

UFRRJ
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS
E MATEMÁTICA

DISSERTAÇÃO

**HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E NATUREZA DA CIÊNCIA:
UMA PROPOSTA DE INSERÇÃO DA TEMÁTICA NO ENSINO MÉDIO
UTILIZANDO AS LEIS DA TERMODINÂMICA**

Nei Rogerio Rezende

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS
E MATEMÁTICA**

**HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E NATUREZA DA CIÊNCIA:
UMA PROPOSTA DE INSERÇÃO DA TEMÁTICA NO ENSINO MÉDIO
UTILIZANDO AS LEIS DA TERMODINÂMICA**

NEI ROGERIO REZENDE

Sob a orientação do Professor
Claudio Maia Porto

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Educação em Ciências e Matemática**, no Curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Área de Concentração em Ciência da Educação.

Seropédica, RJ
Junho de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R467h Rezende, Nei Rogerio, 1972-
História e Filosofia da Ciência e Natureza da
Ciência: uma proposta de inserção da temática no
ensino médio utilizando as leis da Termodinâmica / Nei
Rogerio Rezende. - Paracambi, 2021.
153 f.

Orientador: Claudio Maia Porto.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, PPGEDUCIMAT, 2021.

1. História e Filosofia da Ciência. 2. Natureza da
Ciência. 3. Livro didático. 4. Máquinas térmicas. 5.
Termodinâmica. I. Porto, Claudio Maia, 1968-, orient.
II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
PPGEDUCIMAT III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA**

NEI ROGERIO REZENDE

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Área de Concentração em Ensino e Aprendizagem de Ciências e Matemática.

Dissertação aprovada em 08/06/2021

Claudio Maia Porto. Dr. UFRRJ

Sergio Eduardo Silva Duarte. Dr. CEFET/RJ

Marcelo Azevedo Neves. Dr. UFRRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Claudio Maia Porto, pelos conhecimentos, lucidez e tranquilidade transmitidos durante todo o trabalho.

A minha esposa, Érica, meu porto seguro, por todo apoio que permitiu que, mesmo em momentos de dificuldades, o desânimo não prevalecesse.

Aos meus colegas professores, pela boa vontade ao se voluntariarem a participar da pesquisa.

Aos queridos professores do PPGEduCIMAT, que muito contribuíram com este trabalho, ao compartilhar conhecimentos que se tornaram caminhos para minha pesquisa.

Aos meus colegas de turma, amigos especiais, com quem compartilhei minhas dificuldades e de quem sempre obtive apoio e palavras de incentivo.

Aos professores Sergio Eduardo Silva Duarte e Marcelo Azevedo Neves.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil – (CAPES) – Código de financiamento 001. “This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)- Finance Code 001”

RESUMO

REZENDE, Nei Rogério. **História e Filosofia da Ciência e Natureza da Ciência: uma proposta de inserção da temática no ensino médio utilizando as leis da Termodinâmica.** 2021. 153p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Neste trabalho, buscamos construir uma proposta de utilização da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino, para o nível médio, objetivando contribuir para a construção nos estudantes de uma concepção a respeito da natureza da Ciência e de suas relações com os demais elementos da dinâmica social, compreendendo-a como uma construção humana e fortemente influenciada pelos fatores socioculturais de cada época. Para tanto, buscamos traçar um panorama da percepção de professores de Física da educação básica sobre o tema, bem como analisar qual visão sobre a Ciência tem sido transmitida pelos livros didáticos desta disciplina, através da análise de conteúdos históricos presentes nos mesmos. Observamos que há uma percepção positiva dos professores em relação a essa abordagem histórica, mas que a maioria dos livros didáticos analisados não trazem o conteúdo histórico de forma plenamente satisfatória. Assim sendo, elaboramos um material de apoio ao professor, na forma de um livro paradidático, para utilização no ensino médio, abordando a história das máquinas térmicas e o desenvolvimento das leis da Termodinâmica, capaz de se configurar como instrumento útil para a inserção, em sala de aula, de discussões sobre como ocorre o desenvolvimento científico, não incluindo apenas episódios de sucesso, mas também os erros e as controvérsias.

Palavras chave: História e Filosofia da Ciência, natureza da Ciência, livro didático, máquinas térmicas, Termodinâmica.

ABSTRACT

REZENDE, Nei Rogério. **History and Philosophy of Science and Nature of Science: a proposal to insert the theme in high school using the laws of Thermodynamics**. 2021. 153p. Dissertation (Master Education in Science and Mathematics) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

In this work, we seek to build a proposal for the use of History and Philosophy of Science (HFC) in teaching, for the middle level, aiming to contributing to the construction in students of a conception about the nature of Science and its relations with the other elements of the social dynamics, understanding it as a human construction and strongly influenced by the socio-cultural factors of each era. Therefore, we seek to draw a panorama of the perception of basic education physics teachers on the subject, as well as to analyze which view on Science has been transmitted by the textbooks of this discipline, through the analysis of historical contents present in them. We have observed that there is a positive perception of teachers in relation to this historical approach, but that most textbooks analyzed do not bring historical content in a fully satisfactory way. Therefore, we developed a support material for the teacher, in the form of a paradidactic book, for use in high school, addressing the history of thermal machines and the development of the laws of Thermodynamics, capable of being configured as a useful instrument for insertion, in classroom, discussions about how scientific development occurs, not only including episodes of success, but also errors and controversies.

Keywords: History and Philosophy of Science, nature of Science, textbook, thermal machines, Thermodynamics.

ÍNDICE DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 - Consolidação dos dados levantados nas coleções didáticas.....	58
---	----

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

HFC – História e Filosofia da Ciência.

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático.

BNCC – Base Nacional Comum Curricular.

SEEDUC-RJ – Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro.

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais.

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade.

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas.

PNLEM - Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio.

MEC – Ministério da Educação.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

SEB - Secretaria de Educação Básica do Ministério da Educação.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
2 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO	3
2.1 Recomendações para o Uso da História e Filosofia da Ciência no Ensino.....	3
2.2 Múltiplas Visões sobre o Desenvolvimento Científico.....	8
2.3 A Natureza da Ciência no Ambiente Escolar: Concepções e Desafios.....	11
2.4 História e Filosofia da Ciência e Formação de Professores.....	17
2.5 O Livro Didático no Contexto Escolar e o PNLD.....	21
2.6 História e Filosofia da Ciência e Natureza da Ciência nos Livros Didáticos de Física.....	23
2.7 Critérios de Análise de Conteúdo Histórico em Livros Didáticos de Física.....	25
3 METODOLOGIA	28
3.1 Descrição da Pesquisa.....	28
3.2 O Produto Educacional.....	29
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
4.1 Diagnóstico da Percepção dos Professores sobre o Tema.....	30
4.2 Escolha do Tema do Produto Educacional.....	33
4.3 Avaliação do Conteúdo Histórico nos Livros Didáticos.....	34
4.3.1 Elaboração do instrumento de avaliação do conteúdo histórico nos livros didáticos..	34
4.3.2 Levantamento dos dados nos livros didáticos.....	37
4.3.3 Análise dos dados levantados nos livros didáticos.....	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICES	67

1 INTRODUÇÃO

Vamos iniciar com um questionamento de Moreira (2012) sobre o que devemos esperar do ensino de ciências: alunos bem treinados, aptos a responderem corretamente muitas questões ou alunos educados cientificamente?

A sala de aula da educação básica pode nos levar aos dois objetivos apresentados. Os alunos podem ser treinados a decorar nomes e resolver problemas, memorizando equações e repetindo-as, até que as soluções se tornem quase automáticas, ou pode-se buscar que o conteúdo científico seja ministrado com a preocupação de se ensinar também sobre a Ciência. Esta segunda opção deve contribuir para a construção de uma visão mais humana da atividade científica, mais próxima da realidade, a partir do momento em que percebemos, no cotidiano da sala de aula, que grande parte dos estudantes enxerga a Ciência como algo muito distante de seu mundo, construído em algum local inalcançável para um jovem de subúrbio.

Concordando com McComas, Clough e Almazroa (1998), a Ciência está sutilmente presente em quase todos os aspectos da vida moderna, e, apesar disso, apenas uma minoria das pessoas tem uma noção próxima da verdade de como ela opera. Portanto, educar cientificamente é essencial na formação de uma cultura cidadã (PRAIA, GIL-PÉREZ E VILCHES, 2007), ainda que existam críticos a este posicionamento que alegam se tratar de um mito inalcançável. Aprender sobre a Ciência pode contribuir para que o indivíduo se posicione criticamente frente a questões que se mostram presentes na sociedade, e por vezes polêmicas, como por exemplo, aquecimento global, uso de defensivos agrícolas, alimentos transgênicos, entre outros que podemos citar.

Esta formação, porém, nos exige algo mais do que focalizar apenas os conceitos científicos, nesse caso, integrar conceitos e processos de construção, aproximando o aluno da atividade que proporciona a evolução do conhecimento.

Temos, no entanto, a consciência de que, optando por uma formação que leve em conta mais do que apenas conceitos prontos e acabados, nos obrigamos a transmitir uma visão sobre o que é a Ciência, sua dinâmica, enfim, sua natureza. Não é algo simples, sobretudo porque existem múltiplas opiniões sobre o tema. Moura (2014) se arrisca a definir a natureza da Ciência como “um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico” (MOURA, 2014, p.32). Este conjunto compreende fatores internos da Ciência, como métodos e experimentos, e externos, como a influência sociocultural, econômica e religiosa. Para McComas, Clough e Almazroa (1998), a natureza da Ciência integra aspectos históricos, filosóficos e sociológicos, num conjunto de elementos capaz de mostrar como a Ciência funciona, como os cientistas trabalham e as relações da sociedade com a mesma.

Estamos diante de um corpo de conhecimento complexo. Apenas mencionando o aspecto filosófico, versões sobre a construção do conhecimento científico têm sido publicadas ao longo dos anos por diversos filósofos, numa tentativa de explicar como o homem instrumentaliza sua eterna vontade de entender os fenômenos naturais e ser capaz de prevêê-los. Neste trabalho, vamos descrever, muito sucintamente, algumas destas posições, para que o leitor tenha uma noção do que pode ser a empreitada de compreender o desenvolvimento científico e transmitir em sala de aula uma visão sobre o mesmo.

Pensando no ensino, além de existirem orientações a este respeito nos documentos curriculares oficiais, muitos autores têm defendido a inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) na educação básica. Tais defensores enumeram vários benefícios que esta pode trazer à sala de aula. A partir desta linha de pensamento, estruturamos nosso trabalho, que tem como objetivo analisar a possibilidade da utilização da HFC com a finalidade de levar até a sala de aula elementos sobre a natureza da Ciência. Para tal, concentraremos nossos esforços em aspectos que consideramos de extrema importância: o papel do professor e o conteúdo histórico apresentado nos livros didáticos. Neste último ponto, concentramos os estudos nos livros

didáticos de Física. Propomo-nos a trabalhar nestas questões e elaborar um material de apoio ao professor que possa contribuir de forma positiva neste sentido.

Para definir o que deve ser transmitido em sala de aula, buscamos construir uma concepção sobre a natureza da Ciência, reunindo aspectos consensuais entre as múltiplas visões sobre a mesma, relacionando claramente, não apenas ideias a serem seguidas, mas também aquelas a serem evitadas.

Partindo do pressuposto de que o professor está na ponta da linha de quaisquer ações educacionais, parte do trabalho será dedicada a tecer um panorama da atuação do mesmo na implementação da HFC no ensino médio. A partir da análise das respostas a questionamentos feitos a docentes atuantes no ensino de Física, pretendemos enxergar a realidade de como esta temática se apresenta na sala de aula. Julgamos pertinente, também, analisar como os conteúdos de HFC estão presentes na formação dos professores, a partir de trabalhos que abordam o status deste tema nos cursos de licenciatura.

Sobre o livro didático, entendemos que ele sempre ocupou uma posição de destaque no processo ensino-aprendizagem, posição esta reforçada após o estabelecimento do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), que o tornou acessível a praticamente todo o público estudantil, com um grande incremento em termos de sua presença nas escolas. Procuramos identificar que tipo de visão sobre a natureza da Ciência este importante elemento vem transmitindo, implícita ou explicitamente, através da análise de conteúdos históricos presentes nos mesmos. A delimitação dos tópicos analisados está relacionada com o produto educacional produzido. Dentre as muitas possibilidades de episódios históricos que permitem trazer elementos sobre a natureza da Ciência para a sala de aula, optamos pelo tema “invenção das máquinas térmicas e o desenvolvimento das leis da Termodinâmica” e, por conta desta opção, foi realizada a análise dos capítulos referentes aos temas temperatura, calor e Termodinâmica nas doze coleções do componente curricular Física, presentes no PNLD para o triênio 2018, 2019 e 2020. Durante o texto, argumentaremos sobre os motivos que motivaram esta escolha.

Por fim, reconhecemos a complexidade da inserção na educação básica das temáticas HFC e natureza da Ciência, mas também reconhecemos e defendemos sua importância. Muitos outros obstáculos e desafios, além dos que aqui serão explorados, estão presentes no cotidiano da sala de aula quando se entrega a esta missão. Porém, cientes de nossas limitações, não poderíamos dar conta de todas as variáveis que podem surgir, e desta forma, confiamos que os pontos aqui abordados possuem a relevância necessária para justificar nossa empreitada.

2 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO

Nesta seção, vamos abordar as recomendações feitas por vários autores para uso da HFC no ensino, destacando seus possíveis benefícios. Em seguida, descreveremos sucintamente algumas visões sobre o desenvolvimento científico e passaremos a tratar da inserção de aspectos da natureza da Ciência em sala de aula, ressaltando as possibilidades de uso de conteúdos de HFC como recurso para tal. Daremos ênfase a dois elementos que influenciam neste objetivo: a formação do professor e o livro didático.

2.1 Recomendações para o Uso da História e Filosofia da Ciência no Ensino

A utilização da HFC na educação científica, nos vários níveis de escolaridade, tem sido defendida por diversos autores (MATTEWS, 1989 e 1995; MARTINS, 2006; ALLCHIN, 2000; PEDUZZI, 2001). Argumenta-se que ela pode humanizar as ciências, contribuir para uma melhoria do aprendizado, enriquecer a formação do professor e auxiliar no desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos (MATTHEWS, 1995).

Matthews (1989) relata que as reformas na educação científica ocorridas no final da década de 1950 e início da década de 1960, nos Estados Unidos, Inglaterra e Austrália, baseadas num modelo indutivista, não obtiveram o sucesso desejado. Objetivava-se criar pequenos cientistas (Roberts, 1982 apud Matthews, 1989), ao passo que o contexto no qual a Ciência se desenvolve, sua História e Filosofia era considerado algo menor. No entanto, passados trinta anos dessas reformas, a situação do ensino de ciências nos Estados Unidos era dramática: 7100 escolas secundárias sem cursos de Física, 4200 sem Química, 1300 sem Biologia. Registrou-se uma queda de 64% no número de estudantes de graduação que ingressavam no ensino de ciências. O autor afirma que nem a História nem a Filosofia da Ciência eram muito consideradas nas reformas e currículos, e que estes teriam se beneficiado caso houvesse o engajamento de filósofos e historiadores naquela empreitada. Matthews também destaca uma observação realizada pela instituição britânica “Association for Science Education” a respeito da formação de professores de ciências: “Muitos se comportam e pensam cientificamente como resultado de seu treinamento, mas não compreendem a natureza e os objetivos básicos da Ciência.” (Association for Science Education, 1963, apud Matthews, 1989, p.4, tradução nossa).

Ainda segundo Matthews (1989), a História da Ciência, as teorias da aprendizagem e a pedagogia devem estar reunidas na sala de aula. Sobre a Filosofia, o autor afirma que esta aprimora o ensino em sala de aula:

Uma lição simples sobre mecânica pode ser transformada se forem levantadas questões sobre a relação entre teorias e evidências, sobre o que é necessário para uma boa experiência, ou por que, por exemplo, definimos aceleração como mudança de velocidade em relação ao tempo e não à distância. (MATTHEWS, 1989, p.11, tradução nossa)

Matthews (1995) relata uma aproximação entre o ensino de ciências e a HFC a partir do final da década de 1980. Ele destaca a inclusão de componentes da HFC em currículos nacionais da Inglaterra, País de Gales, Estados Unidos, Dinamarca e Holanda. Entre os exemplos desta ação, ele evidencia o tipo de compreensão e habilidades sugeridas pelo Conselho Britânico de Currículo Nacional (NCC) para serem adquiridas por alunos de quatro a dezesseis anos. Segundo a expectativa apontada, esses alunos deverão ser capazes de:

- Distinguir entre asserções e argumentos pautados em dados científicos e os que não o são;

- Considerar a maneira pela qual o desenvolvimento de uma determinada teoria ou pensamento científico se relaciona com seu conceito moral, espiritual, cultural e histórico;
- Estudar exemplos de controvérsias científicas e de mudanças no pensamento científico. (NCC, 1988, p.113 apud MATTHEWS, 1995)

Matthews (1995) cita também, como evidências dessa aproximação entre Ciência e História, a realização, em novembro de 1989, da primeira Conferência Internacional sobre História, Filosofia e Sociologia e o Ensino de Ciências, na Universidade Estadual da Flórida. Esse autor também menciona conferências patrocinadas pela Sociedade Europeia de Física sobre “A História da Física e o seu Ensino”, realizadas entre 1983 e 1990, em diversas cidades europeias, além da conferência sobre “História da Ciência e o ensino de ciências”, realizada na Universidade de Oxford em 1987. Destaque especial é dado pelo autor ao Projeto de Física de Harvard:

O Projeto de Física de Harvard que em seu auge atingiu 15% dos alunos em 1º e 2º graus nos Estados Unidos, foi o currículo escolar de ciências fundamentado em princípios históricos e preocupado com as dimensões cultural e filosófica da ciência mais amplamente utilizado. Seu sucesso em evitar a evasão dos estudantes, atrair mulheres para os cursos de ciências, desenvolver a habilidade do raciocínio crítico e elevar a média de acertos alcançada em avaliações forneceu evidências suficientes para os que, hoje, advogam a favor da HFS. (MATTHEWS, 1995, p.171)

Quanto aos possíveis usos da História da Ciência no ensino, Peduzzi (2001) afirma que esta não deve ser utilizada apenas com o propósito de auxiliar na compreensão de conceitos. Para o autor, “os livros de texto e a sala de aula, para não falar na própria estrutura curricular, têm negligenciado o valor didático da História da Ciência”. (PEDUZZI, 2001, p.156) O autor afirma que na abordagem tradicional há uma ênfase nos conceitos, considerados acabados e definitivos, mas que, no entanto, é possível que também o processo de desenvolvimento da Ciência seja abordado didaticamente. Ressalta, no entanto, que não se deve superdimensionar as possíveis contribuições da História da Ciência no ensino e que a pesquisa em contexto de sala de aula pode confirmar, ou não, tais benefícios, entre os quais os que afirmam que a História da Ciência é capaz de:

- desmistificar o método científico, dando ao aluno os subsídios necessários para que ele tenha um melhor entendimento do trabalho do cientista;
- mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, evidenciando que as teorias científicas não são “definitivas e irrevogáveis”, mas objeto de constante revisão; (PEDUZZI, 2001, P.158)

Para Martins (2006) a História das Ciências nos fornece uma visão sobre a natureza da pesquisa e do desenvolvimento científico não explícita nos livros-texto, que, em geral, apresentam resultados prontos de teorias aceitas, sem apresentar os caminhos percorridos em seu desenvolvimento. Segundo o autor

A história das ciências não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as interrelações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano,...] (MARTINS, 2006, p. xvii)

Martins (2006) defende que estudos adequados de episódios históricos são insubstituíveis para a construção de uma visão “concreta e correta” sobre a natureza da Ciência, seu aspecto dinâmico, seus problemas, limitações e interações com o contexto histórico e social. Esses estudos podem ainda permitir uma compreensão de que o desenvolvimento científico não é resultado de um “método científico” lógico e infalível.

Os pesquisadores formulam hipóteses ou conjecturas a partir de ideias que podem não ter qualquer fundamento, baseiam-se em analogias vagas, têm ideias preconcebidas ao fazerem suas observações e experimentos, constroem teorias provisórias que podem ser até mesmo contraditórias, defendem suas ideias com argumentos que podem ser fracos ou até irracionais, discordam uns dos outros em quase tudo, lutam entre si para tentar impor suas ideias. As teorias científicas vão sendo construídas por tentativa e erro [...] (MARTINS, 2006, p. xix)

Além da possibilidade de se construir no educando uma visão mais adequada sobre a natureza da Ciência, Martins (2006) argumenta que a HFC pode contribuir para o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos. Considerando que o aluno traz consigo concepções acerca de inúmeros temas e que tais concepções podem entrar em conflito com as atualmente aceitas, os conhecimentos sobre o desenvolvimento do saber científico podem vir a ser utilizados como estratégia pelo professor para lidar com as concepções alternativas dos alunos, visto que “suas resistências são semelhantes às dos próprios cientistas do passado; e mesmo as suas ideias, por mais absurdas que pareçam, podem ser semelhantes às que foram aceitas em outros tempos por pessoas que nada tinham de tolas.” (MARTINS, 2006, p. xxii)

No entanto, o próprio autor reconhece que há dificuldades para que a História da Ciência desempenhe o papel que deve ter no ensino. Ele enumera três barreiras principais:

[...] (1) a carência de um número suficiente de professores com a formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências; (2) a falta de material didático adequado (textos sobre história da ciência) que possa ser utilizado no ensino; e (3) equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação (Siegel 1979). (MARTINS, 2006, p. 23)

Sobre o primeiro problema, o autor enfatiza que há poucos professores-pesquisadores na área de História das Ciências em nossas universidades e que existe certo número de pessoas lecionando História da Ciência sem uma formação adequada.

Sobre o segundo problema, o autor destaca não a falta de textos em termos de quantidade, mas a existência de muitos materiais de baixa qualidade, que deturpam a própria natureza da Ciência e terminam por reforçar equívocos acerca do desenvolvimento científico. O autor destaca, ainda, a necessidade de uma adequação dos textos para uso na educação, com uma linguagem simples, “sem pedantismos acadêmicos, mas sem tentar simplificar e transformar em ‘água com açúcar’ a complexidade histórica real.” (MARTINS, 2006, p. xxiv)

Acerca do terceiro problema – equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação – o autor ressalta alguns deles, que se tornam obstáculos ao bom ensino de ciências:

I) “Redução da história da ciência a nomes datas e anedotas”. O desenvolvimento científico é descrito como sendo resultado de descobertas isoladas realizadas por “grandes personagens” em datas determinadas, não existindo correlações entre os diversos acontecimentos.

II) “Concepções errôneas sobre o método científico.” Os professores ainda acreditam e divulgam o desenvolvimento científico a partir de um método empírico-indutivista.

Geralmente, professores que não têm interesse e competência suficientes em história e filosofia da ciência transmitem uma visão distorcida do funcionamento da ciência para seus estudantes. Eles podem tentar mostrar como se obtém uma teoria a partir da observação e experimento, ou como se pode *provar* uma teoria – apesar da impossibilidade filosófica de tais tentativas. (MARTINS, 2006, p. xxvi)

III) “Uso de argumentos de autoridade.” Conceitos e teorias são apresentados sem a devida fundamentação, devendo ser aceitos apenas por serem considerados como realizações de algum grande nome da Ciência.

Allchin (2000) também recomenda o uso da História da Ciência no ensino, enfatizando os cuidados a serem tomados ao se utilizá-la. Para o autor, assim como a Ciência pode ser utilizada como ferramenta de fortalecimento de ideologias, a História da Ciência também pode ser distorcida para validar, ainda que implicitamente, certas visões pedagógicas ou ideológicas. O autor afirma que os professores devem aprender a utilizar a História da Ciência, sobretudo no que se refere ao respeito ao contexto histórico dos episódios. A análise de episódios históricos, sem a devida consideração do contexto, utilizando conceitos e conhecimentos dos dias atuais, distorcem o processo de evolução da Ciência.

Uma possibilidade levantada por Allchin (2000) refere-se às ideias e teorias hoje tratadas como “erradas”, mas que no passado, em outro contexto, já foram consideradas “corretas”. Para o autor, a compreensão dos erros permite que os alunos possam perceber distinções entre modelos simples e modelos mais sofisticados. A História pode mostrar como o processo científico tanto pode levar a conclusões “corretas” como “erradas”, e tratar o erro historicamente contribui para o entendimento da natureza do desenvolvimento científico.

Não obstante aos exemplos citados de aproximação da HFC das salas de aula e das suas contribuições para o ensino, esta aproximação não esteve imune a ataques. Matthews (1995) relata um duplo ataque sofrido em uma conferência no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) em 1970:

De um lado dizia-se que a única história possível nos cursos de ciências era a pseudo-história; de outro lado, afirmava-se que a exposição à história da ciência enfraquecia as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência. O primeiro caso foi levantado por Martin Klein (1972); o segundo adveio, em parte, da análise feita por Thomas Kuhn, em seu clássico: *A estrutura das revoluções científicas* (primeira edição de 1962, segunda edição de 1970) (MATTHEWS, 1995, p.173)

Para Matthews (1995), no entanto, tais problemas, ainda que sérios, podem ser superados sem a necessidade de que se exclua a HFC do ensino. Adequações e simplificações são necessárias, levando-se em consideração a faixa etária dos alunos e tomando-se os devidos cuidados para que a história simplificada não seja “uma mera caricatura do processo histórico”.

Quanto à postura atribuída a Kuhn, Peduzzi (2001) contrapõe que justamente a pouca História da Ciência presente nos materiais de ensino não é suficiente para que os estudantes percebam as rupturas existentes no processo de desenvolvimento científico. Como os materiais se apresentam, há a percepção de uma linearidade, um desenvolvimento no qual as ideias do passado fluem naturalmente em direção às atualmente aceitas.

Em relação às críticas de Klein, Peduzzi (2001) concorda com Matthews (1995) quanto à possibilidade de simplificações permitirem o uso da História da Ciência no ensino sem que haja grandes prejuízos ao entendimento do processo histórico. No entanto, Peduzzi (2001) argumenta que toda escolha de conteúdos, tanto de historiadores em suas pesquisas, como de professores para uso da História da Ciência no ambiente escolar, “envolve decisões que não podem ser dissociadas da visão de mundo e das concepções de ciência do estudioso”. (PEDUZZI, 2001, p.154)

Além daquelas feitas pela por diversos autores, as indicações para o uso da HFC no ensino também se mostram presentes nos documentos oficiais.

Segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o ensino médio, no item 5.3 – A Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, “A contextualização social, histórica e

cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais.” (BNCC, 2018, p. 549)

A BNCC orienta ainda que

[...]a contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura.(BNCC, 2018, p. 550)

Neste mesmo sentido, o Currículo Mínimo da Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ) destaca, na introdução do componente curricular Física, que

Para ler o mundo com propriedade é fundamental o domínio de conceitos científicos e da lógica de construção de conhecimento que a Física inaugurou a partir da Revolução Científica do século XVII. Para compreender as transformações políticas, econômicas, sociais e culturais, é fundamental que conheçamos como a Física construiu uma nova visão de mundo. (CURRÍCULO MÍNIMO 2012, SEEDUC, COMPONENTE CURRICULAR FÍSICA, p. 3)

Apresentam-se, desta forma, orientações para que o conteúdo científico, destinado aos estudantes do ensino médio, seja ministrado com a preocupação de situá-lo como parte do que se produz em sociedade. Conhecimentos científicos não são produzidos isolados de seu entorno, sendo passíveis de conflitos e pressões internas e externas à comunidade acadêmica.

Deve-se ressaltar que as orientações anteriormente citadas não constituem algo novo no cenário do ensino de ciências, visto que os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) já contemplavam esta linha de ação.

De fato, na Parte III dos PCN, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, na seção Conhecimentos de Física, encontramos as orientações de que “ [...]é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas.” (PCN, 2000, p. 22). Na mesma seção temos ainda:

A Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram.(PCN, 2000, p. 27)

Encaminha-se então o uso da HFC no ensino, sobretudo para os benefícios que ela pode promover na construção, por parte dos estudantes, de uma visão mais adequada sobre a natureza da Ciência.

Neste sentido, resultados acerca da utilização da HFC em sala de aula, são apresentados por Teixeira, Greca e Freire (2012a) em uma revisão sistemática realizada em trabalhos publicados em diversos países sobre o tema. Os autores analisaram com profundidade onze artigos, selecionados de um total de 152 que tratavam do uso da HFC no ensino. Os artigos selecionados tratavam especificamente do ensino de Física, sendo cinco da Europa, dois da América do Sul, dois da América do Norte, um da África e um do Oriente Médio. Os autores destacam a escassez de publicações de trabalhos de pesquisa sobre o uso da HFC no ensino com intervenções em sala de aula. Segundo o levantamento, a utilização da HFC como ferramenta na busca por uma melhor compreensão dos alunos sobre a natureza da Ciência

ocorreu em cinco trabalhos. Destes, três foram realizados com alunos do ensino médio. Os autores não explicitam o nível da turma dos outros dois trabalhos.

O mais importante a ser destacado é que todos estes trabalhos apresentaram resultados inteiramente satisfatórios acerca dos efeitos da aplicação didática da HFC na compreensão dos alunos sobre a natureza da Ciência.

Isto mostra que, no ensino de física, o uso de abordagens baseadas em História e Filosofia da Ciência podem, de fato, promover um aluno com visão mais madura em relação à sua compreensão da Natureza da Ciência. Assim, os currículos de Física e/ou ensino que incluem em seus objetivos um melhor entendimento dos alunos sobre a Natureza da Ciência, podem encontrar um aliado efetivo na História e Filosofia da Ciência. (TEIXEIRA, GRECA e FREIRE, 2012a, p.791, tradução nossa)

Quanto às pesquisas sobre a inserção da HFC em sala de aula no Brasil, Teixeira, Greca e Freire (2012b) apresentam uma revisão sistemática realizada sobre trabalhos de intervenção didática em salas de aula de Física. Foram levantados trabalhos publicados nas revistas *Ciência & Educação*, *Investigação em Ensino de Ciências*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* e *Enseñanza de las Ciencias*, sendo esta última considerada por ser bem conceituada no Brasil e pela proximidade dos idiomas espanhol e português.

De 160 artigos identificados como relacionados ao uso da HFC no ensino, foram selecionados apenas os quatorze que tratavam do ensino de Física, com relatos de intervenções didáticas em sala de aula. Destes, sete buscavam investigar os resultados da aplicação da HFC para uma melhor compreensão, pelos alunos, dos aspectos da natureza da Ciência. Todos apresentaram resultados positivos. No entanto, apenas dois relataram resultados plenamente favoráveis.

Isto talvez possa ser justificado pelo fato de que seis dos sete trabalhos foram desenvolvidos no nível superior de ensino. O trabalho realizado no nível médio foi um dos que apresentou resultado plenamente favorável. Para os autores,

É justificável que os alunos, em nível mais avançado de ensino, tenham concepções mais resistentes à mudança, entretanto, isso levanta um problema sério: alunos em estágio mais amadurecido de instrução, mantendo suas concepções pouco amadurecidas sobre a ciência. Esse problema agrava-se mais ainda considerando que, em grande parte, são alunos de licenciatura em Física. Assim, chama-se a atenção para a necessidade de maiores intervenções de ensino com a preocupação de propiciar concepções mais críticas sobre a ciência aos alunos do Ensino Básico – no âmbito do qual parece ser mais fácil promover mudanças de concepções -, bem como promover maiores esforços para modificar as concepções de ciência nos futuros professores. (TEIXEIRA, GRECA E FREIRE, 2012b, p.31)

Temos, portanto, trabalhos de pesquisa nacionais e internacionais que apresentam a inserção da HFC no ensino como protagonista no processo de melhoria da visão dos estudantes sobre a natureza da Ciência. Mas o que deve ser buscado em sala de aula? Quais objetivos devem ser priorizados na educação básica acerca da natureza da Ciência? Qual o papel do professor e de sua formação neste processo? Qual a contribuição do livro didático nesta empreitada?

Nas seções a seguir serão feitas considerações sobre as múltiplas visões acerca do desenvolvimento científico e também a respeito das concepções de alunos e professores sobre a natureza da Ciência. Ganharão destaque os desafios e a serem enfrentados ao se propor o uso da HFC na busca pela construção de uma visão não distorcida sobre a mesma.

2.2 Múltiplas Visões sobre o desenvolvimento científico

A Ciência há muito se destaca como um empreendimento humano bem-sucedido. Segundo Chibeni (2013), o conhecimento científico desfruta de privilegiada posição na sociedade. Empresas descrevem como científicos seus métodos de produção e testes de produtos a fim de assegurar um alto grau de credibilidade dos mesmos junto às pessoas comuns. O autor atribui esta atitude ao “extraordinário sucesso prático alcançado pela física, pela química e pela biologia, principalmente.” (CHIBENI, 2013, p. 1)

Por se tratar então, a Ciência, de uma construção humana de tamanha relevância, diversos filósofos têm buscado descrever seu funcionamento. Chalmers (1993) analisou criticamente várias concepções da Ciência e sua evolução. Vamos descrever aqui, resumidamente alguns pontos desta análise.

Segundo o autor, uma das visões mais comuns sobre a Ciência é a indutivista. Nesta concepção, leis e teorias são formuladas a partir de observações, observações estas que devem ser neutras, livres de ideias pré-concebidas por parte do observador. O termo indutivismo vem do fato de observações induzirem leis e teorias, segundo o seguinte roteiro: os dados obtidos através das observações permitem, pelo raciocínio indutivo, a formulação de proposições de observação, que formam a base das leis e teorias. A validade destas é garantida pelas observações e experiências que as confirmam.

No entanto, segundo Chalmers (1993), existem diversos pontos a serem criticados nesta visão da Ciência. Um primeiro ponto a ser questionado está relacionado à própria indução: se uma proposição de observação é feita a partir de um número finito de observações de um fenômeno, sob determinadas condições, qual a certeza de que uma próxima observação não estará em desacordo com a proposição feita? Ainda que a proposição formulada seja lógica, a próxima observação pode jogá-la por terra.

Um segundo ponto a ser criticado é o de que a Ciência começa com a observação. Dois observadores podem estar visualizando o mesmo fenômeno ou objeto e terem percepções diferentes. A percepção do que se observa está ligada a conhecimentos prévios e à visão de mundo do observador. A própria consideração do que é ou não relevante numa observação sugere uma teoria prévia. Portanto, não há observação livre de uma teoria. Indo além, chegamos a um terceiro ponto: as proposições formuladas acerca do que se observa estarão permeadas de aspectos teóricos preexistentes e, portanto, se estas teorias são falíveis, não podemos garantir a validade de tais proposições, que em tese, são a base da ciência indutivista.

Uma outra concepção sobre a Ciência, analisada por Chalmers (1993), é o falsificacionismo, defendido por Karl Popper. Segundo esta linha de pensamento, experimentos e observações devem ser utilizados para testar a teoria na qual se embasam, não no sentido de confirmá-la, mas objetivando refutá-la. É o que ele denomina *Falseabilidade*. Segundo esta concepção, boas teorias devem fazer afirmações claras e precisas sobre a natureza, sendo, desta forma, falseáveis. Uma teoria deve ser preferida se comparada a outra, quando faz mais afirmações sobre os fenômenos passíveis de serem falseadas, e seu sucesso está no fato de sobreviver a estas tentativas de falseamento. Para os falsificacionistas, a ciência parte de problemas, para os quais são formuladas teorias explicativas pelos cientistas. Tais teorias são testadas e parte delas refutadas. Aquelas que são bem-sucedidas devem continuar sendo testadas de forma cada vez mais rigorosa. No caso em que uma teoria seja falseada, deve ser substituída por uma que resista aos testes nos quais a anterior falhou. Assim se dá o desenvolvimento científico para os falsificacionistas. No entanto, esta é uma posição extremista. “Falsificacionistas sofisticados”, segundo termo do autor, entendem a dificuldade de se avaliar quão falseável é uma teoria quando analisada de forma isolada. Então avalia-se teorias pela comparação com outras mais ou menos falseáveis.

O autor afirma que novas hipóteses podem surgir em defesa de uma teoria que fora, em determinado momento, aparentemente falseada. Exemplifica com o fato de que observações do movimento de Urano estavam em desacordo com a teoria de Newton. A hipótese de um planeta nas proximidades de Urano, ainda não observado, estar influenciando nos resultados foi levantada. Mais tarde, foi confirmada a existência do planeta Netuno.

Chalmers (1993) chama a atenção, então, para as limitações desta visão da Ciência. Os adeptos desta concepção defendem que teorias jamais podem ser consideradas verdadeiras, independentemente do número de eventos que as confirmem, mas podem ser definitivamente rejeitadas a partir de proposições de observação que estejam em desacordo com as mesmas. Porém, como proposições de observação são dependentes de teorias e, portanto, falíveis, não é evidente que num confronto entre observação e teoria, a teoria deva ser a rejeitada. Há muitos exemplos na História da Ciência, nos quais a falha estava, por diversos motivos, na proposição de observação e não na teoria contestada. O autor exemplifica com as dificuldades enfrentadas pelo modelo astronômico introduzido por Copérnico, que, apesar de vários aparentes falseamentos, manteve-se com suas formulações iniciais sendo aos poucos confirmadas por observações e experimentos, dependendo, para isto, de um longo tempo e de trabalhos de diversos cientistas, como Galileu e Newton.

Fica então claro para o autor que nem o pensamento indutivista, com sua base observacional rigorosa, nem o falsificacionismo, com seu modelo de progresso científico a partir de refutações, dão conta, por si só, de descrever a real evolução da Ciência, de trazer à luz o funcionamento de teorias complexas.

As próximas concepções discutidas pelo autor consideram as teorias como corpos estruturados orientando as pesquisas. Uma destas visões é adotada por Imre Lakatos.

Segundo Lakatos, uma teoria, como estrutura orientadora das pesquisas de seus adeptos, fornece orientações acerca do que deve, e também do que não deve ser realizado. Sobre o não fazer, estipula que as proposições básicas de uma teoria, seu núcleo rígido, não devem ser modificadas ou refutadas. Qualquer pesquisador que refuta uma suposição do núcleo irreduzível está saindo daquele programa de pesquisa. Deve ser formulado um conjunto de hipóteses auxiliares que protejam o núcleo rígido do falseamento. Os motivos de qualquer não conformidade observada não devem ser atribuídos aos pressupostos do núcleo, e sim ao conjunto de hipóteses adicionais que protegem a ideia principal, formando um cinturão protetor.

As orientações positivas, ou o que deve ser feito, se referem a sugestões de como os pesquisadores devem aperfeiçoar as hipóteses do cinturão protetor, a fim de compatibilizá-las com observações e experimentos. Um aspecto metodológico da teoria de Lakatos é de que qualquer uma destas hipóteses auxiliares deve ser testável independentemente, para que seja aceita ou rejeitada.

Chalmers (1993) exemplifica o que seria o núcleo da teoria com a astronomia Copernicana. O núcleo rígido consistia nas suposições de que a Terra e os demais planetas giravam em torno do sol estático e também que a Terra girava em torno do próprio eixo com um período de um dia. No que se refere ao cinturão protetor, nele estão inseridos, não apenas hipóteses auxiliares, mais também desenvolvimentos necessários de ferramentas matemáticas e equipamentos e técnicas de observação. No cinturão protetor do núcleo da astronomia copernicana, por exemplo, está inserido o princípio da Inércia, que viria a se transformar em pedra angular da nova mecânica surgida da Revolução Científica. É interessante observar que nesta visão da Ciência o confronto da observação com a teoria deve ocorrer apenas quando o programa atingir um estágio para o qual tais testes sejam apropriados e, neste caso, as confirmações são de maior interesse que as refutações.

Uma outra visão sobre a Ciência discutida por Chalmers (1993), que considera as teorias como estruturas orientadoras das pesquisas, é aquela defendida pelo filósofo Thomas Kuhn, o qual concebe o desenvolvimento científico estruturado em períodos que ele chama de ciência

normal, intercalados por crises e consequentes revoluções. Nos períodos entendidos como ciência normal, os cientistas têm seu trabalho guiado por pressupostos teóricos, que constituem, segundo Kuhn, paradigmas. Os paradigmas fornecem os padrões a serem seguidos. Mesmo sem menções explícitas do que sejam as características de um paradigma num dado período de ciência normal, os cientistas iniciantes adquirem os conhecimentos do paradigma em sua educação científica, resolvendo problemas e sendo orientados por cientistas experientes.

Segundo a teoria de Kuhn, a existência de problemas não resolvidos pelo paradigma vigente, em geral são consideradas como fracassos individuais e não falhas do próprio paradigma. No entanto, a recorrência de anomalias que perduram por muito tempo, apesar das tentativas de vários cientistas em resolvê-las, podem produzir uma crise e abrir caminho para uma revolução, através da qual um novo paradigma substituirá o anterior. Sob o ponto de vista de Kuhn, tanto os períodos de ciência normal como as revoluções têm suas funções. Os períodos de ciência normal permitem aos pesquisadores aprofundarem-se nas pesquisas a fim de resolverem os problemas mais complexos dentro de um paradigma, objetivando aumentar sua correspondência com a natureza, ao passo que as revoluções, com a adoção de novos paradigmas, incompatíveis com os anteriores, são necessárias ao progresso da Ciência, visto que sem estas, não haveria como fazer a ruptura com um paradigma que tornou-se seriamente inadequado.

Uma última concepção que citaremos aqui, analisada criticamente por Chalmers (1993), é a Teoria anarquista do conhecimento de Feyerabend. Seu posicionamento é de que nenhum método ou conjunto de regras são capazes de governar a atividade científica e, conseqüentemente, explicar seu desenvolvimento. Feyerabend defende que, devido à complexidade demonstrada pelos episódios históricos, é muito pouco provável ser possível explicar a Ciência através de algumas regras metodológicas. Utilizando o argumento de que teorias rivais são muitas vezes incomparáveis, ele atribui um alto grau de subjetivismo às escolhas que os cientistas fazem por seguir uma ou outra linha de pensamento. Sua teoria adota ainda um posicionamento de que não é evidente que a Ciência seja superior a outras formas de conhecimento e critica teorias que partem desta premissa, mesmo que implicitamente, sem investigar a fundo as formas supostamente inferiores de conhecimento. Defende também a liberdade de escolha do indivíduo. Esta noção, dentro da Ciência, visa tornar o cientista livre das amarras de qualquer método estabelecido. Chalmers (1993) faz algumas ressalvas à teoria de Feyerabend: sobre ser contrário a quaisquer regras e métodos, Chalmers concorda com Feyerabend somente quando metodologias são interpretadas como regras limitantes das decisões e escolhas dos cientistas; acerca do fato de a Ciência não ser superior a outras formas de conhecimento, Chalmers discorda quando o filósofo contrasta a Ciência com o Vodu e a astrologia, argumentando não crer que um estudo aprofundado destas áreas mostrará objetivos bem definidos e formas de alcançá-los; sobre a suposta liberdade dos cientistas, Chalmers alega que não se deve ignorar fatores como equipamentos, orçamentos e perspectivas de carreira, como parte do que determina as escolhas dos pesquisadores.

Esta diversidade de concepções aqui citadas serve para ilustrar que não há uma única visão sobre a Ciência e sua natureza. No entanto, todas as visões buscam alicerçar-se nos episódios históricos apresentados pela ciência moderna. Desta forma, a História da Ciência é o elemento primordial na tentativa de se validar uma ou outra concepção.

Na próxima seção, discutiremos a inserção da natureza da Ciência no ensino médio, ressaltando aspectos consensuais, visões distorcidas e desafios a serem enfrentados.

2.3 A Natureza da Ciência no Ambiente Escolar: Concepções e Desafios

EL-Hani (2006) afirma que, por existirem múltiplas visões sobre a natureza da Ciência por parte dos estudiosos, pode-se tornar controversa a ideia de se estabelecer uma concepção

da mesma a ser transmitida em sala de aula. Por outro lado, se há discordâncias entre as diversas teorias sobre as ciências, também existem vários pontos de concordância, de forma que estes, em conjunto, nos fornecem uma noção sobre o que constitui “uma visão aceitável da prática científica e também sobre quais objetivos devemos assumir ao ensinar professores e estudantes sobre a natureza da Ciência.”(EL-HANI, 2006, p. 6) Desta forma, vamos observar pontos considerados importantes sob a perspectiva de diversos autores.

Segundo McComas, Clough e Almazroa (1998), uma definição do que é a natureza da Ciência inclui os estudos acerca da História da Ciência, da Filosofia da Ciência, da Sociologia da Ciência, e ainda estudos da Psicologia da Ciência, para que esta convergência possa inferir como a mesma funciona, como os cientistas constituem um grupo social e também como se realizam as interações entre a Ciência e os demais segmentos da sociedade. Segundo os autores, existem muitas divergências entre concepções sobre a natureza da Ciência. No entanto, quando pensamos na educação básica, é preciso que professores estabeleçam funções, processos e limites da Ciência para transmitirem em sala de aula. Para esta finalidade, é possível obter pontos de consenso que podem se configurar em recomendações a serem seguidas no ensino, deixando os detalhes de ajustes para serem discutidos pelos estudiosos do tema.

Para McComas, Clough e Almazroa (1998), uma visão consensual construída a partir de documentos internacionais inclui os seguintes padrões:

- O conhecimento científico, embora durável, tem caráter provisório.
- O conhecimento científico depende muito, mas não inteiramente, da observação, evidências experimentais, argumentos racionais e ceticismo.
- Não existe uma maneira única de fazer ciência (portanto, não existe um método científico universal).
- A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais.
- Leis e teorias desempenham papéis diferentes na ciência, portanto, os alunos devem observar que as teorias não se tornam leis, mesmo com evidências adicionais.
- Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência.
- Novos conhecimentos devem ser relatados de forma clara e aberta.
- O desenvolvimento científico exige manutenção de registros precisos, revisão de resultados por pares e replicabilidade de trabalhos.
- As observações são carregadas de teoria.
- Cientistas são criativos.
- A história da ciência revela um caráter tanto evolutivo quanto revolucionário.
- A ciência faz parte das tradições sociais e culturais.
- Ciência e tecnologia impactam uma à outra.
- As ideias científicas são afetadas por seu meio social e histórico. (McCOMAS, CLOUGH e ALMAZROA, 1998, p.6-7, tradução nossa)

Os autores afirmam que publicações em defesa da compreensão dos alunos sobre a construção científica e sobre a natureza da Ciência podem ser encontradas desde os primeiros anos do século XX. Eles relatam trabalhos desde 1907, passando pela década de 1940 e, também, pela década de 1960, que defendiam uma concepção de natureza da Ciência em sala de aula. Apesar disso, aqueles autores afirmam que os professores parecem estar ligados a uma tradição de ensinar ciências como uma coleção de fatos acabados, definitivos, dando pouca atenção para como estes foram construídos.

Os autores mencionam estudos que apontam equívocos dos estudantes sobre a natureza da Ciência. Entre estes equívocos estão o fato de que os alunos confundem ciência com tecnologia, acreditam que modelos são cópias da realidade, creem na existência de um método científico rígido e também acreditam que hipóteses se tornam teorias e teorias tornam-se leis,

dependendo do número de evidências. Mencionam então que a escola tem uma grande parcela de culpa nestas distorções.

Mas quais seriam os benefícios em se ensinar sobre a natureza da Ciência em sala de aula?

Entre os benefícios relacionados ao entendimento da natureza da Ciência, os autores citam, entre outros, o aumento do interesse pela Ciência e melhorias quanto a tomada de decisões na sociedade. Quanto ao primeiro, acreditam que, o entendimento de como ocorre o desenvolvimento científico pode fazer com que o estudante tenha maior interesse pelos estudos das ciências, uma vez que não estará limitado a decorar conceitos e expressões matemáticas. Quanto ao segundo aspecto, uma percepção mais próxima da realidade de como a Ciência funciona é importante para que cidadãos, em sociedades democráticas, participem das tomadas de decisões em assuntos referentes à mesma, como por exemplo, o financiamento governamental de pesquisas.

Com relação ao papel do professor e do livro didático, os autores afirmam que as concepções dos professores sobre a Ciência influenciam seu fazer pedagógico e que tais concepções são transmitidas aos alunos; afirmam ainda que os livros didáticos desempenham um papel significativo na instrução e que é importante que se analise como eles retratam a Ciência.

McComas (2002) enumera quinze pontos, considerados mitos sobre a Ciência, que julga problemáticos para os educadores. Ele destaca que estes mitos estão presentes nos livros didáticos e nos discursos dos professores.

O primeiro ponto relaciona-se com a crença de que, com um acúmulo de evidências, hipóteses se tornam teorias e estas tornam-se leis. Adota-se a ideia de que leis e teorias são a mesma forma de conhecimento, sendo as leis, neste caso, teorias comprovadas, quando na verdade são formas diferentes de conhecimento. As leis seriam padrões presentes na natureza enquanto as teorias são tentativas de explicar tais padrões. O autor exemplifica citando que Newton descreveu a lei da gravitação com a atração entre corpos dependendo das massas e distâncias. No entanto, não publicou uma teoria capaz de explicar o porquê de a natureza funcionar daquela forma.

O segundo ponto diz respeito ao fato de que as pessoas acreditam que leis e outras ideias científicas são absolutas. No entanto, o conhecimento científico é provisório e está sujeito a correções.

O terceiro ponto está relacionado com a ideia de que hipóteses são apenas palpites fundamentados. O autor entende que o termo hipótese pode assumir mais de um significado. Exemplifica citando que, quando Newton afirmou não ter uma hipótese sobre o porquê de a gravidade funcionar da forma que funciona, estava usando o termo como sinônimo de uma teoria inicial. Já quando estudantes propõem hipóteses numa aula de laboratório, o termo assume o sentido de previsão. Diante desses significados diversos, o autor sugere que o termo seja utilizado com cautela.

O quarto mito descrito pelo autor se trata do fato de se acreditar na existência de um método científico universal. Segundo McComas (2002), este é um dos mitos mais presentes entre as pessoas. Os cientistas não têm uma receita padrão de como realizar seu trabalho. O autor afirma que é comum encontrar em livros-texto a receita padrão:

As etapas listadas para o método científico variam um pouco de texto para texto, mas geralmente incluem: a) definir o problema, b) coleta de informações básicas, c) formulação de uma hipótese, d) tomada de observações, e) testagem da hipótese e f) conclusões. Alguns textos concluem sua lista de etapas incluindo a comunicação dos resultados como ingrediente final [...] (McCOMAS, 2002, p.57, tradução nossa)

Na verdade, “um olhar atento revelará que os cientistas abordam e resolvem problemas com imaginação, criatividade, conhecimento prévio e perseverança.” (McCOMAS, 2002, p.58, tradução nossa)

O quinto ponto destacado está relacionado com a crença de que um acúmulo de evidências resultará em conhecimento válido. Cientistas utilizam-se das evidências de um fenômeno. No entanto, o simples acúmulo destas não garante, como as pessoas imaginam, a prova de uma lei. Há o chamado problema da indução, no qual uma observação ou evidência a favor de um pressuposto pode reforçá-lo, porém, uma prova definitiva dependeria que fossem realizadas todas as observações, em todas as épocas e em todas as condições diferentes, o que é inviável. Existe ainda o fator da criatividade do pesquisador, que é necessário para que se chegue a conclusões a partir de evidências.

O sexto ponto é aquele no qual se acredita que o trabalho científico é capaz de fornecer comprovações absolutas. Falamos anteriormente do problema da indução, que invalida a comprovação definitiva utilizando acúmulo de evidências. O autor cita também, neste ponto, que a única certeza na Ciência ocorre quando uma lei ou teoria é falseada, ou seja, a comprovação absoluta apenas é possível para refutar uma ideia.

O sétimo ponto destacado pelo autor como um mito é aquele no qual se acredita que a Ciência depende mais de procedimentos do que da criatividade dos cientistas. De fato, coletas e interpretação de dados fazem parte da maioria dos procedimentos científicos. No entanto, descoberta de leis e invenção de teorias só se tornam possíveis a partir da criatividade dos pesquisadores. O autor enfatiza que muitas vezes as atividades experimentais nas escolas são demasiadamente procedimentais e padronizados, não restando espaço para o aspecto criativo, o que pode levar a um desinteresse dos estudantes, ao acreditarem que a Ciência funciona realmente daquela forma.

O oitavo ponto mencionado é o mito de que a Ciência pode responder todas as perguntas. Há questões que não podem ser respondidas pela Ciência. O autor utiliza dois exemplos para esclarecer. Cita a descrição da lei da gravidade como uma ideia científica, que, portanto, pode ser falseada, de acordo com o pensamento popperiano. Por sua vez, o conceito central do criacionismo, no qual todas as espécies foram criadas por um ser superior, não é passível de ser falseado. Trata-se de uma crença religiosa. Desta forma, questionamentos religiosos, éticos ou morais não podem ser respondidos pela Ciência.

O nono mito mencionado pelo autor está relacionado ao fato de se acreditar que os cientistas são especialmente objetivos. O autor afirma que a objetividade destes não é diferente de outros profissionais. Ele exemplifica esse ponto de vista com o fato de as observações realizadas serem influenciadas pelas teorias e visões de mundo adotadas pelo pesquisador. Relacionando este fato ao conceito de paradigma de Thomas Kuhn, o autor menciona a ocorrência de ideias hoje aceitas como válidas, mas que foram originalmente rejeitadas, por não se encaixarem dentro do paradigma vigente na época.

O décimo ponto citado se relaciona ao pensamento de que experimentos são o principal caminho para o conhecimento científico. O autor afirma que os alunos são incentivados a associar ciência com experimentos e quaisquer atividades práticas das aulas de disciplinas científicas são assim denominadas, apesar de não os serem exatamente. Experimentos são úteis, mas não são o único caminho para o conhecimento. Cientistas utilizam-se não somente de experimentos, mas de observações, especulações, análises... Muitos cientistas importantes não utilizaram técnicas experimentais em seus trabalhos.

O décimo primeiro mito descrito pelo autor diz respeito a se acreditar que conclusões científicas são constantemente revisadas por outros cientistas. Segundo o autor, os cientistas têm limitações de tempo e orçamento para que possam realizar tais revisões. Em geral, resultados revisados são aqueles que fogem ao paradigma vigente. Ele exemplifica com o caso

em que dois pesquisadores divulgaram ter obtido a fusão a frio. Muitos outros cientistas se voltaram para verificar o caso que se revelou uma fraude.

O décimo segundo ponto tratado como um mito se relaciona com novas descobertas. Segundo o autor, as pessoas acreditam que novas descobertas são aceitas de imediato pela comunidade científica. No entanto, ele destaca que, quando um fato novo está inserido no paradigma que direciona as pesquisas naquele momento, ele será aceito com certa facilidade. Porém, se ele foge das fronteiras das pesquisas vigentes, tendo caráter inovador ou revolucionário, sua aceitação não ocorrerá tão facilmente.

