecto desse processo refere-se à relação indissociável entre teoria e prática. A literatura reforça que a apropriação de conhecimentos para a docência não é imediata e demanda a construção de espaços coletivos de reflexão. Como aponta Silva *et al.* (2024), a ressignificação das práticas de ensino em ciências exige vivências contínuas que problematizem as situações reais de sala de aula, superando as formações prescritivas e permitindo que o professor construa novos repertórios a partir do enfrentamento das dificuldades de seus estudantes. Nesse sentido, a teoria oferece subsídios para a interpretação e compreensão das práticas pedagógicas, enquanto a prática possibilita a problematização e a ressignificação dos referenciais teóricos. A construção da identidade profissional do professor ocorre a partir desse diálogo constante, no qual o docente mobiliza diferentes saberes para compreender e atuar em sua realidade (Marcelo, 2009).

Destaca-se que o desenvolvimento profissional docente é fortemente influenciado pelas experiências vivenciadas e pelo contexto em que o professor está inserido. As interações estabelecidas no ambiente escolar, os desafios enfrentados no cotidiano da sala de aula e as condições de trabalho constituem elementos que impactam diretamente esse processo (Marcelo, 2009). Dessa forma, a experiência profissional e o contexto de atuação assumem papel tão relevante quanto os processos formativos mais formais, evidenciando que o desenvolvimento docente resulta da articulação entre diferentes dimensões da prática educativa.

Nessa perspectiva, o desenvolvimento profissional não é abordado neste trabalho apenas como um referencial teórico, mas também como uma lente analítica para a compreensão do percurso do professor-pesquisador ao longo da investigação. Considera-se que esse processo se manifesta por meio das interações estabelecidas com o contexto escolar, com os referenciais teóricos mobilizados e com as experiências vivenciadas no planejamento e implementação das atividades. Diante disso, serão consideradas na análise categorias que dizem respeito à articulação entre teoria e prática, ao papel da reflexão sobre a ação docente, bem como à influência das experiências e do contexto na construção do conhecimento profissional.

A categoria “Identidade profissional e profissão docente” refere-se ao modo como o professor constrói e reconstrói sua compreensão sobre o que significa ser docente ao longo de sua trajetória. Essa identidade não é fixa, sendo continuamente (re)elaborada a partir das experi-

ências vivenciadas, das interações no contexto escolar e dos referenciais teóricos mobilizados (Marcelo, 2009). O “Processo de se tornar professor” diz respeito à compreensão da docência como um percurso formativo contínuo, que se estende ao longo de toda a carreira, no qual o docente constrói saberes e redefine sua atuação a partir das demandas da profissão (Marcelo, 2009). Por fim, a categoria “Processos de mudança docente” refere-se às transformações parciais ou profundas nas concepções e nas práticas do professor, resultantes de um processo gradual influenciado pela reflexão sobre a prática e pelo contato com novos referenciais (Marcelo, 2009).

Os saberes docentes constituem um dos elementos presentes nessas discussões. O processo de desenvolvimento do professor envolve não apenas a aquisição de novos conhecimentos, mas também a mobilização, a articulação e a ressignificação dos diferentes saberes que sustentam sua prática. O conhecimento mobilizado pelo professor não se restringe aos conteúdos acadêmicos formalmente sistematizados. Destacam-se os saberes experienciais, construídos no cotidiano da prática e nas interações estabelecidas no contexto escolar, que emergem da vivência profissional e os aproxima do conceito de desenvolvimento profissional contínuo.

Ao reconhecer a importância dos saberes experienciais, evidencia-se a necessidade de compreender a prática docente como um espaço legítimo de produção de conhecimento. A noção de epistemologia da prática contribui para superar a visão de que o professor atua apenas como aplicador de teorias produzidas externamente, passando a reconhecê-lo como sujeito que produz, mobiliza e ressignifica saberes em sua atuação. Definem-se saberes docentes como “os conhecimentos, o saber-fazer, as competências e as habilidades que os professores mobilizam diariamente [...] a fim de realizar concretamente as suas diversas tarefas” (Tardif, 2014a, p.9).

Tardif (2014a) categoriza esses saberes, de origem social, em: disciplinares (das ciências), curriculares (das instituições), profissionais (da pedagogia) e experienciais (da prática). Embora integrados na ação, foca-se aqui nos saberes profissionais, essenciais para fundamentar a formação inicial investigada. Tardif enfatiza a necessidade de repensar modelos formativos, integrando conhecimentos universitários e saberes experienciais. A docência constitui-se a partir de valores e dilemas reais; assim, a formação deve oferecer espaços para analisar essas dimensões, superando a lógica de mera aplicação do saber universitário. O autor aponta o distanciamento entre pesquisa educacional e prática docente como desafio, defendendo que a formação incorpore pesquisas situadas (Tardif, 2014a).

É no âmbito dos saberes profissionais que se situa a competência de fornecer “suportes” (*scaffolds*). Esse conceito refere-se às estruturas de apoio provisórias que o professor oferece para que o estudante desempenhe tarefas que ainda não consegue realizar autonomamente. No contexto do desenvolvimento epistêmico, o professor-pesquisador utiliza seus saberes para criar suportes que não apenas facilitam a resposta correta, mas que modelam o próprio raciocínio científico — por exemplo, ao perguntar “quais evidências sustentam sua afirmação?” em vez de apenas corrigir um erro conceitual.

A reflexão assume, portanto, um papel central nesse processo, uma vez que possibilita ao professor analisar criticamente sua prática, ressignificar suas ações e reconstruir seus saberes ao longo de sua trajetória (Marcelo, 2009). A noção de professor reflexivo apresenta-se como um elemento fundamental para compreender como o docente se desenvolve profissionalmente, superando modelos formativos centrados na mera aplicação de técnicas (Alarcão *et al.*, 1996). Ser reflexivo implica “utilizar o pensamento como atribuidor de sentido” à ação (Alarcão *et al.*, 1996), articulando teoria e prática e tomando consciência dos fundamentos das escolhas pedagógicas.

A reflexão na e sobre a ação (Schön, 2009) é essencial para a autonomia e criticidade. A ausência de reflexão pode levar ao dogmatismo e à reprodução de práticas desumanizadas. A formação reflexiva articula estratégias como o diálogo colaborativo e a investigação-ação, visando uma “metapraxis”, descrita como uma atitude epistemológica fundamental para uma sociedade democrática (Alarcão *et al.*, 1996).

Nesta pesquisa, a prática reflexiva materializa-se na capacidade do professor-pesquisador de monitorar a mobilização dos componentes *Aims*, *Ideals* e *Reliable Processes*. O modelo AIR atua como ferramenta metacognitiva da reflexão docente. Qualifica-se aqui a reflexão proposta por Alarcão e Schön não como genérica, mas como Reflexão Epistêmica. A implementação do Modelo AIR exige que o professor monitore se os critérios de ciência são respeitados e se os processos confiáveis são modelados. O diário reflexivo torna-se o espaço de negociação de critérios de validade e avaliação da mediação epistêmica.

O palco dessa mobilização cognitiva é a Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA), definida por Méheut & Psillos (2004b) como instrumento de pesquisa onde ensino e aprendizagem se vinculam. É no design da SEA que ocorre a tentativa de transposição da cultura científica. As “tensões” centrais emergem do choque entre a implementação de processos confiáveis da ciência (argumentação, investigação) e as restrições da cultura escolar (Tardif, 2014a).

O professor-pesquisador, ao mobilizar o Modelo AIR, situa-se na fronteira dessas culturas, utilizando o referencial não apenas para orientar as atividades, mas para mapear essas fricções, revelando a negociação dos critérios científicos dentro da complexa realidade escolar.

3 PERCURSO METODOLÓGICO

Este capítulo delinea a arquitetura investigativa da pesquisa. Situada no paradigma qualitativo e de cunho interpretativo, a investigação adota a postura da pesquisa sobre a própria prática, na qual o sujeito (professor-pesquisador) e o objeto (a mobilização do Modelo AIR) se entrelaçam indissociavelmente. A questão que orienta este percurso é: “Quais são as tensões, desafios e potencialidades percebidas pelo professor-pesquisador na Licenciatura em Física ao implementar os componentes estruturantes do Modelo AIR no ciclo de planejamento, execução e reflexão de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem?”

3.1 Delineamento e Contexto da Pesquisa

A investigação configura-se como uma pesquisa qualitativa de natureza interventiva e autorreflexiva. Inspiramo-nos nos princípios da *Design-Based Research* (DBR) para estruturar o ciclo de investigação, entendendo que a inovação pedagógica — neste caso, o ensino do Modelo AIR — deve ser estudada em seu contexto natural de aplicação e refinada iterativamente. Conforme Bogdan & Biklen (1994), tal abordagem permite a descrição densa dos fenômenos em seu ambiente ecológico.

O contexto do estudo é uma turma de primeiro semestre de Licenciatura em Física de uma Instituição de Ensino Superior localizada no sul de Minas Gerais. A escolha deste público é estratégica: por estarem na transição entre o Ensino Médio e o Superior, esses licenciandos oferecem um cenário privilegiado para investigar como o raciocínio epistêmico pode ser fomentado na formação inicial docente, permitindo adaptações da SEA que dialogam com ambos os níveis de escolaridade.

Essa escolha se justifica não apenas pelas características dos estudantes, mas pela potência reflexiva que este cenário oferece ao professor-pesquisador. Atuar na formação inicial coloca o docente em um jogo de espelhos: ao mediar a aprendizagem de futuros colegas, o pesquisador é constantemente confrontado com as lacunas e desafios da sua própria formação, tornando a sala de aula de Licenciatura um laboratório privilegiado para a investigação da identidade docente e da mobilização de saberes profissionais.

A Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) elaborada abordará o tema “Evolução dos conceitos de Calor”, estruturada a partir dos princípios do Modelo AIR. O foco analítico

reside na autocrítica do professor-pesquisador sobre como ele planeja e gerencia as interações discursivas, buscando compreender as potencialidades desse modelo para estruturar situações de ensino que favoreçam o engajamento epistêmico.

3.1.1 Aspectos Éticos e a Delimitação do Objeto

É fundamental delimitar o escopo ético desta investigação. O foco analítico recai exclusivamente sobre a cognição, as percepções e a prática profissional do professor-pesquisador. Embora a pesquisa ocorra no ambiente de sala de aula, os estudantes figuram como contexto ecológico e não como sujeitos diretos de análise. Não serão objetos de escrutínio seus dados pessoais, notas ou desempenhos individuais.

É imperativo destacar que não houve qualquer captação audiovisual ou registro fonográfico dos discentes durante as regências em sala de aula. As gravações realizadas pelo pesquisador restringiram-se exclusivamente aos momentos solitários e extraclasse de planejamento e replanejamento. Por configurar autopesquisa sobre a prática profissional, sem coleta, registro ou retenção de dados identificáveis de terceiros, a presente investigação ampara-se no Artigo 1º, Parágrafo Único, inciso VII, da Resolução CNS nº 510/2016, que prevê a dispensa de submissão ao sistema CEP/CONEP para pesquisas que objetivem o aprofundamento teórico de situações que emergem espontânea e contingencialmente na prática profissional, desde que não revelem dados que possam identificar sujeitos.

3.2 Instrumentos de Construção de Dados

Dada a natureza situada e processual da cognição epistêmica, o instrumento privilegiado para a geração de dados é o Diário Reflexivo, elaborados em três momentos distintos do ciclo pedagógico. Conforme destaca Paiva (2024), diários em pesquisas qualitativas transcendem o registro factual; atuam como dispositivos de elicitação de dados mentalísticos, permitindo capturar *insights*, hesitações e mudanças de perspectiva que instrumentos de observação externa não alcançariam. Entendemos o diário não como um relato burocrático, mas como um "gerador de dados" onde o professor objetiva suas angústias e decisões epistêmicas (Paiva, 2024; Zabalza, 2004).

Para garantir a densidade descritiva e analítica desses registros, utilizou-se a técnica de Estimulação da Memória (*Stimulated Recall*), instrumentalizada por softwares de gravação, conforme descrito a seguir:

No planejamento, o professor-pesquisador registrou o processo de design da SEA utilizando a técnica de *think aloud* (pensar em voz alta), capturada pelo software OBS¹. A técnica de *Estimulação da Memória* consiste em confrontar o sujeito com o registro (vídeo/áudio) de sua própria ação para evocar os processos cognitivos que ocorreram naquele momento Paiva (2024). Isso permite acessar o pensamento interativo do professor que, de outra forma, se perderia pela falibilidade da memória.

A captura simultânea de tela, áudio e vídeo permitiu registrar não apenas o "produto final" (o plano de aula), mas o "processo de design" (as hesitações, as escolhas teóricas e as justificativas em tempo real). O Diário de Planejamento Reflexivo foi redigido a partir da reanálise dessas gravações, permitindo recuperar tensões que a memória desassistida poderia negligenciar.

Durante a regência em sala de aula, para resguardar a privacidade dos discentes e manter a pesquisa no escopo estrito da autopesquisa, não houve gravação audiovisual. O Diário de Campo Reflexivo desta etapa foi elaborado imediatamente após o término das aulas, valendo-se da memória fresca do docente e de anotações breves de campo.

Nesta etapa, o framework Apt-AIR (Barzilai; Chinn, 2018) atuou não apenas como lente de análise *a posteriori*, mas como ferramenta metacognitiva de regulação. O diário buscou mapear se houve um "desempenho epistêmico apto" na mediação docente, identificando se os Processos Confiáveis (Reliable Processes) e os Critérios (Ideals) foram adequadamente estabelecidos para sustentar a cultura científica escolar.

A etapa final, o replanejamento, consistiu na análise crítica da implementação e no consequente ajuste da SEA. Retomando o uso da gravação em áudio e vídeo extraclasse, o professor-pesquisador registrou verbalmente o balanço do que funcionou ou falhou na regência, além de incorporar os debates oriundos das reuniões de orientação.

