

ANTONIO JOSÉ DE ANDRADE FILHO



**A HISTÓRIA DA FÍSICA COMO INSTRUMENTO FACILITADOR DA
APRENDIZAGEM NO ENSINO DE TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO
BÁSICA**

Ji-Paraná, RO
Outubro de 2023

ANTONIO JOSÉ DE ANDRADE FILHO

**A HISTÓRIA DA FÍSICA COMO INSTRUMENTO FACILITADOR DA
APRENDIZAGEM NO ENSINO DE TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO
BÁSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Física da Fundação Universidade Federal de Rondônia como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física, sob orientação do Prof. Dr. Robinson Viana Figueroa Cadillo.

Ji-Paraná, RO
Outubro de 2023

Catalogação da Publicação na Fonte
Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

A554h Andrade Filho, Antonio Jose de.

A História da Física como Instrumento Facilitador da Aprendizagem no Ensino de Termodinâmica na Educação Básica / Antonio Jose de Andrade Filho. - Ji-Paraná, 2023.

72 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Robinson Viana Cadillo.

Monografia (Graduação), Fundação Universidade Federal de Rondônia, Departamento de Física. Campus Ji-Paraná., 2023.

Inclui referências bibliográficas.

1. Ensino de Física. 2. Termodinâmica. 3. História da Física. I. Cadillo, Robinson Viana.
II. Título.

Biblioteca Setorial de Presidente Médici CDU 536.7



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA - JI-PARANÁ
NOME DO ALUNO: ANTONIO JOSÉ DE ANDRADE FILHO

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

Trabalho de Conclusão de Curso: "**A HISTÓRIA DA FÍSICA COMO INSTRUMENTO FACILITADOR DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA**", apresentado e aprovado no dia 13 de outubro de 2023, no Departamento de Física da Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de **Licenciado em Física**, pela Banca Examinadora constituída pelos membros abaixo:

Prof. Dr. Robinson Viana Figueroa Cadillo - DAF/CJP/UNIR
Orientador

Profa. Dr. Ricardo de Souza Costa - DAF/CJP/UNIR

Prof. Dr. Quesle da Silva Martins - DAF/CJP/UNIR



Documento assinado eletronicamente por **QUESLE DA SILVA MARTINS, Docente**, em 13/10/2023, às 20:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ROBINSON VIANA FIGUEROA CADILLO, Docente**, em 07/11/2023, às 13:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO DE SOUSA COSTA, Docente**, em 07/11/2023, às 15:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1517997** e o código CRC **F721CFFF**.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus pela sua presença constante em minha vida me sustentando em todos os momentos, à minha querida mãe Maria pelos ensinamentos que tive e tenho até hoje, à minha querida esposa Osane cujo convívio me dá estabilidade nos momentos mais difíceis, aos meus quatro filhos Antonio, Maíra, Vitor e Marissol que me enchem de orgulho pelo caráter e sensibilidade humana que possuem. Não posso deixar de registrar nesse momento, o meu agradecimento ao professor Wagner, à professora Rafaela e à diretora professora Dinair, pelo pleno apoio que tive durante a realização dos estágios na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Professor José Francisco dos Santos. Por fim, pelos valiosos ensinamentos que tive, agradeço especialmente aos professores Robinson Viana Figueroa Cadillo, João Batista Diniz, Carlos Mergulhão Junior, Marco Polo Moreno de Souza, Walter Trennpohl Junior, Ricardo de Sousa Costa, Queila da Silva Ferreira e ao professor Quesle da Silva Martins.

RESUMO

O ensino de Física na educação básica, por muitas décadas teve como metodologia predominante a memorização de fórmulas matemáticas e repetição mecânica dos conteúdos expostos pelo professor em aula, quase sempre sem nenhuma ênfase aos conceitos e exemplificações do que se vivencia cotidianamente. Tais abordagens, as quais são denominadas aulas tradicionais, podem ter conduzido, por muitas décadas, à desmotivação da maioria dos alunos não apenas durante as aulas, como também deve ter levado ao desinteresse pelo prosseguimento dos estudos relacionados às ciências da natureza. Para que esse quadro de desmotivação e desestímulo dos alunos seja superado, dentre outras estratégias, alguns autores aqui citados, consideram essencial que os contextos histórico e social sejam conectados aos temas abordados, de modo que as aulas deixem de ser entediantes, desprovidas de sentido e que possam adquirir vínculos ao que se vivencia cotidianamente. Felizmente alguns professores estão mudando suas concepções e implementando novas estratégias que possam proporcionar aos alunos maior interesse pelos temas abordados em sala de aula. Nesse sentido, o presente trabalho propõe, com base em pesquisa bibliográfica, alternativa de se utilizar a história da física como ferramenta pedagógica de modo que auxilie no ensino de termodinâmica para estudantes do segundo ano do ensino médio. Espera-se que a aglutinação de pontos de vista de diversos autores sobre a inserção de história da física na educação básica possa contribuir como mais uma ferramenta a ser adotada pelos professores de Física na busca por melhores resultados no processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino de Física; Termodinâmica; História da Física.

ABSTRACT

The teaching of Physics in basic education, for many decades, had as its predominant methodology the memorization of mathematical formulas and mechanical repetition of the contents exposed by the teacher in class, almost always without any emphasis on the concepts and exemplifications of what is experienced on a daily basis. Such approaches, which are called traditional classes, may have led, for many decades, to the lack of motivation of the majority of students not only during classes, but also may have led to a lack of interest in pursuing studies related to natural sciences. In order for this situation of student demotivation and discouragement to be overcome, among other strategies, some authors cited here consider it essential that the historical and social contexts are connected to the topics covered, so that classes stop being boring, devoid of meaning and that can acquire links to what is experienced on a daily basis. Fortunately, some teachers are changing their conceptions and implementing new strategies that can provide students with greater interest in the topics covered in the classroom. In this sense, the present work proposes, based on bibliographical research, an alternative to using the history of physics as a pedagogical tool in order to assist in teaching thermodynamics to second-year high school students. It is expected that the aggregation of points of view from different authors on the inclusion of the history of physics in basic education can contribute as another tool to be adopted by Physics teachers in the search for better results in the teaching and learning process.

Keywords: Physics Teaching; Thermodynamics; History of Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 3.1 Representação esquemática de um recipiente com moléculas de gás.....	33
Figura 3.1 Representação esquemática de um corpo negro.....	37
Figura 4.1 Representação esquemática de um termoscópio.....	41
Figura 4.2 Representação esquemática de um termômetro linear com líquido.....	42
Figura 4.3 Representação esquemática de um termômetro digital.....	43
Figura 4.4 Representação esquemática de um termômetro com sensor de radiação.....	44
Figura 4.5 Representação esquemática de um termômetro captando radiação.....	45
Figura 4.6 Representação esquemática de um calorímetro.....	49
Figura 5.1 Resolução de exercícios relacionadas à história da Física.....	56
Figura 5.2 Instrumentos necessários para a realização das atividades.....	62
Figura 5.3 Esquema de troca de calor entre dois sistemas no interior do calorímetro.....	62
Figura 5.4 Esquema experimental para determinar o calor específico de um metal.....	63
Figura 5.5 Representação esquemática de um termômetro com coluna líquida.....	65
Figura 5.6 Representação esquemática do conjunto tampa-canudo.....	67
Figura 5.7 Representação esquemática do termômetro completo.....	67

GRÁFICOS

Gráfico 3.1	Curvas representativas da temperatura em função da pressão.....	24
Gráfico 3.2	Proporcionalidade entre temperatura e pressão extrapolando para 0 K.....	25
Gráfico 3.3	Linearidade entre temperatura e pressão na obtenção da constante universal...	28
Gráfico 3.4	Curvas isotérmicas na representação da pressão em função do volume.....	29
Gráfico 3.5	Potência irradiada por um corpo negro em função do comprimento de onda.....	38
Gráfico 5.1	Avanços na ciência e a redução das incertezas.....	58

TABELA

Tabela 5.1 Calor específico de alguns materiais.....	59
Tabela 5.2 Condutividade térmica de materiais à 25 °C.....	65

QUADROS

5.1 Planejamento didático proposto.....	51
5.2 Plano de aula 01.....	52
5.3 Plano de aula 02.....	52
5.4 Plano de aula 03.....	52
5.5 Plano de aula 04.....	53
5.6 Plano de aula 05.....	53
5.7 Plano de aula 06.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 ABORDAGENS DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA EM AULAS DE FÍSICA.....	14
2.2 TEORIAS DE ENSINO RELACIONADAS	16
2.2.1 Aprendizagem significativa	16
2.2.2 Aprendizagem por interação social	18
2.2.3 Aprendizagem significativa crítica.....	19
3 CONCEITOS DA FÍSICA TERMODINÂMICA	24
3.1 TEMPERATURA	24
3.2 LEI DOS GASES IDEAIS.....	27
3.3 TEORIA CINÉTICA DOS GASES	30
3.4 CAPACIDADE TÉRMICA	33
3.5 CALOR LATENTE.....	34
3.5 DILATAÇÃO TÉRMICA.....	35
3.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	36
4 HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA	40
5. PROPOSTA DIDÁTICA	51
5.1 HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA NA RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS	55
5.2 RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIO DE UMA AULA DE TERMODINÂMICA.....	55
5.3 ABORDAGEM DE EXERCÍCIO DE FORMA HISTÓRICA.....	57
5.4 ATIVIDADE EXPERIMENTAL E A HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA	59
5.4.1 Teoria de Calorimetria.....	59
5.4.2 Procedimentos experimentais de calorimetria	61
5.4.3 Teoria sobre termometria	64
5.4.4 Atividade experimental de termometria.....	67
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS	70

INTRODUÇÃO

O baixo desempenho dos estudantes do Ensino Médio egressos de escolas públicas, o qual pode ser constatado a partir de estratificação das informações daqueles que participaram do Exame Nacional do Ensino Médio no período de 2009 a 2017, evidencia a necessidade de se implementar ações que conduzam a melhorias no processo de ensino e aprendizagem. De acordo com Marcom (2021): “Com relação ao desempenho observamos que aproximadamente 70% dos itens de Física são considerados difíceis para os candidatos”.

Ao analisar os resultados do ENEM obtidos pelos estudantes concluintes do Ensino Médio nas edições de 2009 a 2014, Carlos (2016) enfatiza que: “Esse estudo revelou um baixo desempenho em Física dos estudantes que estão concluindo o Ensino Médio no Brasil [...]”.

As buscas por novas estratégias que conduzam a melhores resultados no Ensino de Física são permanentes, podendo estar relacionadas à adoção de novas metodologias de ensino, bem como à forma de abordagem dos objetos do conhecimento pertencentes à Matriz de Referência de Ciências da Natureza, de modo que o processo de ensino e aprendizagem possa ocorrer com mais eficiência. Nesse sentido, com base em uma revisão bibliográfica, o presente trabalho propõe a utilização do conhecimento da história da física como instrumento facilitador em aulas de termodinâmica para alunos do Ensino Médio. Acredita-se que seja de fundamental importância que o professor como uma das molas propulsoras da transmissão do conhecimento, possa avaliar a viabilidade de aplicação dessa estratégia e, quem sabe, utilizá-la em sala de aula.

Para melhor organização, os assuntos aqui tratados foram distribuídos em capítulos da seguinte forma: no capítulo 2, faz-se uma revisão da literatura com menções a pontos de vista sobre algumas teorias de aprendizagem e sobre a importância da utilização da história da física em aulas relacionadas às ciências da natureza; no capítulo 3 procura-se dar maior consistência aos conceitos da física termodinâmica direcionados à proposta didática; uma descrição sintética, é feita no capítulo 4, com respeito a evolução dos conceitos de calor e temperatura ao longo de mais de dezoito séculos, para que, enfim, a termodinâmica pudesse se desenvolver em ritmo mais acelerado, abrindo caminho para o surgimento de novos ramos como

a termologia, calorimetria, além da física quântica. Sobre a evolução da termodinâmica, Einstein e Infeld (1980) comentam que o rápido progresso ocorreu após o esclarecimento de que temperatura e calor possuem conceitos fundamentais e distintos. No Capítulo 5, intitulado Proposta Didática, apresenta-se o planejamento didático que poderá ser utilizado, como referência ou integralmente, pelo professor de Física. Por fim, no capítulo 6 são tecidas as considerações finais sobre o trabalho ora proposto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresenta-se alguns tópicos considerados relevantes por alguns especialistas que manifestam seus posicionamentos em relação a utilização da história da física na educação básica. Aqui, também são abordadas as teorias de aprendizagem que melhor se alinham ao trabalho proposto.

2.1 ABORDAGENS DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA EM AULAS DE FÍSICA

O contato espontâneo com um novo mundo de conhecimento e descobertas, em muitos casos pode possivelmente motivar alguns estudantes a ponto de despertar interesse pela busca de novos conhecimentos. Interesse esse, que em muitos casos também são despertados em professores à medida em que passam a olhar não apenas para a parte técnica do ensino, constituída por inúmeras equações acompanhadas por suas resoluções, além da busca exaustiva pelas interpretações certas de conceitos complexos e entendimento de novos modelos. Olhar não apenas para a parte técnica, e sim para o todo, implica olhar para a história da ciência. Pagliarini (2007).

No que se refere à formação científica do cidadão, o autor aqui citado, considera que:

Uma formação mais sólida que dê conta de uma real e verdadeira alfabetização científica para os cidadãos em suas diversas atividades da vida social, econômica, política e profissional, que nos tempos modernos certamente necessitam de algum saber científico, se faz estritamente necessária e várias são as pesquisas nesse sentido. (PAGLIARINI, 2007).

Ao comentar a importância do livro didático, Pagliarini (2007, apud RUSSEL, 1981) o considera por si só potencialmente influente, todavia, ressalta que para o benefício dos diversos alunos que, em sua maioria, não serão cientistas, a história da ciência a ser ensinada não deve conter distorções para se adequar à lógica do livro didático. Ao invés disso, na visão do autor, o livro didático deve conter a transposição adequada do conhecimento histórico aceito atualmente.

Acredita-se que uma boa alternativa na busca por melhores performances no ensino, seja a inserção de história da física vinculada ao conteúdo a ser trabalhado em sala de aula. Nesse sentido Moreira (1999) afirma que:

Na abordagem inovadora do currículo, caracterizada pela formação de unidades temáticas e conceituais mais amplas, o discurso “aprofundado” de um quadro conceitual e o enquadramento orgânico da dimensão cultural da ciência nas várias unidades temáticas, a introdução de elementos da história da ciência pode assumir várias formas. Uma delas é a introdução de elementos da história da ciência como um princípio estrutural do currículo. O exemplo mais representativo disso foi a introdução em larga escala de elementos da história da ciência que estavam ligadas não apenas a uma tentativa de criar uma postura positiva em relação à ciência, mas também a melhorar a dimensão cultural do conhecimento científico, por exemplo, aspectos do conhecimento científico relacionados ao contexto social de ciências, através de uma mudança na filosofia do currículo de ciências (MOREIRA, 1999).

Ao se estudar a trajetória descrita pelo desenvolvimento das ciências, verifica-se, como estratégia, a utilização de modelos que visam facilitar o entendimento de fenômenos naturais. Uma vez elaborados, muitos modelos precisam ser aprimorados, ou, até mesmo descartados. Proporcionar ao estudante uma visão da forma como a ciência é construída, poderá mudar suas concepções ao perceber que o desenvolvimento científico não acontece de maneira certinha, como se alguém tivesse planejado tudo perfeitamente e de uma única vez.

A história das ciências demonstra que os modelos elaborados para explicar fenômenos naturais, via de regra necessitam de aperfeiçoamento à medida em que há o aprofundamento das pesquisas. Há casos em que mais de um modelo pode ser aceito cientificamente para explicar determinado fenômeno. (KALYFOMMATOU; .CONSTANTINOU, 2005).

Do ponto de vista de Vannucchi (1996), há uma inestimável contribuição da História e Filosofia da Ciência, para o ensino e aprendizagem da Ciência. Nesse sentido, são apresentados alguns aspectos:

(vi) A História e Filosofia da Ciência podem contribuir para melhor compreensão do conteúdo específico, ajudando a superar o “mar sem-sentidos” constituído de fórmulas e equações que os estudantes repetem sem compreender o significado.

A História e Filosofia da Ciência podem introduzir os estudantes ao método de investigação científica, em contraposição à definição positivista de “método científico” presente em livros didáticos. Assim, tem-se oportunidade de abordar tópicos como: a variedade de interpretações racionais e plausíveis que podem ser apresentadas para um mesmo conjunto de dados, a distinção clássica entre equações matemáticas, modelos e sua interpretação física etc. Vannucci (1996, apud MATHEWS).

A inserção da história e filosofia da ciência proporciona o entendimento do processo de desenvolvimento científico Vannucchi (1996).

De acordo com Silva (2021), o Ensino de Física não deve ser descontextualizado, pois torna muito mais difícil a aprendizagem. Nesse sentido o autor considera que a história da física fornece elos de ligação para os alunos, permitindo, dessa maneira, a contextualização com os assuntos estudados. Outra vantagem auferida, refere-se à utilização da história da física como instrumento que pode levar à compreensão da forma como os pesquisadores pensavam e como a sociedade de cada época interferia na ciência.

2.2 TEORIAS DE ENSINO RELACIONADAS

A presente seção resume as teorias de aprendizagem que foram elaboradas por David Ausubel, Lev Vygotsky e Marco Antonio Moreira, as quais preconizam que a aprendizagem deve ser respectivamente significativa, por interação social e significativa crítica.

