

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO RIO GRANDE DO SUL – CAMPUS BENTO GONÇALVES  
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

**A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE CALOR NA  
PERSPECTIVA DE BACHELARD**

**FERNANDA ENDRIZZI**

**Bento Gonçalves, julho de 2016.**

**FERNANDA ENDRIZZI**

**A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE CALOR NA  
PERSPECTIVA DE BACHELARD**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto ao curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Câmpus Bento Gonçalves como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Física.

Orientador (a): Prof. Me. Josiane de Souza

**Bento Gonçalves, julho de 2016.**

FERNANDA ENDRIZZI

A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE CALOR NA PERSPECTIVA DE  
BACHELARD

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Câmpus Bento Gonçalves como parte dos requisitos à obtenção do título de Licenciada em Física.

Orientador (a): Prof. Me. Josiane de Souza

Aprovada em 11 de julho de 2016.

---

Prof. Me. Josiane de Souza – Orientadora - IFRS - Câmpus Bento Gonçalves

---

Prof. Me. Ângelo Mozart Medeiros de Oliveira – Coorientador - IFRS - Câmpus Bento Gonçalves

---

Prof. Me. Camila Riegel Debom – Coordenadora do Curso

---

Prof. Me. Maurício Henrique de Andrade – IFRS Câmpus Bento Gonçalves

---

Prof. Me. Tiago Martins da Silva Goulart - IFRS Câmpus Bento Gonçalves

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho  
à minha mãe, Leda Barili Endrizzi e ao meu pai, Irineu Endrizzi, por me incentivar a  
continuar os estudos, por acreditar em meu potencial e, principalmente, pelo exemplo de vida  
e caráter.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, Irineu e Leda, por terem me incentivado a estudar e graças a esse apoio consegui alcançar o objetivo de ser Licenciada em Física.

A minha orientadora querida, Josiane de Souza, por ter tido paciência comigo e por ter me dado bons conselhos e sabedoria para elaborar esse trabalho de conclusão de curso. E também ao meu coorientador, Ângelo Mozart de Oliveira, pela ajuda e formatação do trabalho.

Aos demais professores que tive contato, por ter contribuído para a minha formação acadêmica. Sou muito agradecida pelos conhecimentos transmitidos e com certeza esses eu terei para sempre.

A meu namorado, Willian, por fazer parte da minha vida e também por contribuir para o meu trabalho.

A todos meus amigos que a faculdade me ajudou a conhecer, pois, pode ter certeza que sem vocês não seria divertido enfrentar os desafios. Agradeço também a turma de 2011, principalmente, a Sirlene, a Paula, Andressa, Daiane, Rafael e Thiago, no qual auxiliávamos uns aos outros sempre e essa união me ajudou a concluir a graduação com êxito.

Por fim, a todas as pessoas que diretamente e indiretamente contribuíram e participaram da minha jornada acadêmica.

Obrigada!!

“O ato de conhecer se dá contra um conhecimento anterior.”

(Gaston Bachelard)

“O cientista sai de um programa e conclui seu dia de trabalho com esta palavra de fé, repetida cada dia: "Amanhã, saberei".”

(Gaston Bachelard)

“A verdade é filha da discussão, não da simpatia.”

(Gaston Bachelard)

“Não se encontra o espaço, é sempre necessário construí-lo.”

(Gaston Bachelard)

“Para ensinarmos um aluno a inventar precisamos mostrar-lhe que ele já possui a capacidade de descobrir.”

(Gaston Bachelard)

“O real não é nunca aquilo em que se poderia acreditar, mas é sempre aquilo em que deveríamos ter pensado.”

(Gaston Bachelard)

“Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta à uma pergunta”

(Gaston Bachelard)

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo apresentar e analisar a evolução histórica do conceito de calor, com o intuito de compreender como o conhecimento científico foi constituído, suas origens, o contexto de cada época, associada a aspectos de ordem filosófica, social, econômica, política e cultural. Baseada na epistemologia de Gaston Bachelard foi analisado a evolução do conceito de calor, a partir dos conceitos de *perfil epistemológico* e *obstáculos epistemológicos*, o qual são elementos recorrentes da sua epistemologia. Através da noção de perfil epistemológico, foi apresentada a evolução do conceito de calor sendo que este atravessa cinco filosofias: realismo ingênuo ou animismo, empirismo claro e positivista, racionalismo newtoniano, racionalismo completo e racionalismo dialético ou discursivo. Posteriormente, com a noção de obstáculo epistemológico, foram descritos e analisados os obstáculos que impediram e impedem o desenvolvimento do conceito de calor na História da Ciência. Com base nesta análise, conclui-se que a HFC é indispensável para a compreensão do conceito de calor no processo de ensino-aprendizagem, pois, as ideias atuais sobre calor carregam resquícios da época em que calor era considerado substância e a HFC se mostra como uma possibilidade para que seja realizada uma contextualização que abranja os motivos para que o conceito de calor ainda carregue essas concepções. Desta forma, o professor tem condições de explicar o conceito de calor atual, de forma coerente, fugindo das concepções de senso comum (linguagem cotidiana) que, muitas vezes, também são apresentadas pelos livros didáticos.

**Palavras-chave:** História e Filosofia da Ciência, Calor, Obstáculos epistemológicos, Perfil epistemológico.

## ABSTRACT

This study aimed to present and analyze the historical evolution of the concept of heat, in order to understand how scientific knowledge was constituted, its origins, the context of each period associated with aspects of philosophical, social, economic, political and cultural. Based on the epistemology of Gaston Bachelard was analyzed the evolution of the concept of heat, from the concepts of epistemological profile and epistemological obstacles, which are recurring elements of his epistemology. Through the notion of epistemological profile, was presented the evolution of heat and this concept through five philosophies: naive realism or animism, clear and positivist empiricism, Newtonian rationalism, complete rationalism and dialectical discourse or rationalism. Later, with the notion of epistemological obstacle, they were described and analyzed the obstacles that prevent and hinder the development of heat concept in the history of science. Based on this analysis, it is concluded that the HFCs is essential for understanding the heat concept in the teaching-learning process, therefore, the current ideas about heat carry remnants of the time when heat was considered substance and HFC shows how a chance for a contextualization covering the reasons why the concept of heat still carry these conceptions is performed. In this way, the teacher is able to explain the concept of current heat, consistently, running away from common sense conceptions (everyday language), which often are also presented by textbooks.

**Keywords:** History and Philosophy of Science, Heat, epistemological obstacles, epistemological profile.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da aelolópia de Heron.....	39
Figura 2: Imagem ilustrativa do termoscópio de Philo.....	39
Figura 3: Termômetro do final do século XVIII.....	44
Figura 4: A máquina para perfuração de canhão adaptado pelo Conde Rumford para suas experiências de calor.....	50
Figura 5: Aparato experimental de Joule – o equivalente mecânico do calor.....	53

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: quantitativo de artigos publicados sobre a História da Ciência no Ensino de Ensino de Física.....	14
Tabela 2: quantitativo de artigos encontrados sobre questões históricas acerca do conceito de calor.....	15

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

HFC: História e Filosofia da Ciência

NDC: Natureza da ciência

PCN: Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM: Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PCN+: Parâmetros Curriculares Nacionais Mais

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
2.1. IMPORTÂNCIA, CONTRIBUIÇÕES E DIFICULDADES DA HISTÓRIA E DA FILOSOFIA DA CIÊNCIA PARA O ENSINO DE FÍSICA.....	16
2.2. O TEMA DA HISTÓRIA DO CONCEITO DE CALOR EM PUBLICAÇÕES ....	20
<b>3. A FILOSOFIA HISTÓRICA DE GASTON BACHELARD</b> .....	24
3.1. A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD.....	24
3.2. BACHELARD E O ENSINO DE CIÊNCIAS .....	34
<b>4. CONCEITO DE CALOR EM DIFERENTES CONTEXTOS HISTÓRICOS</b>	37
4.1. AS IDEIAS PRIMITIVAS DE CALOR .....	37
4.2. O CALOR NA ANTIGUIDADE .....	37
4.3. A INTERPRETAÇÃO DA ALQUIMIA .....	40
4.4. O CONCEITO DE FLOGÍSTICO .....	42
4.5. ESTUDOS DE CALORIMETRIA.....	44
4.6. O CONCEITO DE CALÓRICO .....	45
4.7. O DILEMA DO SÉCULO XVIII.....	48
4.8. O DECLÍNIO DA TEORIA DO CALÓRICO.....	52
4.9. AFINAL, O QUE É O CALOR?.....	54
<b>5. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR NA PERSPECTIVA DE BACHELARD</b> .....	56
5.1. O PERFIL EPISTEMOLÓGICO DO CONCEITO DE CALOR .....	56
5.2. OS OBSTÁCULOS A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR .....	58
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	61
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o que se observa em sala de aula é o predomínio de uma concepção de Ciência baseada na idéia de cumulatividade, linearidade das teorias e leis e também conceitos protagonizados por “gênios” da ciência que, gradualmente, vão sendo apresentadas aos alunos, seguindo geralmente a sequência mantida pelos livros didáticos e na maioria das vezes totalmente desvinculadas do contexto histórico no qual surgiram.