Segundo McComas (2002), o décimo terceiro mito é acreditar-se que modelos científicos representam a realidade. O autor afirma que este mito é compartilhado por leigos e cientistas. Ele distingue duas correntes de pensamento acerca do assunto: o realismo, segundo o qual os modelos criados pelos cientistas correspondem à realidade da natureza e o instrumentalismo, pelo qual não importa se o modelo corresponde à realidade; o importante é que ele é capaz de explicar os fenômenos, e isto basta para sua manutenção. O autor afirma que as pessoas acreditam nos modelos como realidade, quando são, na verdade, ideias fictícias úteis ao desenvolvimento científico.

No décimo quarto e penúltimo ponto, o autor afirma que uma ideia comum entre as pessoas é a de que ciência e tecnologia são a mesma coisa. Ele esclarece que existe a chamada ciência pura, que busca o conhecimento sem um fim definido e a ciência aplicada, ou tecnologia, que busca explorar o conhecimento visando a um produto. Ressalta que hoje, muitos cientistas trabalham com diretrizes que vêm de empresas e, portanto, praticam a ciência pura vislumbrando, simultaneamente, a solução de desafios tecnológicos. O autor cita que esta relação de financiamento não é necessariamente ruim, mas que os pesquisadores já não têm a mesma liberdade de escolha do que pesquisar que havia em outros tempos.

O último ponto abordado pelo autor como um mito tem relação com a percepção de que descobertas científicas são fruto de trabalhos individuais. Ele afirma que raramente isto ocorre. Estudos de Sociologia da Ciência revelam que os cientistas em geral trabalham em grupos de pesquisa dentro da comunidade científica. Muitos problemas científicos são demasiadamente complexos para que um pesquisador tente solucioná-lo sozinho.

Por sua vez, Gil-Pérez et al. (2001) afirmam que a maioria dos professores transmite uma visão inadequada de como se dá a construção do conhecimento. Os autores referem-se a estas como deformações “que expressam em conjunto, uma imagem ingênua, profundamente afastada do que é a construção do conhecimento científico” (Gil-PÉREZ et al., 2001, p. 128-129), e as explicitam. Trata-se, portanto, de visões acerca do fazer científico a serem evitadas:

1. [...] **concepção empírico-indutivista e ateória**. É uma concepção que destaca o papel “neutro” da observação e da experimentação (não influenciadas por idéias apriorísticas), esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo.[...]
2. [...] **visão rígida (algorítmica, exata, infalível, ...)**. Apresenta-se o “método científico” como um conjunto de etapas a seguir mecanicamente. [...]
3. [...] **visão aproblemática e ahistórica** (portanto, **dogmática e fechada**): transmitem-se os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi sua evolução, as dificuldades encontradas etc. [...]
4. [...] **visão exclusivamente analítica**, que destaca a necessária divisão parcelar dos estudos, o seu caráter limitado, simplificador. Porém, esquece os esforços posteriores de unificação e de construção de corpos coerentes de conhecimentos cada vez mais amplos, ou o tratamento de “problemas-ponte entre diferentes campos de conhecimento que podem chegar a unificar-se, como já se verificou tantas vezes e que a História da Ciência evidencia.[...]
5. [...] **visão acumulativa de crescimento linear** dos conhecimentos científicos: o desenvolvimento científico aparece como fruto de um crescimento linear, puramente acumulativo [...]. Esta visão deformada é, de certo modo, complementar da que

denominamos *visão rígida*, embora devam ser diferenciadas: enquanto a visão rígida ou algorítmica se refere à forma como se concebe a realização de uma dada investigação, a *visão acumulativa* é uma interpretação simplista da evolução dos conhecimentos científicos, para o qual o ensino pode contribuir ao apresentar os conhecimentos hoje aceitos, sem mostrar como eles foram alcançados, não se referindo às frequentes confrontações entre teorias rivais, às controvérsias científicas, nem aos complexos processos de mudança.

6. [...] **visão individualista e elitista** da ciência. Os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo, dos intercâmbios entre equipes. [...]
7. [...] visão deformada que transmite uma imagem descontextualizada, **socialmente neutra da ciência**: esquecem-se as complexas relações entre ciência, tecnologia, sociedade (CTS) e proporciona-se uma imagem deformada dos cientistas como seres “*acima do bem e do mal*”, fechados em torres de marfim e alheios à necessidade de fazer opções. (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 129-133)

Para os autores, estas visões deformadas, transmitidas pelos professores, não aparecem isoladas. Na verdade, encontram-se associadas, retratando uma visão ingênua acerca da Ciência, que foi se consolidando.

Já Forato, Martins e Pietrocola (2009), ao se referirem às visões deformadas sobre a natureza da Ciência, difundidas por professores, afirmam que essas concepções distorcidas da Ciência encerram “os pressupostos teóricos do quadro historiográfico do início do século XX”. Isto explicaria o fato de os próprios professores terem dificuldade para identificar tais distorções, não somente pelo fato de não serem especialistas em História ou Filosofia da Ciência. “Antes disso, as versões históricas geralmente introduzidas pelos diferentes materiais e fontes no ambiente escolar reforçam a imagem da Ciência que tem prevalecido no ensino”. (FORATO, MARTINS e PIETROCOLA, 2009, p.4).

Para os autores, é importante que se promova na educação científica uma concepção sobre a natureza da Ciência que incorpore aspectos como:

- a natureza não fornece dados suficientemente simples que permitam interpretações sem ambiguidades;
- uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente;
- a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época;
- teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência;
- o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo. (FORATO, MARTINS e PIETROCOLA, 2009, p.5)

Embora considerando que há praticamente consenso em relação aos benefícios da inserção da HFC no ambiente escolar, os autores levantam várias questões que se configuram como obstáculos a esta empreitada, como, por exemplo, adequação do material de HFC à sala de aula, seleção de informações relevantes sem que haja distorção dos episódios, aspectos dos episódios históricos a serem utilizados para reflexão sobre a natureza da Ciência e tipos de distorções a serem evitadas. Os autores relatam que, para que se viabilize o uso da História da Ciência em sala de aula com o objetivo de se construir nos estudantes visões mais adequadas sobre a natureza da Ciência, deve-se buscar “harmonizar as necessidades didático-pedagógicas e as histórico-epistemológicas”(p.7) e, a partir da definição dos objetivos, alguns desafios devem ser superados.

O primeiro desafio diz respeito à “seleção do conteúdo histórico.” Existem vários aspectos sobre a natureza da Ciência que podem ser abordados em sala de aula, bem como existem diferentes episódios da História da Ciência que podem auxiliar nas discussões. Desta forma, as escolhas tornam-se importante fator para que se atinjam os objetivos pedagógicos.

Um segundo ponto a ser considerado diz respeito ao tempo disponível para o desenvolvimento do conteúdo. Este é um fator limitante da quantidade de conteúdo histórico a ser abordado. Desta forma, torna-se importante a escolha de tópicos bem definidos e um cuidado especial para que simplificações não impliquem em distorções históricas.

Um terceiro aspecto, relacionado diretamente ao anterior, diz respeito ao nível de profundidade a ser utilizado nos conteúdos. “Quais aspectos são adequados ao ensino médio? Quais devem ser simplificados? Que detalhes devem ser omitidos sem comprometer a qualidade da narrativa histórica?” (FORATO, MARTINS e PIETROCOLA, 2009, p.7). Uma quantidade mínima de detalhes deve ser apresentada para que não se construa uma pseudo-história.

Outro ponto importante diz respeito à “tradição existente no ensino de ciências com o uso ingênuo da história presente nos livros didáticos” (FORATO, MARTINS e PIETROCOLA, 2009, p.8, grifo do autor). A História presente nos livros didáticos, por vezes, configura uma pseudo-história e contribui para perpetuar visões ultrapassadas acerca do fazer científico.

Por fim, “A falta de *formação do professor* é um dos maiores desafios a se enfrentar.” (FORATO, MARTINS e PIETROCOLA, 2009, p.8, grifo do autor). Não se trata, segundo os autores, de transformar o professor em historiador, mas de fornecer a ele elementos que contribuam para uma utilização consciente das informações históricas em sala de aula.

Podemos perceber vários pontos de intersecção entre os aspectos destacados pelos diversos autores aqui citados, de forma que podemos concordar com El-Hani (2006) que, mesmo que existam controvérsias, há uma quantidade significativa de pontos de consenso que podem ser transmitidos em sala de aula.

Silva e Moura (2008) afirmam que o fato de os professores, com frequência, apresentarem uma visão indutivista da Ciência pode ser atribuído a sua formação e, em parte, aos livros didáticos que, ao apresentarem uma História da Ciência simplificada e distorcida, contribuem para este cenário.

Surgem, então, sinais de que a concepção dos professores e dos alunos acerca da natureza da Ciência passa por diversos fatores. Dentre esses fatores, vamos destacar a seguir dois elementos que se mostram cruciais na tentativa de se viabilizar o uso da História da Ciência como instrumento para uma discussão sobre a natureza da Ciência: a formação dos professores e o livro didático.

2.4 História e Filosofia da Ciência e Formação de Professores

Referindo-se à relação entre o professor e o processo de ensino, Höttecke e Silva (2011) afirmam que o fator mais importante ao se tentar implementar a HFC é o professor de ciências. Esses autores destacam como aspectos centrais: o conhecimento epistemológico que o mesmo deve possuir acerca da HFC; habilidades para assumir uma atitude dialógica no ensino, sendo capaz de mediar discussões abertas sobre a Ciência; habilidades narrativas e uma visão do ensino de ciências como um processo de construção de significados. Os autores defendem que os cursos de formação de professores devem, além de transmitir conhecimentos sobre HFC e natureza da Ciência, possibilitar discussões abertas, de forma a promover nos futuros docentes uma compreensão reflexiva sobre a Ciência e desenvolver habilidades que permitam um bom desempenho em sala de aula. Afirmam, ainda, que atividades de treinamento de curta duração sobre HFC e natureza da Ciência, oferecidos a professores, costumam não provocar o efeito desejado. Inicialmente, eles se sentem encorajados e entusiasmados a implementar a HFC na sala de aula, mas este efeito normalmente não é duradouro.

Martins (1990), ao tratar do ensino da História de uma determinada Ciência para futuros professores da mesma, é categórico ao afirmar que:

Um bom professor de uma disciplina científica deve combinar uma competência científica (dominar o conteúdo que vai lecionar) com uma competência didática. A História da Ciência pode contribuir para esses dois aspectos da formação de um professor, de modo significativo. (MARTINS, 1990, p.2)

Ferreira e Ferreira (2010) defendem a inclusão dos conteúdos de História da Ciência nos cursos de licenciatura, afirmando que podem funcionar como agente motivador para os futuros professores. Eles alegam que, ao saber o porquê e o para quê dos fatos, o aprendiz pode transformar uma motivação extrínseca em motivação intrínseca, onde seus estudos passam a ser motivados não apenas por fatores externos, mas também por uma necessidade interna. Os autores destacam também que a falta de conhecimentos sobre a História das Ciências contribui para um desânimo dos jovens para o aprendizado dos conteúdos e ainda que poucos professores abordam a História das Ciências em sala de aula:

“Como professores de Física que somos, sentimo-nos à vontade para dizer que poucos são os docentes desta disciplina que a abordam, mostrando que o seu progresso se deve em muito à necessidade que o ser humano tem de conhecer o mundo natural e de controlar e reproduzir as forças da natureza em seu benefício.” (FERREIRA; FERREIRA, 2010, p.10)

Ainda conforme Ferreira e Ferreira (2010), além da introdução da História da Ciência nos currículos dos cursos de formação de professores, é necessário entender que sua preparação não se encerra na diplomação. “É preciso se pensar na sua formação continuada.”

Buscando a visualização de um panorama da inserção dos conteúdos de HFC nos Cursos de licenciatura, vamos agora nos debruçar sobre três trabalhos realizados na área, que podem elucidar sua efetiva presença nos cursos de formação de professores:

Londero (2015) investigou como os conteúdos históricos, filosóficos e epistemológicos da Ciência estão inseridos nos currículos das licenciaturas em Física das instituições de ensino superior de Minas Gerais. Schwantes, Marinho e Arnt (2017) realizaram uma pesquisa documental sobre HFC nas ementas dos cursos das universidades públicas do Sul do Brasil, analisando duas temáticas: conhecimento e epistemologia; Ciência e ensino. Já Pereira e Martins (2009) discutem os resultados de um estudo empírico que investigou o que pensa o professor-formador sobre a inserção da disciplina de conteúdo histórico e filosófico no currículo dos cursos de licenciatura em Física e em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Em sua investigação, Londero (2015) busca responder ao seguinte questionamento: “Como a História e Filosofia da Ciência está inserida na estrutura curricular dos cursos de Licenciatura em Física do estado de Minas Gerais?”

Para cumprir seu objetivo, ele levanta três questões:

- “Quais cursos de licenciatura em física inserem História e Filosofia da Ciência como disciplina em sua estrutura curricular?”
- “Em que momento a História e Filosofia da Ciência (HFC) é inserida enquanto disciplina curricular e qual o tempo destinado para seu estudo/desenvolvimento?”
- “Que concepção é apresentada no Projeto Político Pedagógico dos cursos no que diz respeito à História e Filosofia da Ciência?”(LONDERO, 2015, p.22)

Com base em seus levantamentos, o autor identificou um total de 32 cursos, sendo que em 24 deles foi confirmada nos currículos a presença de disciplinas com conteúdo histórico, filosófico e/ou epistemológico da Ciência. Apenas um dos cursos não apresenta nenhuma disciplina desta natureza, enquanto sete cursos não disponibilizaram sua estrutura curricular. As disciplinas aparecem nos currículos com nomes diversos: “História da Ciência”, “Evolução da Física”, “Construção do conhecimento da Física”, “Origem e “Evolução das ideias da Física”

e “Filosofia da Ciência”, totalizando 31 disciplinas, número superior ao de cursos, visto que, alguns cursos oferecem mais de uma disciplina com conteúdo histórico/filosófico.

Quanto ao momento em que as disciplinas são inseridas, percebe-se uma distribuição não uniforme: cinco disciplinas são oferecidas no primeiro período, “antes de serem trabalhados os conteúdos de física básica”; dez são inseridas entre o 2º e o 5º períodos, “momento em que as disciplinas básicas estão sendo trabalhadas”; doze são oferecidas após o 5º período, “após serem trabalhadas as disciplinas básicas”. Duas disciplinas não foram inseridas por serem oferecidas como optativas. Além disso, dois cursos não informaram o momento em que as disciplinas são oferecidas. Para o autor, a não uniformidade dos momentos em que as disciplinas são oferecidas leva a uma interpretação de que as disciplinas são isoladas, sem conexão com as demais.

No que se refere à carga horária das disciplinas, Londero (2015) verificou que a maioria dos cursos (16) destina uma carga de 60 horas para as disciplinas de conteúdo histórico, enquanto quatro cursos destinam uma carga inferior a 45 horas e quatro, ainda, destinam uma carga superior a 68 horas. O autor considera, porém, que uma carga inferior a 60 horas é insuficiente para a abordagem de tais conteúdos.

Quanto aos objetivos das disciplinas, Londero concluiu, a partir da análise das ementas dos cursos, que:

Os cursos que inserem alguma disciplina possuem diferentes objetivos, seja o de introduzir o pensamento científico, as posições e obstáculos da ciência moderna, analisar a história, a filosofia e a epistemologia do desenvolvimento dos conceitos da física, da antiguidade aos dias atuais, discutir o papel social e cultural da física na nossa era ou analisar as diversas concepções da ciência na história. (LONDERO, 2015, p.31)

Por fim, o mesmo autor destaca, mediante a análise de como estão inseridos os conteúdos históricos/filosóficos/epistemológicos nos cursos de licenciatura em Física, em Minas Gerais, que há necessidade de se refletir sobre os momentos em que são inseridas no currículo e tempos didáticos destinados àquelas disciplinas. Ele questiona se há possibilidade de ministrar os conteúdos das ementas com boa fundamentação em 60 horas, que é a carga horária disponibilizada pela maioria dos cursos.

Schwantes, Marinho e Arnt (2017) buscaram em seu trabalho “produzir um panorama sobre as disciplinas que versam sobre a HFC em cursos de universidades federais do Estado do Rio Grande do Sul (RS), no sul do Brasil, apontando ligações entre as ementas dos cursos e discussões contemporâneas de autores da HFC.” (SCHWANTES; MARINHO; ARNT, 2017, p. 3635) Foram analisadas as ementas de dezesseis disciplinas presentes em onze cursos (quatro de Física, quatro de Química, um de Ciências Biológicas, dois interdisciplinares em Ciências da Natureza). Na análise, foram pontuadas as temáticas que surgiam e sistematizadas em cinco categorias: Conhecimento e Historicidade (quando surgiam elementos da História da Ciência ou da área específica do curso); Conhecimento e Epistemologia (quando a ementa trazia elementos de filosofia da ciência para o entendimento epistemológico da produção de conhecimento científico); Ciência, Tecnologia e Sociedade- CTS (quando a ementa apontava especificamente a inter-relação destes três elementos na produção da Ciência); Ciência e Ensino (quando havia apontamentos diretos ao ensino da ciência ou das áreas específicas de ciências da natureza) e, por fim, especificidade da área do curso (em situações que a ementa apontava especificamente algum contexto ou episódio da história das áreas específicas do curso). (SCHWANTES; MARINHO; ARNT, 2017, p. 3637). No artigo, objeto desta análise, Schwantes, Marinho e Arnt (2017) concentram-se em discutir duas das categorias anteriormente relacionadas, julgadas mais representativas: Conhecimento e Epistemologia; Ciência e Ensino.

No que se refere à categoria Conhecimento e Epistemologia, percebeu-se que onze das dezesesseis ementas inserem esses elementos em suas discussões de HFC. Os autores inferem que, de acordo com as ementas, há uma perspectiva da Ciência estruturada no conceito de Paradigma. O percurso histórico da Ciência é levado em conta, o que é importante para que os futuros professores entendam o contexto de produção da mesma.

Em relação à categoria Ciência e Ensino, os autores destacam que, apesar de estarem sendo analisadas ementas de cursos de formação de professores, a articulação entre Ciência e ensino, que pode facilitar a inserção da temática na educação básica por parte dos novos docentes, aparece apenas em cinco das dezesesseis disciplinas. Esta observação se coloca no centro das suas conclusões sobre o estudo, visto que houve a percepção de que a maior parte das disciplinas de HFC centra-se no contexto histórico filosófico, “não apontando relação entre HFC e Ensino de Ciências.”

Pereira e Martins (2009) apresentam um trabalho onde foram realizadas entrevistas com professores-formadores responsáveis pelas disciplinas de conteúdo histórico-filosófico nos cursos de licenciaturas em Física e em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). As entrevistas procuraram investigar o que pensam os professores-formadores sobre as disciplinas, no que diz respeito aos seus conteúdos, às estratégias de ensino empregadas, a sua inserção no currículo e à relação entre a HFC e a prática docente do futuro professor. Além disso, buscou-se traçar um perfil dos professores que ministraram as disciplinas (PEREIRA; MARTINS, 2009, p. 3). Foram entrevistados dois professores: um responsável pela disciplina “História e Filosofia da Ciência”, do curso de licenciatura em Física e o outro responsável pela disciplina “História da Química”, do curso de Licenciatura em Química.

Sobre o perfil dos professores, chama a atenção o fato de que nenhum deles tem formação específica na área de HFC, o que corrobora o que afirma Martins (2006), a saber, que existe uma carência de professores com formação para pesquisar e ensinar sobre HFC.

Não reproduziremos neste nosso trabalho o conteúdo das entrevistas. Mostram-se relevantes para nossa discussão algumas das considerações feitas por Pereira e Martins (2009) sobre as mesmas: (a) na UFRN, nos cursos de licenciatura em Física e Química, as disciplinas de HFC estão na dependência de professores de outras áreas que se interessam pelo tema. Há uma carência de professores com formação específica na área; (b) os professores afirmaram que procuram incentivar a conexão entre HFC e ensino. No entanto, seria interessante que se implementassem, nas salas de aula, discussões sobre aspectos metodológicos do uso da HFC na educação básica.

A análise dos trabalhos de Londero (2015), Schwantes, Marinho e Arnt (2017) e Pereira e Martins (2009) nos permite tecer alguns comentários sobre a temática HFC nos cursos de Licenciatura em Ciências.

Inicialmente, podemos observar que na quase totalidade dos cursos estão presentes disciplinas com conteúdo histórico/filosófico/epistemológico. Isto é um fato positivo. No entanto, não há uma uniformidade quanto à carga horária, momento de inserção no currículo, ou mesmo sobre a abordagem que cada disciplina adota. Um motivo de reflexão, destacado por Londero (2015), surge ao questionar se as cargas horárias disponibilizadas para as disciplinas permitem abordar com qualidade todo conteúdo das ementas.

Também se deve refletir sobre o fato de não haver consenso sobre em qual momento do curso as disciplinas devem ser oferecidas. Este fato chamou a atenção nos trabalhos de Londero (2015) e de Pereira e Martins (2009) e pode, em alguns casos, revelar uma possível desconexão entre as disciplinas de HFC e as demais disciplinas dos currículos.

A carência de professores-pesquisadores com formação específica na temática foi enfatizada por Pereira e Martins (2009) e vai ao encontro de uma das barreiras descritas por Martins (2006) para a inserção dos conteúdos históricos em sala de aula. Este aspecto não foi

levantado nos outros dois trabalhos, o que não permite que tracemos aqui um panorama mais consistente deste fator.

Contudo, o aspecto que talvez mereça maior reflexão foi destacado no trabalho de Schwantes, Marinho e Arnt (2017). Por se tratar de cursos de licenciaturas, com a formação de novos docentes, deveria haver uma maior preocupação em dar subsídios aos futuros professores para que possam inserir conteúdos históricos/filosóficos/epistemológicos na educação básica, ou seja, as disciplinas da temática deveriam oferecer conexão entre o conteúdo histórico e o ensino.

Por fim, podemos concluir, a partir dos trabalhos analisados, sinais de que, em que pesem as possíveis limitações, a importância da HFC nos cursos de licenciatura foi assumida pelas instituições, apesar de mostrarem sinais que a temática ainda carece de um certo padrão, como se faltasse um horizonte comum a ser atingido.

Na seção a seguir, vamos refletir sobre outro elemento que se configura importante na implementação de estudos históricos, visando solidificar concepções adequadas sobre a natureza da Ciência na educação básica: o livro didático. Em conformidade com a temática central deste trabalho, vamos tratar pormenorizadamente do livro didático de Física destinado aos estudantes do ensino médio.

2.5 O Livro Didático no Contexto Escolar e o PNLD

Para Lajolo (1996), apesar de não ser o único material utilizado por professores e alunos, o livro didático destaca-se entre os demais materiais escolares, assumindo um papel central na circulação e apropriação de conhecimentos. É escrito, editado e comercializado para atender a uma utilização escolar sistemática no ensino-aprendizagem de um objeto do conhecimento humano e, não raro, torna-se um elemento determinante de conteúdos a serem ensinados e estratégias de ensino.

O livro didático não se dirige apenas aos alunos. O professor aparece no cenário como “uma espécie de leitor privilegiado da obra didática”(LAJOLO, 1996, p.5), sendo destinado a ele um exemplar próprio: o “livro do professor”. Para a autora, professor e livro devem dialogar como aliados, parceiros que objetivam o sucesso do processo de aprendizagem e, desta forma, todos os componentes do livro didático, como textos, imagens, atividades e encadernação, devem estar em função do sucesso daquele processo.

Entre as exigências impostas aos livros didáticos é importante que não veiculem informações incorretas, conforme os conceitos atualmente aceitos, do mesmo modo que não devem promover discriminações, preconceitos ou qualquer forma de violência. Cabe ao professor, como atividade prévia à utilização do livro, realizar a leitura atenta do mesmo, de tal forma que durante as aulas possa realizar as devidas interferências no conteúdo. Nas situações necessárias, o professor deve chamar a atenção dos alunos para o fato de que o livro merece ressalvas. A segurança com que o professor realiza tais correções “dá o tom da discussão com os alunos dos limites da infalibilidade dos saberes” (LAJOLO, 1996, p.7).

Quanto às formas de utilização do livro didático na educação básica, é comum o discurso de que o livro assume papel central no ensino. Pesquisas realizadas nas décadas de 1970 e 1980 confirmavam este pressuposto. (ZAMBON e TERRAZZAN, 2017) No entanto, os estudos que convergem para este protagonismo, apontando para uma utilização exclusiva dos livros didáticos no ensino, foram realizados num contexto educacional diferente do atual, de forma que pesquisas mais recentes apontam para uma utilização do livro didático como mais um recurso educacional, entre outros.

Referindo-se especificamente aos livros de ciências, Neto e Fracalanza (2003) relatam um trabalho desenvolvido por pesquisadores do Grupo FORMAR-Ciências, da Faculdade de

Educação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), no qual se pode identificar que os usos que os professores alegam fazer do livro didático podem ser separados em três grupos:

Num primeiro grupo, os professores indicam uso simultâneo de várias coleções didáticas, de editoras ou autores distintos, para elaborar o planejamento anual de suas aulas e para a preparação das mesmas ao longo do período letivo. Num segundo grupo, comentam que o livro didático é utilizado como apoio às atividades de ensino-aprendizagem, seja no magistério em sala de aula, seja em atividades extra-escolares, visando especialmente a leitura de textos, a realização de exercícios e de outras atividades ou, ainda, como fonte de imagens para os estudos escolares, aproveitando fotos, desenhos, mapas e gráficos existentes nos livros. Por fim, num terceiro grupo, os professores salientam que o livro didático é utilizado como fonte bibliográfica, tanto para complementar seus próprios conhecimentos, quanto para a aprendizagem dos alunos, em especial na realização das chamadas “pesquisas” bibliográficas escolares. (NETO E FRACALANZA, 2003, p.148)

Notamos então, uma utilização diversificada do livro didático por parte dos professores, não ficando estes limitados a um único livro e seguindo-o fielmente.

Esta temática também é abordada por Garcia (2012), ao relatar os resultados de trabalhos analisando a presença dos livros de Física e Ciências nas salas de aula:

Um dos trabalhos, do qual sete professores participaram como colaboradores, buscou identificar as relações que esses professores estabelecem com o livro didático de Física. Na ocasião, a maior parte dos professores relatou utilizar o livro para planejar as aulas, buscar referências, exercícios e experimentos para trabalhar com os alunos.

Um segundo trabalho, cujo resultado também foi relatado por Garcia (2012), tratou do papel e do uso do livro didático de Ciências nos anos finais do ensino fundamental:

Os resultados indicaram que as professoras, de acordo com as suas concepções pedagógicas, selecionam os conteúdos do livro didático e os utilizam “como organizador[es] do currículo escolar”, “adequando-os à realidade onde trabalham”. Verificou-se também que o livro tem assumido um papel de material de apoio, “compartilhando espaço com TV, DVD, Vídeos, internet e computadores”, deixando de ser a única fonte de informação. (GARCIA, 2012, p.159)

Vilarinho e Silva (2015) ressaltam que, apesar de ser um recurso educacional dos mais antigos, o livro didático mantém um papel importante no contexto escolar, orientando o processo de ensino-aprendizagem e contribuindo para uma ampliação da formação do professor, que deste se utiliza para identificar e preencher lacunas em seus conhecimentos acerca dos conteúdos.

Especificamente sobre o livro didático de Física, este vem a se tornar elemento presente e acessível aos alunos das escolas públicas a partir da sua distribuição pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2009. As edições seguintes do programa estão vinculadas ao Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

Conforme dados do Ministério da Educação (MEC), referindo-se às coleções presentes no guia de livros didáticos do PNLD 2018, foram adquiridos para distribuição aos alunos das escolas públicas de Ensino Médio, no triênio 2018, 2019 e 2020, 128,8 milhões de exemplares, dos quais 10.731.701 da disciplina Física, distribuídos em 12 coleções. Os números indicam a importância que este material de apoio à educação possui em todo território brasileiro, sendo, portanto, a avaliação das coleções de grande relevância dentro do processo.

Segundo o MEC, para constatar se as obras inscritas se enquadram nas exigências técnicas e físicas do edital, é realizada uma triagem pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Os livros selecionados são encaminhados à Secretaria de Educação Básica (SEB), responsável pela avaliação pedagógica. A SEB escolhe os especialistas

para analisar as obras, conforme critérios divulgados no edital. Estes especialistas elaboram as resenhas dos livros aprovados, que passam a compor o guia de livros didáticos.

2.6 HFC e Natureza da Ciência nos Livros Didáticos de Física

Na seção em que discorremos sobre as concepções de natureza da Ciência presentes no ambiente escolar, destacamos a existência de pontos concordantes entre as múltiplas visões dos estudiosos acerca da mesma, o que nos permite estabelecer alguns parâmetros sobre o que deve ser considerado desejável para a construção de uma concepção adequada nos alunos sobre o tema. Esta concepção deveria abrigar as ideias de que: a Ciência é uma construção humana fortemente influenciada pelo contexto sociocultural de cada época; não há um método universal de se fazer Ciência; a História da Ciência apresenta tanto caráter evolutivo como revolucionário; teorias científicas não podem ser provadas e não são construídas unicamente a partir da experiência. (EL HANI, 2006; FORATO, MARTINS E PIETROCOLA, 2009).

Para Faria, Moraes e Barrio (2009), o livro didático é instrumento fundamental no processo de escolarização e formação nos estudantes de uma consciência científica. Neste sentido, em virtude da marcante presença dos livros didáticos de Física nas escolas de ensino médio, o conteúdo histórico, a abordagem deste e a forma de se apresentar o fazer científico se mostram essenciais para que os professores possam atuar neste terreno. Esses autores, ao analisarem cinco obras didáticas publicadas entre 1964 e 2003 observaram que estas apresentaram a Ciência baseada no empirismo-indutivismo, sendo desenvolvida através de um único método que parte da observação rigorosa, formulação de hipóteses, experimentação para verificação da validade das hipóteses e construção de uma Lei Geral. O método científico apresentado é único e infalível. Portanto, as obras analisadas apresentam uma concepção da natureza da Ciência que se contrapõe ao que consideramos desejável.

Ao realizar a análise de dezesseis coleções didáticas, editadas desde a década de 1980 até 2006, Pagliarini (2007) destaca a presença de mitos históricos e de historiografia *whig* em muitas coleções. A expressão historiografia *whig* é utilizada para se referir a um tipo de estudo histórico em que, conforme Martins (2005), busca-se no passado elementos associados às ideias aceitas atualmente, desprezando-se o contexto da época. “É o caso da busca de precursores, ou de procurar em pesquisadores mais antigos conceitos que foram desenvolvidos muito depois.” (MARTINS, 2005, p.314)

Pagliarini (2007) ressalta que a história que mais se apresenta nas coleções são os mitos como Newton e a maçã, Arquimedes e a banheira e Franklin e sua pipa. No entanto, em sua análise, aquele autor evidencia a existência de “algumas poucas coleções que apresentaram elementos históricos de forma mais pertinente ao assunto em que era abordado, sendo que algumas delas refutam os mitos citados por outras.” (PAGLIARINI, 2007, p.101). O autor relata uma influência positiva dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) nas obras mais recentes de sua análise, porém, em contrapartida, afirma que nem todas, inclusive obras aprovadas pelo PNLEM, ficaram livres de “deslizes no conteúdo histórico apresentado.” (PAGLIARINI, 2007, p.101).

Por fim, sobre a natureza da Ciência, o autor detectou quatro coleções que não apresentam nenhum elemento explícito sobre a discussão da mesma e três coleções com elementos acerca da natureza da Ciência, implícitos em alguns conteúdos históricos.

Com respeito à abordagem histórica da Ciência, Silva (2017) analisou quatorze livros de Física destinados ao 1º ano do ensino médio e aprovados pelo PNLD 2015. O autor concluiu que, apesar de as obras contemplarem conteúdos históricos, há necessidade de melhorias. Ele alega que, em sua maioria, os autores limitam o conteúdo histórico a datas de nascimento e morte de cientistas e de suas descobertas; apenas em alguns casos foi levantada a ideia de que

os pesquisadores não trabalham sozinhos, sendo a evolução científica uma empreitada coletiva. Destaca também em sua análise que, embora as obras didáticas transmitam a ideia de que a Ciência é algo dinâmico, poucas a associam aos contextos sociais, políticos, econômicos e religiosos, que influenciam fortemente o desenvolvimento científico. Desta forma, há um comprometimento do papel que o livro pode exercer no aprendizado sobre a natureza da Ciência.

Ao analisarem a História da Eletricidade nos livros didáticos e paradidáticos destinados aos ensinos fundamental e médio, focalizada em Benjamin Franklin, Silva e Pimentel (2008) relatam em suas conclusões a presença de problemas comuns a todas as obras, como distorções e simplificações, transmitindo uma visão sobre a natureza da Ciência não concordante com o que consideramos ideal para a sala de aula.

Entre os problemas, destacamos a existência de erros e imprecisões históricas; a atribuição de feitos e conceitos a um único personagem, no caso Benjamin Franklin, dando a impressão de que somente ele contribuiu para a construção do conhecimento científico sobre eletricidade aceita atualmente; a presença de uma abordagem indutivista que leva a crer que as teorias científicas são construídas a partir de apenas experimentos. (SILVA e PIMENTEL, 2008, p.157)

Já Höttecke e Silva (2011), ao analisarem o estado da implementação da HFC no ensino de Física a partir dos resultados de conferências de um projeto chamado “History and Philosophy in Science Teaching” (HIPST), concluem que o desenvolvimento de estratégias para a implementação da HFC, com apoio e aceitação dos professores, apresenta-se como um grande desafio. Quatro aspectos foram destacados e considerados pelos autores como os principais obstáculos a esta implementação:

- Uma cultura de ensino de física que difere das culturas de ensino de outros assuntos escolares;
- Habilidades, atitudes e crenças dos professores de física sobre o ensino de física e epistemologia;
- Estrutura institucional do ensino de ciências, com foco especial no desenvolvimento curricular;
- Falta de conteúdo adequado de HFC nos livros didáticos. (HÖTTECKE e SILVA, 2011, p. 295, tradução nossa)

O quarto aspecto refere-se aos livros didáticos. Os autores destacam que existem vários artigos discutindo os problemas referentes à implantação da HFC na sala de aula, mas que, dificilmente, os livros didáticos são considerados como elementos-chave nessa problemática. Os autores são categóricos ao afirmar que, mesmo com as inovações tecnológicas, o livro didático continua a ocupar um lugar crucial na relação entre professores, conteúdos e alunos. Eles chamam a atenção ainda para o fato de os livros didáticos serem a principal fonte de conhecimento no ensino de ciências escolar, influenciando fortemente as decisões curriculares.

Os mesmos autores fazem um paralelo entre o que seria uma apresentação desejável do conteúdo de HFC nos livros didáticos e o que se observa de fato. Consideram como situação ideal a existência de conteúdos históricos combinados e integrados ao conteúdo científico com relatos históricos capazes de promover uma visão adequada sobre a natureza da Ciência, retratando-a como um empreendimento impregnado de influências socioculturais, fruto de um trabalho colaborativo entre historiadores, filósofos e os autores das obras didáticas. Tomam ainda como desejável a presença de atividades explícitas promovendo uma discussão sobre a natureza da Ciência. No entanto, esses autores entendem que os livros didáticos vêm transmitindo narrativas que reforçam uma visão empírico-indutivista ingênua da Ciência, com conteúdo isolado em caixas de texto, sobretudo resumido a datas, nomes e linhas do tempo. Mencionam também a ausência de atividades que abordem o aprendizado sobre a natureza da Ciência. Esses autores chamam ainda a atenção para o fato de que visões distorcidas sobre a

natureza da Ciência promovidas por livros didáticos são preocupantes, considerando-se o nível de importância deste recurso no contexto educacional, inclusive como fonte de aprendizado de conteúdo de HFC para os próprios professores.

Leite (2002) afirma que há evidências de que os professores dependem muito dos livros didáticos para selecionar o conteúdo histórico que incluem em suas aulas de Física. A autora associa esta dependência à falta de formação da maioria dos professores sobre a História da Ciência, e que, desta forma, a história que ensinam é aquela contida no livro didático utilizado. Ela enfatiza, pois, a necessidade de se avaliarem os livros didáticos no que se refere à presença de conteúdos históricos e como estes são inseridos. A autora defende que haja nas obras uma apresentação do conteúdo científico historicamente organizado, afirmando que, desta forma, seria transmitida ao aluno uma ideia verdadeira sobre a natureza da Ciência e como esta evoluiu.

A autora desenvolve em seu trabalho um instrumento para avaliação dos livros didáticos no que se refere à presença e apresentação dos conteúdos históricos. A validação do instrumento foi realizada a partir da avaliação de cinco livros utilizados em escolas portuguesas. Este instrumento de avaliação servirá de base para a elaboração do instrumento de avaliação de livros didáticos em nosso trabalho.

2.7 Critérios de Análise de Conteúdo Histórico em Livros Didáticos de Física

Considerando que informações históricas em livros didáticos podem ser inseridas de muitas maneiras diferentes, torna-se interessante que se possa, a partir de critérios pré-definidos, analisar as obras disponíveis quanto a esse aspecto.

As coleções do componente curricular Física que constam no guia do PNL D 2018 foram aprovadas pelo Ministério da Educação segundo critérios especificados no Guia de Livros Didáticos para o Ensino Médio. Dentre os critérios eliminatórios da área de Ciências da Natureza, destacamos o item que especifica se o livro

d. Desenvolve os conteúdos e as atividades de forma contextualizada, considerando tanto a **dimensão social e histórica da produção de conhecimento** quanto a dimensão vivencial dos estudantes no que se refere à preparação para a vida e para o mundo do trabalho; (GUIA DE LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO DO PNL D 2018 – COMPONENTE CURRICULAR FÍSICA, 2017, p. 19, grifo nosso)

Dentre os critérios eliminatórios específicos para o componente curricular Física, destacamos os itens que especificam se o livro

e. Utiliza abordagens do **processo de construção das teorias físicas**, sinalizando modelos de evolução dessas teorias que estejam em consonância com vertentes epistemológicas contemporâneas;

q. Apresenta os conteúdos conceituais da Física sempre acompanhados ou partindo de sua necessária contextualização, seja em relação aos seus **contextos sócio-cultural-histórico-econômicos de produção**, seja em relação a contextos cotidianos em que suas utilizações se façam pertinentes, evitando a utilização de contextualizações artificiais para esses conteúdos. (GUIA DE LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO DO PNL D 2018 – COMPONENTE CURRICULAR FÍSICA, 2017, p. 19-20, grifo nosso)

Ao observarmos os critérios utilizados pelo MEC para aprovação das coleções didáticas, notamos que estes podem ser atendidos em maior ou menor grau, na medida em que a presença de conteúdo histórico e discussões sobre a evolução do conhecimento científico podem assumir importâncias distintas para os diversos autores. Consideramos, pois, de interesse da comunidade escolar que uma análise seja capaz de diferenciar tais obras no que se refere a

algumas dimensões envolvidas na apresentação de conteúdos de HFC, tornando mais explícitas, para cada obra, as possibilidades oferecidas aos professores que buscam o desenvolvimento de discussões acerca da natureza da Ciência e como esta evolui.

Leite (2002) desenvolveu e validou uma lista de verificação capaz de mostrar as diferenças entre livros didáticos de física com respeito a tais conteúdos. A autora considera relevantes, para esta análise, oito dimensões principais:

- Tipo e organização da informação histórica;
- Materiais utilizados;
- Exatidão da informação histórica;
- Contextos aos quais a informação histórica está relacionada;
- Status do conteúdo histórico;
- Atividades de aprendizagem que lidam com a história da ciência;
- Consistência interna do livro;
- Bibliografia sobre a história da ciência. (LEITE, 2002, p.343, tradução nossa)

- A primeira dimensão é dividida em duas partes, às quais a autora se refere como sub-dimensões. Essas subdimensões procuram analisar como são apresentados os cientistas (dados biográficos, características, se geniais ou pessoas comuns) e como é descrita a evolução da ciência (se linear ou com controvérsias e rupturas), bem como os responsáveis por esta evolução (cientistas isolados, grupos de cientistas ou comunidade científica).

- Na segunda dimensão, a autora objetiva avaliar quais materiais são utilizados para apresentar o conteúdo histórico: imagens de cientistas, máquinas e equipamentos; documentos e textos originais; experimentos históricos; textos do próprio autor e outros.

- A terceira dimensão se refere à exatidão das informações históricas contidas no livro.

- A quarta dimensão busca avaliar a quais contextos a informação histórica contida no livro didático é associada: contexto científico; tecnológico; social; político; religioso.

- A quinta dimensão se refere ao grau de importância atribuído ao conteúdo histórico: fundamental ou complementar (opcional).

- A sexta dimensão está associada às atividades de aprendizado relacionadas com o conteúdo histórico, buscando avaliar os tipos de atividades, os níveis das mesmas e a importância a elas atribuída.

- A sétima dimensão, a qual a autora denomina consistência interna do livro, diz respeito ao tipo de informação histórica e sua integração ao texto dos capítulos ou seções. A autora classifica uma obra como homogênea quando apresenta o mesmo tipo de informação histórica e a mesma maneira de integrá-la em todos os capítulos.

- A oitava dimensão relacionada pela autora diz respeito à existência de bibliografia sobre a história dos diversos tópicos de conteúdo tratados. Se os livros didáticos incluem referências a livros sobre a história das questões abordadas ou incluem apenas referências a livros de ciências que contêm algumas informações históricas.

A lista de verificação desenvolvida por Leite (2002) prevê, para cada item, não apenas a presença ou ausência do mesmo, mas a indicação do número de ocorrências do item avaliado no livro.

Já Pagliarini (2007), para analisar o conteúdo histórico e a natureza da Ciência nos livros didáticos de Física, utilizou três categorias principais: a primeira relaciona-se à maneira como o conteúdo histórico é encontrado na coleção didática, identificando as seguintes possibilidades: ausente; em seções independentes ou caixas de texto ou integradas ao texto principal do livro junto aos conceitos, teorias e fórmulas. A segunda categoria refere-se às ideias difundidas sobre a natureza da Ciência: se o livro faz menções implícitas ou explícitas ao “método científico” ou se existem discussões mais aprofundadas sobre a natureza da Ciência, referindo-se à mesma como uma construção humana e descartando a existência de um método científico único e universal. Por último, a terceira categoria utilizada pelo autor diz respeito à

qualidade do conteúdo histórico: história excessivamente simplificada limitando-se a datas e pequenas biografias; história considerando uma evolução linear da Ciência ou conteúdos complementando a abordagem científica satisfatoriamente.

Embora esses critérios já tenham sido propostos, neste trabalho será desenvolvido um instrumento próprio de avaliação das coleções didáticas presentes no PNLD 2018, componente curricular Física, no tocante à inserção da HFC e possíveis discussões sobre a natureza da Ciência. Esse instrumento será apresentado no capítulo de resultados da pesquisa.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição da Pesquisa

Para atingir os objetivos traçados, julgamos interessante dividir a pesquisa em três partes.

A primeira parte, com um caráter qualitativo descritivo, tem foco nos professores. Nela, buscamos obter um diagnóstico de como os docentes que lecionam a disciplina Física no ensino médio nos municípios de Paracambi, Seropédica e Japeri – que fazem parte do entorno da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – percebem a importância da contextualização histórica dos conhecimentos; se buscam atuar nesta linha; se possuem formação para tal; além de enfocarmos suas relações com o livro didático no tocante a este tema.

Segundo Gil (2002) as pesquisas descritivas podem ter como objetivo o levantamento de atitudes e crenças de uma dada população. Em nosso caso, optamos por ouvir os indivíduos que atuam na “ponta da linha”: a sala de aula. Julgamos importante a obtenção deste diagnóstico, uma vez que o professor é o principal elo entre o material didático e o aluno. As perspectivas destes profissionais acerca de quaisquer questionamentos referentes ao processo ensino-aprendizagem são norteadoras para a busca de possíveis soluções e, portanto, estão revestidas de grande relevância. Deve-se esclarecer que evitamos ampliar o escopo do trabalho com fatores adicionais que poderiam surgir numa estrutura de questões abertas. Aspectos como tempo disponível, questões de infraestrutura escolar e outras mais amplas, ligadas à atividade docente, não foram abordadas.

Com base nisso, entre junho e setembro de 2019, foi aplicado um questionário para 21 professores dos municípios citados, os quais se voluntariaram a participar. A escolha do questionário justifica-se pelo fato de o mesmo nos permitir visualizar a percepção dos atores do problema em estudo, além de ser um instrumento de baixo custo. Ainda segundo Gil: “[...] pode-se verificar que o questionário constitui o meio mais rápido e barato de obtenção de informações, além de não exigir treinamento de pessoal e garantir o anonimato.” (GIL, 2002, p.115) O nosso questionário (APÊNDICE A) possui treze questões fechadas. Nas quatro primeiras questões, busca-se traçar um perfil profissional dos participantes da pesquisa, como formação docente e há quanto tempo lecionam Física. Em seguida, aparecem os questionamentos acerca da implementação da HFC na sala de aula e a presença do livro didático nesta empreitada. Aqui, um dos objetivos é visualizar o papel que o livro vem assumindo na atividade docente destes professores. Por fim, abre-se espaço, no item quatorze, para que o participante possa tecer um comentário livre.

A segunda parte da pesquisa consistiu na escolha do tópico curricular associado ao conteúdo histórico a ser abordado no produto educacional a ser elaborado, sendo que a temática escolhida foi utilizada como ferramenta para inserção da HFC e de tópicos acerca da natureza da Ciência no ensino médio. A escolha foi feita a partir da construção, possibilitada pelo referencial teórico adotado, de uma concepção sobre a natureza da Ciência, considerada adequada à educação básica, e da análise do Currículo Mínimo publicado pela Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ).

A terceira parte da pesquisa, de caráter qualitativo e do tipo bibliográfico, consistiu na realização de uma leitura crítica das doze coleções do componente curricular Física, presentes no guia do PNL 2018, analisando a presença, apresentação e as características do conteúdo histórico referente ao tópico curricular escolhido na segunda parte. Para esta análise, foi elaborado um instrumento próprio de avaliação que nos permitiu classificar, dentro de parâmetros descritos neste instrumento, cada ocorrência de conteúdo histórico nos capítulos analisados. A elaboração do instrumento de avaliação das coleções didáticas apresentou-se

como resultado da análise de instrumentos já utilizados em pesquisas anteriores. Buscamos nestes, os pontos considerados positivos e adequamos a versão final, realizando a leitura integral com a classificação do conteúdo histórico das duas primeiras coleções, que nortearam nossas ações de aperfeiçoamento do instrumento. Para registro, os dados destas leituras são apresentados no Apêndice B.

A análise procedida nas coleções caracterizou o conteúdo histórico presente e também registrou a presença de discussões sobre a natureza da Ciência, a fim de tecer um panorama da visão de ciência transmitida, implicitamente, através dos conteúdos referentes à HFC ou explicitamente, através de eventuais discussões acerca da natureza da Ciência.

3.2 O Produto Educacional

A segunda fase deste trabalho consiste na elaboração de um produto educacional cuja finalidade é auxiliar professores e alunos em uma reflexão sobre a natureza do desenvolvimento científico. O produto se propõe a levar até a sala de aula da educação básica uma narrativa histórica que possa agregar conhecimentos acerca de como a Ciência se constrói, influenciando e sendo influenciada por fatores externos e internos, complementando, assim, o conteúdo histórico presente nos livros didáticos. Para tal, esse produto foi produzido na forma de um paradidático, introduzindo informações históricas acerca de um tópico específico do conteúdo curricular de Física do ensino médio, procurando, desta forma, minimizar a possibilidade de uma excessiva simplificação e falta de profundidade. Conforme Rodrigues (1996), “o paradidático, por não ter a preocupação de dar conta do currículo de um ano inteiro, pode trabalhar um tema em profundidade e em vários ângulos”(RODRIGUES, 1996, p.82) e, no caso de conteúdo relacionado à História da Ciência, há necessidade de um nível de aprofundamento capaz de retratar a construção do conhecimento de forma próxima à realidade.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Diagnóstico da Percepção dos Professores sobre o Tema

Como percebemos nas seções anteriores deste trabalho, muitos autores têm publicado textos sobre as contribuições que a HFC pode trazer à educação básica, no sentido de aproximar o aluno da humanidade contida em tais conhecimentos, contribuindo, assim, para o desenvolvimento em sala de aula de uma concepção sobre a natureza da Ciência, considerada mais próxima da realidade. Entretanto, nesses próprios textos são destacadas as dificuldades e desafios intrínsecos a este tema.

Na primeira parte de nosso trabalho, lançamos, então, alguns questionamentos a professores de Física de escolas públicas e particulares de ensino médio para a construção de um panorama sobre a relação destes com a HFC. Apresentamos a seguir a análise das respostas às perguntas apresentadas no questionário (APÊNDICE A).

Nas quatro primeiras perguntas, buscamos construir um pequeno perfil dos participantes da pesquisa.

Com relação à pergunta 1 (Você leciona Física há quanto tempo?) observamos uma predominância de professores experientes, com mais de dez anos de docência, em relação às outras categorias: nove professores (42,9%) atuam há mais de dez anos; quatro (19%) atuam entre cinco e dez anos; seis participantes (28,6%) lecionam entre um e cinco anos e apenas dois (9,5%) lecionam a menos de um ano.

Quando tratamos da inserção de estratégias de ensino utilizando HFC, a experiência pode, na verdade, configurar-se como um obstáculo. Höttecke e Silva (2011) citam que pesquisas sobre atitudes e crenças dos professores indicaram um alto grau de estabilidade. Atitudes e crenças bem estabelecidas podem se constituir em um empecilho à implementação da HFC, na medida em que esta, ao se constituir em novas práticas curriculares, pode vir a se opor às crenças já consolidadas entre os docentes.

Na pergunta 2 (Em que tipo(s) de escola(s) você leciona?) obtivemos que treze participantes (61,9%) lecionam em escolas da rede pública de ensino. Destes, seis (28,6%) também atuam em escolas particulares e apenas dois (9,5%) lecionam apenas em escolas da rede particular. Este resultado vem realçar o fato de que a grande maioria dos participantes tem acesso aos livros didáticos do PNLD, objeto da segunda parte da nossa pesquisa.

Com relação à pergunta 3 (Qual sua área de formação?), apenas dez docentes (47,6%) possuem formação em Física. Sete (33,4%) são licenciados em Matemática, dois (9,5%) em Química e dois (9,5%) em Biologia. Estes resultados explicitam uma carência de professores com formação específica em Física, o que se apresenta como um obstáculo à implementação da HFC em sala de aula, uma vez que a formação do professor é muito relevante neste aspecto.

A pergunta 4 (Em sua formação como professor, você cursou alguma disciplina relacionada à História e Filosofia da Ciência?) refere-se à formação específica relacionada à HFC. Nove professores (43,9%) responderam não ter cursado nenhuma disciplina relativa à HFC em sua formação inicial. Quatro participantes (19%) informaram ter cursado um período. Cinco docentes (23,8%) declararam ter cursado dois períodos e três professores (14,3%) cursaram mais de dois períodos referentes à HFC. Quase a metade dos participantes não cursou, em sua formação, qualquer disciplina associada ao tema. Este índice se constitui em mais um obstáculo. Com efeito, ao abordarmos neste trabalho a HFC e a formação de professores, nos deparamos com afirmações, como a de Höttecke e Silva (2011), de que o professor é o elemento mais importante quando tentamos implementar HFC em sala de aula. Portanto, o número de professores sem nenhuma formação nesta área afeta diretamente sua implementação.

A partir da pergunta 5, buscamos obter o posicionamento dos participantes sobre a temática:

As analisarmos as respostas à pergunta 5 (Que grau de importância, dentro da formação educacional dos alunos, você atribui à contextualização histórica dos conteúdos?) notamos que há, entre os docentes, uma conscientização sobre a importância da contextualização histórica dos conteúdos ao se lecionar Física, exteriorizada por uma parcela de quinze participantes (71,4%) que a consideram muito importante e os demais seis professores (28,6%) que a consideram importante. Há que se destacar que as opções “pouco importante” e “sem nenhuma relevância” não foram assinaladas por nenhum dos participantes.

Na pergunta 6 (Independentemente do grau de importância que você tenha atribuído na resposta anterior, você acredita que a inserção da História da Física em sala de aula pode produzir resultados satisfatórios em qual (oi quais) aspectos a seguir?) buscamos identificar quais aspectos os professores julgam poderem ser beneficiados com a implementação da HFC em sala de aula. Dezesete participantes (81%) acreditam numa conscientização dos alunos sobre a natureza da Ciência, de como se constrói o conhecimento. Nove docentes (42,9%) acreditam numa melhoria na capacidade de argumentação dos alunos e oito professores (38,1%) entendem que a HFC pode contribuir para a compreensão dos conceitos. A soma dos percentuais ultrapassa 100% em virtude dos participantes poderem assinalar mais de um item. Os dados obtidos vão ao encontro dos resultados de Teixeira, Greca e Freire (2012a; 2012b) já apresentados neste trabalho, relatando pesquisas no exterior e no Brasil que mostraram resultados satisfatórios acerca dos efeitos da aplicação didática da HFC na compreensão dos alunos sobre a natureza da Ciência.

Na pergunta 7 (Você considera que em sua prática tem conseguido atender as orientações da BNCC, isto é, além de transmitir os conteúdos, contextualizá-los historicamente para que o aluno perceba como se dá a construção do conhecimento?), obtivemos de treze professores (61,9%), ou seja, da maioria, a resposta de que têm tentado e conseguido parcialmente. Três docentes (14,3%) afirmam conseguir alcançar tal objetivo. Outros três participantes (14,3%) informam estar tentando, mas não conseguindo atingir o objetivo. Dois participantes (9,5%) declararam não tentar contextualizar historicamente os conteúdos.

Neste item 7 temos, explicitada nas respostas dos participantes, a realidade da sala de aula. Muitos fatores afetam a atuação e o possível sucesso dos professores ao colocar em prática qualquer ação pedagógica. Neste trabalho voltaremos nossa atenção para o papel que o livro didático pode assumir como auxílio ao professor na contextualização histórica dos conhecimentos e na discussão sobre a natureza da Ciência. Outros fatores, como carga horária, por exemplo, são importantíssimos para a eficácia do trabalho do professor. No entanto, esta discussão não fará parte do escopo deste trabalho.

As respostas à pergunta 8 (Considerando o desejo de colocar em prática as orientações sobre a contextualização histórica dos conteúdos e o desenvolvimento da Ciência como construção humana, como você se sente em termos de preparação para isso?) mostram que os professores sentem-se confiantes, apesar de isso não refletir exatamente a formação que possuem sobre o tema. Apenas dois professores (9,5%) afirmam sentir-se despreparados, enquanto quatro participantes (19%) responderam que se sentem pouco preparados. Um docente afirmou sentir-se muito preparado, enquanto a grande maioria, quatorze professores (61%) afirmam sentir-se razoavelmente preparados para a empreitada. Como dissemos, o resultado não reflete o fato de nove dos participantes (42,9%) não terem cursado sequer uma disciplina relacionada a HFC em sua graduação, conforme os resultados da pergunta 4.