Consideradas como cognitivas, as referidas teorias se contrapõem ao ensino que tem como foco principal a aprendizagem por repetição e memorização, acreditando que para que ocorra aprendizagem, basta que o aluno responda aos questionamentos com as respostas esperadas. Tendo o professor como a única e verdadeira fonte do conhecimento e o aluno como mero receptor, a prática behaviorista ainda prevalece em aulas do ensino médio, onde o professor planeja as aulas sem levar em conta as particularidades dos alunos tais como, domínio de conhecimento prévio e ritmo de aprendizagem.

2.2.1 Aprendizagem significativa

A teoria que foi elaborada por David Ausubel, tem como conceito central a aprendizagem significativa, na qual o processo ensino-aprendizagem é centrado no aluno, cabendo ao professor atuar como mediador no processo de transmissão do conhecimento. Para que isso aconteça, o professor deve procurar conhecer o que o estudante traz consigo em termos de conhecimentos adquiridos anteriormente, de maneira que possam contribuir à elaboração de estratégias que conduzam à aprendizagem significativa.

Interpretando a teoria ausubeliana, Moreira (2019 p.161) descreve os detalhes da forma como um novo conhecimento é alcançado na estrutura cognitiva do aprendiz:

“Para Ausubel, a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como *conceito subsunçor*, ou simplesmente *subsunçor*, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em *conceitos ou proposições relevantes*, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. *Estrutura cognitiva* significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo”. (MOREIRA, 2019, grifo do autor).

A utilização de organizadores prévios como ferramenta que sirva de âncora para nova aprendizagem é uma recomendação de Ausubel. Organizadores prévios são materiais que podem ser utilizados antes da introdução do conceito a ser aprendido. Esses materiais podem ser em forma de texto, em vídeo ou uma discussão sobre o assunto. Normalmente, os organizadores prévios possuem um nível mais alto de abstração em comparação ao que se pretende ensinar. Devem atuar como elo entre o que já existe na estrutura cognitiva do aprendiz e o que ele deve aprender de forma significativa. Nesse sentido, acredita-se que a utilização da história da física como organizador prévio vinculada ao conteúdo, proporcionará maior motivação aos alunos pois eles passarão a entender a Física, não como uma disciplina composta de fórmulas desconectadas da realidade e aparentemente sem sentido.

Para Moreira (2019, p.170), do processo instrucional segundo uma abordagem ausubeliana, pode-se inferir que o professor, como facilitador na busca por uma aprendizagem significativa, deve ter quatro tarefas fundamentais:

“1. Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, isto é, identificar os conceitos e princípios unificadores, inclusivos, com maior poder explanatório e propriedades integradoras, e organizá-los hierarquicamente de modo que, progressivamente, abranjam os menos inclusivos até chegar aos exemplos e dados específicos.

2. Identificar quais os subsunçores (conceitos, proposições, ideias claras, precisas, estáveis) relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado, que o aluno deveria ter em sua estrutura cognitiva para poder aprender significativamente este conteúdo.
3. Diagnosticar aquilo que o aluno já sabe; determinar dentre os subsunçores especificamente relevantes (previamente identificados ao “mapear” e organizar a matéria de ensino), quais os que estão disponíveis na estrutura cognitiva do aluno.
4. Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa. A tarefa do professor aqui é a de auxiliar o aluno a assimilar a estrutura da matéria de ensino e organizar sua própria estrutura cognitiva nessa área de conhecimentos, por meio de aquisição de significados claros, estáveis e transferíveis. É óbvio que, para isso, deve levar em conta não só a estrutura conceitual da matéria de ensino, mas também a estrutura cognitiva do aluno no início da instrução e tomar providências adequadas (por exemplo, usando organizadores, ou “instruções-remédio”), se ela não for adequada”. (MOREIRA, 2019).

Dentre as tarefas atribuídas por Moreira ao professor no texto supracitado, pode-se dar especial destaque àquela na qual o professor deve ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual. Dessa maneira, considera-se que, a utilização de história da ciência vinculada ao conteúdo a ser trabalhado em aulas de Física, poderá tornar as aulas mais interessantes e por conseguinte mais ricas em significado para o aluno.

2.2.2 Aprendizagem por interação social

De acordo com Vygotsky, a internalização de instrumentos e signos conduz à aprendizagem, contudo, essa condição somente poderá ser alcançada se houver interação social. Além disso, segundo Vygotsky, outro pré-requisito para que ocorra aprendizagem, é que os instrumentos e signos disponíveis na interação social estejam situados na zona de desenvolvimento proximal, a qual é delimitada pelo que o aprendiz é capaz de fazer por si só e aquilo que ele pode executar com a ajuda de outra pessoa.

Em seu livro Moreira (2019 apud VYGOTSKY, 1998, P.97) comenta:

Mais formalmente, a zona de desenvolvimento proximal é definida por Vygotsky como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, tal como medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, tal como medido por meio da solução de problemas sob

orientação (de um adulto, no caso de uma criança) ou em colaboração com companheiros mais capazes. (VYGOTSKY, 1998, p. 97).

Sobre a zona de desenvolvimento proximal entende-se que: nela encontram-se as funções que ainda estão em fase de amadurecimento; serve para mensurar a perspectiva de aprendizagem; é a região onde ocorre o desenvolvimento cognitivo, ou seja, a aprendizagem; pelo seu dinamismo, está se alterando constantemente.

A zona de desenvolvimento proximal é delimitada pelo conhecimento que o aprendiz já domina (limite inferior) e pelo que ele tem potencial para aprender (limite superior) de acordo com o convívio social. Dessa maneira, é natural que ao adotar abordagem sobre história da física, efetivamente vinculada ao conteúdo a ser abordado em aula, o professor estimulará a ampliação da zona de desenvolvimento proximal. Em corroboração com os comentários anteriores, Driscoll afirma:

A interação social que provoca a aprendizagem deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal; mas, ao mesmo tempo, tem um papel importante na determinação dos limites dessa zona. O limite inferior é, por definição, fixado pelo nível real de desenvolvimento do aprendiz. O superior é determinado por processos instrucionais que podem ocorrer no brincar, no ensino formal ou informal, no trabalho. Independentemente do contexto, o importante é a interação social". (DRISCOLL, 1995, p.233).

Não resta dúvida que a construção científica é fruto da interação social de cada época ao longo da história. Gaspar (1997) considera que as contribuições mais relevantes fornecidas por Vygotsky foram: a linguagem que edifica o pensamento; o desenvolvimento depende da aprendizagem; a importância da imitação no processo cognitivo básico e a interação social como elemento promotor da aprendizagem.

Para Gaspar, a natureza histórica, social e cultural da formação da mente humana, transcende às contribuições citadas.

2.2.3 Aprendizagem significativa crítica

Além de disponibilizar na literatura inúmeras contribuições para o aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem, Moreira (2019 p. 223) descreve sinteticamente as principais características e princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica por ele desenvolvida. De acordo com referido autor:

É pela aprendizagem significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias. É por meio dessa aprendizagem que ele poderá lidar construtivamente com mudança sem deixar-se dominar por ela, manejar a informação sem sentir-se impotente frente a sua grande disponibilidade e velocidade de fluxo, usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo. Por intermédio dela, poderá trabalhar com a incerteza, a relatividade, a não causalidade, a probabilidade, a não dicotomização das diferenças, com ideia de que o conhecimento é construção (ou invenção) nossa, que apenas representamos o mundo e nunca o captamos diretamente. (MOREIRA 2019 p. 223).

Ter acesso a história das ciências da maneira como ela foi realmente construída, permitirá ao aluno desenvolver o exercício crítico que conduz ao entendimento de que: teorias, conceitos, leis ou modelos, são elaborados não de maneira perfeita, ao contrário, são frutos de erros e acertos de pessoas que se dispuseram conhecer melhor os fenômenos da natureza. Acredita-se que o desenvolvimento dessa consciência crítica, está em sintonia com o que Moreira (2019) estabelece para que haja aprendizagem significativa crítica.

Tendo como referência as propostas de Postman e Weingartner, para facilitar a aprendizagem significativa crítica, Moreira (2019, p.227) enuncia os princípios descritos a seguir, os quais considera ser de aplicação viável em sala de aula. Em sintonia com o ponto de vista de Vygotsky, considera essencial a interação social juntamente com o questionamento. Outro princípio citado pelo autor é o da não centralidade do livro didático, em favor da diversidade de materiais instrucionais. Nesse caso, pressupõe-se que a utilização da história da física seja recomendada.

Moreira (2019 p. 230) estabelece o princípio do aprendiz como perceptor/apresentador, no qual o autor comenta que a discussão sobre a recepção é inócua, o importante é a percepção. Acredita-se que ao ter contato com a história da física, por meio de fontes confiáveis, o aprendiz aguçará a sua percepção.

[...] o perceptor decide como representar em sua mente um objeto ou um estado de coisas do mundo e toma essa decisão baseado naquilo que sua experiência passada (*i. e.*, percepções anteriores) sugere que irá “funcionar” para ele. (MOREIRA, 2019 p. 230).

O conhecimento como linguagem é considerado fator crucial para que haja aprendizagem significativa crítica. Ora, se o domínio da linguagem é condição necessária para que se aprenda criticamente, é razoável que se considere a história

das ciências um rico manancial de informações que certamente contribuirá para a aquisição de conhecimento.

Aprendê-la de maneira crítica é perceber essa nova linguagem como uma nova maneira de perceber o mundo. O ensino deve buscar a facilitação dessa linguagem e, aí, entra em cena o *princípio da interação social e do questionamento*: a aprendizagem da nova linguagem é mediada pelo intercâmbio de significados, pela clarificação de significados, enfim, pela negociação de significados que é feita por meio da linguagem humana. (MOREIRA, 2019 p. 230, grifo do autor).

A aquisição de consciência semântica por parte do aprendiz, de acordo com Moreira (2019 p. 234), é fundamental para que se tenha aprendizagem significativa e crítica pois, segundo o autor, dessa maneira o aprendiz:

[...] não cairá na armadilha da causalidade simples, não acreditará que as respostas têm que ser necessariamente certas ou erradas, ou que as decisões são sempre do tipo sim ou não. ao contrário, o indivíduo que aprendeu significativamente dessa maneira, pensará em escolhas ao invés de decisões dicotômicas, em complexidade de causas ao invés de super simplificações, em graus de certeza ao invés de certo ou errado. (MOREIRA, 2019 p. 234).

De acordo com Moreira (2019), as palavras usadas para nomear algo, tendem a fixar as coisas como se fossem uma fotografia. Por outro lado, o significado das palavras tende a sofrer alteração ao longo do tempo, pois o mundo muda constantemente, fato que pode dificultar uma aprendizagem significativa crítica, caso não exista consciência semântica. Portanto, acredita-se que, para mitigar a dificuldade de aprendizagem, uma das formas mais fáceis de se adquirir consciência semântica, seja por meio do conhecimento da história das ciências.

Ao abordar a aprendizagem pelo erro, Moreira (2019 p. 235) deixa claro que o erro faz parte da natureza humana e que, o homem aprende corrigindo seus erros.

A história das ciências aplicada em aulas de Física, poderá desmascarar o mito de que a trajetória da evolução científica é traçada de forma perfeitamente linear, sem erros, incertezas, retrocessos ou quaisquer percalços no caminho.

Moreira (2019 p. 235) afirma que errado é pensar que a certeza existe, que a verdade é absoluta, que o conhecimento é permanente.

Com referência à escola, o referido autor escreve:

A escola, no entanto, pune o erro e busca promover a aprendizagem de fatos, leis, conceitos, teorias, como verdades duradouras. (Professores e livros de texto ajudam muito nessa tarefa). Parece *non-sens*, mas a escola simplesmente ignora o erro como mecanismo humano, por excelência, para construir o conhecimento. Para ela, ocupar-se dos erros daqueles pensavam ter descoberto fatos importantes e verdades duradouras é perda de tempo. Ao fazer isso, ela dá ao aluno a ideia de que o conhecimento que é correto, ou definitivo, é o conhecimento que se tem hoje no mundo real, quando na verdade, ele é provisório, ou seja, errado. (MOREIRA, 2019 p. 235).

Segundo Moreira (2019), em alguns casos, a desaprendizagem é importante para que haja aprendizagem significativa crítica, conforme explicação contida no fragmento de texto que foi extraído do livro intitulado Teorias de Aprendizagem:

Para aprender de maneira significativa, é fundamental que se perceba a relação entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento. Porém, na medida em que o conhecimento prévio impede de captar os significados do novo conhecimento, se está diante de um caso no qual é necessária uma desaprendizagem. (MOREIRA, 2019 p. 236).

Preocupado com a interpretação errônea que possa ser dada ao significado da palavra desaprendizagem, o autor explica na sequência:

Desaprender está sendo usado aqui com o significado de não usar o conhecimento prévio (subsunçor) que impede que o sujeito capte os significados compartilhados a respeito do novo conhecimento. Não se trata de “apagar” algum conhecimento já existente na estrutura cognitiva o que, aliás, é impossível se a aprendizagem foi significativa, mas sim de não usá-lo como subsunçor. (MOREIRA, 2019 p. 236, grifo do autor).

Partindo do princípio de que o conhecimento humano é uma construção do homem, Moreira (2019, p. 237) comenta que, dependendo de como é construído o conhecimento, este pode estar errado. Por esse motivo deve-se admitir a existência de incerteza do conhecimento adquirido.

Por fim, Moreira (2019, p. 239) aborda o princípio da não utilização do quadro de giz. Da participação ativa do aluno. Da diversidade de estratégias de ensino.

Assim como a ideia que está por trás do princípio da não centralidade no livro de texto é a da diversidade de materiais educativos a que subjaz ao princípio da não utilização do quadro de giz é a da diversidade de estratégias instrucionais. O uso de distintas estratégias instrucionais que impliquem participação ativa do estudante e, de fato, promovam um ensino centralizado no aluno é fundamental para facilitar a aprendizagem significativa crítica.

Não é preciso buscar estratégias sofisticadas. A não utilização do quadro de giz leva naturalmente a uso de atividades colaborativas, seminários, projetos, pesquisas, discussões, painéis, enfim, a diversas estratégias [...]. (MOREIRA, 2019 p. 239).

Como alternativa à não utilização de quadro de giz, recomenda-se que, em aulas de termodinâmica para o ensino médio, sejam inseridos tópicos de história da física vinculados ao conteúdo a ser trabalhado. Em sintonia com o que preconiza Moreira em sua teoria de aprendizagem, no Capítulo 5, descreve-se com mais detalhes outras ferramentas pedagógicas que poderão ser utilizadas pelo professor, para que as aulas se tornem mais dinâmicas e motivadoras para os alunos.

3 CONCEITOS DA FÍSICA TERMODINÂMICA

Considerado um dos principais ramos da física, a termodinâmica está fortemente presente no convívio humano desde os primórdios até os tempos atuais. Inicialmente apenas se percebia que havia diferença entre o frio e o quente. Levou muito tempo para que os conceitos fundamentais relacionados à temperatura e calor pudessem ser entendidos satisfatoriamente. Nos tempos modernos, o conhecimento das medidas de temperatura cada vez mais precisas, juntamente com o surgimento de novas tecnologias, possibilitou a conservação de alimentos e medicamentos, a climatização de ambientes, um controle de superaquecimento de máquinas, e assim por diante.

3.1 TEMPERATURA

Considerado um dos conceitos fundamentais da termodinâmica, a temperatura é uma das sete grandezas básicas do Sistema Internacional de Unidades (SI). A partir da sua compreensão, a termodinâmica pôde se desenvolver mais rapidamente.

Diz-se que dois corpos em contato estão em equilíbrio térmico, se não houver transferência de calor entre eles. Nesse caso, pode-se afirmar que os corpos possuem a mesma temperatura. A lei zero da termodinâmica é definida da seguinte maneira: se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então os três corpos estão em equilíbrio térmico entre si.

Principais escalas termométricas

A escala Celsius tem como referências o ponto de gelo e o ponto de ebulição da água, os quais correspondem às respectivas temperaturas $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $t_{100} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Essa escala tem como unidade de medida o grau Celsius, que é simbolicamente representada por $^{\circ}\text{C}$. Uma desvantagem da escala Celsius é que ela depende da propriedade do material empregado. Estando calibrada essa escala com base nos valores de referência, para se obter um certo valor de temperatura t_C , basta resolver a equação seguinte:

$$t_C = \frac{L_F - L_0}{L_{100} - L_0} * 100^{\circ} \dots \dots \dots (1)$$

em que L_0 e L_{100} correspondem respectivamente aos comprimentos das colunas de líquido no ponto de gelo e no ponto de ebulição. L_F corresponde ao comprimento da coluna de líquido no ponto a ser medido.

A escala Fahrenheit, tem como unidade de medida o grau Fahrenheit, que é representada por $^{\circ}F$. Nessa escala, as temperaturas do ponto de gelo e do ponto de ebulição da água, são respectivamente $32^{\circ}F$ e $212^{\circ}F$. A equação utilizada para se converter os valores de temperatura da escala Fahrenheit (t_F) para a escala Celsius (t_C) e vice-versa, é :

$$\frac{t_C}{5} = \frac{(t_F - 32)}{9} \dots\dots\dots(2)$$

Termômetros que utilizam substâncias líquidas e que são calibrados tendo como referência o ponto de gelo e o ponto de vapor, apresentam pequenas diferenças de leitura no intervalo compreendido entre os pontos de calibração. No entanto, para medidas inferiores ao ponto de gelo e acima do ponto de vapor, as leituras são bem diferentes. O mesmo não ocorre se o termômetro que utiliza gás a volume constante, pois os valores medidos são muito precisos, mesmo estando distante dos pontos de calibração. Os termômetros de gás a volume constante devem comportar pequenas massas de gás, de modo que se tenha massa específica próxima a zero. Para ilustrar, convém que se analise o gráfico seguinte.