A partir desses registros solitários, estruturou-se o Diário de Replanejamento, que sistematiza as decisões tomadas para alinhar a SEA às demandas reais observadas, fechando o ciclo iterativo característico da pesquisa baseada em design. Esse documento destaca não apenas "o que mudar", mas "por que mudar" sob a ótica da cognição epistêmica.

¹ Software livre de gravação e transmissão: <https://obsproject.com/pt-br>

3.3 Concepção e Construção da SEA

3.3.1 Natureza e Abordagem da SEA:

O ensino de ciências concentra-se tradicionalmente na apresentação de fatos e fórmulas, negligenciando os debates que originaram as teorias. Essa abordagem fomenta uma visão distorcida da ciência, apresentando-a como um conjunto de verdades imutáveis. Esta SEA propõe uma abordagem distinta, que valoriza a Cognição Epistêmica. Ao invés da recepção passiva de informações, os alunos são desafiados a solucionar a situação-problema: *“O que sabemos sobre o calor? E como sabemos?”*.

A pergunta norteadora das atividades estabelece-se como:

“Como a nossa compreensão sobre o calor mudou ao longo do tempo? E o que fez essa compreensão mudar?”

A resposta exige que os estudantes analisem teorias concorrentes (calórico e teoria cinética do calor), identificando argumentos e evidências associadas a cada uma, utilizando o Modelo AIR como ferramenta analítica.

3.4 Dimensões Teórico-Pedagógicas do Design

A SEA “O Calor e a Construção do Conhecimento Científico” articula as dimensões epistemológicas e pedagógicas do Losango Didático proposto por Méheut & Psillos (2004b) aos componentes do Modelo AIR. Essa articulação visa garantir a coerência entre o mundo material (fenômenos), o conhecimento científico e a cognição dos sujeitos (professor e alunos).

A Dimensão Epistemológica foca na relação entre os alunos e o conhecimento científico (Mundo Material), visando desenvolver a compreensão sobre a justificação do conhecimento. Seus princípios são:

- Explicitação do Modelo AIR: Abordagem direta de Objetivos, Critérios e Processos Confiáveis para compreensão das regras do jogo científico.
- Contextualização Histórica: Uso da história da ciência para ilustrar a natureza dinâmica do conhecimento.

- Articulação Teoria-Prática: Análise de experimentos (como o de Rumford) para demonstrar a exigência de articulação entre teoria e evidência empírica.

Simultaneamente, a Dimensão Pedagógica concentra-se nas interações. O estudante assume papel central, enquanto o professor atua como mediador epistêmico.

- Hibridismo Metodológico: Alternância entre atividades interativas e exposição conceitual pelo professor, sempre em conexão com as práticas.
- Interação Discursiva: Estímulo à construção conjunta de argumentos, promovendo a dimensão social do Modelo AIR.
- Simulação Investigativa: Utilização de perguntas desafiadoras que simulem o processo de investigação científica.
- Progressão da Autonomia Epistêmica: A definição dos critérios de validação (*Ideals*) segue uma lógica de progressão. Inicialmente, são comunicados de maneira expositiva para estabelecer a base; posteriormente, são construídos e negociados em conjunto, permitindo que os estudantes se apropriem das "regras do jogo" científico.
- Diversificação dos Processos Confiáveis: Além da experimentação e argumentação, a SEA incorpora elementos de *Gamificação* (na simulação do Tribunal) e Modelagem Científica, desafiando os alunos a representarem visualmente e logicamente os mecanismos de transferência de calor.

3.4.1 A História da Ciência como Eixo Estruturante

Para investigar a mobilização dos componentes do Modelo AIR (*Aims, Ideals, Reliable Processes*) pelo professor, a intervenção simula as rupturas paradigmáticas da história da ciência. A transição da teoria do Calórico para a Termodinâmica Clássica foi selecionada por exemplificar uma mudança nos critérios de validação do conhecimento.

O mapeamento dessa transição via Modelo AIR (Chinn; Rinehart; Buckland, 2014) não classifica o Calórico como erro, mas como reconfiguração sistêmica:

- O Sistema Calorista (Século XVIII): Operava com coerência interna. O *Ideal* consistia na conservação da substância material. O *Processo Confiável* (calorimetria de misturas) confirmava o comportamento do calor como fluido conservativo.

- A Ruptura (Rumford e Joule): A introdução de novos processos (geração de calor por atrito) criou anomalias inexplicáveis pelo ideal substancialista, forçando a adoção de novos *Critérios* baseados na energia.

A Tabela 3.1 ilustra a comparação entre os dois modelos sob a ótica da “Engenharia Epistêmica” que fundamenta a SEA.

Tabela 3.1 – Transição Epistêmica do Calor sob a Ótica do Modelo AIR

Componente AIR	Paradigma 1: Teoria do Calórico	Fluxo	Paradigma 2: Teoria cinética do Calor
Aims (Objetivos)	Explicar fenômenos térmicos garantindo a conservação da matéria.	$\implies$	Explicar fenômenos como movimento e força via conservação da energia.
Ideals (Critérios)	Substancialidade: O calórico deve ser um fluido material, elástico e indestrutível.	$\xrightarrow{\text{Ruptura}}$	Processualidade: O calor é energia em trânsito. Critério de equivalência trabalho-calor.
Reliable Processes (Processos)	Calorimetria de Mistura: Medição do fluxo de substância (Black e Lavoisier).	$\nearrow$	Conversão Mecânica: Experimentos de atrito e agitadores de pás (Rumford e Joule).

Fonte: Elaborado pelo autor (2026) com base em Gomes (2012) e Chinn, Rinehart & Buckland (2014).

3.4.2 Matriz de Intencionalidade e Descrição da SEA

Para operacionalizar a lógica histórica, elaborou-se uma Matriz de Intencionalidade (Quadro 3.1), que vincula cada episódio didático a uma tensão específica do Modelo AIR.

Quadro 3.1 – *Matriz de Intencionalidade Epistêmica da SEA*

Episódio Didático	Objeto de Conhecimento	Tensão Epistêmica Planejada (AIR)	Estratégia Pedagógica
Atividade 1: Do Tato ao Termômetro	Sensação Térmica vs. Temperatura.	Reliable Processes: Deslegitimar o tato (subjetivo) e legitimar a medição instrumental.	Problematização via evento discrepante (experimento das bacias).
Atividade 2: O Tribunal do Calórico	Teoria do Calórico; Conservação.	Ideals: Validar o Calórico como sistema coerente à época (Armadilha Epistêmica).	Simulação investigativa e defesa de teorias concorrentes.
Atividade 3: A Ruptura de Rumford	Experimento de Rumford; Energia.	Aims e Ideals: Provocar a mudança de Objetivo (substância → energia) via anomalia.	Uso da História da Ciência para ilustrar a natureza dinâmica do conhecimento.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A intervenção compõe-se de três atividades estruturantes:

Atividade 1: Sentindo o Calor – A Crise dos Sentidos. Esta atividade introdutória objetiva problematizar o senso comum. Epistemicamente, demonstra-se a falibilidade dos sentidos humanos como *Processo Confiável* para a aferição científica. A aula inicia-se com o experimento canônico dos três recipientes com água. O conflito cognitivo instaurado cria a demanda epistêmica pela introdução de um instrumento de medida objetivo: o termômetro.

Atividade 2: O Tribunal do Calórico – A Armadilha Epistêmica. Esta etapa constitui o eixo central da SEA. Em vez de apresentar o Calórico como “erro do passado”, propõe-se a imersão na racionalidade científica do século XVIII. Os estudantes recebem textos históricos e devem usar a teoria do Calórico para explicar fenômenos. O objetivo é a percepção de que uma teoria pode ser ontologicamente incorreta, mas epistemicamente robusta e preditiva para sua época.

Atividade 3: A Ruptura de Rumford e a Natureza da Energia. A atividade final promove o confronto entre o modelo estabelecido e uma nova evidência empírica. Apresenta-se o experimento de Rumford (a perfuração de canhões), cuja anomalia da “geração infinita de calor” força a revisão dos *Crêrios*. O professor media a construção do conceito de energia, consolidando o paradigma da Termodinâmica.

3.4.3 A SEA como Laboratório de Investigação da Prática Docente

A concepção desta SEA constitui um dispositivo metodológico de “pesquisa desenvolvimental”, um laboratório para teste de hipóteses de ensino. Na execução da SEA emerge a tensão entre a “epistemologia formal” (o planejamento idealizado) e a “epistemologia prática” (a ação na urgência da sala de aula). A SEA serve como *locus* de análise dessa tensão, revelando se os *Objetivos Epistêmicos* traçados são sustentados pelos *Processos Confiáveis* adotados na ação docente.

3.5 Procedimentos Analíticos

Para o tratamento do *corpus* formado pelos três diários, optou-se pela Análise Textual Discursiva (ATD), conforme proposta por Moraes & Galiazzi (2006). A escolha justifica-se pela natureza hermenêutica da investigação: o objetivo é interpretar os sentidos subjacentes às reflexões do professor sobre as tensões do Modelo AIR.

A escolha da ATD justifica-se por seu caráter hermenêutico e reconstrutivo, permitindo ao pesquisador não apenas descrever os dados, mas edificar novas compreensões sobre a prática docente a partir de um ciclo recursivo de desconstrução e reconstrução.

A análise seguirá o ciclo rigoroso da ATD, adaptado às lentes do referencial teórico:

1. Unitarização (Desconstrução): Fragmentação dos diários em unidades de sentido, guiada pela pergunta focal: "Este trecho revela uma tensão, um desafio ou um êxito relacionado aos Objetivos, Critérios ou Processos Confiáveis?"
2. Categorização (Reconstrução): Agrupamento das unidades em categorias de análise. Neste estudo, operou-se com um sistema híbrido: categorias *a priori* (baseadas nos componentes do AIR) e categorias emergentes (surgidas da dinâmica da sala de aula).
3. Metatexto (Compreensão): Produção de um novo texto interpretativo que dialogue com a literatura de Cognição Epistêmica, superando a descrição para alcançar a teorização sobre a prática docente.

O detalhamento operacional dessas etapas, bem como a apresentação das categorias resultantes e do metatexto interpretativo, compõem a seção de Resultados e Discussões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção sistematiza a Análise Textual Discursiva (ATD), detalhando o percurso analítico e as compreensões emergentes, em conformidade com as etapas de unitarização, categorização e metatexto propostas por Moraes & Galiazzi (2006).

A primeira etapa compreende a unitarização do material constituído pelos diários de planejamento, desenvolvimento e replanejamento. A exposição a seguir organiza as unidades de sentido que fundamentam as categorias analíticas posteriores.

No âmbito do Planejamento e Mediação Pedagógica, o docente em formação relata desafios significativos relacionados à insegurança epistemológica e à dificuldade de romper com a inércia de modelos transmissivos.

Um desafio é a dificuldade de trabalhar a Epistemologia da Ciência de forma implícita:

“Ao refletir sobre minha dificuldade em trabalhar de forma implícita com o modelo AIR, percebi que essa limitação pode estar relacionada a uma tendência pessoal, e talvez à minha própria formação, a adotar práticas mais transmissivas de ensino” (Diário de planejamento).

O desvio para uma prática transmissiva, num momento de ansiedade, evidencia a resiliência dos modelos tradicionais de ensino. Essa tendência para a exposição oral não constitui apenas uma idiossincrasia ou falha de controle emocional, mas reflete a apropriação tácita de uma cultura escolar vivenciada durante anos enquanto estudante, onde a aula expositiva opera como o padrão de referência instintivo para o restabelecimento da ordem em sala.

Essa relação nos permite ver o processo de se tornar professor dentro do desenvolvimento profissional docente, como proposto por Marcelo (2009). Fica evidente como as crenças sobre o que é ser um bom professor, estão tão enraizadas que apesar de todo processo de formação inicial e continuada percorrido pelo professor-pesquisador.

Esta dualidade entre a intenção didática e a prática arraigada revela uma fragilidade no Conteúdo Pedagógico do Conteúdo (PCK):

“Essa insegurança inicial sobre como trabalhar o embate entre duas teorias se refletia na própria SEA: sempre que eu tentava articular o planejamento com o modelo AIR, acabava tratando os conceitos de forma explícita” (Diário de planejamento).

Identifica-se uma potencialidade na capacidade reflexiva de adaptar o conteúdo à maturidade cognitiva dos estudantes:

“A escolha pelo tema do calor não foi apenas uma preferência pessoal, mas uma decisão mais adequada para uma turma iniciante, já que permitia trabalhar com evidências mais tangíveis e com atividades que favoreciam a vivência implícita dos elementos do modelo AIR” (Diário de planejamento).

O processo revela, ainda, a função do orientador como suporte essencial à profissionalização:

“Muitos dos pontos que ele criticou sequer haviam me ocorrido, o que acredito estar diretamente relacionado ao fato de ele possuir maior vivência em sala de aula” (Diário de planejamento).

No que tange à Gestão de Classe e Mediação Pedagógica, os relatos evidenciam a complexidade ecológica da sala de aula e o impacto das dimensões afetivas no tempo didático.

O desafio do controle emocional como fator de desvio do planejamento:

“Esse desvio se deve principalmente a minha ansiedade e ao fato de eu estar muito tempo sem adentrar uma sala de aula enquanto professor [...] não me controlei e fui falando o que me deu na cabeça” (Diário de desenvolvimento).

Sob a lente do framework Apt-AIR (Barzilai; Chinn, 2018), este episódio não deve ser lido apenas como nervosismo, mas como um colapso momentâneo da Regulação Metacognitiva. A ansiedade atuou como um ruído que impediu o professor-pesquisador de monitorar se o Processo Confiável (*Reliable Process*) que ele estava executando (exposição oral excessiva) era coerente com o Objetivo Epistêmico (*Aim*) traçado (construção ativa pelo aluno). O retorno à zona de conforto da aula expositiva revela que, sob pressão, os saberes tácitos (tradicionais) ainda prevalecem sobre os saberes teóricos (inovadores) recém-adquiridos.