A partir da pergunta 9, procuramos visualizar a relação dos participantes com os livros didáticos e outras publicações que possam contribuir para seu trabalho.

A pergunta 9 (Você faz uso de livros didáticos para consultas ou preparação de suas aulas?) revela que o livro didático está muito presente na prática docente dos participantes.

Dezoito professores (85,7%) afirmaram fazer uso de livros didáticos com frequência. Dois (9,5%) responderam usar eventualmente e apenas um dos participantes afirmou não fazer uso do livro didático.

Em relação à pergunta 10 (Você adota algum livro didático como livro–texto para os alunos em alguma de suas turmas?), quatorze professores (66,7%) afirmaram não adotar livro-texto e apenas sete participantes (33,3%) adotam livro didático como livro texto em sala. É interessante observar que, apesar de apenas um dos participantes ter afirmado, ao responder a pergunta 9, não fazer uso do livro didático, notamos que apenas um terço dos participantes adotam livro-texto. Esta aparente contradição pode ser explicada por trabalhos já aqui citados: Zambon e Terrazzan (2017), Neto e Fracalanza (2003) e Garcia (2012) relatam os diferentes usos dos livros didáticos pelos professores: como ferramenta de consulta, como elemento para preparação das aulas e não necessariamente como o único texto a ser seguido em sala.

A pergunta 11 (Os livros didáticos que você utiliza atualmente (para quem usa), como fonte de consulta ou como livro-texto trazem conteúdos acerca da História da Física?) objetivou esclarecer se os docentes têm utilizado os conteúdos relacionados à HFC presentes nos livros didáticos. Nove participantes (42,9%) afirmaram que fazem uso deste conteúdo em sala de aula. Quatro professores (19%) afirmam que não costumam utilizar o conteúdo de História da Ciência contido nos livros didáticos, quatro (19%) afirmaram que os livros utilizados não trazem tal conteúdo, um (4,8%) não observou a ocorrência deste conteúdo e três (14,3%) não responderam à pergunta. As respostas a esta pergunta mostram que a maioria dos docentes não utiliza, em sala de aula, os conteúdos de HFC presentes nos livros didáticos. No entanto, este número não nos permite afirmar que estes docentes não estejam tentando trabalhar conteúdos históricos em suas aulas, uma vez que tais conteúdos podem ser obtidos em outras fontes. Retomando as respostas à pergunta 7, apenas dois participantes afirmaram não tentar trabalhar a contextualização histórica dos conteúdos.

As perguntas 12 e 13 referem-se ao conhecimento que os docentes possuem sobre outras publicações que possam servir de apoio a sua prática.

Com relação à pergunta 12 (Pensando nas dificuldades de se colocar em prática as orientações sobre a contextualização histórica e a construção do conhecimento como um empreendimento humano sujeito à influência sociocultural de sua época, você tem conhecimento de materiais (textos), além dos contidos nos livros didáticos, que possam ser utilizados como apoio para as aulas?), apenas cinco professores, ou 23,8%, afirmaram fazer uso frequente de outros textos além dos livros didáticos. Lembrando que na pergunta 9 obtivemos que dezoito participantes (85,7%) afirmaram fazer uso frequente do livro didático para consultas ou preparação de suas aulas, vemos reforçada a presença deste como principal fonte textual dos docentes e conseqüentemente, em relação à HFC, seu conteúdo dotado de grande relevância.

Ainda referindo-se à pergunta 12, dez professores (47,6%) responderam que conhecem outros materiais e fazem uso destes apenas esporadicamente. Três professores (14,3%) afirmaram conhecer outras publicações, mas não utilizam. Por fim, três professores (14,3%) afirmaram não conhecer outros materiais além dos livros didáticos.

Na pergunta 13, listamos alguns periódicos relacionados ao ensino de ciências e questionamos se os participantes já utilizaram algum ou alguns deles. Em relação às respostas a essa pergunta, o somatório dos índices percentuais pode ultrapassar 100% ou não atingir 100%, uma vez que os participantes podiam assinalar mais de uma opção ou nenhuma opção de resposta. Nesta questão, seis participantes (28,6%) responderam que já utilizaram o Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Seis participantes (28,6%) afirmaram já ter utilizado a Revista Ciência e Educação. Cinco professores (23,8%) afirmaram ter utilizado a Revista Brasileira de Ensino de Física. Dois (9,5%) responderam que já utilizaram a revista A Física na Escola e

apenas um participante citou ter utilizado a Revista Brasileira de Pesquisa em Educação e Ciências.

Apesar de alguns professores terem assinalado ter feito uso de um os mais deles, pelo menos alguma vez, oito participantes, ou 38,1%, não assinalaram nenhum dos periódicos. Evidentemente, as opções apresentadas não são as únicas disponíveis para consulta. No entanto, são materiais que podem contribuir para o enriquecimento do professor para além do livro didático. Como não faz parte do objetivo deste trabalho, não nos aprofundaremos na discussão acerca de como o uso destes materiais pode tornar-se mais frequente entre os docentes da educação básica.

Quanto ao espaço aberto no item 14 (Você gostaria de tecer algum comentário que possa enriquecer nossa pesquisa?), não houve comentários relevantes para a pesquisa.

A partir das respostas dos participantes, observa-se que, independentemente das dificuldades, a grande maioria dos professores tem tentado trabalhar a contextualização histórica dos conteúdos de física em sala de aula. Conclui-se, também, que há uma heterogeneidade no grupo, no que se refere à presença de conteúdos de HFC em suas formações. Predominam docentes sem qualquer tipo de formação acerca do tema. No entanto, a despeito deste cenário, a maioria se considera razoavelmente preparada para atuar na inserção da temática em sala de aula.

As respostas dos docentes mostraram também que existe uma consciência da importância da inserção de elementos de HFC para a educação científica dos alunos. A partir deste pressuposto, considerando que a maior parte dos professores admitiu utilizar o livro didático de alguma forma, podemos inferir que este pode vir a ser um importante aliado dos docentes, funcionando no sentido de preencher lacunas de conhecimento deixadas durante a formação. Neste caso, a qualidade da informação presente nos livros torna-se bastante relevante.

Quanto a outras publicações afetas ao ensino de Física, observamos que seu uso ainda é tímido entre os participantes. Uma minoria conhece e já fez uso destas. Abre-se, aqui, uma possível discussão sobre o que pode ser pensado para uma maior popularização destes materiais entre os professores da educação básica.

4.2 Escolha do Tema do Produto Educacional

Segundo Forato, Martins e Pietrocola (2009), a viabilidade do emprego de episódios históricos na educação básica exige que se conciliem necessidades didático-pedagógicas e histórico-epistemológicas e, a partir da definição do objetivo pedagógico e dos aspectos da construção do conhecimento que se deseja abordar, a primeira etapa a ser cumprida é a escolha do conteúdo histórico a ser utilizado. É possível explorar em sala de aula vários aspectos da natureza da Ciência e para ilustrá-los podem ser utilizados diversos conteúdos da História da Ciência. Ainda segundo os autores, deve-se atentar ao grau de profundidade da abordagem, considerando o nível de escolaridade a qual é dirigida. Excessivas simplificações, com narrativas muito superficiais, podem comprometer a finalidade de compreensão do desenvolvimento científico, configurando uma pseudo-história.

A partir da análise das concepções sobre a natureza da Ciência feita na seção 2.3 e do conteúdo programático do ensino médio descrito no Currículo Mínimo, publicado pela SEEDUC-RJ, nos sentimos direcionados a adotar como tema do produto educacional a história das máquinas térmicas e a Termodinâmica.

No programa previsto para o 1º bimestre da 2ª série do ensino médio, o Currículo Mínimo descreve as seguintes habilidades e competências a serem adquiridas:

- Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.
- Compreender que o surgimento das primeiras máquinas térmicas na Inglaterra no século XVIII, as máquinas a vapor, está diretamente relacionado com a Primeira Revolução Industrial.
- Compreender que o surgimento das máquinas térmicas provocou profundas mudanças na sociedade da época, seja nas relações entre patrões e empregados, seja revolucionando os transportes.
- Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos.
- Compreender a diferença entre temperatura e calor a partir do modelo atomista da matéria.
- Relacionar o modelo atomista da matéria com os conceitos de calor, temperatura e energia interna.
- Compreender fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos, identificando e relacionando as grandezas envolvidas.
- Compreender os conceitos de trabalho e potência a partir de uma máquina térmica.
- Compreender a relação entre variação de energia térmica e temperatura para avaliar mudanças na temperatura e/ou mudanças de estado da matéria, em fenômenos naturais ou processos tecnológicos. (CURRÍCULO MÍNIMO 2012, SEEDUC-RJ, COMPONENTE CURRICULAR FÍSICA, p. 7)

Nota-se o forte apelo à contextualização histórica, sobretudo com relação ao aspecto sócio-histórico. De fato, a invenção das máquinas térmicas influenciou enormemente a sociedade da época e ainda impulsionou estudos científicos que culminaram com o estabelecimento da Termodinâmica como uma das grandes áreas da Física. Enxergando esta riqueza de elementos, optamos por adotar esta temática em nosso produto educacional. Trata-se de um material de apoio ao professor, na forma de um livro paradidático, cuja ideia principal é inserir aspectos da natureza da Ciência durante a narrativa histórica. Tais aspectos estão entre os que relacionamos na seção 2.3, dentre os quais são destacados:

- Não há uma maneira única de se fazer ciência, isto é, não há um método científico universal a ser seguido rigidamente;
- Observações são dependentes de teorias. Uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente;
- Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas;
- A ciência e a tecnologia impactam uma à outra.

Ressaltaremos também um aspecto a ser evitado na visão sobre a ciência: a visão individualista e elitista da ciência, na qual os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo.

4.3 Avaliação do Conteúdo Histórico nos Livros Didáticos

4.3.1 Elaboração do instrumento de avaliação do conteúdo histórico nos livros didáticos

Com o objetivo de realizar uma avaliação capaz de diferenciar as coleções didáticas aprovadas no PNLD 2018, no que se refere à presença e apresentação de conteúdo histórico referente aos tópicos temperatura, calor e Termodinâmica, optamos por elaborar um instrumento de avaliação que seja capaz de evidenciar tais diferenças e nos permitir tecer um panorama de como tais conteúdos vêm sendo apresentados nos livros didáticos. Nos instrumentos de avaliação desenvolvidos por outros pesquisadores, anteriormente citados neste trabalho, encontramos pontos positivos, pontos passíveis de melhoria e enxergamos a possibilidade de uma complementaridade com eles. Desta forma, o instrumento de avaliação

aqui construído utilizou como referência os trabalhos de Leite (2002) e Pagliarini (2007), com as adaptações julgadas necessárias para o desenvolvimento eficaz da pesquisa e clareza nos resultados. Foi elaborado então um instrumento para avaliação das coleções didáticas baseado em sete categorias, das quais as cinco primeiras possuem subcategorias que especificam padrões com que as informações históricas podem ser associadas. A seguir apresentamos a descrição cada uma das categorias.

(1) Integração do Conteúdo Histórico com os demais conteúdos.

Nesta categoria será analisado se há conteúdo associado à HFC em cada capítulo e, quando este existir, de que forma está inserido no livro na sua relação com os demais conteúdos. Para isto, são especificadas duas subcategorias de classificação:

- (1.1) Informação histórica integrada ao texto da seção/capítulo: neste caso, referências a descobertas científicas ou episódios históricos relevantes estão inseridas no texto principal da seção.
- (1.2) Seção independente ou caixa de texto com conteúdo histórico: as informações relativas à HFC aparecem em seções isoladas ou caixas de texto, não sendo inseridas no texto principal.

(2) Recursos utilizados para apresentar o conteúdo histórico.

Considerando que uma mesma informação pode ser apresentada de formas diversas, nesta categoria serão analisados e classificados os recursos de textos e imagens utilizados na apresentação do material histórico. São especificadas sete subcategorias:

- (2.1) Documentos/textos originais: são apresentadas imagens de publicações ou traduções de textos originais.
- (2.2) Imagens de cientistas/filósofos.
- (2.3) Pequenas biografias de cientistas/filósofos: quando são mencionadas características e/ou informações da vida de um cientista.
- (2.4) Imagens de máquinas, laboratórios, equipamentos, esquemas ou eventos da época.
- (2.5) Descrição de experimentos históricos: quando são citados os procedimentos realizados pelo cientista, ou cientistas, durante algum experimento.
- (2.6) Textos do autor do livro: a informação histórica é apresentada com as palavras do autor do livro.
- (2.7) Trechos de publicações sobre história da ciência: são apresentados textos, ou fragmentos de textos, de artigos ou livros sobre HFC.

(3) Tipo de descrição da evolução da ciência.

Esta categoria objetiva analisar como o livro descreve o desenvolvimento científico. Quatro subcategorias serão utilizadas para esta análise:

- (3.1) Descrição de uma descoberta científica considerando erros e controvérsias: são citados episódios de disputas entre teorias e erros cometidos durante a consolidação de um determinado conhecimento. Evolução real da Ciência.
- (3.2) Descrição de uma descoberta da ciência sem considerar erros e controvérsias: a evolução científica é apresentada de forma linear, onde há uma sequência de descobertas que vão se completando sem que se considerem controvérsias e eventuais rupturas.
- (3.3) Menção de uma descoberta científica sem descrição do processo: uma descoberta científica é citada como se produzida subitamente por um cientista.
- (3.4) Menção de um episódio histórico: é descrito ou mencionado algum episódio histórico ocorrido com um ou mais cientistas.

(4) Responsáveis pela evolução científica.

Busca-se analisar nesta categoria como o livro apresenta as descobertas científicas com relação às pessoas responsáveis pelas mesmas. São especificadas duas subcategorias:

(4.1) Grupo de cientistas ou comunidade científica: uma descoberta científica é atribuída ao trabalho de mais de um pesquisador, ou seja, trabalho coletivo, sendo, ou não, especificados os autores.

(4.2) Cientista individual: uma descoberta científica é atribuída a um único cientista.

(5) Relação da ciência com a sociedade.

Esta categoria busca analisar como são abordadas as relações entre o desenvolvimento científico e a sociedade como um todo, influenciando ou sendo influenciada por esta. Para este fim, foram definidas três subcategorias:

(5.1) Conteúdo histórico relacionando a ciência e o contexto social/político e econômico: o desenvolvimento científico aparece relacionado com aspectos sociais, políticos ou econômicos da sociedade.

(5.2) Conteúdo histórico relacionando a ciência e o contexto religioso: o desenvolvimento científico aparece relacionado a questões de origem religiosa.

(5.3) Conteúdo histórico relacionando a ciência e o contexto tecnológico: descobertas e teorias científicas aparecem relacionadas com o desenvolvimento tecnológico, como fabricação de máquinas, desenvolvimento de meios de comunicação, transportes e equipamentos de uso geral na sociedade.

(6) Presença de atividades de aprendizado envolvendo conteúdo histórico.

É verificada a presença de atividades relacionadas com a HFC na seção. Será registrada somente a presença ou não de tais atividades, não sendo computado seu quantitativo em cada seção. O motivo de não se registrar a quantidade de atividades em cada seção é o fato de que há uma diversidade de atividades com diferentes graus de complexidade que pode ser proposta, de forma que este quantitativo poderia produzir uma imagem que não necessariamente refletiria uma verdade em termos da importância dada pelo autor à temática deste trabalho.

(7) Presença de discussões explícitas sobre a Natureza da Ciência.

Esta categoria objetiva detectar a presença de textos que fomentem um entendimento de como a ciência se desenvolve. Conforme vimos, para muitos estudiosos, padrões de apresentação de informações históricas que fomentem uma visão da ciência como um empreendimento humano, sujeito a influências externas ao meio científico, são os ideais para que se promova, em sala de aula, uma visão adequada sobre a Natureza da Ciência. A existência de discussões explícitas sobre a Natureza da Ciência constitui-se, então, em um elemento que agrega valor neste sentido. Desta forma, durante a avaliação, a presença de tais discussões nas coleções será observada e registrada como um elemento diferenciador das publicações.

É importante destacar que a exatidão das informações históricas contidas nas coleções não será avaliada, uma vez que para proceder a tal avaliação seria necessário um nível de conhecimento acerca da História da Ciência além do possuído pelo autor deste trabalho.

Foi realizada a leitura de todos os capítulos referentes aos tópicos Temperatura, Calor e Termodinâmica das coleções didáticas. Para cada capítulo, procedeu-se a uma breve descrição do conteúdo, especificando a seção onde este foi encontrado. Ao final da descrição, os padrões de apresentação detectados foram identificados com a numeração correspondente (entre parênteses) presente no instrumento de avaliação. Apenas na ocorrência de imagens, a

referência foi colocada imediatamente ao lado da citação da imagem, para que fosse possível quantificá-las. Por exemplo: uma seção de capítulo que apresentou, integrada ao texto, a descrição de uma descoberta científica, considerando erros e controvérsias, relatada por um texto do autor do livro, mostrando a imagem de dois cientistas, relacionando a descoberta ao contexto tecnológico e de autoria de um grupo de pessoas, recebeu, ao final da descrição da seção, as referências: (1.1) (2.6) (3.1) (4.2) (5.3). Apenas os padrões de referência das imagens, neste caso (2.2), foram inseridos durante a descrição do conteúdo da seção, aparecendo, neste caso, duas vezes. Esta identificação nos possibilitou, ao término da análise de cada coleção, contabilizar o número de ocorrências de cada padrão presente, permitindo a comparação das coleções não apenas quanto aos tipos de padrões apresentados, mais também quanto ao seu quantitativo, além de contribuir para a construção de um panorama de como conteúdos relacionados à HFC têm sido inseridos nos livros didáticos.

4.3.2 Levantamento dos dados nos livros didáticos

Como dissemos, foi realizada a leitura de todos os capítulos nos quais se apresentam conteúdos referentes aos tópicos temperatura, calor e Termodinâmica, das doze coleções didáticas do componente curricular Física, aprovadas pelo PNL D 2018. Durante a leitura de cada exemplar, foi identificada a presença de conteúdos referentes à História da Ciência ou discussões sobre a natureza da Ciência e estes foram classificados de acordo com a forma de apresentação e com os elementos apresentados, sendo demarcados entre parênteses os padrões detectados, conforme identificação apresentada no instrumento de avaliação.

As coleções foram identificadas de A até L conforme a seguir:

Coleção A: Física.

Autores: José Roberto Bonjorno, Clinton Marcico Ramos, Eduardo de Pinho Prado, Valter Bonjorno, Mariza Azzolini Bonjorno, Renato Casemiro e Regina de Fátima Souza Azenha Bonjorno.

Editora: FTD, 3ª edição, 2016.

Coleção B: Física aula por aula.

Autores: Benigno Barreto Filho e Claudio Xavier da Silva.

Editora FTD, 3ª edição, 2016.

Coleção C: Ser Protagonista – Física.

Autores: Ana Paula Souza Nani, Ana Fukui, Madson de Melo Molina, Venê.

Editora SM, 3ª edição, 2016.

Coleção D: Conexões com a Física.

Autores: Glorinha Martini, Walter Spinelli, Hugo Carneiro Reis e Blaidi Sant'Anna.

Editora Moderna, 3ª edição, 2016.

Coleção E: Física para o Ensino Médio.

Autores: Kazuhito Yamamoto e Luiz Felipe Fuke.

Editora Saraiva educação, 4ª edição, 2016.

Coleção F: Física

Autores: Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca e Gualter José Biscuola.

Editora Saraiva educação, 3ª edição, 2016.

Coleção G: Física – Ciência e tecnologia.

Autores: Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antonio de Toledo Soares e Paulo Cesar Martins Penteado.

Editora Moderna, 4ª edição, 2016.

Coleção H: Física – Contexto e Aplicações.

Autores : Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares e Carla da Costa Guimarães.

Editora Scipione; 2ª edição, 2017.

Coleção I: Física em contextos.

Autores : Maurício Pietrocola, Alexander Pogibin, Renata de Andrade e Talita Raquel Romero.

Editora do Brasil; 1ª edição, 2016.

Coleção J: Física – Interação e tecnologia.

Autores : Aurelio Gonçalves Filho e Carlos Toscano.

Editora Leya, 2ª edição, 2016.

Coleção K: Compreendendo a Física.

Autor: Alberto Gaspar.

Editora Ática, 3ª edição, 2016.

Coleção L: Física.

Autores: Osvaldo Guimarães, José Roberto Piqueira e Wilson Carron.

Editora Ática, 2ª edição, 2017.

Após a identificação das coleções, foi observado que, em todas elas, os capítulos que apresentavam os conteúdos de interesse para a pesquisa encontravam-se no volume 2. A partir daí, foi realizada a leitura destes volumes para levantamento dos dados, conforme a seguir:

(a) Levantamento de dados na coleção A:

Unidade 1 – Termologia.

Capítulo 1 – Temperatura e suas medidas.

A seção *Pensando as ciências: Física e História* apresenta um resumo da evolução dos modelos atômicos citando Demócrito, Pierre Gassendi, Robert Boyle John Dalton, Gay-Lussac, Amedeo Avogadro, J.J. Thomson, Ernest Rutherford e Niels Bohr; destaca que todos os modelos destes cientistas eram diferentes entre si. A seção traz uma atividade sobre a história do desenvolvimento dos modelos atômicos. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (6)

Ainda no capítulo 1, uma segunda seção *Pensando as ciências: Física e História* apresenta uma relação de invenções que modificaram a vida das pessoas, entre elas o forno, que, apesar de ser uma invenção pré-histórica, se popularizou com a abertura da primeira fábrica de forno a gás, em 1834, por James Sharp; a geladeira, criada por John Gorrie; a pasteurização de alimentos desenvolvida por Louis Pasteur e o forno de micro-ondas, criado pelo engenheiro americano Percy Spencer. A seção apresenta uma imagem da primeira geladeira da General Electric, de 1927, e uma atividade referente ao conteúdo histórico. (1.2) (2.4) (2.6) (3.3) (4.2) (5.1) (5.3)

A seção 4 – *Escalas termométricas* – apresenta as escalas termométricas usuais, mencionando as datas de proposição das mesmas, e faz uma pequena descrição de como Celsius e Fahrenheit escolheram pontos fixos. (1.1) (2.6) (4.2)

Outra ocorrência da seção *Pensando as ciências: Física e História*, ainda no capítulo 1, apresenta um trecho de uma publicação original de Fahrenheit, onde o próprio descreve a construção de sua escala. (1.2) (2.1) (3.2) (4.2)

Capítulo 2 – Trocas de calor.

Na seção 1 – *Calor e energia térmica* – há a descrição da evolução do conceito de calor nos séculos XVIII e XIX. A seção menciona que a teoria do calórico explicava vários fenômenos e era defendida por Lavoisier e que Benjamin Thompson, observando o aquecimento que ocorria durante a perfuração de metais na fabricação de canhões, passou a questionar a ideia do calórico e a acreditar que o calor seria uma forma de energia, ideia compartilhada por Helmholtz e Joule. Este último, mais tarde, conseguiu medir a quantidade de calor produzida por determinada quantidade de energia mecânica. A seção apresenta uma imagem de Lavoisier (2.2) e uma imagem de Joule (2.2). (1.1) (2.6) (3.1) (4.1) (5.3)

Na seção *Pensando as ciências: Física e História* há um fragmento do livro *A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas*, de autoria de Sergio Quadros, com comentários sobre as contribuições de Joseph Black. A seção traz também uma atividade sobre a História da Ciência. (1.2) (2.7) (3.3) (4.2) (6)

Capítulo 3 – Processos de trocas de calor.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 4 – Dilatação Térmica.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 5 – Mudanças de fase.

Na seção *A história conta* há a descrição da teoria do calórico e as contribuições de Joseph Black, Benjamin Thompson, Joule e Lavoisier para a evolução do conceito de calor. A seção cita também a teoria do flogístico e o trabalho de Lavoisier para o enfraquecimento desta teoria. A seção apresenta uma imagem do aparato utilizado por Joule para determinação do equivalente mecânico do calor (2.4) e uma atividade referente ao conteúdo histórico. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (6)

Unidade 2 – Termodinâmica.

Capítulo 6 – Estudo dos gases.

A seção *Pensando as ciências: Física e História* traz o conceito de gás de Van Helmont do século XVII e apresenta também uma atividade sobre história da ciência. (1.2) (2.7) (4.2) (6)

Na seção 3 – *Transformação isotérmica* – há uma pequena descrição dos trabalhos de Robert Boyle com massas gasosas. (1.1) (2.6) (3.2) (4.2)

A seção 4 – *Transformação isobárica* – menciona experimentos realizados por Jacques Charles e Joseph Louis Gay-Lussac. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

Na seção 8 – *A constante de Avogadro* – é mencionado que experimentos do físico francês Jean Baptiste Perrin, realizados em 1908, permitiram determinar, pela primeira vez um valor para a constante de Avogadro. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 7 – Leis da Termodinâmica

Na seção *Pensando as ciências: Física e História* há um trecho da obra *História da riqueza do homem*, de L. Huberman, relatando a entrada em operação da máquina térmica de Watt. A seção apresenta uma atividade sobre História da ciência. (1.2) (2.7) (3.3) (4.2) (5.3) (6)

A seção 6 – *Ciclo de Carnot* - menciona a proposição de Carnot para um ciclo de máximo rendimento. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Na seção 7 – *Irreversibilidade – degradação de energia – entropia* – é relatado que, em 1865, Rudolf Clausius introduziu o conceito de entropia e, alguns anos depois, Boltzmann, usando a mecânica estatística, associou este conceito a estados mais desorganizados. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

A seção *A história conta* trata da história das máquinas a vapor e das contribuições de Carnot e Clausius para a termodinâmica. (1.2) (2.6) (3.3) (4.1) (5.1) (5.3) A seção apresenta a imagem de um trator a vapor (2.4), de barcos a vapor (2.4) e a imagem de um modelo de uma máquina a vapor (2.4). Na seção há ainda uma atividade sobre a história da ciência. (6)

(b) Levantamento de dados na coleção B:

Unidade 1 – Os caminhos da física.

Capítulo 1 – A terminologia e a óptica na sociedade.

A seção 1 – *Terminologia: uma breve história das máquinas térmicas* – apresenta resumidamente a história das máquinas térmicas com descrições sucintas do digestor de Papin, das máquinas de Savery, Newcomen e Watt, além de associar o desenvolvimento destas máquinas com o contexto socioeconômico da época. A seção traz imagens do digestor de Papin (2.4), esquemas das máquinas de Savery (2.4), Newcomen (2.4) e Watt (2.4) e uma gravura do século XIX de uma máquina a vapor portátil (2.4). (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (5.1) (5.3)

A seção 3 – *Alguns métodos da Física: falseamento* - apresenta uma discussão sobre a epistemologia e a natureza do desenvolvimento científico. Cita o caráter contextual e coletivo da Ciência e menciona uma posição filosófica sobre a ciência, o falseamento, fazendo referência ao filósofo Karl Popper. Encerra chamando a atenção ao fato de que nenhuma observação de fenômenos é livre de uma teoria preexistente. (1.2) (2.6) (7)

Unidade 2 – Terminologia.

Capítulo 2 – Temperatura e suas medidas.

A seção 1 – *Calor* - aborda, de maneira sucinta, a existência, no século XVIII, da ideia do calor como substância: o calórico. (1.1) (2.6) (3.3)

Na seção 3 – *Escala termométricas* –, no item *Escala absoluta ou escala kelvin*, é mencionado que Lord Kelvin “foi um dos primeiros a existência teórica de uma temperatura mínima” para os materiais. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Unidade 3 – Calor: energia em movimento.

Capítulo 4 – Quantidade e trocas de calor.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 5 – Mudança de estado físico.

Na seção 3 – *Representação de mudanças de estado* – no item Experimento de Tyndall, menciona-se que o irlandês John Tyndall foi o primeiro a descrever o experimento do regelo. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 6 – Processos de troca de calor.

A seção 2 – *Transmissão de calor por condução* - cita que Fourier “elaborou” uma expressão que permite determinar a rapidez com que o calor é transmitido por condução. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Unidade 4 – Estudo dos gases e termodinâmica.

Capítulo 7 – Comportamento térmico dos gases.

Na seção 1 – *Estado termodinâmico de um gás* – é mencionado que o entendimento de como as variáveis de estado se relacionam foi um processo baseado em experimentos, destacando-se os trabalhos do anglo-irlandês Robert Boyle e dos franceses Edme Mariotte, Joseph Louis Gay-Lussac e Jacques Charles. (1.1) (2.6) (4.1)

Capítulo 8 – As leis da Termodinâmica e as máquinas térmicas.

A seção 6 – *Segunda lei da Termodinâmica* - cita que Carnot propôs uma máquina teórica ideal e Clausius definiu a grandeza entropia. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção “*Você sabia?*” menciona a contribuição de Boltzmann para a termodinâmica, sendo este considerado o maior responsável pelo desenvolvimento da mecânica estatística. A seção traz uma imagem do cientista (2.2). (1.2) (2.6) (3.3) (4.2)

(c) Levantamento de dados na coleção C:

Unidade 1 – Calorimetria.

Capítulo 1 – Temperatura e calor.

Na seção *Conceitos básicos*, a caixa de texto intitulada *Fatos e personagens* relata que no início do século XIX o inglês Robert Brown observou um movimento caótico de grãos de pólen na água. Este movimento ficou conhecido como movimento browniano e, em 1905, Albert Einstein trouxe a explicação para o mesmo, esclarecendo que se tratava de colisões dos grãos com as moléculas do líquido. (1.2) (2.6) (3.3) (4.2)

Na seção *Medidas de temperatura* é mencionado que se atribui a Galileu a construção do primeiro termoscópio. A seção relata também que Daniel Fahrenheit, ao propor sua escala de temperatura, utilizou como referência as temperaturas do corpo humano, da ebulição da água e da fusão do gelo, referências estas já usadas por Olaf Roemer, que queria construir uma escala apenas com valores positivos. A seção cita os pontos de referência usados por Anders Celsius, que associava o ponto 100 à temperatura de fusão do gelo e o ponto zero à ebulição da água ao nível do mar. Estes valores foram invertidos posteriormente. Por fim, é relatado que à época da criação das escalas Celsius e Fahrenheit ainda não havia sido desenvolvida uma teoria cinético-molecular e coube, mais tarde, a William Thomson (Lord Kelvin) introduzir a escala Kelvin, que adequava a medida de temperatura à energia cinética média das moléculas. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

A seção *Física tem história* traz um texto intitulado *As primeiras medições de calor*. O texto cita inicialmente a sugestão da existência do “flogístico” pelo alemão Georg Ernst Stahl, passando pela hipótese de Francis Bacon de que o calor era composto de partículas em movimento e a teoria do “calórico”. Ressalta então que havia duas correntes de pensamento entre os cientistas: calor como substância e calor como movimento de partículas. A seção relata a seguir as ideias de Rumford, que sugeriam calor como movimento, e os pensamentos de Carnot, que usava o fluxo de “calórico” para explicar o funcionamento das máquinas térmicas. A mesma seção cita ainda os trabalhos de Julius Robert Mayer para obtenção de um equivalente mecânico do calor e o experimento de Joule, que utiliza pás girando em um líquido a partir da queda de dois corpos. O texto afirma que Joule “criou a teoria do princípio da conservação da energia mecânica era o fim da teoria do calor como substância”. A seção apresenta uma ilustração do experimento de Joule para a determinação do equivalente mecânico do calor (2.4) e uma atividade relativa ao conteúdo histórico. (1.2) (2.6) (3.1) (3.3) (4.1) (6)

Capítulo 2 – Processos de transferência de calor.

A seção *Física tem história* cita que Arno Penzias e Robert Wilson, ao testarem antenas de micro-ondas, perceberam a existência de uma radiação que “estava em todas as partes do universo e que foi gerada após o Big-Bang”. (1.2) (2.6) (3.3) (4.1)

Capítulo 3 – O calor e a variação de temperatura.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 4 – O calor e a mudança de estado.

Não apresenta conteúdo histórico.

Unidade 2 – Termodinâmica.

Capítulo 6 – Estudo dos gases.

Na seção *Transformações termodinâmicas*, no item *Transformação isotérmica*, é citado que, no final do XVII, Robert Boyle “concluiu que, durante uma transformação termodinâmica, a pressão de um gás é inversamente proporcional ao volume”. A seção menciona também que, alguns anos depois, Edme Mariotte “enunciou a lei que rege as transformações isotérmicas”. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Ainda na seção *Transformações termodinâmicas*, no item *Transformação isobárica*, é mencionado que Jacques Charles investigou as transformações isobáricas, “mas não publicou os resultados que obteve”, e que, mais tarde, Joseph Louis Gay-Lussac encontrou os mesmos resultados de forma independente. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Na seção *Equação de estado dos gases ideais*, no item *O Princípio de Avogadro*, é relatado que Amedeo Avogadro propôs, em 1811, a ideia do princípio que leva seu nome: volumes iguais de qualquer gás sob mesma temperatura e pressão contêm o mesmo número de partículas. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Ainda na seção *Equação de estado dos gases ideais*, no item *Equação de Clapeyron*, é citado que Paul Émile Clapeyron, baseando-se nos trabalhos de Boyle, Mariotte, Charles e Gay-Lussac, concluiu que a relação entre a pressão, o volume e a temperatura de um gás é proporcional ao número de moléculas e não à massa. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção *Física tem história* traz fragmentos do texto *A descoberta que mudou a humanidade*, publicado na revista *Ciência Hoje*, 16 jul. 2010. O texto aborda o domínio do fogo pelo ser humano, desde as suas primeiras utilizações até a revolução industrial com o advento das máquinas térmicas. A seção apresenta uma atividade referente ao conteúdo histórico. (1.2) (2.7) (3.3) (5.1) (5.3) (6)

Capítulo 7 – Leis da termodinâmica.

A seção *A Termodinâmica e a Revolução Industrial* menciona que a Revolução Industrial iniciada na Inglaterra no século XVIII trouxe, junto à mecanização, vários desafios para engenheiros e cientistas da época e os estudos em torno das máquinas utilizadas contribuíram para o estabelecimento da Termodinâmica. (1.1) (2.6) (3.4)

A seção *Ciclo de Carnot* descreve sucintamente os passos de funcionamento da máquina teórica proposta por Sadi Carnot. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção *Física tem história* traz fragmentos do livro *São Paulo, 450 anos luz: a redescoberta de uma cidade*, de Gilberto Dimenstein e Okky de Souza, ed. de Cultura, 2003. Cita o início da utilização da iluminação a gás na cidade de São Paulo em 1872. Conta ainda que John Clayton em 1684 descobriu como produzir gás a partir da destilação do carvão e que no século XVIII percebe-se seu grande potencial utilitário, a partir de experimentos do francês Phillipe Lebon e do inglês Willian Murdock. A seção traz uma imagem do antigo gasômetro da cidade de São Paulo (2.4), construído no século XIX e uma atividade referente ao conteúdo histórico. (1.2) (2.7) (3.3) (4.1) (5.1) (6)

(d) Levantamento de dados na coleção D:

Unidade 1 – Calor e temperatura.

Capítulo 1 – Temperatura, calor e sua propagação.

Na Seção 4 – *calor* - é citada a observação realizada por Benjamin Thompson (Conde Rumford) do grande aumento de temperatura que ocorria durante a perfuração de canhões, bem

como o fato de que ele associou este aumento de temperatura com o atrito que ocorria. A seção menciona que, ao tomarem conhecimento das observações de Thompson, outros cientistas realizaram experimentos buscando relacionar calor e energia, entre eles Joule, que, realizando experimentos, estabeleceu o equivalente mecânico do calor. A seguir faz uma breve descrição do experimento de Joule e afirma que ele comprovou que calor é uma forma de energia. A seção traz uma figura esquemática do experimento do calorímetro com pás de Joule. (1.1) (2.4) (2.5) (2.6) (3.3) (3.4) (4.2)

Capítulo 5 – Calorimetria.

Na seção *Para saber mais* é descrito novamente o experimento do calorímetro de pás de Joule e há um desenho esquemático do experimento. (1.2) (2.4) (2.5)

Unidade 2 – Gases e Termodinâmica.

Capítulo 6 – Estudo dos gases e a equação de um gás ideal.

Na seção 3 – *Transformações gasosas* –, no item *Transformação isotérmica*, é mencionado que, no final do século XVII, Robert Boyle realizou uma série de experiências e “concluiu” que, nas transformações isotérmicas, pressão e volume são inversamente proporcionais. O esquema experimental é descrito sucintamente e há imagem representando o arranjo. (1.1) (2.4) (2.5) (2.6) (3.2) (4.2)

Ainda na seção 3, no item *Transformação isobárica*, é mencionado que o físico francês Jacques Charles formulou a relação de dependência entre volume e temperatura nas transformações gasosas ocorridas à pressão constante e esta relação foi confirmada pelo também francês Joseph-Louis Gay-Lussac, (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

Na seção 4 – *Equação de Clapeyron ou equação de estado de um gás ideal* – é citado que o francês Benoît Paul-Émile Clapeyron identificou uma relação matemática entre as variáveis de estado de um gás ideal. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 7 – 1ª Lei da Termodinâmica.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 8 – 2ª Lei da Termodinâmica.

A seção 4 – *Máquinas térmicas* – cita o dispositivo construído por Herão de Alexandria, chamado de eolípila, que pode ser considerado uma das primeiras máquinas térmicas, mas ressalta que as máquinas térmicas com aplicabilidade prática, com realização de “grande quantidade de trabalho mecânico”, foram construídas a partir do século XVIII. Cita a máquina de Newcomen, enfatizando que ela tinha baixo rendimento, e que James Watt, ao ser chamado para consertar uma máquina do tipo construído por Newcomen, aperfeiçoou-a, introduzindo um condensador, fazendo com que houvesse um ganho de potência. A seção traz as imagens de uma eolípila (2.4), uma máquina de Newcomen (2.4) e uma máquina de Watt (2.4). (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

A seção 5 – *Ciclo de Carnot: rendimento máximo* – relata que Sadi Carnot “demonstrou teoricamente” que um ciclo que proporcionaria maior rendimento a uma máquina térmica era reversível e estabeleceu um ciclo que permite calcular o máximo rendimento de uma máquina que opere entre uma fonte quente e uma fonte fria. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Na seção 6 – *Entropia* – é mencionado que Clausius “desenvolveu uma relação matemática que expressa o aumento da desordem e a degradação de energia”, ou seja, para a variação da entropia de um sistema, no início da segunda metade do século XIX. (1.1) (3.3) (4.2)

(e) Levantamento de dados na coleção E:

Unidade 1 – Termologia.

Capítulo 1 – Termometria.

A Seção *A Física na história* destaca os procedimentos adotados por Anders Celsius, Daniel Fahrenheit e William Thomson (Lorde Kelvin) para a construção de suas escalas termométricas. A seção descreve sucintamente tais procedimentos e menciona que outras escalas foram criadas mas caíram em desuso, citando a escala Rankine e a escala Réaumur. (1.2) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 3 – Calorimetria.

A seção *O calor* descreve o experimento do calorímetro de pás de Joule e traz uma imagem representativa do mesmo. (1.1) (2.4) (2.5)

Na seção *Condução térmica* é relatado que, em 1815, Humphry Davy inventou um instrumento que leva seu nome, a lâmpada de Davy, utilizado em minas de carvão para detectar gás acumulado. A seção apresenta uma imagem com duas lâmpadas de Davy. (1.2) (2.4) (2.6) (3.3) (4.2) (5.3)

Na seção *Irradiação*, há uma caixa de texto referente à garrafa térmica. No texto é mencionado que este recipiente foi criado no século XIX pelo inglês James Dewar com o objetivo de conservar soluções químicas a temperatura constante. Ele teve seu tamanho reduzido no início do século XX pelo alemão Reinhold Burger, que passou a vendê-lo para uso doméstico. Na caixa de texto há uma imagem de James Dewar. (1.2) (2.2) (3.3) (4.1) (5.3)

A seção *Fluxo de calor por condução*, no item *Lei de Fourier*, apresenta uma imagem de Joseph Fourier. (2.2)

A seção *Radiações térmicas e a lei de Stefan-Boltzmann* relata que Gustav Kirchhoff descreveu o “corpo negro” e os estudos do seu comportamento por Planck e Bohr estabeleceram as bases da Mecânica Quântica. Cita ainda que o poder emissor de um corpo negro foi equacionado pelos austríacos Joseph Stefan e Ludwig Eduard Boltzmann. (1.1) (3.3) (4.1)

Capítulo 4 – Mudanças de estado.

A seção *Fusão e solidificação*, no item *Regelo, uma anomalia*, menciona que Michael Faraday descobriu o fenômeno do regelo e John Tyndall investigou o regelo em geleiras, propondo que o aumento da pressão na sua base provocado pelo peso da geleira provocava fratura e desmoronamento. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

A seção *Isotermas de Andrews* relata o experimento realizado em meados do século XIX pelo irlandês Thomas Andrews modificando as pressões sobre uma amostra de gás à temperatura constante, a fim de determinar as condições necessárias para um líquido coexistir com seu vapor. (1.1) (2.5) (3.2) (4.2)

Capítulo 5 – Estudo dos gases.

Na introdução do capítulo é mencionado que o “estudo sistemático” dos gases teve início no século XVII com o britânico Robert Boyle, que, conhecendo os trabalhos de Otto Von Guericke sobre o vácuo e utilizando uma bomba de vácuo inventada por Robert Hooke, realizou suas investigações. O capítulo cita que o estudo dos gases recebeu contribuições de Jacques Charles e Joseph Gay-Lussac. (1.1) (2.6) (3.2) (4.1)

A seção *Transformações gasosas*, no item *Transformação isotérmica: Lei de Boyle-Mariotte*, menciona que Robert Boyle e Edme Mariotte estudaram estas transformações de maneira independente. A seção apresenta uma imagem de Robert Boyle (2.2). (1.1) (3.3) (4.1)

Ainda na seção *Transformações gasosas*, no item *Transformação isométrica: Lei de Charles*, afirma-se que Jacques Charles “concluiu” que, em uma transformação isométrica, a pressão e a temperatura são diretamente proporcionais. A seção apresenta uma imagem de Jacques Charles. (1.1) (2.2) (3.3) (4.2)

Nesta mesma seção, no item *Transformação isobárica: Lei de Charles e Gay-Lussac*, apenas é mencionado que Jacques Charles e Joseph Gay-Lussac “enunciaram a lei dessa transformação”. Apresenta uma imagem de Joseph Gay-Lussac. (1.1) (2.2) (3.3) (4.1)

A seção *A hipótese de Avogadro e o conceito de mol* cita a construção de teorias atomistas a partir dos trabalhos de Lavoisier, Proust e Dalton. A seção menciona que havia um ponto em desacordo com as previsões relacionado ao volume de gases em algumas reações, ponto que foi solucionado pelo italiano Amedeo Avogadro, ao supor que volumes iguais de gases, nas mesmas condições, apresentam o mesmo número de partículas. A seção ainda destaca as contribuições de Stanislao Cannizzaro na determinação da constante de Avogadro. A seção apresenta uma imagem de Amedeo Avogadro. (1.1) (2.2) (2.6) (3.2) (4.1)

Ainda na seção *A hipótese de Avogadro e o conceito de mol*, no item *A equação de Clapeyron*, é apresentada uma imagem de Émile Clapeyron. (2.2)

Na seção *Mistura de gases*, no item *Lei de Dalton das pressões parciais*, é mencionado que John Dalton, físico e químico inglês estudou as misturas de gases. A seção apresenta uma imagem do cientista. (1.1) (2.2) (3.3) (4.2)

Capítulo 6 – Termodinâmica.

A seção *A física na história* relata que o médico Robert Julius Von Mayer relacionou a energia dos alimentos com a energia necessária para esforço muscular, a partir da observação da coloração do sangue de pacientes em regiões tropicais. Cita que Mayer “construiu a equivalência entre calor, energia e trabalho. A seção apresenta uma imagem de Mayer. (1.2) (2.2) (2.6) (3.3) (4.2)

Na seção *A Segunda Lei da Termodinâmica*, no item *Entropia*, descreve-se o processo de passagem do calor de uma fonte quente para uma fonte fria mencionando as máquinas térmicas de Newcomen e Watt. Nessa seção destacam-se os trabalhos de Carnot, que estabeleceu uma base teórica para o funcionamento das máquinas e enunciou a primeira formulação da 2ª Lei da Termodinâmica, assim como de Clausius, que formulou a 2ª Lei em termos da passagem espontânea do calor do mais quente para o mais frio e, mais tarde, introduziu o conceito de entropia. A seção apresenta uma representação esquemática de uma máquina de Newcomen. (1.1) (2.4) (2.6) (3.3) (4.1)

(f) Levantamento de dados na coleção F:

Unidade 1 – Termologia.

Capítulo 1 – Temperatura.

A Seção 5 - *Escalas Termométricas* - no item *Pontos fixos fundamentais*, menciona que, em 1939, o canadense William Francis GIAUQUE sugeriu que todas as escalas utilizassem um único ponto fixo, o ponto tríplice da água. Tal sugestão, apesar de apoiada por membros da comunidade científica, não é usada por questões de praticidade. (1.1) (2.6) (3.4)

O item *Escalas Celsius e Fahrenheit* apresenta as datas de criação destas escalas, apresenta uma descrição dos procedimentos adotados por Fahrenheit na construção de sua escala, a nacionalidade dos cientistas e destaca o fato de que originalmente Celsius utilizou o valor 100 para o ponto de fusão do gelo e 0 para a ebulição da água, sendo estes valores invertidos após sua morte, em 1744. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Ainda na Seção *Escalas Termométricas*, no item *A escala absoluta*, afirma-se que William Thomson (Lorde Kelvin) propôs a escala que leva seu nome após ter contato com o trabalho de Jacques Charles sobre a relação entre as variações de volume e temperatura de um gás. A seção apresenta, ainda, uma imagem de Lorde Kelvin. (1.1) (2.2) (2.6) (3.2) (4.1)

Capítulo 2 – O calor e sua propagação.

Na seção 2 – *Calor* -, no item *Unidade usual e calor*, afirma-se que James Prescott Joule demonstrou a equivalência entre energia mecânica e energia térmica. (1.1) (3.3) (4.2)

Na seção 3 – *Processos de propagação de calor* – o item *A condução* traz informações sobre o nascimento de Jean-Baptiste Joseph Fourier e afirma que ele criou parâmetros no estudo da teoria do calor. (1.1) (2.3)

A seção *Em busca de explicações* traz informações sobre a invenção da garrafa térmica. Relata que, no final do século XIX, James Dewar criou um recipiente para manter “soluções biológicas a temperaturas estáveis”. Ela traz alguns detalhes do trabalho de Dewar e destaca que o recipiente foi aperfeiçoado pelo alemão Reinhold Burger que o patenteou para uso doméstico, tornando-o rico. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (5.1)

Capítulo 3 – Calor sensível e calor latente.

A seção *Já pensou nisto* trata da panela de pressão. Menciona o episódio no qual seu inventor, Denis Papin, preparou um jantar para seus colegas da Sociedade Real de Ciências utilizando o artefato. (1.2) (2.6) (3.4)

Capítulo 4 – Gases perfeitos.

A seção 4 – *Lei de Boyle* relata que Robert Boyle, com Robert Hooke, desenvolveu uma máquina pneumática para estudo dos gases. Percebeu que o volume do gás variava na razão inversa da variação de pressão. Mais tarde, Edme Mariotte observou que esta razão era válida apenas se a temperatura permanecesse constante. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

A seção 5 – *Lei de Charles e Gay-Lussac* – menciona que Joseph Louis Gay-Lussac, observando transformações gasosas a pressão constante, constatou que a variação do volume era diretamente proporcional à variação de temperatura. Ele descobriu também que, a volume constante, havia uma relação direta entre pressão e temperatura. Estes fatos eram confirmações das leis estabelecidas por Jacques Charles. A seção apresenta uma imagem de Gay-Lussac. (1.1) (2.2) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção 6 – *Lei de Charles* - relata que Jacques Charles no final do século XVIII, observou que, a pressão constante, a variação de volume de um gás era proporcional a sua temperatura. Ele não publicou seus resultados e, no início do século XIX, Gay-Lussac chegou às mesmas conclusões. A seção afirma ainda que Kelvin utilizou os resultados de Charles para estabelecer a escala absoluta. A seção traz uma imagem de Jacques Charles. (1.1) (2.2) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 5 – Termodinâmica.

A seção *Em busca de explicações* trata da invenção dos refrigeradores. Ela destaca que o primeiro compressor capaz de produzir gelo artificialmente foi patenteado em 1834 por Jacob Perkins e proporcionou desenvolvimento para indústrias. Ressalta também a instalação do primeiro aparelho de ar condicionado e o surgimento das primeiras geladeiras domésticas; apresenta a imagem de uma geladeira do final do século XIX. (1.2) (2.6) (3.3) (4.2) (5.1)

A seção *Ampliando o olhar* faz menção às primeiras máquinas térmicas. Cita a eolípila de Heron de Alexandria, a máquina de Newcomen, do início do século XVIII, mencionando sua utilização na retirada de água nas minas de carvão, menciona que James Watt aperfeiçoou uma máquina do tipo da de Newcomen e que as máquinas a vapor deflagraram a Revolução Industrial; cita também George Stephenson que utilizou as máquinas térmicas em locomotivas, revolucionando os transportes; apresenta uma imagem de uma eolípila (2.4), um retrato de James Watt (2.2) e um esquema representativo de uma máquina de Watt (2.4). (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (5.1) (5.3)

A seção 11 – *O ciclo de Carnot* - destaca a proposição por Sadi Carnot, em 1824, de um ciclo teórico segundo o qual uma máquina teria máximo rendimento. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção *Ampliando o olhar* destaca a revolução provocada pelas máquinas térmicas a partir do início do século XVIII e uma nova revolução tecnológica, a partir da metade do século XIX, com o advento do motor de combustão interna. Ela ressalta o motor criado pelo alemão Nikolaus August Otto e apresenta uma imagem do cientista. (1.2) (2.2) (2.6) (3.2) (4.2) (5.1) (5.3)

(g) Levantamento de dados na coleção G:

Unidade 1 – Termofísica.

Capítulo 1 – Energia térmica: temperatura e mudanças de estado.

A abertura do capítulo traz um texto intitulado *A viagem continua...*, onde se destaca que a ciência é construída por acertos e erros, não é algo acabado e trata-se de uma construção coletiva. (7)

A seção 2 – *Temperatura e suas escalas* – menciona que a escala Celsius foi idealizada por Anders Celsius, a escala Fahrenheit por Daniel Gabriel Fahrenheit e uma escala que foi usada no século XIX e início do século XX foi a escala Réaumur, hoje em desuso. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

A seguir na seção 2 encontramos uma caixa de texto com informações acerca da vida e obra de Anders Celsius. A seção menciona a criação da escala que leva seu nome, além de outros trabalhos; cita que originalmente a escala proposta por ele atribuía o valor zero para o ponto de ebulição da água e 100 para a fusão do gelo e que a inversão destes valores foi realizada após sua morte por Carlos Lineu, biólogo sueco; apresenta uma imagem de Anders Celsius. (1.2) (2.2) (2.3) (2.6) (3.3) (4.1)

Ainda na seção 2 encontramos uma caixa de texto sobre a vida e obra de Fahrenheit. A seção menciona detalhes de construção dos seus primeiros termômetros e os parâmetros usados por ele para construir a escala que leva seu nome e cita que Fahrenheit baseou suas investigações em trabalhos do holandês Olaf Roemer; apresenta uma imagem de Fahrenheit. (1.2) (2.2) (2.3) (2.6) (3.2) (4.2)

Na seção 2, no item *Escala absoluta*, é mencionado que William Thomson (Lorde Kelvin), em 1848, baseando-se nas leis fundamentais da Termodinâmica, “criou” uma escala absoluta de temperaturas. A seção ressalta que outra escala absoluta, ou seja, baseada no zero absoluto, foi criada por escocês William John Macquorn Rankine. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Na terceira caixa de texto com conteúdo histórico da seção 2 encontramos informações acerca da vida e obra de William Thomson, destacando que o cientista ganhou o título de Lorde Kelvin em função da relevância de seus trabalhos científicos. Ressalta que William Thomson deixou inúmeras contribuições em várias áreas como matemática, eletricidade, hidráulica e Termodinâmica. A caixa de texto apresenta uma imagem do cientista. (1.2) (2.2) (2.3) (2.6)

Na seção 2, no item *Termômetros*, é relatado que o primeiro instrumento “mais preciso” para avaliar temperatura foi o termoscópio de Galileu. A seção traz uma imagem de uma réplica do referido instrumento. (1.1) (2.4) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 2 – Energia térmica em trânsito: calor.

Na seção 1 – *Energia térmica em trânsito: calor* – o item *Teoria do calórico* relata as ideias de Joseph Black, um dos primeiros cientistas a usar o termômetro em experiências, comenta sobre a teoria do flogístico desenvolvida pelo alemão George Ernest Stahl e a introdução da ideia do calórico por Antoine Lavoisier. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

Nessa mesma seção 1 encontramos uma caixa de texto com informações sobre a vida e a obra de Antoine-Laurent Lavoisier. São destacados seu trabalho em conjunto com Pierre-Simon de Laplace, mostrando que a respiração era um tipo de combustão, a publicação de *Réflexions sur le phlogistique*, onde Lavoisier refuta a teoria do flogístico e a criação, em conjunto com outros cientistas franceses, de uma nomenclatura química publicada na obra *Méthode de nomenclature chimique* (Método de nomenclatura química). A seção menciona o fato de ter sido executado após a Revolução Francesa, apresenta uma imagem de Lavoisier (2.2) e uma imagem da primeira página do livro *Méthode de nomenclature chimique* (2.4). (1.2) (2.3) (2.6) (3.1) (4.1) (5.1)

Ainda na seção 1, no item *Conceito de calor*, relata-se que Benjamin Thompson (Conde de Rumford) contestou a ideia do calor como um fluido (calórico) após observar o grande aquecimento que ocorria durante a perfuração do metal na fabricação de canhões e realizar

alguns experimentos, associando a produção de calor à energia mecânica das brocas. Destaca-se que a teoria do calórico continuou aceita após os argumentos de Benjamin Thompson. A seção destaca então os trabalhos experimentais de James Prescott Joule, descrevendo sua experiência com o calorímetro de pás, com o qual obteve valores para o equivalente mecânico do calor próximos aos aceitos atualmente. A seção apresenta uma imagem de Benjamin Thompson (2.2), uma imagem de Joule (2.2) e um desenho esquemático do aparato experimental usado por Joule. (1.1) (2.3) (2.5) (2.6) (3.1) (4.1)

Na seção 2 – *Transmissão de calor* – no item *Garrafa térmica*, menciona-se que a garrafa térmica foi inventada em 1892 e era conhecida pelo nome de vaso de Dewar, em homenagem a James Dewar, escocês que a inventou para armazenar oxigênio líquido a baixas temperaturas. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2) (5.3)

Capítulo 3 – Comportamento térmico da matéria.