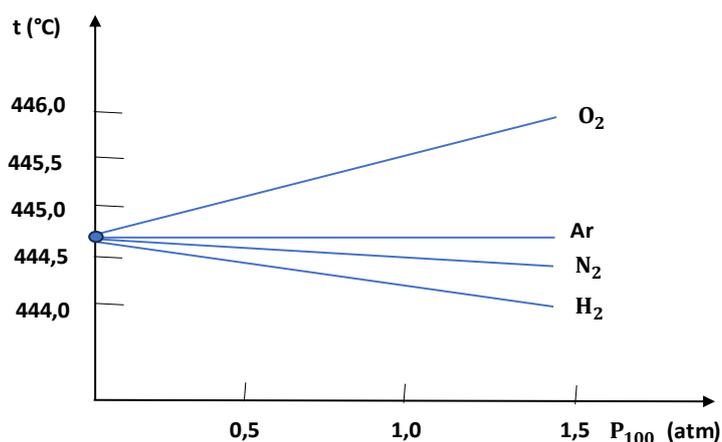


Gráfico 3.1 Medidas de temperatura verificadas em quatro termômetros de gás a volume constante, variando linearmente e convergindo para uma única medida quando se reduz as massas específicas e por conseguinte a pressão. Fonte: adaptado de Tipler (2009, Vol. 1).

O gráfico acima, representa as medidas de temperatura de quatro tipos de termômetro de gás a volume constante. Verifica-se que quanto menor for a pressão no ponto de vapor, mais as medidas de temperatura se aproximam de um único valor. Portanto, para que haja a mesma medida nos quatro termômetros, é necessária que as massas dos gases sejam reduzidas a valores próximos a zero.

Para termômetros de gás a volume constante que têm como referências os pontos de gelo e de vapor a temperatura resultante de uma medição pode ser obtida pela equação seguinte:

$$t_C = \frac{P_F - P_0}{P_{100} - P_0} * 100 \text{ } ^\circ\text{C} \dots\dots\dots(3)$$

Sendo P_F a pressão do gás no momento da medição, P_0 a pressão correspondente a $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ e P_{100} a pressão correspondente ao ponto de vapor.

A escala Kelvin é a mais utilizada no meio científico, a qual tem como unidade de medida o Kelvin (K). Essa escala tem como referência o ponto triplo da água que corresponde a $273,16 \text{ K}$, à pressão de $4,58 \text{ mm Hg}$. Na escala Celsius, o valor de temperatura do ponto triplo da água é $0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$. O gráfico seguinte, que representa a pressão em função da temperatura, mostra o menor valor de temperatura possível ($-273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$) ao se extrapolar o segmento de reta considerando-se a pressão igual a zero. Por definição, na escala Kelvin a temperatura equivalente a $-273,15$ é 0 K .

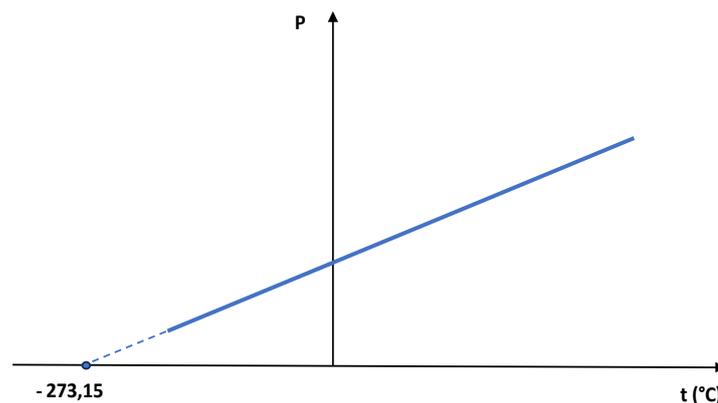


Gráfico 3.2 Verificação de proporcionalidade direta entre temperatura e pressão, a partir de leituras obtidas em termômetros de gás a volume constante. Devido a limitação imposta pelo congelamento de qualquer gás abaixo de 20 K , por extrapolação se determina o zero absoluto. Fato que pode ser confirmado pela teoria cinética dos gases.
Fonte: adaptado de Tipler (2009, Vol. 1)

As menores leituras de temperatura possíveis realizadas com termômetros de gás a volume constante, é em torno de 20 K. Essa medida é possível quando se utiliza o gás Hélio, pois abaixo, desse ponto qualquer gás congela. Para se obter medidas abaixo desse valor, utiliza-se a segunda lei da termodinâmica. Nesse caso pode-se obter temperaturas da ordem de 10^{-10} Kelvin.

A escala absoluta, que tem como unidade de medida o Kelvin, é definida pela equação abaixo, na qual T é a temperatura a ser obtida, P corresponde a leitura de pressão, P_3 é a pressão no ponto triplo da água e T_3 é a temperatura no ponto triplo da água.

$$T = \frac{P}{P_3} T_3 \dots \dots \dots (4)$$

Para se converter uma medida em Kelvin para o valor correspondente na escala Celsius e vice-versa, basta que se utilize a Equação (5), pois as unidades das duas escalas possuem o mesmo tamanho.

$$T = t_c + 273,15 \dots \dots \dots (5)$$

Sendo T a temperatura em Kelvin e t_c a temperatura em graus Celsius.

3.2 LEI DOS GASES IDEAIS

Com reduzida massa específica, um gás real se comporta como se fosse um gás ideal, fato que levou à definição da escala de temperatura de gás ideal. Ao se comprimir certo gás, com massa específica reduzida, à temperatura constante, a pressão aumenta. Da mesma forma, ao se expandir esse gás, mantendo a temperatura constante, a pressão diminui. Esse comportamento foi comprovado por meio de experimentos realizados por Robert Boyle (1627 – 1691), que levaram, com boa aproximação, à conclusão de que o produto da pressão pelo volume é constante e pode representado pela equação:

$$PV = constante \dots \dots \dots (6)$$

onde P representa a pressão e V o volume.

Uma lei mais geral do que a descoberta de Boyle, surgiu a partir dos trabalhos de Charles (1746 – 1823) e Gay-Lussac (1778 – 1850), cujo enunciado afirma que para uma pequena massa de gás, mantendo-se o volume constante, a temperatura absoluta é proporcional a pressão. Além disso, se a pressão for mantida constante, o volume desse gás será proporcional a temperatura. Com base nesses estudos, chegou-se à equação:

$$PV = CT \dots\dots\dots(7)$$

onde C representa uma constante que é proporcional ao número de moléculas N , de modo que C pode ser escrita em função de N multiplicado pela constante k , que é chamada de constante de Boltzmann. Por meio de experimentos, foi verificado que essa constante tem valor igual a $1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, para qualquer tipo de gás.

$$C = kN \dots\dots\dots(8)$$

Ao substituir a Equação (8) na Equação (7), obtém-se:

$$PV = NkT \dots\dots\dots(9)$$

O número de partículas N pode ser escrito em função do número de moles n multiplicado pelo número de Avogadro, que tem o valor de $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

$$N = nN_A \dots\dots\dots(10)$$

Substituindo a Equação (10) na Equação (9):

$$PV = nN_A kT \dots\dots\dots(11)$$

De modo que a constante universal dos gases R , resulta do produto $N_A k$, tem o valor de $8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$. Assim sendo, a Equação (11) pode ser escrita da seguinte forma:

$$PV = nRT \dots\dots\dots(12)$$

A Equação (12) é conhecida como a lei dos gases ideais. Para gases reais, essa expressão só é válida em situação na qual a massa específica é próxima a zero.

Pela análise do gráfico seguinte, fica evidente que a constante universal dos gases, possui valores distintos para pressões maiores. Contudo, se as massas de gás são muito reduzidas, as pressões tendem a zero e R passa a ter apenas um valor.

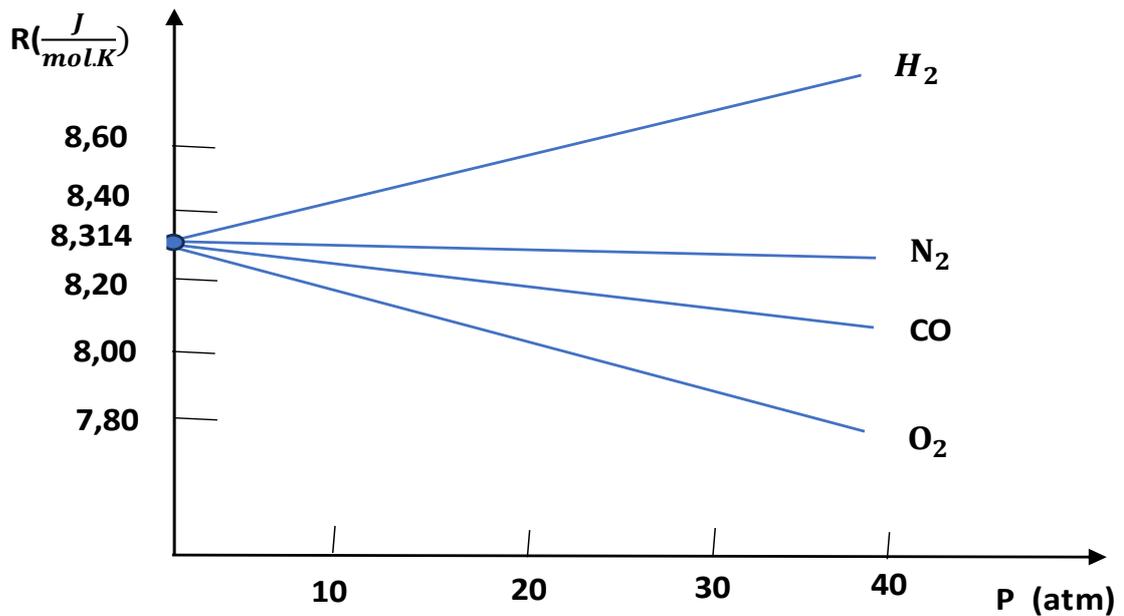


Gráfico 3.3 Medidas obtidas para a constante universal dos gases ideais, verificadas em quatro termômetros de gás a volume constante, variando linearmente e convergindo para uma única medida quando se reduz as massas específicas e por conseguinte a pressão.

Fonte: adaptado de Tipler (2009 Vol. 1.)

Considerando a lei dos gases ideais, para determinada quantidade fixa a expressão $\frac{PV}{T}$ será constante. Admitindo a existência dos momentos 1 e 2 na análise de certa quantidade de gás, pode-se escrever a seguinte equação para os gases ideais:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots\dots\dots(13)$$

O gráfico de P em função de V , tem como curvas uma família de hipérbolas com respectivas temperaturas, como verifica-se no gráfico 3.4.

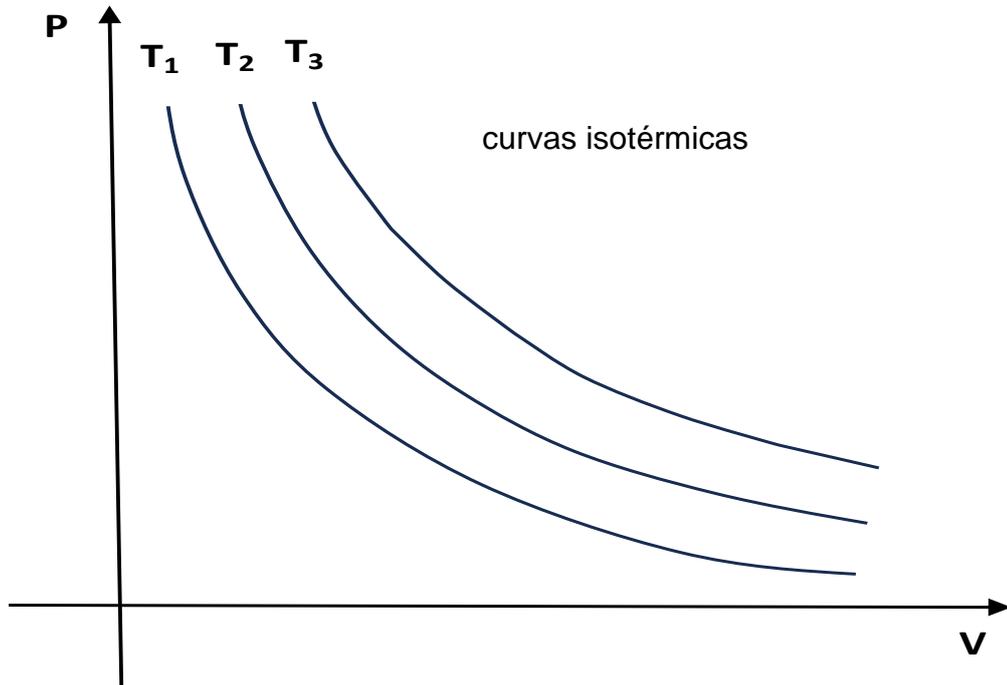


Gráfico 3.4 Curvas representativas do comportamento de um gás confinado, tendo a pressão P em função em função do volume V com temperaturas constantes T_1 , T_2 e T_3 .

Fonte: adaptado de Tipler (2009 Vol. 1.)

3.3 TEORIA CINÉTICA DOS GASES

As consideradas variáveis macroscópicas P , V e T , por si só, não fornecem informações referentes as variáveis microscópicas. Portanto, foi necessária a elaboração de um modelo que permita a compreensão do comportamento detalhado das variáveis microscópicas.

Nos estudos realizados, admitiu-se o confinamento de gases com reduzida massa específica, como se fosse um gás ideal. Os choques entre moléculas de gás, não tem efeito sobre a quantidade de movimento total, pois esta não se altera.

A pressão exercida pelo gás sobre as paredes internas do recipiente é obtida pela razão entre a taxa de variação da quantidade de movimento moléculas de gás e a área das paredes. Primeiramente, analisa-se o movimento das moléculas que colidem com a parede à direita. Admitindo-se que os choques entre moléculas e parede são perfeitamente elástico, pode-se escrever que a magnitude da variação de quantidade de movimento para cada molécula é:

$$2m|v_x| \dots \dots \dots (14)$$

onde m corresponde a massa de uma molécula e v_x é a componente da velocidade na direção x .

Considerando que, em média, na direção x , apenas metade das moléculas se movimentam à direita e que o número de moléculas por unidade de volume seja $\frac{N}{V}$, para se obter o número de moléculas que colidem com a parede à direita, basta fazer a multiplicação:

$$\frac{1}{2} \frac{N}{V} A |v_x| \Delta t \dots \dots \dots (15)$$

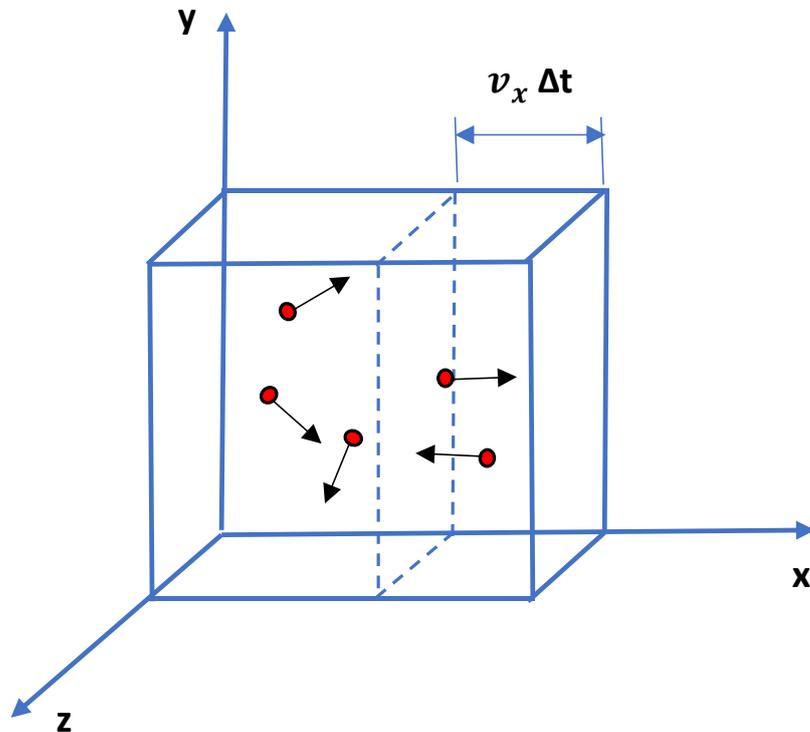


Figura 3.1 Representação esquemática de moléculas de gás em um ambiente confinado para análise e determinação da energia cinética translacional.

Fonte: adaptado de Tipler (2009 Vol. 1.)

Onde A representa a área da parede à direita, $|v_x|$ corresponde ao módulo da velocidade na direção x e Δt significa o intervalo de tempo considerado.

Para se obter a magnitude da quantidade de movimento total $|\Delta\vec{p}|$, faz-se o produto da expressão (14) pela expressão (15):

$$|\Delta\vec{p}| = 2m|v_x| \frac{1}{2} \frac{N}{V} A |v_x| \Delta t$$

$$|\Delta\vec{p}| = m \frac{N}{V} A v_x^2 \Delta t \dots \dots \dots (16)$$

Para se determinar a pressão exercida pelas moléculas de gás sobre a parede do recipiente, primeiro obtém-se a força pela taxa de variação da quantidade de movimento mostrada na Equação (16). Na sequência divide-se pela área A da parede.

$$|\vec{F}| = \frac{|\Delta\vec{p}|}{\Delta t}$$

$$P = \frac{|\vec{F}|}{A}$$

$$P = \frac{N}{V} m v_x^2$$

$$PV = N m v_x^2 \dots \dots \dots (17)$$

Admitindo que as velocidades das moléculas sejam diferentes, considera-se valores médios. Além disso, é oportuno que se escreva a Equação (17) em termos de energia cinética.

$$PV = 2N \left(\frac{1}{2} m v_x^2 \right)_{\text{médio}} \dots \dots \dots (18)$$

Igualando a Equação (9), que foi obtida experimentalmente, à Equação (18), tem-se:

$$NkT = 2N \left(\frac{1}{2} m v_x^2 \right)_{\text{média}} \dots \dots \dots (19)$$

Verifica-se então, que a energia cinética média $(K_x)_{\text{média}}$ na direção do eixo x pode ser escrita em função da temperatura absoluta.

$$(K_x)_{\text{média}} = \frac{1}{2} kT \dots \dots \dots (20)$$

Até aqui o desenvolvimento foi realizado levando em conta apenas a direção do eixo x , contudo é necessário que as direções de y e z sejam também consideradas. Isto posto, conclui-se que a energia cinética translacional para um gás confinado com pequena massa específica pode ser obtida por meio da equação seguinte.

$$(K)_{\text{translacional média}} = \frac{3}{2}kT \dots\dots\dots(21)$$

Além da energia translacional, existem as energias cinéticas rotacional e vibratória, no entanto estas não possuem relevância nos cálculos para obtenção da pressão exercida pelo gás.