A gestão do tempo revela-se como uma barreira à densidade das discussões:

“Apesar da riqueza das discussões em grupo na parte A, os estudantes demoraram mais do que eu havia previsto para concluir a atividade” (Diário de replanejamento).

“Outro ponto que deixou a desejar foi um planejamento mais consciente em relação ao tempo necessário para os estudantes realizarem a tarefa” (Diário de replanejamento).

Fatores materiais, como a precariedade da infraestrutura tecnológica, impuseram limites à autonomia discente. Tais fatores compreendem a falta de um datashow adequadamente calibrado, que dificultou a leitura das tirinhas por parte dos estudantes e também a falta de um notebook ou um computador acessível e com rede de internet.

A precariedade da infraestrutura (falta de datashow e computadores) não representou apenas um obstáculo logístico, mas uma barreira epistêmica. Sob a ótica do Modelo AIR, a

falha material inviabilizou a execução dos Processos Confiáveis planejados para a autonomia discente, forçando o professor-pesquisador a improvisar. É nesse espaço de contingência e falta de recursos que se evidencia a urgência de consolidar os 'Saberes Experienciais' descritos por Tardif (2014b), pois o planejamento idealizado na universidade colide frontalmente com a materialidade da escola.

Por outro lado, observa-se a valorização dos conhecimentos prévios: “De forma geral, as respostas estavam dentro do esperado [...] o que ressaltou para mim, enquanto professor, a importância de evidenciar e valorizar os conhecimentos prévios dos estudantes” (Diário de desenvolvimento).

A relação de Autoridade Pedagógica e Interação Professor-Aluno revela tensões na construção da autonomia profissional. Um desafio marcante é a dependência do supervisor (preceptor): “Por reconhecê-lo como uma figura de referência, com maior domínio de sala e experiência pedagógica, acabei permitindo que assumisse um espaço maior do que o desejável na primeira aula” (Diário de replanejamento).

A dependência da figura do preceptor pode ser compreendida através da tipologia de Tardif (2014a). O professor-pesquisador, munido dos 'Saberes da Formação Profissional' (teoria do AIR), deparou-se com a carência dos 'Saberes Experienciais' (gestão do tempo e da autoridade). Nesse vácuo, o preceptor atuou como um andaime epistêmico externo, emprestando sua autoridade para validar os processos que o estagiário ainda não conseguia sustentar sozinho. A tensão reside, portanto, no processo de apropriação desses saberes práticos para que a autonomia docente se efetive.

Essa assimetria atrasa a consolidação de um Contrato Didático¹ horizontal: “Em vez disso, os grupos direcionaram suas falas a mim, assumindo que eu era a figura de maior autoridade no assunto. Essa postura me fez refletir sobre como somos moldados a responder ao professor e não a dialogar com os colegas” (Diário de desenvolvimento).

Este comportamento evidencia um choque entre os Critérios Epistêmicos (*Ideals*) vigentes. Enquanto a SEA propunha um Ideal de 'Justificação Social' (a verdade emerge do consenso entre pares baseado em evidências), os estudantes operavam sob um Ideal de 'Autoridade'. A recusa em debater com o colega não é apenas timidez, mas uma postura epistêmica: para o

¹ Entende-se por Contrato Didático, conforme Brousseau *et al.* (1993), o conjunto de regras, frequentemente implícitas, que determinam o que cada parceiro da relação didática (professor e aluno) tem a responsabilidade de gerir. No contexto epistêmico, a ruptura desse contrato tradicional é necessária para instaurar a argumentação.

estudante, a validação do colega não possui o status de 'Processo Confiável' para gerar conhecimento verdadeiro. A implementação do Modelo AIR, portanto, exige não apenas mudar a atividade, mas renegociar os critérios do que conta como saber válido na sala de aula.

Sob a ótica do Modelo AIR, esse episódio revela uma tensão nos Processos Confiáveis (*Reliable Processes*) adotados pelos estudantes. Ao centralizarem a validação do conhecimento na figura do docente, os licenciandos evidenciam que operam sob uma Epistemologia de Autoridade, em detrimento da Justificação Social proposta na SEA. Segundo Barzilai & Chinn (2018), o silêncio entre pares sinaliza que o Ideal (*Ideal*) vigente ainda privilegia a 'resposta correta' (validada pelo professor) em vez da 'construção justificada' (validada por evidências coletivas).

Emerge também um conflito na atribuição de Status Epistêmico aos sujeitos: "Após discutirmos esse episódio, concluímos que essa diferença de visão ocorreu por que eu olho para os alunos como futuros colegas de profissão, enquanto o professor [...] tinha a visão de que eles eram alunos que precisavam aprender um conteúdo" (Diário de desenvolvimento).

A intervenção do preceptor sugere que ele operava a partir da perspectiva de que eles eram alunos focados no conteúdo... Essa dissonância indica uma provável ancoragem dele nos Saberes Experienciais descritos por (Tardif, 2014a). Enquanto a minha prática era guiada pelos 'Saberes da Formação Profissional' (idealizando o estudante como um sujeito epistêmico autônomo), o preceptor operava ancorado nos seus 'Saberes Experienciais', forjados na realidade concreta e nas limitações daquele contexto escolar.

Além da questão das diferentes naturezas de Saberes Docentes, também destacamos o impacto da identidade profissional e da identidade docente, segundo Marcelo (2009). Como esse é um aspecto pessoal, as visões sobre como definimos professores e a profissão se destacou nesse momento. Como dito pelo autor, o desenvolvimento profissional perpassa também a experiência vivida enquanto professor, e como ainda estou em estágio embrionário nesse aspecto, tenho uma visão um pouco diferente do meu orientador, que já possui mais vivência dentro do ambiente escolar.

Dessa forma, ao intervir, o preceptor não estava apenas impondo sua autoridade, mas preenchendo uma lacuna de gestão de classe que os meus saberes teóricos ainda não conseguiam suprir. O episódio revela, portanto, a fragilidade da identidade docente em construção: diante da complexidade da sala de aula real, o 'Critério' pedagógico da universidade colidiu com o 'Pragmatismo', exigindo uma negociação de papéis que ainda não estava consolidada.

Essa dissonância revela que o professor-pesquisador operou com um Critério (*Ideal*) de simetria que não correspondia à realidade formativa da turma, enquanto o preceptor, ancorado em saberes experienciais (Tardif, 2014a), identificou a necessidade de uma mediação mais diretiva.

Quanto ao Desenvolvimento Epistêmico e Argumentação, os dados apontam para a dificuldade dos estudantes em atingir níveis complexos de raciocínio científico. O docente relata o insucesso na implementação da argumentação conforme o modelo de Toulmin: “Acredito que a compreensão da proposta de construção do argumento não foi plenamente alcançada. Apesar de os grupos terem respondido adequadamente às perguntas, seus textos não apresentaram as características esperadas de um argumento” (Diário de desenvolvimento).

A dificuldade na implementação da argumentação não deve ser lida apenas como imaturidade dos estudantes, mas como um desajuste no design da SEA. Ao exigir simultaneamente a apropriação do conceito de Calor (Objeto) e da estrutura de Toulmin (Método), a atividade gerou uma sobrecarga cognitiva. Sob a ótica do AIR, tentei impor um critério de justificação complexa sem antes consolidar os Processos Confiáveis básicos de leitura de evidências. O replanejamento, portanto, não foi uma supressão de conteúdo, mas um ajuste de suporte: foi necessário recuar para garantir a base epistêmica antes de avançar para a retórica científica.

A análise reflexiva atribui essa limitação à falta de prontidão epistêmica: “Uma possível explicação para isso é que argumentar exige um tipo de segurança epistêmica que os estudantes ainda não possuíam” (Diário de replanejamento).

Nota-se aqui mais um ponto importante para o desenvolvimento profissional docente do professor-pesquisador. Em sua fala podemos ver a reflexão sendo central no processo de mudança do professor. A partir da experiência vivida em sala de aula e da reflexão sobre suas consequências, o professor foi capaz de estabelecer uma mudança em sua visão sobre o tema abordado e também de planejar ações futuras.

Uma potencialidade foi o sucesso na apropriação de aspectos da Natureza da Ciência: “Os estudantes se mostraram mais participativos e ressaltaram alguns pontos que eram semelhantes entre a prática realizada por eles na aula 2 e a prática da comunidade científica” (Diário de desenvolvimento). “o modelo AIR se mostrou uma excelente ferramenta para balizar a construção da SEA” (Diário de planejamento).

Finalmente, no aspecto da Avaliação e Replanejamento, o pesquisador demonstra capacidade de identificar falhas na elaboração de enunciados: “Ficou evidente para mim que minha

prática havia falhado nesse ponto: não consegui dosar adequadamente o grau de liberdade do enunciado” (Diário de replanejamento). Como potencialidade, destaca-se a decisão curricular de ajuste ao contexto real: “Diante dessa análise, a solução mais coerente para esta primeira versão da SEA foi retirar a argumentação do escopo central da sequência” (Diário de replanejamento).

Longe de representar um fracasso pedagógico, esta decisão demonstra uma sofisticação na mobilização do Modelo AIR. O professor realizou um Reajuste de Objetivos (*Aims*): diagnosticou que os estudantes ainda não dominavam os Processos Confiáveis (*Reliable Processes*) basilares (como a leitura de dados e a distinção entre observação e inferência). Sem esses pré-requisitos procedimentais, manter o Objetivo de ‘argumentar complexamente’ seria epistemicamente incoerente. O replanejamento, assim, serviu para alinhar a ambição do Objetivo à realidade dos Processos disponíveis na turma.

4.1 Categorização

A partir das unidades de sentido emergentes, os dados foram organizados nas categorias de análise apresentadas a seguir.

Categoria 1: Tensões no Ensino e na Gestão do Conhecimento Epistêmico

Esta categoria abrange os desafios e as estratégias adotadas pelo professor para transformar o saber sábio (Epistemologia da Ciência e Física Térmica) em saber ensinado. Os dados revelam uma tensão constante entre o desejo de ensinar implicitamente a Natureza da Ciência e a tendência à explicitação conteudista: “sempre que eu tentava articular o planejamento com o modelo AIR, acabava tratando os conceitos de forma explícita” (Diário de planejamento).

A dificuldade em operacionalizar o Modelo AIR de forma implícita denuncia a resistência das Crenças Epistêmicas (*Epistemic Beliefs*) do próprio docente. Embora o planejamento (Currículo Prescrito) visasse à construção investigativa, a prática (Currículo Real) tendia à regressão para modelos transmissivos:

"Essa insegurança inicial sobre como trabalhar o embate entre duas teorias se refletia na própria SEA: sempre que eu tentava articular o planejamento com o modelo AIR, acabava tratando os conceitos de forma explícita. [...] Como os estudantes estavam no início da graduação,

havia o risco de que a apresentação explícita desses elementos desviasse o foco da SEA e se tornasse mais um conteúdo a ser aprendido, em vez de emergir de maneira natural a partir das atividades."

Segundo Lederman (1992), as concepções prévias do professor atuam como filtros que distorcem a inovação didática. Neste caso, o Objetivo (*Aim*) consciente de promover a autonomia colidiu com um Critério (*Ideal*) subconsciente de que 'ensinar é explicar'.

Esta categoria inclui também as decisões curriculares estratégicas, como a substituição do tema flogisto pelo calórico para facilitar a compreensão dos pilares do modelo AIR, e o reconhecimento das barreiras cognitivas dos discentes frente a tarefas complexas como a argumentação:

A escolha pelo tema do calor não foi apenas uma preferência pessoal, mas uma decisão mais adequada para uma turma iniciante, já que permitia trabalhar com evidências mais tangíveis e com atividades que favoreciam a vivência implícita dos elementos do modelo AIR. (Diário de Planejamento)

Categoria 2: Configuração da Identidade Docente e Regulação Emocional

Esta categoria define o processo subjetivo de tornar-se professor, marcado pela insegurança, ansiedade e dependência da figura do supervisor. Os trechos evidenciam como o estado emocional impacta a execução do planejamento:

"Esse desvio se deve principalmente a minha ansiedade e ao fato de eu estar muito tempo sem adentrar uma sala de aula enquanto professor [...] não me controlei e fui falando o que me deu na cabeça, reconheço que não foi a atitude ideal para o momento." (Diário de desenvolvimento).

O desvio do planejamento, atribuído à ansiedade, pode ser compreendido teoricamente como uma falha na Regulação Metacognitiva (*Metacognitive Regulation*), pilar do modelo Apt-AIR (Barzilai; Chinn, 2018). Diante da contingência da sala de aula, o professor-pesquisador não conseguiu monitorar seus próprios Objetivos Epistêmicos (*Aims*), regredindo para saberes experienciais pré-reflexivos. Ao 'falar o que deu na cabeça', o docente abandonou momentaneamente a postura de mediador epistêmico para assumir uma postura transmissiva.

A categoria abrange também a construção da autonomia profissional, que se mostra frágil diante da autoridade do preceptor, revelando uma identidade profissional em transição.

"Por reconhecê-lo como uma figura de referência, com maior domínio de sala e experiência pedagógica, acabei permitindo que assumisse um espaço maior

do que o desejável na primeira aula. Senti-me confortável com a ideia de tê-lo 'por perto', o que acabou influenciando minha postura docente. Na última aula, em sua ausência, percebi o quanto essa dependência me afetou: senti-me deslocado e tive dificuldade em conduzir a dinâmica como planejado."(Diário de Desenvolvimento)

Esta categoria nos permite vislumbrar com maior facilidade os momentos em que houve o desenvolvimento profissional docente do professor-pesquisar, englobando os momentos de "identidade profissional e identidade docente", "processo de se tornar professor"apresentados na unitarização.