Sem a devida contextualização histórica e epistemológica, o processo de ensino-aprendizagem acaba sendo dificultado.

A literatura especializada, no entanto, tenta superar essas e outras dificuldades, trazendo a ideia de que o docente deve procurar dar mais sentido aos conceitos físicos abordados em sala de aula. Nesse aspecto, a História e a Filosofia da Ciência (HFC) podem tornar-se uma forma de introduzir melhorias no ensino da Física, já que segundo Matthews elas:

[...] podem tomar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam [...](MATTHEWS, 1995, p.165).

De acordo com Martins (2006, p.21) “a História das ciências não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas.”

Nessa perspectiva, existem as orientações para o ensino de história das ciências, que no Brasil aparecem implicitamente nas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+) e nos Programas Nacionais do Livro Didático (PNLD).

As orientações das Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica citam que é frequente colocar o foco quase que exclusivamente nos conteúdos específicos das áreas em detrimento de um trabalho mais aprofundado sobre os conteúdos que serão desenvolvidos no ensino fundamental e médio. A partir disso, reforçam que o professor tem que indicar com clareza para o aluno qual a relação entre o que está aprendendo na licenciatura e o currículo que ensinará no segundo segmento do ensino fundamental e no ensino médio. Além disso, é preciso identificar, obstáculos epistemológicos, obstáculos didáticos, relação desses conteúdos com o mundo real, sua aplicação em outras disciplinas, sua inserção histórica. (BRASIL, 2001, p.21).

Os PCN para o Ensino Médio (PCNEM, 2000) atribuem alguns itens relacionados à história da Ciência, que compõem a competência “contextualização sócio-cultural”. Esses itens têm como objetivo: a) Reconhecer o sentido histórico da ciência e da tecnologia, percebendo seu papel na vida humana em diferentes épocas e na capacidade humana de transformar o meio. b) Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolveram por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade. (BRASIL, 2000, parte III, p.13).

Nos PCN+ (2002) para o Ensino Médio há uma competência relacionada à contextualização histórica e social. Nessa competência ressalta que o ensino de história da ciência possibilita ao aluno “compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.” (BRASIL, 2002, p.67).

A história da ciência também está presente no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de Física para o Ensino Médio (2014). Esse documento orienta a articulação do conhecimento, em termos de conceitos e definições, princípios e leis, modelos e teoria com outras áreas disciplinares, bem como com aspectos históricos, tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais, de modo a propiciar as aprendizagens significativas necessárias aos alunos. (PNLD-FÍSICA, 2015, p.8).

A fim de entender a influência e a contribuição da História e da Filosofia da Ciência no Ensino de Física, em especial ao conceito de calor, o presente trabalho busca analisar a evolução histórica do conceito de calor, baseada na epistemologia de Gaston Bachelard. Os conceitos da epistemologia de Bachelard utilizados para esta análise foram: perfil epistemológico e obstáculo epistemológico.

Desta forma, o presente trabalho foi dividido em seis partes, incluindo a introdução realizada. O segundo capítulo corresponde à revisão bibliográfica, com o objetivo de trazer a importância, contribuições e às dificuldades de inserir a História da Ciência no Ensino de Física. Além disso, trazer os trabalhos publicados em relação à História do conceito de calor.

O terceiro capítulo traz o referencial teórico, a epistemologia de Gaston Bachelard, subdividido em: sua epistemologia, e Bachelard e o ensino de Ciências.

No quarto capítulo é apresentada a história do conceito de calor em diferentes contextos. Esses contextos serão essenciais para a análise posterior.

No quinto capítulo é realizada uma análise sobre a evolução do conceito de calor, a partir do referencial teórico acima citado. E por fim, são apresentadas as considerações finais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para uma melhor compreensão da história da ciência no Ensino de Ciências, especificamente no Ensino de Física, realizou-se uma revisão da literatura com base neste tema delimitando-se a questão histórica do conceito de calor, nos seguintes periódicos: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Ciência & Educação, Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (EPEC), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Revista Ciências e Ideias e Revista investigações em Ensino de Ciências (IENCI). A consulta aos periódicos supracitados foi realizada no período compreendido entre 2001 a 2015. O critério para escolha das revistas baseou-se na classificação igual ou superior ao conceito B1 (ou seja, revistas avaliadas com os conceitos A1, A2 e B1) do *Qualis Capes*.

Para a coleta do material, inicialmente foram acessados os sites das revistas buscando-se artigos pelos seguintes conceitos nas palavras-chave e/ou título: *História da Ciência e calor*.

A tabela 01 apresenta o número total de trabalhos publicados sobre a História e Filosofia da Ciência, buscando trabalhos que ressaltam a sua contribuição, a importância e as dificuldades para o Ensino de Física.

Tabela 1: quantitativo de artigos publicados sobre a História da Ciência no Ensino de Física.

Nome do periódico	Ano de referência	Publicações sobre História da Ciência
Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	2007	1
	2009	1
	2010	1
	2011	2
	2012	1
	2015	1

Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)	2001	1
	2014	1
Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)	2015	1
Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (EPEC)	2007	1
Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)	2007	1
Revista Ciência e Ideias	2011	1
	2014	1
Ciência & Educação	2004	2

A tabela 2 apresenta o número total de trabalhos encontrados acerca do tema calor.

Tabela 2: quantitativo de artigos encontrados sobre questões históricas acerca do conceito de calor.

Nome do periódico	Ano de referência	Publicações sobre questões históricas acerca do tema calor
-------------------	-------------------	--



Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	2012	1
	2013	1
	2008	1
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)	2001	1

## 2.1. IMPORTÂNCIA, CONTRIBUIÇÕES E DIFICULDADES DA HISTÓRIA E DA FILOSOFIA DA CIÊNCIA PARA O ENSINO DE FÍSICA

A Ciência é vista, por muitos pesquisadores, como um processo de produção de conhecimento e uma atividade humana, histórica, associada a aspectos de ordem social, econômica, política e cultural. Essa ideia é muito enfatizada na revisão da literatura a seguir.

Tendo em vista a convergência de normas da historiografia, da epistemologia e da didática da ciência para a construção dos saberes escolares voltados à escola básica, Forato, Pietrocola e Martins R.A. (2011) defendem que evitar o uso da pseudo-história, ou mesmo possuir certa fundamentação teórica para problematizá-la, representa, prioritariamente, um compromisso com a formação do aluno. Além disso, defendem que conhecer alguns pressupostos básicos da historiografia pode auxiliar nos usos da HFC no ensino de ciência, contribuindo para uma leitura mais crítica das versões históricas presentes no ensino de ciências.

Com o objetivo de investigar a influência dos PCNEM acerca do uso da abordagem histórica na prática concreta de sala de aula, Pena e Ribeiro (2009) consideram que a abordagem ainda não foi traduzida, de forma significativa, em termos de experiências didáticas.

Nessa perspectiva, podemos concluir que não adianta propor estratégias para introduzir a HFC no Ensino Médio se o professor não tiver uma formação epistemológica adequada. Outra questão é que um envolvimento apenas superficial do professor com este

tema não garante uma boa compreensão e muito menos que esse venha a realizar atividades de forma diferente da tradicional. Portanto, a história e a filosofia da ciência na formação de professores têm implicações diretas na prática em sala de aula, podendo contribuir para um ensino de ciências mais crítico e dinâmico.

Considerando a necessidade de incorporação de elementos históricos e filosóficos no ensino médio, Martins A.F.P. (2007) ressalta que não basta ter disciplinas de HFC nas licenciaturas, é preciso refletir sobre como fazer. Os professores acreditam que o trabalho na direção de um conhecimento pedagógico do conteúdo contribui para problematizar visões que consideramos ingênuas acerca do uso da HFC para fins didáticos.

Almeida (2004) discute as noções de discurso científico e interdiscurso, e conclui que a compreensão de discursos referentes à ciência poderia ser facilitada pela narrativa histórica.