Na seção 3 – *Comportamento térmico dos gases* – no item *Transformação isométrica* encontramos uma caixa de texto que relata dados biográficos sobre Jacques Alexandre César Charles, destacando seus trabalhos na construção de balões em conjunto com os irmãos Robert. A seção apresenta uma imagem de Jacques Charles (2.2) e uma gravura do primeiro voo de balão de hidrogênio realizado por ele e Nicolas Robert, em 1773 (2.4). (1.2) (2.3) (2.6) (3.3) (3.4) (4.1)

No item *transformação isobárica* há uma caixa de texto com informações sobre Joseph Louis Gay-Lussac, na qual se destacam dados sobre sua carreira e obra, citando, entre outros feitos, a descoberta do elemento Boro, em conjunto com Louis Jacques Thénard, e a descoberta do elemento iodo. O item apresenta uma imagem de Gay-Lussac (2.2) e uma gravura que ilustra o feito do cientista, juntamente com Jean-Baptiste Biot, de subir a 4000 m de altura em um balão de ar quente (2.4). (1.2) (2.3) (2.6) (3.3) (3.4) (4.1)

No item *transformação isotérmica*, ainda na seção 3, destaca-se que a lei de Boyle, de proporcionalidade inversa entre volume e pressão de gás a temperatura constante, é também chamada de lei de Boyle-Mariotte, apesar de Edme Mariotte ter chegado aos mesmos resultados de Boyle somente quatorze anos depois. (1.1) (3.4)

Neste mesmo item há uma caixa de texto com dados biográficos de Robert Boyle. O item apresenta uma imagem do cientista (2.2) e uma imagem da página de abertura do livro *The sceptical chymist*, de sua autoria, publicado em 1661 (2.4). (1.2) (2.3) (2.6)

No item *Mol, massa molar, número de mols e volume molar* encontra-se uma caixa de texto com informações sobre a vida e a obra de Amedeo Avogadro, na qual se destacam, além da formulação da sua hipótese sobre os gases, a apresentação das fórmulas do dióxido de carbono e do dióxido de enxofre e a determinação dos pesos atômicos de vários elementos. A caixa de texto traz uma imagem do cientista (2.2). (1.2) (2.3) (3.3) (4.2).

O item *Equação de estado de um gás perfeito* apresenta uma imagem de Paul-Émile Clapeyron. (2.2)

Capítulo 4 – Termodinâmica.

Na seção 1 – *A Termodinâmica* – é relatado que os experimentos de James Prescott Joule no século XIX permitiram comprovar que energia mecânica pode ser convertida em energia térmica e encontrou um valor relacionando-as. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção 2 – *O nascimento da Termodinâmica* – apresenta um histórico descrevendo as primeiras máquinas a vapor. A seção menciona a eolípila de Herão, do século I d.C. e as primeiras máquinas comerciais, produzidas a partir do final do século XVII e início do século XVIII. Descreve o funcionamento das máquinas de Savery, Newcomen e Watt, destacando a invenção por Watt do condensador que tornou as máquinas mais eficientes; finaliza mencionando que as máquinas eram construídas por engenheiros que se utilizavam da prática, não havendo uma teoria embasando a construção das mesmas; realça a importância das

máquinas para a sociedade da época. A seção traz a imagem de um modelo de eolípila (2.4), imagens de esquemas de funcionamento das máquinas de Savery (2.4), Newcomen (2.4) e Watt (2.4) e uma atividade referente ao conteúdo histórico. (1.1) (2.6) (3.1) (4.1) (5.1) (5.3) (6)

Na seção 5 – *primeira lei da Termodinâmica* – são citadas as contribuições de Joule, Helmholtz e Mayer para o desenvolvimento da primeira lei da Termodinâmica e destaca-se os primeiros enunciados das mesmas por Clausius e Kelvin. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

Na seção 6 – *Transformações gasosas e as trocas energéticas* – no item *Relação de Mayer*, menciona-se que Julius Robert von Mayer, físico alemão, estabeleceu, pela primeira vez, a relação entre os calores específicos de gases a pressão constante e volume constante. O item apresenta uma imagem de Mayer (2.2). (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Ainda na seção 6, no item *Transformação adiabática*, encontramos uma caixa de texto sobre a vida e a obra de Siméon Denis Poisson, destacando o fato de ter publicado mais de 900 trabalhos e ter criado uma nova área do conhecimento, a Física-Matemática. O item apresenta uma imagem do cientista (2.2). (1.2) (2.3) (2.6)

Na seção 8 – *Segunda lei da Termodinâmica* – encontramos, na abertura da seção, a imagem de Max Planck estampada num selo comemorativo (2.2)

No item *Máquina térmica* é mencionado que Sadi Carnot estabeleceu o princípio de funcionamento das máquinas térmicas antes da segunda lei ter sido enunciada. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seguir, no mesmo item, encontramos uma caixa de texto com dados biográficos de Sadi Carnot. Essa caixa de texto destaca sua única obra publicada, *Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre as máquinas próprias para aumentar essa potência*, que ficou esquecida durante 10 anos. Ela apresenta uma imagem de Sadi Carnot (2.2). (1.2) (2.3) (3.3) (4.2) (5.3)

A seção *O que diz a mídia!* traz fragmentos do texto *A descoberta que mudou a humanidade*, de Adilson de Oliveira, publicado na revista *Ciência hoje*, no qual se aborda desde o início do domínio do fogo pelo homem passando pelas primeiras máquinas térmicas, citando a Revolução Industrial e o desenvolvimento das leis da Termodinâmica. A seção apresenta a imagem de um barco a vapor de 1897 (2.4). (1.2) (2.7) (3.2) (4.1) (5.1) (5.3)

No item *O conceito de entropia e a morte térmica do Universo* é mencionado que Rudolf Clausius criou o conceito de entropia após observar a tendência nos processos naturais da energia se transformar em uma forma menos ordenada. O item apresenta uma imagem de Rudolf Clausius (2.2). (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Na seção 9 – *Motores de combustão* – no item *Ciclo Otto e ciclo Diesel*, é mencionado que o motor que opera com o ciclo Otto foi inventado em 1867 pelo alemão Nikolaus August Otto e o motor que funciona com ciclo Diesel foi criado pelo também alemão Rudolf Diesel. Destaca-se que, por ocasião da apresentação do motor de ciclo diesel na Feira Mundial em Paris, em 1898, o combustível utilizado era óleo de amendoim. O item apresenta uma imagem de Nikolaus Otto (2.2) e uma imagem de Rudolf Diesel (2.2). (1.1) (2.6) (3.3) (4.2) (5.3)

(h) Levantamento de dados na coleção H:

Unidade 1 – Temperatura – Dilatação.

Capítulo 1 – Temperatura e dilatação.

A Seção 1.1 – *Temperatura – Escalas Termométricas*, no item *Termoscópio de Galileu*, descreve o instrumento construído por Galileu no final do século XVI. Ela menciona que os médicos da época se utilizavam dele para verificar se uma pessoa estava febril. O item traz uma representação esquemática do termoscópio de Galileu. (1.2) (2.4) (2.6) (3.3) (4.2)

Ainda na seção 1.1 - *Temperatura – Escalas Termométricas*, no item *Os primeiros termômetros de líquido*, é relatado que o primeiro termômetro de líquido foi construído em 1637 pelo médico francês Jean Rey. Nesse termômetro, a extremidade superior do tubo era

aberta. A seção traz uma imagem esquemática deste termômetro (2.4); destaca então que Fernando II, grão-duque da Toscana, foi quem utilizou álcool em vez de água como substância termométrica e fechou a extremidade do tubo; ressalta a fundação pelo grão-duque de uma academia especializada na construção de termômetros em Florença. A seção destaca ainda o grande número de escala que existiam no século XVII e a proposição de uma escala centígrada por Anders Celsius. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (5.3)

A seção 1.1 traz ainda, no item *Escala Kelvin* uma imagem de William Thomson (Lorde Kelvin) (2.2) com alguns de seus feitos e menciona que ele propôs a escala que leva seu nome a partir de discussões sobre os extremos de temperatura que podem ser atingidos por um corpo. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 2 – Comportamento dos gases.

A seção 2.1 – *Transformação isotérmica*, no item *Lei de Boyle*, menciona que Robert Boyle foi o primeiro a concluir que o volume de um gás é inversamente proporcional à sua pressão. Apresenta uma imagem de Boyle (2.2). (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção 2.2 – *Transformação isobárica*, no item *o gráfico $v \times T$* , relata que Joseph Louis Gay-Lussac observou que, a pressão constante, o volume de um gás é proporcional a sua temperatura. A seção apresenta uma imagem de Gay-Lussac destacando outros feitos do cientista. (1.1) (2.2) (2.6) (3.2) (4.2)

Na seção 2.3 – *Transformação isovolumétrica*, no item *A lei de Avogadro*, é mencionado que, baseado em informações já disponíveis e também em resultados de experimentos próprios, Amedeo Avogadro propôs que volumes iguais de diferentes gases, sujeitos a mesma temperatura e pressão, apresentam o mesmo número de moléculas (1.1) (2.6) (3.3) (4.1). A seção traz ainda uma caixa de texto com uma imagem de Avogadro (2.2) e um pequeno texto destacando que ele concluiu que os gases hidrogênio, oxigênio e nitrogênio apresentam-se na natureza na forma diatômica, e que estas ideias começaram a ser aceitas mais de 40 anos depois, após trabalhos do também italiano Canizzarro. (1.2) (2.6) (3.3) (4.1)

A seção 2.5 – *A evolução do modelo molecular da matéria*, no item *As primeiras ideias atômicas*, destaca as contribuições de Descartes, Pierre Gassendi, Robert Boyle, Robert Hooke e Newton na busca de uma teoria sobre os constituintes da matéria. A seção ressalta que as ideias destes cientistas, sobretudo de Newton, serviram de base para a teoria atômica de Dalton, que, por sua vez, foi a base para os estudos posteriores de Kelvin, Rutherford e Bohr. (1.1) (2.6) (3.1) (4.1)

Na mesma seção, no item *A teoria cinética dos gases*, é relatado que as leis de Newton foram utilizadas num modelo simples de gás explicando com sucesso vários pontos. Foi um golpe para os cientistas que não compartilhavam das ideias de Newton, como Robert Hooke e Daniel Bernoulli. O item destaca que Bernoulli publicou ideias que, apesar de aceitas atualmente, foram ignoradas por quase cem anos por não estarem de acordo com as ideias de Newton. (1.1) (2.6) (3.1) (4.2) Ainda na seção 2.5, no item *Cálculo cinético da pressão*, é mencionado que no século XIX o físico John Herapath chegou a um valor para a velocidade média das moléculas do ar. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

No item *Interpretação cinética da temperatura*, da seção 2.5, há uma caixa de texto com uma imagem de Ludwig Boltzmann e um pequeno texto destacando, entre seus trabalhos, o desenvolvimento da mecânica estatística. (1.2) (2.2) (3.3) (4.2)

Por fim, a seção 2.5, no item *A teoria cinética adquire sua estrutura definitiva*, é relatado que, em meados do século XIX, os trabalhos de Clausius, Maxwell e Boltzmann estruturaram a teoria cinética, que ainda encontrava opositores no início do século XX. O estudo de Einstein sobre o movimento browniano contribuiu para consolidar átomos e moléculas como uma realidade. (1.1) (2.6) (3.1) (4.1)

Unidade 2 – Calor.

Capítulo 3 – Termodinâmica.

Na seção 3.1 – *O calor como energia*, o item *A teoria do calórico* expõe que, até o início do século XIX, muitos cientistas acreditavam na existência de uma substância fluida denominada calórico que estava contida no interior dos corpos. A temperatura de um corpo seria diretamente proporcional à quantidade de calórico que ele possuía e este fluido passava de um corpo para outro, cessando o fluxo quando estes atingiam a mesma temperatura. Ressalta-se que esta ideia tinha opositores e foi substituída pela teoria do calor como forma de energia. (1.1) (2.6) (3.1) (4.1)

O item *Calor é energia*, da seção 3.1, traz a afirmação de que a ideia de que o calor é energia foi inicialmente introduzida por Rumford ao observar o aquecimento que ocorria durante a perfuração de metais para a fabricação de canhões e que experimentos de Joule estabeleceram “definitivamente” que o calor é uma forma de energia. O item apresenta ainda uma caixa de texto com a imagem de Benjamin Thompson (Conde de Rumford) (2.2) com algumas informações sobre sua vida. (1.1) (1.2) (2.6) (3.1) (3.3) (4.2)

A seção 3.7 – *Máquinas térmicas – a 2ª lei da Termodinâmica*, no item *O que é uma máquina térmica*, menciona que no século I d.C., Heron já havia desenvolvido um dispositivo que transformava calor em trabalho mecânico, mas somente no século XVIII foram construídas máquinas térmicas em escala industrial. O item apresenta um desenho esquemático da máquina de Heron. (1.1) (2.4) (2.6) (3.3)

No item *A máquina de Watt*, da seção 3.7, é relatado que as primeiras máquinas térmicas produzidas no século XVIII tinham baixo rendimento e coube a James Watt apresentar um modelo mais eficiente. Destaca-se que as máquinas de Watt foram utilizadas em várias funções como moinhos, retiradas de água de minas, locomotivas e barcos a vapor. O item apresenta um desenho esquemático de uma máquina de Watt com a descrição de seu funcionamento. (1.1) (2.4) (2.6) (3.3) (4.2) (5.1) (5.3)

O Apêndice D – *Máquinas térmicas – Ciclo de Carnot* apresenta uma caixa de texto com uma imagem de Sadi Carnot (2.2) e um pequeno texto destacando sua contribuição ao estabelecer o rendimento máximo de uma máquina térmica. (1.2) (3.3) (4.2)

(i) Levantamento de dados na coleção I:

Unidade 2 – Energia Térmica.

Capítulo 6 – Calor como energia.

A Seção 1 – *A história da natureza do calor*- aborda a evolução das ideias sobre o calor; relata que os Gregos na Antiguidade já levantavam as possibilidades de calor como fluido ou como resultado do movimento de partículas; ressalta que muitos séculos foram necessários para se chegar a um consenso e chama a atenção para algumas características do desenvolvimento científico. A seção menciona que a ideia de existência de um fluido (o calórico) era defendida por muitos cientistas e que observações e ideias de Benjamin Thompson contrariavam esta teoria. Thompson analisando o aquecimento produzido na perfuração de metais para a construção de canhões conseguiu argumentos que contrariavam a teoria do calórico e indicavam o calor como associado ao movimento de partículas, ideia que foi reforçada por trabalhos de Joule no século XIX. A seção apresenta uma imagem de Benjamin Thompson (2.2) e uma atividade envolvendo o conteúdo histórico. (1.1) (2.6) (3.1) (4.1) (6) (7)

A seção 2.2 – *Temperatura*- apresenta imagens, com as datas de nascimento e morte e nacionalidade, de Anders Celsius (2.2), Gabriel Daniel Fahrenheit (2.2) e William Thomson (2.2).

A seção *Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente* (associada à seção 2.2) aborda a evolução dos termômetros e das escalas termométricas. Ela cita o termoscópio de Galileu, seu aperfeiçoamento pelo francês Jean Rey, um breve histórico das escalas Réaumur, Celsius,

Fahrenheit e Kelvin; apresenta um trecho de um texto original de Fahrenheit, de 1724, extraído de um artigo de autoria de Alexandre Medeiros, *O desenvolvimento da escala Fahrenheit e o imaginário de professores e de estudantes de Física*, publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física. A seção traz uma imagem de René de Réaumur com seu primeiro termômetro (2.2) e destaca todo trabalho envolvido no processo de evolução dos termômetros. (1.2) (2.1) (2.6) (3.1) (4.1)

A seção *Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente* (associada à seção 2.3) descreve o equipamento desenvolvido por Denis Papin em 1679, que é o precursor das panelas de pressão atuais. Ela traz uma imagem de Papin (2.2) e uma imagem da panela de pressão de Papin (2.4). (1.2) (2.6) (3.3) (4.2) (5.3)

A seção *Investigue com o pesquisador* aborda o *debate sobre a natureza do calor*. Havia defensores do calor como movimento e havia defensores do calor como substância, o flogístico e mais tarde calórico. A seção traz trechos de textos originais e de Robert Boyle, Christian Wolff, e Benjamin Thompson extraídos de *Modelos e realidade: um estudo sobre as explicações acerca do calor no século XVIII*, de autoria de Ivã Gurgel e Mauricio Pietrocola, publicado em Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2006. Ela apresenta também um trecho de um texto original do químico sueco Torbern Bergman extraído de *Lavoisier e a longa revolução na química*, de autoria de Ronei Clécio Mocellin, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003; destaca os trabalhos de Lavoisier, defensor do calórico e de Benjamin Thompson (Conde de Rumford) e James Prescott Joule, defensores do calor como energia; apresenta uma imagem de Christian Wolff (2.2), uma imagem de homens trabalhando em fábricas de canhão (2.4) e uma atividade relacionada ao conteúdo histórico. (1.2) (2.1) (3.1) (4.1) (6)

Capítulo 8 – Trocas de calor.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 9 – Máquinas térmicas.

A seção 1 – *Máquinas na História* – relata que as máquinas a vapor passaram a ser utilizadas com êxito a partir do século XVII, apesar de se ter conhecimento da eolípila de Heron de Alexandria, do século I d.C., na qual uma esfera girava movida por jatos de vapor. Destaca as máquinas de Savery, primeira comercialmente viável e as suas sucessoras, a máquina de Newcomen e a máquina de Watt. A seção menciona o aperfeiçoamento implementado por Watt ao reparar uma máquina do tipo Newcomen, o condensador separado, que permitiu grande economia de carvão em relação às máquinas anteriores; ressalta ainda o trabalho teórico de Carnot sobre o funcionamento destas máquinas através da publicação de *Reflexões sobre o poder motor do calor*. A seção apresenta uma imagem da eolípila (2.4), uma imagem esquemática de uma máquina de Newcomen (2.4), uma imagem de Thomas Savery (2.2), uma imagem de Watt (2.2) a imagem de uma locomotiva a vapor (2.4) de um navio a vapor (2.4). (1.1) (2.6) (3.2) (4.1) (5.1) (5.3)

A seção 3.4 – *Ciclo de Carnot* – menciona que Sadi Carnot estabeleceu um limite teórico para as máquinas térmicas. Ela apresenta uma imagem de Sadi Carnot (2.2). (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção 3.5 – *Segunda lei da Termodinâmica* – destaca o enunciado de Clausius para a cita que Max Planck reescreveu todas as versões dadas para a 2ª Lei da Termodinâmica. A seção apresenta uma imagem de Rudolf Clausius (2.2). (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

(j) Levantamento de dados na coleção J:

Capítulo 1 – Uma teoria para a temperatura e o calor.

A Seção 1 – *Matéria, temperatura e calor*, no item *Teoria do calor como substância* menciona que, no século XVIII, a ideia do fluido calor, o calórico, era bem aceita, uma vez que explicava satisfatoriamente muitos fenômenos. No entanto, o calor produzido por atrito não era bem explicado por esta teoria e Benjamin Thompson “reelaborou o conceito de calor como sendo o movimento das partículas que constituíam os materiais” e que, a despeito dos argumentos de Thompson, a teoria perdurou durante todo o século XVIII. (1.1) (2.6) (3.1) (4.2)

Na mesma seção, o item *Teoria cinético –molecular da matéria* relata que, elaborada no século XIX, esta teoria buscou inicialmente explicar a constituição dos gases e recebeu as principais contribuições de Benjamin Thompson, Rudolf Clausius e James Clerk Maxwell. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

Na seção 2 – *Conceito de temperatura*, no item *Do que depende a velocidade das moléculas de um gás?*, afirma-se que William Thomson (Lorde Kelvin) propôs que haveria um valor mínimo para a energia de movimento das moléculas de um gás e atribuiu a este estado o valor zero de temperatura referente a uma escala de temperatura que recebeu seu nome. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção *As diferentes escalas de temperatura* menciona a nacionalidade e as datas de nascimento e morte de Anders Celsius e cita que ele propôs uma escala tomando por base o ponto de fusão do gelo e o ponto de ebulição da água. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 2 – Efeitos da transferência de energia.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 3 – Máquinas Térmicas.

A seção 1 – *A utilização das máquinas térmicas* - aborda o início do uso das máquinas a vapor na Inglaterra no século XVIII, destacando as muitas áreas nas quais elas foram empregadas; destaca sua participação na Primeira Revolução Industrial. A seção apresenta uma imagem de James Watt (2.2), uma imagem de uma máquina de Watt (2.4), de uma locomotiva a vapor (2.4) e de um automóvel a vapor (2.4). Ela traz ainda uma atividade envolvendo o conteúdo histórico. (1.1) (2.6) (3.3) (5.1) (5.3) (6)

A seção *Algo A+* afirma que James Prescott Joule realizou trabalhos que contribuíram para a consolidação do princípio da conservação da energia; destaca seu experimento com o calorímetro de pás fazendo uma descrição do mesmo; afirma que com este experimento Joule determinou o equivalente mecânico do calor. A seção apresenta uma imagem de Joule (2.2) e uma representação do experimento de Joule. (2.4). (1.2) (2.5) (2.6) (3.2) (4.2)

A seção *Texto e interpretação* relata que, em 1824, Sadi Carnot publicou um trabalho no qual estabelecia o limite de rendimento de uma máquina térmica; destaca ainda que a segunda lei da Termodinâmica foi enunciada de formas diferentes por vários cientistas; cita Kelvin e Clausius, mencionando que este segundo introduziu o conceito de entropia, que mais tarde foi reformulado por Ludwig Boltzmann. A seção apresenta imagens de Carnot (2.2), Clausius (2.2) e Boltzmann (2.2); traz também uma atividade referente ao conteúdo histórico. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (6)

(k) Levantamento de dados na coleção K:

Unidade 3 – Termodinâmica.

Capítulo 10 – Introdução à Termodinâmica.

A seção 1 – *Introdução* - apresenta as imagens de dois moto-perpétuos, um idealizado no século XVI (2.4) e outro no século XVII (2.4).

A seção 3 – *Medida da temperatura* - cita que as primeiras referências de construção de termoscópios remontam à Antiguidade e que o primeiro termômetro foi construído no início do século XVII pelo médico italiano Santorio Santorio. Ela apresenta uma imagem do termômetro de Santorio (2.4). (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção 3 apresenta também uma caixa de texto onde traz uma imagem de William Thomson (Lorde Kelvin) com informações sobre sua carreira como cientista e engenheiro. (1.2) (2.2) (2.3)

Ainda na seção 3 encontra-se uma caixa de texto intitulada *Escalas termométricas: um pouco de história*, onde é descrito que a ideia da existência de uma temperatura mínima na natureza deu origem às escalas Kelvin e à escala Rankine, esta última atualmente em desuso. (1.2) (3.4)

Capítulo 11 – Comportamento térmico dos gases.

A seção 1 – *Os gases e suas leis* -, no item *A lei de Boyle-Mariotte*, apresenta uma caixa de texto intitulada *A lei de Boyle: um pouco de história*, onde é descrito que, em 1660, Robert Boyle enunciou a lei segundo a qual o produto da pressão pelo volume de um gás é constante, se a temperatura não varia; é feita uma descrição do experimento realizado por Boyle acerca do assunto, no qual ele variava a pressão sobre um gás aprisionado num dos ramos de um tubo em forma de “U”. Na seção, é mencionado também que, alguns anos depois, Edme Mariotte obteve o mesmo resultado; são citados vários outros trabalhos de Mariotte e fatos da sua vida. A seção apresenta uma imagem representando o aparato utilizado por Boyle (2.4). (1.2) (2.3) (2.5) (2.6) (3.2) (4.1)

No item *Lei de Charles e Gay-Lussac* há uma caixa de texto intitulada *A lei de Charles e Gay Lussac: um pouco de história*, onde se afirma que, em 1787, Jacques Charles formulou que o volume de um gás é diretamente proporcional a sua temperatura, para uma pressão constante, mas não publicou seus resultados. Joseph Luis Gay-Lussac chegou aos mesmos resultados no início do século XIX. A caixa de texto traz uma imagem de Gay-Lussac (2.2) e uma imagem de um balão de hidrogênio tripulado por Jacques Charles e Ainé Roberts, voando sobre Paris (2.4). (1.2) (2.6) (3.3) (4.1)

Ainda no item *Lei de Charles e Gay-Lussac* encontramos ainda uma caixa de texto, intitulada *O zero absoluto*, na qual afirma-se que a ideia da existência de uma temperatura mínima já havia sido proposta pelo francês Guillaume Amontons, em 1703, não sendo levada a sério. Um século depois a ideia ainda era refutada por pesquisadores como Benjamin Thompson e Gay-Lussac sendo considerada absurda. Em 1848, a ideia foi retomada por William Thomson que propôs a escala absoluta de temperatura. (1.2) (2.6) (3.1) (4.1)

No item *Lei geral dos gases perfeitos* há uma caixa de texto intitulada *Gases reais*, na qual é mencionado que Johannes Diderik van der Waals, físico holandês, descreveu o comportamento de gases reais. (1.2) (2.6) (3.3) (4.2)

Ainda no item *Lei geral dos gases perfeitos* há uma caixa de texto intitulada *O número de Avogadro*. Relata que o Italiano Amedeo Avogadro propôs que volumes iguais de qualquer gás sob as mesmas condições de temperatura e pressão apresentam o mesmo número de partículas. Afirma ainda que Avogadro não chegou a este número na época. A seção apresenta uma imagem de Amedeo Avogadro (2.2). (1.1) (3.3) (4.2)

A seção 2 – *Teoria cinética dos gases* - apresenta uma caixa de texto intitulada *A formulação da teoria cinética dos gases* onde é relatado que em meados do século XIX Joule e Clausius associaram a temperatura ao movimento de átomos e moléculas. Ressalta que a ideia do átomo não era bem aceita na época, mas explicações da teoria cinética utilizando as leis de Newton deram bons resultados na compreensão do comportamento dos gases e leis da termodinâmica. (1.2) (2.6) (3.1) (4.1)

Capítulo 12 – Calor: conceito e medida.

A seção 1 – *Calor: breve histórico* - descreve as dúvidas sobre o conceito de calor coexistindo duas ideias distintas: calor como movimento de partículas ou um fluido que se encontrava nos corpos, o calórico. A seção relata contribuições de Francis Bacon, Antoine Lavoisier, Benjamin Thompson e James Prescott Joule; traz citações originais de Bacon,

defensor do calor como movimento, Lavoisier, defensor do calórico, Benjamin Thompson, que, a partir de observações na perfuração de canhões concluiu que calor não era um fluido e sim relacionado ao movimento e Joule, que realizou muitas experiências, entre as quais a famosa experiência do calorímetro de pás. A seção apresenta as conclusões de Joule com o experimento. A seção também exhibe uma imagem de um aparato usado por Benjamin Thompson (2.4) e uma imagem do experimento do calorímetro de Joule (2.4). (1.1) (2.1) (2.5) (2.6) (3.1) (4.1)

Capítulo 13 – Mudanças de fase e transmissão de calor.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 14 – Primeira lei da Termodinâmica.

A abertura do capítulo apresenta a imagem da réplica de uma locomotiva a vapor produzida em 1837 na Inglaterra (2.4). Há um destaque para o fato de que, nessa época, ainda não se conheciam os fundamentos teóricos relacionados à energia, entretanto, a necessidade de se buscar novas formas de realização de trabalho levou inventores a criarem máquinas sem o conhecimento teórico envolvido. (1.1) (5.1) (5.3)

A seção 1 – *Introdução* – relata que, desde a Antiguidade, o homem faz uso de máquinas para auxiliar na realização de tarefas. No entanto, estas máquinas não dispensavam o esforço humano e muitas delas necessitavam ser instaladas próximas a rios, pois utilizavam o fluxo de água. A seção apresenta uma imagem de um agricultor egípcio utilizando um dispositivo chamado de “cegonha” (2.4), uma imagem representando um “parafuso de Arquimedes” (2.4) e a imagem de rodas d’água construídas na Síria, entre os séculos XII e XVI. (1.1) (5.1) (5.3)

A seção 2 – *Breve história das máquinas térmicas* – descreve o desenvolvimento das máquinas a vapor mencionando que já havia dispositivos que usavam o calor para produzir movimento desde o século I a.C. Ela cita a eolípila de Herão de Alexandria e um segundo dispositivo, também atribuído a Herão, que era utilizado para abrir as portas de um templo. A seção lança dúvidas sobre a autoria destes equipamentos; menciona-se, porém, que a construção de máquinas comercialmente ocorreu apenas no século XVIII, tendo início com a Máquina de Savery, destinada a drenar minas de carvão. Há uma descrição do funcionamento desta máquina; destaca-se também as máquinas de Newcomen e Watt, apresentando descrições do funcionamento de ambas; por fim, enfatiza que a evolução das máquinas térmicas foi determinante para a Revolução Industrial. A seção expõe as seguintes imagens: uma imagem representando a eolípila (2.4), uma imagem do dispositivo atribuído a Herão que abria a porta de templo (2.4), um esquema de funcionamento de uma máquina de Savery, duas imagens esquemáticas de máquinas de Newcomen (2.4) (2.4), duas imagens representando máquinas de Watt com braço móvel (2.4) (2.4), uma imagem de uma máquina de Watt com uma roda (2.4) e uma gravura de um controlador de velocidade de uma máquina de Watt (2.4). (1.1) (2.6) (3.2) (4.1) (5.1) (5.3)

Capítulo 15 – Segunda lei da Termodinâmica e entropia.

Na seção 3 – *O ciclo de Carnot* – afirma-se que Sadi Carnot demonstrou teoricamente o ciclo em cuja operação uma máquina térmica teria rendimento máximo. A seção apresenta uma caixa de texto com uma imagem de Carnot (2.2) e menciona que ele publicou uma única obra, *Reflexões sobre a potência motriz do fogo*, sendo suas ideias compreendidas apenas após sua morte. (1.1) (1.2) (3.3) (4.2)

No item *A terceira lei da Termodinâmica* afirma-se que Walther Hermann Nernst, físico-químico alemão, apresentou uma formulação, em 1906, para a terceira lei da Termodinâmica, a qual proíbe que se atinja o zero kelvin. A seção apresenta uma citação original de Nernst. (1.1) (2.1) (2.6) (3.3) (4.2)

O item *A escala termodinâmica de temperatura* menciona que o fato de no ciclo de Carnot não importarem as naturezas nem da fonte nem do fluido operante, levou Lorde Kelvin a propor a escala absoluta de temperaturas. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

No item *Ciclo de uma máquina térmica real* há uma caixa de texto intitulada *O ciclo Otto*, na qual é relatado que Nikolaus August Otto, engenheiro alemão, projetou, em 1876, o motor a explosão a quatro tempos. Ele e seus dois irmãos construíram o motor que teve muito boa aceitação. (1.2) (2.6) (3.3) (4.2) (5.3)

Na seção 5 – *Desordem e entropia* – afirma-se que Boltzmann concluiu que alguns fenômenos da natureza poderiam ser melhor entendidos sob uma abordagem estatística. Esta convicção o fez associar a ideia de desordem à natureza e dar à segunda lei da Termodinâmica um significado relacionado a uma tendência natural ao aumento da desordem. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Ainda na seção 5 há uma caixa de texto intitulada *Ludwig Eduard Boltzmann* onde é relatado que sua interpretação estatística da segunda lei da Termodinâmica deu origem ao ramo da Física chamado mecânica estatística. A seção apresenta uma foto da parte superior da lápide de Boltzmann, na qual aparece sua imagem. (1.2) (2.2) (2.6) (3.2) (4.2)

Na seção 6 – *Natureza e entropia* – no item *A morte térmica do Universo e o demônio de Maxwell*, é relatado que Lorde Kelvin, em meados do século XIX, baseando-se na segunda lei da Termodinâmica, lançou a ideia de que um dia todos os corpos do Universo terão a mesma temperatura. Maxwell propôs um experimento mental pelo qual esta “morte térmica” seria evitada, experimento esse conhecido como “o demônio de Maxwell”. O item descreve este experimento. No mesmo item, o autor cita e descreve também o chamado teorema da recorrência de Henri Poincaré, uma outra possibilidade para a não ocorrência da “morte térmica do Universo”. O item traz uma imagem representando o experimento do “demônio de Maxwell” (2.4) e uma imagem esquemática do teorema da recorrência de Poincaré (2.4). (1.1) (2.5) (2.6) (3.4)

(l) Levantamento de dados na coleção L:

Unidade 1 – O calor e suas consequências.

Capítulo 1 – Temperatura e calor.

Na seção 2 – *Escalas Celsius e Fahrenheit* – é relatado que a escala Celsius foi elaborada em 1742 por Anders Celsius e que a escala Fahrenheit foi construída por Daniel G. Fahrenheit, em 1727. Cita-se que foram utilizados pontos fixos diferentes na elaboração das duas escalas. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Na seção 3 – *Kelvin, uma escala absoluta* – afirma-se que William Thomson (Lorde Kelvin) utilizou estudos acerca da variação de volume de gases em função da temperatura, sob pressão constante, para propor a escala que leva seu nome. (1.1) (2.6) (3.2) (4.2)

A seção *Física tem História* aborda a evolução do conceito de calor, afirmando que a compreensão das propriedades térmicas dos corpos foi possível a partir da invenção do termômetro; menciona as ideias a respeito do flogístico, sua derrubada pelos trabalhos de Lavoisier e a ascensão do calórico e a consolidação do conceito de calor como uma forma de energia, contando com contribuições de Benjamin Thompson (Conde de Rumford), Julius Robert Mayer e James Prescott Joule. A caixa de texto traz uma imagem de Antoine Laurent Lavoisier e uma atividade relacionada ao conteúdo histórico. (1.2) (2.6) (3.1) (4.1) (5.3) (6)

A seção *Em construção* traz um texto sobre William Thomson, extraído de www.dec.ufcg.edu.br/biografias/willitho.html, onde são expostos dados biográficos do cientista, incluindo suas principais realizações, dando destaque a seus trabalhos relacionados à segunda lei da Termodinâmica, à escala absoluta de temperatura e o aperfeiçoamento de cabos telegráficos. A seção apresenta uma imagem do cientista (2.2). (1.2) (2.3) (2.7)

Capítulo 2 – Calorimetria.

A seção *Física tem História* traz um texto traduzido extraído do livro *The Science Book* editado por Peter TALLACK, Londres, 2001. O texto afirma que alguns cientistas no século XIX buscavam explicar os fenômenos térmicos utilizando as leis de Newton aplicadas a partículas e que o modelo atômico de John Dalton foi importante ao abrir caminho para a consolidação do átomo. O texto aborda algumas informações sobre a vida de Dalton. (1.2) (2.3) (2.7) (3.3) (4.2)

Na seção 5 – *Diagrama de fases* – é descrita a experiência de John Tyndall, físico irlandês, associado ao fenômeno do regelo. (1.1) (2.5)

A seção *Em construção* destaca o trabalho de Jean-Baptiste Joseph Fourier relacionado à propagação do calor por condução. Ela apresenta uma imagem do cientista (2.2). (1.2) (2.6) (3.3) (4.2)

Unidade 2 – Energia e meio ambiente.

Capítulo 3 – Primeira lei da Termodinâmica.

A seção 1 – *Estudo dos gases* – destaca o caráter coletivo da construção do modelo de gás como o conhecemos hoje e apresenta uma atividade sobre personagens históricos relacionados ao estudo dos gases. (1.1) (4.1) (6)

A seção *Física tem História* atribui a origem da Termodinâmica à publicação, em 1824, por Sadi Carnot, do livro *Reflexões sobre a energia motora do fogo*; afirma ainda que com a percepção de que o calor estava associado ao movimento das partículas de um corpo, evoluiu-se para considerá-lo como uma forma de energia. A seção cita, nesta empreitada, contribuições de James Prescott Joule, Hermann von Helmholtz e Rudolf Clausius; apresenta uma imagem de Sadi Carnot (2.2) e uma atividade relacionada ao conteúdo histórico. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (5.3) (6)

A seção *Em construção* aborda dados biográficos de Robert Boyle, destacando seus estudos sobre a dilatação dos gases e considerando-o um dos responsáveis pelo estabelecimento da química como ciência. Apresenta uma imagem de Robert Boyle (2.2). (1.2) (2.3) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 4 – Segunda lei da Termodinâmica.

A seção 4 – *O ciclo de Carnot* – relata que as primeiras máquinas térmicas tinham baixo rendimento e buscava-se melhorias neste sentido e neste cenário, Sadi Carnot, engenheiro francês, publicou *Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre os meios adequados de desenvolvê-la*, obra na qual estabelece um ciclo de funcionamento teórico que permitiria o rendimento máximo de uma máquina térmica. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2) (5.3)

A seção *Em construção* traz a tradução de um texto intitulado Carnot's Biography, de J. J. O'Connor e E. F. Robertson, com dados biográficos de Sadi Carnot, destacando, entre seus trabalhos, a publicação do *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance (Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre os meios adequados de desenvolvê-la)* que somente teve maior reconhecimento após dez anos, quando Paul Émile Clapeyron fez algumas reformulações para um melhor entendimento das ideias nele contidas. (1.2) (2.3) (2.7) (3.4)

4.3.3 Análise dos dados levantados nos livros didáticos

O quadro a seguir apresenta o quantitativo de ocorrências dos elementos presentes em cada coleção didática, em conformidade com as categorias e subcategorias especificadas no instrumento de avaliação elaborado neste trabalho. Estes dados nos fornecem uma visão panorâmica, em conjunto com a leitura realizada, de como os conteúdos históricos relacionados

aos tópicos Temperatura, Calor e Termodinâmica estão incluídos nas obras aprovadas pelo PNLD 2018.

Quadro 1 – Consolidação dos dados levantados nas coleções didáticas

Categoria	Subcategoria	Coleção didática											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1 - Integração do Conteúdo Histórico com os demais conteúdos	1.1 - Informação histórica integrada ao texto da Seção/Capítulo	7	6	7	7	11	9	14	12	4	5	11	5
	1.2 - Seção independente ou caixa de texto com conteúdo histórico	8	3	5	1	4	5	11	6	3	2	10	7
2 - Recursos utilizados para apresentar o conteúdo histórico	2.1 - Documentos/textos originais	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	-
	2.2 - Imagens de cientistas/filósofos	2	1	-	-	9	5	18	7	11	5	5	4
	2.3 - Dados biográficos de cientistas	-	-	-	-	-	1	11	-	-	-	2	4
	2.4 - Imagens de máquinas, laboratórios, equipamentos, esquemas ou eventos da época	5	5	2	6	3	2	10	4	6	4	20	-
	2.5 - Descrição de experimentos históricos	-	-	-	3	2	-	1	-	-	1	2	1
	2.6 - Textos do autor do livro	11	9	10	6	7	12	21	15	6	7	14	7
	2.7 - Trechos de publicações sobre história da ciência	3	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	3
3 – Tipo de descrição da evolução da ciência	3.1 - Descrição de uma descoberta científica considerando erros e controvérsias (evolução real)	1	-	1	-	-	-	3	5	3	1	3	1
	3.2 - Descrição de uma descoberta da ciência sem considerar erros e controvérsias (evolução linear)	4	1	-	1	3	4	2	2	1	2	3	2
	3.3 - Menção a uma descoberta científica sem descrição do processo (produzida subitamente)	8	6	11	6	11	7	16	11	3	4	9	5
	3.4 Menção a um episódio histórico	-	-	1	1	-	2	3	-	-	-	2	1
4 – Pessoas Responsáveis pela evolução científica	4.1 – Grupo de Cientistas ou Comunidade Científica – Construção coletiva	6	2	4	2	8	4	10	7	4	2	6	3
	4.2 - Cientista individual	9	5	6	5	6	7	11	9	3	4	9	6
5 – Relação da ciência com a sociedade	5.1 – A Ciência é relacionada com contextos social/político/econômico	2	1	2	-	-	4	3	1	1	1	3	-
	5.2 - A Ciência é relacionada com o contexto religioso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5.3 - A Ciência é relacionada com o contexto Tecnológico	4	1	1	-	2	2	5	2	2	1	4	3
6 - Atividades envolvendo conteúdo histórico	-	6	-	3	-	-	-	1	-	2	2	-	3
7 – Discussões explícitas sobre a natureza da ciência	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-

Analisando os dados referentes à categoria 1, podemos inferir que a introdução de informações históricas junto ao conteúdo científico ocorre majoritariamente integrada ao texto corrente das obras. Em apenas duas coleções, A, e L, o número de seções independentes ou caixas de texto com conteúdo histórico supera as inserções integradas ao texto normal. É um fato positivo, visto que a separação do conteúdo histórico do texto principal sugere um caráter opcional de leitura do mesmo e, segundo Leite (2002), esta situação pode gerar uma indiferença dos alunos com relação à informação histórica. No entanto, ao analisarmos a categoria 3, somos obrigados a tecer uma ressalva que comprometerá o lado positivo aqui citado, uma vez que a grande maioria das ocorrências se trata de descobertas apenas citadas, como se produzidas subitamente.

Ao analisar os recursos utilizados para apresentar o conteúdo histórico, categoria 2, notamos que predominam as narrativas do próprio autor do livro, aparecendo poucas ocorrências de textos originais ou trechos de outras publicações acerca de HFC. Apenas as coleções A, I e K utilizaram documentos ou textos originais: a coleção A, uma única vez, e as coleções I e K, duas vezes cada uma. Quanto a trechos de outras publicações, notamos uma

heterogeneidade com ocorrências nas publicações A e L, três em cada uma, duas ocorrências na publicação C e uma ocorrência na publicação G.

Imagens de máquinas, laboratórios, equipamentos, esquemas ou eventos da época compõem um recurso bastante explorado nas coleções, totalizando 67 ocorrências, sendo a coleção K aquela que mais o utilizou, com vinte ocorrências, e a coleção L a única a não o utilizar. Esta subcategoria, assim como o uso de documentos e textos originais, tende a remeter o leitor à época dos episódios ocorridos, contribuindo para uma contextualização da produção científica.

Ainda analisando subcategorias da categoria 2, dados biográficos e imagens de cientistas se associam num objetivo relacionado à humanização das ciências. Detalhes da vida dos cientistas, sobretudo aqueles que os retratam como pessoas normais, contribuem para evidenciar a ciência como construção humana. As imagens dos cientistas são bastante exploradas, totalizando 67 ocorrências, sendo que chama a atenção o fato de encontrarmos dezoito ocorrências na coleção G e nenhuma nas coleções C e D. Nos deparamos com números ainda mais heterogêneos quanto nos referimos à subcategoria 2.3, dados biográficos, encontrado em apenas quatro coleções: onze ocorrências na coleção G, quatro na L, duas na K e uma ocorrência na coleção F. A coleção G, que apresentou onze ocorrências, o faz através de caixas de texto apresentando predominantemente dados sobre a formação acadêmica e as realizações dos cientistas.

Quanto à subcategoria 2.5, descrição de experimentos históricos, encontramos um total de dez ocorrências distribuídas em seis livros, sendo seis delas referentes ao experimento do calorímetro de pás de Joule.

A análise do tipo de descrição da evolução da ciência, categoria 3, mostra-se importante neste trabalho, por contribuir fortemente na formação da concepção sobre a natureza da Ciência transmitida, implicitamente, pelo livro ao leitor. Já citamos Peduzzi (2001) que afirmara que no ensino de ciências há uma ênfase nos conceitos que são apresentados prontos, mas é possível abordar didaticamente o processo de desenvolvimento.

Em nossa análise, encontramos 150 ocorrências relacionadas à categoria 3: 97 da subcategoria 3.3, descobertas científicas produzidas subitamente; 25 da subcategoria 3.2, evolução linear, sem erros nem controvérsias; apenas 18 da subcategoria 3.1, evolução real da ciência, considerando erros e controvérsias, e 10 menções a episódios históricos. Devemos dar destaque para a coleção H, com o maior número de ocorrências na subcategoria 3.1 (5 ocorrências), apesar de apresentar 11 ocorrências da subcategoria 3.3. A única coleção na qual o número de ocorrências da subcategoria 3.1 (evolução real) não é menor que o número de ocorrências 3.3 (descobertas produzidas subitamente) é a coleção I, na qual encontramos 3 ocorrências de cada uma dessas subcategorias.

Sobre a informação histórica relacionada à categoria 4, observamos a maioria das ocorrências na subcategoria 4.2, onde se associa uma descoberta ao trabalho de apenas um cientista. No total das análises, foram 58 ocorrências da subcategoria 4.1, quando se associam descobertas ao trabalho de mais de um cientista, e 80 da 4.2. Apenas nas coleções E, G e I, o número de ocorrências enquadradas na subcategoria 4.1 superou a subcategoria 4.2. Este quadro pode vir a reforçar, conforme Gil-Pérez et al. (2001), uma visão acerca do fazer científico que deve ser evitada, na qual o desenvolvimento científico ocorre através de obras de gênios isolados, ignorando-se o trabalho coletivo.

A análise do material histórico com respeito à categoria 5, relação da ciência com a sociedade, mostrou que os livros associam episódios históricos dos assuntos aqui analisados sobretudo ao contexto tecnológico. Foram 27 ocorrências da subcategoria 5.3, Ciência relacionada ao contexto tecnológico e 18 ocorrências da subcategoria 5.1, Ciência relacionada com os contextos social, político e econômico. Não houve ocorrência da subcategoria 5.2, Ciência relacionada com o contexto religioso. A distribuição das ocorrências entre as

subcategorias 5.1. e 5.3 era esperada, uma vez que o desenvolvimento das máquinas térmicas, um dos principais temas de nossa análise, influenciou e foi fortemente influenciado pelos contextos socioeconômicos e tecnológicos. De acordo com El-Hani (2006), ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas, e as máquinas térmicas foram protagonistas na Revolução Industrial.

Em relação à categoria 6, atividades envolvendo conteúdo histórico, contabilizamos 17 ocorrências distribuídas em seis coleções. Metade dos livros analisados não apresenta nenhuma atividade referente ao conteúdo histórico associado à temática temperatura, calor e Termodinâmica. Este número realça o caráter opcional de estudos de conteúdos históricos nos livros de ciências. No entanto, destacamos positivamente nesta categoria a coleção A, que apresentou seis atividades.

Com respeito à categoria 7, discussões explícitas sobre a natureza da ciência, nossa análise detectou apenas três ocorrências, distribuídas nas coleções B, G e I. Entendemos que o conteúdo aqui analisado possui elementos que permitem abordagens diretas sobre a natureza do fazer científico que, no entanto, não estão sendo explorados.

A partir da compilação e análise destes dados, podemos tecer algumas considerações comparativas sobre as coleções didáticas alicerçadas no que consideramos ideal com respeito a presença do conteúdo histórico.

Um primeiro ponto a se destacar é a existência de uma diferença considerável entre as coleções no que se refere ao do quantitativo de inserções de conteúdo histórico nos capítulos analisados. Apesar de isoladamente não se conformar como um critério de qualidade, não podemos deixar de citar tais números: As coleções G e K destacam-se com, respectivamente, 64 e 45 inserções, entre textos, imagens ou atividades, enquanto as demais coleções apresentaram quantitativos entre 15 e 28 inserções.

Ao comparar os livros analisados, considerando os números em cada categoria, destacamos positivamente, frente às demais, as coleções G, I e K.

Ressaltamos os seguintes pontos considerados positivos da coleção G: os capítulos nela analisados apresentam o maior número de inserções de conteúdo histórico, como já dito anteriormente; apresenta a maior parte deste conteúdo integrado ao texto principal; traz dez ocorrências nas quais as descobertas científicas são tratadas como uma construção coletiva, o maior número desta subcategoria entre todos os livros analisados; apresenta oito ocorrências relacionando a ciência com outros contextos, o maior número entre todos os livros analisados; apresenta ainda uma atividade relacionada a HFC e uma discussão explícita sobre a natureza da Ciência.

Por sua vez, os capítulos analisados na coleção I apresentam um quantitativo de inserções de conteúdos históricos menor do que as coleções G e K, totalizando 28 inserções. No entanto, apesar de não ser um número que quantitativamente se destaque, podemos observar vários pontos positivos: o livro apresenta duas ocorrências de textos originais, de um total de apenas cinco ocorrências desta natureza entre todos os livros analisados; traz três ocorrências nas quais as descrições das descobertas científicas consideram erros e controvérsias, sendo superada nesta subcategoria apenas pela coleção H; apresenta um número de ocorrências realçando o caráter coletivo das descobertas científicas superior ao número de ocorrências que realçam o caráter individual; apresenta duas atividades relativas à HFC e uma discussão explícita sobre a natureza da Ciência.

Com respeito à coleção K, realçamos os seguintes aspectos positivos: é a coleção que apresenta o segundo maior número de inserções de conteúdo histórico nos capítulos analisados; apresenta duas ocorrências de textos originais; traz três ocorrências nas quais as descrições das descobertas científicas consideram erros e controvérsias; apresenta sete ocorrências contextualizando a ciência com outros segmentos da sociedade.

Podemos citar ainda alguns pontos positivos isolados em outras coleções, como a presença de cinco ocorrências da subcategoria 3.1 (Descrição de uma descoberta científica considerando erros e controvérsias) na coleção H, seis atividades referentes à HFC na coleção A e três destas ocorrências nas coleções C e L.

Durante nossa análise observamos também que a coleção que mais se afasta do que consideramos ideal é a coleção D. Trata-se da coleção que apresenta o menor número de inserções de material histórico nos capítulos analisados, sendo a única na qual não aparecem ocorrências na categoria 5 (Relação da Ciência com a sociedade), além de não apresentar ocorrências na subcategoria 3.1 (Descrição de uma descoberta científica considerando erros e controvérsias).

É importante sublinhar que analisamos apenas capítulos referentes aos conteúdos temperatura, calor e Termodinâmica, não sendo objetivo deste trabalho comparar as coleções com respeito ao material histórico presente nos demais capítulos. No entanto, apesar de não compor a íntegra dos livros didáticos, a temática associada aos capítulos analisados é muito rica historicamente e sob este ponto de vista, durante a análise foi observado que nenhuma das coleções explora de maneira completamente satisfatória as possibilidades oferecidas pelo conteúdo, sobretudo com respeito ao tipo de descrição da evolução da ciência (categoria 3), onde predominam menções a descobertas científicas sem uma descrição mínima dos processos envolvidos, também no que se refere à relação da Ciência com outros contextos da sociedade (categoria 5) e ainda quanto à inserção de discussões explícitas sobre a natureza da Ciência (categoria 7), aspecto também muito pouco explorado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Adotando a perspectiva defendida por diversos autores e documentos oficiais, acreditamos que a inserção de conteúdos de HFC na educação básica traz benefícios ao ensino ao possibilitar uma contextualização histórica dos conteúdos. Ainda mais, constitui-se em importante instrumento capaz de enriquecer as aulas com elementos acerca da natureza da Ciência, aproximando estudantes e professores de uma percepção mais realista do fazer científico.

A partir desta perspectiva, fizemos uma revisão bibliográfica sobre essa questão da inserção da HFC. A literatura analisada menciona alguns fatores que podem ser determinantes para o sucesso dessa estratégia. Entre esses fatores são apontados de forma destacada a formação dos docentes e o livro didático. Assim sendo, primeiramente buscamos levantar junto a docentes do ensino médio a percepção destes sobre o tema, além de analisar conteúdos presentes nos livros didáticos e elaborar um material educacional, que acreditamos ter potencial para contribuir com professores e alunos de forma positiva.

Durante o levantamento realizado junto a 21 professores de Física, atuantes no ensino médio em escolas públicas e particulares, foi possível construir um panorama do posicionamento destes docentes em relação ao tema.

A formação profissional mostrou-se constituir um possível obstáculo: menos da metade dos professores participantes possui licenciatura em Física e do total de pesquisados, mais de quarenta por cento não cursou qualquer disciplina associada a HFC. Apesar deste quadro, a maioria acredita estar preparada, ou razoavelmente preparada, para abordar a temática em sala de aula e confia, sobretudo, em resultados positivos quanto a uma melhor compreensão, por parte dos alunos, sobre como se dá a construção do conhecimento científico. Esta confiança, associada à opinião dos mesmos sobre a importância atribuída ao tema, se constituiu em uma constatação muito positiva de nossa pesquisa: todos consideraram importante ou muito importante a contextualização histórica dos conteúdos. Porém, a realidade da sala de aula não é ocultada pelos docentes, uma vez que apenas três participantes da pesquisa afirmaram que têm conseguido alcançar os objetivos propostos relativos ao tema. De fato, é um número modesto, mas não surpreendente, frente às dificuldades do cotidiano escolar. Portanto, considera-se aqui positiva a percepção que os docentes apresentam e o fato de estarem tentando colocar em prática a inserção de História da Ciência em suas aulas.

Sobre a relação com o livro didático de Física, comprovamos o que já havia sido afirmado por Garcia (2012) e Zambon e Terrazzan (2017). O livro didático continua como importante recurso educacional, porém, sua utilização como livro-texto em sala de aula tem ocorrido com menor frequência atualmente. Mais de 85% dos pesquisados afirmaram fazer uso frequente deste recurso. No entanto, apenas um terço do total de docentes utiliza-o como livro-texto. O livro tem sido utilizado majoritariamente na preparação das aulas, como fonte de exercícios e experimentos e também para pesquisas por parte dos professores e alunos. A variedade dos recursos que podem ser utilizados no ambiente escolar retirou do livro didático o status de elemento central na sala de aula, mas os dados aqui obtidos mostram que ele não perdeu seu protagonismo nos bastidores das aulas.

Quanto ao conteúdo histórico presente nos livros didáticos de Física, aproximadamente 43% dos participantes da pesquisa afirmaram utilizá-los em sala de aula. Tendo em vista a diversidade de fontes possíveis e as dificuldades por vezes encontradas pelos professores ao buscarem a contextualização histórica, este número reforça a importância dos conteúdos de HFC presentes nos livros didáticos. Sobretudo, quando percebemos nas respostas, uma utilização tímida de outros textos. Publicações de qualidade como o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, a *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *A Física na Escola* e *Ciência e*

Educação, dentre outras que poderíamos citar, se mostraram, neste levantamento, como materiais ainda pouco explorados pelos docentes do ensino médio. Uma maior aproximação destas publicações com a sala de aula pode se conformar em algo positivo quando tratamos de HFC.

Com relação à análise dos capítulos contendo os tópicos Temperatura, Calor e Termodinâmica, nas doze coleções distribuídas pelo PNLN para o triênio 2018, 2019 e 2020, o levantamento de dados, utilizando o instrumento de avaliação elaborado, permitiu que pudessemos ter uma visão panorâmica de como os conteúdos relacionados com a HFC têm sido apresentados nos livros didáticos de Física e que concepção sobre a construção do conhecimento científico vem sendo transmitida por estes.