Categoria 3: Negociação do Contrato Didático e Dinâmicas Interacionais

A insegurança identitária e a instabilidade do professor-pesquisador, descritas na categoria anterior, não ocorreram em um vácuo; elas reverberaram diretamente na estrutura das interações sociais da sala de aula. Ao recuar para uma postura transmissiva nos momentos de tensão, o docente acabou por reforçar, inadvertidamente, um modelo de comunicação centralizado. É neste cenário que emerge a terceira categoria analítica: a dificuldade na Negociação do Contrato Didático, onde a autoridade epistêmica permaneceu concentrada na figura do professor, bloqueando a horizontalidade necessária para a argumentação.

Esta categoria sintetiza as regras explícitas e implícitas que regem a interação em sala. Os dados mostram a dificuldade em descentralizar a comunicação, visto que os estudantes mantêm o hábito de dirigir-se apenas ao professor:

"Um ponto que me chamou atenção foi que, apesar de o comando da tarefa indicar que os grupos deveriam convencer os demais de que seus argumentos estavam corretos, isso não ocorreu. Em vez disso, os grupos direcionaram suas falas a mim, assumindo que eu era a figura de maior autoridade no assunto. Essa postura me fez refletir sobre como somos moldados a responder ao professor e não a dialogar com os colegas."(Diário de desenvolvimento).

A resistência dos estudantes em engajar-se na persuasão mútua revela mais do que um hábito escolar; denota uma tensão nos Processos Confiáveis. Ao centralizarem a validação na figura do docente, evidenciam que operam sob uma Epistemologia de Autoridade. Segundo Kelly & Luedeke (2018), a mudança para a construção ativa de argumentos exige que os estudantes compreendam os critérios da comunidade científica, onde o consenso advém da força das evidências, não da hierarquia.

Categoria 4: Planejamento Recursivo e Adaptação à Contingência Escolar

Reúne os elementos relacionados à gestão do tempo, infraestrutura e capacidade de replanejamento. Os relatos demonstram como fatores materiais e temporais forçam adaptações imediatas.

"Apesar da riqueza das discussões em grupo na parte A, os estudantes demoraram mais do que eu havia previsto para concluir a atividade. [...] Outro ponto que deixou a desejar foi um planejamento mais consciente em relação ao tempo necessário para os estudantes realizarem a tarefa. Embora eu tenha me baseado no tempo que levei para responder às perguntas, não considerei que eles poderiam precisar de mais tempo para discutir e escrever coletivamente."(Diário de Replanejamento)

Contudo, revela também a potencialidade reflexiva do docente, que utiliza essas falhas como insumo para a qualificação da SEA no ciclo de replanejamento (Design Based Research).

"Diante dessa análise, a solução mais coerente para esta primeira versão da SEA foi retirar a argumentação do escopo central da sequência. Essa decisão implicou mudanças estruturais relevantes: reformulamos partes que dependiam diretamente do trabalho com argumentos e substituímos a Parte B da Tarefa 2 por uma atividade de produção textual..."(Diário de Replanejamento)

O Quadro 4.1 sintetiza as categorias emergentes da ATD.

Quadro 4.1 – Síntese da Análise Textual Discursiva – Desafios e Potencialidades

Categoria Emergente	Foco da Categoria	Exemplo de Unidade de Sentido
Tensões no Ensino e na Gestão do Conhecimento Epistêmico	Dificuldade de transformar o saber sábio em saber ensinado implicitamente; barreiras cognitivas dos estudantes.	“sempre que eu tentava articular o planejamento com o modelo AIR, acabava tratando os conceitos de forma explícita”.
Configuração da Identidade Docente e Regulação Emocional	Impacto da ansiedade e insegurança na prática; dependência da figura do supervisor.	“não me controlei e fui falando o que me deu na cabeça”.
Negociação do Contrato Didático e Dinâmicas Interacionais	Desafios em estabelecer diálogo horizontal; centralização da autoridade docente.	“os grupos direcionaram suas falas a mim, assumindo que eu era a figura de maior autoridade”.
Planejamento Recursivo e Adaptação à Contingência Escolar	Gestão de imprevistos e capacidade de replanejamento reflexivo.	“a solução mais coerente [...] foi retirar a argumentação do escopo central”.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Metatexto: A Reconstrução Interpretativa

Neste metatexto buscamos compreender o processo formativo do professor-pesquisador. Nele podemos notar que o processo reflexivo foi primordial para que ocorressem "processos de mudança" no professor-pesquisador. A partir das reflexões, ele foi capaz de repensar sua prática e sua experiência em sala de aula, deixando evidente em cada uma das reflexões o quais pontos podem ser modificados, melhorados, alterados.

O modelo AIR revelou-se um eixo estruturante ambivalente: ao mesmo tempo em que balizou a construção da SEA ("excelente ferramenta"), expôs as fragilidades da formação docente ("tendência pessoal a adotar práticas transmissivas"). A opção por uma abordagem implícita do modelo AIR mostrou-se estratégica para lidar com a imaturidade epistêmica da turma, mas exigiu do professor uma vigilância constante para não regredir ao conteudismo explícito.

No desenvolvimento das aulas, a dimensão emocional e a inexperiência geraram ruídos na implementação. O reconhecimento dos desvios não intencionais ("falar o que deu na cabeça") marca o início de uma prática reflexiva mais madura. O professor percebeu que a inovação didática não depende apenas do planejamento (*Aims*), mas da regulação momento a momento dos processos em sala (*Reliable Processes*).

A relação com o preceptor evidenciou um conflito de identidade. A dissonância entre a percepção do estagiário e a do preceptor revela um conflito na atribuição de Status Epistêmico. Ao projetar nos licenciandos a imagem de 'futuros colegas', o professor-pesquisador operou com um critério de simetria que não correspondia à realidade. O preceptor, ancorado em saberes experienciais (Tardif, 2014a), identificou a necessidade de maior diretividade. Essa tensão sugere que a construção da Identidade Docente oscila entre a idealização teórica e o pragmatismo pedagógico.

Por fim, a interação em sala demonstrou a força do "currículo oculto" da tradição escolar. A resistência dos alunos em debater entre si ("direcionaram suas falas a mim") mostra que mudar a epistemologia da sala de aula é um processo lento de aculturação. O replanejamento da SEA, ao retirar a argumentação complexa e focar em objetivos mais tangíveis, não representa um fracasso, mas uma adaptação epistêmica necessária: o reconhecimento de que, para atingir Objetivos (*Aims*) elevados, é preciso primeiro consolidar Processos Confiáveis (*Reliable Processes*) básicos de interação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta investigação dedicou-se a compreender as tensões, desafios e potencialidades emergentes da mobilização dos componentes estruturantes do Modelo AIR sob a ótica do professor-pesquisador. A resposta que emerge da análise dos dados é que a implementação desse modelo na formação inicial (licenciandos) não ocorre de forma linear, mas através de um processo dialético marcado por conflitos de identidade docente e regulações epistêmicas constantes.

Identificou-se que o principal desafio não reside na compreensão teórica dos componentes do AIR (Aims, Ideals, Reliable Processes), mas no ensino desses conceitos abstratos para uma prática de sala de aula que ainda luta para superar a inércia do modelo transmissivo. As tensões mapeadas revelam que a insegurança epistêmica do professor em formação atua como um filtro, por vezes distorcendo o planejamento investigativo em direção a uma execução conteudista.

No que tange às potencialidades, nossos resultados indicam um deslocamento na função do Modelo AIR. Embora Barzilai & Chinn (2024) o apresentem predominantemente como lente analítica da cognição do estudante, este estudo evidencia que o AIR possui uma potente função de 'suporte metacognitivo' para o docente. Ao exigir a explicitação de 'Processos Confiáveis' durante o planejamento, o modelo atua como um antídoto contra o ensino automático, obrigando o professor-pesquisador a justificar suas escolhas didáticas não apenas pelo conteúdo, mas pelos critérios de validação do conhecimento.

Em nossa pesquisa, o modelo AIR sendo utilizado ao longo do planejamento, possibilitou que tensões profundas entre ideais pedagógicos e a realidade escolar viessem a tona de forma mais clara. Destacam-se três desafios centrais:

1. O Desafio da Coerência Epistêmica: A dificuldade de superar a visão empirista exige vigilância para não transformar a investigação em protocolo mecânico, garantindo que os *Objetivos Epistêmicos* sejam sustentados por processos de análise genuína (Barzilai; Chinn, 2018).
2. A Gestão da Heterogeneidade: A necessidade de amalgamar saberes disciplinares e experienciais (Tardif, 2014a), adaptando o rigor científico às necessidades da turma.

3. A Tensão Identitária: O conflito entre o pesquisador (focado nos dados) e o professor (focado na aprendizagem) exige vigilância ética para tratar a própria prática como objeto de estudo.

Conclui-se que a SEA apresentada não é um produto final, mas o resultado de um exercício de design, onde o Modelo AIR atuou tanto como arquitetura para o aprendizado quanto como espelho para a cognição docente.

Uma contribuição central deste estudo reside no diálogo com o diagnóstico de Freire (2018). Enquanto aquele autor identificou a fragilidade argumentativa nos estudantes, nossa investigação avança ao demonstrar que a origem dessa fragilidade pode residir na insegurança epistêmica do próprio professor. A dificuldade em negociar o Contrato Didático e em transferir a Autoridade Epistêmica para os alunos sugere que a Alfabetização Científica demanda, primeiramente, a emancipação epistêmica do docente.

Para o campo da Formação de Professores, o estudo sugere que a Alfabetização Científica não deve ser tratada apenas como tópico curricular, mas como vivência epistêmica. As tensões emocionais e identitárias mapeadas nos diários — como o conflito entre ver o aluno como 'aluno' ou 'futuro colega' — revelam que a apropriação do Modelo AIR exige suporte afetivo e regulação constante da prática.

Reconhecem-se as limitações inerentes a um estudo de caso único e à interrupção do ciclo da *Design-Based Research* (DBR) antes de uma nova aplicação prática da SEA refinada. O recorte temporal impediu a verificação da consolidação das mudanças na prática docente a longo prazo.

Pesquisas futuras podem explorar a aplicabilidade do framework Apt-AIR não apenas como ferramenta analítica *a posteriori*, mas como instrumento de regulação em tempo real da sala de aula. Ademais, investigações longitudinais são necessárias para compreender como a segurança epistêmica do professor evolui à medida que ele domina os componentes do modelo, possibilitando avançar para práticas mais complexas de argumentação científica que, nesta primeira incursão, mostraram-se desafiadoras.

Na perspectiva pessoal, acredito que a utilização do modelo AIR ao longo da construção da SEA foi um fator que impactou significativamente meu crescimento enquanto professor. Apesar da dificuldade inicial em utilizar o modelo, sua implementação mostrou-se uma experiência prazerosa e satisfatória. Ao estruturar de maneira reflexiva meus diários, pude identificar

com maior clareza minhas dificuldades e, a partir disso, ajustar o planejamento da sequência de modo a privilegiar a Alfabetização Científica.

Além disso, considero que o modelo AIR se configura como uma estratégia potente para a formação de professores, uma vez que suas características contribuíram de forma significativa para a construção da SEA. Nesse sentido, disciplinas como Metodologias de Ensino ou os próprios Estágios Supervisionados, que possuem uma dimensão mais prática, mostram-se espaços privilegiados para a incorporação do modelo como suporte à formação de futuros professores.

Ao promover a emancipação epistêmica desses futuros professores de Física, a incorporação do Modelo AIR transcende os muros da universidade, impactando diretamente a qualidade da Educação Básica e alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 4 (Educação de Qualidade), por preparar profissionais capazes de formar cidadãos críticos e alfabetizados cientificamente frente aos desafios contemporâneos.

REFERÊNCIAS

- ALARCÃO, I. *et al.* Ser professor reflexivo. **Formação reflexiva de professores: estratégias de supervisão**. Porto: Porto Editora, p. 171–189, 1996.
- BAROLLI, E. *et al.* Desarrollo profesional de profesores de ciencias: dimensiones de análisis. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 18, n. 1, p. 137–197, 2019.
- BARZILAI, S.; CHINN, C. A. Epistemic thinking: From "what is knowledge?" to "how to know?". In: BALL, L.; THOMPSON, V. (Ed.). **International Handbook of Thinking and Reasoning**. London: Psychology Press, 2018. Esta referência é frequentemente usada para definir o Apt-AIR e Objetivos.
- BARZILAI, S.; CHINN, C. A. The air and apt-air frameworks of epistemic performance and growth: Reflections on educational theory development. **Educational Psychology Review**, Springer, v. 36, n. 3, p. 91, 2024.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. [S.l.]: Porto editora, 1994.
- BOYD, R.; GASPER, P.; TROUT, J. D. **The philosophy of science**. [S.l.]: Mit Press, 1991.
- BROUSSEAU, G. *et al.* Fundamentos y métodos de la didáctica de la matemática. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, 1993.
- CHINN, C. A.; BARZILAI, S.; DUNCAN, R. G. Education for a “post-truth” world: New directions for research and practice. **Educational Psychologist**, 2020. Disponível em: <https://cris.haifa.ac.il/en/publications/education-for-a-post-truth-world-new-directions-for-research-and-/>. Acesso em: 10 fev. 2026.
- CHINN, C. A.; RINEHART, R. W.; BUCKLAND, L. A. Epistemic cognition and evaluating information: Applying the air model of epistemic cognition. In: RAPP, D. N.; BRAASCH, J. L. G. (Ed.). **Processing inaccurate information: Theoretical and applied perspectives from cognitive science and the educational sciences**. Cambridge, MA: MIT Press, 2014. p. 425–453.
- FOX, R. The caloric theory of gases: from lavoisier to regnault. **(No Title)**, 1971.
- FREIRE, C. d. C. **Aspectos epistêmicos no ensino de ecologia**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2018.
- GOMES, L. C. A ascensão e queda da teoria do calórico. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 29, n. 3, p. 1030–1073, 2012.
- KELLY, G. J. **Inquiry, activity and epistemic practice**. Rotterdam: Sense Publishers, 2008.
- KELLY, G. J.; LUEDEKE, A. Epistemic practices and science education. **Encyclopedia of Science Education**, Springer, 2018.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. [S.l.]: Editora Perspectiva SA, 2020.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 4, p. 331–359, 1992.