Referente às contribuições da História e Filosofia da Ciência para o ensino de Física, Batista (2004) afirma que aprender Física implica aspectos que podem ser difíceis para os alunos, como: abstração, interpretação e reflexão. Para ele, haveria paralelos entre a História e Filosofia da Ciência e as estruturas cognitivas e concepções prévias dos estudantes. Teixeira, El-Hani e Freire Jr. (2001) concluem que apesar de algumas noções profundamente enraizadas na visão epistemológica dos alunos a HFC apresenta resultados significativos e favoráveis sobre as concepções que os estudantes possuem sobre a natureza da ciência.

O trabalho de Matthews (1995, p.172-173) assevera que a história da ciência contribui para o seu ensino porque: (1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência como a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia científicista; e, finalmente, (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.

Vale destacar uma excelente colocação:

Os que defendem HFS tanto no ensino de ciências como no treinamento de professores, de uma certa forma, advogam em favor de uma abordagem contextualista, isto é, uma educação em ciências, onde estas sejam ensinadas em seus diversos contextos: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico; o que não deixa de ser um redimensionamento do velho argumento de que o ensino de ciências deveria ser, simultaneamente, em e sobre ciências. (MATTEWS, 1995, p. 166).

Peduzzi (p.17-19, 2001) elenca argumentos favoráveis ao uso da história da ciência. Segundo esse autor, a história e a filosofia da ciência/física podem ser utilizadas para:

- explorar o debate de temas polêmicos, como a questão da cumulatividade ou não do conhecimento científico, a luta por prioridade na estruturação de conhecimentos, etc.;
- apresentar a ciência e sua história como parte integrante do patrimônio cultural da humanidade.
- lidar com dificuldades conceituais dos estudantes e, particularmente, com a problemática das concepções alternativas, à luz de um ensino construtivista.
- propiciar o aprendizado significativo de conceitos e de equações que o utilitarismo do ensino tradicional acaba transformando em meras relações matemáticas que servem à resolução de problemas;
- mostrar as limitações das bases epistemológicas de um ensino que identifica o método científico pelo esquema OHERIC (Observação, Hipótese, Experiência, Resultados, Interpretação e Conclusão);
- tornar as aulas de Física mais desafiadoras e reflexivas, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico, da argumentação fundamentada;
- levar o aluno a se interessar mais pelo aprendizado da Física;
- atenuar a compartimentalização do conhecimento científico em disciplinas, na estrutura curricular.

A fim de avaliar a inserção da HFC no ensino de Física, Monteiro e Martins (2015) aplicam uma sequência didática a partir de dois textos históricos com o objetivo de apresentar, de maneira histórica, a evolução do conceito de inércia. Eles consideram que a HFC parece haver contribuído para a compreensão do conceito de inércia por parte dos alunos. Silva (2011) observou que a sua estratégia didática proporcionou a humanização do ambiente escolar, o trabalho em grupo, o diálogo entre os estudantes, a socialização das concepções alternativas referentes aos assuntos estudados, a problematização de questões relativas à Natureza da Ciência, a argumentação, o trabalho com hipóteses, a comunicação em Física e, por fim, a aprendizagem de conceitos e temas científicos. Rosa e Martins (2007) apontam para a necessidade de pensar também na formação continuada de docentes universitários ligados à formação inicial de professores de Física, particularmente no que se refere às discussões em História e Filosofia da Ciência, ou seja, a HFC deve ser utilizada e estudada em todos os níveis de ensino, desde o fundamental até a pós-graduação. Silva (2014) assinala que, na matriz curricular do curso de uma instituição pública, existem focos de discussão sobre a inserção da História e Filosofia da Ciência, na sala de aula, nas ementas de algumas

disciplinas. Porém, elas não são objetos de discussão, ocasionando tanto a falta de conhecimento dos alunos sobre o seu papel na sala de aula como possibilidades de inseri-las de forma adequada. Além disso, Silva (2014) coloca que as possíveis dificuldades de inserir a HFC na sala de aula são: o assunto não é exigido no Enem e vestibulares, falta de tempo nas aulas de Física, formação docente inadequada, falta de material didático relacionado à HFC, questões metodológicas - dificuldade na elaboração de aulas e quebra das aulas tradicionais - as aulas de Física já possuem um padrão. Hülsendeger (2007) faz uma reflexão crítica para analisar como a História da Ciência podia ser utilizada no ensino da Física para favorecer a aprendizagem dos conceitos estudados na Termodinâmica. O autor conclui que a utilização da História da Ciência contribui significativamente para melhorar a compreensão dos conceitos abordados na Termodinâmica, tornando-se, então, uma ferramenta importante no entendimento dos fenômenos estudados na Física.

Diante desses resultados, surge a necessidade de introdução e discussão com os futuros professores sobre a História e Filosofia da Ciência, a Historiografia da Ciência e também de aspectos relacionados à epistemologia da Ciência para que os professores tornem-se críticos e aptos a preparar uma aula e usá-la de forma adequada.

Como estratégia de inserir a HFC no ensino de Física, Peduzzi, Tenfen e Cordeiro (2012) descrevem cinco animações em *flash* e discutem algumas de suas potencialidades educacionais, como materiais potencialmente significativos. Os autores colocam que, teoricamente, elas têm o potencial de promover a aprendizagem pela resolução de problemas quando, ao fornecer ao aluno uma introdução à temática mais generalizada dos segmentos da disciplina, utilizando novas representações visuais, propõem inúmeros questionamentos de caráter histórico-epistemológico que visam suscitar a inquietação, a reflexão e o debate, próprios à forma como a disciplina é pensada. Rinaldi e Guerra (2011) indicam que o conhecimento e a manipulação, pelos alunos, de aparatos experimentais históricos pode ser um caminho para trazer às aulas de Física discussões em torno do processo de construção da Ciência e da Tecnologia e, assim, diminuir o distanciamento entre o ensino de Física e a tecnologia. Medina e Braga (2010) apresentam uma experiência didática onde às relações entre Física e Arte (teatro) se apresenta através da História da Ciência. Os resultados apresentaram-se de acordo com as competências gerais, habilidades e o letramento, defendidos pela nova educação exigida para os alunos do século XXI. Além disso, os autores enfatizam que a Arte, no caso o teatro, é tida como entretenimento e não tem a necessidade de dar explicações ou de ser fiel a realidade. Dessa forma, o teatro científico deve ser encarado

como uma possibilidade de ampliar e cativar o grande público, além de constituir uma agradável ferramenta de ensino.

Schirmer e Sauerwein (2014) salientam que apesar da inserção de História e Filosofia da Ciência (HFC) no Ensino de Ciências tem ganhado significativa atenção por parte das orientações governamentais e também dos pesquisadores da área, existem grandes dificuldades para levar este tema para a sala de aula, principalmente em relação a materiais didáticos adequados. Os resultados mostraram que os recursos mais utilizados são textos, mas há também imagens, poesias, contos, discussão de filmes e peças de teatro. No entanto, a maioria dos trabalhos não apresenta uma avaliação sobre a utilização desses recursos nas propostas implementadas.

O trabalho acima relatado destaca que a maioria dos artigos não apresentam explicitamente a função didática atribuída aos textos. “Textos por si só não constituem materiais totalmente adequados para a sala de aula, é preciso atribuir-lhes funções didáticas, isto é, estabelecer o que se almeja ao escolhê-lo no trabalho docente junto aos alunos” (Schirmer e Sauerwein, 2014). É nessa perspectiva que as pesquisas poderiam e necessitariam contribuir mais na medida em que os textos utilizados em aula fossem avaliados quanto a sua adequação na função didática atribuída no processo de ensino e aprendizagem de ciências. Desta forma, iria contribuir de forma considerável para quem deseja trabalhar com esses recursos em sala de aula.

Com base na revisão bibliográfica acima ilustrada, constata-se que a história e a filosofia da ciência podem propiciar contribuições significativas na perspectiva de reverter às interpretações equivocadas do trabalho científico presentes no ensino de ciências, no caminho de uma visão crítica e dinâmica da Ciência. Além disso, o ensino da Física não deve ignorar os avanços e os contrastes históricos que deram origem às ideias científicas atuais.

## 2.2. O TEMA DA HISTÓRIA DO CONCEITO DE CALOR EM PUBLICAÇÕES

Um conceito fundamental na Termodinâmica é o conceito de calor. Pode-se dizer que é um conceito difícil de explicar e também difícil de aprender. Isso se deve principalmente porque os professores têm apenas como referência os livros didáticos e neles estão contidos princípios inadequados que confundem a cabeça do aluno e acabam por fortalecer ainda mais as concepções espontâneas. (SILVA, LABURÚ E NARDI, 2008).