Considerando todas as moléculas do gás confinado, a Equação (21) pode ser escrita como segue:

$$(K)_{\text{translacional}} = \frac{3}{2}NkT \dots\dots\dots(22)$$

Em função do número de moles n e da constante universal dos gases R , a Equação (22) passa a ser escrita como segue:

$$(K)_{\text{translacional}} = \frac{3}{2}nN_AkT$$

$$(K)_{\text{translacional}} = \frac{3}{2}nRT \dots\dots\dots(23)$$

3.4 CAPACIDADE TÉRMICA

Quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato, haverá transferência de energia do corpo mais quente para o corpo mais frio. Essa transferência de energia é chamada de calor.

A capacidade térmica C de um corpo é definida pela variação de energia interna ($\Delta E_{\text{interna}}$) necessária para que a temperatura aumente em um grau $^{\circ}\text{C}$.

$$C = \frac{\Delta E_{\text{interna}}}{\Delta t} \dots\dots\dots(24)$$

O calor específico c de uma substância é definido como sendo a capacidade térmica por unidade de massa m .

$$c = \frac{Q}{m \Delta t} \dots \dots \dots (25)$$

O calor Q transferido a uma substância, é proporcional a massa m e a variação de temperatura Δt .

Dois corpos com mesma massa e calores específicos distintos, necessitam de diferentes quantidades de calor para que suas temperaturas aumentem de um mesmo valor.

$$Q = mc\Delta t \dots \dots \dots (26)$$

A unidade de transferência de energia térmica muito utilizada é a caloria (cal) que equivale a 4,18 Joules (J). O Joule a unidade de energia adotada pelo SI .

3.5 CALOR LATENTE

Mudança de fase em substâncias puras, numa determinada pressão, ocorre apenas em uma temperatura. Sendo o calor necessário, proporcional a massa da substância.

De acordo com a teoria molecular, as moléculas de uma substância líquida aumentam as suas energias cinéticas quando são aquecidas. No entanto, ao atingir o ponto de ebulição, a substância permanece na mesma temperatura e a partir desse ponto, toda a energia recebida será utilizada para romper as atrações intermoleculares. Dessa forma, a energia é utilizada para aumentar a energia potencial e não a energia cinética.

Uma mudança de fase, numa substância pura, em uma dada pressão, ocorre em uma temperatura específica.

A energia Q_f necessária para que determinada substância passe pelo processo de fusão, é diretamente proporcional à sua massa m , conforme a equação:

$$Q_f = mL_f \dots \dots \dots (27)$$

onde L_f é denominado calor latente de fusão.

Para que ocorra a mudança da fase líquida para a fase de vapor, a energia Q_v , requerida é diretamente proporcional a massa m da substância, de maneira que pode ser escrita a equação:

$$Q_v = mL_v \dots \dots \dots (28)$$

onde L_v é denominado calor latente de vaporização.

3.5 DILATAÇÃO TÉRMICA

Geralmente quando um material é aquecido o seu tamanho aumenta. Para exemplificar, considere que um bastão possui comprimento L a uma temperatura inicial t_i . Caso ele seja aquecido até atingir uma temperatura final t_f , haverá uma variação relativa em seu comprimento $\frac{\Delta L}{L}$ que será proporcional ao acréscimo de temperatura $\Delta t = t_f - t_i$, de modo que:

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta t \dots \dots \dots (29)$$

onde α é o coeficiente de dilatação linear, que tem como unidade de medida $^{\circ}\text{C}^{-1}$. Como α varia de acordo com a temperatura, toma-se como base o seu valor médio em um intervalo de temperatura. O valor de α a uma temperatura t , é determinado pelo limite quando Δt tende a zero.

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta L/L}{\Delta t} = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} \dots \dots \dots (30)$$

Em se tratando de área S , utiliza-se o coeficiente de dilatação superficial β que equivale ao dobro de α , de maneira que a variação relativa da área $\frac{\Delta S}{S}$, será proporcional ao acréscimo de temperatura $\Delta t = t_f - t_i$. Obtendo-se portanto a equação:

$$\frac{\Delta S}{S} = \beta \Delta t \dots \dots \dots (31)$$

O valor de β a uma temperatura t , é determinado pelo limite quando Δt tende a zero.

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S/S}{\Delta t} = \frac{1}{S} \frac{dS}{dt} \dots \dots \dots (32)$$

Para dilatação volumétrica em sólidos ou líquidos, utiliza-se o coeficiente de dilatação volumétrica γ que vale o triplo de α , de modo que a variação relativa do volume $\frac{\Delta V}{V}$, será proporcional ao acréscimo de temperatura $\Delta t = t_f - t_i$. Obtendo-se portanto a equação:

$$\frac{\Delta V}{V} = \gamma \Delta t \dots \dots \dots (33)$$

O valor de γ a uma temperatura t , é determinado pelo limite quando Δt tende a zero.

$$\gamma = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V/V}{\Delta t} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \dots \dots \dots (34)$$

3.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Calor é a transferência de energia entre corpos que possuem temperaturas distintas. Essa transferência pode ocorrer por condução, convecção e radiação.

A transferência por condução ocorre quando há interação de moléculas, sem que haja transporte de moléculas. Por exemplo, se uma haste metálica for aquecida em uma das extremidades, os átomos da região aquecida vibrarão com mais energias, de modo que a interação dos átomos mais energéticos com os menos energéticos farão com que essa energia seja transportada ao longo da haste.

Na convecção, a transferência de energia ocorre por meio da movimentação de matéria. Por exemplo, se em um recinto o ar for aquecido, este terá a sua massa específica reduzida e isso fará com haja o deslocamento do ar quente para as regiões mais altas e conseqüentemente levando a movimentação do ar frio para as regiões mais baixas.

A transferência por radiação ocorre através do espaço, por meio de ondas eletromagnéticas que se movem à velocidade da luz. Como exemplos de ondas eletromagnéticas podem ser citadas ondas de rádio, ondas de infravermelho, ondas de luz visível, ondas de televisão e raios X, assim como todas as formas de radiação eletromagnéticas que tenham características peculiares no que se refere ao comprimento de onda e frequência. Para que ocorra transmissão de energia térmica

por radiação, não é necessária a existência de um meio material, pois, se assim fosse, a energia térmica do sol não chegaria à terra.

A emissão e absorção de radiação eletromagnética ocorre em todos os objetos. Diz-se que um objeto está em equilíbrio térmico sempre que as taxas de absorção e emissão de radiação forem iguais. A taxa de irradiação de um corpo é proporcional a sua área. Esta afirmação sucedeu aos resultados empíricos obtidos por Josef Stefan, e comprovada por meio dos cálculos realizados por Ludwig Boltzmann mais tarde. A lei de Stefan-Boltzmann é sintetizada por meio da equação:

$$P_r = e\sigma AT^4 \dots\dots\dots(35)$$

onde P_r é a potência irradiada, e corresponde a emissividade do material, A é a área da superfície, T é a temperatura absoluta do corpo e σ representa a constante universal, também conhecida como constante de Stefan, que tem o seguinte valor:

$$\sigma = 5,6703 * 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2K^4} \right) \dots\dots\dots(36)$$

onde W , m e K , são as respectivas unidades de medida do SI, Watt, metro e Kelvin.

A emissividade da superfície que irradia, é uma grandeza adimensional, com valor entre 0 e 1, a depender da composição do material.

Corpos opacos ao receber radiação de outra fonte, uma parte dessa radiação é absorvida por ele e a outra parte é refletida. Objetos coloridos refletem mais radiação, já os objetos escuros absorvem mais radiação. A potência absorvida por um objeto, é dada pela equação:

$$P_a = e\sigma AT_0^4 \dots\dots\dots(37)$$

onde P_a é a potência absorvida pelo corpo, T_0 é a temperatura da fonte de radiação e e é a emissividade da superfície do corpo que está absorvendo a radiação.

Se um objeto X , com uma temperatura T , estiver em um ambiente no qual outros objetos estão em uma temperatura T_0 . Se o corpo X emite energia radiante a uma taxa maior do que recebe, ele se resfria. Nessa hipótese, os demais corpos se aquecem. Em caso contrário, os papéis se invertem, ou seja, se o corpo X emite energia radiante a uma taxa menor, este se aquece e os demais se resfriaram. A

equação para se obter a potência resultante irradiada P_{res} , é representada na sequência:

$$P_{res} = e\sigma A(T^4 - T_0^4) \dots \dots \dots (38)$$

Se um corpo estiver em equilíbrio térmico com o ambiente onde ele se encontra, significa que a taxa de emissão de energia radiante será igual a taxa de energia radiante absorvida.

Por definição, corpo negro é aquele capaz de absorver toda a energia radiante que incide sobre a sua superfície. Além disso o corpo negro também é considerado um radiador ideal e possui emissividade igual a 1. Esse modelo idealizado, é muito útil pois permite a realização de cálculos teóricos. A representação esquemática de um corpo negro pode se ver no desenho seguinte, no qual há um orifício que absorve toda a radiação incidente. Uma vez absorvida pelo corpo negro toda a radiação é refletida internamente, praticamente sem chance de ser refletida para o ambiente externo. Portanto a radiação emitida pelo corpo negro através do orifício, está associada à temperatura da parede da cavidade.

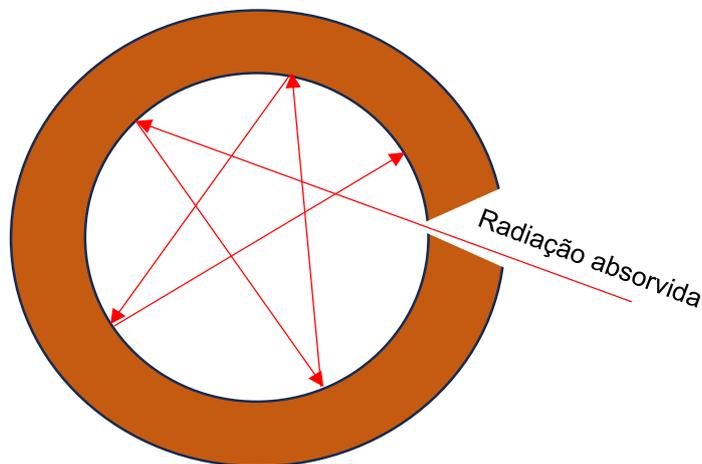


Figura 3.2 Representação esquemática de um corpo negro, absorvendo energia radiante, de modo que a radiação absorvida é refletida internamente, se mantendo presa.

Fonte: arquivo do autor.

À temperatura abaixo de 873 K, a radiação emitida por um corpo não é visível a olho nu. A radiação emitida por objetos à temperatura ambiente, possui comprimento de onda muito maior do que o da luz visível.

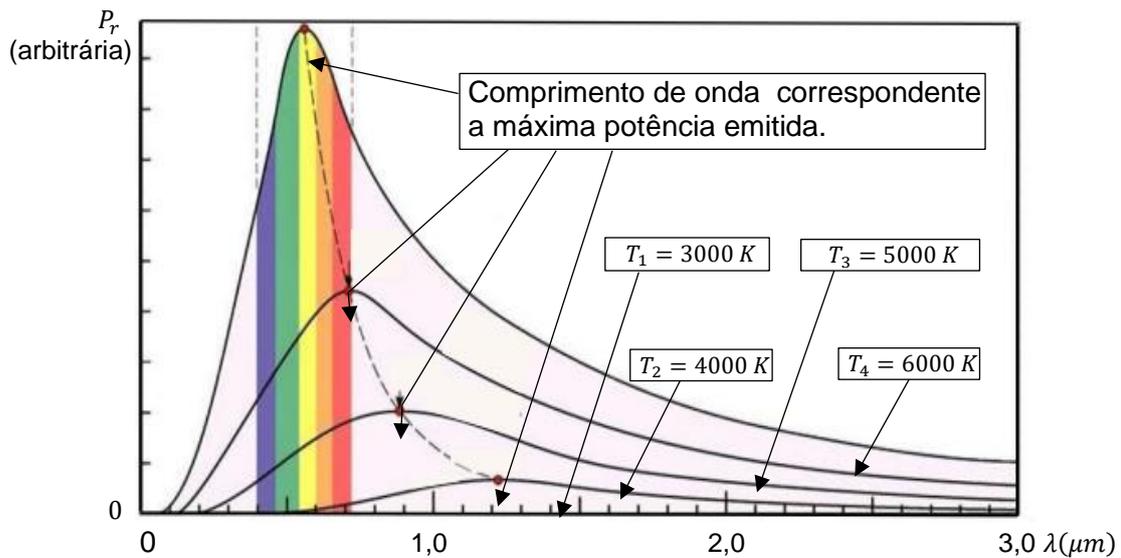


Gráfico 3.5 Potência irradiada P_r em função do comprimento de onda λ para radiação emitida por um corpo negro. As temperaturas T_1 , T_2 , T_3 e T_4 , correspondem às quatro curvas indicadas. A máxima potência emitida tem associada um comprimento de onda para cada curva de temperatura.

Fonte: adaptado de google imagem.

Ao ser aquecido, um corpo tem a taxa de emissão de energia aumentada e a energia irradiada atinge frequências maiores. De acordo com a lei de Wien, o comprimento de onda correspondente à potência máxima emitida por um corpo, é inversamente proporcional a temperatura, conforme mostrado na equação seguinte:

$$\lambda_{max} = \frac{2,898 \text{ mm.K}}{T} \dots\dots\dots(39)$$

Pela análise da radiação, utilizando-se a lei de Wien, é possível determinar a temperatura das superfícies das estrelas.

Foram as discrepâncias percebidas entre os cálculos teóricos da termodinâmica clássica, e os resultados experimentais das distribuições espectrais, que levaram Max Planck a desenvolver as primeiras ideias sobre a quantização.

4 HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

Ao se investigar a história do desenvolvimento das ciências em suas diversas áreas, constata-se que grande parte das descobertas ao longo do tempo não ocorreu de forma linear e perfeitamente organizada como se obedecesse a uma sequência cuidadosamente planejada. Além disso percebe-se também que atribuir a uma única pessoa o mérito pelo desenvolvimento de um aparato ou teoria, quase sempre não condiz com a realidade, pois a ciência não depende única e exclusivamente de uma pessoa para a sua evolução. A construção do conhecimento pressupõe a existência de erros, acertos, reflexões e muita discussão sobre os modelos adotados.

Por outro lado, a visão linear e muitas vezes alienada da produção do conhecimento que permeia esse tipo de ensino, reforça a ideia de que ciência é para poucos gênios privilegiados que acertam sempre. Nem de longe contempla o aspecto da construção, os erros, as concepções superadas, e a própria noção de modelos. É a história dos “gênios” vencedores. (GATTI, 2000).

Assim sendo, neste Capítulo busca-se relatar alguns pontos relevantes que conduziram à evolução da termodinâmica para que os professores possam demonstrar aos alunos, a forma dinâmica com a qual esta área da física tem se desenvolvido, proporcionando, dessa maneira, mais sentido aos temas abordados em aula e, por conseguinte, maior motivação.

Sobre a importância de se compreender a diferença entre calor e temperatura, Rafael (2007, apud Einsten e Infeld, 1980, p. 30-40), relata:

Os conceitos mais fundamentais na descrição de fenômenos térmicos são temperatura e calor. Foi necessário um tempo inacreditavelmente longo da história da ciência para que esses conceitos fossem distinguidos, mas uma vez feita essa distinção, resultou em rápido progresso. (EINSTEN E INFELD, 1980, P. 39-40).

No que diz respeito ao conceito de calor, a história registra interpretações distintas defendidas por duas correntes de estudiosos, desde o período pré-socrático até o século XVIII. No referido período, filósofos como Platão e Aristóteles associavam o conceito de calor a algo intrínseco à natureza do corpo, não sendo, portanto, dependente de fatores externos.

No século XIII, Roger Bacon afirmava que o movimento das partículas internas do corpo estava associado ao calor Cindra (2004), evidenciando que ainda perdurava

a influência do período pré-socrático, apesar de já terem decorridos mais de 13 séculos.

Diferentemente do que defendiam os filósofos do período pré-socráticos, Galileu Galilei (1564 – 1642) acreditava que o calor era um fluido constituído por partículas muito pequenas, que penetrava nos corpos Cindra (2004). Pelo entendimento de Galileu, percebe-se o surgimento de uma interpretação distinta daquelas defendidas por Platão e Aristóteles, os quais acreditavam que o calor era algo intrínseco à natureza do corpo. Fato é que, até o século XVI, ainda não se dominava os conceitos de calor e temperatura. Sendo esta, muitas vezes denominada grau de calor e associada à sensação térmica.