Quanto à apresentação dos conteúdos históricos e recursos utilizados para tal, predominam textos dos autores dos livros. Documentos e textos originais praticamente não são utilizados. As ocorrências de informações históricas estão em parte integradas ao texto corrente dos livros, aproximadamente 60%, e parte em caixas de texto ou seções independentes, aproximadamente 40%. Certamente, este seria um número a ser comemorado. No entanto, o maior quantitativo de inserções integradas ao texto principal são apenas citações de descobertas científicas associadas às suas datas de ocorrência.

Imagens são bastante exploradas, seja de laboratórios e equipamentos ou de cientistas e filósofos. Há, porém, uma heterogeneidade neste aspecto retratada pelo fato de uma das coleções ter apresentado dezoito imagens de cientistas enquanto duas não apresentaram imagens deste tipo nos capítulos analisados. Esta situação mostra o quanto os conteúdos referentes à HFC são abordados de formas diferentes pelos diversos autores.

Quanto à forma como os livros relatam as descobertas científicas, o principal ponto desta nossa análise, observamos que predominam menções às mesmas sem descrição do processo. Erros e controvérsias são citados em uma minoria das ocorrências. Sobre os autores das descobertas, observamos um domínio quantitativo de realizações individuais. Menções ao trabalho coletivo são maioria em apenas três dos doze livros. Desta forma, podemos inferir que os livros transmitem uma evolução linear da Ciência, apoiada em trabalhos individuais, o que não corresponde ao que consideramos uma visão adequada sobre a natureza da Ciência, na qual erros e controvérsias são parte do desenvolvimento científico e destaca-se o trabalho coletivo.

No tocante à relação da Ciência com a sociedade, a maioria dos episódios históricos dos capítulos analisados relacionam a Ciência com a tecnologia. Em menor número são feitas relações com o contexto socioeconômico. Notamos que este aspecto, um dos mais importantes a serem considerados, encontra-se pouco explorado. Da mesma forma, raras considerações explícitas sobre a natureza da Ciência foram encontradas nos capítulos analisados. Apenas três livros exploraram esta possibilidade.

Finalmente, mediante todas as análises realizadas, enxergamos de forma muito positiva o posicionamento dos professores participantes da pesquisa no tocante à implementação em sala de conteúdos relacionados à HFC. Quanto à análise das coleções didáticas, é importante destacar que foram analisados apenas os capítulos cujos tópicos relacionam-se diretamente com o produto educacional por nós elaborado, e neste universo, observamos que a inserção de conteúdo histórico não é apresentada de forma plenamente satisfatória, havendo espaço para aperfeiçoamentos tanto na forma como os episódios históricos são apresentados, que transmite implicitamente uma visão da sobre a Ciência, como também no número de ocorrências de discussões explícitas sobre a natureza da Ciência durante a apresentação dos conteúdos. Neste contexto, o material de apoio ao ensino na forma de paradidático pode complementar as lacunas existentes e contribuir de forma positiva na educação científica de nossos estudantes.

REFERÊNCIAS

- ALLCHIN, D. **How not to teach Historical Cases in Science**. Journal of College Science Teaching, vol. 30 n. 1, 2000.
- BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- BRASIL. **Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2000.
- CHALMERS, A. F. **O que é Ciência afinal?** Editora Brasiliense, 1993.
- CHIBENI, S. S. **O que é Ciência?** Campinas: UNICAMP, 2013.
- EL-HANI, C. N. **Notas sobre o Ensino de História e Filosofia da Ciência na Educação Científica de Nível Superior**. In: SILVA, C.C. (Org). Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- FARIA, L. M.; MORAES, I. J.; BARRIO, J. B. M. **A visão de ciência em livros didáticos utilizados por professores de física do ensino médio**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF. Vitória, 2009.
- FERREIRA, A.M.P.; FERREIRA, M.E.M.P. **A História da Ciência na formação de professores**. História da Ciência e Ensino – Construindo Interfaces, v.2, p. 1-13, 2010.
- FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. **Prescrições Historiográficas e Saberes Escolares: Alguns Desafios e Riscos**. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, 2009.
- GARCIA, N. M. D. **Livro didático de Física e de Ciências: contribuições das pesquisas para a transformação do ensino**. Educar em Revista. Curitiba, n. 44, p. 145-163, 2012.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4^a ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- GIL-PÉREZ, D. et al. **Para uma imagem não deformada do trabalho científico**. Ciência e Educação. Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. **Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles**. Science & Education v. 20. p.293-316. 2011.
- LAJOLO, M. **Livro Didático: um quase manual de usuário**. Em Aberto, Brasília, n. 69, jan./mar. 1996.
- LEITE, L. **History of Science in Science Education: Development and Validation of a Checklist for Analysing the Historical Content of Science Textbooks**. Science & Education. Vol. 11. p.333-359. 2002.

LONDERO, L. **A história e filosofia da ciência na formação de professores de física: controvérsias curriculares.** História da Ciência e Ensino – Construindo Interfaces, v.11, p. 18-32, 2015

MARTINS, R. A. **Introdução: A História das Ciências e seus usos na educação.** In SILVA, C.C. (Org). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

_____. **Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino.** Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência, 1990.

MATTHEWS, M. R. **A Role for History and Philosophy in Science Teaching.** Interchange, Vol. 20 n° 2, 1989.

_____. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 12, n. 3: p. 164-214, 1995.

McCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. P.; ALMAZROA, H. **The nature of Science in Science education: an introduction.** Science & Education. Vol. 7. p.511-532. 1998.

McCOMAS, W. F. **The principal elements of the nature of science: dispelling the myths.** In W. F. McComas (Ed.). The nature of science in science education. p. 53-70. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002.

MOREIRA, M. A. **Ensino de Ciências e de Matemática: resenhas e reflexões.** Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos. Brasília, v. 93, n. 234, [número especial], p. 486-501, maio/ago, 2012.

MOURA, B. A. **O que é Natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência?** Revista Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, jan / jun, 2014.

NETO, J. M.; FRACALANZA, H. **O livro didático de ciências: problemas e soluções.** Ciência & Educação, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

PAGLIARINI, C. R. **Uma análise da História e Filosofia das Ciências presentes em livros didáticos de Física para o Ensino Médio.** 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a utilização didática da história da ciência.** In: PIETROCOLA, M. (Org.). Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, p. 151-170, 2001.

PEREIRA, G.J.S.A.; MARTINS, A.F.P. **História e Filosofia da Ciência nos currículos dos cursos de licenciatura em física e química da UFRN.** VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, 2009.

PRAIA, j.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. **O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania.** Ciência & Educação, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Estado de Educação. Currículo Mínimo. Rio de Janeiro, SEEDUC, 2012.

RODRIGUES, R. M. **Paradidático e educação: uma conversa informal**. Comunicação & Educação, São Paulo, v.7, p. 79-84, set./dez 1996.

SCHWANTES, L.; MARINHO, J.C.B.; ARNT, A.M. **História e Filosofia da Ciência na formação de professores: um estudo em cursos das universidades federais do Rio Grande do Sul, Brasil**. X Congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias - Sevilla, Enseñanza de las ciencias, n.º extraordinário, p.3635-3641, 2017.

SILVA, B. G. **História da Ciência nos Livros Didáticos de Física do 1.º Ano do Ensino Médio no Brasil**. 2017. 101f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) - Escola Superior de Educação, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. **A Natureza da Ciência por Meio do Estudo de Episódios Históricos: O Caso da Popularização da Óptica Newtoniana**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1602, 2008.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. **Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 25, n. 1: p. 141-159, 2008.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, O. **The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions**. Science & Education. Vol. 21. p.771-796. 2012a.

_____. **Uma Revisão Sistemática das Pesquisas realizadas no Brasil sobre o uso Didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física**. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (orgs). Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino. Natal: EDUFRRN. 2012b.

VILARINHO, L. R. G.; SILVA, J. S. N. **A Avaliação do Livro Didático como Instrumento de Afirmação da Autonomia da Escola e de seus Docentes**. Meta: Avaliação. Rio de Janeiro, v. 7, n. 21, p. 403-428, 2015.

ZAMBON, L. B.; TERRAZZAN, E. A. **Livros didáticos de física e sua (sub)utilização no ensino médio**. Ensaio. Belo Horizonte. v.19, e2668. p. 1-22, 2017.

APÊNDICES

Apêndice A - Questionário

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
PPGEduCIMAT
PROJETO DE PESQUISA – QUESTIONÁRIO
TEMA: HISTÓRIA DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) disponibilizada pelo Ministério da Educação (MEC) em dezembro de 2018 orienta quanto à contextualização histórica do conhecimento científico, para que o educando perceba que existe uma construção de conhecimento, sobretudo humana, e não mágica, por trás de cada teoria, de cada conceito que lhes são apresentados. Estas orientações não constituem algo novo no cenário do ensino de ciências, visto que os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) já contemplavam esta linha de ação.

No entanto, esta missão não é uma tarefa simples para os docentes das escolas públicas e particulares de ensino médio.

Ciente das dificuldades acerca do tema, este projeto de pesquisa tem o objetivo de diagnosticar, junto aos docentes, como está a percepção dos mesmos sobre o tema, dificuldades existentes na prática e como o livro didático tem contribuído e pode contribuir para a inserção da História da Física nas salas de aula do ensino médio.

1) Você leciona física há quanto tempo?

- Menos de 1 ano Entre 1 e 5 anos Entre 5 e 10 anos Mais de 10 anos

2) Em que tipo(s) de escola(s) você leciona?

- Escola(s) pública(s) Escola(s) particulare(s) Escola(s) pública(s) e particulare(s)

3) Qual sua área de formação?

- Física Matemática Química Biologia Outra

4) Em sua formação como professor, você cursou alguma disciplina relacionada à História e Filosofia da Ciência?

- Sim, 1 período Sim, 2 períodos Sim, mais de 2 períodos Não

5) Que grau de importância, dentro da formação educacional dos alunos, você atribui à contextualização histórica dos conteúdos?

- Muito importante Importante Pouco importante Sem nenhuma relevância

6) Independentemente do grau de importância que você tenha atribuído na resposta anterior, você acredita que a inserção da História da Física em sala de aula pode produzir resultados satisfatórios em qual (ou quais) aspectos a seguir?

- Compreensão dos conceitos
- Conscientização sobre a Natureza da Ciência, de como se constrói o conhecimento
- Melhoria na capacidade de argumentação dos alunos

7) Você considera que em sua prática tem conseguido atender as orientações da BNCC, isto é, além de transmitir os conteúdos, contextualizá-los historicamente para que o aluno perceba como se dá a construção do conhecimento?

- Sim, tenho conseguido
- Tenho tentado e conseguido parcialmente
- Tenho tentado mas não tenho conseguido
- Não tenho tentado

8) Considerando o desejo de colocar em prática as orientações sobre a contextualização histórica dos conteúdos e o desenvolvimento da ciência como construção humana, como você se sente em termos de preparação para isso?

- Me sinto muito preparado
- Me sinto razoavelmente preparado
- Me sinto pouco preparado
- Me sinto despreparado

9) Você faz uso de livros didáticos para consultas ou preparação de suas aulas?

- Sim, com frequência
- Sim, eventualmente
- Não

10) Você adota algum livro didático como livro-texto para os alunos em alguma de suas turmas?

- Sim
- Não

11) Os livros didáticos que você utiliza atualmente (para quem usa), como fonte de consulta ou como livro-texto, trazem conteúdos acerca da História da Física?

- Sim e eu faço uso destes conteúdos em sala de aula
- Sim, mas não costumo utilizá-los
- Não trazem
- Não observei

12) Pensando nas dificuldades de se colocar em prática as orientações sobre a contextualização histórica e a construção do conhecimento como um empreendimento humano sujeito à influência sociocultural de sua época, você tem conhecimento de materiais (textos), além dos contidos nos livros didáticos, que possam ser utilizados como apoio para as aulas?

- Sim, e costumo fazer uso
- Sim, mas faço uso apenas esporadicamente
- Sim, mas não costumo usar
- Não conheço materiais além dos livros didáticos

13) A seguir temos uma relação de publicações sobre o ensino de física. Caso já tenha feito uso de alguma(s) dela(s) para aquisição de conhecimento para sua prática, assinale:

- Revista Brasileira de Ensino de Física
- Caderno Brasileiro de Ensino de Física
- Revista A Física na Escola
- Revista Brasileira de Pesquisa em Educação e Ciências
- Revista Ciência e Educação

14) Você gostaria de tecer algum comentário que possa enriquecer nossa pesquisa? Será de muito valor.

Muito obrigado por participar!

Apêndice B – Dados de classificação do conteúdo histórico levantados a partir da leitura integral das coleções A e B.

Coleção A: Física.

Autores: José Roberto Bonjorno, Clinton Marcico Ramos, Eduardo de Pinho Prado, Valter Bonjorno, Mariza Azzolini Bonjorno, Renato Casemiro e Regina de Fátima Souza Azenha Bonjorno.

Editora: FTD, 3ª edição, 2016.

Volume 1.

Unidade 1 – A ciência física.

Capítulo 1 – Introdução ao estudo da física.

A seção 1, *O desenvolvimento da física*, aborda a evolução do pensamento desde a Idade Antiga, passando pela Idade Média, pelo Renascimento até a Era Contemporânea, com a relatividade, mecânica quântica e física nuclear. Enfatiza a produção científica realizada por vários cientistas e explicita a natureza humana da Física e o fato desta sofrer influências socioculturais, políticas, tecnológicas, religiosas e econômicas. Menciona uma mudança de paradigma ocorrida no início do século XX. (1.2) (2.6) (3.1) (4.2) (5.10) (5.2) (5.3) (7) Apresenta ainda uma imagem de Aristóteles (2.2), uma imagem de Galileu (2.2) e uma gravura de um sistema planetário geocêntrico (2.4).

A seção *A história conta* (seção presente no final de todas as unidades) trata da criação do Sistema Internacional de Unidades de Medidas. (1.2) (2.6) Apresenta duas gravuras históricas (2.4) e uma imagem do laboratório de Lavoisier de 1787. (2.4)

Unidade 2 – Cinemática escalar.

Capítulo 2 – Introdução ao estudo dos movimentos.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 3 – Movimento uniforme.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 4 – Movimento uniformemente variado.

Apenas na Seção 5 o capítulo apresenta uma gravura do século XVII de Evangelista Torricelli. (2.2)

Capítulo 5 – Movimento vertical.

A seção *A história conta* menciona os experimentos de Galileu na Torre de Pisa, deixando cair objetos, classificando-as como uma lenda. Descreve os trabalhos de Galileu utilizando o plano inclinado e um trecho da obra “Duas novas ciências”. (1.2) (2.1) (2.6) (3.2) (4.3) Apresenta uma imagem de Galileu (2.2), a imagem de um diagrama de Galileu sobre o movimento de queda dos corpos (2.4) e a imagem de um aparato que mostra o trajeto descrito por um projétil em lançamento horizontal, de 1762. (2.4)

Unidade 3 – Cinemática vetorial.

Capítulo 6 – Elementos da cinemática vetorial.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 7 – Composição de movimentos e lançamentos.

A seção 2 menciona que Galileu, em seus estudos, percebeu a independência dos movimentos. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção 3 apresenta uma gravura do século XVIII ilustrando lançamento de projéteis. (2.4)

Capítulo 8 – Movimento circular.

A seção *A história conta* descreve a evolução do conceito de vetores. Cita vários cientistas, dando especial importância aos trabalhos de Oliver Heaviside e mencionando algumas de suas características pessoais. (1.2) (2.6) (3.2) (4.2) Apresenta, ainda, uma imagem

de René Descartes (2.2), uma gravura de autoria de René Descartes (2.4) e uma gravura de um recurso para medir ângulos, de 1532. (2.4)

Unidade 4 – Dinâmica.

Capítulo 9 – Força e movimento.

A seção 2 apresenta, de forma sucinta, os trabalhos de Galileu sobre a inércia junto ao texto principal. (1.1) (2.6) (3.2) (4.2)

Capítulo 10 – Trabalho e Potência.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 11 – Energia mecânica.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 12 – Gravitação universal.

A seção 1 descreve, com uma evolução histórica resumida, os sistemas geocêntrico e heliocêntrico. Cita Ptolomeu, Copérnico, Kepler e Tycho Brahe. (1.1) (2.6) (3.2) (4.2) (5.2) Apresenta uma imagem de Ptolomeu (2.2), uma de Copérnico (2.2), uma de Kepler (2.2), uma imagem do sistema geocêntrico de Ptolomeu (2.4) e uma imagem do sistema proposto por Copérnico. (2.4)

A seção 2 apresenta as Leis de Kepler utilizando uma pequena evolução histórica. Cita influências religiosas e de autoridades nos trabalhos científicos, além da possível influência da obra de William Gilbert sobre os pensamentos de Kepler. (1.1) (2.6) (3.1) (4.2) (5.1) (5.2)

A seção 3 descreve os trabalhos de Newton sobre a Lei da Gravitação Universal. (1.1) (2.6) (3.2) (4.3)

A seção *A história conta* relata os trabalhos de Newton publicados nos “Princípios”, realçando a importância daquela publicação. (1.2) (3.3) (4.3) A seção apresenta duas imagens do “Princípios” (2.1) e uma gravura ilustrando a lenda da “maçã de Newton”. (2.4)

Unidade 5 – Estática.

Capítulo 13 – Equilíbrio de um corpo.

A seção *A história conta* apresenta a história da Torre de Pisa.

Unidade 6 – Mecânica dos fluidos.

Capítulo 14 – Hidrostática e hidrodinâmica.

Na seção 4 há a descrição da experiência de Torricelli para determinação da pressão atmosférica. (1.1) (2.5) (3.3) (4.3)

A seção 8 menciona que Arquimedes “verificou” o teorema do empuxo. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3) Apresenta uma imagem de Arquimedes. (2.2).

Volume 2.

Unidade 1 – Termologia.

Capítulo 1 – Temperatura e suas medidas.

A seção *Pensando as ciências: Física e História* apresenta um resumo da evolução dos modelos atômicos citando Demócrito, Pierre Gassendi, Robert Boyle John Dalton, Gay-Lussac, Amedeo Avogadro, J.J. Thomson, Ernest Rutherford e Niels Bohr. Destaca que todos os modelos destes cientistas as eram diferentes entre si. A seção traz uma atividade sobre a história do desenvolvimento dos modelos atômicos. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (6)

Ainda no capítulo 1, uma segunda seção *Pensando as ciências: Física e História* apresenta uma relação de invenções que modificaram a vida das pessoas, entre elas o forno que, apesar de ser uma invenção pré-histórica, se popularizou com a abertura da primeira fábrica de forno a gás, em 1834, por James Sharp; a geladeira, criada por John Gorrie; a pasteurização de alimentos desenvolvida por Louis Pasteur e o forno de micro-ondas, criado pelo engenheiro americano Percy Spencer. A seção apresenta uma imagem da primeira geladeira da General Electric, de 1927 e uma atividade referente ao conteúdo histórico. (1.2) (2.4) (2.6) (3.3) (4.2) (5.1) (5.3)

A seção 4 – *Escalas termométricas* - apresenta as escalas termométricas usuais mencionando as datas de proposição das mesmas e faz uma pequena descrição de como Celsius e Fahrenheit escolheram pontos fixos. (1.1) (2.6) (4.2)

Outra ocorrência da seção *Pensando as ciências: Física e História*, ainda no capítulo 1, apresenta um trecho de uma publicação original de Fahrenheit, onde o próprio descreve a construção de sua escala. (1.2) (2.1) (3.2) (4.2)

Capítulo 2 – Trocas de calor.

Na seção 1 – *Calor e energia térmica* - há a descrição da evolução do conceito de calor nos séculos XVIII e XIX. Menciona que a teoria do calórico explicava vários fenômenos e era defendida por Lavoisier e que Benjamin Thompson, observando o aquecimento que ocorria durante a perfuração de metais na fabricação de canhões, passou a questionar a ideia do calórico e a acreditar que o calor seria uma forma de energia, ideia compartilhada por Helmholtz e Joule, que, mais tarde conseguiu medir a quantidade de calor produzida por determinada quantidade de energia mecânica. A seção apresenta uma imagem de Lavoisier (2.2) e uma imagem de Joule (2.2). (1.1) (2.6) (3.1) (4.1) (5.3)

Na seção *Pensando as ciências: Física e História* há um fragmento de um livro sobre a História da Termodinâmica, com comentários sobre as contribuições de Joseph Black. A seção traz também uma atividade sobre a história da ciência. (1.2) (2.7) (3.3) (4.2) (6)

Capítulo 3 – Processos de trocas de calor.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 4 – Dilatação Térmica.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 5 – Mudanças de fase.

Na seção *A história conta* há a descrição da teoria do calórico e as contribuições de Joseph Black, Benjamin Thompson, Joule e Lavoisier para a evolução do conceito de calor. A seção cita também a teoria do flogístico e o trabalho de Lavoisier para o enfraquecimento desta teoria. A seção apresenta uma imagem do aparato utilizado por Joule para determinação do equivalente mecânico do calor (2.4) e uma atividade referente ao conteúdo histórico. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1) (6)

Unidade 2 – Termodinâmica.

Capítulo 6 – Estudo dos gases.

A seção *Pensando as ciências: Física e História* traz o conceito de gás de Van Helmont do século XVII e apresenta também uma atividade sobre história da ciência. (1.2) (2.7) (4.2) (6)

Na seção 3 – *Transformação isotérmica* - há uma pequena descrição dos trabalhos de Robert Boyle com massas gasosas. (1.1) (2.6) (3.2) (4.2)

A seção 4 – *Transformação isobárica* - menciona experimentos realizados por Jacques Charles e Joseph Louis Gay-Lussac. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

Na seção 8 – *A constante de Avogadro* – é mencionado que experimentos do físico francês Jean Baptiste Perrin permitiram, realizados em 1908, permitiram determinar, pela primeira vez um valor para a constante de Avogadro. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 7 – Leis da Termodinâmica

Na seção *Pensando as ciências: Física e História* há um trecho da obra *História da riqueza do homem*, de L. Huberman, relatando a entrada em operação da máquina térmica de Watt. A seção apresenta uma atividade sobre História da ciência. (1.2) (2.7) (3.3) (4.2) (5.3) (6)

A seção 6 menciona a proposição de Carnot para um ciclo de máximo rendimento. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Na seção 7 – *Irreversibilidade – degradação de energia – entropia* – é relatado que, em 1865, Rudolf Clausius introduziu o conceito de entropia e, alguns anos depois, Boltzmann,

usando a mecânica estatística, associou este conceito a estados mais desorganizados. (1.1) (2.6) (3.3) (4.1)

A seção *A história conta* trata da história das máquinas a vapor e das contribuições de Carnot e Clausius para a termodinâmica. (1.2) (2.6) (3.3) (4.1) (5.1) (5.3) A seção apresenta a imagem de um trator a vapor (2.4), de barcos a vapor (2.4) e a imagem de um modelo de uma máquina a vapor (2.4). Na seção há ainda uma atividade sobre a história da ciência. (6)

Unidade 3 – Óptica.

Capítulo 8 – Conceitos fundamentais de óptica.

A seção 1 traz uma explanação sobre as teorias ondulatória e corpuscular da luz ao longo da história. (1.1) (2.6) (3.1) (4.2) Apresenta também uma atividade sobre a História da Ciência (6)

Na seção *Experimento* há uma descrição da utilização da câmara escura ao longo da história e dos trabalhos que tinham como objetivo conseguir fixar uma imagem obtida na câmara. (1.2) (2.6) (3.2) (4.2) A seção apresenta a ilustração de uma câmara escura de 1544. (2.4)

A seção *Pensando as ciências: física e história* descreve experimentos realizados por Newton sobre a decomposição da luz branca. (1.2) (2.6) (3.3) (4.3) Apresenta ainda um fragmento da obra original “óptica” de Isaac Newton (2.1) e uma atividade sobre a História da Ciência (6).

Capítulo 9 – Reflexão da luz.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 10 – Espelhos esféricos.

A seção *Pensando as ciências: física e história* versa sobre a suposta façanha de Arquimedes de queimar uma frota de navios utilizando a luz do sol e espelhos. Apresenta dúvidas sobre a veracidade do fato. (1.2) (2.6) (3.4) (4.3) Apresenta ainda uma atividade sobre História da Ciência. (6)

Capítulo 11 – Refração da Luz.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 12 – Lentes esféricas.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 13 – Instrumentos ópticos.

A seção *A história conta* relata as contribuições de Johannes Kepler para os fundamentos da óptica geométrica. (1.2) (2.7) (3.2) (4.1) Na seção há uma atividade sobre História da Ciência. (6)

Unidade 4 – Ondulatória.

Capítulo 14 – Ondas.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 15 – Fenômenos ondulatórios.

A seção 1 menciona a apresentação do princípio de Huygens à Academia Real de Ciências na França. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

Capítulo 16 – Acústica.

A seção *Pensando as ciências: física e cosmologia* menciona a descoberta do efeito doppler e do desvio para o vermelho. (1.2) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção *A história conta* relata a previsão e confirmação da existência das ondas eletromagnéticas e algumas de suas aplicações, como as primeiras transmissões de rádio e a invenção do radar. (1.2) (2.6) (3.3) (4.2) (5.3) Apresenta uma imagem de Guglielmo Marconi. (2.2)

Volume 3.

Unidade 1 – Eletrostática.

Capítulo 1 – Força elétrica.

A seção 1 descreve a evolução do conceito de eletricidade desde Tales de Mileto, passando por Willian Gilbert, Otto Von Guericke, Stephen Gray, Charles du Fay, Benjamin Franklin até chegar à descoberta do elétron e o modelo atômico de Rutherford. (1.1) (2.6) (3.2) (4.2) A seção apresenta imagens de Tales de Mileto (2.2), Willian Gilbert (2.2), J.J. Thomson (2.2), Jean Perrin (2.2), Ernest Rutherford (2.2) e Johannes Geiger. (2.2). Traz, ainda, uma gravura de Otto Von Guericke realizando um experimento (2.4) e uma gravura da lendária experiência de Franklin e sua pipa. (2.4)

A seção 2 menciona a descoberta do nêutron por James Chadwick e o estabelecimento da carga elétrica por Millikan (1.1) (2.6) (3.3) (4.3), além de apresentar imagens de Chadwick (2.2) e Milikan (2.2).

A seção 6 menciona a sugestão de Joseph Priestley sobre a força elétrica e a comprovação da mesma por Coulomb. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2) Apresenta uma imagem de Coulomb (2.2) e de uma balança de torção como a que ele usara. (2.4)

Capítulo 2 – Campo elétrico e potencial elétrico.

Na seção 6, há a descrição de um episódio sobre Faraday e sua gaiola. (1.1) (2.6) (3.4)

A seção *Pensando as ciências: física e cinema* menciona episódios sobre Nikola Tesla. (1.2) (2.6) (3.4) Apresenta uma imagem de Nikola Tesla em seu laboratório. (2.4)

A seção *A história conta* faz uma menção explícita sobre quão dinâmica é a ciência apresentando um trecho de uma carta original de Benjamin Franklin a Peter Collison, trazendo evidências deste dinamismo. (1.2) (2.1) (7)

Unidade 2 – Eletrodinâmica.

Capítulo 3 – Corrente elétrica.

A seção 1 traz uma imagem de André-Marie Ampère. (2.2)

Capítulo 4 – Resistores.

A seção 1 menciona que George Simon Ohm “concluiu” que a diferença de potencial num resistor é diretamente proporcional à corrente que o atravessa. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3) A seção apresenta uma imagem de Ohm. (2.2).

Capítulo 5 – Geradores Elétricos.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 6 – Receptores elétricos.

A seção 3 apresenta uma imagem de Gustav Robert Kirchhoff. (2.2)

A seção *A história conta* relata as invenções do telégrafo, do telefone e da lâmpada incandescente. Faz referências a informações pessoais de Graham Bell e menciona o trabalho em equipe e as influências econômicas e sociais no desenvolvimento científico. (1.2) (2.3) (2.6) (3.2) (4.2) (4.3) (5.1) A seção apresenta uma atividade envolvendo conteúdo histórico fomentando uma discussão acerca da influência do sistema econômico no desenvolvimento científico. (6) (7) Exibe ainda uma imagem de Graham Bell no que seria a primeira comunicação telefônica (2.4) e a imagem de um telégrafo. (2.4)

Unidade 3 – Eletromagnetismo.

Capítulo 7 – Campo magnético.

A seção 1 menciona os primeiros relatos sobre fenômenos magnéticos citando gregos e chineses. (1.1) (2.6) (3.4)

A seção 2 faz uma descrição resumida do experimento de Oersted, mencionando como ele “mostrou” a relação entre eletricidade e magnetismo. (1.1) (2.5) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção *Experimento* traz como atividade a recriação do experimento de Oersted. Nesta seção o autor realça que a descoberta não foi acidental e que muitas pessoas contribuíram, com trabalhos anteriores, para que ele chegasse àquele resultado. (1.2) (2.5) (2.6) (3.2) (4.2) (6)

A seção 4 descreve, resumidamente, experimentos de Ampère sobre campo magnético gerado por corrente elétrica. (1.1) (2.5) (2.6) (3.2) (4.3)

Capítulo 8 – Força magnética.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 9 – Indução eletromagnética.

A seção 1 descreve a descoberta da indução eletromagnética, enfatizando que vários cientistas realizaram esforços naquele sentido. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção 2 menciona a descoberta do sentido da força eletromotriz induzida, por Lenz. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção *Pensando as ciências: física e tecnologia* relata a disputa ocorrida nos Estados Unidos, no final do século XIX, entre os defensores da distribuição de energia elétrica com corrente contínua ou corrente alternada. (1.2) (2.6) (4.2) (5.1) (5.3)

Capítulo 10 – Ondas eletromagnéticas.

A seção 1 menciona o pensamento de Maxwell sobre a possibilidade de obter campos magnéticos a partir de campos elétricos variáveis. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção 2 menciona a comprovação das ondas eletromagnéticas por Hertz. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção *A história conta* relata a invenção e aperfeiçoamento do fonógrafo, a invenção do gramofone e a evolução das tecnologias de gravação. (1.2) (2.6) (3.2) (4.2) (5.3)

Unidade 4 – Física moderna.

Capítulo 11 – Teoria da relatividade restrita.

A seção 1 traz um relato histórico de descobertas e controvérsias ocorridas na passagem do século XIX para o século XX. Trata desde as medições da velocidade da luz, da existência do éter e das novas ideias, como a contração do espaço de Lorentz-Fitzgerald. (1.1) (2.5) (2.6) (3.1) (4.1) Apresenta imagens de Fizeau (2.2), Poincaré (2.2), Morley (2.2), Lorentz (2.2) e Fitzgerald (2.2).

A seção *Pensando as ciências: física e tecnologia* relata o surgimento e as dúvidas relacionadas à teoria do “big bang”. Menciona os esforços de cientistas para explicar a origem do universo e as controvérsias em torno da teoria. (1.2) (2.6) (3.3) (4.2) A seção apresenta uma atividade acerca relacionada à HFC. (6)

A seção 5 relata a descoberta do pósitron por Carl David Anderson, em 1932, e a constatação de que ao se juntar a um elétron ambos desaparecem e suas massas se transformam em energia transportada por dois raios γ . (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção *Pensando as ciências: física e história* apresenta os esforços de dois grupos de cientistas para observar o encurvamento da luz, pela gravidade, ao organizarem duas expedições: uma em Sobral, no Ceará, e outra na África, ambas em 1919, quando ocorreu um eclipse total do sol. (1.2) (2.6) (3.1) (4.1) Apresenta uma imagem de um grupo de cientistas (2.2) e uma atividade na qual se fomenta aspectos da natureza da ciência. (6) (7)

Capítulo 12 – Física quântica.

A seção 1 descreve a evolução dos conhecimentos acerca da emissão de ondas por corpos aquecidos, desde a introdução do conceito de corpo negro por Kirchoff, passando pelos trabalhos de Wilhelm Wien e Lord Rayleigh, até chegar às explicações de Max Planck, dando origem à Física Quântica. (1.1) (2.6) (3.1) (4.2) A seção apresenta uma imagem de Wilhelm Wien. (2.2)

A seção 2 menciona as pesquisas associadas à explicação do efeito fotoelétrico. Cita as primeiras observações de Wilhelm Hallwacks, os trabalhos experimentais de Philipp Anton Von Lenard e as explicações de Einstein para o fenômeno. (1.1) (2.6) (3.1) (4.2) Apresenta uma imagem de Von Lenard. (2.2)

A seção 3 destaca a experiência de Compton, em 1923, evidenciando o caráter corpuscular associado às ondas eletromagnéticas. A seguir, menciona o princípio da complementaridade de Bohr e a teoria de Louis de Broglie que relacionou um caráter dual também a partículas materiais. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3) Apresenta imagens de Niels Bohr (2.2) e Louis de Broglie (2.2).

Capítulo 13 – Radioatividade.

A seção 1 menciona a “descoberta” da radioatividade pelo físico Antoine Becquerel, os trabalhos de Marie e Pierre Curie com materiais radioativos e também os estudos de Rutherford na classificação destas emissões. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2) Apresenta imagens de Becquerel (2.2) e Pierre e Marie Curie (2.2).

A seção 3 menciona um experimento de Rutherford, em 1919, que se constituiria na primeira transmutação artificial de um elemento em outro. (1.1) (2.6) (3.4) A seção apresenta uma imagem de Rutherford e Geiger em um laboratório. (2.4)

Coleção B: Física aula por aula.

Autores: Benigno Barreto Filho e Claudio Xavier da Silva.

Editora FTD, 3ª edição, 2016.

Volume 1: Mecânica.

Unidade 1 – Os caminhos da física.

Capítulo 1 – Física: Ciência e tecnologia.

A seção 1 faz uma reflexão sobre invenções e sociedade, citando o domínio do fogo, a invenção da roda, dos instrumentos de navegação e da fotografia. Traz uma gravura do séc. XV de um navegador empunhando um instrumento chamado balhestilha (2.4) e uma imagem que é descrita como o primeiro registro fotográfico. (2.4) (2.6) (5.1) (5.3)

A seção 2 faz uma conexão entre a Ciência e a arte ao longo do tempo (2.6), apresentando imagens de um modelo de eclipse do século XIII (2.4), uma gravura representando um observatório astronômico do século XVI (2.4), a representação das proporções humanas de Da Vinci, do século XV (2.4), e uma representação da anatomia humana do século XVII. (2.4)

A seção 4 se refere ao chamado método científico, passando pelo pensamento aristotélico, pelas contribuições dos pensadores árabes e europeus para uma sistematização da Ciência. Apresenta uma imagem da “Escola de Atenas”(2.4) e dos filósofos Francis Bacon (2.2), Galileu(2.2) e Descartes (2.2). (1.2) (2.6) (7)

A seção 5 descreve a evolução da Ciência Física, sua organização com o passar do tempo e sua relação sobretudo com o contexto tecnológico. Faz ainda um breve comentário sobre os interesses que permeiam a Ciência. Apresenta uma imagem de Marie Curie e sua filha Irene. (1.2) (2.6) (2.2) (5.3) (7)

A seção 6 trata da criação do Sistema Internacional de Unidades. Apresenta uma gravura de um agrimensor do Egito antigo. (2.6) (2.4)

A seção *Você sabia?* traz uma breve biografia do físico brasileiro José Leite Lopes. Mostra também uma imagem do cientista na companhia de César Lattes. (1.2) (2.2) (2.3) (2.6)

A seção *Lendo a Física* apresenta um trecho da obra “Breve história da ciência moderna” que trata das concepções de mundo de Aristóteles. Traz uma gravura do século XVII do universo segundo Aristóteles (2.4) e propõe uma atividade ligada à HFC. (1.2) (2.4) (2.7) (6)

Na seção *De volta ao começo* são apresentadas ideias sobre o método científico e como ocorre o desenvolvimento da ciência. (1.2) (2.6) (7)

Unidade 2 – Cinemática escalar.

Capítulo 2 – Introdução ao estudo do movimento.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 3 – Movimento uniforme.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 4 – Movimento uniformemente variado.

A seção *Você sabia* menciona os experimentos realizados para se descobrir o valor da velocidade da luz. Cita os cientistas Roemer, Fizeau, Foucault e Michelson. Apresenta uma imagem de Albert Michelson em seu laboratório. (1.2) (2.2) (2.6) (3.2) (4.2)

Capítulo 5 – Queda livre e lançamento vertical.

Na seção 1 são apresentadas as ideias de Aristóteles e Galileu para a queda dos corpos. Enfatiza que Galileu realizou experimentos sobre o tema e cita o experimento de Robert Boyle, no século XVII, no qual uma moeda e uma pena caíam dentro de um tubo com ar rarefeito. (1.1) (2.6) (3.2) (4.2)

Unidade 3 – Cinemática vetorial.

Capítulo 6 – Grandezas escalares e vetoriais.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 7 – Lançamento de projeteis.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 8 – Movimento circular.

Não apresenta conteúdo histórico.

Unidade 4 – Força e as leis de movimento da dinâmica.

Capítulo 9 – As Leis de Newton e suas aplicações.

Na seção 3 são citadas a formulação do princípio da inércia por Galileu e a publicação dos “Principia” por Isaac Newton. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção *Lendo a física* apresenta dois textos retirados de livros sobre a História da Ciência. O primeiro texto, do livro “Breve história da ciência moderna”, trata das concepções de Aristóteles sobre o movimento. O segundo texto, do livro “Para gostar de ler a história da física”, versa sobre a elaboração do conceito de *impetus* pelo filósofo francês Jean Buridan no século XIV. A seção contém uma atividade sobre a HFC. (1.2) (2.7) (3.3) (4.3) (6)

Capítulo 10 – Dinâmica nas trajetórias curvas.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 11 – As leis da gravitação

A seção 1 explora a história dos modelos de mundo, desde o pensamento aristotélico, passando por Aristarco de Samos, citando seu modelo heliocêntrico, passando pela teoria geocêntrica de Ptolomeu até a teoria heliocêntrica de Nicolau Copérnico. No final do texto é comentado que a teoria da Copérnico receberia, mais tarde, outras contribuições e seria aperfeiçoada, principalmente a partir dos estudos de Galileu, Tycho Brahe e Johannes Kepler. Apresenta uma gravura representativa da “Escola de Atenas” (2.4), uma imagem representando o modelo geocêntrico de Ptolomeu (2.4) e uma imagem representando o modelo heliocêntrico de Copérnico (2.4). (1.2) (2.6) (3.2) (4.2)

A seção *Você sabia?* traz um resumo dos pensamentos defendidos por Galileu, que lhe custaram uma condenação no tribunal da Inquisição. É feita uma reflexão sobre o quanto as teorias científicas aceitas se modificam ao longo do tempo. São citadas as ideias de Galileu contidas no seu livro “Diálogo sobre os dois principais sistemas de mundo” e “Mensageiro das estrelas”. A seção apresenta uma imagem do século XVI representando o julgamento de Galileu (2.4), uma imagem da obra “Diálogo sobre os dois principais sistemas de mundo” (2.4) e uma atividade relativa à HFC. (1.2) (2.6) (3.4) (4.3) (5.2) (6) (7)

A seção *Lendo a Física* apresenta um trecho do livro “Copérnico: pioneiro da revolução astronômica”, de autoria de Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, editora Odysseus. Neste fragmento são feitas referências aos pensamentos de Aristarco de Samos, que teria desenvolvido um modelo heliocêntrico 400 anos antes de Cristo, e contados alguns fatos da vida de Copérnico ligados à publicação de sua obra “Sobre a revolução das órbitas terrestres”. A seção traz uma atividade relativa à HFC. (1.2) (2.7) (3.1) (4.3) (5.2) (6)

A seção 2 cita brevemente os trabalhos de Tycho Brahe e de Johannes Kepler acerca da gravitação. (1.1) (2.6) (3.2) (4.2)

Na seção *Você sabia?* é descrito como Aristarco de Samos desenvolveu cálculos sobre os tamanhos dos planetas e as distâncias que os separam, tomando como referência o sol no centro do sistema. A seção traz uma atividade relativa à HFC. (1.2) (2.5) (2.6) (4.3) (6)

Unidade 5 – Energia e as leis de conservação da dinâmica.

Capítulo 12 – Energia e trabalho.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 13 – Impulso e conservação da quantidade de movimento.

A seção *Lendo a física* traz um fragmento do texto “Da Bíblia a Newton: uma visão humanística da mecânica”, de autoria de Roberto Leon Ponzec, extraído do livro *Origens e evolução das ideias da física*, organizado por José Fernando Rocha, editora EDUFBA, onde há referência a uma disputa filosófica entre as concepções de Leibniz e Descartes sobre a “verdadeira medida do movimento e da força do corpo”. A seção apresenta uma atividade relacionada com a HFC. (1.2) (2.7) (3.1) (4.1) (6)

Unidade 6 – Estática e Hidrostática.

Capítulo 14 – Estática de um ponto material e de um corpo extenso.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 15 – Hidrostática.

A seção *Lendo a física* apresenta um trecho do artigo “Arquimedes e a coroa do rei” publicado na Revista Brasileira de ensino de física, onde é narrado o episódio histórico no qual Arquimedes teria desenvolvido um método para determinar se a coroa encomendada pelo rei Hieron de Siracusa fora fabricada com ouro puro ou com uma mistura de ouro prata. A seção possui uma atividade relacionada à HFC. (1.2) (2.7) (3.4) (4.3) (6)

Volume 2: Termologia, óptica e ondulatória.

Unidade 1 – Os caminhos da física.

Capítulo 1 – A termologia e a óptica na sociedade.

A seção 1 apresenta uma breve história das máquinas térmicas com descrições sucintas do digestor de Papin, das máquinas de Savery, Newcomen e Watt, além de associar o desenvolvimento destas máquinas com o contexto socioeconômico da época. A seção traz imagens do digestor de Papin (2.4), esquemas das máquinas de Savery (2.4), Newcomen (2.4) e Watt (2.4) e uma gravura do século XIX de uma máquina a vapor portátil (2.4). (1.2) (2.6) (3.2) (4.2) (5.1) (5.3)

A seção 2 aborda a história do desenvolvimento de técnicas de capturas de imagens através do tempo. Realça o surgimento das câmaras escuras na China no século V a.C., as contribuições dos árabes ao estudo da óptica, a utilização das câmaras escuras por artistas e seu uso no meio científico para a observação de eclipses. Apresenta também um histórico do desenvolvimento das técnicas de fotografia e dos estudos das cores. Encerra citando a invenção do cinematógrafo. A seção faz menções explícitas sobre como ocorre o desenvolvimento científico, traz uma gravura do século XVII da utilização de uma câmara escura (2.4), a imagem de um esquema de Leonardo da Vinci sobre o funcionamento do olho humano (2.4), uma imagem da lua, de Galileu (2.4), uma imagem da primeira fotografia feita em 1826 (2.4), uma imagem da primeira fotografia colorida, obtida por Maxwell (2.4) e uma imagem de Louis Lumière, em 1935, com um cinematógrafo (2.4). (1.2) (2.6) (3.2) (4.2) (5.1) (5.3) (7)

A seção 3 apresenta uma discussão sobre a epistemologia e a natureza do desenvolvimento científico. Cita o caráter contextual e coletivo da Ciência e menciona uma posição filosófica sobre a ciência, o falseamento, fazendo referência ao filósofo Karl Popper. Encerra chamando a atenção ao fato de que nenhuma observação de fenômenos é livre de uma teoria preexistente. (1.2) (2.6) (7)

A seção *Você sabia?* traz um pequeno trecho com dados biográficos do cientista brasileiro Mário Schenberg. Apresenta uma fotografia sua de 1978 (2.2). (1.2) (2.3) (2.6)

A seção *Lendo a física* apresenta um texto publicado na Folha de São Paulo: “Uma breve história da luz – Do que ela é feita e seus mistérios”. O texto descreve resumidamente as controvérsias históricas sobre a natureza da luz, citando os pensamentos de Newton e Huygens, a suposta existência do éter e os trabalhos Einstein. A seção possui uma atividade relacionada à HFC. (1.2) (2.7) (3.3) (4.2) (5.3) (6)

Unidade 2 – Termologia.

Capítulo 2 – Temperatura e suas medidas.

A seção 1 – *Calor* - aborda, de maneira sucinta, a existência, no século XVIII, da ideia do calor como substância: o calórico. (1.1) (2.6) (3.3)

Na seção 3 – *Escala termométricas* – no item *Escala absoluta ou escala kelvin*, é mencionado que Lord Kelvin “foi um dos primeiros a existência teórica de uma temperatura mínima” para os materiais. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Unidade 3 – Calor: energia em movimento.

Capítulo 4 – Quantidade e trocas de calor.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 5 – Mudança de estado físico.

Na seção 3 – *Representação de mudanças de estado* – no item Experimento de Tyndall, menciona-se que o irlandês John Tyndall foi o primeiro a descrever o experimento do regelo. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 6 – Processos de troca de calor.

A seção 2 – *Transmissão de calor por condução* - cita que Fourier “elaborou” uma fórmula que permite determinar a rapidez com que o calor é transmitido por condução. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

Unidade 4 – Estudo dos gases e termodinâmica.

Capítulo 7 – Comportamento térmico dos gases.

Na seção 1 – *Estado termodinâmico de um gás* – é mencionado que o entendimento de como as variáveis de estado se relacionam foi um processo baseado em experimentos, destacando-se os trabalhos do anglo-irlandês Robert Boyle e dos franceses Edme Mariotte, Joseph Louis Gay-Lussac e Jacques Charles. (1.1) (2.6) (4.1)

Capítulo 8 – As leis da Termodinâmica e as máquinas térmicas.

A seção 6 – *Segunda lei da Termodinâmica* - cita que Carnot propôs uma máquina teórica ideal e Clausius definiu a grandeza entropia. (1.1) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção *Você sabia?* menciona a contribuição de Boltzmann para a termodinâmica, sendo este considerado o maior responsável pelo desenvolvimento da mecânica estatística. A seção traz uma imagem do cientista (2.2). (1.2) (2.6) (3.3) (4.2)

Unidade 5 – Óptica

Capítulo 9 – Introdução ao estudo da Óptica.

A seção 1 aborda as controvérsias sobre a natureza da luz, sobretudo nos séculos XVII e XVIII, quando vários pensadores se dividiam entre defensores da teoria corpuscular e defensores da teoria ondulatória. (1.1) (2.6) (3.1) (4.1)

A seção 4 cita que a formação de imagens em uma câmara escura já havia sido observada por Aristóteles 300 anos antes de Cristo. (1.1) (2.6) (3.4) (4.3)

A seção 6 apresenta um resumo das teorias sobre a natureza da luz, desde os pensadores da Grécia antiga, passando pelos filósofos árabes e chegando até os modelos corpuscular e ondulatório. Enfatiza os trabalhos de Newton, Huygens, Young e Einstein acerca de fenômenos associados à luz. A seção apresenta uma imagem do cientista holandês Christian Huygens (2.2). (1.1) (2.6) (3.1) (4.2)

A seção *Lendo a física* apresenta uma passagem do livro de Christian Huygens “*Traité de la lumière*” (Tratado da luz), retirada do livro *A biografia da Física*, de George Gamow,

publicado em 1968. No texto, Huygens se propõe a explicar alguns fenômenos envolvendo a luz, defendendo o modelo ondulatório. (1.2) (2.1) (2.7)

Capítulo 10 – Reflexão da luz nos espelhos planos.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 11 – Reflexão da luz nos espelhos esféricos.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 12 – Refração da luz.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 13 – Lentes esféricas.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 14 – Instrumentos ópticos

Não apresenta conteúdo histórico.

Unidade 6 – Ondulatória.

Capítulo 15 – Movimento Harmônico Simples.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 16 – Ondas e fenômenos ondulatórios.

A seção 6, no item sobre interferência de ondas luminosas, evidencia a existência da controvérsia entre os defensores da teoria corpuscular e da teoria ondulatória da luz e descreve a realização, por Thomas Young, de um experimento que demonstrava a interferência das ondas luminosas. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

Volume 3.

Unidade 1 – Os caminhos da Física.

Capítulo 1 – A história do Eletromagnetismo: da Grécia antiga à Física Moderna.

A seção 1 descreve a evolução dos conhecimentos da humanidade sobre a eletricidade e o magnetismo. Cita os conhecimentos de Tales de Mileto na Grécia antiga; a obra “O magneto”, de Petrus Peregrinos de Maricourt, no século XIII; a obra “De Magnete”, de William Gilbert, no século XVI; as máquinas eletrostáticas de Otto Von Guericke, no século XVII; a máquina eletrostática de Hauksbee; os trabalhos de Stephen Gray; os conceitos de fluido elétrico vítreo e resinoso, propostos por Charles François Du Fay no século XVIII; a criação da garrafa de Leyden, por Pieter Von Musschenbroeck; as ideias de um fluido elétrico único proposta por Benjamin Franklin; os primeiros trabalhos quantitativos com medições realizadas por Franz Aepinus e Charles Augustin de Coulomb; os trabalhos com eletricidade animal de Luigi Galvani; a discordância de Alessandro Volta com os pensamentos de Galvani e a construção da pilha de Volta. A segunda parte da seção trata da unificação da eletricidade e do magnetismo. Descreve o experimento de Oersted, no qual a agulha de uma bússola sofria uma deflexão quando próxima de um fio percorrido por corrente elétrica; cita os trabalhos de Ampère; traz pequenos dados biográficos de Faraday e descreve sucintamente a descoberta da indução eletromagnética; comenta sobre a observação de Lenz sobre o sentido da corrente induzida; associa os desenvolvimentos na área do eletromagnetismo com uma segunda revolução industrial; aborda os trabalhos de Maxwell matematizando os conhecimentos de até então e encerra citando a demonstração experimental de produção e detecção de ondas eletromagnéticas por Hertz. (1.2) (2.3) (2.4) (2.5) (2.6) (3.1) (4.1) (5.3)

No tocante a imagens, a seção apresenta uma foto do objeto conhecido como “bateria de Bagdá” (2.4), uma gravura de William Gilbert destacando o modelo do magnetismo da Terra (2.4), uma gravura representando a máquina de Otto Von Guericke (2.4), uma gravura do século XVIII mostrando que as máquinas eletrostáticas eram usadas em espetáculos (2.4), uma gravura, do século XIX, de Benjamin Franklin em seu laboratório (2.2), uma gravura, de 1781, ilustrando laboratório de Galvani (2.4), uma gravura, de 1870, de Alessandro Volta e sua pilha (2.2), uma gravura de 1867 de Oersted realizando seu experimento (2.2), a foto de uma montagem similar à utilizada por Ampère em seus estudos sobre a relação entre campo

magnético e corrente (2.4), a imagem de um arranjo simplificado daquele desenvolvido por Hertz para gerar e detectar ondas eletromagnéticas (2.4) 3 uma fotografia, de 1887, do aparato utilizado por Hertz para gerar e detectar ondas eletromagnéticas (2.4).

A seção 2 descreve, de forma sucinta, as dúvidas ou “nuvens no sereno céu do conhecimento científico”, segundo as palavras de William Thomson, que permaneciam na passagem do século XIX para o século XX, as quais os esforços para dissipá-las deram origem às teorias da relatividade e teoria quântica. (1.2) (2.6) (3.1) (4.2)

A seção *Você sabia?* traz uma pequena biografia do físico brasileiro César Lattes, destacando seu trabalho na descoberta do *méson pi*. (1.2) (2.3) (3.2) (4.2)

O capítulo apresenta atividades relacionadas à HFC. (6)

Unidade 2 – Eletrostática.

Capítulo 2 – Introdução à Eletrostática.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 3 – Força e campo elétrico

A seção 1 menciona que Charles Augustin de Coulomb construiu uma balança de torção e a partir de seus experimentos concluiu que a força de interação entre cargas elétricas era diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. A seção traz uma fotografia de uma balança de torção como a utilizada por Coulomb (2.4). (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção *Você sabia?* aborda as contribuições de Joseph Priestley, Charles Coulomb, Henry Cavendish e Siméon-Denis Poisson para os estudos sobre cargas estacionárias e realça que a balança de torção, inventada por John Mitchell, foi utilizada também nos estudos sobre atração gravitacional. A seção apresenta uma gravura, do século XIX, ilustrando uma balança de torção semelhante à utilizada por Coulomb (2.4). (1.2) (2.6) (3.3) (4.2)

Capítulo 4 – Potencial elétrico.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 5 – Condutores e capacidade elétrica.

A seção *Você sabia?* descreve o experimento da gaiola de Faraday, realizado em 1836, e realça que outros cientistas já haviam pensado sobre o fenômeno, como Stephen Gray. A seção apresenta uma imagem de um experimento como o realizado por Faraday (2.4). (1.2) (2.6) (2.5) (3.4) (4.3)

A seção 3 destaca a construção da “garrafa de Leiden”, por Petrus Van Musschenbroek, em 1746. Descreve o feito como um importante registro histórico na busca por dispositivos capazes de armazenar cargas elétricas. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3). A seção apresenta a imagem de uma réplica da “garrafa de Leiden”. (2.4)

A seção *Lendo a física* traz três fragmentos de cartas originais de Benjamin Franklin. Os textos foram publicados no artigo *Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos*, no Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Nos textos, Franklin expõe algumas hipóteses sobre raios atmosféricos e descreve alguns experimentos. Destaca-se que não há evidências de que os experimentos descritos tenham sido realizados. A seção apresenta uma imagem de Benjamin Franklin (2.2) e uma atividade acerca da HFC. (1.2) (2.1) (6)

Unidade 3 – Eletrodinâmica.

Capítulo 6 – Circuitos elétricos I – corrente elétrica e resistores.

Não apresenta conteúdo histórico.

Capítulo 7 - Circuitos elétricos II – geradores e receptores.

Não apresenta conteúdo histórico.

Unidade 4 – Eletromagnetismo.

Capítulo 8 – Magnetismo.

A seção 1 menciona que as tentativas de explicar os fenômenos magnéticos remontam a Grécia Antiga com Tales de Mileto. Cita também as contribuições de Gilbert, no século XVI, e Oersted no século XIX. (1.1) (2.6) (3.3)

A seção *Experimente a Física no dia a dia* traz um breve histórico da evolução do uso da bússola. (1.2) (2.6) (3.3) (5.3)

Capítulo 9 – Campo Magnético e corrente elétrica.

A seção 1 relata que Oersted observou, em 1819, que uma agulha magnética mudava de direção quando próxima a um fio conduzindo corrente e concluiu que a corrente originava um campo magnético ao seu redor. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção 2 menciona que André-Marie Ampère investigou o campo magnético gerado por um fio retilíneo percorrido por uma corrente elétrica. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção *Você sabia?* apresenta dados biográficos de Michael Faraday, destacando sua característica de autodidata, a descoberta da indução eletromagnética e suas explicações para o comportamento dos ímãs. A seção traz uma imagem de Faraday (2.2) e uma atividade envolvendo HFC. (1.2) (2.3) (2.6) (3.3) (4.3) (6)

Capítulo 10 – Força magnética.