Além dos livros didáticos trazerem princípios errôneos, não se percebe neles, uma preocupação em relacionar a evolução histórica do conceito de calor com a ideia de calor aceita atualmente.

Pensando em esclarecer algumas razões que levam os alunos a entendimentos confusos sobre conceito de calor, Silva, Laburú e Nardi (2008) mostram que não é confortável falar em produção de calor nem tão pouco afirmar que trabalho converte-se em calor.

Os autores consideram que algumas definições do conceito de calor devem ser retirados de livros didáticos, por exemplo: a definição que explica calor como energia e a definição de calor como transferência de energia.

Para compreendermos o conceito de calor, os autores utilizam uma analogia (2008, p.389-390), com os termos calor, trabalho e energia.

Um certo fazendeiro possui uma lagoa que é abastecida de água por meio de um arroio e escoada por outro. A lagoa também recebe água da chuva ocasionalmente e perde água por evaporação, que se pode considerar como chuva negativa. Nessa analogia, a lagoa é o sistema, a água dela é a energia interna, a água transferida pelos arroios é o trabalho, e a água transferida como chuva é calor. É preciso notar que nenhum exame da lagoa a qualquer hora pode indicar quanto veio por via da chuva (calor). O termo chuva (calor) só se refere a um método de transferência de água. Supondo que o dono da lagoa deseja saber a quantia de água que é transferida para a lagoa, ele pode obter a quantidade de água que dela entra e sai ao medir os fluxos dos arroios de entrada e saída. Ele também pode lançar um encerado de parede impermeável sobre a lagoa e medir a quantidade de água por meio da chuva. Se ele quiser represar uma quantidade de água por arroio e outra por chuva, ele pode avaliar o nível de água de sua lagoa por uma leitura numa vara vertical calibrada que indica o conteúdo total de água (energia interna). Assim, admitindo processos no sistema (lagoa) que tenha paredes adiabáticas (caso em que se considera a lagoa com paredes impermeáveis), o fazendeiro pode medir o conteúdo total de água de qualquer estado de sua lagoa. Ele pode remover o encerado e permitir que a chuva, como também a água do arroio, abasteça a lagoa. Se lhe pedem que avalie a quantia de chuva que entra em sua lagoa durante um dia particular, ele simplesmente procede lendo a diferença do conteúdo de água da vara vertical e disto ele deduz do fluxo total de água que então possuía registrado. A diferença é uma medida quantitativa da chuva, ou melhor, da água da chuva.

A partir dessa analogia, os autores pretendem mostrar que o arroio (trabalho) e a chuva (calor) podem ser entendidos como formas de transferir água e não a água (energia), embora se diga que a água transferida pelos arroios é o trabalho, e que aquela água transferida pela chuva seja calor. Portanto, deve-se ter em mente que calor é, antes, uma “forma de transferir energia e não a energia”, embora a associação de calor como energia seja feita quando essa energia é transferida entre um sistema e sua vizinhança na condição de diferença de temperatura.

Silva, Forato e Gomes (2013), com objetivos epistemológicos, pretendem oferecer exemplos históricos que permitam problematizar algumas das concepções deformadas sobre

as ciências, presentes no ambiente educacional, basicamente concepções empírico-indutivistas ingênuas e atóricas, ahistóricas, dogmáticas, elitistas, exclusivamente analíticas, acumulativas e lineares dos processos históricos, protagonizados por *insights* individuais de grandes gênios.

Silva, Forato e Gomes (p.531, 2013) concluem que:

Entre a Antiguidade e o século XVIII, várias interpretações foram dadas para a natureza do calor. A visão de mundo de cada época e cultura influenciava não apenas a forma como os fenômenos eram observados, em seus aspectos metodológicos, mas também guiavam a sua interpretação, influenciando as concepções sobre calor e causas da variação da temperatura.

Gomes (2012) analisa historicamente o surgimento da teoria do calórico, de seu poder explicativo e de seu declínio. Ao contrário do que muitos textos divulgam, o autor mostra que Joseph Black não foi o primeiro a pesquisar o calor como substância e que os experimentos de Benjamin Thompson (Conde Rumford) não foram cruciais para o abandono dessa teoria. Gomes (2012) afirma que o poder explicativo do calórico foi evidenciado por análises de trechos do livro de divulgação da ciência de autoria de Janet Marcet. O conhecimento desses fatos ajudou a compreender melhor a origem de muitos termos que utilizamos no estudo da calorimetria, além de alertar professores e alunos quanto aos erros de afirmações históricas presentes nos textos didáticos.

Referente a esses erros encontrados em livros didáticos, Gomes (2012) analisou textos de alguns livros didáticos de Física, onde encontram expressões que eram corriqueiras nos textos dos antigos adeptos da teoria substancial do calor, tais como: calor "cedido", "absorvido", "recebido", "ganho", "perdido", "liberado", "transferência" e "trocas de calor". Essas expressões dão a impressão que calor é algo que pode ser transportado de um lado para outro e se pode ser "transferido" é que está retido em um corpo ou sistema. Esta é uma concepção errada do que realmente é o conceito de calor e dificulta a aprendizagem desse conceito por parte dos alunos e também por parte dos professores.

Outro aspecto que o autor destaca é que dos oito livros analisados seis apresentam um breve resumo histórico da evolução do conceito de calor, além de todos alertarem, que o calor não pode ser interpretado como algo contido nos corpos. Porém, os autores dos livros didáticos examinados deixam bem claro que não assimilaram o verdadeiro conceito de calor.

Amaral e Mortimer (2001) discutem uma proposta de perfil conceitual (realista, animista, substancialista, empírica e racionalista) para o calor. Além disso, debatem neste trabalho as concepções espontâneas que os estudantes apresentam sobre o calor, a história do

calor e as dificuldades de aprendizagem para o conceito de calor, bem como dificuldades de aplicação de formalismos matemáticos para quantificar calor.

A revisão bibliográfica acima ilustrada apresenta as diversas interpretações do conceito de calor ao longo da História. A partir desse contexto histórico, será analisada a evolução do conceito de calor com a epistemologia histórica de Gaston Bachelard e fazer uma reflexão sobre a influência da HFC no Ensino de Física.



### 3. A FILOSOFIA HISTÓRICA DE GASTON BACHELARD

Para fundamentar este trabalho buscou-se por um referencial teórico adequado para compreender e analisar como ocorre o processo de produção do conhecimento científico e como ocorre a assimilação do conhecimento pelos seres humanos. Para este estudo, tomou-se como referência a filosofia histórica de Gaston Bachelard (1884-1962), onde os conceitos de “ruptura”, “descontinuidades” e “obstáculo epistemológico” são elementos recorrentes da sua epistemologia.

O que levou a escolha da epistemologia de Bachelard foi que além de epistemólogo e filósofo, ele trabalhou como professor ministrando aulas de Ciências e Filosofia. Desta forma, sua epistemologia não se restringe apenas ao universo científico, mas também está presente em questões educacionais. Logo, Bachelard tem a experiência do ato de ensinar.

#### 3.1. A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD

Segundo Lopes (1996), Gaston Bachelard nasceu em 27 de junho de 1884, na França campesina, e morreu em 16 de outubro de 1962, na Paris cosmopolita e industrializada. Vivenciou a ruptura entre o século XIX e o século XX, entre o campo e a cidade, e a vivência junto às ciências, expressa em sua obra epistemológica. Teve uma vida marcada por mudanças bruscas de trajetória.

Gaston Bachelard (1884-1962) produziu uma obra que pode ser classificada em duas: obra *diurna* e obra *noturna*. A obra *diurna* é referente à epistemologia e a história da ciência. A obra *noturna* é pelos trabalhos no campo da poesia. Para este estudo me deterei em sua obra *diurna*.

Sua obra *diurna* ou, em outras palavras, sua epistemologia surge em consonância com as grandes revoluções científicas do século XX, como a teoria da relatividade generalizada e a física quântica. Bachelard (1978a) marca os campos da Matemática, da Física, da Química não apenas como um avanço, mas ele instala um “novo espírito científico” que parte de novos pressupostos epistemológicos, onde o conhecimento científico é mais do que uma simples descoberta: é antes criação.

Bachelard (1996) afirma que o pensamento científico seria explicado em três diferentes etapas históricas: o estado pré-científico, que compreende a Antiguidade Clássica

passando pelo século do renascimento até o século XVIII; o estado científico que vai do fim do século XVIII e se estende por todo o século XIX e início do século XX; e o novo espírito científico, a partir das publicações de Einstein, em 1905 até os dias de hoje, onde se inicia a ciência contemporânea, no qual o espírito científico é totalmente diferente do estado científico anterior.