Pela sensação térmica, a distinção entre frio e quente ocorre desde os primórdios, como por exemplo, a ausência ou presença do sol, no entanto a sensação nem sempre é capaz de distinguir com precisão, o quente do frio. Para ilustrar tal situação, Bassalo (1992) comenta que uma pessoa com olhos vendados é incapaz de saber se sua mão foi queimada com ferro em brasa ou congelada por um pedaço de gelo seco. Considerando que a sensação térmica não é confiável, pois nem sempre corresponde à temperatura real, procurou-se, então, construir instrumentos que fossem capazes de medir essa grandeza em graus de temperatura. Nesse período surge a termometria.

Como precursor do termômetro, por volta de 1600 foi construído o termoscópio, instrumento cujo desenvolvimento é atribuído, por diversos pesquisadores, a Galileu. Com forma construtiva simples, o referido instrumento era constituído por um tubo de vidro contendo uma esfera numa extremidade e a outra extremidade imersa em um recipiente com água ou álcool. Este instrumento não possuía escala, servindo, apenas, para indicar o aumento ou diminuição de temperatura a partir da variação do volume de ar contido em seu interior Pires(2006). Note-se que a temperatura indicada no termoscópio, também dependia da pressão no ambiente onde se encontrava o instrumento. Outro inconveniente, era pelo fato do líquido evaporar, causando maior inexatidão da leitura de temperatura.

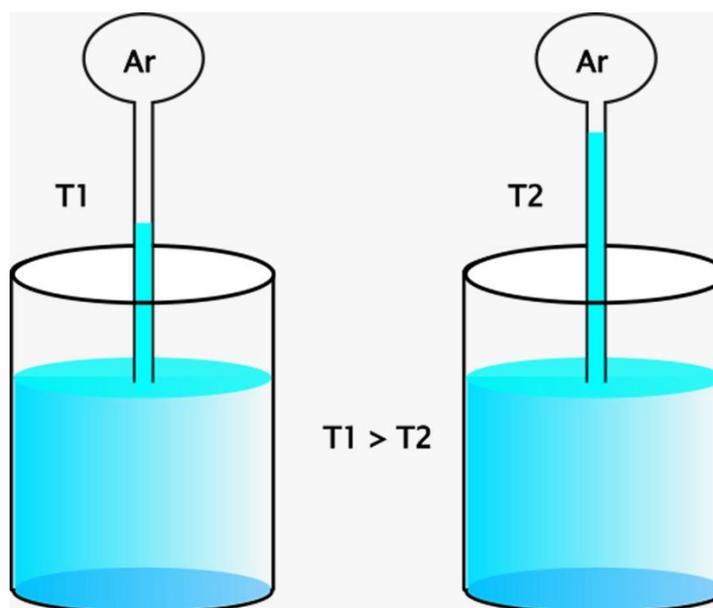


Figura 4.1 Representação esquemática de um termoscópio
Fonte: Professor orientador

A diferenciação entre calor e temperatura, passou a ser motivo de maior investigação a partir do aperfeiçoamento do termômetro, fruto dos trabalhos desenvolvidos por diversos pesquisadores.

Pelos relatos históricos, consta que em 1668 Joachin Dalence (1640 - 1707) afirmou ser necessário o estabelecimento de pontos fixos nos extremos para que fosse possível definir uma escala. Para tanto, considerou os pontos de fusão do gelo e da manteiga Pires (2006). No final do século XVII, Ronaldine (1615 - 1698) substituiu o ponto de fusão da manteiga pelo ponto de ebulição da água. Em artigo intitulado *A Scale of Degrees of Heat and Cold*, o qual trata da lei do resfriamento, Isaac Newton (1642 – 1727) menciona os mesmos pontos fixos estabelecidos por Ronaldine Pires (2006).

No século XVII, foram construídos muitos tipos de termômetros, no entanto, por falta de padronização, especialmente do líquido a ser utilizado e da escala a ser adotada, se tornou muito difícil o seu uso sistemático. Segundo Pires (2006), na Europa, em 1778, havia vinte e sete escalas distintas em uso. Dessas escalas, as que se difundiram no meio científico, sendo utilizadas nos séculos XIX e XX, foram apenas três a saber: a) a escala Reaumur à qual utilizava etanol e indicava 0° R para o ponto de congelamento da água e 80° R para o ponto de ebulição da água; b) a escala Fahrenheit à qual indicava uma mistura de água, gelo e cloreto de Amônia para indicar 0° F, e temperatura do corpo humano para indicar 100° F; c) a escala Celsius,

cujas representações 0 °C e 100 °C, indicavam respectivamente a água em ebulição e o seu ponto de congelamento. Atualmente a escala Celsius funciona com as indicações nos pontos extremos invertidas.

Os trabalhos desenvolvidos por Fahrenheit (1686 – 1736), tomando como referência os estudos de seu predecessor Guillaume Amontons (1663 – 1705), foram primordiais para o acesso ao conhecimento das propriedades térmicas dos materiais, tais como a existência de um ponto de ebulição específico para cada material e a confirmação de que o ponto de ebulição varia de acordo com pressão. A partir do desenvolvimento desses estudos, Fahrenheit construiu termômetros de mercúrio, que se destacavam por serem mais precisos e possuírem menor volume Pires (2006).

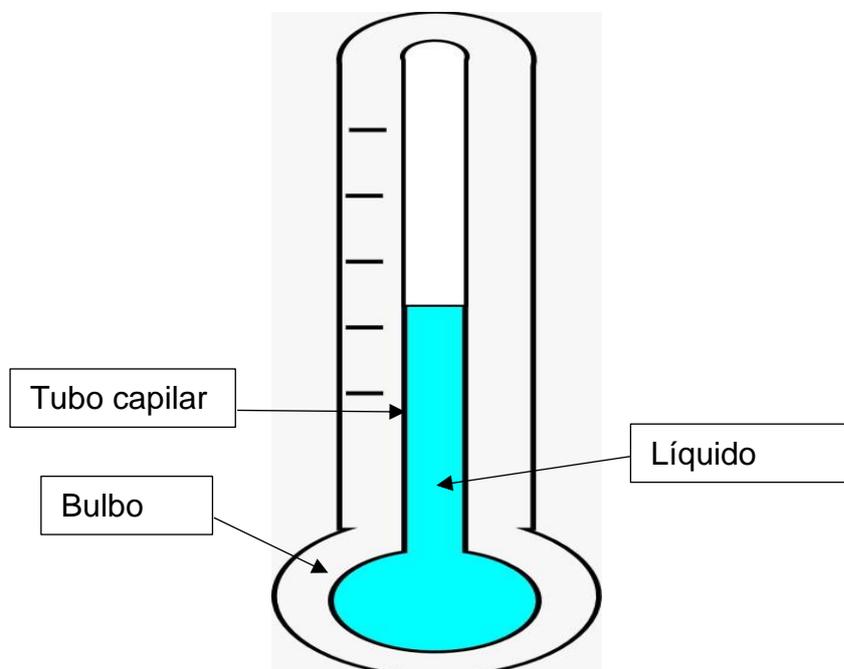


Figura 4.2 Representação esquemática de um termômetro linear com utilização de líquido e dotado de escala graduada para identificação de valores lidos - primeiro tipo que surgiu.

Fonte: Professor orientador

De acordo com Pires (2006), em 1794 foi definido que o grau termométrico representa centésima parte da distância entre o ponto de fusão do gelo e o ponto de ebulição da água fervente.

A partir de 1948, após a realização da IX Conferência Internacional de Pesos e Medidas, a escala centígrada passou a ser chamada de escala Celsius.

Outro passo importante no processo evolutivo do termômetro, foi o surgimento do termômetro digital em 1970. O princípio de funcionamento desse tipo de

termômetro baseia-se em componentes elétricos e eletrônicos, tais como resistor fixo, termistor, display, LED's, entre outros. Os termistores são componentes suscetíveis a variações ôhmicas de acordo com a variação de temperatura à qual são submetidos. Ao se alterar o valor de resistência, haverá um sinal de tensão correspondente que será transformado em temperatura.

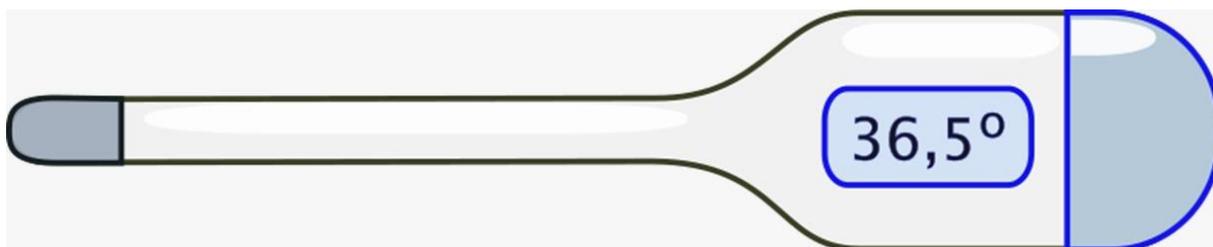


Figura 4.3 Representação esquemática de um termômetro digital que capta a temperatura por meio do contato do seu sensor com o objeto a ser medido.

Fonte: Professor orientador

Hoje em dia, é muito comum a utilização de termômetro que funciona por meio de captação de ondas de calor. Esses instrumentos possuem sensor que capta a radiação na faixa de frequência infravermelho e transformam em sinal elétrico, para que seja convertido em valor de temperatura. Para que esse tipo de termômetro funcione, não é necessário haver contato físico com o objeto a ser medido. Basta que instrumento seja apontado para o local onde se deseja realizar a medição, que ele capta a frequência da onda eletromagnética emitida pelo corpo e fornece imediatamente o valor de temperatura. Para permitir a localização exata do ponto onde se deseja medir a temperatura, muitos equipamentos desse tipo emitem feixe de luz laser.



Figura 4.4 Representação esquemática de um termômetro com sensor de radiação térmica.

Fonte: Professor orientador

Apesar dos avanços alcançados com o conhecimento de certas propriedades de materiais que levaram à construção de termômetros mais precisos e menores, até se concluir que calor e temperatura possuem conceitos distintos, alguns erros foram cometidos, por exemplo, considerava-se que as quantidades de calor fornecido a corpos distintos para aumentar em um mesmo número de grau, era diretamente proporcional a quantidade de matéria de cada corpo Cindra (2004). Outro equívoco cometido, foi a conclusão à qual chegaram Boerhaave (1668 – 1738) e Musschenbroek (1632 - 1761), ao afirmar que o calor se distribuía uniformemente entre corpos em equilíbrio térmico, sendo, portanto, proporcional ao volume Cindra (2004).

Mesmo considerando que os estudiosos, provavelmente, tivessem comentado sobre calor e temperatura por muito tempo, somente no século XVIII se chegou à distinção clara entre esses dois conceitos Bassalo (1992).

Com o entendimento de que o calor é energia em transição, fica mais fácil perceber que existem três formas possíveis de transmissão de energia térmica, a saber: a) por condução, ocorre transferência através de um meio material se houver, no meio condutor, pelo menos dois pontos com temperaturas diferentes; b) por convecção, ocorre se houver transferência de energia térmica em meios fluidos em movimento; c) por radiação, não depende de meio material para que haja transferência de energia térmica. Todo material emite radiação térmica, pois ela é

proveniente da agitação molecular, que, por sua vez, depende da temperatura do material.

Na Figura 4.5, consta a representação esquemática de um termômetro direcionado para um objeto o qual recebe energia térmica de: a) uma fonte em forma de chamas, localizada no lado posterior ao lado onde está sendo realizada a medição; b) do sol. Nessa situação verifica-se que o sensor do instrumento de medição captará as contribuições das ondas eletromagnéticas da seguinte maneira: a) parte da radiação que incide no lado posterior do objeto e por condução a temperatura do lado onde é feita a medição tende a aumentar; b) a energia térmica transmitida pela radiação solar também contribuirá com a elevação da temperatura do lado sendo realizada a medição; c) afora às contribuições já mencionadas, a própria agitação molecular do material em medição, também emite radiação.

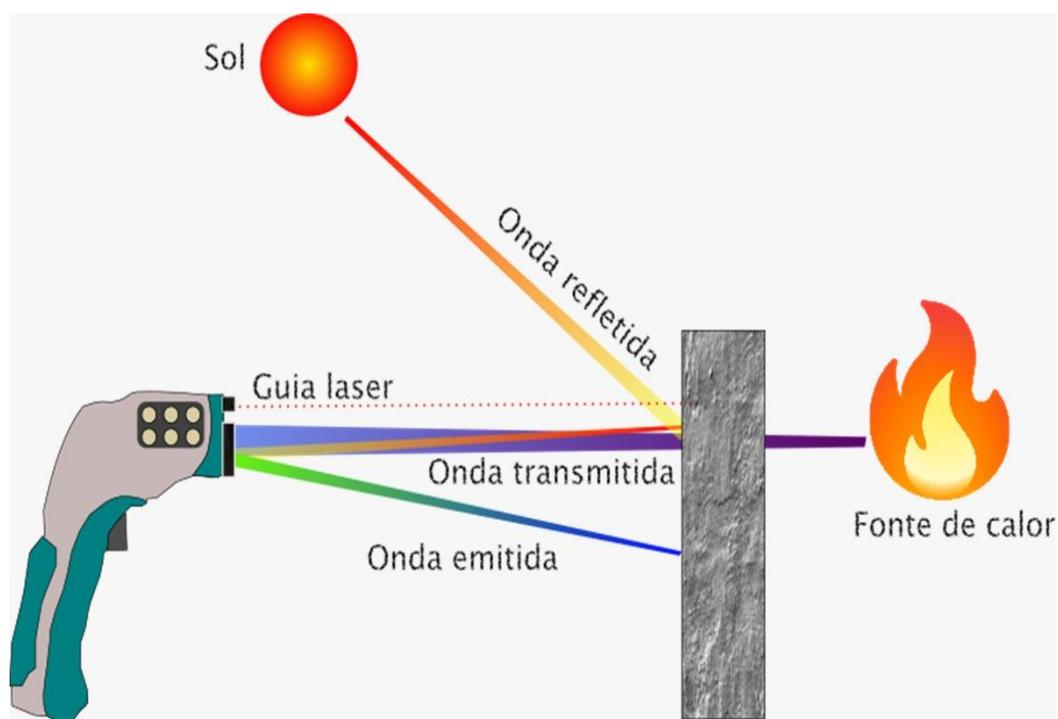


Figura 4.5 Representação esquemática de um termômetro com sensor de radiação térmica.

Fonte: Professor orientador

A partir de meados do século XVIII, os cientistas concluíram que calor e temperatura são grandezas diferentes. De acordo com Bassalo (1992), após terem realizado diversas experiências com líquidos em quantidades iguais e à mesma temperatura, cientistas da *Accademia del Cimento* demonstraram que tais líquidos

não eram capazes de fundir igual quantidade de gelo. Com base nos fatos demonstrados pelos cientistas, surgiu a hipótese formulada, em 1729, pelo físico Samuel Klingestjerna (1698 – 1765), que consistia em haver diferença entre calor e temperatura (denominada grau de calor à época) Cindra (2004, apud HOPPE, 1928, p. 246).

A hipótese de que, calor e grau de calor possuem conceitos diferentes, foi formulada por Klingestjerna (1698 – 1765) em 1729, contudo, ainda não havia clareza sobre a diferenciação entre os conceitos.

Trinta anos depois de Klingestjerna formular sua hipótese, coube ao físico escocês Joseph Black esclarecer a diferença entre calor e temperatura, ao observar dois blocos, um de madeira e o outro de ferro, com volumes iguais e submetidos à mesma temperatura. Black notou que o bloco de ferro parecia mais quente do que o bloco de madeira, por esse motivo concluiu que o ferro tinha maior capacidade de armazenar calor. Com base nessa experiência, conforme foi transcrito por Bassalo (1992), Black escreveu:

“Devemos, portanto, concluir que diferentes corpos, embora de mesmo tamanho e de mesmo peso, quando reduzidos à mesma temperatura, ou grau de calor, podem ter diferentes quantidades de matéria de calor”

Posteriormente, o físico sueco Johan Carl Wilcke (1732 – 1796) demonstrou que quantidades iguais de substâncias distintas, necessitam de quantidade de calor distintas para uma mesma elevação de temperatura. Com base nessa demonstração, foi escrita a Equação 24.

Outra grande contribuição dada por Black (1728 – 1799) ao desenvolvimento de Calorimetria, teve origem nos estudos por ele realizados concernentes à mudança de estado físico das substâncias relacionada ao calor, que conduziram ao conceito de calor latente, o qual corresponde à quantidade de calor necessária para haja mudança do estado físico da substância. Durante o processo de mudança do estado físico, foi observado que a temperatura não sofre alteração, de modo que a quantidade de calor é função da massa, bem como dos calores latente de fusão e de vaporização, conforme Equações 25 e 26.

De acordo com Bassalo (1992), consta que, para os estudos sobre o calor de vaporização, Black contou com o auxílio do engenheiro escocês James Watt (1736 –

1819), que posteriormente, utilizou esses conhecimentos para desenvolver o condensador que foi introduzido na máquina a vapor. A utilização de condensador, viabilizou o emprego da máquina a vapor, pois aumentou consideravelmente o seu rendimento.

Uma vez consolidado o entendimento de que calor e temperatura possuem conceitos distintos, não só se buscou o aperfeiçoamento do termômetro, como também foram envidados esforços com vistas à construção do calorímetro, que consiste no instrumento para se medir a quantidade de calor Bassalo (1992).

O conceito de equilíbrio térmico, finalmente foi entendido com a formulação da lei zero da termodinâmica cujo enunciado estabelece que se um corpo A estiver em equilíbrio térmico com um corpo B e esse mesmo corpo A estiver em equilíbrio com um corpo C, então os corpos B e C estarão em equilíbrio térmico.

A admissão da existência de uma grandeza intensiva a qual foi denominada temperatura, adveio da lei zero da termodinâmica. A partir daí, torna-se claro que calor e temperatura estão relacionados e que a temperatura pode ser indicada pelas propriedades termométricas das substâncias Cindra (2004).