LUCAS, M. L.; MACIEL, A. M. M.; NEVES, J. A. **Os Conceitos de Calor e a Construção do Conhecimento Científico**. Lavras, MG, 2026. 57 p.

MARCELO, C. Desenvolvimento profissional docente: passado e futuro. **Sísifo. Revista de ciências da educação**, Lisboa, v. 8, n. 1, p. 7–22, 2009.

MARTIN, N. D. **Teaching Science as Epistemic Practice: Examining Teachers' Conceptions and Instruction in Middle School Science Classrooms**. [S.l.]: The University of Wisconsin-Madison, 2019.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, Taylor & Francis, v. 26, n. 5, p. 515–535, 2004.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515–535, 2004.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. d. C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação (Bauru)**, SciELO Brasil, v. 12, p. 117–128, 2006.

NASCIMENTO, W. E.; BAROLLI, E. Desenvolvimento profissional docente: reflexões a partir de trajetórias de professores de física. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, Universidade Federal do Pará, v. 17, n. 38, p. 5–21, 2021.

PAIVA, V. L. M. d. O. Pesquisa: Projeto, geração de dados e divulgação sexualidade, raça e classe social: Leitura e produção de textos técnicos e acadêmicos. **São Paulo: Parábola**, 2024.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, SciELO Brasil, v. 17, p. 49–67, 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em ensino de ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.

SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. [S.l.]: Penso Editora, 2009.

SILVA, G. *et al.* Ensino de ciências: práticas explicitadas por professoras participantes de um processo formativo. **Ensino em Perspectivas**, v. 5, n. 1, p. 1–23, 2024.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. [S.l.]: Editora Vozes Limitada, 2014.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. 17. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

ZABALZA, M. Á. **Diários de aula: um instrumento de pesquisa e desenvolvimento profissional**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

6 APÊNDICE A - SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM: OS CONCEITOS DE CALOR E A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO.

Introdução

Por vezes, o ensino de ciências se concentra na apresentação de definições e fórmulas, deixando de lado episódios da história e os debates que levaram ao desenvolvimento das teorias científicas. Essa abordagem pode levar a uma visão distorcida da natureza da ciência, como se ela fosse um conjunto de verdades imutáveis.

Nesta SEA (reformulada), que tem como tema a construção do conceito de calor e o desenvolvimento da termodinâmica, mais do que apresentar fórmulas, convidamos os alunos a uma jornada investigativa sobre como as ideias científicas se transformaram ao longo do tempo.

Ao longo da sequência, os alunos não apenas aprenderão conceitos de termodinâmica, mas também desenvolverão habilidades essenciais para a alfabetização científica, como o pensamento crítico e a capacidade de avaliar informações científicas. Espera-se que, ao final da jornada, os estudantes tenham uma compreensão mais profunda do calor, da termodinâmica e da própria natureza da ciência.

Objetivos Gerais

- Analisar teorias concorrentes (calórico e teoria cinética do calor) que explicam a transferência de energia térmica, identificando os argumentos, as evidências e as formas de pensar associadas a cada uma.
- Avaliar argumentos científicos sobre a transferência de energia térmica, utilizando evidências e raciocínio lógico para justificar conclusões.
- Compreender a natureza da ciência como um processo dinâmico e social de construção do conhecimento, reconhecendo a importância da experimentação, do debate e da avaliação de evidências na evolução das teorias científicas.

Perspectiva Adotada

Nesta sequência, as aulas foram planejadas para promover interações discursivas e a construção colaborativa do conhecimento, nas quais o estudante assume um papel de protagonista na construção do próprio conhecimento.

Para potencializar essas interações e enriquecer a experiência de aprendizagem, integramos o modelo AIR desenvolvido por Barzilai & Chinn (2024), que descreve três componentes interdependentes que caracterizam o pensamento epistêmico: Objetivos e Valores (**A**ims and **V**alues), que chamaremos apenas de Objetivos; Ideais (**I**deals), que denominaremos por Critérios para facilitar a compreensão em português; e Processos Confiáveis (**R**eliable **P**rocesses).

Os **objetivos** dizem respeito à busca pela construção do conhecimento, por exemplo buscar explicações precisas ou teorias consistentes. Já os valores epistêmicos relacionam-se com o impacto que esses objetivos exercem dentro de uma comunidade.

Os **critérios** são os padrões e normas utilizados para determinar o que pode ser considerado conhecimento dentro de um determinado contexto. No caso da ciência, por exemplo, evidências e argumentos desempenham um papel central na validação de ideias.

Processos confiáveis referem-se aos métodos empregados para aplicar esses critérios na construção do conhecimento. Em outras palavras, trata-se do grau de confiança nos processos utilizados dentro de uma comunidade epistêmica, como por exemplo a experimentação controlada, observação sistemática e a revisão por pares.

O uso do modelo nos guia a promover um ambiente no qual o estudante torna-se mais reflexivo e estratégico, assumindo a responsabilidade pelo seu próprio aprendizado, avaliando a confiabilidade das informações, enquanto aprende sobre fatos e também compreende os motivos e os caminhos de como o conhecimento científico foi produzido e validado.

Sendo assim, instigamos que os estudantes busquem resolver as seguintes situações-problema: “Como a nossa compreensão sobre o calor mudou ao longo do tempo? E o que fez essa compreensão mudar?”

As situações-problema orientam para o alcance dos objetivos de aprendizagem a partir da evidenciação dos objetivos epistêmicos. Na continuidade do modelo AIR, os critérios epistêmicos serão estabelecidos e comunicados aos alunos, inicialmente de forma expositiva e, posteriormente, construídos em conjunto, enquanto os processos confiáveis, como experimentação, observação, modelagem e análise de justificações, serão explorados pelos grupos,

promovendo autonomia e engajamento. Destacando que a contextualização da situação está nos debates do período de crise do paradigma calórico e da ascensão da termodinâmica.

A combinação de momentos expositivos e interativos, alinhada ao modelo AIR, visa não apenas explorar conceitos de termodinâmica, mas também proporcionar uma experiência de aprendizagem que enfatiza o papel da avaliação de evidências e das práticas epistêmicas na construção do conhecimento científico.

A SEA “O Calor e a Construção do Conhecimento Científico” foi projetada considerando as dimensões epistemológica e pedagógica propostas por Méheut & Psillos (2004a). A dimensão epistemológica aparece na centralidade da Cognição Epistêmica, na contextualização histórico-filosófica e na ênfase nos processos de construção, avaliação e justificação do conhecimento. A dimensão pedagógica manifesta-se na promoção da aprendizagem ativa e colaborativa, no papel mediador do professor e no uso da problematização e da investigação como estratégias. O modelo AIR permeia toda a SEA, fornecendo uma estrutura conceitual para o desenvolvimento da cognição epistêmica dos alunos e para a análise da evolução histórica do conceito de calor.

Estratégias e Metodologias

A Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) “O Calor e a Construção do Conhecimento Científico”, que aborda a evolução histórica do conceito de calor, foi planejada para promover a Alfabetização Científica. Em vez de apresentar o conhecimento científico como um produto acabado, a proposta busca engajar os alunos em processos de investigação, análise crítica e construção do conhecimento, valorizando práticas científicas e epistêmicas nas quais os estudantes assumem papel protagonista, sendo assim, as aulas contemplam as características a seguir.

A **problematização**, que constitui o ponto de partida da SEA. Para contextualizarmos, fizemos uso da análise de tirinhas e de fenômenos cotidianos, apresentando a pergunta norteadora “Como a nossa compreensão sobre o calor mudou ao longo do tempo? E o que fez essa compreensão mudar?”. Acreditamos que a estratégia desperta a curiosidade e mobiliza conhecimentos prévios.

A **investigação** e a **análise**, que são estimuladas por atividades dedicadas à interpretação de diferentes fontes de informação. A leitura e análise de textos históricos são centrais nesse

processo, desafiando os alunos a identificar objetivos, ideias principais, evidências e critérios utilizados por cientistas do passado. Com isso, desenvolvem-se habilidades de leitura crítica, interpretação de textos e análise de fontes.

A **colaboração** também desempenha papel fundamental. Atividades em grupo, como discussões, análise de textos e elaboração de explicações, fomentam a aprendizagem cooperativa, o desenvolvimento de habilidades sociais e a construção coletiva do conhecimento.

A **contextualização histórica**, que ao explorar a evolução do conceito de calor, torna a aprendizagem mais significativa. Esse enfoque evidencia como o conhecimento científico é construído ao longo do tempo, envolvendo debates, controvérsias e refutações, e humaniza a ciência ao mostrar seu caráter dinâmico e social.

A **cognição epistêmica**, promovida à medida que os estudantes refletem sobre a natureza da ciência e sobre os processos pelos quais o conhecimento científico é construído. A introdução gradual e contextualizada de critérios epistêmicos, como coerência com evidências, consistência interna e capacidade preditiva, auxilia os alunos a compreender como explicações científicas são avaliadas.

Somando-se às características listadas, a SEA ainda articula diferentes metodologias:

- A **exposição dialogada**, utilizada para apresentar informações, introduzir conceitos, contextualizar atividades e promover a interação professor-aluno. Diferencia-se da aula expositiva tradicional por sua interatividade, com perguntas, exemplos, analogias e conexões com o conhecimento prévio.
- A **discussão guiada**, que explora as concepções prévias, promove o debate de ideias, analisa situações-problema e constrói consensos. O professor atua como mediador, incentivando a participação, organizando as ideias, formulando perguntas reflexivas e garantindo a consideração de todos os pontos de vista.
- A **aprendizagem cooperativa**, empregada para promover o trabalho em equipe, a colaboração, a troca de ideias e a construção coletiva do conhecimento. As atividades em grupo são estruturadas para que todos os membros contribuam ativamente.
- A **leitura e análise de textos**, que desenvolve habilidades de leitura crítica, interpretação e análise de fontes.

- A **produção textual**, utilizada para sistematizar o conhecimento, expressar ideias de forma clara e organizada e responder à pergunta norteadora, consolidando a aprendizagem e a reflexão sobre o processo.

6.1 Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que subsidiam a construção da Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) proposta neste produto educacional, buscando oferecer uma base conceitual sintética e articulada que contribua para a compreensão dos principais referenciais utilizados no planejamento e desenvolvimento das atividades. Nesse sentido, são discutidos os elementos centrais do modelo AIR (Aims, Ideals, Reliable Processes) e aspectos da contextualização histórica dos conceitos de calor, com destaque para as interpretações associadas à teoria do calórico e à teoria cinética do calor, de modo a evidenciar como esses referenciais se articulam e são mobilizados de forma integrada na elaboração da SEA.

Para compreender os fundamentos que orientam a elaboração desta proposta, torna-se necessário discutir o modelo AIR (Aims, Ideals, Reliable Processes), proposto por Barzilai & Chinn (2024), que descreve três componentes interdependentes do pensamento epistêmico: objetivos (Aims), critérios (Ideals) e processos confiáveis (Reliable Processes). Esse modelo tem como foco a compreensão de como o conhecimento é construído, avaliado e validado, sendo particularmente relevante para o planejamento de práticas pedagógicas voltadas à construção do conhecimento científico.

No contexto educacional, o modelo AIR permite explicitar não apenas o que se ensina, mas como e com quais propósitos o conhecimento é trabalhado em sala de aula. Dessa forma, contribui para uma abordagem mais reflexiva do ensino, especialmente no que se refere à dimensão epistemológica da aprendizagem.

Os três componentes do modelo podem ser compreendidos da seguinte forma:

- **Objetivos epistêmicos (Aims):** referem-se àquilo que se pretende alcançar em termos de construção do conhecimento. No contexto docente, vão além da simples listagem de conteúdos, envolvendo decisões sobre o tipo de aprendizagem desejada, como, por exemplo, a memorização de informações ou a compreensão de explicações causais.

- **CrITÉRIOS epistêmicos (Ideals):** dizem respeito aos padrões utilizados para avaliar a qualidade do conhecimento produzido. Funcionam como um “filtro” que orienta a validação das ideias, podendo se basear, por exemplo, na autoridade de uma fonte ou na justificativa fundamentada em evidências.
- **Processos confiáveis (Reliable Processes):** correspondem às estratégias e procedimentos utilizados para produzir e avaliar o conhecimento. Envolvem a escolha de práticas consideradas adequadas, como a experimentação, a argumentação e a análise de evidências.

A relação entre esses três componentes é dinâmica e interdependente. Os objetivos orientam a definição dos critérios e a escolha dos processos a serem utilizados; os critérios, por sua vez, permitem avaliar se os objetivos foram alcançados e se o conhecimento produzido é válido; e os processos confiáveis correspondem aos meios pelos quais os objetivos são perseguidos, em consonância com os critérios estabelecidos. Assim, os três elementos se articulam de forma integrada, constituindo um sistema no qual cada componente influencia e é influenciado pelos demais.

Figura 6.1 – Relação entre objetivos, critérios e processos confiáveis no modelo AIR.



Fonte: Adaptado de Barzilai & Chinn (2024, p.91).

Nesse sentido, o modelo AIR pode ser compreendido como uma ferramenta teórico-metodológica que auxilia no planejamento de práticas de ensino, permitindo explicitar os aspectos epistêmicos envolvidos no processo de aprendizagem. Neste trabalho, o modelo orienta a elaboração da Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA), contribuindo para o alinhamento

entre os objetivos propostos, os critérios de validação do conhecimento e os processos mobilizados ao longo das atividades.

Dando continuidade à discussão dos fundamentos que orientam esta proposta, é relevante considerar como diferentes explicações científicas foram elaboradas ao longo do tempo para compreender a natureza do calor. Ao longo do desenvolvimento da ciência, destacam-se, nesse contexto, a teoria do calórico e a teoria cinética do calor, que representam formas distintas de interpretar os fenômenos térmicos.