Em sua formação individual (Bachelard, 1996), o espírito científico passaria necessariamente por três estados: o estado concreto, o estado concreto-abstrato e o estado abstrato. O autor afirma que sobre qualquer questão ou qualquer fenômeno, é preciso passar primeiro das primeiras imagens para a forma geométrica e, da forma geométrica para a forma abstrata, ou seja, (1996, p.13), para o espírito científico, “a abstração é um dever”, “o dever científico”, “a posse enfim purificada do pensamento do mundo”. Esses estados de espírito científicos são a base das ideias de caracterização do perfil epistemológico que será abordado adiante.

Segundo Bachelard (1996, p. 10) ninguém pode atribuir-se o espírito científico enquanto não estiver seguro, de “reconstruir todo o próprio saber”, sendo que “só os eixos racionais permitem essa reconstrução”. Para ele, a ciência contemporânea é uma construção racional, sempre em sentido a maior abstração, maior complexidade. É o que veremos com a noção de perfil epistemológico.

Em sua obra “A Filosofia do Não” (1978a), Bachelard exprime a filosofia do novo espírito científico, ele critica a filosofia tradicional e os que são contra a metafísica. Segundo o autor:

Com efeito, os cientistas consideram inútil uma preparação metafísica; declaram aceitar, em primeiro lugar, as lições da experiência se trabalham nas ciências experimentais, ou os princípios da evidência racional se trabalham nas ciências matemáticas. Para eles, a hora da filosofia só chega depois do trabalho efetivo; concebem pois, a filosofia das ciências como um resumo dos resultados gerais do pensamento científico, como uma coleção de fatos importantes. Dado que a ciência está sempre inacabada, a filosofia dos cientistas permanece sempre mais ou menos eclética, sempre aberta, sempre precária. Mesmo se os resultados positivos permanecerem, em alguns aspectos, deficientemente coordenados, estes resultados podem ser assim transmitidos, como estados do espírito científico, em detrimento da unidade que caracteriza o pensamento filosófico. Para o cientista, a filosofia da ciência está ainda no reino dos fatos. [...] o filósofo pede apenas à ciência exemplos para provar a atividade harmoniosa das funções espirituais, mas pensa ter sem a ciência, antes da ciência, o poder de analisar esta atividade harmoniosa. [...] o filósofo pensa que a filosofia das ciências tem por missão articular os princípios das ciências com os princípios de um pensamento puro, desinteressado dos problemas da aplicação efetiva. Para o filósofo, a filosofia da ciência nunca está totalmente no reino dos fatos. (BACHELARD, 1978, p. I prefácio)

Em outras palavras, Bachelard (1978a, p.21) diz que “Um físico só conhece verdadeiramente uma realidade quando a realizou, quando deste modo é senhor do eterno recomeço das coisas e quando constitui nele um retorno eterno da razão. [...] É preciso forçar a natureza a ir tão longe quanto o nosso espírito”.

A “filosofia do não” que Bachelard introduziu na sua epistemologia diz que nós só conhecemos quando nos damos contra a um conhecimento anterior, retificando o que se achava que era verdadeiro, ou seja, dizemos não para esse conhecimento. Mas a recusa não é total, esse pensador defende uma atitude de conciliação com o diverso. Segundo Lopes (1996, p.267) “conciliar não é aceitar qualquer teoria como válida, mas definir muito precisamente o campo de validade e aplicação de determinada teoria”.

Dessa forma, Bachelard (1978a) coloca em evidência o “erro”, a “retificação” na construção do conhecimento. Nesse caso, o erro se torna algo positivo, pois aprendemos com ele e a “verdade” se modifica, ou seja, não existe a verdade, mas as verdades.

Na sua obra “O novo espírito científico” Bachelard (1978b) fala da complexidade essencial da filosofia científica. Para ele, a cultura científica contemporânea segue fatalmente uma metafísica. Esta segue, não exatamente uma, mas em duas metafísicas e essas são contraditórias. Essas duas filosofias contrárias são o racionalismo e o realismo. “O novo espírito científico” atua numa dialética entre a teoria e a experiência.

Bachelard cita o que chama de postulado da filosofia científica:

A ciência é um produto do espírito humano, produto conforme às leis de nosso pensamento e adaptado ao mundo exterior. Oferece, portanto dois aspectos, um subjetivo e outro objetivo, ambos igualmente necessários, visto ser impossível mudar qualquer coisa tanto nas leis do espírito como nas do Mundo. (BACHELARD, 1978, p.91).

Nessa perspectiva, Bachelard diz que “a ciência cria com efeito uma filosofia”. Assim, o filósofo tem que respeitar que todo o pensamento científico deve ser interpretado ao mesmo tempo na linguagem realista e na linguagem racionalista. Com efeito, um deles vence dando razão ao outro, conforme Bachelard:

O empirismo precisa de ser compreendido; o racionalismo precisa de ser aplicado. Um empirismo sem leis claras, sem leis coordenadas, sem leis dedutivas não pode ser pensado nem ensinado; um racionalismo sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata não pode convencer plenamente. (BACHELARD, 1978, p. II, prefácio).

Na ciência contemporânea, o “vetor epistemológico” para Bachelard segue do racional para o real e não, ao contrário, da realidade para o geral, como era na antiga epistemologia. O

pensamento científico é essencialmente realizante. É no sentido do racionalismo, na maior complexidade que é caracterizada a ciência física contemporânea.

Referente às filosofias das ciências físicas, Bachelard destaca a realização do racional na experiência física. Trata-se de um realismo feito da razão realizada, da razão experimentada, bem diferente do realismo filosófico tradicional. A experiência científica é, nesse caso, uma razão confirmada. A teoria é tão importante quanto à experiência. Podemos citar como exemplo, a Teoria da Relatividade Geral de Einstein (1915), onde Einstein lança a idéia (teoria) de que a matéria curva o espaço e o tempo à sua volta. A confirmação desta teoria não foi de imediato, mas nem por isso deixou de ser válida. A previsão de Einstein foi confirmada com todas as observações e experimentos até o presente momento. A última confirmação da Teoria da relatividade geral foi o que Einstein havia previsto: a existência de ondas gravitacionais. A detecção dessas ondas gravitacionais ajudou a confirmar a teoria de Einstein, mas também ajudará a compreender o universo em que vivemos.

Desse modo, o pensamento científico é metafisicamente indutivo, a observação imediata é um simples pretexto do pensamento científico e não mais um objeto de conhecimento. Ao invés de dizer “por que” a descrição, deverá ser “por que não”.

Uma novidade do espírito científico contemporâneo para Bachelard é a epistemologia não-cartesiana. Nessa epistemologia, ele critica o método cartesiano. Esse método foi estabelecido por Descartes (1596-1650), onde aquilo que é verdadeiro, ou aquilo só existe se excluir toda a possibilidade de dúvida. Perante tudo que já foi explanado, percebe-se que esta epistemologia é totalmente diferente da Epistemologia não-cartesiana de Bachelard. Conforme Bachelard, os conceitos e os métodos, são uma função do domínio da experiência, todo pensamento científico deve mudar diante de uma experiência nova, desse modo, um discurso sobre o método científico será sempre um discurso de circunstância. Enfim, não existe um único método e com isso não descreverá uma constituição definitiva do espírito científico.

Bachelard propõe uma ruptura com o pensamento objetivo de Descartes. Ele afirma que a base do pensamento objetivo é estreito demais para explicar os fenômenos físicos. Para ele, “o método cartesiano é redutivo, não indutivo” (p. 159). Essa redução entrava o desenvolvimento extensivo do pensamento objetivo. Assim, o método cartesiano não chega a complicar a experiência, essa experiência não é questionada e para Bachelard questionar (criticar) é a verdadeira função da pesquisa objetiva. Com base nesta crítica, Bachelard argumenta:

Na realidade não há fenômenos simples; o fenômeno é um tecido de relações. Não há natureza simples, nem substância simples, porque a substância é uma contextura de atributos. Não há idéia simples, porque uma idéia simples, como viu Dupréel, deve ser inserida, para ser compreendida, num sistema complexo de pensamentos e experiências. A aplicação é complicação. As idéias simples são hipóteses de trabalho, conceitos de trabalho, que deverão ser revisadas para receber seu justo papel epistemológico. As idéias simples não são a base definitiva do conhecimento; aparecerão, por conseguinte, com um outro aspecto quando forem dispostas numa perspectiva de simplificação a partir das idéias completas. (BACHELARD, 1978b, p. 164).