A seção *Lendo a Física* traz três fragmentos de textos originais de Ampère onde ele aborda conceitos associados à força magnética e sua relação com correntes elétricas. Os textos são partes da obra *Eletrodinâmica de Ampère*. Autores: André Koch Torres Assis e João Paulo Martins de Castro Chaib. Editora da Unicamp, 2011. A seção contém atividades sobre HFC. (1.2) (2.1) (2.7) (6)

Capítulo 11 – Indução eletromagnética.

A seção *Física no cinema* apresenta um conjunto de atividades relacionadas ao filme “Tesla: o mestre dos raios”. Apresenta uma imagem de Tesla realizando experimentos em seu laboratório (2.4) e de uma Torre de Luz apresentada em uma exposição no final do século XIX em Chicago (2.4). (6)

Capítulo 12 – Ondas eletromagnéticas.

A seção 1 menciona as dúvidas que existiam no século XIX sobre a propagação da luz, as contribuições de Maxwell para o eletromagnetismo com a previsão da existência das ondas eletromagnéticas e a primeira verificação experimental dessas ondas feita por Heinrich Hertz, na década de 1880. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção 3 descreve a descoberta dos raios-x pelo alemão Wilhelm Röntgen. A seção traz a imagem de uma radiografia feita por Röntgen em 1895 (2.4). (1.1) (2.6) (3.3) (3.4) (4.3) (5.3)

Unidade 5 – Física Moderna e Contemporânea.

Capítulo 13 – Teoria da Relatividade restrita.

A seção 1 traz um breve histórico sobre a medida da velocidade da luz citando os primeiros estudos sobre o tema no século V a.C., as contribuições de Roemer, os trabalhos de Fizeau e Foucault, no século XIX, até as previsões de Maxwell. Descreve também o experimento do interferômetro de Michelson e Morley e a procura pela velocidade da luz em relação ao éter. Apresenta uma imagem do interferômetro publicada em uma revista de 1887 (2.4). A seção menciona ainda as contribuições de Lorentz e Poincaré para o desenvolvimento da Teoria da relatividade de Einstein, em 1905. (1.2) (2.5) (2.6) (3.1) (4.2)

A seção 3 cita brevemente os artigos publicados por Einstein em 1905 sobre o efeito fotoelétrico, o movimento de partículas em líquidos e a relatividade restrita. (1.1) (2.6) (3.3) (4.3)

A seção 4 cita as questões que levaram Lorentz a propor uma alternativa às transformações de Galileu. (1.1) (2.6) (3.1) (4.2)

Capítulo 14 – Física Quântica.

A seção descreve, de maneira sucinta, as origens da Física Quântica, a partir das dúvidas existentes na explicação de fenômenos no início do século XX. Menciona não apenas Planck, mas vários outros pesquisadores que contribuíram na evolução da teoria. (1.2) (2.6) (3.2) (4.1)

A seção 2 apresenta a evolução das tentativas de explicação para o espectro de emissão de radiação de um corpo de acordo com a temperatura que se encontra. Cita o fracasso da abordagem clássica e a “hipótese de Planck” que finalmente resolveu o enigma. (1.1) (2.6) (3.1) (4.1)

A seção 3 faz uma breve descrição da construção do modelo atômico de Bohr a partir do modelo de Rutherford. (1.1) (2.6) (3.1) (4.3)

A seção 4 relata a descoberta do efeito fotoelétrico por Hertz, cita os estudos sobre o fenômeno realizados por Wilhelm Hallwachs até chegar na explicação de Einstein. (1.1) (2.6) (3.1) (4.2)

A seção *Lendo a Física* apresenta um texto do livro *Dos raios X aos quarks* escrito por Emilio Segrè, com informações sobre a vida e a obra científica de Louis de Broglie, prêmio Nobel de Física de 1929. Apresenta uma fotografia do pesquisador (2.2) e também um fragmento de texto original de Louis de Broglie, onde esse último conta, no início de uma conferência, como teve a ideia de propor as ondas de matéria. (1.2) (2.1) (2.3) (2.7)

Capítulo 15 – Física Nuclear

Não apresenta conteúdo histórico.

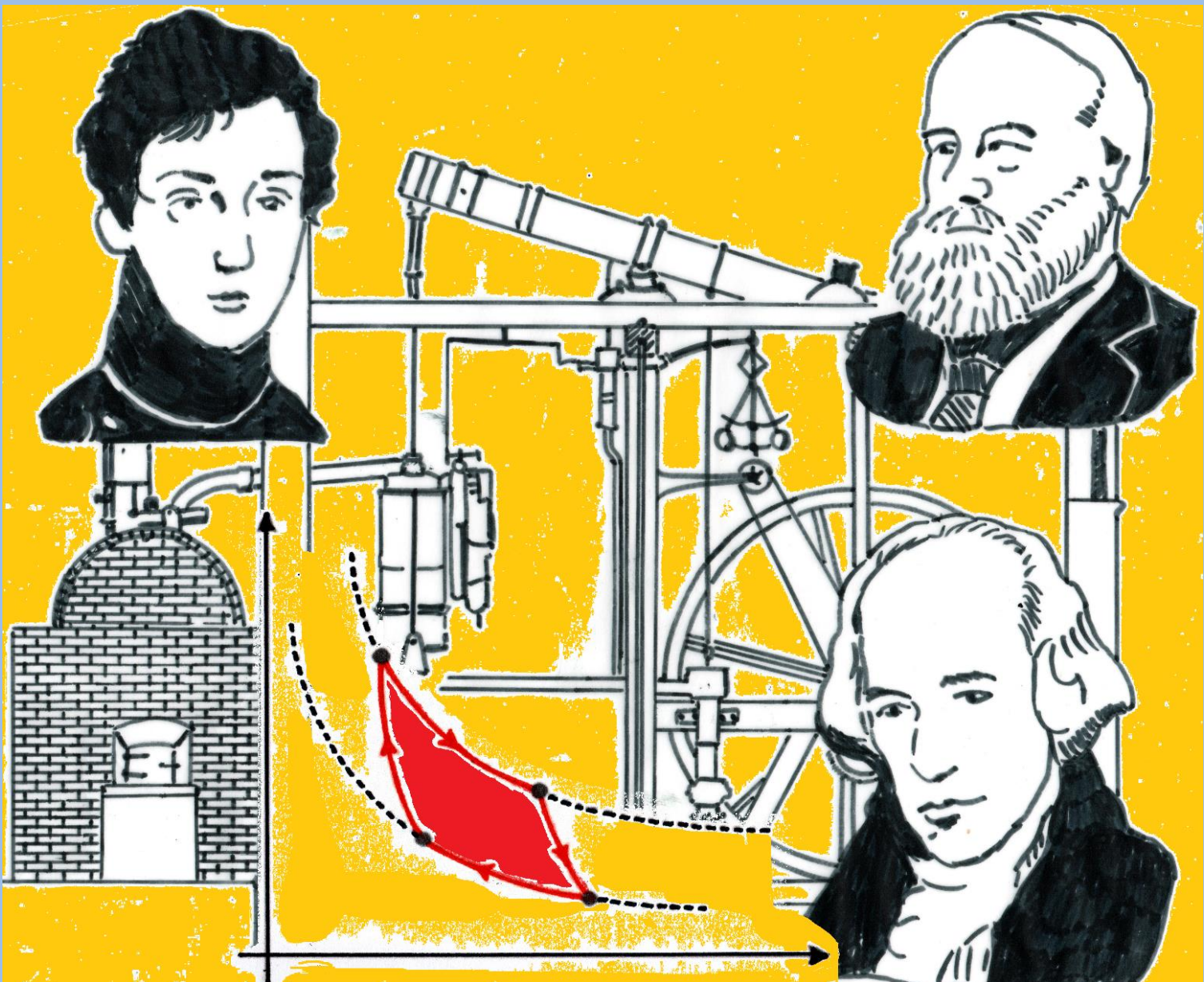
Capítulo especial – Física e a evolução dos conhecimentos.

Na seção *Como e do que são formados os componentes do Universo?* há um pequeno resumo da evolução do atomismo desde a Grécia Antiga até a descoberta do nêutron, destacando as características principais dos modelos de Dalton, Thomson e Rutherford. (1.2) (2.6) (3.3)

A seção *Como explicar os neutrinos?* descreve que uma inconsistência no balanço energético do decaimento beta levou Wolfgang Pauli a propor a existência de uma partícula de massa nula, que mais tarde foi denominada de neutrino, por Enrico Fermi. Cita ainda que os neutrinos foram detectados apenas em 1955. (1.2) (2.6) (3.3) (4.2)

A seção *Como se chegou ao conhecimento da antimatéria?* menciona que estudos de Paul Dirac revelaram a primeira evidência do que, atualmente, a comunidade científica entende como antimatéria. (1.2) (2.6) (3.3) (4.3)

HISTÓRIA DAS MÁQUINAS TÉRMICAS E O DESENVOLVIMENTO DAS LEIS DA TERMODINÂMICA





**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA**

**História das Máquinas Térmicas e o Desenvolvimento das Leis da
Termodinâmica.**

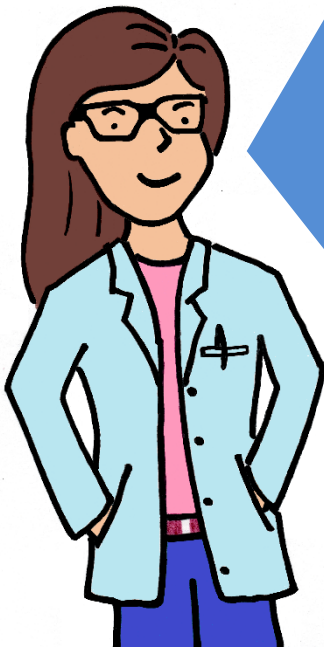
Produto educacional submetido como requisito parcial para obtenção do grau de *Mestre em Educação em Ciências e Matemática*, no Curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Área de Concentração em Ciência da Educação.

Autor: Nei Rogerio Rezende
Orientador: Claudio Maia Porto

1ª edição

2021

APRESENTAÇÃO



Olá, caros estudante e professor. Nesta pequena obra, nos encontraremos em algumas páginas para refletir sobre a natureza do desenvolvimento científico.

Nosso objetivo é enriquecer seus conhecimentos acerca de como a Ciência se constrói. Escolhemos para isto, contar, de forma breve, o surgimento e evolução das chamadas máquinas térmicas e sua influência impulsionadora para o desenvolvimento das leis da termodinâmica. A escolha deste tema foi motivada por sua riqueza histórica e pelo fato de que, neste caso em particular, as bases científicas teóricas foram estabelecidas quando os conhecimentos práticos sobre o assunto já eram aplicados em equipamentos havia mais de um século.

Espero que curtam ler um pouco sobre história da ciência e que esta leitura possa enriquecer suas aulas de física.

Aproveitem bastante.

Nos vemos nas próximas páginas.

Dra. Nat.

ÍNDICE

Capítulo I - A Inglaterra pré-Revolução Industrial.....	88
O contexto sociopolítico.....	88
O contexto econômico.....	92
Capítulo II - As primeiras máquinas térmicas	94
A máquina de Savery.....	94
A máquina de Newcomen.....	99
A máquina de Watt.....	101
Capítulo III - Discussões sobre a natureza do calor.....	108
As contribuições de Joseph Black.....	108
O calórico e os trabalhos de Benjamin Thompson.....	112
Capítulo IV – A primeira lei da Termodinâmica.....	115
Mayer, Joule e a controvérsia entre eles.....	116
Contribuições de Helmholtz e Colding.....	119
O equivalente mecânico do calor.....	123
Capítulo V - A segunda Lei da Termodinâmica.....	128
As ideias de Sadi Carnot.....	129
O ciclo de Carnot.....	132
As dúvidas de Kelvin e a visão esclarecedora de Clausius.....	136
Capítulo VI - Entropia.....	141
Processos reversíveis, irreversíveis e a flecha do tempo.....	141
Desenvolvimento do conceito de entropia.....	142
Entropia e desordem.....	147

A INGLATERRA PRÉ-REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

O contexto sociopolítico

A partir do século XVI, a Inglaterra sofreu uma série de mudanças sociais, políticas e econômicas. Boa parte da população era composta por camponeses, donos das próprias terras ou que pagavam para utilizar terras de proprietários maiores. Essas famílias de pequenos produtores podiam utilizar, também, as terras chamadas comuns, que eram de uso coletivo e de onde podiam retirar lenha, utilizar como pasto e outras funções que contribuía com a sua sobrevivência.

Neste período, o rei Henrique VIII, ao romper relações com a Igreja de Roma, confiscou suas terras e as vendeu para os grandes proprietários. Estes também foram autorizados a cercar terras comuns, recebendo do rei as chamadas “cartas de cercamento”. Em geral, as terras passaram a ser utilizadas como pasto para ovelhas, que forneciam lã para a indústria têxtil.



Figura 1 - Retrato de Henrique VIII por Hans Holbein com data aproximada de 1537. Fonte: www.commonswikimedia.org

Como consequência do processo de cercamento, muitos camponeses pobres, que utilizavam estas terras, impedidos de utilizá-las, deixaram o campo, gerando uma população sem ocupação nas cidades. Houve descontentamento no campo e nas cidades e o rei impôs medidas repressoras, inclusive o encaminhamento de pessoas para casas de trabalho forçado.

Seguiram-se como soberanos na Inglaterra após Henrique VIII: Elizabeth I, Jaime I e Carlos I, filho de Jaime I, que assumiu o trono em 1625 e enfrentou conflitos que culminaram em uma guerra civil, a Revolução Puritana.

Em 1649, o exército revolucionário liderado por Oliver Cromwell, com o apoio da população, prendeu, julgou e decapitou o rei, sob a acusação de conspiração.



Figura 2 - Pintura retratando a execução de Carlos I. Obra atribuída a Jan Weesop com data aproximada de 1649. Fonte: www.commonswikimedia.org

A Inglaterra, então, deixou de ser uma monarquia para tornar-se uma república. No entanto, Cromwell governou como um ditador e após sua morte, em 1658, a monarquia foi restaurada. Carlos II assumiu o trono, sucedido por Jaime II, seu irmão. O Parlamento, preocupado com a tendência absolutista do rei e apoiado por grandes proprietários rurais e comerciantes, depôs Jaime II em 1688. Assumiram o trono William III (Guilherme de Orange) e sua mulher Maria Stuart, filha de Jaime II. Guilherme de Orange teve assinar a Declaração de Direitos, que limitava seus

poderes e o proibia de governar sem o Parlamento. Esse movimento ficou conhecido como Revolução Gloriosa.



Figura 3 - Guilherme de Orange e Maria Stuart são coroados em 1688. Quadro de James Northcote de 1790. Fonte: www.commons.wikimedia.org

Todo esse processo revolucionário na Inglaterra consolidou um Estado burguês no qual se afirmaram as condições institucionais para a industrialização que se aproximava.

O contexto econômico

Até meados do século XVI, a economia inglesa baseava-se fortemente na produção e exportação de roupas. Porém, uma severa crise interrompeu a tendência de crescimento da economia entre 1550 e 1563 e aquela atividade sofreu forte queda, chegando a reduzir-se pela metade.

A partir de então, outras manufaturas começaram a ocupar papéis mais importantes na economia. As produções de ferro, armas e vidro cresceram consideravelmente a partir da metade do século XVI. No setor de armamentos, por exemplo, restrições financeiras dificultaram a compra de artilharia de outros países, artilharia esta, feita, em sua maior parte, de bronze. Como não possuíam cobre, principal metal para a produção de bronze, os ingleses se dedicaram à produção de armas com a matéria-prima disponível. Desenvolveram então, assistidos por alguns estrangeiros, novas técnicas para fundição de armas de ferro. Para se ter uma ideia, em 1575, a Inglaterra produzia algo em torno de 500 toneladas de artilharia de ferro e no fim do século, algo em torno de 1000 toneladas. As armas de ferro não tinham a mesma qualidade das de bronze, porém, eram mais baratas e de fácil manejo para equipar navios. Os ingleses haviam transformado uma situação adversa em algo vantajoso.

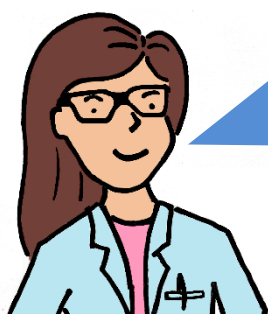
Mas todo desenvolvimento precisa de energia, e no século XVI a Inglaterra consumiu rapidamente o que tinha de florestas. A madeira era utilizada em todas as frentes: construção civil, aquecimento doméstico, construção naval e para a produção de carvão vegetal, que era o único combustível utilizado numa série de processos, como fazer ferro ou cozer tijolos e telhas.

Alguns dados indicam que uma crise de combustível explodiu nos anos de 1630. A falta de madeira e o conseqüente aumento de preço afetaram a produção de armas de ferro e a Inglaterra já não conseguia produzir armas suficientes para atender as próprias necessidades. Como resposta, além do aumento do comércio com os países escandinavos, que possuíam grande oferta de madeira, os ingleses inclinaram-se para o uso de um combustível que possuíam em abundância: o carvão mineral.

Este combustível já era bem conhecido pelos ingleses desde o século XIII. No entanto, havia temores que seu uso fosse prejudicial à saúde. Mas a necessidade fez com que tais temores fossem colocados de lado e o uso do carvão aumentou

significativamente, estando presente em inúmeras atividades: aquecimento doméstico, cozedura de tijolos e telhas, refinação de açúcar, produção de vidro e sabão, além, é claro, fundição de ferro.

Mas o aumento da demanda fez com que a profundidade das minas de carvão aumentasse e estas apresentassem problemas de inundação. Portanto, houve a necessidade do emprego de equipamentos capazes de retirar a água das minas com segurança. O uso do vapor para este fim começou a ser aplicado nas máquinas térmicas, assunto do próximo capítulo.



**Parece aula de história, não é?
Mas este capítulo mostrou que fatores sociais,
políticos e econômicos afetam diretamente os
avanços tecnológicos e científicos.**

II

AS PRIMEIRAS MÁQUINAS TÉRMICAS

Vimos no capítulo anterior que houve um aumento na produção de carvão mineral na Inglaterra quando este combustível substituiu a madeira em muitas frentes, e até as primeiras décadas do século XVIII a água nas minas era um problema importante a ser resolvido. Neste contexto surgem as máquinas térmicas.

A máquina de Savery

Nascido por volta de 1650, na região de Devon, sudoeste da Inglaterra, Thomas Savery foi o primeiro a produzir um equipamento de uso prático para elevar água utilizando vapor. É referido como Capitão Savery, mas não se sabe exatamente o porquê desta designação, visto que não se tem conhecimento de uma nomeação oficial.

Em julho de 1698, Savery conseguiu a concessão de uma patente de sua máquina a vapor para elevar água. Ele já havia conseguido outras patentes, entre elas, a de um moinho capaz de moer, polir chapas de vidro e polir pedras de mármore. Mas sua grande invenção foi a máquina a vapor para elevar água. Antes da concessão da patente, ele havia exibido um modelo de sua máquina para o rei Guilherme III. Em 1699, o parlamento estendeu o prazo de proteção da patente a ele concedida de 14 para 21 anos. Em junho deste mesmo ano, ele exibiu um modelo em funcionamento para a Royal Society, uma instituição destinada à promoção do conhecimento científico, em Londres.

Não se sabe exatamente quando as atenções de Savery se voltaram para a ideia de se levantar água usando fogo. Há mais de uma versão para este início. Segundo Desaguliers, Savery teve a ideia após ler o livro do Marquês de Worcester, *Século de Invenções*, publicado em 1661. Por esta versão, a descrição da máquina de Savery parece ter sido copiada de uma descrição semelhante do Marquês de Worcester. Savery negou e, supostamente, teria destruído todas as cópias do livro que conseguiu obter. Desaguliers relata também que uma versão atribuída ao próprio Savery era a de que ele tivera a ideia por acaso, após ter bebido vinho em uma taberna e jogado o frasco sobre o fogo. Ao perceber que o resto de vinho que havia ficado no frasco enchia o mesmo com vapor, ele enfiou a boca do frasco sob a superfície da água de uma bacia que usava para lavar as mãos, tendo, então, a água subido no

interior do frasco. Há, ainda, a versão de Switzer, pela qual Savery teria percebido a água subir pelo tubo de um cachimbo que imergira em água para lavá-lo ou resfriá-lo.

Não havendo comprovação de nenhuma das versões, o fato é que ele conseguiu colocar em funcionamento o motor a vapor para elevar água. Na época em que conseguiu sua patente, não se exigia que fossem arquivadas especificações do produto. No entanto, ele forneceu todas as especificações ao publicar, em 1702, *The Miner's Friend (A amiga do mineiro)*. No livro, ele descreve o equipamento e os usos aos quais ele seria aplicável.

A ideia de utilizar o vapor em máquinas não era nova. Em torno do ano 120 A.C. (não há consenso em relação a esta data), Heron de Alexandria construiu um dispositivo movido a vapor. Neste dispositivo, conhecido como eolípila, o vapor era usado para propulsão.



Figura 4 - Máquina de Heron

Água era transformada em vapor num recipiente colocado sobre o fogo. Este vapor seguia por tupos até uma esfera que possuía duas saídas em forma de “L” posicionados em lados opostos da esfera. A saída do vapor fazia com que a esfera girasse.

Em 1690, o francês Denis Papin também descrevera os princípios de funcionamento de uma máquina a vapor.

Em 1702, Savery montou uma fábrica para produzir seus motores. Vários deles foram colocados em funcionamento. Um desses motores, montado em Kensington, perto de Londres, sugou água a uma profundidade de dezoito pés (5,54m),

conseguindo erguê-la a uma altura de quarenta e dois pés (12,9 m). Na figura 5, temos um esquema simplificado da máquina de Savery. A caldeira injetava vapor no receptor. Quando o receptor era resfriado, o vapor condensava e a pressão em seu interior caía muito e a pressão atmosférica, por sua vez, fazia com que a água subisse para o receptor. Havia uma válvula que não deixava a água descer novamente. Então, injetava-se mais vapor no receptor que forçava a água a subir pelo tubo de força (veja figura 6 na próxima página). A máquina necessitava ser operada por uma pessoa.

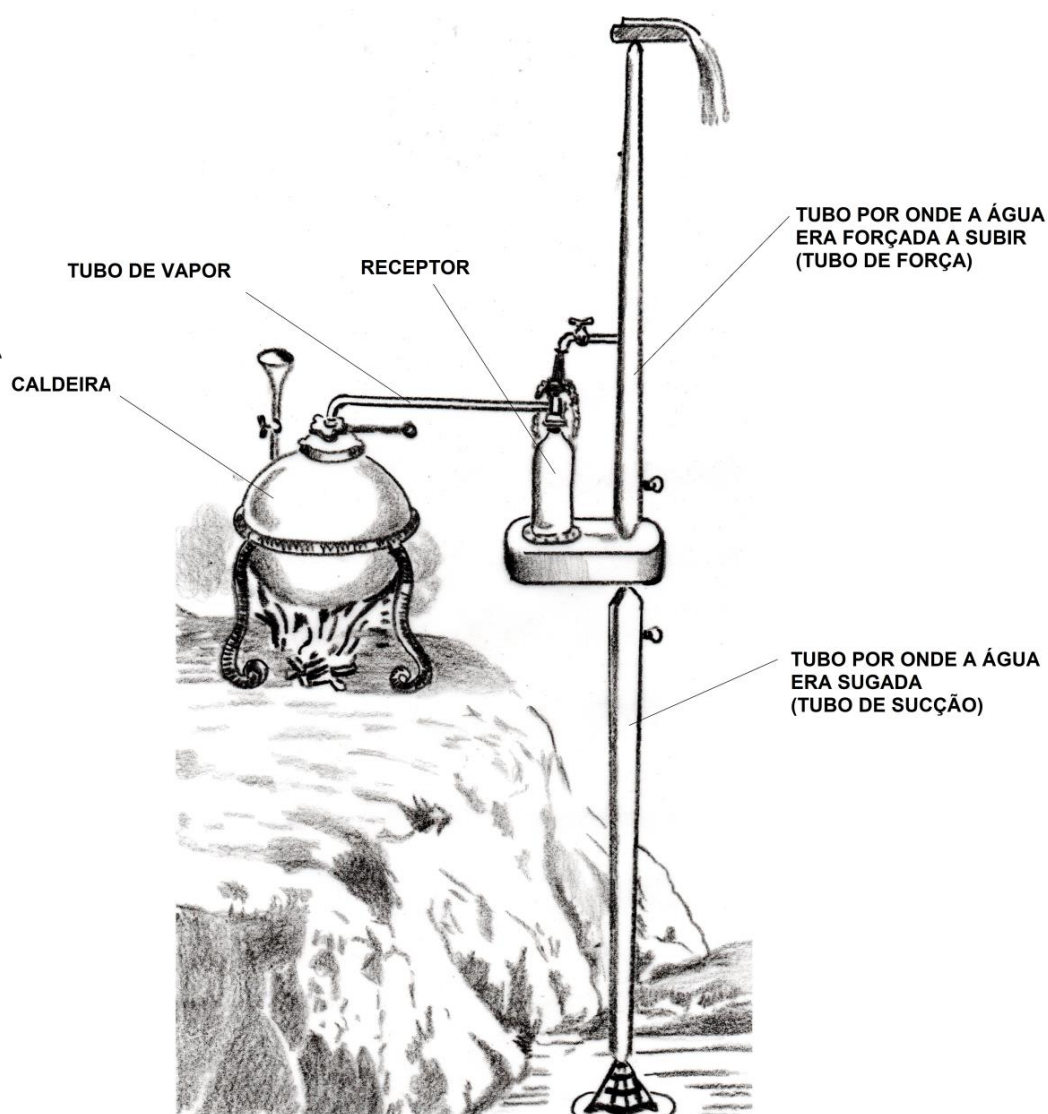


Figura 5 - Motor de Savery montado em Kensington

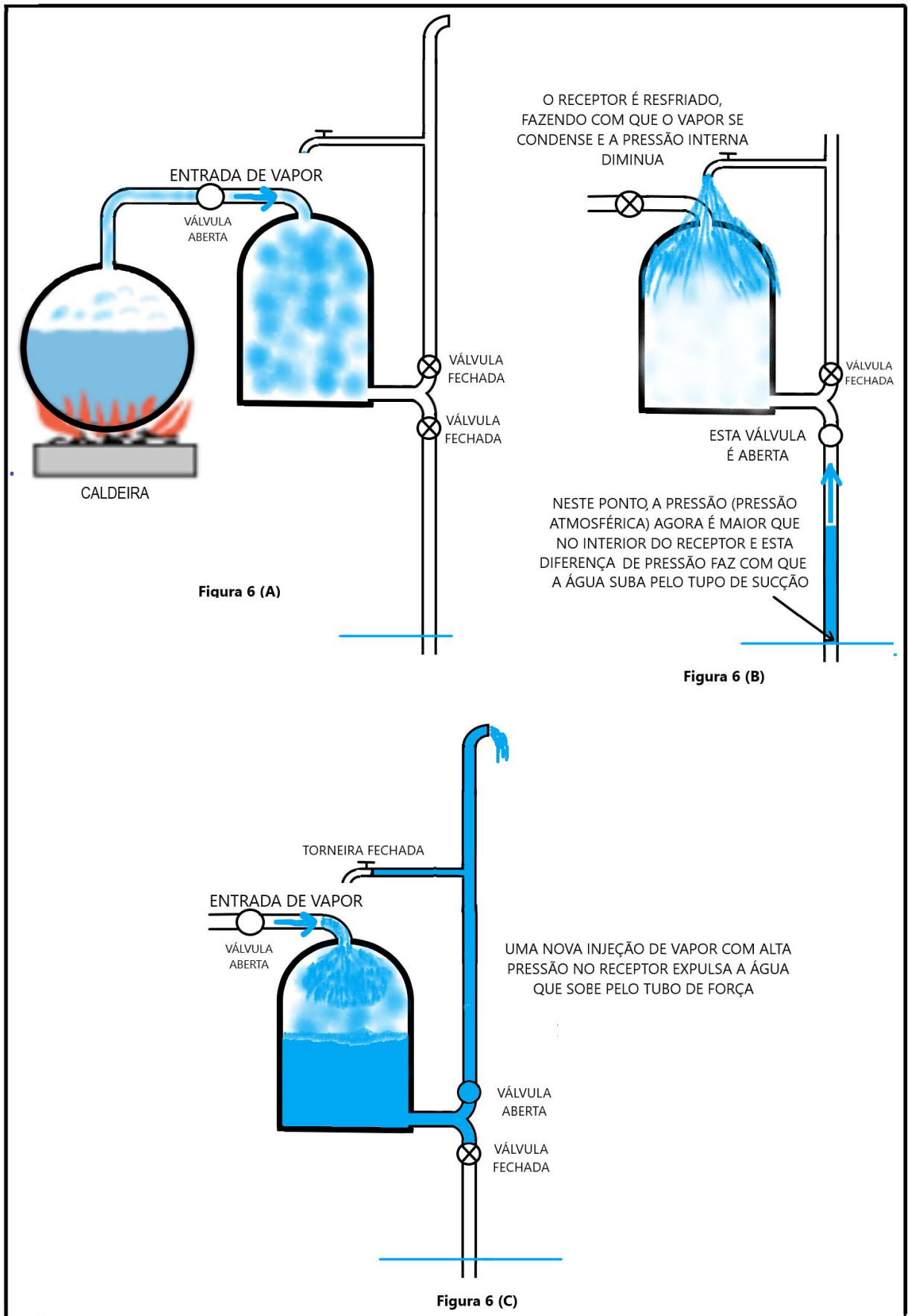


Figura 6 – Esquema simplificado de funcionamento de uma máquina de Savery.

A caldeira, o tubo de vapor e o receptor eram feitos de cobre, os tubos de sucção e força, de madeira. Ele podia sugar 3.120 galões (11.232 litros) de água por hora e custava cinquenta libras.

Savery acreditava que seu motor pudesse sugar água a uma profundidade entre 22 e 26 pés (entre 6,77m e 8,00m) e depois forçá-la a uma altura de até 80 pés (24,64 m). No entanto, suas peças e soldas não aguentavam altas pressões de vapor e, desta forma, seu funcionamento era satisfatório apenas em pequena escala, não tendo sucesso no bombeamento de água em minas. Seu trabalho, porém, pode ter contribuído para que Thomas Newcomen conseguisse produzir uma máquina que realizasse tal trabalho nas minas.

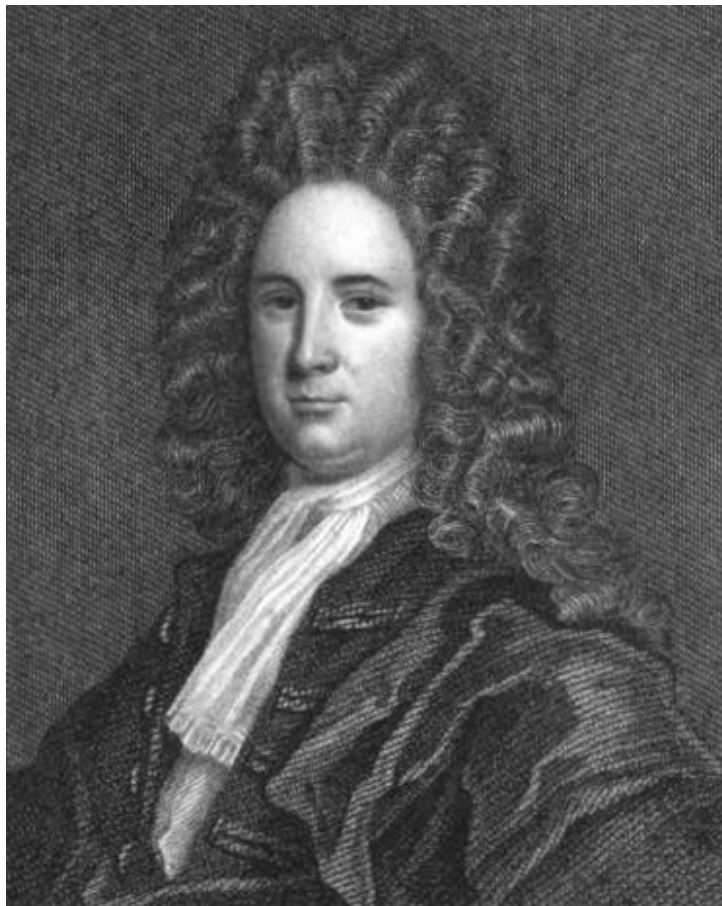


Figura 7 - Retrato de Thomas Savery impresso numa republicação de *The Miner's Friend* de 1829.

A máquina de Newcomen

Thomas Newcomen (1664-1729) também era de Devon, sudoeste da Inglaterra. Era um fabricante e comerciante de ferro e fornecia produtos para minas locais. Sua máquina era bem diferente da de Savery, pois ele utilizou um pistão e uma viga móvel em seu funcionamento. O vapor era condensado abaixo do pistão, com água “fria” injetada dentro do cilindro, criando um vácuo parcial. Desta forma, a pressão atmosférica empurrava o pistão para baixo dentro do cilindro. O cilindro era ligado a uma grande alavanca e na outra extremidade desta se pendurava a haste que bombeava a água. (Ver figura 8)

Acredita-se que Newcomen tenha produzido um ou mais motores experimentais antes da instalação do primeiro, em 1712, em uma mina de carvão. Esses motores eram máquinas grandes, com cerca de 10 m de altura em uma casa de máquinas com a caldeira montada sob o cilindro. O primeiro motor instalado elevou água a 50 metros.

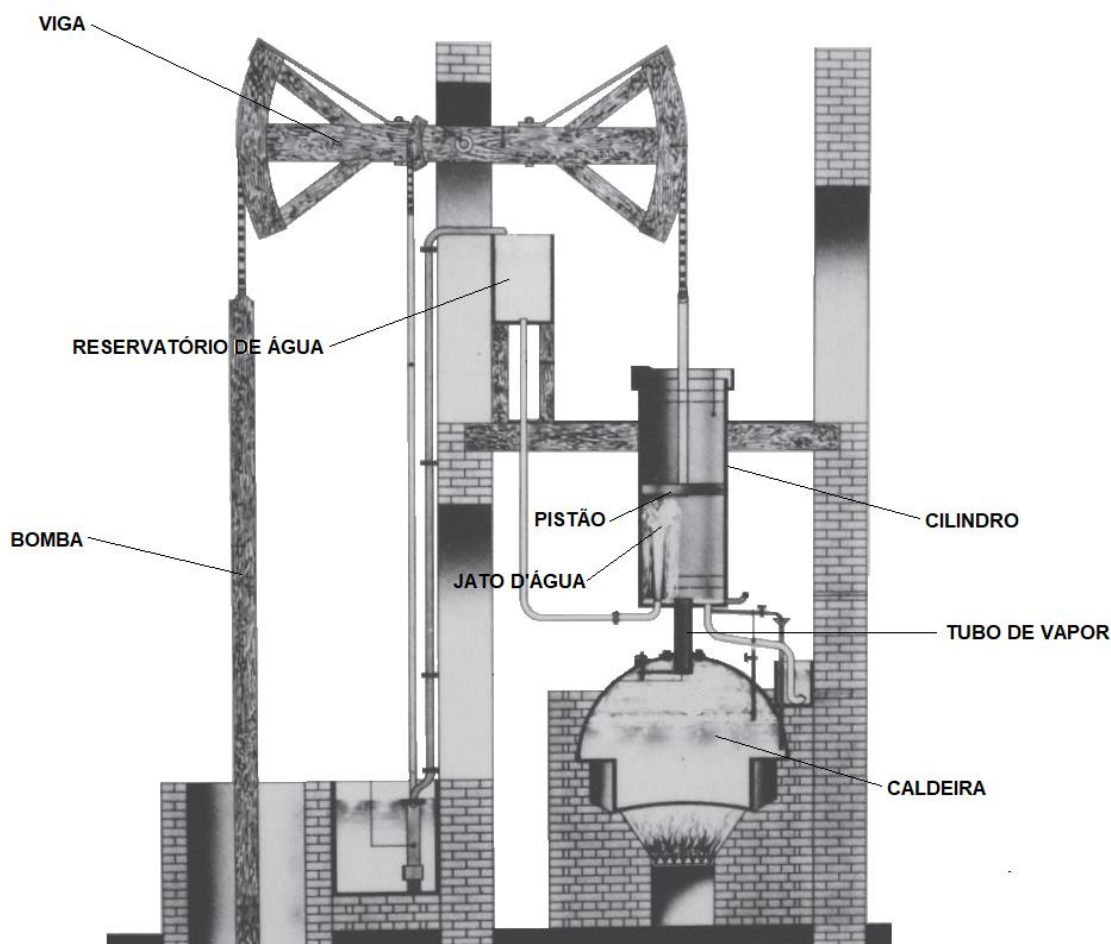


Figura 8 - Esquema de montagem de uma Máquina de Newcomen

Os motores de Newcomen eram pouco potentes e ineficientes em comparação com projetos posteriores, mas eram um avanço com relação à drenagem de minas e foram muito utilizados até que projetos com melhor rendimento os superassem. Os primeiros motores foram instalados em minas de carvão e minério e, apenas em 1726, foram utilizados para abastecimento de água, um em Londres e outro em Paris.

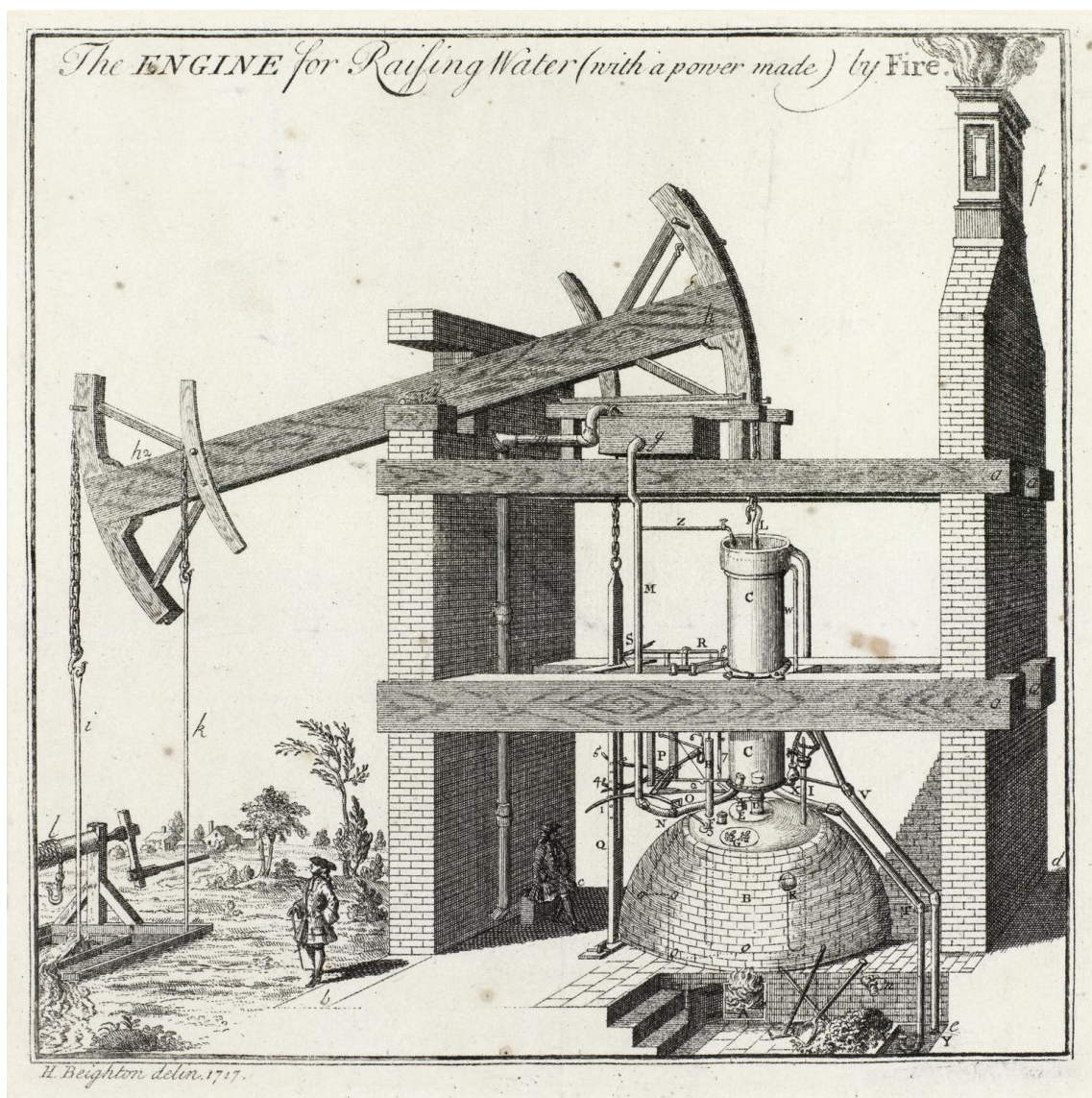
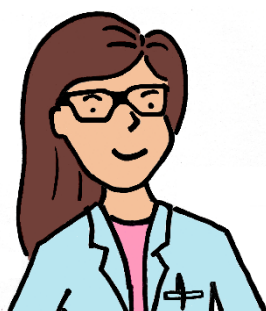


Figura 9 - Gravura de Henry Beighton do motor Newcomen em Griff, 1717.

Fonte: www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories



Repare, pelo tamanho dos homens na imagem, que as máquinas de Newcomen eram estruturas bem grandes.

Até 1733 foram contruídas 93 destas máquinas. Estavam instaladas não só na Inglaterra, mas também na Bélgica, Hungria, Alemanha, Áustria, Suécia e França.

Thomas Newcomen permaneceu engajado na produção desses motores até sua morte, aos 65 anos, em 1729. Seus motores permaneceram praticamente inalterados até que John Smeaton (1724-1792) melhorou significativamente sua eficiência, mas foi James Watt (1736-1819), trabalhando ao mesmo tempo que Smeaton, quem apresentou a mudança mais significativa – o condensador separado. Essa alteração não apenas aumentou a eficiência das máquinas a vapor, mas abriu o caminho para melhorias nos motores a vapor nos próximos 100 anos.

A máquina de Watt

James Watt nasceu em Greenock, Escócia, em 1736. Era mecânico e trabalhou na Universidade de Glasgow como fabricante e reparador de instrumentos matemáticos. Nesta função, foi procurado pelo professor John Anderson e questionado sobre a possibilidade de consertar um modelo da máquina de Newcomen pertencente à Universidade.

Ao examinar a máquina, Watt percebeu que os inúmeros aquecimentos e resfriamentos do cilindro faziam com que a máquina consumisse muito combustível. De fato, ao resfriar o cilindro, a nova quantidade de vapor que entra nele, para um novo ciclo, acaba por ter uma boa parte condensada apenas pelo contato com as paredes “frias” do cilindro. A ideia de Watt foi, desta forma, a de não resfriar diretamente o vapor no cilindro e sim criar um condensador separado.

Nesta época, Watt estava imerso em um ambiente científico, longe da tecnologia prática e, portanto, não tinha experiência em construir máquinas em tamanho real. Porém, possuía a vantagem de poder construir modelos em escala de laboratório e ter contato com pensadores importantes. O sucesso da ideia de Watt do condensador separado e o conseqüente aumento no rendimento destas máquinas impressionou John Roebuck, um químico industrial que se dispôs a apoiar Watt financeiramente para que pudesse obter sua primeira patente em 1769.

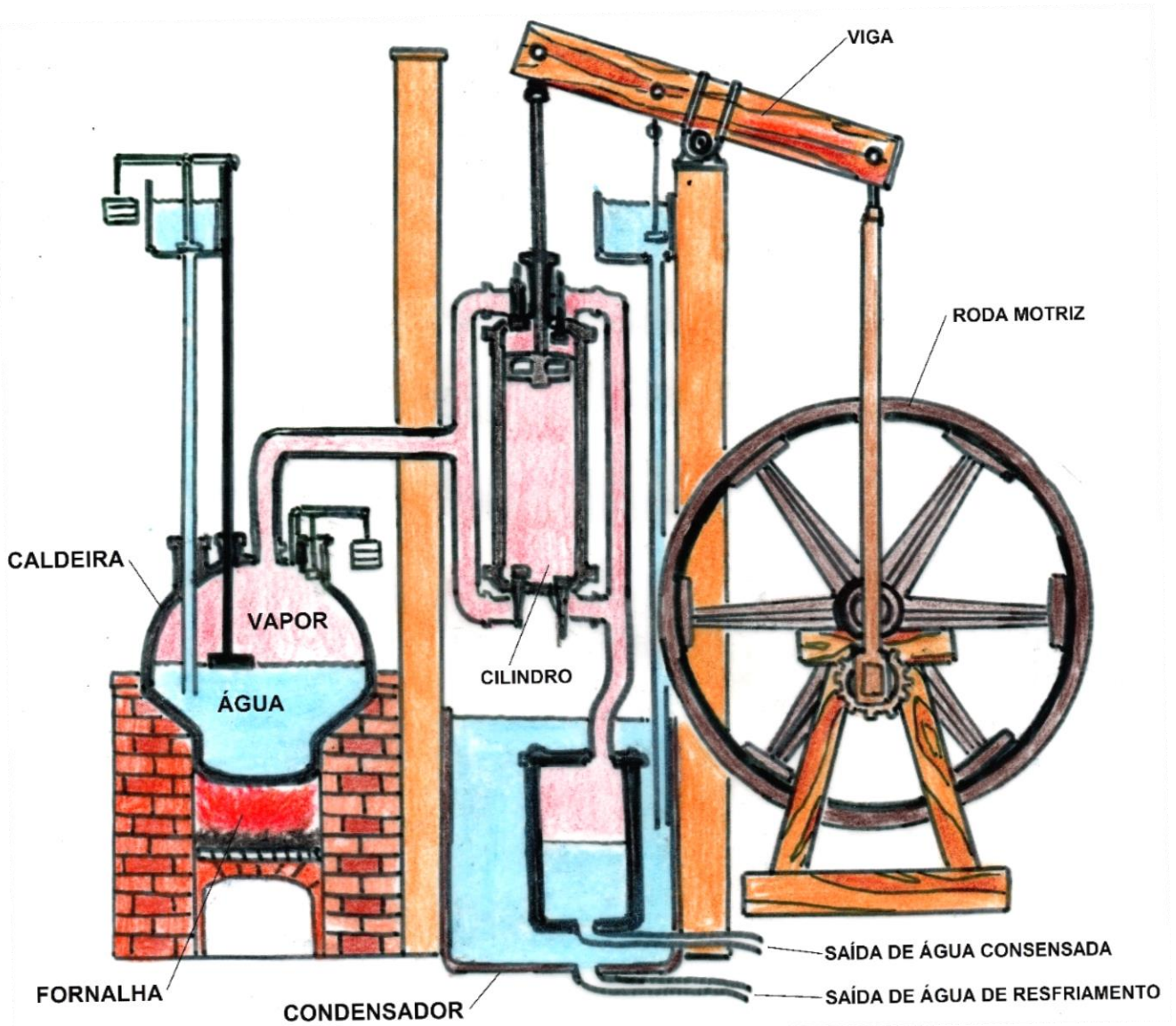


Figura 10 - Esquema de funcionamento de uma Máquina de Watt: o condensador separado evitava o resfriamento do cilindro a cada ciclo, aumentando o rendimento da máquina em relação aos modelos de Newcomen.

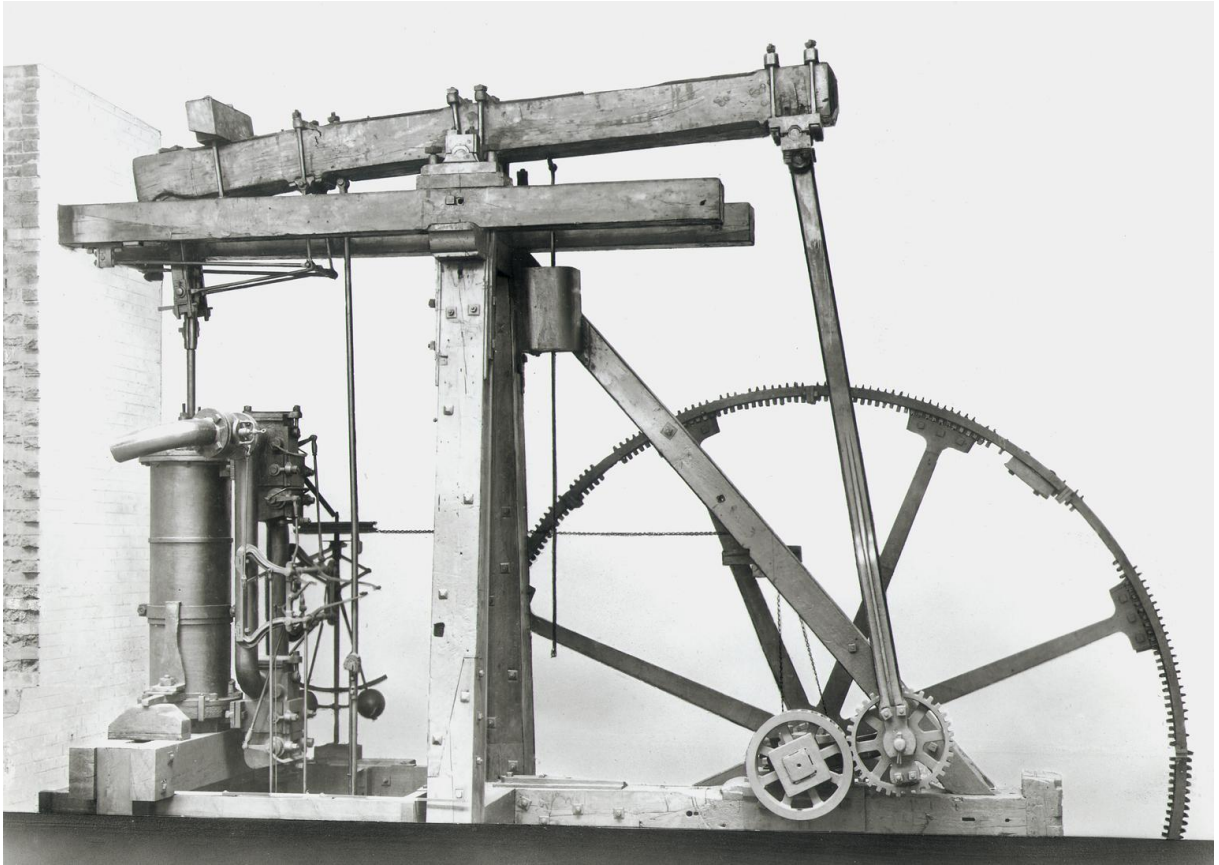


Figura 11 - Motor rotativo Boulton & Watt. Empregado nas obras Soho da Boulton & Watt, esse mecanismo é conhecido como o motor 'Lap', pois acionava várias máquinas de polimento de metais (ou 'lapidação').

Fonte: www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories

Em contrapartida, Roebuck se tornou dono de dois terços dos lucros que a máquina viesse a gerar.

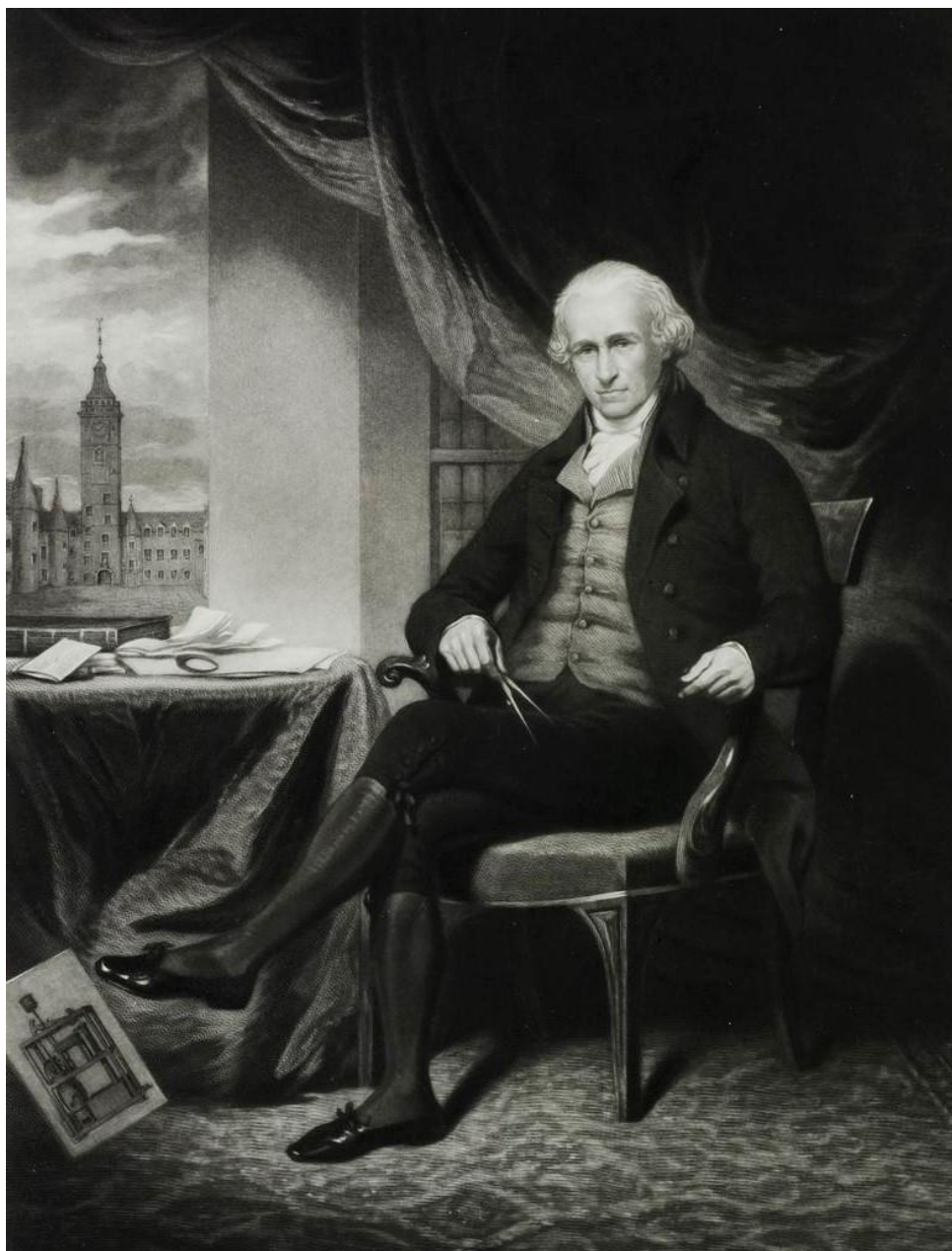
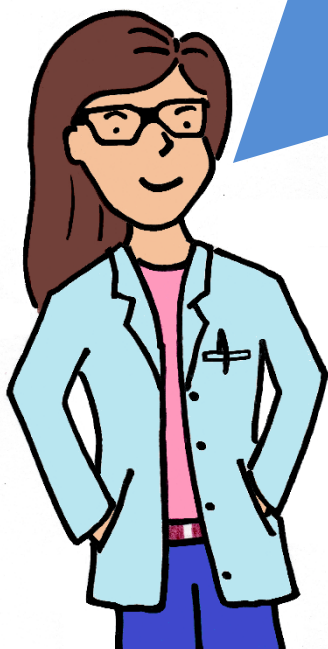


Figura 12 - Retrato de James Watt (1736-1819) por John Le Conte
Fonte: www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories

Nesta época, Watt conheceu Matthew Boulton, dono de uma fábrica que produzia vários itens em aço. Boulton se interessou muito em fabricar as máquinas de Watt, dizendo que poderia produzi-las para todo o mundo. No entanto Boulton e Watt não conseguiram um acordo com Roebuck, dono de dois terços da patente, e Watt voltou a trabalhar como agrimensor até 1773. Neste ano, desfez sua sociedade com

Roebuck, e Boulton conseguiu adquirir de Roebuck os dois terços da patente das máquinas.