Segundo Gontijo (2021), em 1697 o químico e médico alemão Georg Ernst Stahl, ao publicar seu livro intitulado *“Experimenta, observationes, animadvertiones chymical et physical”*, introduziu no meio científico o conceito de flogístico, cujo significado é consumido pelo fogo. Com a introdução desse novo conceito, a maioria dos pesquisadores passaram a defender, durante quase todo o século XVIII, que o flogisto estava associado ao conceito de calor. Gontijo (2021) afirma que a ideia da existência do flogisto passou a ser questionada pelo químico Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794), a partir de experimentos com combustão que foram realizados por ele em 1772. Dando sequência às buscas pelo domínio conceitual do que seja calor, em 1784, Lavoisier define o calórico como sendo um tipo de fluido de massa desprezível, que pode penetrar e fluir em qualquer substância. Esse novo entendimento, se constituía a base da teoria da combustão formulada por Lavoisier.

Vale a pena destacar que, a hipótese de o calor ser um fluido já tinha sido levantada por Galileu no século XVI, ou seja, passaram-se dois séculos e as pesquisas realizadas ainda não tinham alcançado o conceito de calor aceito atualmente.

De acordo com Almeida (2016), após a realização de inúmeros experimentos, surgiram duas grandes contribuições que ajudaram na definição de calor. A primeira contribuição, em 1878, foi dada pelo Conde Rumford (1753 – 1814) que, ao observar o funcionamento de uma grande broca perfurando um tubo de canhão, percebeu que havia um aquecimento intenso do material, a tal ponto que a água utilizada no processo de resfriamento, rapidamente fervia. Rumford, então, passou a acreditar que o calor não era uma substância, concluindo que a matéria em movimento era, de fato, o que produzia o aquecimento. A segunda e fundamental contribuição, coube a James Prescott Joule (1818 – 1889), que projetou e realizou um experimento utilizando um conjunto de hélices para agitar a água em um recipiente. Durante a execução do ensaio, joule verificou um aumento da temperatura da água, fato que o levou a concluir, com base em cálculos, que havia uma relação entre o trabalho mecânico realizado e o acréscimo de temperatura. Dessa forma, foi determinado o equivalente mecânico do calor, chegando-se, então, na relação de equivalência entre as unidades de medida *caloria* e *Joule*, as quais, até então, eram utilizadas para medir respectivamente, quantidade de calor e energia mecânica.

A partir daí, ficou consolidado o entendimento de que o calor é energia em transição.

A construção científica, realmente não obedece a uma lógica linear. Note-se que a calorimetria surgiu antes que o conceito de calor estivesse consolidado.

De acordo com Tavares (2010), em 1784 surgiu o primeiro calorímetro, o qual foi construído por Lavoisier e Laplace (1749 – 1827). Denominado calorímetro de gelo, esse instrumento é constituído por um recipiente interno contendo gelo, envolvido por um recipiente externo totalmente preenchido com gelo. Se o objeto em estudo, depois de aquecido, for colocado no interior do calorímetro e mantido em seu interior até que seja alcançado o equilíbrio térmico, a quantidade (massa) de água em estado líquido poderá ser obtida e, dessa maneira, se obter a capacidade térmica do objeto em estudo.

Existem vários formatos de calorímetro, mas todos são constituídos basicamente de um recipiente de paredes finas que é envolvido por outro recipiente fechado de paredes mais grossas e isolantes. O calorímetro evita a entrada ou saída de calor assim como ocorre em uma garrafa térmica, por exemplo.

Nesse instrumento de estudo, são colocados dois acessórios: um termômetro e um agitador. Este último é muito utilizado quando se realiza estudos térmicos com líquidos como a água, por exemplo. Ele serve para agitar o sistema e fazer com que ele alcance o equilíbrio térmico mais rapidamente. Ao colocar dois corpos com diferentes temperaturas no interior de um calorímetro, acontecerá a troca de calor entre eles, até que o equilíbrio térmico seja atingido. É muito comum falar que dentro de um calorímetro o **calor cedido** por um corpo é igual ao **calor recebido** pelo outro corpo. Através desta igualdade, podemos determinar várias grandezas térmicas de um material como, por exemplo, a capacidade térmica e o calor específico.

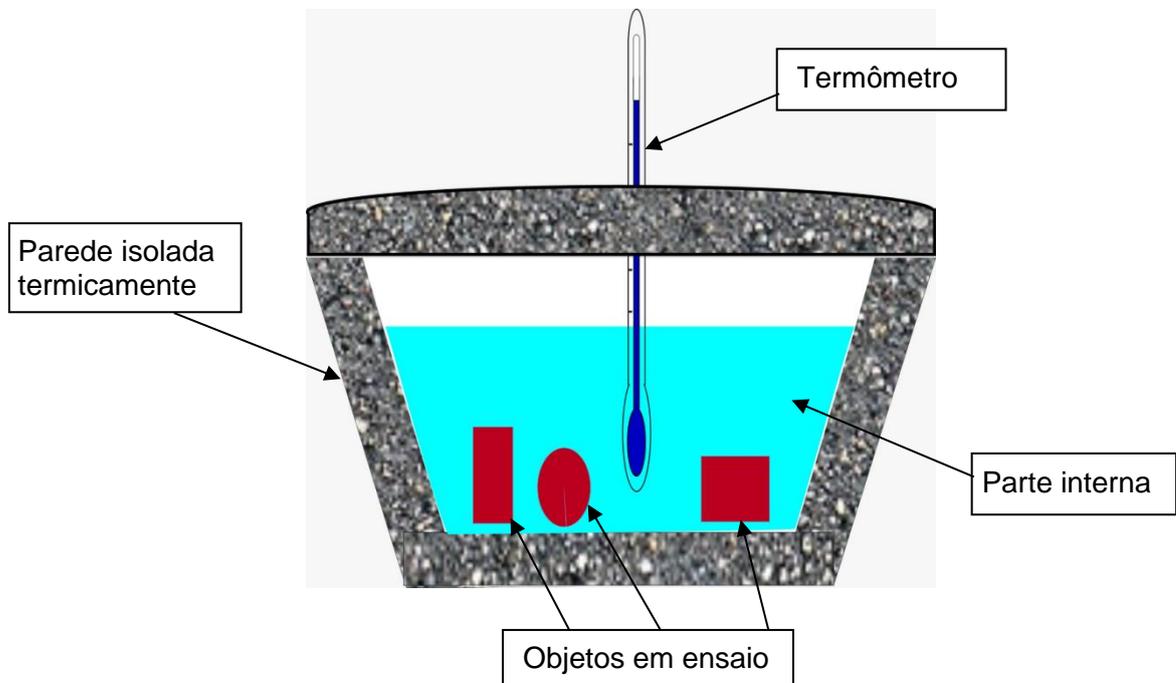


Figura 4.6 Representação esquemática de um calorímetro
Fonte: Professor orientador

5. PROPOSTA DIDÁTICA

Com objetivo de tornar as aulas mais leves e dotadas de sentido para os alunos, foi realizado um planejamento de tal maneira que, a abordagem de um fragmento da história da termodinâmica que esteja relacionado a determinado conteúdo, possa ser feita de forma correlata.

Para que as atividades sejam mais dinâmicas, estão previstas aulas experimentais de modo sincronizado à história e ao conteúdo. Em sintonia com as teorias de ensino relacionadas neste trabalho, recomenda-se que: as atividades sejam realizadas em grupo; o professor possa estimular a participação dos alunos e o desenvolvimento de postura crítica.

PLANEJAMENTO DIDÁTICO						
GRANDE ÁREA	SUB-ÁREA	RAMO	SUB-RAMO	OBJETIVO GERAL	PÚBLICO ALVO	TEMPO DE APLICAÇÃO
Ciências Exatas e da Terra	Física	Termodinâmica	Calorimetria e termometria	Proporcionar ao aluno, o conhecimento do conteúdo aceito pela ciência na atualidade, a partir de uma abordagem holística da história sobre o desenvolvimento da termometria e da calorimetria, de maneira que possa contribuir desvendando o mito de que a construção científica ocorre de forma linear e perfeitamente previsível.	Alunos do segundo ano do Ensino Médio regular	Seis aulas de 45 minutos, distribuídas em dois módulos.
MÓDULOS	AULAS	TEMAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGIAS	AValiação	RECURSOS UTILIZADOS
I (Aulas teóricas)	Aula 01	Calor e temperatura	Entender a evolução dos conceitos ao longo da história	Sócio-interacionista - antes iniciar a apresentação do filme - proceder atividade investigativa sobre o conhecimento prévio dos alunos	Auferir o conhecimento prévio, demonstrados, solicitar que relatem experiências vivenciadas com os conceitos que serão abordados	Retroprojetor para apresentação de filme
	Aula 02	Temperatura e sensação térmica	Estabelecer a diferença entre os conceitos a partir do aprimoramento do termômetro. Compreender a lei do equilíbrio térmico. Lei zero da termodinâmica	Sócio-interacionista com utilização de slides	Aplicação de questionário escrito com ênfase em questões conceituais	Retroprojetor e papel impresso
	Aula 03	Diferença entre calor e temperatura	Apresentar o contexto do período da história em que houve a diferenciação dos conceitos	Sócio-interacionista levar os alunos às reflexões sobre a forma como os conceitos básicos da termodinâmica foram construídos	Atividade em grupo, para que os alunos elaborem uma linha do tempo na evolução dos conceitos	Aplicação de questionário impresso
II (Aulas experimentais)	Aula 04	Calor e capacidade térmica	Apresentação de um roteiro para a determinação da capacidade térmica de um calorímetro	Sócio-interacionista- atividades em grupo	Verificar o domínio dos conceitos e o desenvolvimento das habilidades dos alunos no manuseio de instrumentos.	Garrafa térmica, Água, gelo, Aquecedor elétrico, Termômetro, Balança, Jarra de vidro, Pinça para frascos e balões
	Aula 05	Calor e calor específico	Apresentação de um roteiro para a determinação do calor específica de um fragmento metálico.	Sócio-interacionista- atividades em grupo	Verificar o domínio dos conceitos e o desenvolvimento das habilidades dos alunos no manuseio de instrumentos.	Garrafa térmica, Metal, Água, Aquecedor elétrico, Termômetro, Balança, Jarra de vidro, Pinça para frascos e balões.
	Aula 06	temperatura e sensação térmica	Apresentação de um roteiro para a construção de um termômetro caseiro.	Sócio-interacionista- atividades em grupo	Verificar o domínio dos conceitos e o desenvolvimento das habilidades dos alunos no manuseio de instrumentos.	Tubo de vidro com tampa de plástico, álcool isopropílico, corante, canudo de refrigerante e cola quente e papel cartão.

Quadro 5.1 Imagem do planejamento didático proposto
Fonte: arquivo do autor

ROTEIRO DA AULA 01					
DURAÇÃO (min)	TEMA	TÓPICOS	METODOLOGIA	ATIVIDADE AVALIATIVA	RECURSOS
45	Calor e temperatura	1- No início da aula, solicitar aos alunos que cada um relate alguma experiência que tenham vivenciado os conceitos de calor e temperatura;	Sócio-interacionista - antes iniciar a apresentação do filme - proceder atividade investigativa sobre o conhecimento prévio dos alunos	Auferir o conhecimento prévio, demonstrados, solicitar que relatem experiências vivenciadas com os conceitos que serão abordados	Retroprojeter para apresentação de filme e papel impresso

Quadro 5.2 Plano de aula 01

Fonte: arquivo do autor

ROTEIRO DA AULA 02					
DURAÇÃO (min)	TEMA	TÓPICOS	METODOLOGIA	ATIVIDADE AVALIATIVA	RECURSOS
45	Temperatura e sensação térmica	1- Comentar resumidamente, o que foi abordado na aula anterior; 2- Comentar sobre os esforços realizados pelos pesquisadores, para aprimorar os termômetros, explicando primeiramente o funcionamento do termoscópio e na sequência, osurgimento das escalas de temperatura;	Sócio-interacionista com utilização de slides	1- Aplicar questionário escrito com as seguintes questões: a) O que você entende por sensação térmica? b) Explique a diferença entre um termoscópio e um termômetro. c) Como podemos saber se três corpos estão em equilíbrio térmico?	Retroprojeter e papel impresso

Quadro 5.3 Plano de aula 02

Fonte: arquivo do autor

ROTEIRO DA AULA 03					
DURAÇÃO (min)	TEMA	TÓPICOS	METODOLOGIA	ATIVIDADE AVALIATIVA	RECURSOS
45	Diferença entre calor e temperatura	1- Explicar o contexto histórico em os pesquisadores perceberam que havia diferença entre os dois conceitos, embora não se conhecesse bem, nem um nem outro.	Sócio-interacionista, levar os alunos às reflexões sobre a forma como os conceitos básicos da termodinâmica foram construídos paulatinamente.	Exemplifique, baseado em experimentos realizados por pesquisadores, como se pode entender que há diferença entre calor e temperatura	Retroprojeter

Quadro 5.4 Plano de aula 03

Fonte: arquivo do autor

ROTEIRO DA AULA 04					
DURAÇÃO (min)	TEMA	TÓPICOS	METODOLOGIA	ATIVIDADE AVALIATIVA	RECURSOS
45	Calor e capacidade térmica	Apresentação de um roteiro para a determinação da capacidade térmica de um calorímetro, conforme item 5.4.2 da seção 5.	Sócio-interacionista-atividade experimental em grupo	O professor, ao final do experimento, deve fazer os seguintes questionamentos aos alunos: 1) o que se pode comentar da lei zero da termodinâmica nesse experimento? 2) Qual é a diferença entre capacidade térmica e calor específico. 3) Com base nas medições realizadas determine a capacidade térmica do calorímetro.	Garrafa térmica, Água, gelo, Aquecedor elétrico, termômetro, Balança, recipiente de vidro, Pinça para frascos e balões

Quadro 5.5 Plano de aula 04

Fonte: arquivo do autor

ROTEIRO DA AULA 05					
DURAÇÃO (min)	TEMA	TÓPICOS	METODOLOGIA	ATIVIDADE AVALIATIVA	RECURSOS
45	Calor e calor específico	Apresentação de um roteiro para a determinação da capacidade térmica de um calorímetro, conforme item 5.4.2 da seção 5.	Sócio-interacionista-atividade experimental em grupo	O professor, ao final do experimento, deve fazer os seguintes questionamentos aos alunos: 1) Qualquer tipo de metal poderia ser utilizado nesse experimento? 2) Com base nas medições realizadas determine o calor específico. 3) Explique a diferença entre os conceitos de capacidade térmica e de calor específica.	Garrafa térmica, um pequeno pedaço de metal l, Água, Aquecedor elétrico, termômetro, Balança, uma jarra de vidro, Pinça para frascos e balões.

Quadro 5.6 Plano de aula 05

Fonte: arquivo do autor

ROTEIRO DA AULA 06					
DURAÇÃO (min)	TEMA	TÓPICOS	METODOLOGIA	ATIVIDADE AVALIATIVA	RECURSOS
45	Temperatura e sensação térmica	Apresentação de um roteiro para construção de um termometro, conforme item 5.4.4 da seção 5.	Sócio-interacionista-atividade experimental em grupo	Cada grupo fará apresentação perante a turma, explicando o funcionamento. Na ocasião o professor estimulará discussão sobre o tema, elaborando algumas perguntas, tais como: a) A pressão tem influência sobre os valores medidos com o termômetro que foi construído? E nos termômetros utilizados no dia a dia, a pressão influencia na leitura?	Tubo de vidro com tampa de plástico, álcool isopropílico, corante, canudo de refrigerante e cola quente e papel cartão.

Quadro 5.7 Plano de aula 06

Fonte: arquivo do autor

5.1 HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA NA RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS

O ensino de alguns conceitos da termodinâmica com frequência se concentra em uma alguma abordagem histórica. Nesse entendimento, o que segue são exemplos de como os temas de termodinâmica em livros de física básica são abordados efemeramente de forma histórica (Halliday, Tipler, Sears): (i) estudo da temperatura e dos diferentes tipos de termômetro é abordado em função da operação do instrumento de medida em função de alguma propriedade da matéria que muda com a temperatura; (ii) O estudo da lei do gás ideal que também é abordado de forma histórica com a lei de gases de Boyle, Charles e Gay-Lussac que quando combinadas proporciona uma relação mais geral, $PV \propto T$, onde P é a pressão, V o volume e T a temperatura de um sistema fechado; (iii) A conceitualização do calor associado à energia abordado pelo experimento histórico de Prescott Joule (1818-1889) que até o presente é aceito pela ciência e que disse de que tanto o calor quanto o trabalho representam uma transferência de energia; (iv) O estudo de máquinas térmicas e o aumento da eficiência segundo Sadi Carnot (1796-1832), e como deve ser a característica de uma máquina ideal (máquina de Carnot), que na realidade não existe. Enfim, nesta seção trataremos de como podemos usar a resolução de exercícios em termodinâmica e relacioná-la a fatos da história da Física como uma forma de criar maior interesse no aluno. O primeiro passo do professor é selecionar o contexto do exercício promovendo o uso de princípios e conceitos conhecidos para resolver os exercícios e poder explicar por meio da história da Física a relação das grandezas ou constantes físicas e, em especial, como elas foram determinadas.

5.2 RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIO DE UMA AULA DE TERMODINÂMICA

A maneira de exemplo podemos explicar uma aula da Lei de Gás ideal em termos de moléculas. Inicia-se a aula explicando a existência do número de Avogadro com uma abordagem breve e histórica. Nesse sentido, bem do início de uma aula de gás ideal o aluno tem estudado sobre a lei dos gases ideais, Equação (12) na seção 3, e considera como uma questão simples da natureza o fato de que a constante de gás, R , tem o mesmo valor para todos os n moles de gases. Quem reconheceu essa realidade pela primeira vez foi Amadeo Avogadro (1776-1856), embora tenha

afirmado de forma diferente seu enunciado: “*volumes iguais de gás à mesma pressão e temperatura contém igual número de moléculas*”.