A teoria do calórico, predominante no século XVIII, compreendia o calor como uma substância material invisível, denominada “calórico”, capaz de se transferir entre os corpos. De acordo com essa perspectiva, o calor fluía do corpo mais quente para o mais frio até que fosse atingido o equilíbrio térmico, oferecendo uma explicação coerente para diversos fenômenos observados na época e alinhada ao pensamento científico vigente (Gomes, 2012).

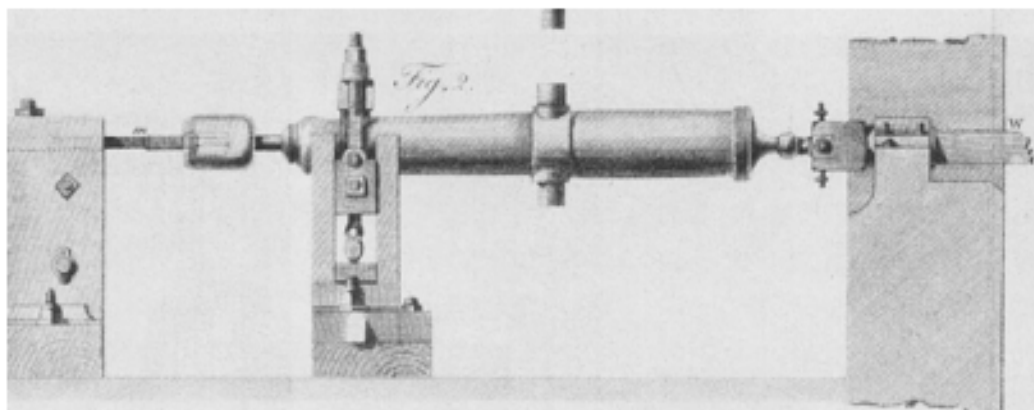
O desenvolvimento dessa teoria esteve diretamente relacionado ao avanço de instrumentos de medida, especialmente o termômetro, que possibilitou a realização de estudos quantitativos sobre fenômenos térmicos (Gomes, 2012). Nesse contexto, destacam-se os trabalhos de Joseph Black, que contribuíram para a diferenciação entre calor e temperatura, além da formulação dos conceitos de calor específico e calor latente. Seus estudos evidenciaram que diferentes materiais apresentam comportamentos distintos quando submetidos a variações de temperatura, ampliando a compreensão dos processos térmicos (Gomes, 2012).

Posteriormente, Antoine Lavoisier consolidou a noção de calórico ao incorporá-la em seu sistema químico, caracterizando-o como um fluido sutil, elástico, indestrutível e de peso desprezível (Gomes, 2012). Essa concepção reforçava a ideia de que o calor era uma substância conservada, contribuindo para a consistência das explicações científicas da época.

Apesar de seu sucesso inicial, a teoria do calórico começou a ser questionada a partir de experimentos que evidenciavam limitações dessa interpretação. Um dos principais nomes nesse processo foi Benjamin Thompson, cujos estudos sobre a produção de calor por atrito colocaram em dúvida a natureza material do calor (Gomes, 2012).

Em seus experimentos, Rumford observou que a perfuração de canhões metálicos gerava calor de forma contínua, mesmo sem evidências de perda de uma substância interna ao material. Em uma de suas investigações mais conhecidas, um cilindro metálico era submetido a atrito constante enquanto imerso em água, resultando no aquecimento progressivo do sistema (Gomes, 2012).

Figura 6.2 – Esquema experimental utilizado por Conde de Rumford em seus estudos sobre a produção de calor por atrito



Fonte:

Imagem disponível em:

<https://opessoa.fflch.usp.br/sites/opessoa.fflch.usp.br/files/HCTex-Rumford.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.

Essas observações sugeriam que o calor poderia ser produzido indefinidamente a partir do movimento, o que era incompatível com a ideia de um fluido material conservado. Tais resultados contribuíram para o enfraquecimento da teoria do calórico e abriram caminho para novas interpretações.

A superação dessa concepção ocorreu gradualmente com a consolidação da termodinâmica e da teoria cinética do calor, na qual o calor deixou de ser entendido como uma substância e passou a ser compreendido como uma forma de energia em trânsito, associada ao movimento das partículas que constituem a matéria. Essa mudança representou uma transformação significativa na forma de interpretar os fenômenos térmicos, permitindo explicar tanto o aquecimento por contato quanto por atrito dentro de um mesmo referencial teórico (Gomes, 2012).

Assim, a transição da teoria do calórico para a teoria cinética do calor evidencia uma mudança nas formas de compreender e explicar o mundo físico. Mais do que a substituição de uma teoria por outra, trata-se de uma reconfiguração das bases conceituais utilizadas para interpretar os fenômenos térmicos.

Nesse sentido, a análise das diferentes explicações para a natureza do calor, como a teoria do calórico e a teoria cinética, pode ser aprofundada quando interpretada à luz do modelo AIR (Objetivos, Critérios e Processos Confiáveis). Essa articulação permite compreender não apenas o que mudou ao longo do desenvolvimento científico, mas também como e por que essas mudanças ocorreram.

No período em que predominavam explicações como a teoria do calórico, os processos considerados confiáveis estavam fortemente associados à observação direta, à experimentação e à argumentação lógica, enquanto a validação do conhecimento se apoiava, em grande medida, na coerência das explicações com os referenciais teóricos disponíveis, sendo a ideia de substância um elemento central para a interpretação dos fenômenos térmicos.

Com o avanço dos instrumentos de medida, como o termômetro, e o desenvolvimento de práticas experimentais mais sistemáticas, houve uma transformação significativa nesses processos. Estudos como os realizados por Joseph Black contribuíram para consolidar novas formas de investigar os fenômenos térmicos, nas quais a quantificação e a reprodutibilidade dos resultados passaram a ocupar um papel central na produção do conhecimento científico.

Essa mudança nos processos esteve diretamente relacionada à reformulação dos critérios epistêmicos. Se anteriormente a validade de uma explicação estava associada à sua coerência com a ideia de substância, progressivamente passaram a ganhar destaque critérios como a mensuração, a consistência experimental e a capacidade explicativa frente a diferentes fenômenos.

Os experimentos de Benjamin Thompson ilustram de forma significativa essa transição, uma vez que evidenciaram limitações da teoria do calórico ao produzirem resultados incompatíveis com os critérios emergentes de validação científica, contribuindo, assim, para sua revisão.

A consolidação da teoria cinética do calor e da termodinâmica pode ser compreendida, nessa perspectiva, como resultado de uma reconfiguração articulada dos três componentes do modelo AIR: os objetivos epistêmicos passam a envolver a busca por explicações mais abrangentes e fundamentadas em relações energéticas; os critérios são reformulados, priorizando a conservação da energia e a coerência com resultados experimentais; e os processos confiáveis passam a incluir, de forma central, a experimentação controlada e a modelagem teórica.

Dessa forma, a transição entre diferentes explicações para o calor não se limita à substituição de conceitos, mas envolve uma reorganização mais ampla das formas de produzir, validar e utilizar o conhecimento científico.

Essa perspectiva é particularmente relevante no contexto educacional, pois permite compreender que as dificuldades dos estudantes podem estar relacionadas não apenas aos conceitos em si, mas também aos critérios e processos que utilizam para interpretá-los. Nesse sentido, o modelo AIR foi mobilizado como um instrumento orientador para a elaboração da Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA), possibilitando selecionar os momentos históricos mais pertinentes e definir como esses elementos seriam explorados em sala de aula, de modo a favorecer

que os estudantes reconheçam não apenas os conceitos científicos, mas também os processos e critérios envolvidos em sua construção.

Estrutura das Aulas

Atividade 1 - Introdução e Concepções Iniciais sobre a Construção do Conhecimento em Termodinâmica

Duração: 100 minutos

Objetivos de Aprendizagem:

Conceituais

- Identificar diferentes interpretações sobre o que é “calor” no cotidiano e na ciência.
- Introduzir a ideia de que existem diferentes formas de explicar fenômenos térmicos.

Procedimentais

- Expressar ideias e opiniões sobre o calor.
- Formular hipóteses sobre o comportamento do calor.
- Começar a utilizar critérios (ainda que intuitivos) para avaliar afirmações sobre o calor.
- Analisar e interpretar situações-problema simples envolvendo calor.

Atitudinais

- Participar de discussões, respeitando as opiniões dos colegas.
- Desenvolver a curiosidade sobre fenômenos térmicos.
- Valorizar a troca de ideias como forma de construir conhecimento.

Conteúdos:

Conceituais

- Concepções prévias sobre calor e temperatura.
- Introdução à ideia de diferentes explicações para um mesmo fenômeno.

Procedimentais

- Discussão e debate de ideias.
- Formulação de hipóteses.
- Análise de situações-problema (tirinhas, mistura de águas).
- Justificação de afirmações com base em evidências e experiências.

Atitudinais

- Participação em discussões.
- Respeito às opiniões divergentes.
- Curiosidade científica.

Recursos Didáticos:

- Lousa e pincel/caneta.
- Apresentação de slides.
- Tirinhas.
- Material impresso com a Tarefa 1 (descrição da situação, perguntas e espaço para respostas).

Avaliação:

Formativa

- Observação da participação dos alunos nas discussões (qualidade das perguntas, respeito às opiniões dos colegas, formulação de hipóteses). O professor fará anotações em um caderno, registrando as principais concepções prévias dos alunos, as dúvidas que surgirem e os argumentos utilizados.
- Análise das respostas dos alunos à Tarefa 1. O professor observará se os alunos conseguem justificar suas escolhas. O foco não é “acertar”, mas sim explicitar o raciocínio. O professor fornecerá feedback oral individual e coletivo, destacando os pontos positivos das respostas e as dúvidas que precisam ser esclarecidas.

Desenvolvimento:

1. Engajamento inicial

- O professor se apresenta.
- Em seguida, projeta algumas tirinhas e lê os diálogos em voz alta, de forma expressiva. Se a tirinha tiver personagens conhecidos, pode-se fazer uma breve referência a eles. É importante que as tirinhas sejam visualmente claras e facilmente compreensíveis. A seguir, alguns exemplos de tirinhas encontradas na internet.



Imagem encontrada em:

<https://artedafisicapibid.blogspot.com/2019/09/tirinhas-para-ensino-de-termometria.html>



Imagem encontrada em:

<https://artedafisicapibid.blogspot.com/2019/11/HQs-na-formacao-de-professores-de-fisica.html>



Imagem encontrada em: <https://brainly.com.br/tarefa/7381081>

- O professor faz perguntas abertas e provocativas, focando no uso do termo “calor” (e “frio”) e nas situações apresentadas:
 - “O que os personagens querem dizer com ‘calor’ (ou ‘frio’) nessa tirinha?”
 - “Vocês concordam com o que os personagens estão dizendo? Por quê?”
 - “Essa tirinha mostra uma situação em que o ‘calor’ é importante? Qual?”
 - “Vocês já viram ou vivenciaram algo parecido com o que acontece na tirinha?”
 - “Será que o personagem da tirinha sabe o que é o calor?”
- Neste momento, o professor não dá respostas prontas nem corrige os alunos. O objetivo é levantar diferentes interpretações e gerar curiosidade.

2. Apresentação da Pergunta Norteadora

- O professor apresenta a pergunta norteadora conectada com a atividade de engajamento: “Vimos que o calor é um tema interessante e que pode gerar muitas perguntas. Ao longo desta sequência de aulas, vamos investigar juntos esta pergunta: “Como a nossa compreensão sobre o calor mudou ao longo do tempo? E o que fez essa compreensão mudar?”. Essa pergunta vai nos guiar em todas as nossas atividades.”

3. Apresentação dos objetivos da SEA

- O professor explica a SEA e os objetivos de forma concisa e relevante para os alunos, conectando-os com a pergunta norteadora. Deve-se usar linguagem acessível. Exemplo: “Nesta sequência de aulas, vamos investigar diferentes ideias sobre o calor. Vamos analisar experimentos, discutir e tentar entender como a ciência chegou ao que sabemos hoje sobre o calor.”

4. *Discussão Inicial*

- O professor promove uma breve discussão com perguntas-chave, focadas nas concepções prévias dos alunos sobre a ciência:
 - Que tipos de coisas (evidências, experimentos, teorias...) os cientistas usam para construir explicações sobre o calor e a temperatura?
 - As ideias científicas sobre o calor sempre foram as mesmas ou mudaram ao longo do tempo?
 - As ideias científicas surgem de uma única pessoa ou são construídas em colaboração? Como?
 - Como os cientistas avaliam as explicações uns dos outros sobre o calor? Que critérios eles usam para decidir se uma explicação é boa?
- O professor registra as respostas dos alunos (na lousa ou em um slide), sem julgar ou corrigir — apenas para ter um ponto de partida.

5. *Tarefa 1: O que acontece na mistura?*

- Os alunos deverão se dividir em grupos (4–5 alunos por grupo) e realizar a Tarefa 1. Nela, serão incentivados a prever respostas para duas situações-problema, utilizando seus conhecimentos.