Além disso, no cartesianismo, Bachelard condena a doutrina das naturezas simples e absolutas. Na epistemologia de Bachelard a intuição é obtida de maneira discursiva, por esclarecimento progressivo, fazendo funcionar as noções, variando exemplos. Todas as noções de base podem ser estendidas por noções complementares. Já no cartesianismo de Descartes, acreditam na existência de elementos absolutos no mundo objetivo e também que esses elementos absolutos são conhecidos em sua totalidade e diretamente. Bachelard defende que devemos nos impor as aproximações sucessivas da experiência, sobretudo para aproximações que revelam informações desconhecidas pela experiência primeira. Não existem verdades absolutas, como já foi mencionado, a verdade é uma retificação constante.

Bachelard enfatiza o que é verdadeiro e o que pensa da experiência:

Cientificamente, pensa-se o verdadeiro como retificação histórica dum longo erro, pensa-se a experiência como retificação da ilusão comum e primeira. Toda a vida intelectual da ciência atua dialeticamente sobre esta diferencial do conhecimento, na fronteira do desconhecido. A essência mesma da reflexão é compreender que não se havia compreendido. (BACHELARD, 1978b, p. 176).

Nesse ponto de vista, Bachelard faz a diferenciação entre fenômeno e fenomenotécnica ou a distinção entre real dado e real científico. O fenômeno é o real dado, o mero evento. O real só adquire o caráter de científico se é objeto de uma fenomenotécnica. Bachelard afirma que não podemos falar de uma função monótona do real: no real científico, é necessário o diálogo da razão com a experiência para estabelecer o processo de construção racional, mediado pela técnica.

Um conceito importante que está presente na sua obra “A filosofia do não” (1978a) é a noção de perfil epistemológico, pois sem esse princípio não tem como compreender a evolução histórica de um determinado conceito científico. Nesta epistemologia, Bachelard destaca o pluralismo filosófico, pois para ele uma só filosofia é insuficiente para dar conta de um conhecimento preciso. Em outras palavras, cada filosofia fornece apenas uma parte do “espectro nocional”, e é necessário agrupar todas as filosofias para termos o “espectro nocional” completo.

Para explicar a evolução de um conceito, a ordem das filosofias segue do realismo para o racionalismo. Para Bachelard (1978a, p. 29), “esta ordem é genética”, “esta ordem mostra a própria realidade da epistemologia”, ou seja, o sentido do avanço é idêntico para todos os conceitos. Por exemplo, para entender a evolução do conceito de massa, no qual será citado posteriormente, é necessário utilizar cinco filosofias. Mas, vale destacar que nem todas as noções ou conceitos têm um espectro completo. Vão existir casos, em que não há o racionalismo, e outros em que o realismo não existe mais. Enfim, Bachelard nos ensina que o pensamento científico se faz no sentido de um racionalismo crescente, eliminando o realismo inicial e assim, aceitando as novas realidades.

Com a finalidade de compreender a noção de perfil epistemológico na filosofia de Bachelard, será analisada a evolução do conceito de massa.

De acordo com Bachelard (1978a) o conceito de “massa” atravessa cinco filosofias: realismo ingênuo ou animismo, empirismo claro e positivista, racionalismo newtoniano, racionalismo completo e racionalismo dialético ou discursivo.

Segue abaixo um breve resumo dos níveis de evolução que o conceito de massa atravessa, na ótica de Bachelard:

1º nível: é conceito animista de massa, define-se massa pela visão, ou seja, conforme Bachelard, a noção de massa é o próprio desejo de comer, “o fruto maior é o melhor”. A massa só é uma quantidade se for suficientemente grande – Realismo ingênuo;

2º nível: conceitua a noção de massa como quantidade de algo, como uma determinação precisa, ligado a utilização da balança como instrumento de medida. – Empirismo;

3º nível: Com a mecânica de Newton, a massa é definida sendo o quociente da força pela aceleração ( $m = f/a$ ). Nesse caso, se distancia da noção de elemento primitivo de uma experiência imediata e direta, ou seja, do realismo. Desta forma, massa, força e aceleração estabelecem uma relação claramente abstrata, racional. – Racionalismo clássico;

4º nível: Com a era da Relatividade, o conceito de massa é definida como dependente da velocidade. A massa é uma função da velocidade. Falar em massa de repouso é falho, pois não existe repouso absoluto. Massa absoluta não tem significado na Relatividade. A noção de massa deixa de ser definida de forma tão simples e passa para uma complicação nocional. – Racionalismo completo.

5º nível: Na mecânica de Dirac, apresenta a massa de forma dialetizada: A massa positiva, no qual era o que se sabia da massa nas quatro filosofias antecedentes e a massa negativa, um

conceito inadmissível nas filosofias anteriores. A mecânica de Dirac é desrealizada, em outras palavras, se afasta cada vez mais da realidade – Racionalismo dialético ou discursivo.

Em relação ao processo de construção da ciência e do conhecimento científico, Bachelard (1977) destaca a ruptura com o conhecimento vulgar (senso comum) e apresenta a noção de obstáculo epistemológico como princípios centrais, para compreender a pedagogia do processo da ciência. Aponta que o desenvolvimento do espírito científico ocorre através da superação destes obstáculos e também na perspectiva de rupturas e descontinuidades. Segundo o autor:

Em seu desenvolvimento contemporâneo, as ciências físicas e químicas podem ser caracterizadas epistemologicamente como domínios de pensamento que rompem nitidamente com o conhecimento vulgar. O que se opõe à verificação dessa profunda descontinuidade epistemológica é que é a “educação científica”[..]. (BACHELARD, 1977, p.16).

Na epistemologia de Bachelard, o termo “ruptura” é usado para indicar que o novo espírito científico acha-se em descontinuidade, uma ruptura com o conhecimento vulgar (senso comum), e também, na história da ciência, para caracterizar a descontinuidade entre os conceitos, a passagem de um conceito para outro, ou seja, pela contínua “retificação dos conceitos”.

Ora, o espírito científico é essencialmente uma retificação do saber, um alargamento dos quadros do conhecimento. Ele julga seu passado histórico, condenando-o. Sua estrutura é a consciência de suas faltas históricas. Cientificamente, pensa-se o verdadeiro como retificação histórica dum longo erro, pensa-se a experiência como retificação da ilusão comum e primeira. (BACHELARD, 1978b, p.176).

Por fim, Bachelard introduz o conceito de obstáculos epistemológicos e a partir desses obstáculos mostra que eles impedem o avanço do espírito científico.

O autor aborda a noção de obstáculo epistemológico mais detalhadamente em sua obra “A formação do espírito científico” (1996). Esses obstáculos epistemológicos são elementos próprios do processo de conhecimento, no qual como ele mesmo menciona, “se incrustam num conhecimento não questionado”. Como foi explanado anteriormente, o conhecer científico é dar-se contra a um conhecimento anterior, retificando, questionando o conhecimento imediato ou comum e construindo o conhecimento científico sempre junto com a razão. Bachelard coloca:

Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega à convicção de que é em termos de obstáculos epistemológicos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado. [...] O conhecimento do real é luz que sempre projeta algumas sombras. Nunca é imediato e pleno. As

revelações do real são recorrentes. O real nunca é “o que poderia se achar”, mas é sempre o que se deveria ter pensado. [...] No fundo o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo a espiritualização. [...] Quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem. Aliás, é bem velho, porque tem a idade de seus preconceitos. Aceder à ciência é rejuvenescer espiritualmente, é aceitar uma brusca contração que contradiz o passado.” (BACHELARD, 1996, p.17-18).

Nesse sentido, os obstáculos impedem o desenvolvimento do conhecimento científico. Bachelard os define como:

[...] não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos. (BACHELARD, 1996, p. 17)

Bachelard coloca a opinião num lugar de destaque, na medida em que se apresenta como o primeiro obstáculo a ser superado. Ele afirma que a ciência, tanto por sua necessidade como por princípio, opõe-se absolutamente à opinião. Além disso, Bachelard diz que a pergunta se faz necessária para o aprendizado, pois todo o conhecimento é resposta a uma pergunta. A esse respeito, ele diz:

A opinião pensa mal; não pensa: traduz necessidades em conhecimentos. Ao designar os objetos pela utilidade, ela se impede de conhecê-los. Não se pode basear nada na opinião: antes de tudo, é preciso destruí-la. Ela é o primeiro obstáculo a ser superado. [...] O espírito científico proíbe que tenhamos uma opinião sobre questões que não compreendemos, sobre questões que não sabemos formular com clareza. Em primeiro lugar, é preciso saber formular problemas. E, digam o que disserem na vida científica os problemas não se formulam de modo espontâneo. É justamente esse sentido do problema que caracteriza o verdadeiro espírito científico. Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído. (BACHELARD, 1996, p. 18).