O enunciado de Avogadro chamado também como hipótese de Avogadro é consistente com que R (constante universal dos gases) seja a mesma para todos os gases. Outra forma de entender essa hipótese é considerando as variáveis P (pressão), n (número de moles) e T (temperatura) da Equação (12) constantes então o volume será o mesmo para qualquer tipo de gás desde que R seja a mesma constante. Outra interpretação interessante, o número de moléculas em 1 mol é o mesmo para todos os gases, dessa forma, a hipótese de Avogadro é equivalente a que R seja a mesma para todos os gases. Até esse nível de conhecimento o número de moléculas em um mol de qualquer substância pura é conhecido como número de Avogadro, N_A . Embora Avogadro tivesse certa noção da existência não foi capaz de determinar na época o valor de N_A . Para medir essa constante implementaram-se vários métodos e o valor aceito na atualidade é $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ (moléculas/mol), como pode ser visto na seção 3.

Como o número total de moléculas, N , de um gás ideal é o número de moles multiplicado pelo número de Avogadro ($N = nN_A$), a lei de um gás ideal é escrita conforme a Equação (11) da seção 3, onde k é a constante de Boltzmann e pode ser determinada pela razão entre a constante universal dos gases e o número de Avogadro, tendo como quociente o número $1,38 \times 10^{-23}$ J/K.

Obviamente, a essa altura do início da aula o objetivo da aula do professor é estudar de forma prática o sistema de gás ideal considerando o número de átomos e entender como calcular a massa de um átomo de um gás ideal (lado esquerdo da Figura 5.1). Outro objetivo do professor é usar a constante de Avogadro para realizar uma estimativa do número de moléculas de gás num sistema fechado que seja conhecido a nosso cotidiano (lado direito Figura 5.1).

Calculo da Massa do átomo de Hidrogênio	Estimativa de quantas moléculas respiramos quando inalamos 1 L de ar em condições normais
<p>Planejamento: 1 mol de átomos tem a massa de 1 unidade de massa atômica desse átomo e também contem N_A átomos.</p> <p>Cálculo: Em tabela encontra-se que 1 uma de Hidrogênio é igual $1,008 \times 10^{-3} \text{ kg}$ Como é conhecido $N_A = 6,02 \times 10^{23}$, então a massa do hidrogênio é calculada:</p> $m_{\text{Hidrogênio}} = \frac{1,008 \times 10^{-3} \text{ kg}}{6,02 \times 10^{23}}$ $m_{\text{Hidrogênio}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ <p>Comentário da história da Física: Na história da Física, o processo inverso foi o método usado na determinação do N_A, ou seja, o valor preciso do N_A foi determinada a partir da medição precisa da massa do Hidrogênio e o leitor ou aluno acabou de participar dessa descoberta.</p>	<p>Planejamento: em condições normais 1 mol de moléculas ocupa um volume de 22,4 L e tem N_A moléculas.</p> <p>Cálculo: O número de moléculas N de um litro é calculado:</p> $N = \frac{6,02 \times 10^{23}}{22,4}$ $N = 2,7 \times 10^{22} \text{ moléculas}$ <p>Comentário de conhecimento: O Número de Avogadro aplica-se em qualquer tipo de partícula, seja átomo ou molécula de qualquer espécie.</p>

Figura 5.1 Resolução de exercícios relacionadas à história da Física e no entendimento do aluno.

Fonte: Professor orientador

5.3 ABORDAGEM DE EXERCÍCIO DE FORMA HISTÓRICA

Realizada a atividade de exercícios o professor usando a abordagem histórica mostra que com os resultados obtidos pode construir ainda um conhecimento complementar no aluno acerca da relação existente das constantes R , k e N_A . Em outras palavras, uma forma de reforçar o aprendizado do aluno é abordar o novo conhecimento com a história da termodinâmica e o que segue é justamente um resumo sobre a dimensão real que possui uma constante física e que é usada no estudo do gás ideal e que é usada também em outras atividades científicas. Isto é, sobre como influencia o valor de uma constante na determinação de outras constantes Cooper (2017). Os cientistas já se perguntavam há muito tempo sobre o tamanho dos átomos e das moléculas. Desde que a grama-molécula foi estabelecida como uma unidade natural de massa quando se trata de com substâncias químicas, era natural questionar sobre “o número real de moléculas contidas em uma molécula-grama”, como Einstein fez em 1905. Em 1909, o futuro ganhador do Nobel Jean Perrin propôs ligar para esse número em homenagem a Amadeo Avogadro: “Este número invariável N_A é uma constante universal e parece justo nomeá-lo Constante de Avogadro”.

Embora hoje distingamos cuidadosamente entre a constante de Avogadro e a Número de Avogadro, essa distinção terminológica e conceitual é bastante nova.

Muitos argumentaram que esse número (ou constante) não é uma constante física completa. Pelo contrário, alguns chamaram-lhe “o mais importante de todos os constantes”. Durante a cerimônia de entrega do Prêmio Nobel de 1926, o Professor Carl Wilhelm Oseen, membro do Comitê do Nobel de Physics, discursou o seguinte: “Perrin foi capaz de determinar uma das mais importantes constantes físicas, o número de Avogadro. Queiramos ou não, o número de Avogadro é um aspecto importante da ciência moderna”. Um dos artigos de Einstein tratavam do movimento browniano e das formas melhores para determinar o número de Avogadro.

O número de Avogadro continua relevante na ciência porque é um fator de escala entre duas unidades de massa ainda utilizadas na ciência: o quilograma e a unidade de massa atômica. Esse último sendo 1/12 da massa de um único átomo de carbono-12. A determinação do Avogadro constante desempenha um papel importante na ciência porque permite uma comparação de experimentos díspares de outras constantes. Por exemplo, a constante de Rydberg relaciona-se as constantes de Avogadro e Planck através de vários outros métodos físicos constates bem conhecidas. Por causa disso, o valor da constante de Planck molar (NAh) é conhecido melhor que NA ou h e, portanto, a determinação da constante de Avogadro fornece indiretamente um valor da constante de Planck. No início da década de 1990, vários dos principais institutos de metrologia do mundo iniciaram o trabalho em determinação do valor do número de Avogadro usando o método de densidade de cristal de raios X. Aqui, a densidade ρ de um material é medida de duas maneiras, no macroscópico e níveis atômicos:

$$\rho_1 = m_{esfera} / V_{esfera} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

$$\rho_2 = m_{celula\ unitária} / V_{celula\ unitária} \text{ [uma} \cdot \text{m}^{-3}\text{]}$$

Igualar essas duas medições de densidade fornece o valor do Avogadro número, $\{NA\} = \text{kg/Da}$, que é o valor numérico da constante de Avogadro. Este experimento caro continua sendo a realização mais precisa da definição de a toupeira até o momento. A Gráfico 4.1 mostra os avanços das medições com menor incerteza e o que destaca desse gráfico é como as Constantes R , k N_A estão relacionadas e, de

fato, não se realizaram medições de alta precisão dessas constantes senão até o século XX.

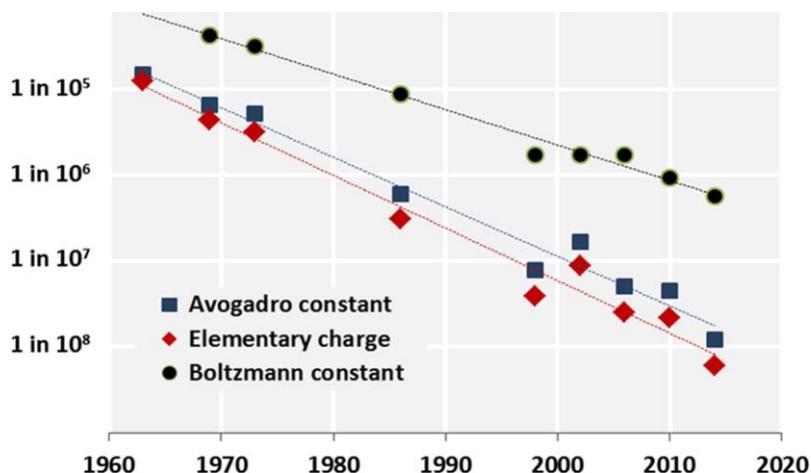


Gráfico 5.1 Os avanços na ciência manifestam uma redução de dez vezes na incerteza das constantes mais fundamentais da Física desde 1960 até 2010, como é o caso da constante de Avogadro (N_A), a carga elementar (e) e a constante de Boltzmann (k_B). Hoje, essas constantes físicas fundamentais são conhecidas com certeza suficiente para redefinir o Sistema Internacional de Unidades em termos de algumas dessas constantes.

Fonte: Professor orientador

5.4 ATIVIDADE EXPERIMENTAL E A HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

Tendo como objetivo ampliar a diversificação de estratégias pedagógicas, nesta seção foram disponibilizadas três atividades experimentais cujos roteiros estão em sintonia com planos de aula vistos no capítulo anterior.

5.4.1 Teoria de Calorimetria

O roteiro destas atividades corresponde ao plano de aula 04 proposto no início deste capítulo. Para que o objetivo desta aula seja alcançado, o aluno deverá ser capaz de determinar a capacidade térmica de um calorímetro e determinar o calor específico de uma substância. Para realizar essa atividade experimental é necessário o conhecimento de conceitos como: (i) Termologia, (ii) escalas termométricas, (iii) leitura de um termômetro e as propriedades teóricas da calorimetria.

A fundamentação teórica deve envolver conceitos de calor específico de uma substância que essencialmente é a quantidade de energia que deve ser fornecida a cada 1

grama dessa substância para que a sua temperatura se eleve em 1°C . Por exemplo, fornecendo-se 1 cal para um 1 g de água, sua temperatura se elevará de 1°C . Já no caso de uma grama de alumínio, basta fornecer 0,22 cal para que sua temperatura aumente de 1°C . Então, se tivermos m gramas de uma substância com calor específico c, a quantidade de calor Q necessária para elevar sua temperatura de ΔT é dada pela Equação (26) na seção 3.

Ressalta-se do calor específico como uma grandeza que caracteriza a facilidade ou dificuldade de um determinado material variar sua temperatura quando troca energia na forma de calor. É importante ressaltar que esta característica depende apenas do material de que é feito o corpo. Na Tabela 5.1 são apresentados os calores específicos de alguns materiais.

Tabela 5.1 Calor específico de alguns materiais (retirada do livro: Guimarães, L. A. M; Boa, M. C. F. Termologia e óptica. São Paulo: Editora Harbra, 1997).

Substância	c (cal/g. $^{\circ}\text{C}$)	c (J/kg.K)
Água	1	$4,2 \times 10^3$
Gelo	0,55	$2,3 \times 10^3$
Alumínio	0,22	$9,2 \times 10^2$
Ferro	0,11	$4,6 \times 10^2$
Latão	0,094	$3,9 \times 10^2$
Cobre	0,092	$3,9 \times 10^2$
Prata	0,056	$2,3 \times 10^2$
Chumbo	0,031	$1,3 \times 10^2$

De outro lado a capacidade térmica de um corpo é uma medida da capacidade que um corpo tem de absorver energia sem que aconteça uma grande variação da sua temperatura. Portanto, a capacidade calorífica C de uma substância é definida pela razão entre o acréscimo de energia interna e a variação de temperatura de uma substância, de acordo com a Equação (24), na seção 3.

Se a variação da energia interna foi positiva, então o corpo ganhou energia calorífica e por isso ΔT é também positiva (a sua temperatura aumentou). Observa-se dos conceitos anteriormente mostrados a relação entre a capacidade calorífica ou

capacidade térmica e o calor específico pode ser escrita conforme a Equação (25), na seção 3.

O calorímetro é um recipiente isolado termicamente do ambiente exterior. No interior do calorímetro é utilizado para realizar a troca de calor entre sistemas. A fim de inibir a propagação de calor desde seu interior, a estrutura do calorímetro consiste em um recipiente refletor de ondas térmicas, o qual está envolto por um material isolante térmico. Na parte superior desse recipiente encontra-se um termômetro que serve como instrumento para monitorar a temperatura no interior do calorímetro.

No estudo da igualdade das trocas de calor, considere um sistema físico A à temperatura T_A e outro sistema físico B à temperatura T_B , isolados através de um calorímetro do meio exterior e com $T_A \neq T_B$. Se os dois sistemas são colocados em contato térmico, ocorre transferência de energia (calor) do sistema mais quente para o mais frio. Não havendo perda de energia para o exterior, a transferência de energia entre os dois sistemas pode ser escrita como:

$$|Q_{\text{recebido por um sistema}}| = |Q_{\text{cedido pelo outro sistema}}|$$

A troca de calor entre o sistema A e o sistema B resulta na alteração de temperatura desses sistemas, para uma temperatura de equilíbrio de valor intermediário T_f . Pode-se dizer que nesse processo: *“A energia não pode ser criada ou destruída. Pode apenas ser transformada de uma forma em outra, de maneira que sua quantidade total permaneça constante”*.

5.4.2 Procedimentos experimentais de calorimetria

Os materiais que devem ser usados são: Calorímetro, Metal, Água, gelo, Aquecedor elétrico, Termopar, Mostrador digital de temperatura, Balão volumétrico ou gobelé, Balança, Pinça para frascos e balões. Alguns materiais são mostrados na Figura 5.2.



Figura 5.2 Instrumentos necessários para a realização da atividade

Fonte: Professor orientador

A primeira atividade experimental é a determinação da capacidade calorífica C da garrafa térmica seguindo os seguintes passos: (i) Determine com a balança a massa m do calorímetro; (ii) Coloque no calorímetro uma certa massa m_o de água a uma temperatura T_o abaixo da temperatura ambiente e deixa o sistema entrar em equilíbrio. Sugestão: misture gelo e água para conseguir água abaixo da temperatura ambiente; (iii) Aqueça outra quantidade de água m_1 à temperatura T_1 acima da temperatura ambiente; (iv) Introduza rapidamente esta massa m_1 de água no calorímetro e leia a temperatura T de equilíbrio que a mistura alcança. Esses quatro passos são esquematizados na Figura 5.3, onde fica a critério de cada experimentador definir a proporção das massas m_o e m_1 , de acordo com o tamanho da capacidade do calorímetro; (v) De acordo com o esquema da Figura 5.3 podemos aplicar nosso conceito de troca de calor para determinar a capacidade específica do calorímetro C :

$$|Q_{\text{recebido pelo calorímetro e água fria}}| = |Q_{\text{cedido pela água quente}}|$$

$$C(T - T_o) + m_o c_{\text{água}}(T - T_o) = m_1 c_{\text{água}}(T_1 - T)$$

$$C = \frac{m_1 c_{\text{água}}(T_1 - T) - m_o c_{\text{água}}(T - T_o)}{(T - T_o)}$$

O último passo é de repetição da experiência em 4 vezes e em determinar novamente C do calorímetro de forma estatística.

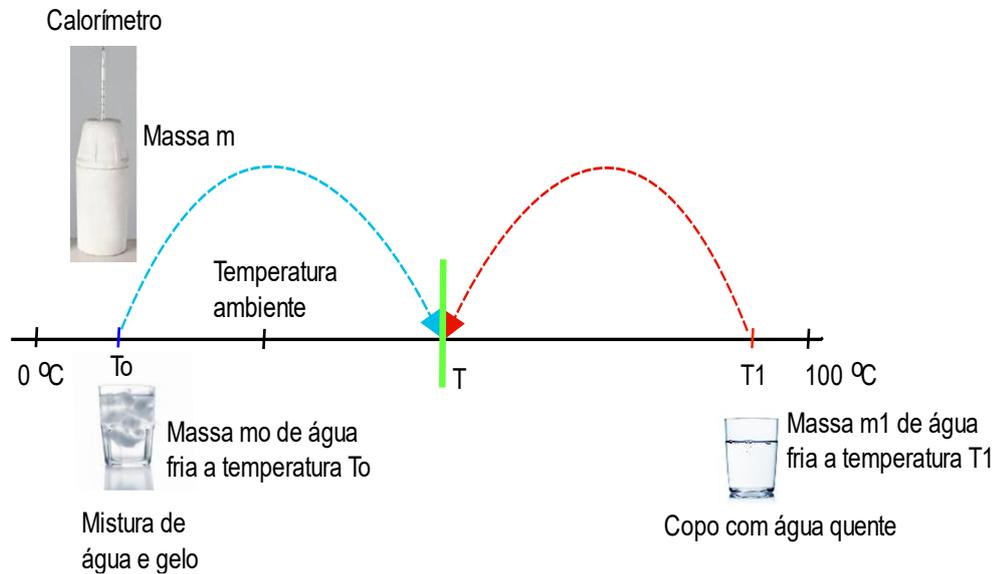


Figura 5.3 Esquema de troca de calor entre dois sistemas dentro de um calorímetro.

Fonte: Professor orientador

A segunda atividade experimental refere à determinação do calor específico de sólidos e usa os mesmos materiais do experimento anterior e os passos são os seguintes: (i) Coloque na garrafa térmica uma massa de água m_a à temperatura T_a ; (ii) O aluno receberá um pedaço de material de massa m e, seguidamente o aquecerá separadamente até uma temperatura T_m ; (iii) Introduza rapidamente o corpo no calorímetro. A temperatura do conjunto se uniformiza até que o termômetro alcance um valor estável. Anote então a leitura dessa temperatura T , sendo que $T_a < T < T_m$; (iv) A Figura 5.4 representa o esquema do processo para determinar o calor específico de um material. Cada aluno deve assumir o critério da proporção das massas que participam na mistura de materiais (água e metal); (v) Repita a experiência pelo menos 4 vezes para cada corpo; calcule o valor e respectivo erro experimental do calor específico do material.