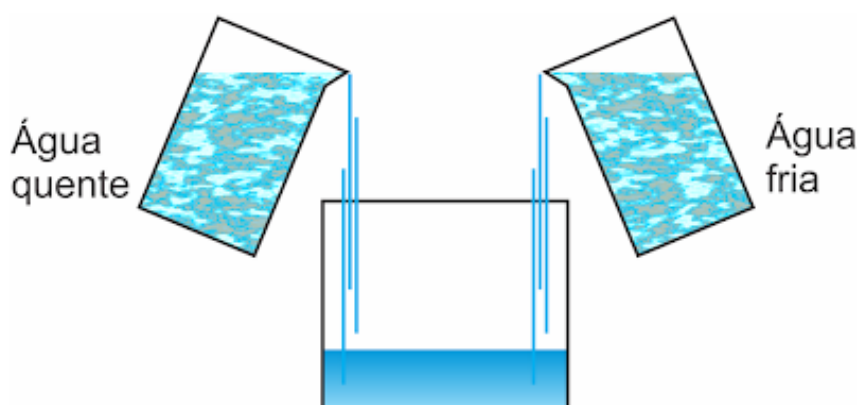
6. *Introdução à Ideia de Critérios*

- O professor faz uma transição suave para a ideia de critérios de avaliação de explicações científicas:
 - “Vimos que existem diferentes ideias sobre o calor, e que vocês usaram diferentes razões para concordar ou discordar das afirmações. Na ciência, também usamos critérios para avaliar se uma explicação é boa ou não. Esses critérios são como ‘réguas’ que nos ajudam a decidir se uma ideia tem mais chances de ser verdadeira.”
- O professor não usa o termo “critérios epistêmicos” nem apresenta o modelo AIR formalmente.
- O professor exemplifica alguns critérios, conectando-os com a discussão anterior:

- “Por exemplo, vocês mencionaram que uma boa explicação precisa se encaixar com o que observamos em experimentos. Isso é um critério muito importante, chamado coerência com as evidências. Outro critério importante é a capacidade de prever o que vai acontecer em outras situações...”.
- O professor não esgota a discussão sobre critérios, apenas introduz a ideia de que eles existem e são importantes.

Tarefa 1 – O que acontece na mistura?

Imagine que você tem dois copos iguais, cheios de água. Um contém água bem quente (mas não fervendo!), e o outro contém água bem fria (mas sem gelo). Você decide misturar a água dos dois copos em um recipiente maior, de acordo com a figura.



Fonte: adaptado de https://fisikanarede.blogspot.com/2014/03/calorimetria-i_9.html

O que vai acontecer com a temperatura da água depois que você misturar a água quente com a água fria? E por que você acha que isso vai acontecer? Considere que não há nenhum tipo de perda de calor para o ambiente e que o novo recipiente está isolado termicamente.

Lembre-se: estamos investigando as diferentes formas de entender o calor... será que todo mundo pensa igual sobre isso?

Previsão

Instrução:

Escrevam, com suas próprias palavras, o que vocês acham que vai acontecer com a temperatura da água depois da mistura. Explique por que vocês acham que isso vai acontecer.

Usem seus conhecimentos, experiências e tudo o que já aprenderam sobre calor, temperatura, água quente, água fria etc.

Vocês podem usar desenhos, se quiserem, para ajudar a explicar sua ideia.

a) Prevemos que a temperatura da mistura vai ficar. . . (marcar com X)

☐ Mais perto da temperatura da água quente.

☐ Mais perto da temperatura da água fria.

☐ Bem no meio das duas temperaturas.

☐ Outra:

b) Achamos que isso vai acontecer porque...

c) Já vimos algo parecido acontecer quando. . .

Depois de misturar a água quente com a água fria e mexer um pouco, a temperatura da mistura ficou morna. Se a água quente estava, por exemplo, a 80 °C, e a água fria a 20 °C, a mistura ficou com aproximadamente 50 °C.

Discussão e explicação

Respondam às perguntas abaixo:

1. O resultado que descrevemos (água morna) é igual ou diferente do que vocês previram?
2. Como vocês explicam o que aconteceu? Tentem usar as palavras “calor”, “frio”, “energia”, “passar”, “misturar”...
3. Se sua previsão estava diferente do resultado, por que vocês acham que isso aconteceu?
O que aprenderam com a experiência?
4. O que vocês acham que aconteceria se a quantidade de água quente fosse muito maior que a quantidade de água fria? Por quê?

Atividade 2 - O Que os Textos Antigos Revelam sobre o Calor?

Duração: 100 minutos

Objetivos de Aprendizagem:*Conceituais*

- Descrever as principais ideias da teoria do calórico (Lavoisier, Black).
- Identificar os argumentos e evidências utilizados pelos defensores do calórico.
- Começar a identificar as limitações da teoria do calórico (Rumford).

Procedimentais

- Analisar textos históricos, identificando objetivos, ideias principais, evidências e critérios.
- Comparar diferentes perspectivas científicas sobre o calor.
- Utilizar critérios como coerência com evidências e consistência interna para avaliar as explicações.

Atitudinais

- Trabalhar em equipe, colaborando na análise dos textos e na construção dos argumentos.
- Desenvolver a capacidade de analisar criticamente diferentes pontos de vista.
- Valorizar a argumentação baseada em evidências.

Conteúdos:*Conceituais*

- Concepções de calor para os gregos antigos.
- Teoria do calórico (Lavoisier, Black).
- Experimentos e observações de Rumford.
- Introdução à ideia de calor como energia (sem aprofundar).

Procedimentais

- Análise de textos históricos (roteiro de análise).
- Comparação de teorias.

Atitudinais

- Colaboração em grupo.
- Análise crítica.

Recursos Didáticos:

- Lousa e pincel/caneta.
- Tarefa 2 impressa.

Avaliação:

Formativa

- Observação da participação dos alunos nos grupos (colaboração, análise dos textos, construção dos argumentos). O professor circulará pelos grupos, fazendo perguntas, esclarecendo dúvidas e oferecendo feedback sobre o uso do roteiro de análise.
- Análise das respostas dos alunos ao roteiro de análise (Tarefa 2). O professor verificará se os alunos conseguem identificar os elementos-chave dos textos (objetivos, ideias principais, evidências, critérios, limitações).

Desenvolvimento:

1. Introdução

- Relembrar a pergunta norteadora: “Quais são as diferentes formas de entender o calor? E como chegamos a esse entendimento?”
- Retomar a aula anterior e contextualizar:
 - “Na aula passada, vimos que vocês já têm muitas ideias sobre o calor e que existem diferentes formas de pensar sobre ele. Hoje, vamos dar um passo importante para responder à nossa pergunta: vamos conhecer ideias de cientistas que, no passado, tiveram debates acalorados — literalmente — sobre a natureza do calor.”
- Apresentação da tarefa:
 - “Vocês, em grupos, analisarão trechos de textos escritos por esses cientistas, identificarão seus argumentos e evidências e depois apresentarão suas conclusões para a turma. Preparem-se para defender suas ideias!”

2. Organização em Grupos e Distribuição dos Textos

- Dividir a turma em grupos (4–5 alunos) e distribuir a Tarefa 2A (trechos + roteiro de análise).

3. Análise dos Textos em Grupo

- Os alunos leem atentamente cada trecho e respondem ao roteiro de análise por escrito.
- O professor circula pelos grupos, escutando as discussões e fazendo perguntas que estimulem a reflexão:
 - “O que esse cientista quer dizer com essa frase?”
 - “Qual é o experimento descrito? Como ele funciona?”
 - “Por que ele acha que esse experimento apoia sua ideia?”
 - “Existe outra explicação possível?”
 - “Vocês concordam com ele? Por quê?”
 - “Quais critérios científicos parecem estar sendo usados aqui?”

4. Elaboração de Texto

- Cada grupo constrói um texto que contenha:
 - Uma parte a favor da teoria do calórico (Black, Lavoisier).
 - Uma parte contra o calórico, a favor da teoria cinética (Rumford, Joule).
- Esse texto servirá de base para apresentação na aula seguinte.
- Cada texto deve destacar:
 - ideias principais de cada cientista;
 - evidências utilizadas;
 - pontos fortes e fracos das teorias;
 - relação com critérios científicos (coerência, simplicidade, evidências etc.).

5. Apresentação e Discussão

- Cada grupo apresenta seu texto.

- O professor conduz a discussão comparando teorias, evidências e processos epistêmicos, guiado por perguntas como:
 - “Os cientistas estavam tentando responder à mesma pergunta?”
 - “Que pressupostos sustentavam cada teoria?”
 - “Que processos epistêmicos foram utilizados?”
 - “Como a comunidade científica reagiu a essas ideias?”
 - “O que essa discussão revela sobre a natureza da ciência?”
 - O professor registra um quadro comparativo (calórico × energia cinética).

Atividade 2 - O Que os Textos Antigos Revelam sobre o Calor?

Instruções

Leiam cuidadosamente os trechos e respondam ao roteiro de análise. Suas respostas serão a base para o texto final do grupo.

Roteiro de Análise (para cada trecho)

1. Objetivo: O que o cientista queria explicar ou defender?
2. Ideia principal: Como ele concebia o calor?
3. Evidências: Quais experimentos, observações ou raciocínios são apresentados?
4. Critérios: Que critérios parecem orientar sua explicação?
5. Limitações: Quais fragilidades ou problemas aparecem no trecho?

i. Trechos de Textos Históricos

Trecho 1 (Heráclito): "Heráclito de Éfeso, um filósofo que viveu há muito tempo, acreditava que o fogo era o elemento primordial de todas as coisas. Ele dizia: 'Este mundo, que é o mesmo para todos, nenhum dos deuses ou dos homens o fez; mas ele sempre foi, é e será um fogo eternamente vivo, acendendo-se em medidas e extinguindo-se em medidas.' Para Heráclito, o fogo (e o calor) não era algo que se transfere, mas sim a essência de tudo."

Trecho 2 (Joseph Black): "O cientista Joseph Black fez experimentos importantes. Ele percebeu que, se você misturar água quente e água fria, a temperatura final depende da quantidade de água que você usa! Mas ele foi além: misturou também outras substâncias, como mercúrio, com água. Ele escreveu: 'Medir a temperatura com um termômetro não é o mesmo que medir a quantidade de calor. Dois objetos podem ter a mesma temperatura, mas quantidades muito diferentes de calor. Precisamos diferenciar essas duas coisas!'. "

Trecho 3 (Antoine Lavoisier): "Antoine Lavoisier propôs uma teoria que explicava o calor como um fluido invisível chamado 'calórico'. Ele escreveu: 'Imagino que o calórico se espalha por todo o universo e pode entrar e sair dos corpos. Quando um corpo ganha calórico, sua temperatura aumenta. Quando perde, sua temperatura diminui. O calórico sempre flui do corpo mais quente para o mais frio, buscando o equilíbrio'. Ele usou essa ideia para explicar, por exemplo, por que os objetos se dilatam quando aquecidos: eles se expandem para 'abrir espaço' para o calórico que entra."

Trecho 4 (Conde Rumford): "Benjamin Thompson, o Conde Rumford, observou algo intrigante ao supervisionar a fabricação de canhões. Ele notou que, ao perfurar o metal, um calor intenso era gerado, e esse calor parecia não ter fim. Ele escreveu: 'Quanto mais eu perfurava, mais quente ficava! De onde vem todo esse calor? Se fosse um fluido dentro do metal, esse fluido não deveria acabar?'"

Trecho 5 (James Prescott Joule): "James Prescott Joule fez experimentos muito precisos para descobrir a relação entre movimento e calor. Ele usou um peso que, ao cair, girava pás dentro de um recipiente com água. Ele escreveu: 'Descobri que, para cada quantidade de trabalho que o peso fazia, uma quantidade exatamente igual de calor aparecia na água'. Isso provou que o calor era uma forma de energia, e não um fluido."

ii. Preparação do Texto

1. Com base nas respostas, redijam um texto contendo:
2. Introdução do debate calor $\times$ energia.
3. Argumento a favor do calórico.
4. Argumento contra o calórico.

5. Comparação e avaliação das teorias.
 6. Conclusão, com justificativa da posição adotada.
-

Atividade 3 - Debate, Contexto Histórico e Sistematização

Duração: 100 minutos

Objetivos de Aprendizagem:

Conceituais

- Descrever a teoria cinética do calor (Joule).
- Explicar como a teoria cinética do calor supera as limitações da teoria do calórico.
- Definir os conceitos de energia interna, calor, trabalho e temperatura no contexto da termodinâmica.

Procedimentais

- Apresentar e defender argumentos.
- Contra-argumentar utilizando critérios científicos.
- Analisar o contexto histórico do desenvolvimento da termodinâmica.
- Relacionar os conceitos da termodinâmica com situações do cotidiano e com os experimentos discutidos.

Atitudinais

- Participar de debates de forma respeitosa e construtiva.
- Reconhecer a natureza provisória e dinâmica do conhecimento científico.
- Valorizar o papel da experimentação na ciência.

Conteúdos:

Conceituais

- Teoria cinética do calor (Joule).
- Contexto histórico da termodinâmica (transição do calórico para a termodinâmica).
- Conceitos de termodinâmica: energia interna, calor, trabalho, temperatura.

Procedimentais

- Análise do contexto histórico.
- Sistematização dos conceitos.
- Resposta à pergunta norteadora.

Atitudinais

- Participação em debates.
- Compreensão da natureza da ciência.
- Valorização da experimentação e da argumentação.

Recursos Didáticos:

- Lousa e pincel/caneta.
- Apresentação de slides.
- Texto “Mudanças na compreensão do conceito de calor” (impresso).
- Slides opcionais com imagens dos cientistas e experimentos.

Avaliação:

Formativa

- Análise das respostas dos alunos durante a exposição dialogada sobre o contexto histórico e a sistematização dos conceitos.

Somativa (final)

- Análise do texto produzido pelos alunos em resposta à pergunta norteadora. O professor avaliará a compreensão das diferentes formas de entender o calor, a evolução do conceito ao longo do tempo, a importância dos experimentos e o uso adequado da linguagem científica.

Desenvolvimento:

1. Retomada da Tarefa 2 e Apresentação

- O professor retoma a discussão sobre a construção do conhecimento científico, relembrando a tarefa anterior. Cada grupo apresenta as respostas construídas a partir dos comandos fornecidos ao final da aula anterior.