Dentre os obstáculos epistemológicos destacados por Bachelard (1996) pode-se assinalar: a experiência primeira, o conhecimento geral, o obstáculo verbal, o conhecimento unitário e pragmático, o substancialismo, o realismo e o animismo.

Experiência primeira: a experiência primeira é uma experiência imediata do real, é colocada antes e acima da crítica. E como não é criticada, a experiência primeira não tem uma base segura. Conforme Bachelard (1996, p. 25) “essa observação primeira se apresenta repleta de imagens; é pitoresca, concreta, natural, fácil. Basta descrevê-la para se ficar encantado.” Compreende o real a partir do “dado”, é meramente um empirismo. Essa observação ou experiência imediata é dita como verdade absoluta, porém ela deve ser concebida como uma



verdade provisória, pois como afirma Bachelard (1978b, p.81) “A verdade é filha da discussão e não filha da simpatia”.

**Conhecimento geral:** O conhecimento geral é um raciocínio indutivo, ou seja, é um tipo de raciocínio ou argumento que partindo de uma série de fatos particulares obtém uma conclusão universal, a lei científica geral. Bachelard cita exemplos, como na Mecânica: todos os corpos caem; na Óptica: todos os raios luminosos se propagam em linha reta; na Biologia: todos os seres vivos são mortais. Essas leis gerais bloqueiam as ideias, porque elas respondem sem que haja perguntas, respondem globalmente. Em outras palavras, essas leis não são questionadas o que dificulta um estudo mais aprofundado, no qual pode se tornar um conhecimento muito vago. Enfim, a generalidade imobiliza o pensamento.

**Obstáculo verbal:** É uma falsa explicação obtida com a ajuda de uma palavra explicativa, nessa estranha inversão que pretende desenvolver o pensamento ao analisar um conceito, em vez de inserir um conceito particular numa síntese racional. Em outras palavras, Bachelard considera o caso em que uma única imagem ou uma única palavra, constitui toda a explicação. É associado muitas vezes, uma palavra concreta a uma palavra abstrata, por exemplo, considerar o ar como se fosse algodão. Bachelard coloca que para ser coerente, uma teoria de abstração necessita afastar-se das imagens primitivas, pois pode criar obstáculos ao aprendizado. Contudo, Bachelard, não demonstra contrário ao uso de metáforas e analogias no ensino. Ele menciona que quando a abstração estiver presente, podem-se ilustrar os esquemas racionais. Ou seja, a ilustração opera depois do conceito, acrescentando como ele mesmo discorre “um pouco de cor aos traços essenciais”.

**Conhecimento unitário e pragmático:** Segundo Bachelard, o conhecimento unitário e pragmático está diretamente ligado à explicação pela unidade da natureza e pela utilidade dos fenômenos naturais, respectivamente. As diversas atividades naturais tornam-se manifestações variadas de uma só e única Natureza, por exemplo, o que é verdadeiro para o grande deve ser verdadeiro para o pequeno, e vice-versa. Não é concebível que a experiência se contradiga, ou seja, compartimentada. No obstáculo pragmático a própria utilidade fornece uma espécie de indução muito especial que Bachelard chama de indução utilitária. Ela leva a generalizações exageradas. Além disso, a utilidade procura a explicação de todos os fenômenos. Encontrar uma utilidade é encontrar uma razão. Contudo, a psicanálise do conhecimento objetivo deve romper com as considerações pragmáticas, pois corre o risco de ser ofuscado por um interesse que não é especificamente intelectual.

**Substancialismo:** o obstáculo substancialista, como todos os obstáculos epistemológicos, é polimorfo, ou seja, que se apresenta de diversas formas. Atribui à

substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade que se manifesta como a qualidade oculta. A idéia substancialista quase sempre é ilustrada por uma simples continência. É preciso que algo contenha, que a qualidade profunda esteja contida. Para o espírito pré-científico, a substância tem um interior; ou melhor, a substância é um interior. A substancialização de uma qualidade imediata percebida numa intuição direta pode entravar os futuros progressos do pensamento científico tanto quanto a afirmação de uma qualidade oculta ou íntima, pois tal substancialização permite uma explicação breve e definitiva. Falta-lhe o percurso teórico que obriga o espírito científico a criticar a sensação.

**Realismo:** Bachelard afirma que o realismo pode, com razão, ser considerado a única filosofia inata. Para o realista, a substância de um objeto é aceita como um bem pessoal. O realista está sempre em vantagem sobre o adversário porque tem, acha ele, o real do seu lado, porque possui a riqueza do real, motivo pelo qual Bachelard assegura que todo realista é um avarento e todo avarento é realista. Essa prescrição torna-se, em seguida, uma descrição: passa do normativo para o positivo. Enfim, o axioma fundamental do realismo não provado — nada se perde, nada se cria — é uma afirmação de avarento.

**Animismo:** é uma intuição ofuscante que considera a vida como um dado claro e geral. O valor que a “intuição da vida” tem na explicação dos mais variados fenômenos, encontrando-se melhor refletido na tendência para atribuição de sentimentos e intenções a objetos inertes. A vida marca as substâncias que anima com um valor indiscutível. Quando uma substância deixa de ser animada, perde algo de essencial. A matéria que saia de um ser vivo perde propriedades importantes.

Enfim, os obstáculos citados anteriormente estão presentes no pensamento científico, e estes muitas vezes são de difícil desprendimento. Sua finalidade é analisar o desenvolvimento histórico do pensamento científico, que será delimitado, no próximo capítulo, pela análise da evolução do conceito de calor. Para isso, Bachelard (1996, p.22) menciona que deve ser feita uma escolha nos documentos coligidos pelo historiador. Deve-se julgá-los da perspectiva da razão evoluída, porque é só com as luzes atuais que podemos julgar com plenitude os erros do passado espiritual.

Segundo Lopes (1996) é através do conhecimento do passado, que percorremos o caminho da ciência, mas é a partir do presente, da atualidade da ciência, que podemos compreender o passado de maneira claramente progressiva. Desta forma, Bachelard constitui a noção de recorrência histórica: o historiador deve conhecer o presente para julgar o passado.

Mas não no sentido de ver no passado a preparação para o presente, mas sim de, a partir do presente, questionar os valores do passado e suas interpretações.

### 3.2. BACHELARD E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Conforme Bachelard (1996), a noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática educativa. Como já foi explanado anteriormente, o sujeito aprende retificando o conhecimento anterior, aquele conhecimento aprendido. A partir disso, o sujeito deve perceber que o conhecimento é uma constante crítica, uma verdade provisória e assim deve-se afastar das observações primeiras, do conhecimento comum, das opiniões não questionadas, ou seja, se afastar daquilo que se opõe ao ato de pensar, de racionalizar.

A relação obstáculo e a prática da educação estão nas suas análises filosóficas com interpretações a respeito do conhecimento científico na escola, em sua obra “A formação do espírito científico” (1996). Bachelard enfatiza:

Na educação, a noção de obstáculo pedagógico também é desconhecida. Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão. Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana. [...] Logo, toda cultura científica deve começar, como será longamente explicado, por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir. (BACHELARD, 1996, p. 23-24).

Nesse sentido, Lopes (1996) ressalta a necessidade dos professores, conhecerem as concepções prévias dos alunos (seus conhecimentos anteriores ao processo de ensino), com a colocação da problemática do obstáculo pedagógico: os obstáculos que impedem o professor de entender porque o aluno não compreende.

Além disso, Bachelard critica o ensino dogmático promovido pelos livros didáticos. Bachelard diz que os livros de Física, os mais recentes, são cuidadosamente copiados uns dos outros e fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel, que, graças à estranha persistência do programa dos exames universitários, chega a passar como natural; mas não é;

já não é natural. É uma ciência elaborada num mau laboratório, mas que traz assim mesmo a feliz marca desse laboratório. E também ressalta que há pouco espaço à história das ideias (conceitos) científicas nesses livros.

Outro fato importante é que Bachelard (1996, p.50) considera a experimentação com o intuito de chamar a atenção do aluno, pois como ele mesmo expõe é “cheia de efeitos marcantes, cheias de imagens, são falsos centros de interesse”. Para ele, “é indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. A experiência é feita para ilustrar um teorema.”