Watt e Boulton tornaram-se sócios estabelecendo a firma Boulton & Watt. A fabricação das máquinas começou em 1775 e Watt aperfeiçoou-as e adaptou-as para vários tipos de usos como moinhos de lã e algodão, fundições de ferro, etc. Nos primeiros dez anos, a empresa vendeu 108 máquinas e, em 1800, Watt já havia instalado quinhentas máquinas no país.



Observe que as máquinas térmicas surgiram da necessidade de se retirar água das minas e foram se tornando cada vez mais presentes na sociedade. No entanto, elas eram construídas por engenheiros e mecânicos práticos. Não havia uma teoria embasando ou explicando seu funcionamento.

O aumento da dependência da sociedade com relação às máquinas gerava a necessidade, cada vez maior, de um aumento de seu rendimento.

A busca, por cientistas, das explicações teóricas para o funcionamento destas máquinas e também pelo aumento de seu rendimento serviu de impulso para o surgimento da Termodinâmica como ciência. Isto é interessante: a teoria impulsionada pela prática no processo de desenvolvimento científico. Assim como a Ciência impacta a tecnologia a tecnologia impacta a Ciência.

As máquinas térmicas transformando a sociedade

Com o aperfeiçoamento das máquinas a vapor, estas passaram a ser utilizadas não apenas para retirar água das minas, mas com diversos outros propósitos, como mover locomotivas, navios e máquinas industriais.

Na indústria têxtil, as máquinas de tecer a vapor chegaram na primeira metade do século XIX. Elas permitiram que as fábricas não mais precisassem se estabelecer obrigatoriamente próximas a rios, com o objetivo de aproveitar a força da água para movimentar seu maquinário, e começaram a se concentrar em cidades próximas a locais com disponibilidade de carvão. Outra consideração é que, com estas máquinas, os industriais passaram a empregar cada vez mais mão de obra feminina e infantil. Para se ter uma ideia, com as máquinas anteriores, um tecelão adulto podia tecer duas peças de pano para camisa por semana, enquanto um adolescente operando um tear a vapor, tecia, no mesmo período, sete peças similares. (Houve neste período muita exploração de mão de obra infantil na indústria têxtil. As crianças e adolescentes recebiam menos que os adultos, muitas vezes apenas alojamento e alimentação, e seus dedos finos eram ideais para a tarefa de atar os fios que se quebravam em meio à trama)

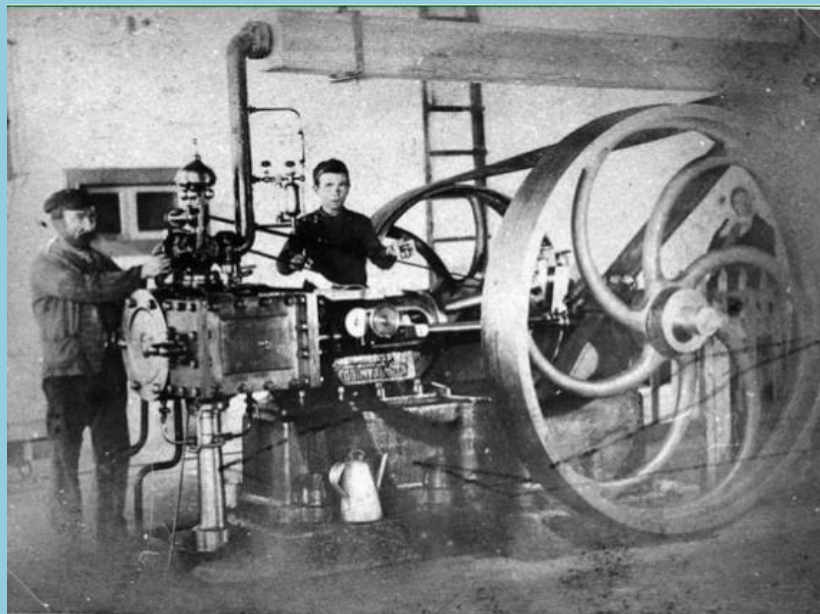


Figura 13 - Tear a vapor. Fonte: es.slideshare.net/rillaryalvesj/a-atividade-industrial/19

O aumento na produção de mercadorias trouxe a necessidade de meios de transporte mais eficientes e rápidos para levá-las aos locais de destino. Neste contexto, as máquinas térmicas permitiram a entrada em operação das locomotivas a vapor. Os trilhos já eram usados desde o século XVI na mineração, mas os vagões eram puxados por cavalos.

Em 1804, o “cavalo mecânico” do inglês Richard Trevithick realizou sua viagem inaugural. Era um projeto rudimentar e poucas pessoas acreditavam no seu sucesso. O inventor foi desafiado pelo proprietário de uma mina, e no dia 13 de fevereiro de 1804 sua máquina mostrou ser capaz e transportar tanto pessoas quanto materiais. No entanto, as locomotivas conquistaram respeito após alguns aperfeiçoamentos implementados pelo também inglês, George Stephenson.

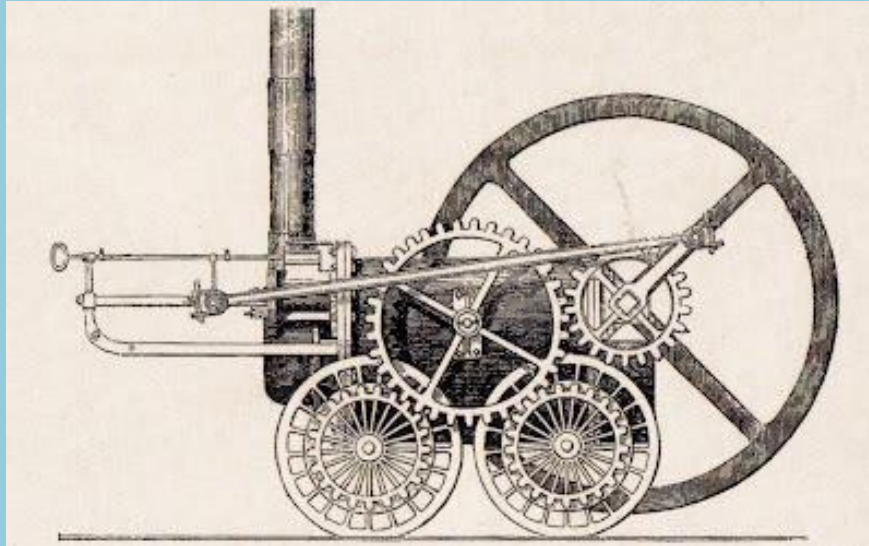


Figura 14 - O "cavallo mecânico" de Trevithick. Fonte: vidademaquinista.blogspot.com



Figura 15 - Locomotiva 'Rocket', projetada por Robert Stephenson e produzida por Robert Stephenson & Co., em 1829. Foi a vencedora nas provas de locomotivas realizadas em Rainhill, em 1829, para decidir a força motriz da Ferrovia Liverpool & Manchester. Chegou a atingir a velocidade de 30 milhas por hora (aproximadamente 48 km/h).

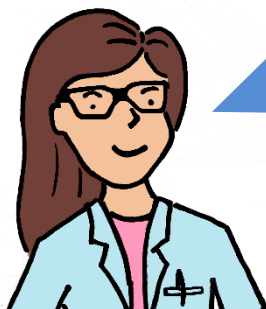
Fonte: www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories

III

DISCUSSÕES SOBRE A NATUREZA DO CALOR

A invenção do termômetro e seu aperfeiçoamento tornaram possíveis estudos quantitativos sobre o aquecimento e o resfriamento de materiais. Galileu construiu o primeiro termômetro no final do século XVI. O dispositivo apresentava muitas limitações além de não possuir uma escala termométrica, o que o tornava apenas um termoscópio, isto é, indicava a ocorrência de variações de temperatura sem valores numéricos.

Nos séculos XVII e XVIII muitos outros destes dispositivos foram construídos. Para termos uma ideia, em 1772, em um livro chamado *Recherches sur les Modifications de l'atmosphère* (Pesquisas sobre mudanças atmosféricas), o suíço Jean-André Deluc registrou a existência de cerca de sessenta escalas termométricas.



Sessenta escalas, isto mesmo. Aqui podemos notar que muitas pessoas trabalham em torno de um mesmo assunto e o desenvolvimento científico tem este caráter coletivo.

Até meados do século XVIII não havia uma distinção clara entre “quantidade de calor” e “grau de aquecimento”, que era indicado pelo termômetro. Francis Bacon, em 1620, e os membros da Academia Florentina, por volta de 1650, no entanto, mostraram evidências da distinção entre temperatura e calor.

As contribuições de Joseph Black

Joseph Black (1728-1799), afirmou que o calor era uma quantidade física mensurável e diferente daquela indicada pelo termômetro, apesar de serem relacionadas. Black era médico. Havia estudado na Universidade de Glasgow e na Universidade de Edinburgh. Foi professor na Universidade de Glasgow, onde fez suas principais descobertas entre os anos de 1759 e 1762.

Para Black, podia-se perceber que o calor se difundia dos corpos mais quentes para os mais frios até se atingir um estado de equilíbrio. Black toma então como uma das leis mais gerais do calor o fato de que corpos colocados num mesmo ambiente atingem a mesma temperatura após determinado intervalo de tempo.

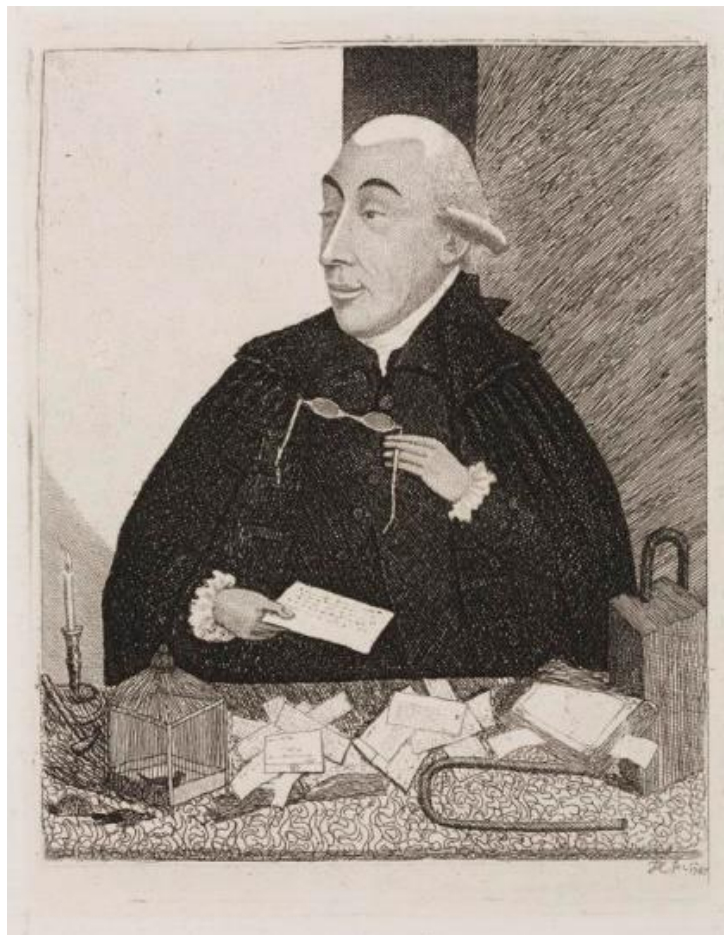


Figura 16 - Gravura de Joseph Black(1728-1799) palestrando. Assinado por JK fect, 1787.
Fonte: www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories

Alguns estudiosos tentavam explicar este equilíbrio, como o Dr. Hermann Boerhaave, professor de medicina em Leyden, na Holanda. Para ele o equilíbrio indicava que havia uma quantidade igual de calor em cada igual porção de espaço onde estavam os corpos. Pieter Van Musschenbroek, professor de filosofia natural também em Leyden, apresentou sua própria explicação: para ele o calor era distribuído entre os corpos não de forma proporcional a seus pesos, mas proporcional a seus volumes. Observe que, nos dois casos, há claramente a ideia de uma substância “calor”.

Black considerava que estas explicações eram precipitadas e confundiam calor com temperatura. Para ele era claro que se tratavam de coisas diferentes e deviam ser separadas.

Baseando-se em experimentos, realizados por Fahrenheit e descritos pelo Dr. Boerhaave, sobre a mistura de porções de água, bem como de porções de água e mercúrio, Black observou que uma mesma quantidade de calor tinha mais efeito no aquecimento do mercúrio que no aquecimento de um mesmo volume de água. Ele imaginou, então, que o mercúrio tinha menos “capacidade para calor” que a água. Generalizou a ideia para misturas de diferentes líquidos e volumes e concluiu que aquele que possuía a menor “capacity for heat”(capacidade para calor) variava mais sua temperatura. Muitos outros nomes foram dados para esta característica dos materiais por outros cientistas, mas foi o físico sueco Johann Carl Wilcke (1732-1796) que utilizou “specific heat” (calor específico), o mais utilizado hoje em dia.

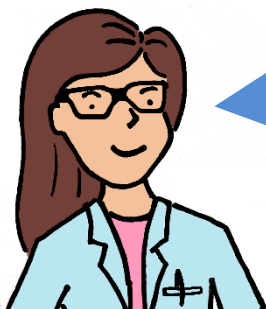
Em suas conclusões sobre experimentos com misturas de líquidos, Black levava em consideração que havia uma conservação do calor, suposição também já feita por Brook Taylor (685-1731) em experimentos envolvendo porções de água quente e fria. Devemos observar que o calor era tratado como uma substância material, o que estava de acordo com o princípio da conservação da matéria aceito na época.

Joseph Black realizou muitas outras experiências, entre elas, várias envolvendo mudanças de estado. Havia uma crença de que se um corpo estava em sua temperatura de fusão, bastava apenas uma pequena quantidade de calor para derretê-lo completamente. Ele concluiu que, ao contrário do que se acreditava, havia uma grande quantidade de calor latente envolvida. Ele é o autor da expressão “calor latente”.

Já existiam outros estudos sobre a natureza do calor e não havia consenso sobre o tema. Francis Bacon, em 1620, Robert Boyle, em 1665 e 1673 e Hermann Boerhaave, em 1732, já haviam se debruçado sobre este tema. Bacon acreditava que calor é movimento e esta ideia foi adotada por vários seguidores.



Figura 17 - Retrato de Sir Francis Bacon, filósofo inglês de destaque nos séculos XVI e XVII, por A. Bannerman. Fonte: www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-



Observe que já havia estudos sobre a natureza do calor mais de um século antes dos experimentos de Joseph Black e não havia consenso. Controvérsias fazem parte do desenvolvimento científico.

O calórico e os trabalhos de Benjamin Thompson

A maioria dos filósofos franceses e alemães defendiam que o movimento não era das partículas do próprio corpo, e sim das partículas de um fluido material que estava contido nos poros dos corpos quentes, entre suas partículas. Uma matéria que se imaginava presente por todo o universo.

O termo calorique (**calórico**), para se referir a este fluido, surgiu pela primeira vez em 1787, em "*Méthode de nomenclature chimique*" (Método de Nomenclatura Química) de autoria de Lavoisier e outros cinco autores.

As ideias sobre o calórico variavam entre seus adeptos, mas tinham pontos em comum: era um fluido cujas partículas se repeliam fortemente; suas partículas eram atraídas pelas partículas da matéria comum; podia ser "sensível", espalhando-se nos espaços vazios da matéria, e a temperatura de um corpo era proporcional à quantidade deste calórico sensível; podia ser "latente", combinado com as partículas da matéria comum e, neste caso não era perceptível através de medidas da temperatura do corpo; não podia ser criado ou destruído e possuía peso desprezível.

Uma obra de divulgação científica de grande credibilidade no século XIX, "Conversations on chemistry: in which the elements of that science are familiarly explained and illustrated by experiments" (Conversas sobre química: nas quais os elementos dessa ciência são familiarmente explicados e ilustrados por experimentos), de Jane Marcet, afirmava que o calórico podia ser encontrado em diversas formas, mas as principais eram o "calórico livre" e o "calórico combinado". Explicava vários fenômenos com a teoria. A dilatação dos materiais, por exemplo, era explicada pelo fato de o "calórico livre" permear todos os corpos, forçando um afastamento de suas partículas.

O livro explicava muitos outros fenômenos. O fato de, durante uma mudança de estado, a temperatura de uma porção de neve não se alterar, por exemplo, ocorria porque o calórico se acumulava na forma "combinada" não sendo percebido, pois não estava na forma "livre".

A teoria do calórico possuía um bom poder explicativo para os diversos fenômenos associados à temperatura e ao calor, mas recebia críticas. Entre os críticos estava Benjamin Thompson (1753-1814).

Benjamin Thompson nasceu em Massachusetts, Estados Unidos. Foi espião dos ingleses durante a guerra da independência e deixou os Estados Unidos com as tropas inglesas. Serviu brevemente na Inglaterra como tenente coronel, trabalhando na construção e aperfeiçoamento de armas de fogo. Após deixar a Inglaterra, se estabeleceu em Munique, onde atuou como engenheiro militar, administrador e recebeu o título de Conde. Escolheu o nome Rumford em homenagem à cidade onde sua primeira esposa nasceu.

Trabalhando na perfuração de canhões em Munique, interessou-se em investigar o calor produzido no processo. Realizou experimentos com o objetivo de descobrir a origem daquela grande quantidade de calor. Já se sabia, desde há muito tempo, que o calor podia ser produzido por atrito. No entanto, como isto ocorria ainda era questionado. Havia ou não havia o fluido ígneo (calórico)?

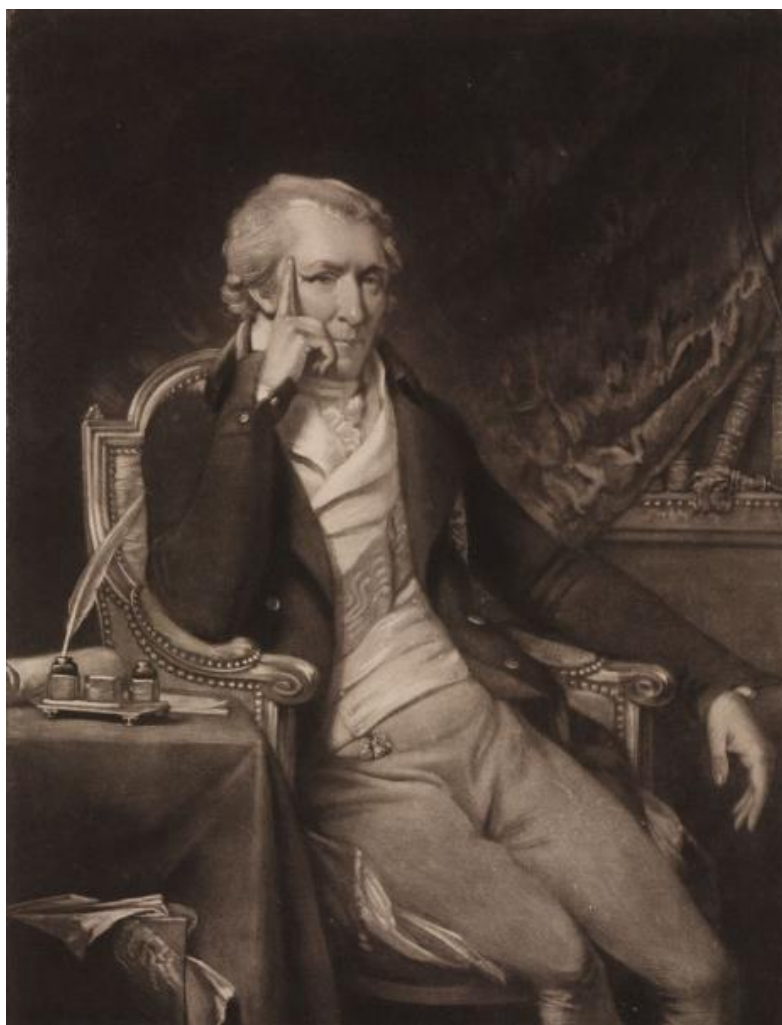


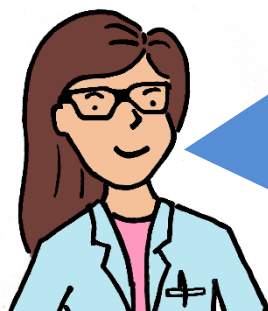
Figura 18 - Gravura do Conde Rumford, (1753-1814) aos 45 anos em 1798.

Fonte: www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories

Primeiramente, ele pesquisou se o calor produzido durante a perfuração do canhão era devido à retirada de material (lascas) e consequente liberação de calórico. Em outra experiência, utilizou cavalos para fazer girar um cilindro metálico pressionado contra uma broca sem corte, envolvendo o cilindro com flanela para evitar perdas de calor. Realizou o procedimento também retirando o ar da região do contato da broca com o cilindro e, numa quarta experiência, mergulhou o mecanismo em água, que chegou a ferver com a liberação do calor.

Após todas as experiências, Thompson concluiu que a produção de calor pelo atrito parecia ser inesgotável e, desta forma, era pouco provável que se tratasse de uma substância material. Afirmou então que a grande quantidade de calor produzida só podia ser devida ao movimento do próprio material.

Os argumentos do Conde Rumford não colocaram um fim à teoria do calórico. Não há um fato específico que explique seu enfraquecimento e posterior abandono em torno de 1850. No entanto, podemos dizer que fatores como o cálculo do equivalente mecânico do calor e a formulação do princípio da conservação da energia contribuíram fortemente para o fim do calórico.



Você notou neste capítulo que vários pesquisadores realizaram experimentos acerca da natureza do calor. Deve-se salientar que quando se realiza uma observação ou experiência, já existe uma expectativa teórica prévia do pesquisador. Observações significativas partem de concepções teóricas preexistentes. Segundo o filósofo da ciência Thomas Kuhn, estes pressupostos teóricos fazem parte de um paradigma.

IV

A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

O que tratamos como 1ª Lei da Termodinâmica é uma expressão do Princípio da Conservação da Energia. De maneira aplicada a um sistema - que pode ser uma amostra de gás, por exemplo, como normalmente abordado nos livros didáticos de física - podemos expressá-la como:

$$Q = \tau + \Delta U$$

onde:

Q é o calor trocado pelo sistema com o ambiente externo;

τ é o trabalho realizado pelo sistema;

ΔU é a variação da energia interna do sistema.

No entanto, o que nos parece simples quando abordado no livro, para se consolidar contou com a contribuição de vários cientistas que desenvolveram trabalhos sobre o tema. No livro *A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica*, o filósofo Thomas Kuhn classifica o princípio da conservação da energia como um exemplo de descoberta simultânea, no qual vários pesquisadores desenvolveram trabalhos independentes num período de tempo relativamente curto. Ainda que, na época, alguns destes trabalhos não apresentassem tantas semelhanças, hoje podemos dizer que eles convergiam para a ideia da conservação da energia.

James P. Joule, Robert Julius Mayer, Hermann von Helmholtz e Ludwig A. Colding enunciaram publicamente versões da conservação da energia entre 1842 e 1847. Outros cientistas como Sadi Carnot, Marc Séguin, Karl Holtzmann e Gustave A. Hirn chegaram à conclusão de que calor e trabalho mecânico poderiam ser convertidos um no outro. Karl Mohr, William Grove, Michael Faraday e Justus von Liebig descreviam fenômenos naturais como manifestações da mesma “força”, que podia se apresentar de várias formas, mas não podia ser criada do nada ou destruída. Todas estas ideias ocorreram num período de aproximadamente pouco mais de quinze anos, na primeira metade de século XIX.

Por outro lado, a invenção da pilha por Alessandro Volta, em 1800, possibilitou a realização de vários processos de conversão, como por exemplo, de corrente elétrica em calor, e mais tarde, a produção de efeitos magnéticos a partir da corrente elétrica. O aumento de experimentos envolvendo estes processos de conversão implementado pela invenção da pilha, aliado a vários processos de conversão que já eram observados, como nas máquinas térmicas, onde o calor produzia trabalho mecânico, compõe um dos fatores que podem ter guiado os cientistas na busca pela comprovação de um princípio de conservação.

Outro fator de influência nesta busca, era o interesse pelas próprias máquinas e seu rendimento. Para uma quantificação das conversões, isto é, saber quanto de uma forma de energia se transformava em outra, o interesse pelas máquinas contribuiu principalmente com o conceito de trabalho ou “efeito mecânico”, como era chamado, definido como o produto do peso que uma máquina era capaz de erguer até determinada altura, que era utilizado na avaliação de rendimento das mesmas.

Além destes fatores, há indícios de que pelo menos seis dos doze cientistas citados no início deste capítulo acreditavam, por questões filosóficas, num princípio unificador de fenômenos. A crença de que, nos fenômenos naturais, algo se conservava era um princípio filosófico importante e comum entre os pesquisadores da época, que pode ser observado em vários episódios da História da Ciência.

Entre todos os cientistas que de alguma forma desenvolveram trabalhos relacionados à 1ª lei da Termodinâmica, ou princípio da conservação da energia, vamos relatar a seguir, episódios históricos envolvendo Mayer, Joule, Helmholtz e Colding, aqueles que enunciaram formalmente o princípio.

Mayer, Joule e a controvérsia entre eles

O médico alemão Julius Robert Mayer (1814 – 1878) foi, se não o primeiro, um dos primeiros a enunciar o princípio da conservação da energia. Em viagem num navio holandês no verão de 1840, num porto a noroeste de Java, principal ilha da Indonésia, ao retirar sangue de europeus no navio, impressionou-se com a diferença de cor entre o sangue venoso retirado das pessoas naquela região, com relação ao mesmo sangue retirado na Europa. O sangue venoso retirado na Europa era bem mais escuro. Mayer conhecia os trabalhos de Lavoisier sobre o calor dos corpos dos animais, que seria resultado de combustão ou oxidação, sendo que o sangue arterial transportava

oxigênio para estas reações nas células e o sangue venoso transportava o gás carbônico produzido.

Segundo Mayer, para manter a temperatura corporal constante, a produção de calor corporal é maior nas regiões mais frias o que causa a maior diferença de coloração entre o sangue arterial e o sangue venoso, fato que explicaria esta diferença ser menor nas regiões de clima quente. Continuando a pensar a respeito, Mayer imaginou que existe uma associação entre o alimento ingerido e as quantidades de calor que podem ser produzidas pelo ser vivo, seja como calor corporal ou produzido por esforço mecânico deste mesmo ser.

Em 1841, Mayer enviou suas ideias ao editor de uma revista de divulgação científica, mas seu trabalho não foi aceito para publicação por conter erros em conceitos considerados básicos como queda de corpos e adição vetorial de forças.



Figura 19 - Fotogravura de Julius Robert Mayer (1814-1878)
Fonte: www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories

Em 1842, após aperfeiçoar seu trabalho, Mayer conseguiu publicá-lo. O artigo era intitulado *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* (Observações sobre as forças da natureza inanimada) e nele Mayer sugeria a existência de algo que podia assumir diferentes formas, podendo transformar-se de uma forma em outra, e cuja quantidade não variava. Mayer a chamou de “força”, mas, hoje, sabemos que estas “forças” são as várias formas de energia. Ele calculou um valor para a equivalência entre trabalho mecânico e calor, que nas unidades de hoje seria 3,6 J/cal e, já na época, admitia que calor, movimento (energia cinética) e força de queda (energia potencial gravitacional) eram formas diferentes de uma mesma coisa. Algum tempo depois, Mayer enviou um trabalho mais detalhado para publicação, mas não obteve êxito.

Mayer envolveu-se em uma controvérsia com Joule sobre a prioridade da publicação de trabalhos relacionados à conservação da energia. O primeiro trabalho de Joule, associado ao tema, foi publicado em 1843: *On the calorific effects of magneto-electricity and on the mechanical value of heat* (Sobre os efeitos caloríficos da magneto-eletricidade e sobre o valor mecânico do calor). Nele, Joule tratava do calor produzido por bobinas percorridas por uma corrente elétrica. Ele afirmava que o calor gerado é diretamente proporcional ao quadrado da corrente. Em uma primeira medida, obteve para o equivalente mecânico do calor um valor, nas unidades atuais, de 4,8 J/cal. Ele apresentou, ainda, valores obtidos em outras medidas, que variavam de 3,2 J a 5,5 J/cal e citou os trabalhos de Benjamin Thompson sobre a produção de calor por atrito para fortalecer a relação entre calor e movimento. Segundo o próprio Joule, o trabalho publicado não despertou muito interesse.

Dois anos mais tarde, Joule descreveu sua famosa experiência do aquecimento de água utilizando pás, mas, ainda, com resultados variando muito. Apenas em 1847 ele obteve resultados consistentes. Joule então apresentou este novo trabalho (*Sobre o equivalente mecânico do calor, conforme determinado pelo calor desenvolvido pela fricção de fluidos*) na reunião da Associação Britânica para o avanço da Ciência, em Oxford, e impressionou os presentes, inclusive William Thomson (Lorde Kelvin).

A partir deste período entra em cena a controvérsia entre Mayer e Joule. Mayer pleiteava a prioridade das descobertas sobre as transformações entre trabalho e calor. Há trocas de acusações entre ambos e a controvérsia se estende por muitos anos. A

falta de reconhecimento por seu trabalho e as controvérsias deprimiram Mayer, que chegou a tentar suicídio. Ele morreu em 1878, esquecido pela comunidade científica.

É interessante observar que Joule, filho do dono de uma cervejaria, tinha em comum com Mayer o fato de serem cientistas “amadores” e por isso terem dificuldade em apresentar seus trabalhos na Academia de Ciências.

Apesar de Robert Mayer ter publicado sua formulação do princípio da conservação da energia mais de um ano antes de Joule, este último foi eternizado como unidade de energia no Sistema Internacional de Unidades. Pesaram neste fato, o longo e meticuloso trabalho experimental realizado por ele na determinação do equivalente mecânico do calor e também o apoio de William Thomson (Lord Kelvin) às suas ideias.

Contribuições de Helmholtz e Colding

Hermann von Helmholtz nasceu em Postdam, Alemanha, em 31 de agosto de 1821. Desde cedo interessou-se em estudar física, mas seu pai convenceu-o a estudar medicina. Em 1837, conseguiu uma bolsa de cinco anos para estudar no *Koniglich Medizinisch-chirurgische Friedrich Wilhelms Institute*, em Berlim, onde teve oportunidade de cursar várias cadeiras como química, fisiologia, matemática e também estudar as obras filosóficas de Kant.

Em 1847, escreveu seu trabalho sobre a conservação da energia. Ele já tinha conhecimento de trabalhos de outros pesquisadores e se refere aos trabalhos de Joule, mas não se refere a Mayer. Seu trabalho aprofundava e detalhava vários processos de conversão: mecânicos, térmicos e eletromagnéticos; buscava estabelecer a generalidade da lei para todos os processos, além de tratar quantitativamente problemas físicos específicos.

Helmholtz se baseava na impossibilidade de existência de uma máquina de movimento perpétuo (moto-perpétuo), isto é, uma máquina capaz de funcionar eternamente sem receber energia de uma fonte externa, e, de outro ponto de vista, na ideia de que nenhum conjunto de corpos poderia criar força do nada. Para tanto, a quantidade de trabalho ganha para que um sistema mude de um estado inicial para um outro estado é a mesma que ele deve perder para voltar ao estado inicial.

Nas palavras de Helmholtz: “ *Em todos os casos de movimento de pontos materiais livres sob a influência de suas forças atrativas e repulsivas, cujas intensidades dependem apenas da distância, a perda na quantidade de força potencial é sempre igual ao ganho de força viva, e o ganho do primeiro é a perda do segundo. Assim, a soma das forças vivas e potenciais existentes é sempre constante.*”

Ele aplicou sua lei a processos mecânicos, térmicos, elétricos e magnéticos e no fim do texto levantou a possibilidade de aplicá-la a organismos vivos. Repare que ele utiliza os termos “força potencial” e “força viva”. Apenas mais tarde, entre 1850 e 1862, estes termos se tornariam conhecidos como energia potencial e energia cinética, respectivamente.

Helmholtz pediu ajuda a Gustav Magnus para tentar publicar seu artigo no jornal *Annalen der Physik*, de Johann Christian Poggendorff, o principal jornal de física da Alemanha. Poggendorff se recusou a publicá-lo, alegando não ser adequado para seu jornal, por ser muito longo e não ser dedicado a resultados experimentais. Helmholtz então pediu ajuda a um conhecido editor chamado Georg Reimer, que publicou seu manuscrito intitulado *Über die Erhaltung der Kraft: eine physikalische Abhandlung* (Sobre a preservação da força: um tratado de física). Nos quatro anos que se seguiram, seu artigo foi ignorado na Alemanha, mas em 1851 foi redescoberto por um grupo de físicos e engenheiros britânicos.

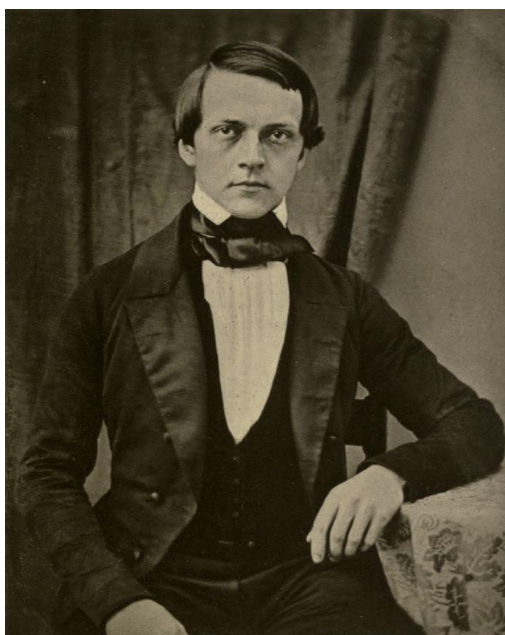


Figura 20 - Hermann von Helmholtz em 1848.
Fonte: www.commonswikimedia.org.

Ludvig August Colding nasceu em 1815 em Brandbysster, na Dinamarca. Seu pai conhecia Hans C. Oersted, com quem se aconselhou sobre a educação do filho. Inicialmente, Ludvig dedicou-se à carpintaria; mais tarde, a conselho de Oersted, ingressou no Instituto Politécnico. Colding manteve contato com Oersted durante seus anos como aluno e chegou a ajudá-lo com uma série de experimentos sobre a compressão da água, iniciados durante o inverno de 1839. É interessante que ele tenha ajudado Oersted com esses experimentos, pois eles podem ter influenciado suas investigações, quatro anos depois, quando realizou experimentos sobre a relação entre a energia mecânica e o calor.

Em 1843, Colding apresentou à Academia Dinamarquesa de Ciências um livro de memórias com ideias parecidas com as de Mayer sobre conservação e conversões de energia, juntamente com resultados de experimentos de produção de calor por atrito. Ele teve suas ideias iniciais em 1839 e em 1840 começou a elaborar um princípio de conservação da energia. Sua abordagem inicial pode parecer, para você leitor, pouco científica. Nas palavras de Colding: *“Como as forças da natureza são algo espiritual e imaterial, entidades das quais nós temos consciência apenas por seu domínio sobre a natureza, essas entidades devem, é claro, ser muito superiores a tudo o que é material no mundo; e como é óbvio que é através e apenas através delas que a sabedoria que percebemos e admiramos na natureza se expressa, estes poderes devem ter relação com o poder espiritual, imaterial e intelectual que guia a natureza em seu progresso; mas se for esse o caso, é totalmente impossível conceber essas forças como qualquer coisa naturalmente mortal ou perecível. Certamente, portanto, as forças devem ser consideradas como absolutamente imperecíveis.”*

Aconselhado por Oersted, Colding esperou obter resultados experimentais antes de apresentar seu trabalho em público.

No trabalho apresentado à Real Sociedade Dinamarquesa de Ciências, em 1843, um tratado intitulado *Teses a respeito das Forças*, ele utilizou suas ideias para explicar

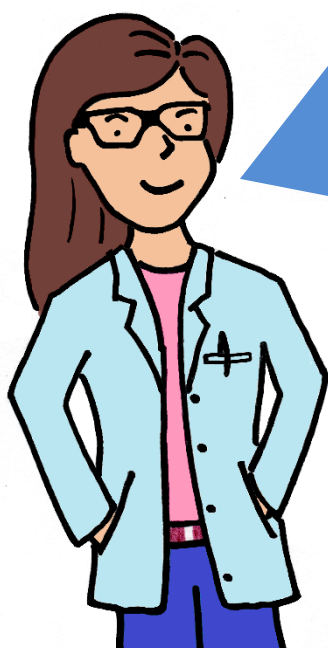


Figura 21 - Ludvig August Colding
Fonte: www.commonswikimedia.org.

qualitativamente o calor produzido na compressão de gases, líquidos e sólidos. Ele citou ainda os trabalhos de outros pesquisadores sobre a produção de calor por atrito, além de seus próprios resultados experimentais, nos quais obteve um valor para a relação entre o trabalho mecânico e o calor produzido. O trabalho de Colding foi bem aceito e ele conseguiu suporte financeiro da Sociedade Real de Copenhague para a realização de experimentos mais precisos.

Na realidade, o trabalho de Colding era muito parecido com o de Mayer e foi apresentado quase ao mesmo tempo. No entanto, ele não é citado nos livros didáticos na mesma proporção que Mayer e Joule. Isto pode se dever à barreira do idioma e ao fato de a Dinamarca não ser, à época, um dos principais centros culturais da Europa.

Notamos que um dos desafios a serem vencidos pelos cientistas que desenvolviam trabalhos sobre a conservação da energia era encontrar uma relação entre as quantidades convertidas, por exemplo, o equivalente mecânico do calor, assunto da próxima seção.



O caminho até a consolidação da 1ª Lei da Termodinâmica mostra como o processo de desenvolvimento científico é longo, coletivo e repleto de disputas e controvérsias entre pesquisadores. Este princípio pode ser considerado como devido à comunidade científica apesar de apenas uns poucos nomes aparecerem nos livros didáticos.

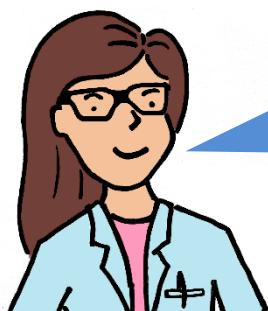
O equivalente mecânico do calor

Atualmente, ao estudarmos termodinâmica, não temos a oportunidade de compreender a importância da descoberta do equivalente mecânico do calor. Seu papel foi muito maior do que uma simples determinação de um valor de conversão entre unidades, sendo crucial para o desenvolvimento do princípio da conservação da energia.

Com a utilização da unidade Joule pelo Sistema Internacional de Unidades para todas as formas de energia, inclusive as de origem térmica, a importância deste fator tem ficado cada vez mais esquecida. No entanto, entre o final do século XVIII e boa parte do século XIX, vários pensadores se ocuparam em determinar o equivalente mecânico do calor, apesar de, muitas vezes, encontrarmos referências apenas ao valor obtido por Joule.

Em 1788, Benjamin Thompson, com cilindros metálicos mergulhados em água produzindo calor por atrito, encontrou o valor $560,65 \text{ kgf m/kcal}$ (**5,5 J/cal**); entre 1824 e 1832, Sadi Carnot obteve o valor de $377,17 \text{ kgf m/kcal}$ (**3,7 J/cal**); em 1842, Julius Robert Mayer obteve, por meio de cálculo para o ar, o equivalente mecânico de 365 kgf m/kcal (**3,6 J/cal**); em 1854, Gustave Adolphe Hirn, utilizando um cilindro girante no interior de outro cilindro, com o espaço entre eles preenchido por um líquido em escoamento, encontrou os valores de 370 kgf m/kcal (**3,6 J/cal**) e 432 kgf m/kcal (**4,2 J/cal**); em 1843, Ludvig A. Colding apresentou, a partir de experimentos de produção de calor por atrito, o valor equivalente a **3,4 J/cal**.

James Prescott Joule, de quem já falamos e que teve seu nome imortalizado como unidade de energia, realizou várias contribuições para a termodinâmica, sendo seu cálculo do equivalente mecânico do calor o mais relevante. Joule aperfeiçoou seus métodos durante 35 anos para conseguir maior precisão.



Isto mesmo, 35 anos! Em muitos casos, um pesquisador dedica vários anos de sua vida trabalhando e defendendo uma ideia, que pode, ou não, ser aceita pela comunidade científica.

Como a precisão do valor do equivalente mecânico do calor dependia da exatidão dos valores dos calores específicos dos materiais envolvidos, Joule analisou diferentes métodos de determinação dos calores específicos. Utilizou um novo método no qual utilizava fios de platina percorridos por correntes elétricas, imersos nos materiais, dissipando calor.

Os trabalhos de Joule eram muito bem fundamentados experimentalmente. Este pode ser um dos motivos de seu nome ser o mais associado ao equivalente mecânico do calor, além do fato de William Thomson (Lord Kelvin), muito conceituado na época, ter defendido suas ideias.

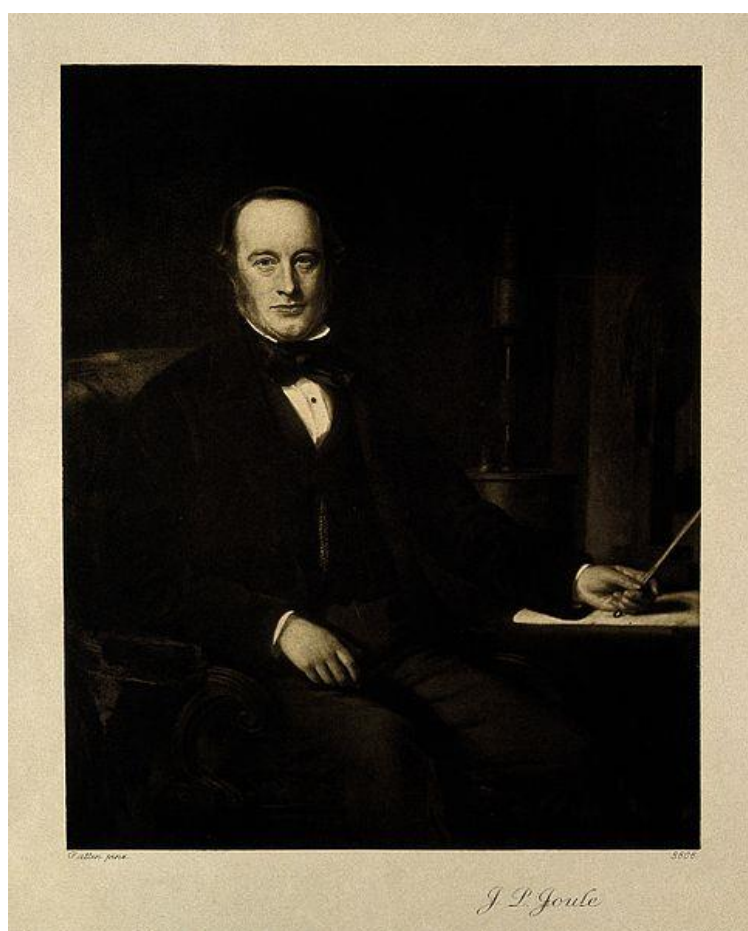


Figura 22 - James Prescott Joule (1818-1889). Fotogravura segundo G. Patten. Fonte: www.commonswikimedia.org.

Joule realizou um meticuloso trabalho experimental utilizando um calorímetro de latão em forma de vaso cilíndrico contendo em seu interior placas fixas e agitadores ligados a um eixo. A queda de pesos ligados ao eixo girava os agitadores e aquecia o líquido no interior do calorímetro. Para conseguir maior precisão, Joule construiu um aparato para determinar o calor específico do latão, material do calorímetro, não

confiando nos valores da época. Além disso, ele precisou que seu aparato experimental fosse detalhadamente construído para minimizar as perdas de energia por atrito (nos eixos das roldanas, por exemplo) na queda das massas, para que fosse possível realizar o cálculo da energia cinética (energia de movimento) adquirida pelas massas durante a queda e realizar as medições das pequenas variações de temperatura que ocorriam no líquido. Para que você tenha uma ideia, Joule precisou usar um termômetro longo com muitas divisões na escala e protegê-lo com um anteparo para que sua própria respiração não interferisse nas medidas. Com este experimento Joule obteve o valor de $424,77 \text{ kgf m/kcal}$ (**$4,16 \text{ J/cal}$**), valor bem próximo do aceito hoje, que é **$4,186 \text{ J/cal}$** . Mas é importante observar que ele obteve vários valores diferentes realizando outros experimentos, utilizando outras formas de energia, além da mecânica, como o calor dissipado por uma resistência elétrica em uma experiência realizada em 1867.

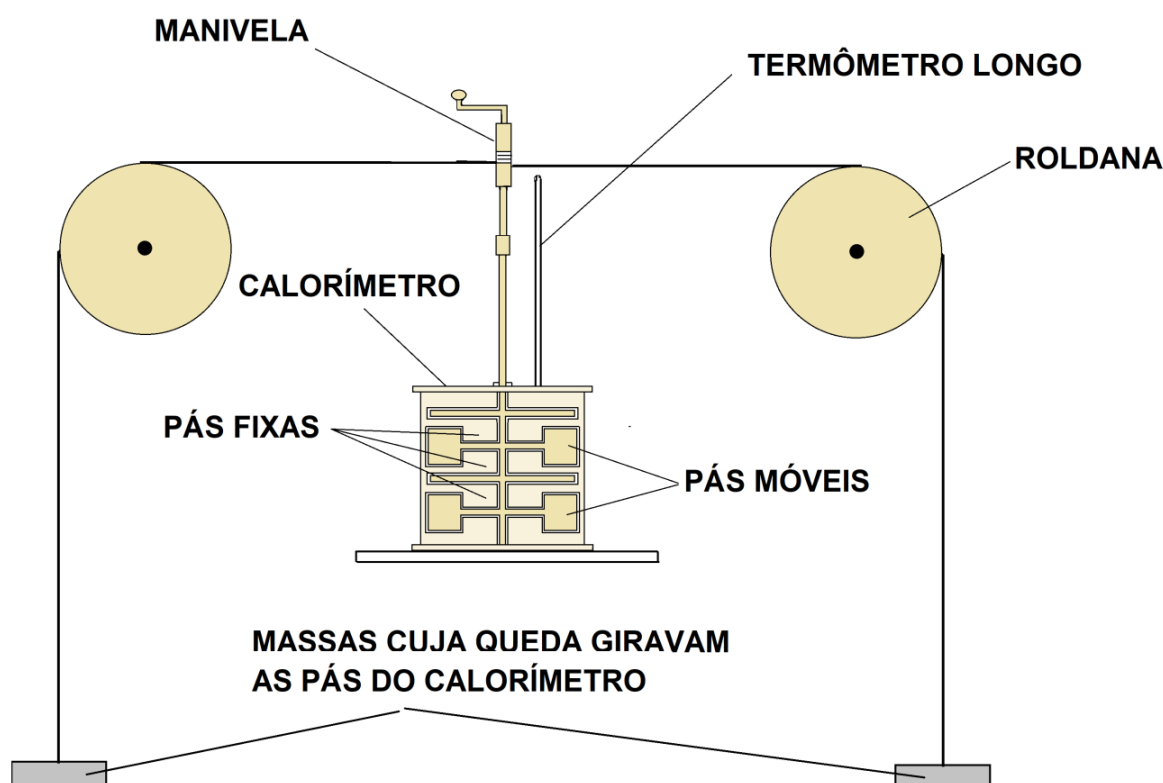


Figura 23 - Esquema simplificado do aparato experimental de Joule. Com a queda das massas parte da energia era transferida para a água no calorímetro, provocando um aumento na temperatura.



Figura 24 - Réplica do calorímetro de Joule. Science Museum de Londres

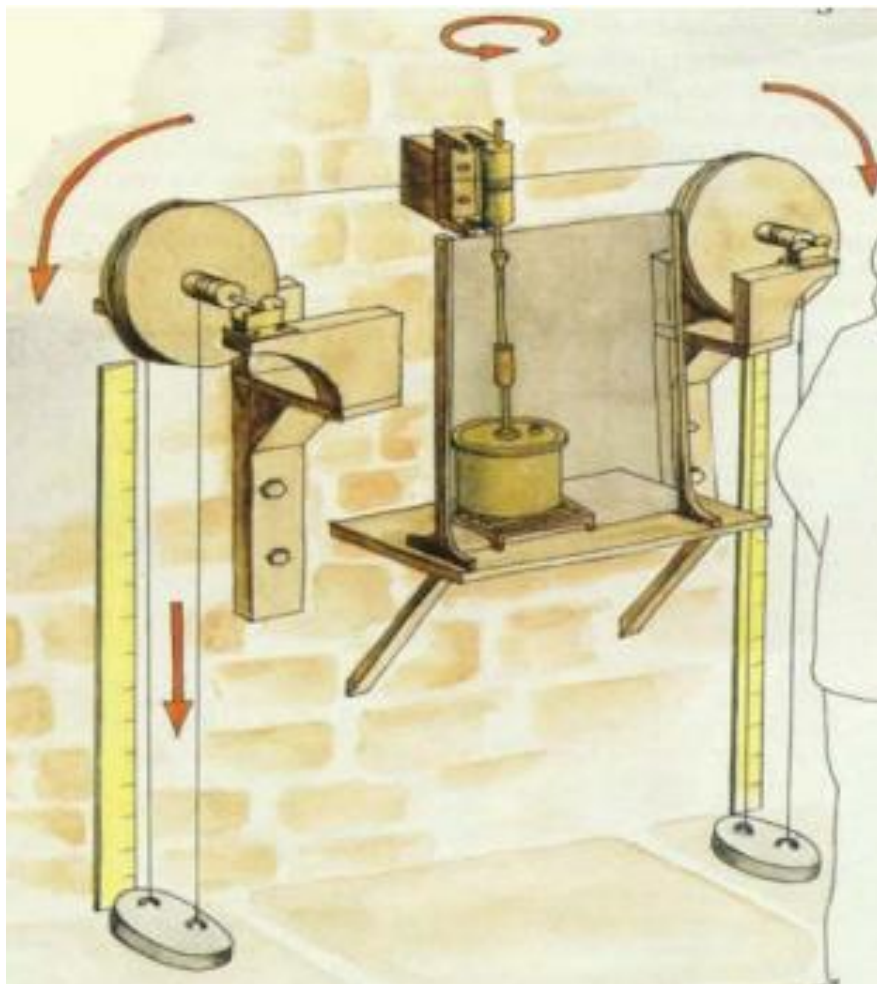


Figura 25 - Ilustração do experimento de Joule (aqui mostrado sem o termômetro). Note a presença de réguas laterais para medir a distância percorrida pelas massas, permitindo o cálculo das velocidades das mesmas, e o acoplamento dos eixos das roldanas a duas roldanas menores, para diminuir o atrito.

Fonte: Distorções Conceituais em Imagens de Livros Textos: O Caso do experimento de Joule com o Calorímetro de Pás. Disponível em https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/AlexMed/Exp_Joule.pdf

Joule teve dificuldades para obter reconhecimento de seu trabalho. Em 1845, pode expor oralmente um artigo sobre o equivalente mecânico do calor na Associação Britânica para o Avanço da Ciência, sem despertar interesse. Em 1847, em outra reunião da Associação, em Oxford, Joule apareceu novamente e lhe foi permitido fazer uma breve descrição de seus experimentos. Ele teria passado despercebido novamente, não fossem observações feitas por William Thomson, que despertaram a atenção para seus trabalhos.

V

A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Nos livros didáticos de física, encontramos os seguintes enunciados para a segunda lei da termodinâmica:

Enunciado de **Kelvin-Planck**.

É impossível construir uma máquina que, operando em ciclos, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho o calor recebido de uma fonte quente.

Enunciado de **Clausius**.

É impossível uma máquina, sem ajuda de um agente externo, conduzir calor de um sistema para outro que esteja a uma temperatura maior.

Mas o que querem dizer exatamente estes enunciados?

Ao estudarmos as máquinas térmicas, chegará o momento em que, além de se comentar que elas convertem calor em trabalho mecânico, será abordado seu rendimento: quanto do calor recebido é transformado em trabalho mecânico?

O esquema a seguir representa de maneira simplificada o que ocorre em uma máquina térmica.

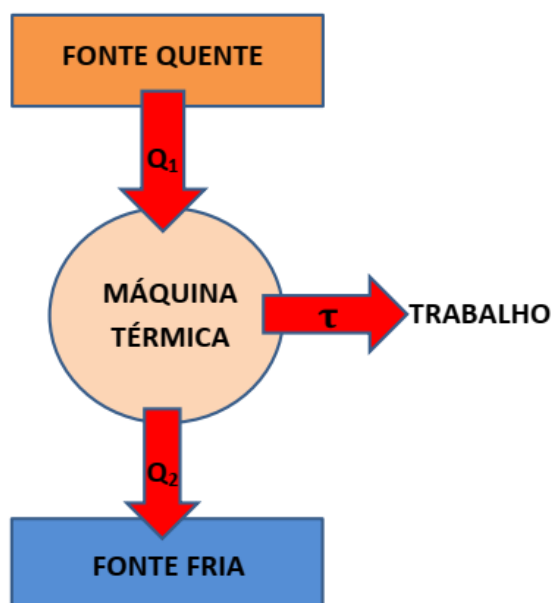
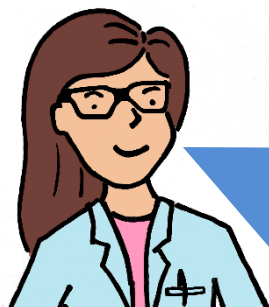


Figura 26 – Esquema representativo de uma máquina térmica

Nesse esquema, Q_1 é o calor recebido pela máquina de uma fonte de maior temperatura (Fonte Quente), Q_2 é o calor cedido pela máquina a uma fonte que está a uma temperatura menor (Fonte Fria) e τ é o trabalho realizado pela máquina térmica.