2. Debate Estruturado

- O professor conduz um debate estruturado sobre as escolhas dos grupos, incentivando a argumentação e a contra-argumentação.
- Perguntas norteadoras:
 - “Quais as principais diferenças entre as explicações do calor segundo os defensores do calórico e os defensores da termodinâmica?”
 - “Que tipo de evidência cada grupo usava para apoiar suas ideias? Qual parece mais convincente? Por quê?”
 - “Quais os pontos fracos de cada teoria, com base nos textos analisados?”
 - “Como essa discussão nos ajuda a entender como o conhecimento científico sobre o calor foi construído?”
 - “Será que os critérios usados por esses cientistas são os mesmos que usamos hoje?”
- O professor registra os principais pontos da discussão, podendo construir um quadro comparativo.

3. Conexão com o Modelo AIR

- O professor destaca como os objetivos, critérios e processos utilizados pelos cientistas se relacionam com o modelo AIR e com a cognição epistêmica discutida nos encontros anteriores.

4. Contexto Histórico

- O professor apresenta o contexto histórico da termodinâmica com base no texto de apoio, destacando mudanças de paradigma e a evolução do conceito de calor.

- Os alunos leem o texto e comentam os pontos que relacionam o conteúdo com as atividades anteriores.

5. Sistematização dos Conceitos da Termodinâmica

- O professor apresenta os conceitos de energia interna, calor, trabalho e temperatura, mostrando como a teoria cinética explica os fenômenos de maneira mais ampla e consistente do que a teoria do calórico.
- O foco não é apenas refutar o calórico, mas apresentar a termodinâmica de forma construtiva e positiva.

6. Discussão Final e Resposta à Pergunta Norteadora

- Professor e alunos constroem juntos uma resposta fundamentada à pergunta norteadora da SEA, articulando:
 - evidências discutidas;
 - mudanças históricas;
 - critérios científicos;
 - conceitos da termodinâmica.

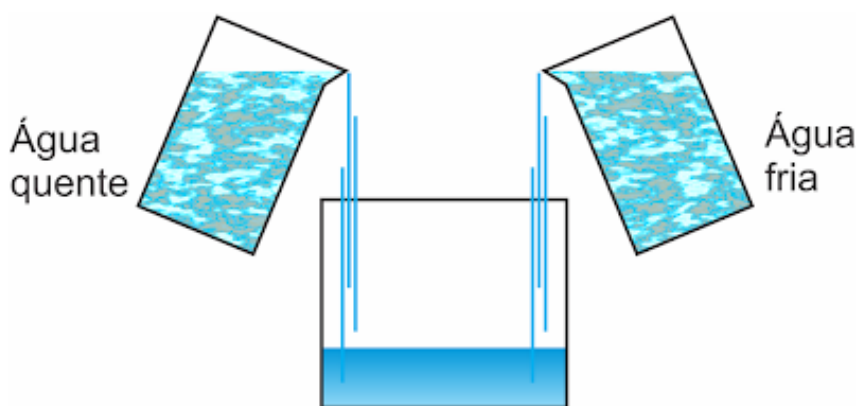
Avaliação Geral

A avaliação geral da SEA será contínua e formativa, considerando a participação dos alunos em todas as atividades, a mobilização dos critérios epistêmicos trabalhados ao longo da sequência e a compreensão progressiva dos conceitos fundamentais da termodinâmica. Serão observados, a qualidade das justificativas, o uso de evidências nas explicações, a capacidade de análise crítica e o desenvolvimento das respostas à pergunta norteadora.

7 APÊNDICE B - MATERIAL DO ESTUDANTE

Tarefa 1 – O que acontece na mistura?

Imagine que você tem dois copos iguais, cheios de água. Um contém água bem quente (mas não fervendo!), e o outro contém água bem fria (mas sem gelo). Você decide misturar a água dos dois copos em um recipiente maior, de acordo com a figura.



Fonte: adaptado de https://fisikanarede.blogspot.com/2014/03/calorimetria-i_9.html

O que vai acontecer com a temperatura da água depois que você misturar a água quente com a água fria? E por que você acha que isso vai acontecer? Considere que não há nenhum tipo de perda de calor para o ambiente e que o novo recipiente está isolado termicamente.

Lembre-se: estamos investigando as diferentes formas de entender o calor... será que todo mundo pensa igual sobre isso?

Previsão

Instrução:

Escrevam, com suas próprias palavras, o que vocês acham que vai acontecer com a temperatura da água depois da mistura. Explique por que vocês acham que isso vai acontecer. Usem seus conhecimentos, experiências e tudo o que já aprenderam sobre calor, temperatura, água quente, água fria etc.

Vocês podem usar desenhos, se quiserem, para ajudar a explicar sua ideia.

a) Prevemos que a temperatura da mistura vai ficar... (marcar com X)

☐ Mais perto da temperatura da água quente.

☐ Mais perto da temperatura da água fria.

☐ Bem no meio das duas temperaturas.

☐ Outra:

b) Achamos que isso vai acontecer porque...

c) Já vimos algo parecido acontecer quando...

Depois de misturar a água quente com a água fria e mexer um pouco, a temperatura da mistura ficou morna. Se a água quente estava, por exemplo, a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, e a água fria a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a mistura ficou com aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Discussão e explicação

Respondam às perguntas abaixo:

1. O resultado que descrevemos (água morna) é igual ou diferente do que vocês previram?
2. Como vocês explicam o que aconteceu? Tentem usar as palavras “calor”, “frio”, “energia”, “passar”, “misturar”...
3. Se sua previsão estava diferente do resultado, por que vocês acham que isso aconteceu?
O que aprenderam com a experiência?
4. O que vocês acham que aconteceria se a quantidade de água quente fosse muito maior que a quantidade de água fria? Por quê?

Tarefa 2 - Investigando as Pistas (Análise dos Textos)

Membros do grupo:

Instruções

Leiam cuidadosamente os trechos e respondam ao roteiro de análise. Suas respostas serão a base para o texto final do grupo.

Roteiro de Análise (para cada trecho)

1. Objetivo: O que o cientista queria explicar ou defender?
2. Ideia principal: Como ele concebia o calor?
3. Evidências: Quais experimentos, observações ou raciocínios são apresentados?
4. Critérios: Que critérios parecem orientar sua explicação?
5. Limitações: Quais fragilidades ou problemas aparecem no trecho?

i. Trechos de Textos Históricos

Trecho 1 (Heráclito): "Heráclito de Éfeso, um filósofo que viveu há muito tempo, acreditava que o fogo era o elemento primordial de todas as coisas. Ele dizia: 'Este mundo, que é o mesmo para todos, nenhum dos deuses ou dos homens o fez; mas ele sempre foi, é e será um fogo eternamente vivo, acendendo-se em medidas e extinguindo-se em medidas.' Para Heráclito, o fogo (e o calor) não era algo que se transfere, mas sim a essência de tudo."

Trecho 2 (Joseph Black): "O cientista Joseph Black fez experimentos importantes. Ele percebeu que, se você misturar água quente e água fria, a temperatura final depende da quantidade de água que você usa! Mas ele foi além: misturou também outras substâncias, como

mercúrio, com água. Ele escreveu: 'Medir a temperatura com um termômetro não é o mesmo que medir a quantidade de calor. Dois objetos podem ter a mesma temperatura, mas quantidades muito diferentes de calor. Precisamos diferenciar essas duas coisas!'. "

Trecho 3 (Antoine Lavoisier): "Antoine Lavoisier propôs uma teoria que explicava o calor como um fluido invisível chamado 'calórico'. Ele escreveu: 'Imagino que o calórico se espalha por todo o universo e pode entrar e sair dos corpos. Quando um corpo ganha calórico, sua temperatura aumenta. Quando perde, sua temperatura diminui. O calórico sempre flui do corpo mais quente para o mais frio, buscando o equilíbrio'. Ele usou essa ideia para explicar, por exemplo, por que os objetos se dilatam quando aquecidos: eles se expandem para 'abrir espaço' para o calórico que entra."

Trecho 4 (Conde Rumford): "Benjamin Thompson, o Conde Rumford, observou algo intrigante ao supervisionar a fabricação de canhões. Ele notou que, ao perfurar o metal, um calor intenso era gerado, e esse calor parecia não ter fim. Ele escreveu: 'Quanto mais eu perfurava, mais quente ficava! De onde vem todo esse calor? Se fosse um fluido dentro do metal, esse fluido não deveria acabar?'"

Trecho 5 (James Prescott Joule): "James Prescott Joule fez experimentos muito precisos para descobrir a relação entre movimento e calor. Ele usou um peso que, ao cair, girava pás dentro de um recipiente com água. Ele escreveu: 'Descobri que, para cada quantidade de trabalho que o peso fazia, uma quantidade exatamente igual de calor aparecia na água'. Isso provou que o calor era uma forma de energia, e não um fluido."

ii. Preparação do Texto

1. Com base nas respostas, redijam um texto contendo:
2. Introdução do debate calor × energia.
3. Argumento a favor do calórico.
4. Argumento contra o calórico.
5. Comparação e avaliação das teorias.
6. Conclusão, com justificativa da posição adotada.

Texto de apoio: A Evolução do Conceito de Calor — Uma Revolução Científica

O conceito de calor que temos hoje é fruto de uma longa jornada de investigação científica e debate. Durante séculos, a teoria dominante foi a do calórico, que considerava o calor como um fluido sutil e imponderável que se transferia entre os corpos. No entanto, no século XIX, essa teoria foi desafiada e finalmente suplantada pela teoria cinética do calor, que entende o calor como uma forma de energia associada ao movimento aleatório das partículas (átomos e moléculas) que constituem a matéria. Antes do calórico, porém, um passo fundamental precisava ser dado: a distinção entre calor e temperatura.

No século XVIII, antes da consolidação da teoria do calórico, a compreensão do calor era ainda incipiente. Muitos cientistas confundiam calor e temperatura, acreditando que corpos na mesma temperatura continham a mesma quantidade de calor. Foi Joseph Black, médico e químico escocês, que se baseou em experimentos com misturas de diferentes substâncias a diferentes temperaturas. Ele observou, por exemplo, que ao misturar quantidades iguais de água em diferentes temperaturas, a temperatura final da mistura era a média aritmética das temperaturas iniciais. Contudo, ao misturar água e mercúrio, o resultado era diferente: a temperatura final não correspondia à média aritmética. Isso indicava que quantidades iguais de substâncias distintas, à mesma temperatura, não continham a mesma quantidade de calor.

Black introduziu os conceitos de calor específico e calor latente. O calor específico é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância em um grau Celsius (ou Kelvin). Ele percebeu que diferentes substâncias exigem quantidades distintas de calor para sofrer a mesma variação térmica. O calor latente, por sua vez, corresponde à quantidade de calor envolvida em uma mudança de estado físico (como a fusão do gelo ou a ebulição da água), sem alteração da temperatura. Black observou que, durante a mudança de estado, o calor fornecido (ou retirado) não alterava a temperatura da substância, mas quebrava ou formava ligações entre as partículas.

Essas descobertas foram fundamentais porque:

1. estabeleceram a distinção entre calor (uma forma de energia) e temperatura (uma medida da agitação térmica média das partículas);
2. abriram caminho para a quantificação do calor, mostrando ser possível medir a quantidade de calor envolvida em processos térmicos.

3. embora Black não tenha proposto a teoria do calórico, seus trabalhos forneceram a base experimental e conceitual posteriormente utilizada por Lavoisier e outros.

Lavoisier, conhecido por seu trabalho na nomenclatura química e pela formulação da lei da conservação da massa, imaginou o calor como um fluido invisível e imponderável (sem peso) chamado “calórico”. Segundo ele, esse fluido permeava todos os corpos e fluía de corpos mais quentes (com mais calórico) para corpos mais frios (com menos calórico), buscando sempre o equilíbrio. Essa teoria explicava diversos fenômenos térmicos. A dilatação dos corpos era associada ao aumento da quantidade de calórico, que ocuparia mais espaço. A mudança de estado físico ocorria porque o calórico, ao se combinar com a matéria, enfraquecia as forças entre as partículas. A condução do calor era vista como o fluxo direto do calórico entre corpos. A convecção era interpretada como o transporte de calórico pelo movimento de fluidos. O calórico era considerado uma substância que se conservava.

Apesar de seu sucesso inicial, a teoria do calórico começou a enfrentar dificuldades. O experimento crucial que abalou a teoria foi realizado por Benjamin Thompson, o Conde Rumford. Ele observou que a perfuração de canhões gerava uma quantidade enorme e aparentemente inesgotável de calor. Rumford questionava: “De onde vem todo esse calor? Se o calor fosse um fluido contido no metal, ele não deveria se esgotar?”. Esse experimento contradizia a ideia de conservação do calórico.

Além do experimento de Rumford, outras dificuldades surgiram. A teoria do calórico não explicava satisfatoriamente a propagação do calor no vácuo e não estabelecia uma relação adequada entre calor e trabalho mecânico. Essas inconsistências levaram a uma crise do paradigma do calórico.

A mudança do paradigma do calórico para a teoria cinética do calor se encaixa na descrição de Thomas Kuhn sobre as revoluções científicas. A consolidação do conceito de energia e a descoberta do equivalente mecânico do calor foram fundamentais. Julius Robert Mayer e James Prescott Joule demonstraram essa equivalência. Joule utilizou um peso que, ao cair, girava pás dentro de um recipiente com água. O movimento das pás aumentava a temperatura da água. Ele mediu a quantidade de trabalho realizado e o aumento da temperatura, estabelecendo uma relação quantitativa. Demonstrou que uma determinada quantidade de trabalho mecânico sempre produzia a mesma quantidade de calor, evidenciando que o calor não era um fluido, mas uma forma de energia.

A história do conceito de calor é um exemplo claro de como a ciência se transforma. A ruptura com o paradigma do calórico e a adoção da teoria cinética do calor demonstram a capacidade da ciência de se autocorrigir por meio da formulação de hipóteses, da realização de experimentos controlados e da análise crítica dos resultados. Desde os primeiros passos de Joseph Black, distinguindo calor e temperatura, até os experimentos quantitativos de Joule, a busca pela compreensão da natureza do calor impulsionou o desenvolvimento da ciência.