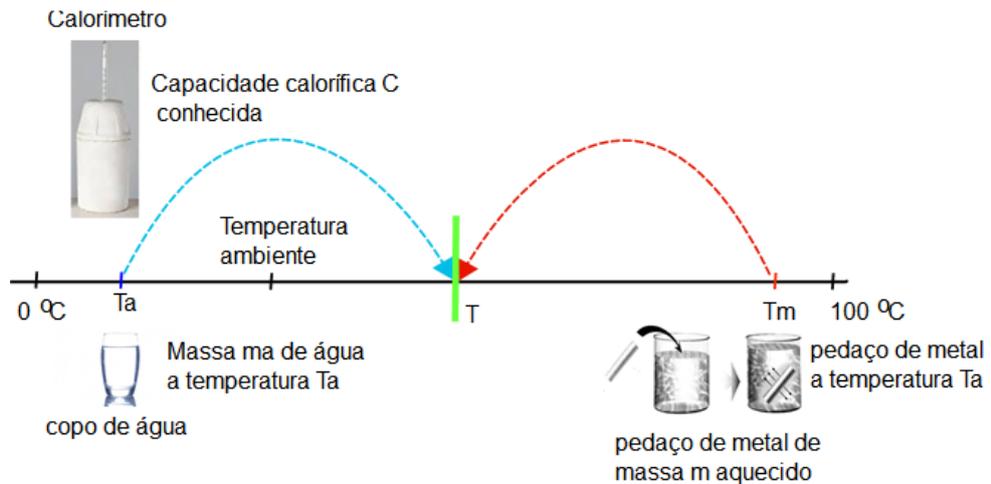


Figura 5.4 Esquema experimental para determinar o calor específico de um metal.

Fonte: Professor orientador

Após de serem realizados os passos experimentais são organizados os resultados experimentais e são discutidos as questões a seguir: (i) O que pode dizer sobre a lei zero da termodinâmica?; (ii) Qualquer tipo de metal poderia ser utilizado nesta experiência? Justifique; (iii) Por que é importante agitar a água em cada processo experimental?; determine o calor específico do metal. É um resultado exato? Depois da discussão conceitual na sala de aula os alunos devem demonstrar conceitualmente seu conhecimento por meio de resultados experimentais sobre a capacidade específica do calorímetro e o calor específico de determinados materiais analisados durante o laboratório.

5.4.3 Teoria sobre termometria

O roteiro destas atividades corresponde ao plano de aula 06 proposto no início deste capítulo e para que o objetivo desta aula seja alcançado, o aluno deverá ser capaz de construir um termômetro caseiro de coluna líquida, entendendo as propriedades dos materiais que mais se adequam à finalidade proposta, tais como o coeficiente de dilatação do líquido e a condutividade térmica dos materiais a serem escolhidos. Para realizar essa atividade experimental é necessário o conhecimento de conceitos como: Termologia, escalas termométricas, leitura de um termômetro e as propriedades teóricas da termologia.

Considerando que o ser humano não tem um sentido de temperatura confiável, o desenvolvimento de termômetro cada vez mais precisa, se tornou essencial para

a ciência e para a sociedade. Atualmente verifica-se que existem diversos termômetros construídos a partir de propriedades térmicas diferentes, o termômetro de líquido ainda é muito utilizado. Nesses termômetros, o valor da grandeza termométrica é função da altura da coluna correspondente ao líquido dilatado.

Um questionamento muito comum é o seguinte: por que o volume de uma substância varia quando a sua temperatura se altera? Como resposta, pode ser dito que, ao ter a sua temperatura aumentada, as moléculas do líquido ficam mais agitadas e conseqüentemente se afastam. Diferentemente, se um corpo sofre resfriamento, as suas moléculas ficam menos agitadas e por esse motivo, o seu volume diminui. Este fenômeno, ocorre em quase todos os materiais encontrados na natureza. Uma das exceções é a água, que tem o seu volume reduzido quando a temperatura aumente de 0 para 4 °C.

A dilatação medida em um líquido, na verdade é uma dilatação aparente, pois ao sofrer aquecimento, o recipiente que contém o líquido também se dilata. Portanto, esse fator também deve ser considerado na escolha do material a ser empregado na construção do termômetro.

O contato direto do bulbo do termômetro com meio externo, aquece ou esfria o recipiente. Assim sendo, a condutibilidade térmica e a espessura da parede do bulbo farão com que o equilíbrio térmico seja alcançado em mais ou menos tempo. Portanto, um tempo reduzido para se chegar ao equilíbrio térmico, significará uma leitura mais próxima do valor real em menor tempo.

Entre os materiais indicados na Tabela 5.2, observa-se que o vidro é o de maior condutividade térmica. Portanto, nesse caso, o vidro é o mais indicado na escolha do bulbo.

Quanto mais quantidade de líquido contiver o bulbo, mais tem levará para que equilíbrio térmico entre o líquido e a parede interna do bulbo.

A transmissão de calor entre o objeto em medição e a parede do bulbo, ocorre por condução. Já a transmissão de calor no líquido ocorre por convecção.

Tabela 5.2 Condutividade térmica de materiais à 25 °C
Fonte: Oliveira (2012)

MATERIAL	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA (w/m.K)
VIDRO	0,8
POLIETILENO	≈ 0,027
POLIESTIRENO	0,006 a 0,013

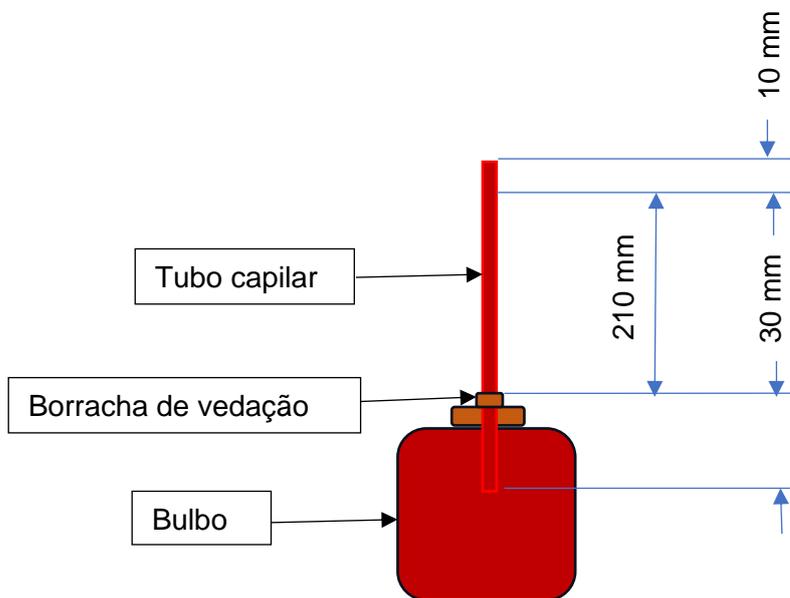


Figura 5.5 Representação esquemática de um termômetro com coluna líquida
Fonte: arquivo do autor

A expressão matemática da dilatação volumétrica de um corpo é dada pela Equação (33), na seção 3.

Admitindo que o tubo capilar pode ser constituído por um canudo usado para se beber refrigerante, e que este possui um diâmetro interno ($\emptyset = 3 \text{ mm}$), com base nas dimensões informadas na Figura 5.5, pode-se determinar o volume máximo permitido para o líquido dilatado ΔV , por meio da expressão:

$$\Delta V = h\pi \frac{\emptyset^2}{4} \dots\dots\dots(40)$$

$$\Delta V = 210\pi \frac{3^2}{4} \Rightarrow \Delta V = 1484 \text{ (mm)}^3, \text{ que equivale a aproximadamente } 1,5 \text{ mL.}$$

Para obtenção do volume que o bulbo deve comportar, é necessário se estabelecer os limites inferior e superior para a escala. Uma sugestão é de que seja adotado como limite inferior a temperatura do gelo (T_{gelo}) de modo que ($T_{gelo} \approx 0^{\circ}C$). Para o limite superior a temperatura sugerida é a temperatura recomendada para uma chocadeira ($T_{chocadeira}$) que é de aproximadamente $38^{\circ}C$.

Optou-se pela utilização do álcool etílico ($92,8^{\circ}$ INPM), pelo fato desta substância possuir um alto coeficiente de dilatação volumétrica, além de ter linearidade com a variação de temperatura. O coeficiente de dilatação volumétrica do álcool etílico escolhido é $1,1 * 10^{-3} C^{-1}$.

Dessa forma, chega-se ao limite de volume que o bulbo a ser escolhido deverá comportar, resolvendo-se a equação:

$$V = \frac{\Delta V}{\gamma(T_{chocadeira}-T_{gelo})} \Rightarrow V = \frac{1,5}{1,1*10^{-3}(38-0)} \Rightarrow V \approx 35,9 \text{ mL}$$

5.4.4 Atividade experimental de termometria

Basicamente a atividade consiste na construção de um termômetro e os passos são listados a seguir: (i) Fixar o canudo plástico à tampa, seguindo as informações contidas na Figura 4.6. É importante que o canudo seja fixado à tampa antes da montagem completa do termômetro; (ii) Preencher o bulbo com álcool etílico e corante; (iii) Fixar a tampa ao bulbo; (iv) Construir uma escala utilizando papel cartão, régua e caneta. A etapa de observação e análise do trabalho experimental valoriza a descrição da principal diferença que há entre os instrumentos caseiros e os utilizados rotineiramente. Depois disso, solicita-se aos alunos sugestões para melhorar o instrumento construído.

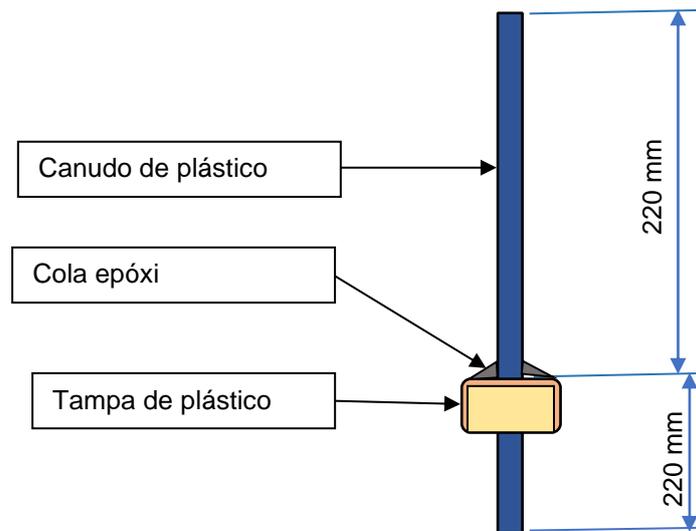


Figura 5.6 Representação esquemática do conjunto tampa-canudo
Fonte: arquivo do autor.



Figura 5.7 Representação esquemática do termômetro completo
Fonte: arquivo do autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não resta dúvida que a ciência é uma construção humana cujo objetivo principal é compreender os fenômenos que estão presentes em nosso dia a dia. Muito mais do que satisfazer interesses pessoais, sabe-se, perfeitamente, que a obtenção do domínio científico impulsiona o surgimento de novas tecnologias as quais resultam em grandes benefícios para a sociedade em geral.

Se o homem é um ser social e a ciência é uma construção humana, por conseguinte não é difícil de se imaginar que a trajetória da evolução científica é marcada por influências da sociedade, que pode ser de cunho político, religioso e cultural de cada época. Ainda sobre essa questão, no que diz respeito aos conceitos fundamentais da termodinâmica, verifica-se por meio de registros de autores aqui citados, que levou um longo período para que o entendimento do que seja temperatura e calor pudesse ser, enfim, consolidado. Certamente nesse período, ao qual consideramos ser de abstinência científica quase total, não havia valorização do pensamento científico. Muito provavelmente, no tempo em que houve pouca produtividade científica, também havia pouca inquietação e muita restrição de pensamento.

Nesse contexto, o trabalho ora apresentado busca contribuir para que os professores do nível médio, possam introduzir a iniciação do pensamento científico e, quiçá, despertem o interesse, nos alunos, pelo saber científico. Acreditamos que, ao implementar as ações propostas, os professores declinarão de aulas que buscam apenas memorização, de caráter volátil, que pouco ou quase nada agrega ao estudante e a sociedade.

Por fim, não temos a pretensão de considerar uma simples pesquisa bibliográfica, como se fosse a solução para o bom andamento do mundo científico, que é dotado de dimensões infinitas. Apenas, comungamos com o pensamento externado por diversos autores que defendem utilização da história da ciência como instrumento importante no processo ensino-aprendizagem.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Lucas Neves. Uma proposta para o ensino experimental da dilatação térmica da água. 2018.

ALMEIDA, Maria Kamylla et al. **Física térmica com ênfases curriculares em CTSA e ensino por investigação**. 2016. Dissertação de Mestrado. Brasil.

BASSALO, José Maria Filardo. A crônica do Calor: Calorimetria. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 14, n. 1, p. 29-38, 1992.

CASTIBLANCO ABRIL, Olga Lucía; NARDI, Roberto. Didática da física. **Coleção PROPG Digital (UNESP)**, 2014.

CINDRA, José L.; TEIXEIRA, Odete PB. Calor e temperatura e suas explicações por intermédio de um enfoque histórico. **Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro. Campinas: AFHIC**, 2004.

CRUZ, Carlos H. B., FRAGNATO H. L., Guia para Física Experimental, Instituto de Física Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, 1997.

DA SILVA, Bruno Gomes. SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM HISTÓRIA DA CIÊNCIA: A EVOLUÇÃO DO CONCEPTO DE CALOR.

DE FREITAS, Alysson Miranda; DE SOUZA MELO, Wilson; DE ALMEIDA SILVA, André Luís. Proposta para o Ensino de Calorimetria Utilizando a Plataforma Arduino em uma Sequência Didática Diversificada. **Revista do Professor de Física**, v. 7, n. 1, p. 20-38, 2023.

DE MELLO FORATO, Thaís Cyrino; DE ANDRADE MARTINS, Roberto; PIETROCOLA, Maurício. A HISTÓRIA E A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS: OBSTÁCULOS A SUPERAR OU CONTORNAR THE HISTORY AND THE NATURE OF SCIENCE IN THE SCIENCE TEACHING: SOLVING OR CONTERBALANCING OBSTACLES.

GASPAR, Alberto. Cinquenta anos de ensino de física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor. **XV Encontro de Físicos do norte e Nordeste**, p. 11, 1997.

GATTI, Sandra Regina Teodoro. A história da ciência e as concepções alternativas de estudantes como subsídios para o planejamento de um curso sobre atração gravitacional. 2000.

GOLDEMBERG, JOSÉ, Física Geral e Experimental, Volume I.

GONTIJO, Lucas Matheus Alves; RODRIGUES, Clóves Gonçalves. Sobre a evolução do conceito de calor e energia térmica. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 24, n. 1, p. 19-51, 2021.

KOLIOPOULOS, Dimitris; CONSTANTINO, Costas. The pendulum as presented in school science textbooks of Greece and Cyprus. **The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives**, p. 449-463, 2005

LOURENÇO, Roger Eduardo et al. Perspectivas de história e filosofia da ciência em ações educativas no ensino médio: experiências no programa de residência pedagógica. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 1, n. 1, 2020.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho.. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

MENEZES, Ana Paula Sá et al. História da Física aliada as tecnologias de informação e comunicação: Organizador Prévio como uma Estratégia Facilitadora da Aprendizagem Significativa de Física na Educação Básica. 2009.

OLIVEIRA, Cleidson Santiago de. Atividade experimental investigativa: construção do termômetro de coluna líquida. 2012.

PAGLIARINI, Cassiano Rezende. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PIRES, Denise Prazeres Lopes; AFONSO, Júlio Carlos; CHAVES, Francisco Artur Braun. A termometria nos séculos XIX e XX. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, p. 101-114, 2006.

RAFAEL, Francisco Josélio. **Elaboração e aplicação de uma estratégia de ensino sobre os conceitos de calor e de temperatura**. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RAFTOPOULOS, Athanasios; KALYFOMMATOU, Niki; CONSTANTINOU, Constantinos P. The properties and the nature of light: The study of Newton's work and the teaching of optics. **Science & Education**, v. 14, p. 649-673, 2005.

RAMOS, Luis Antônio Macedo, Física Experimental, Porto Alegre, Mercado Aberto, 1984.

RESNICK, R. , HALIDAY, D. , Fundamentos da Física, Volumes I e II, 6aEdição, Livros Técnicos Científicos, 1996

REZENDE, Flavia; LOPES, Arilise Moraes de Almeida; EGG, Jeanine Maria. Identificação de problemas do currículo, do ensino e da aprendizagem de física e de matemática a partir do discurso de professores. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 02, p. 185-196, 2004.

RINALDI, Enoque; GUERRA, Andreia. História da ciência e o uso da instrumentação: construção de um transmissor de voz como estratégia de ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 653-675, 2011.

SERWAY, R. A., Física, Volumes I e II, , 3aEdição, Livros Técnicos e Científicos, 1992.

SILVA, Wilton Pereira, CLEIDE M. D. , Tratamento de Dados Experimentais, 2aEdição, João Pessoa, Editora Universitária, 1998.

TAVARES, G. W., & Prado, A. G. (2010). Calorímetro de gelo: uma abordagem histórica e experimental para o ensino de química na graduação. *Química Nova*, 33, 1987-1990.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, G. Física para engenheiros e cientistas Vol. 1. 2009.

VANNUCCHI, Andrea Infantosi. **História e Filosofia da Ciência: da teoria para a sala de aula**. 1996. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VUOLO, Jose Henrique, Fundamentos da Teoria de Erros, 2ª Edição, Editora Edgar BLUCHER