Para que você entenda melhor, fonte quente é o local, por exemplo, onde se está queimando um combustível, como carvão, gás, óleo, etc. O calor dessa combustão está sendo cedido à máquina. A fonte fria é um local com temperatura mais baixa para onde, flui, numa máquina a vapor, o vapor d'água utilizado para ser resfriado. Pode ser uma tubulação mergulhada nas águas de um rio, por exemplo.

Notamos então que uma parcela do calor recebido pela máquina é convertido em trabalho mecânico, enquanto outra parcela é transferida para um outro corpo, cuja a temperatura é menor.

O rendimento (η) da máquina é calculado como $\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|}$

A segunda lei da termodinâmica estabelece que não é possível que a máquina transforme todo o calor recebido em trabalho, o que corresponderia a um rendimento de 100%, e também que o calor flui espontaneamente do reservatório de maior temperatura para o reservatório de menor temperatura (da fonte quente para a fonte fria). A seguir veremos como essa lei de consolidou.

As ideias de Sadi Carnot

Podemos dizer que a primeira formulação da segunda lei da termodinâmica apareceu em 1824, no único livro escrito pelo francês Nicolas Léonard Sadi Carnot, do qual foram publicados apenas 600 exemplares. Eram 119 páginas com o título *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer*

cette puissance (Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre as máquinas adequadas ao desenvolvimento dessa potência).

Como vimos no capítulo II, no final do século XVIII os motores a vapor (máquinas térmicas) estavam em evidência e despertaram o interesse teórico dos cientistas. Em 1793, a Academia Francesa de Ciências propôs um título para um artigo a ser premiado: “A Análise Teórica da Operação de Motores a Vapor”. Nenhum artigo apresentado foi considerado digno de ser premiado. Repetiram a oferta em 1795, sem sucesso. Carnot nasceu um ano depois, em 1º de junho de 1796, filho de Nazare Nicolas Marguerite Carnot, que foi ministro da guerra de Napoleão e cientista respeitado. Estudou na prestigiosa École Polytechnique, de 1812 a 1814, e depois estudou engenharia militar na École du Génie, em Metz. Em 1819, foi licenciado do exército e passou um período em Paris, dedicado a estudos e pesquisas



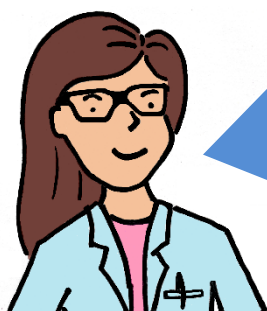
Figura 27 - Sadi Carnot (1796-1832) em 1813. Quadro de Louis-Léopold Boilly. *Fonte:www.commons.wikimedia.org*

No início do século XIX, as melhorias técnicas introduzidas nas máquinas térmicas, por Watt e outros fabricantes, trouxeram junto com elas a necessidade de se pensar teoricamente sobre o desempenho daquelas máquinas. Carnot percebeu que deveria abordar o problema de maneira geral e não analisar máquinas específicas. Há quem diga que ele herdou a capacidade de generalizar de seu pai, uma capacidade de ver processos fundamentais por trás de mecanismos mais

complexos. Acredita-se, também, que ele foi influenciado por trabalhos de Nicolas Clément e Charles-Bernard Désormes, dois químicos que escreveram vários artigos juntos. Clément teria sido amigo de Carnot e especialmente um de seus trabalhos em parceria com Désormes, publicado em 1819, pode ter influenciado particularmente o pensamento de Carnot sobre as ideias publicadas, mais tarde, por ele, no “Refléxions”.

Carnot justificou seu interesse em estudar a teoria da produção de movimento pelo fogo (pelo calor), logo no início do seu livro, quando enfatizou a importância prática dos motores térmicos e que o uso dos mesmos aumentava continuamente no sentido de produzir uma grande revolução no mundo civilizado. No entanto, apesar dos elogios àquelas máquinas, logo a seguir ele afirmou que a produção de movimento pelo calor não estava sendo considerada de um modo mais geral. Havia a necessidade de se estabelecerem princípios aplicáveis não somente às máquinas a vapor, mas a qualquer máquina térmica, independente da substância de trabalho (vapor, ar ou outra) ou dos modos de operação.

Carnot estabeleceu que a passagem de calórico de um reservatório mais quente para um mais frio seria o princípio básico de funcionamento de um motor térmico. Sim, calórico! Nesta época, Carnot era adepto da teoria do calórico, pensado como um fluido material contínuo. Ele concluiu que um motor térmico não pode produzir trabalho sem o uso de duas fontes de calor a temperaturas diferentes. Uma fonte quente (caldeira) e uma fonte fria (condensador). Aqui temos uma primeira formulação da Segunda Lei da Termodinâmica.



Veja como a Ciência é interessante: Carnot realizou o trabalho mais importante para a consolidação da Termodinâmica utilizando uma ideia sobre o calor que hoje já foi superada - o calórico.

Uma ideia não deixa de ser científica porque foi superada. Por um período, o calórico explicou vários fenômenos de forma satisfatória, mas a Ciência é dinâmica e este conceito foi substituído.

É interessante observar que Carnot entendeu corretamente que a diferença de temperatura entre as fontes era necessária para a produção de trabalho. No entanto, ele errou ao considerar que todo o calórico seria transportado para a fonte fria, não havendo consumo de uma quantidade na produção do trabalho.

Carnot chega a comparar a “queda do calórico” entre duas temperaturas com uma queda d’água que pode girar uma roda e ter sua quantidade conservada. Assim, por esta analogia, todo o calórico também seria conservado.

Ainda em seu livro, ele estabeleceu que a eficiência da máquina não depende do agente utilizado, vapor ou outro, e sim das temperaturas dos reservatórios quente e frio e ainda descreveu um ciclo de operação reversível de uma máquina térmica ideal.

O ciclo de Carnot

O ciclo proposto por Carnot era formado por transformações reversíveis: duas isotérmicas e duas adiabáticas. Um processo é reversível quando é possível realizá-lo em sentido contrário, sempre passando por estados de equilíbrio e para isto, ele deve atender às seguintes condições:

1. Não pode haver trabalho de forças de atrito produzindo calor.
2. As trocas de calor só podem ocorrer isotermicamente.
3. O processo deve ser lento, quase estático, de forma que o sistema esteja sempre num estado de equilíbrio.

Nenhuma máquina real pode atender a todas estas condições, de forma que ele concluiu que nenhuma máquina, que opere em ciclo entre dois reservatórios, poderia ser mais eficiente que seu motor teórico.

É interessante notar que o diagrama pressão-volume que aparece atualmente nos livros didáticos, representando o ciclo termodinâmico descrito por Carnot, não consta no “Refléxions”! Uma primeira representação do ciclo num gráfico pressão-volume foi apresentada por Clapeyron somente dez anos depois, em 1834.

A seguir, apresentamos a descrição do ciclo teórico feita por Carnot.

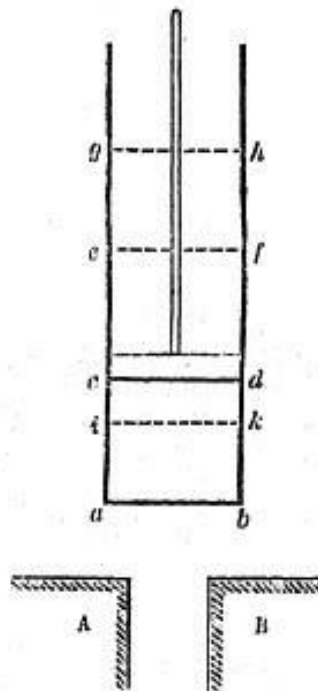


Figura 28 - Diagrama apresentado por Carnot no “Refléxions”, em 1824, para descrever seu ciclo reversível: um fluido elástico, ar atmosférico, por exemplo, contido em um recipiente cilíndrico, provido de um diafragma ou pistão móvel cd ; além disso, os dois corpos A, B, cada um mantido a uma temperatura constante, sendo A maior que o de B. As operações descritas por Carnot eram as seguintes:

1° - Contato do corpo A com o ar contido no espaço $abcd$, em contato com a extremidade inferior do cilindro, supondo que a parede do cilindro seja uma boa condutora de calor. Por este contato, o ar adquire a temperatura do corpo A e cd é a atual posição do pistão.

2° - O pistão sobe lentamente e chega à posição ef . O ar permanece em contato com o corpo A, e é mantido a temperatura constante durante a expansão. O corpo A fornece o calor necessário para manter sua temperatura constante.

3° - O corpo A é removido e o ar não está mais em contato com qualquer corpo capaz de lhe fornecer calor, o pistão continua subindo e passa da posição ef para a gh . O ar se expande sem receber calor e sua temperatura cai. Imaginemos que caia até atingir a temperatura do corpo B. Nesse instante o pistão para na posição gh .

4° - O ar é colocado em contato com o corpo B; é comprimido e o pistão vai retornando da posição gh até a posição cd . No entanto, este ar permanece a uma temperatura constante devido ao seu contato com o corpo B, ao qual cede calor.

5° - O corpo B é removido e a compressão do ar continua, porém, sua temperatura volta a subir. A compressão continua até que sua temperatura atinja a temperatura do corpo A. O pistão passa da posição cd para ik .

6° - O ar é recolocado em contato com o corpo A, e o pistão retorna da posição ik para a posição ef , com a temperatura permanecendo invariável.

O livro de Carnot passou despercebido pela comunidade científica na época de sua publicação. Talvez porque ele não estivesse inserido no meio acadêmico, afinal, tratava-se de um engenheiro militar, alguém que não despertava interesse dos cientistas renomados.

Carnot continuou seus estudos após a publicação do “Refléxions”, mas morreu com apenas 36 anos, em 24 de agosto de 1832, vítima de cólera. Por isso, teve seus pertences pessoais queimados, incluindo manuscritos. De seu trabalho restaram, além do livro, apenas algumas anotações.

O trabalho de Carnot estava sendo esquecido até que, em 1834, o engenheiro francês Paul Émile Clapeyron publicou um artigo onde reformulou a linguagem textual do livro de Carnot, expressando-a através de um formalismo matemático e representando o ciclo termodinâmico da máquina teórica de Carnot em um diagrama pressão-volume. Clapeyron enfatizou a afirmativa de Carnot de que a eficiência de um motor reversível depende apenas das temperaturas das fontes quente e fria.

Na figura a seguir, representamos o ciclo de Carnot como é apresentado nos livros didáticos e identificamos os pontos do diagrama para que possa relacioná-lo com a descrição feita por Carnot.

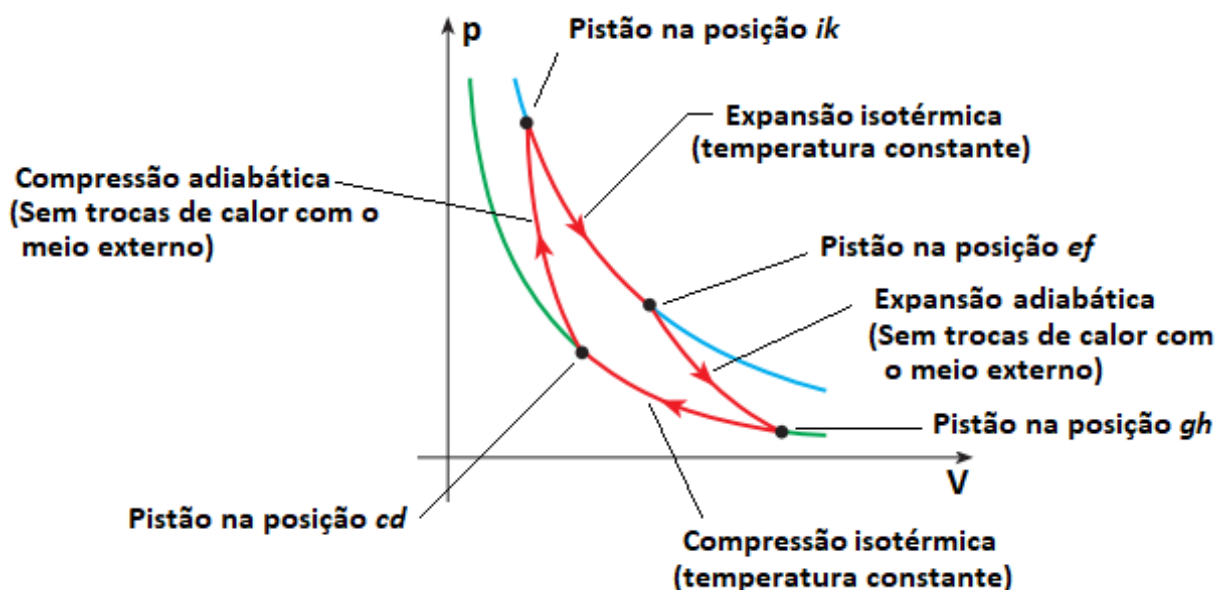


Figura 29 – Representação do ciclo de Carnot no diagrama pressão x volume

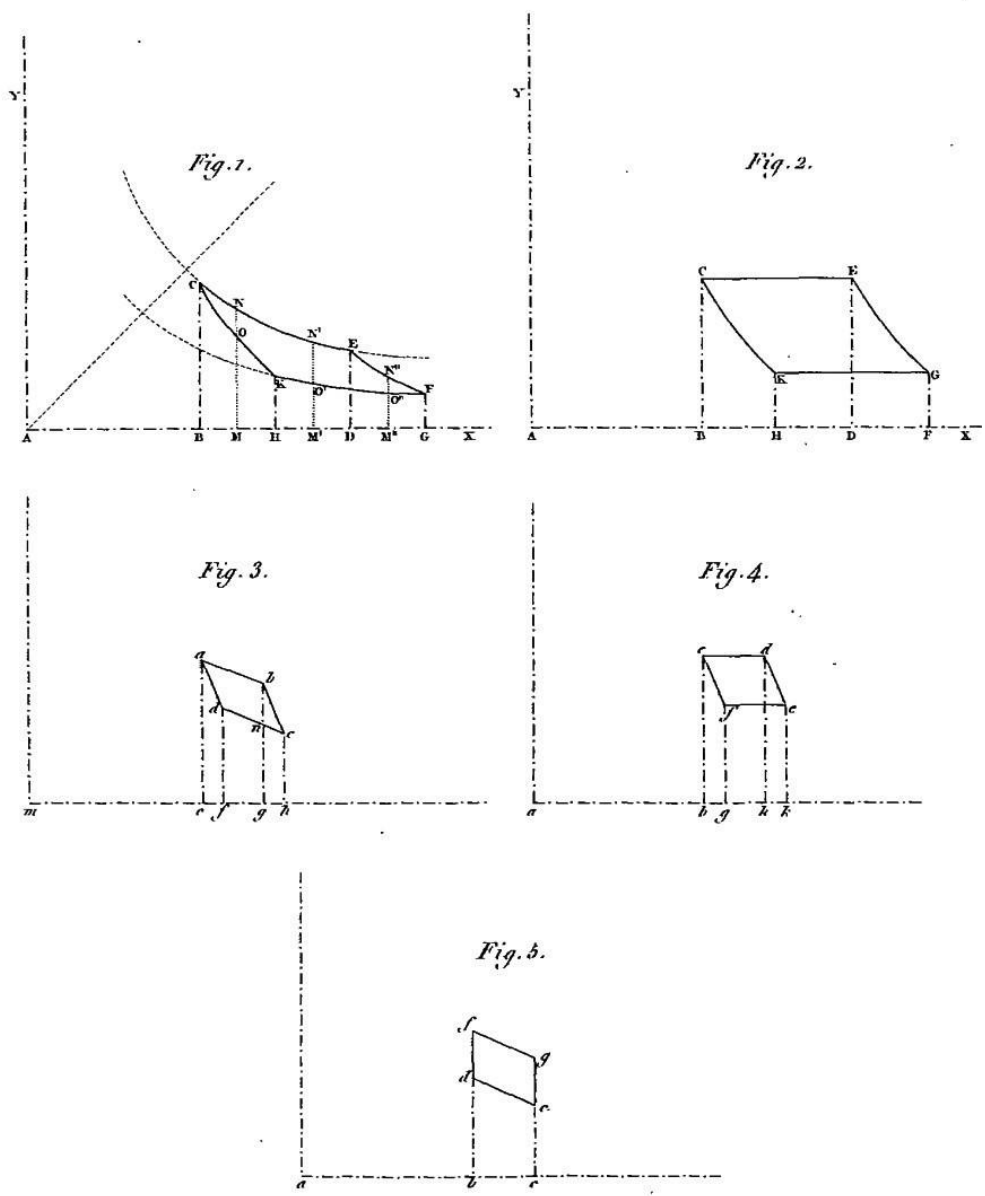


Figura 30 - Diagramas apresentados por Clapeyron em seu trabalho *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur*, de 1834, quando introduziu uma linguagem matemática às ideias de Carnot contidas no "Refléxions".

As dúvidas de Kelvin e a visão esclarecedora de Clausius

Curiosamente, no ano em que o livro de Carnot foi publicado nasceu William Thomson (Lorde Kelvin), que desempenhou um papel relevante ao trazer ao conhecimento da comunidade científica a importância da publicação de Carnot.

Após concluir sua graduação em Cambridge, em 1845, William Thomson foi a Paris fazer um estágio no laboratório de Henri Regnault. Nesse período, trocou diversas correspondências com seu irmão J. Thomson sobre o poder do fogo em gerar movimento. Ambos se interessavam pelo assunto e há indicações de que William Thomson já conhecia as ideias de Carnot através do trabalho publicado por Clapeyron. Neste período em Paris ele buscou conseguir um exemplar do livro de Carnot, mas não encontrou.

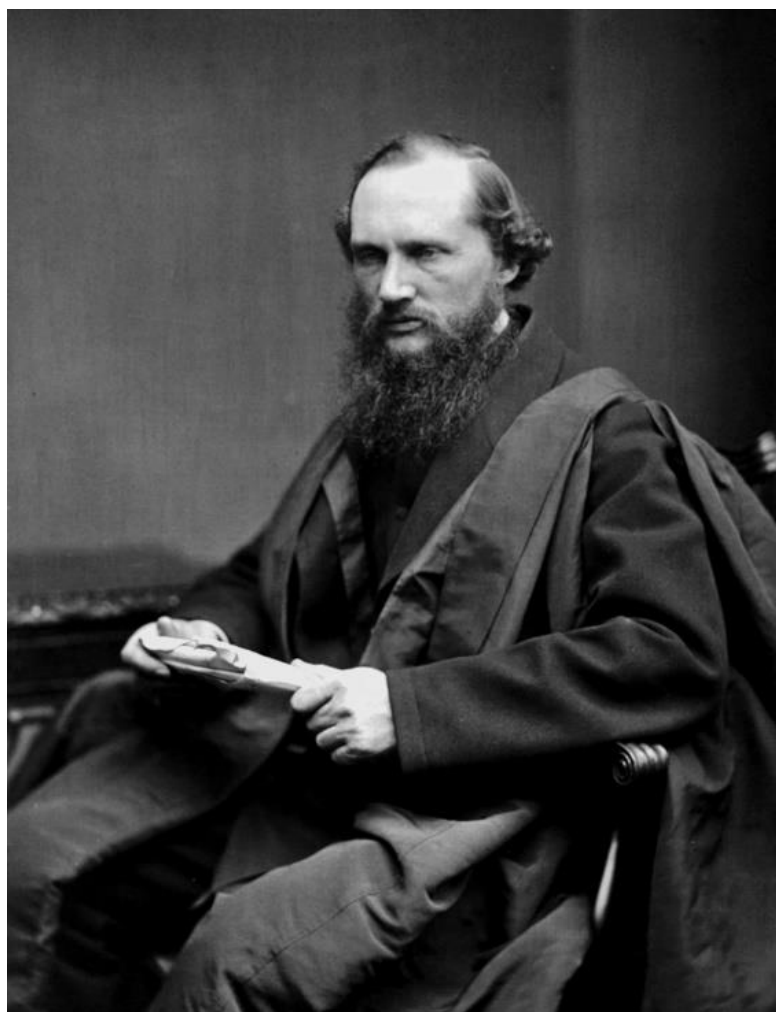


Figura 31 - William Thomson (1824-1907) em 1860.
Fonte: www.commonswikimedia.org

Em 1847, ao assistir uma apresentação de Joule na reunião anual da Associação Britânica para o Avanço da Ciência, em Oxford, Thomson mostrou interesse em seus trabalhos de investigação sobre calor e trabalho. Os dois passaram a trocar cartas sobre o assunto.

Thomson tinha algumas incertezas que o incomodavam. Para Joule, calor e trabalho podiam ser convertidos um no outro e isto contrariava as ideias de Carnot de que o calor se conservava ao passar da fonte quente para a fonte fria numa máquina térmica. O conhecimento dos trabalhos de Joule aumentava as dúvidas de Thomson sobre a real natureza do calor: ele aceitava as ideias de Carnot, que tratavam o calor como uma substância que se conservava, no entanto, os trabalhos de Joule indicavam que parte do calor era convertido em trabalho numa máquina térmica. Thomson não via como conciliar estes argumentos.

Em 1848, Thomson publicou um artigo chamado “On an Absolute Thermometric Scale” (Sobre uma escala absoluta de temperatura) onde estabelecia uma escala termométrica absoluta utilizando as ideias de Carnot contidas no trabalho de Clapeyron. Em 1849, após conseguir uma cópia do livro de Carnot, publicou um artigo onde expunha suas dúvidas sobre a produção de movimento pelo calor. Thomson tinha muitas incertezas e não via como solucioná-las, mas em 1850, Rudolf Emanuel Clausius, físico alemão, publicou um trabalho onde conciliava os princípios de Carnot e Joule.

Rudolf Clausius nasceu em Cöslin, uma cidade da Pomerânia¹, em 1822. Em 1840, iniciou seus estudos na Universidade de Berlim. Lá, Clausius aprendeu sobre as teorias do calor em uma palestra no período de inverno entre 1842 e 1843, onde o professor dissera que a física do calor estava numa fase de transição. De fato, era uma dúvida se o calor era uma substância ou movimento.

Clausius participou de um grupo de estudos onde eram realizados seminários sobre publicações recentes. Ele apresentou o trabalho de Clapeyron (que trazia as ideias de Carnot) sobre a conversão de calor em trabalho mecânico, publicado em francês em 1834, mas publicado novamente em alemão em 1843.

¹ A Pomerânia foi uma província da Prússia entre 1815 e 1945, tornando-se parte do Império Alemão em 1871. Após a Segunda Guerra Mundial seu território foi dividido entre a Polônia e a Alemanha.



Figura 32 - Fotografia de Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888) por J. Keller, com data aproximada de 1865.
Fonte: www.commons.wikimedia.org

Em 1850, em uma publicação de mais de cinquenta páginas intitulada *Ueber die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen* (Sobre a força motriz do calor e as leis que podem ser derivadas dela para a própria teoria do calor), Clausius tratou da conversão de calor em trabalho. Ele descartou que o calor fosse uma substância, declarando expressamente que “o calor não é uma substância, mas consiste em um movimento das menores partes dos corpos.” Clausius afirmou que Carnot estava certo ao considerar a produção de trabalho como resultado da transferência de calor de uma fonte quente para uma fonte fria. No entanto, Carnot estava errado em afirmar que todo o calor era transferido de uma fonte para outra. Parte deste calor era

transformado em trabalho, como afirmava Joule, e apenas o restante era transportado para a fonte de temperatura mais baixa. Clausius mencionou os experimentos de Joule e citou o cálculo do equivalente mecânico do calor realizado por Mayer.

Desta forma, Clausius enunciou a 2ª Lei da Termodinâmica a partir da tendência universal do calor se transferir do mais quente para o mais frio: “*É impossível para uma máquina auto-atuante, sem auxílio de um agente externo, transferir calor de um determinado corpo a outro de maior temperatura.*” Nessa formulação, a expressão auto-atuante quer dizer um processo cíclico. Note que o enunciado original é bem semelhante ao que encontramos hoje, atribuído a Clausius, nos livros didáticos

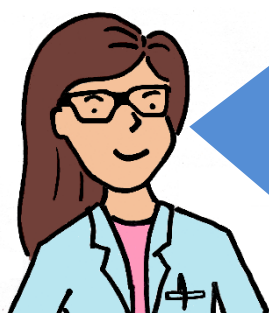
Um ano depois, ao tomar conhecimento do artigo de Clausius, Thomson (Kelvin) publicou *On the dynamical theory of heat* (Sobre a teoria dinâmica do calor), um trabalho no qual concordava com as ideias publicadas por Clausius, que colocavam um fim às suas incertezas. Não era preciso abandonar nem o princípio de Carnot nem o de Joule, bastava conciliá-los. Neste trabalho, Thomson enunciou a 2ª Lei da Termodinâmica originalmente da seguinte forma: “*é impossível, por meio de um agente material inanimado, derivar efeito mecânico de uma porção de matéria resfriando-a abaixo da temperatura do mais frio dos objetos adjacentes*”. Mas você sabe que não é este enunciado que aparece nos livros didáticos associado ao nome de Kelvin. O enunciado que normalmente aparece é mais próximo do enunciado escrito por Planck em seu livro de 1897, chamado *Tratado sobre termodinâmica*.

Planck, mais conhecido por seus trabalhos relacionados à física quântica, já havia feito uma revisão das leis da termodinâmica em sua tese de doutorado em 1879. Era uma autoridade em termodinâmica clássica quando escreveu *Tratado sobre termodinâmica*, em 1897. Neste livro, ele formula um enunciado mais genérico que o de Kelvin para a segunda lei da termodinâmica: “*É impossível construir uma máquina que trabalhe em um ciclo completo, cujos únicos efeitos sejam o levantamento do peso e o resfriamento de um reservatório térmico*”.

Nós não faremos aqui, mas é possível demonstrar que os enunciados de Clausius e Kelvin são equivalentes, utilizando um método a partir do qual a negação de um deles torna o outro também falso.

Clausius continuou trabalhando matematicamente na segunda lei, incluindo também processos irreversíveis. Ele introduziu uma nova quantidade física que chamou inicialmente de “*Verwandlung*” (transformação). Em 1865, ele o substituiu pela palavra grega para “*Umkehr*” (reversão) que é “entropia”.

Talvez você leitor não tenha familiaridade com o termo entropia. No próximo capítulo vamos esclarecer um pouco sobre esta grandeza.



Note como a 2ª Lei da Termodinâmica vai se consolidando. Inicialmente, a partir das ideias originais de Sadi Carnot, em 1824. Depois com os questionamentos de William Thomson (Lorde Kelvin), de 1847 a 1850, e por fim, com a visão perspicaz de Rudolf Clausius. Novamente, percebemos o caráter coletivo do desenvolvimento científico.

Mas ainda tem mais sobre a segunda lei.
Continue a leitura!

VI

ENTROPIA

Inicialmente, vamos buscar entender os conceitos de processos reversíveis e irreversíveis.

Processos reversíveis, irreversíveis e a flecha do tempo

Comentamos no capítulo anterior que um processo é reversível quando é possível realizá-lo em sentido contrário, sempre passando por estados de equilíbrio. Num processo deste tipo, não seria possível distinguir o que vem antes e o que vem depois.

Calma! Observe a figura:

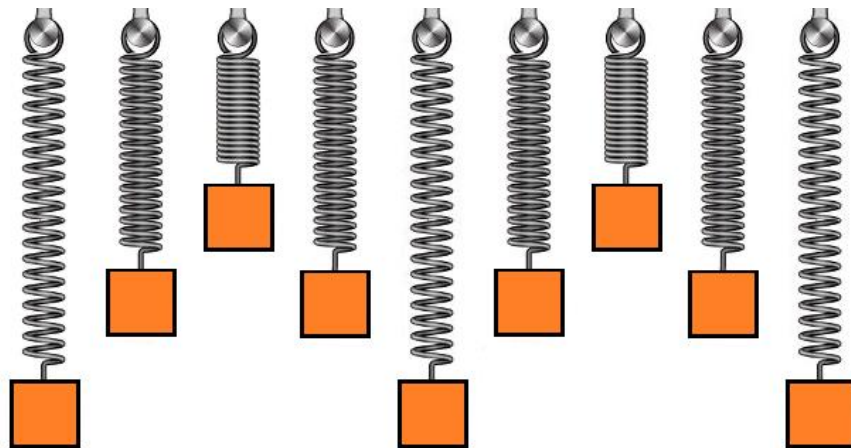


Figura 33 – Sistema massa-mola

Na sequência temporal do sistema oscilante, desconsiderando as dissipações de energia mecânica, não conseguimos definir se a sequência vai da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda, ou seja, não sabemos dizer, apenas observando as imagens, o que aconteceu primeiro, pois estamos diante de fenômenos reversíveis. No entanto, na natureza todos os processos são irreversíveis. Processos reversíveis são idealizações.

Para ilustrar, observe a situação da figura 34 a seguir:

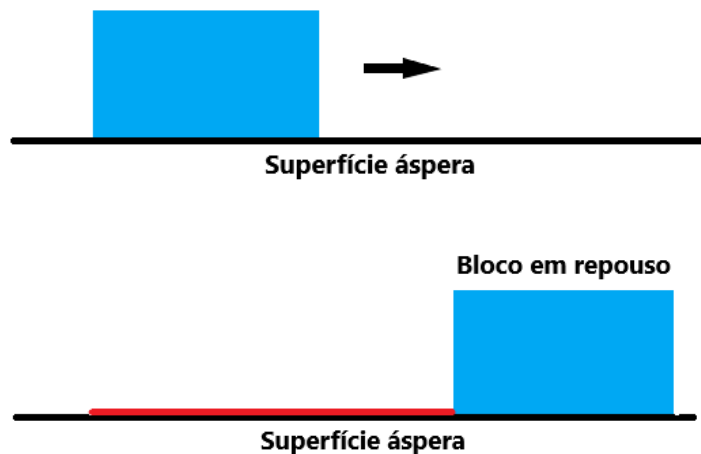


Figura 34 – Bloco deslizando sobre uma superfície áspera.

O bloco se desloca sobre uma superfície áspera. A energia cinética associada ao seu movimento se transforma em calor por atrito.

Nesta situação, sabemos exatamente quem vem primeiro. A energia cinética foi convertida em calor e o bloco parou. O princípio da conservação da energia não proíbe que a energia térmica se transforme em energia cinética e o bloco volte a estar em movimento. No entanto, sabemos que esta reversão não ocorre espontaneamente na natureza. O processo aqui descrito é irreversível

Da mesma forma, quando colocamos uma pedra de gelo num copo com água, sabemos que a água cede calor para o gelo. Mas novamente, pela 1ª lei da Termodinâmica (princípio da conservação da energia) não há uma proibição de o gelo ceder calor para a água e ficar mais gelado e a água receber calor e ficar mais quente. Mas isto não acontece.

Em ambos os casos, a proibição da reversão mencionada está associada à Segunda Lei da Termodinâmica. No segundo exemplo, a impossibilidade decorre imediatamente do enunciado de Clausius, em 1850, considerando que o calor flui do “mais quente” para o “mais frio”. A natureza, portanto, tem um sentido privilegiado para as transformações, que nos fornece a “flecha do tempo”, que diferencia passado e futuro.

Desenvolvimento do conceito de entropia

Suponha duas porções de água com temperaturas diferentes que irão ser misturadas. Após algum tempo de a mistura ser realizada, este sistema irá atingir uma condição de equilíbrio térmico, ficando com a mesma temperatura em todos os pontos.

Mas observe que, antes de realizada a mistura, possuíamos duas porções com temperaturas diferentes, digamos, uma quente e outra fria, o que possibilitaria a construção de uma máquina térmica em que estas massas funcionariam como fonte quente e fonte fria e a energia transferida de uma para outra poderia ser usada para realizar trabalho.

Embora a energia citada não tenha desaparecido, a transformação ocorrida nos tirou a possibilidade de utilizá-la para a realização de trabalho e sabemos que, espontaneamente, as massas de água não irão retornar à condição que tínhamos inicialmente. Desta forma, visando quantificar esta característica das transformações naturais, Clausius estabeleceu uma grandeza chamada entropia (representada pela letra S) que, nos processos irreversíveis, está associada com a disponibilidade do emprego útil da energia. Quando ocorre uma transformação, fazendo que um sistema passe de um estado para outro, ocorre uma variação da entropia. Esta variação é o que realmente importa.

Clausius estabeleceu que num sistema isolado, isto é, que não troca energia com o exterior, seja na forma de trabalho ou de calor, a variação da entropia é nula nos processos reversíveis e positiva nos processos irreversíveis.

Não vamos detalhar neste livro toda a matemática envolvida. Vamos apenas apresentar uma expressão para a variação da entropia, com validade restrita à temperatura constante:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Onde:

Q é o calor trocado pelo sistema

T é a temperatura do sistema

Mas como Clausius chegou a estas afirmações?

Em um artigo de 1850, Clausius já havia conciliado as ideias de Carnot com os resultados de Joule, afirmando que a produção de trabalho nas máquinas térmicas não era resultado da passagem integral do calor da fonte quente para a fonte fria, como afirmava Carnot, mas parte do calor era convertido em trabalho. A partir de então, num artigo de 1854 - *On a modified form of the second fundamental theorem in*

the mechanical theory of heat (Sobre uma forma modificada da segunda lei na teoria mecânica do calor) - ele busca quantificar as relações entre as quantidades de calor envolvidas e as temperaturas utilizadas na produção de trabalho utilizando calor. Ao analisar o ciclo de Carnot, ele identifica dois tipos de transformações: a primeira é a conversão de calor em trabalho e a segunda é a passagem do calor de um corpo de maior temperatura para um de menor temperatura.

Ele pensa que estas transformações são equivalentes e propõe que a passagem do calor de um corpo quente para um corpo frio, com produção de trabalho, deveria ser compensada pela conversão de trabalho em calor, com o calor passando de um corpo mais frio para um corpo mais quente.

Ele então enuncia o teorema da equivalência das transformações estabelecendo o valor de equivalência das mesmas:

Se uma quantidade de calor Q à temperatura T é produzida a partir de trabalho, seu valor equivalente é $\frac{Q}{T}$;

Se uma quantidade de calor Q passa de um corpo com temperatura T_1 para um corpo com temperatura T_2 , seu valor equivalente é $\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}$.

Clausius, arbitrariamente, assumiu que nas transformações de trabalho em calor o valor de equivalência era positivo e, conseqüentemente, nas transformações de calor em trabalho, negativo.

Da mesma forma, nas transformações em que o calor passa de um corpo mais quente para um mais frio, o valor de equivalência era positivo, no contrário, negativo.

Até aqui, Clausius está tratando de transformações cíclicas e, usando o princípio de que o calor não flui espontaneamente do mais frio para o mais quente, ele conclui que nos processos reversíveis o valor do equivalente das transformações deve ser "zero", porque as transformações se cancelam, e nos processos irreversíveis a soma dos valores só pode ser positiva, porque as transformações negativas não podem ocorrer sem compensação.

Num artigo de 1862 - *On the application of the theorem of the equivalence of transformations to the internal work of mass of matter* (Sobre a aplicação do teorema da equivalência das transformações ao trabalho interno da massa da matéria) -

Clausius expande seu trabalho para processos não cíclicos e, nesta fase, introduz em seus cálculos um novo conceito, o de desagregação, referindo-se à dispersão dos constituintes das substâncias. Apenas em 1865 propõe o termo entropia substituindo valor de equivalência e enuncia as leis da Termodinâmica da seguinte forma:

1ª Lei: A energia do universo é constante.

2ª Lei: A entropia do universo visa se aproximar de um máximo.

Vamos mostrar agora um exemplo simples para esclarecer um pouco mais sobre o que falamos:

Observe a situação em que uma quantidade de calor Q flui a cada segundo, de uma fonte quente, à temperatura T_Q , para uma fonte fria a uma temperatura T_F . Este é um processo irreversível e, portanto, a variação da entropia do sistema deve ser positiva.

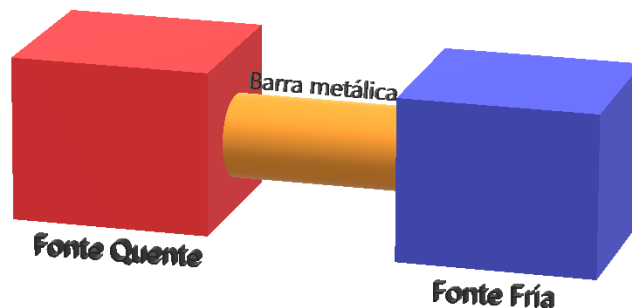


Figura 35 – Calor fluindo de uma fonte quente para uma fonte fria.

A cada segundo, a fonte fria absorve uma quantidade de calor Q e sua entropia aumenta tendo uma variação $+\frac{Q}{T_F}$, enquanto a fonte quente cede a mesma quantidade de calor Q e sua entropia diminui, tendo uma variação $\frac{-Q}{T_Q}$.

A variação de entropia total é então $\Delta S = \frac{+Q}{T_F} - \frac{Q}{T_Q}$. Como T_F é menor que T_Q , o primeiro termo da soma é maior e, portanto, a variação de entropia total é positiva, como esperávamos.

A morte térmica do Universo e o Demônio de Maxwell

O fato de o calor passar do “mais quente” para o “mais frio” espontaneamente, conforme previsto pela 2ª lei da Termodinâmica, levou William Thomson (Lorde Kelvin) a formular, em 1852, uma generalização da desta lei, assumindo que, por causa das trocas de calor, a tendência é o universo chegar a uma situação de equilíbrio térmico, na qual todos os corpos terão a mesma temperatura. Nesta condição, não haverá como produzir trabalho a partir do calor. Será a morte térmica do universo.

James Clerk Maxwell, físico e matemático escocês, em uma carta enviada, em dezembro de 1867, ao físico inglês Peter Guthrie Tait, descreve uma experiência de pensamento com uma possibilidade de evitar o trágico fim previsto por Thomson.

Ele imagina um recipiente contendo um gás em equilíbrio térmico. Neste recipiente há uma divisória central com uma janela controlada por um “porteiro muito inteligente e que tem olhos microscópicos e extremamente rápidos”. O porteiro deixa passar para um dos lados do recipiente apenas as moléculas mais rápidas e para o outro apenas as moléculas mais lentas (pela distribuição de velocidades proposta por Maxwell, em 1860, no gás haverá moléculas com velocidades maiores e menores). Após certo tempo, o gás num dos compartimentos do recipiente terá temperatura maior que o gás no outro compartimento, invertendo o sentido natural do fluxo de calor. Do equilíbrio térmico, passamos para a ter um lado mais quente e outro mais frio.

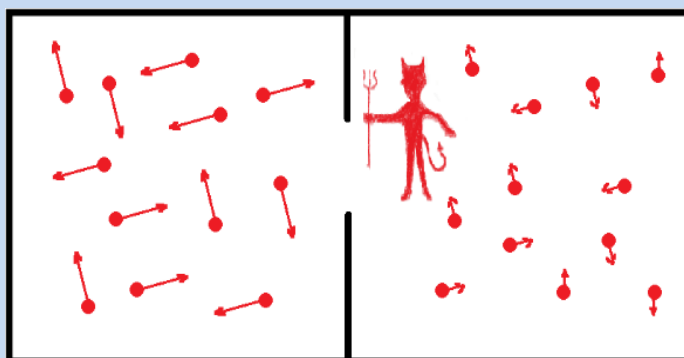


Figura 36 – Representação do experimento de pensamento de Maxwell.

Tait mostrou a carta a Kelvin, que chamou o porteiro proposto por Maxwell de “demônio de Maxwell”. Convém esclarecer que aqui, o termo demônio pertence a uma tradição (daemon) que remonta à Grécia, como um ser dotado de poderes superiores e capaz de ser comunicar com o homem, mas não necessariamente maligno.

Entropia e desordem

Vimos que a entropia aumenta em transformações irreversíveis ainda que, devido à 1ª lei da Termodinâmica, a energia total do sistema e vizinhança se conserve. O que ocorre é uma distribuição mais dispersa da energia.

Tomemos como exemplo novamente a situação na qual temos uma porção de água quente separada de uma porção de água fria e que são misturadas. Podemos pensar que inicialmente tínhamos uma situação mais organizada, com as moléculas de maior energia cinética média (água quente) separadas das moléculas de menor energia cinética média (água fria). Após a mistura, as moléculas trocam energia entre si e perdemos aquela “ordem” inicial. O sistema agora está mais desordenado em termos de energia. A entropia é entendida então como uma medida da dispersão da energia, o que leva à interpretação de que a variação da entropia é um aumento na desordem.

Esta interpretação do aumento da entropia como a mudança de um estado mais ordenado para um estado de maior desordem, uma tendência ao caos, fez com que muitos autores usassem o conceito de entropia em problemas relativos às ciências sociais. Mas que tendência é esta? Vamos ver uma nova ideia agora.

Ludwig Edward Boltzmann, físico austríaco, nasceu em Viena, em 20 de fevereiro de 1844. Estudou na Universidade de Viena e interagiu, e também colaborou, com alguns dos cientistas mais notáveis da época, como Josef Stefan, Robert W. von Bunsen, Gustav Kirchhoff, Leo Königsberger, Josef Loschmidt, Lord Rayleigh, Hendrik A. Lorentz, Wilhelm Ostwald e Hermann L. F. Helmholtz. Coube a Boltzmann apresentar, formalmente, uma interpretação probabilística para a 2ª lei da Termodinâmica.

Em 1866, Boltzmann descreveu um modelo baseado nas leis da mecânica, no qual as partículas de um gás descreviam



Figura 37 - Boltzmann em 1875. Fonte: researchgate.net

movimentos periódicos e formulou uma expressão para a entropia baseada neste modelo, que foi muito criticado. Entre os críticos, estava Clausius. Boltzmann tentou um novo modelo em 1868, também baseado nas leis da mecânica, e percebeu que este não explicava o chamado “paradoxo da reversibilidade”, segundo o qual, as leis da mecânica sendo reversíveis no tempo não poderiam explicar os processos irreversíveis descritos pela entropia.

O paradoxo da reversibilidade

O chamado paradoxo da reversibilidade foi formulado primeiramente por Kelvin em 1874 e depois aparece em 1876 em trabalhos do físico austríaco Josef Loschmidt, amigo de Boltzmann.

O paradoxo consiste no fato de que ao aplicar as Leis da dinâmica de Newton para explicar o comportamento das partículas microscópicas (num gás, por exemplo, utilizando um modelo onde este seria composto de inúmeras pequenas esferas realizando colisões elásticas entre si) seria possível inverter instantaneamente a velocidade das partículas e permitir que o sistema evoluísse “de trás para a frente”, retornando a uma situação inicial (Lembre-se que usamos na seção sobre fenômenos reversíveis e irreversíveis o exemplo do sistema massa-mola no qual não era possível indicar o que vinha antes e o que vinha depois). No entanto, na natureza, os fenômenos macroscópicos apresentam-se como irreversíveis. Desta forma, como as Leis da dinâmica de Newton, que não permitiam distinguir o passado do futuro, poderiam servir de fundamento para uma lei que define o sentido da passagem do tempo, como a 2ª Lei da termodinâmica?

Então, em 1877, Boltzmann publicou o trabalho intitulado *Acerca da relação entre a segunda lei da teoria mecânica do calor e do cálculo de probabilidades com respeito a leis do equilíbrio termodinâmico*, onde introduz um caráter probabilístico em seus estudos. Ele adota uma perspectiva na qual a entropia passa a ser entendida como uma medida da probabilidade da ocorrência de um estado. Vamos usar um exemplo para tentar ilustrar esta ideia.

No exemplo, um recipiente contém dois gases diferentes separados por uma parede que será removida, permitindo a mistura dos gases.

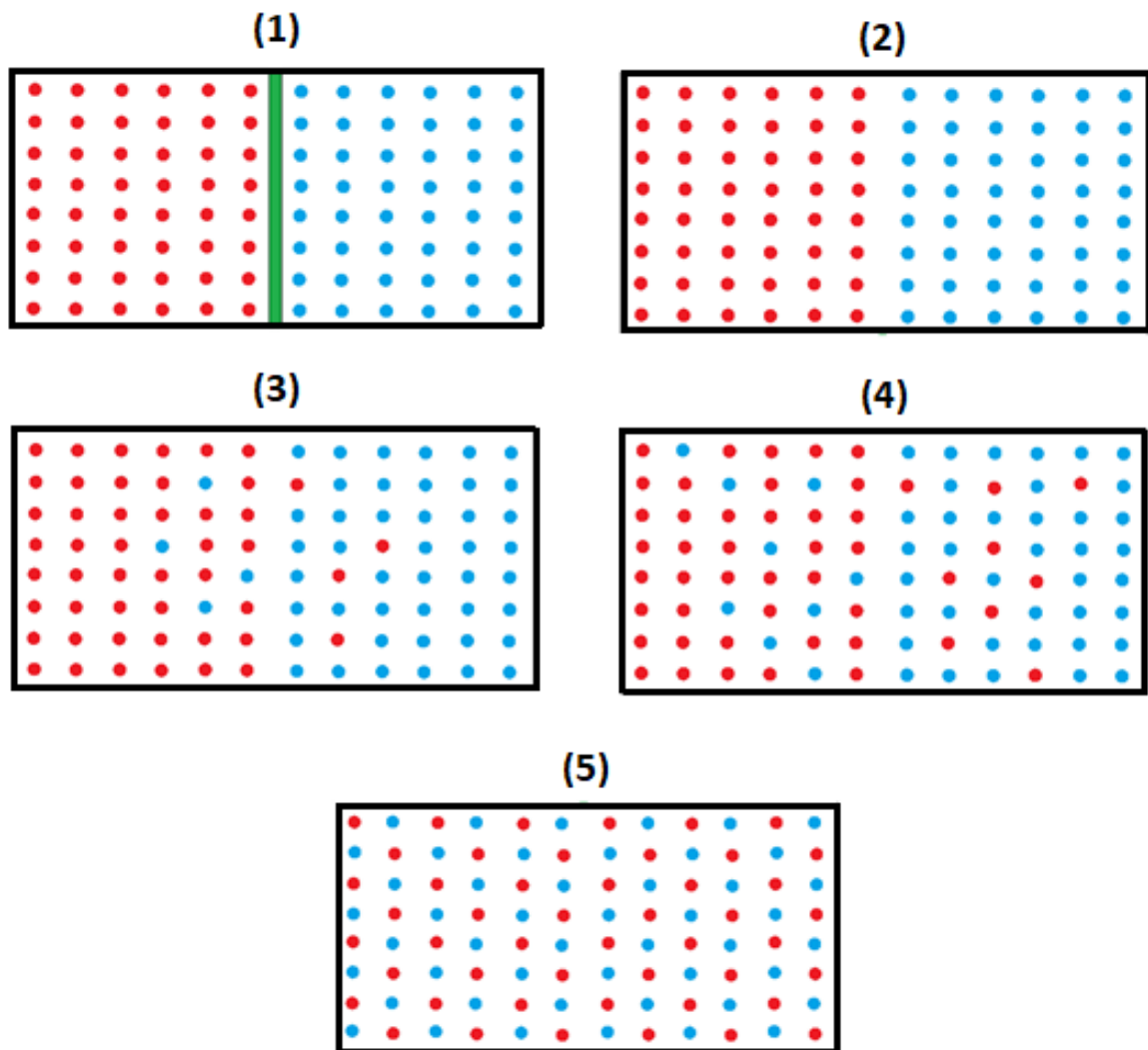


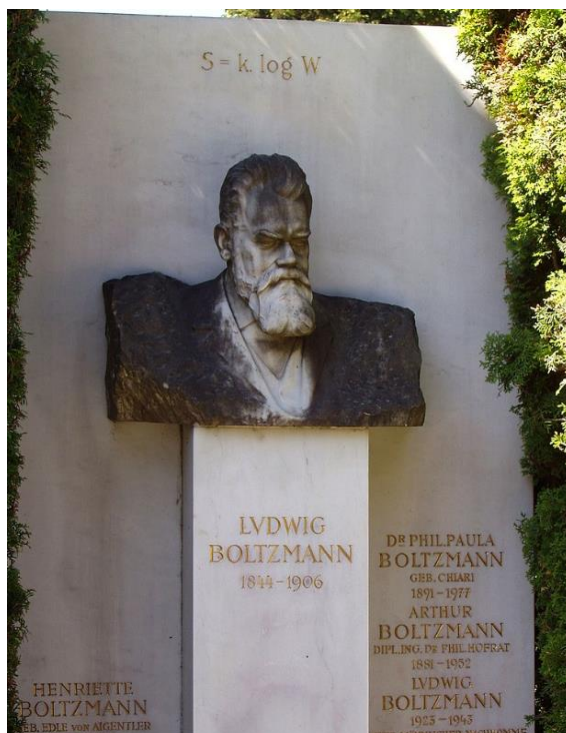
Figura 38 – Expansão de dois gases num recipiente

Em (1) temos dois gases mantidos separados por uma parede removível. Em (2) a parede é removida e os gases poderão se expandir e ocupar todo volume disponível. Como o movimento das moléculas é aleatório, existe a probabilidade de que eles permaneçam separados, mas não é difícil calcular esta probabilidade e ela é muito pequena. Em (3) e (4) temos configurações nas quais os gases estão se misturando e em (5) eles se misturam por todo recipiente. Esta mistura ocorre de forma espontânea e a configuração mostrada em (5), com as moléculas de cada gás ocupando todo o recipiente de forma homogênea, é a de maior probabilidade de ocorrência, bem como é também a de maior entropia, onde há maior dispersão da energia total.

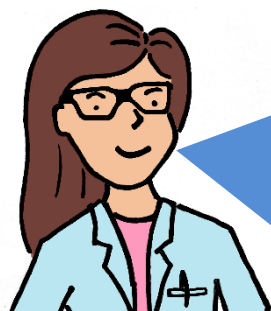
O que ocorre então é que as transformações espontâneas levam para estados de maior probabilidade, que são aqueles com maior dispersão da energia, maior

desordem, maior entropia. Os estados mais ordenados são sempre probabilisticamente menos prováveis, mas não impossíveis.

Filósofos e cientistas que não acreditavam na existência do átomo, como Ernst Mach e Ostwald, Georg F. Helm, criticaram as ideias de Boltzmann. Ele suicidou-se em 1906, talvez por causa da rejeição de suas ideias por cientistas respeitados por ele. Na lápide do túmulo de Boltzmann, em Viena, está gravada a expressão $S = k \log W$ que expressa a relação entre a entropia de um estado (S) e a probabilidade associada ao mesmo (W), onde k é uma constante que leva seu nome.

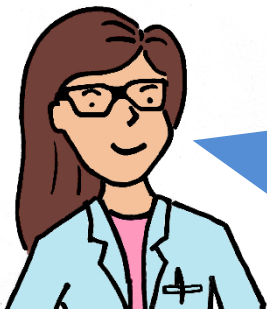


Túmulo de Boltzmann em Zentralfriedhof (Cemitério Central), Viena, Áustria.



Neste último capítulo, ao acompanharmos o desenvolvimento do conceito de entropia, notamos um caráter predominantemente teórico, ao contrário, por exemplo, dos trabalhos desenvolvidos por Rumford e Joule. Isto mostra que há várias formas de se fazer ciência.

As controvérsias neste capítulo mostraram-se com um desenrolar trágico, se consideramos a veracidade de que Boltzmann deixou-se levar pelas críticas, ao ponto de tirar a própria vida.



Vou me despedir agora e espero que tenham gostado da leitura. A História da Ciência é muito rica e aqui foram narrados apenas alguns poucos episódios, mostrando aspectos desta maravilhosa construção humana que é a Ciência

REFERÊNCIAS

- ALVES, A.; OLIVEIRA, L.F. **Conexões com a história**. 2ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 2013.
- ANDREW, J. **Thomas Newcomen (1664–1729) and the first recorded steam engine**. *Transport*. v. 168, p. 570-578, 2015.
- AURANI, K. M. **As ideias iniciais de Clausius sobre entropia e suas possíveis contribuições à formação de professores**. *Revista Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 155-163, jan. / jun. 2018.
- BASSALO, J. M. F.; FARIAS, R. F. **Clausius: pequena história da entropia**. *Revista Brasileira de Ensino de química*, V. 10, n. 02, jul./dez. 2015.
- CAHAN, D. **Helmholtz and the british scientific elite: from force conservation to energy conservation**. *Notes & Records of Royal Society* (2012) 66, p. 55–68.
- CAVALCANTI, H. L. B.; FERREIRA, E. A.; ABRANTES, P.G.; CAVALCANTI, G. N. **As muitas interpretações da entropia e a criação de um material didático para o ensino da interpretação probabilística da entropia**. *Revista Química nova na escola*. v. 40, n. 3, p. 169-177, agosto 2018.
- CIPOLLA, Carlo M. – **História Económica da Europa Pré-Industrial**, Lisboa, Edições 70, s.d. [1974].
- DAHL, P. F. **Ludvig A. Colding and the Conservation of Energy**. *Centaurus 1963: vol. 8: p. 174-188*.
- GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. 1ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2011.
- GOMES, L. C. **A ascensão e queda da teoria do calórico**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 3: p. 1030-1073, 2012.
- JENKINS, R. (1922) **Savery, Newcomen and the Early History of The Steam Engine**, *Transactions of the Newcomen Society*, 3:1, p. 96-118, DOI: 10.1179/tns.1922.009
- KUHN, T. S. **A conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea**. In: KUHN, T. S. (Org.). *A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica*. São Paulo: Unesp, p. 89-126, 2011.
- MARRO, J. **Mi Clasico Favorito**. *Revista Española de Física*. n. 28-1, p. 61-67, Janeiro-março, 2014.
- MARTINS, R. A. **Mayer e a conservação da energia**. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 6, p. 63-84, 1984.
- NUNES, I. B. **Trabalho infantil na revolução industrial inglesa: uma contribuição ao trabalho docente na sétima série**. Curitiba. 2009.

PASSOS, J. C. **Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 3, 3603, 2009.

SPEAR, B. **James Watt: The steam engine and the commercialization of patents.** World Patent Information. V. 30, p. 53–58, 2008.

TAVARES, L.A. **A trajetória que levou ao desenvolvimento da máquina a vapor vista por seus biógrafos e homens de ciências.** 2008. 74f. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.

RAMAN, V. V. **Evolution of the Second Law of Thermodynamics.** Journal of Chemical Education. v. 47, n. 5, 1970.

CIMBLERIS, B. **Carnot e a evolução das máquinas térmicas.** Revista da SBHC, n. 6, p.39-44, 1991.

NÓBREGA, M.L. **Segunda Lei Da Termodinâmica: Os Caminhos Percorridos Por William Thomson.** 2009. 81f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Bahia.

NÓBREGA, M.L.; FREIRE JR., O; PINHO, S.T.R. **Max Planck e os enunciados da segunda lei da termodinâmica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 2, 3601, 2013.

DIAS, P.M.C. **Sadi Carnot: pré-história e histórias.** Revista USP, n.7, p. 61-78, 1990.

WOLFF S. L. **Rudolph Clausius - A pioneer of the modern theory of heat.** Vacuum n. 90, p. 102 - 108, 2013.