Outra crítica de Bachelard é referente à ficção científica. Ele menciona que essas ficções científicas, são verdadeiras regressões infantis, podem ser divertidas, mas nunca instrutivas. Porque o uso de imagens pitorescas provoca ao aluno uma hipótese não verificada. Nesse caso, é importante o professor discutir com seus alunos a finalidade dele estar usando esse tipo de material e explicar que essas imagens não são uma cópia fiel do mundo externo, visto que conhecer não é o mesmo que perceber o que é a realidade, mas uma construção aproximada da mesma.

Nessa perspectiva, Bachelard coloca-se contra o professor ensinar somente o resultado. Para ele a função do professor é trabalhar na formação do sujeito:

Sem dúvida, seria mais simples ensinar só o resultado. Mas o ensino dos resultados da ciência nunca é um ensino científico. Se não for explicada a linha de produção espiritual que levou ao resultado, pode-se ter a certeza de que o aluno vai associar o resultado a suas imagens mais conhecidas. É preciso "que ele compreenda". Só se consegue guardar o que se compreende. O aluno compreende do seu jeito. Já que não lhe deram as razões, ele junta ao resultado razões pessoais. (BACHELARD, 1996, p. 289).

Percebemos que o ato de ensinar possibilita ao professor refletir e avaliar aquilo que sabe. Ao ensinar, o professor consegue perceber se o seu conhecimento está sendo eficaz ou não. Mas para isso, devem existir trocas de ideias constantes entre professor e aluno, através de críticas, debates, porque isso faz parte do contexto social da escola.

Em outros termos, para que a ciência objetiva seja plenamente educadora, é preciso que seu ensino seja socialmente ativo. É um alto desprezo pela instrução o ato de instaurar, sem recíproca, a inflexível relação professor-aluno. A nosso ver, o princípio pedagógico fundamental da atitude objetiva é: Quem é ensinado deve ensinar. Quem recebe instrução e não a transmite terá um espírito formado sem dinamismo nem autocrítica. (BACHELARD, 1996, p. 300).

Para que o professor ensine, na perspectiva bachelardiana, é importante que ele rompa com o modelo tradicional de ensino. O professor tem que estimular seus alunos a romperem seus obstáculos no aprendizado dos conceitos científicos, e não deve estar impregnado de

visões passadas, como o realismo, pois como vimos anteriormente, o conhecimento científico não descreve a natureza, mas constrói novos fenômenos. Tendo em vista que para Bachelard (1978a, p.67) “o mundo em que se pensa não é o mundo em que se vive.”

## 4. CONCEITO DE CALOR EM DIFERENTES CONTEXTOS HISTÓRICOS

Desde a era do fogo, passando pela antiguidade até os dias atuais, várias interpretações foram dadas para a natureza do conceito de calor. Foram definidos nove momentos principais da história da humanidade onde esse conceito é compreendido de diferentes formas. Apresentaremos agora esses momentos.

### 4.1. AS IDEIAS PRIMITIVAS DE CALOR

As idéias mais primitivas de calor são aquelas nascidas das sensações de quente e de frio. De acordo com Silva (1995 *apud* Mortimer e Amaral, 2001) as primeiras noções de calor são advindas da origem e uso do fogo como fonte de calor. A descoberta do fogo revolucionou a vida do homem. Usado como fonte de luz e de calor, constituía-se igualmente numa arma e fonte de energia para a transformação de materiais. Dentre os filósofos naturais que se empenhavam na busca de um princípio único, Heráclito (535-470 a.C.) achava que o fogo estava na base das diversas manifestações e transformações da matéria conhecida. Para ele, a chama podia tomar todas as formas e representava a imagem da diversidade da natureza. Na teoria dos elementos, a proposta das formas geométricas, feita por Platão, apresentava o fogo como o elemento mais leve e mais móvel, correspondendo assim ao menor dos poliedros, com o poder de destruição devido às arestas agudas da sua figura.

### 4.2. O CALOR NA ANTIGUIDADE

Na Antiguidade, o enfoque das ideias era voltado para questões cosmogônicas na construção de explicações sobre o mundo natural e o seu surgimento. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Seguindo esta linha, calor está relacionado ao elemento Fogo para vários pensadores. Inicialmente, Empédocles de Agrigento (493-433 a.C), propunha que o Fogo correspondia a um dos elementos primordiais, assim como a Terra, Água e Ar, que se unem em diferentes proporções para formar todas as coisas. Esse pensador, não estava preocupado com a causa

dos fenômenos, mas sim em explicar do que o universo era formado. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Já Aristóteles (384-322 a. C.) assumiu também a ideia dos quatro elementos, porém associou a eles características como umidade e secura, quentura e frieza, além de adicionar um quinto elemento, o éter. Esse elemento seria constituinte dos corpos celestes, e a ele não é associada nenhuma característica dos quatro elementos. Dessa forma:

[...] à fumaça, por exemplo, que era constituída de Fogo e Ar, poderia ser atribuída as propriedades características destes elementos, como quentura e secura. Além disso, Aristóteles ainda associava movimentos naturais aos elementos primordiais. Para ele, Fogo e Ar possuem o movimento natural reto para cima, enquanto Terra e Água possuem movimento natural reto para baixo. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013, p. 496).

A partir dessa associação feita por Aristóteles, percebe-se que ele já buscava compreender os fenômenos da natureza, diferente de Empédocles, que se restringia a explicar a criação do Universo.

Entretanto, na mesma época, havia outras formas de pensar o Universo. Uma delas é o Atomismo. Epicuro (341-270 a.C.) defendia o atomismo de Demócrito (~460 a.C.), em que o Universo e tudo que nele existe seria constituído por minúsculas partículas de diferentes formatos, denominadas átomos, que se enganchavam uns nos outros formando toda a matéria existente e cujas diferentes combinações e formatos explicavam todos os fenômenos naturais. O calor segundo os atomistas seria produzido por átomos esféricos que se movimentariam livremente no espaço vazio entre os demais átomos. Além disso, a escola atomista “buscava explicar o mundo em termos de matéria e movimento, ao acaso, sem intervenção de seres sobrenaturais”. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Assim como as ideias de Aristóteles, o atomismo estava voltado para explicar as causas dos fenômenos. Aristóteles porém, criticava a visão atomista, referente à existência do espaço vazio entre os átomos, pois, acreditava que não existia o vazio (vácuo) absoluto. A partir disso, vários estudos foram realizados para entender se em um aparente vazio haveria uma combinação de ar com algum outro elemento.

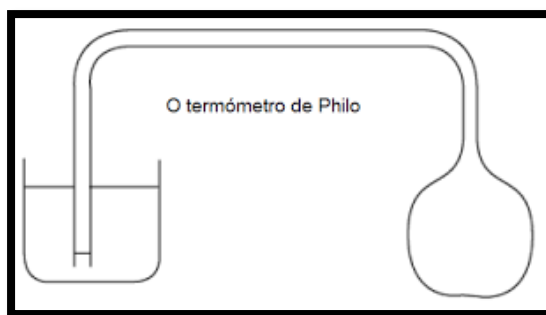
Para mostrar a inexistência do vácuo absoluto, e que o vácuo contínuo só pode ser obtido artificialmente, Heron de Alexandria (130 a.C.) propôs a *aeolípia*, que é considerada como um primeiro modelo de máquina térmica. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).



**Figura 1 - Representação da aeolípia de Heron<sup>1</sup>**

De acordo com Silva, Forato e Gomes (2013) a *aeolípia* tem a forma de um globo oco (figura 2) que gira em torno de um suporte de madeira. Quando dois tubos presos em sua superfície são preenchidos com o vapor de água, este passa para fora da esfera através de dois canos recurvados, fazendo o globo girar. A intenção desse experimento seria mostrar que a combinação de elementos pode gerar o movimento e há sempre pequenas quantidades destes em qualquer espaço onde parece haver vazio total.

Independente da natureza atribuída ao calor, outros instrumentos foram construídos baseados em fenômenos em que havia aquecimento e resfriamento, como os primeiros termoscópios. Sob influência do pensamento aristotélico, Philo de Bizâncio elaborou um termoscópio que consistia em dois recipientes ligados por um tubo (figura 3).



**Figura 2 - Imagem ilustrativa do termoscópio de Philo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Disponível em: [http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/49091/mod\\_resource/content/1/2s\\_vol2.pdf](http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/49091/mod_resource/content/1/2s_vol2.pdf). Acesso em: 22 abril 2016.

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.casadasciencias.org/dmdocuments/Calor%20e%20temperatura.pdf>. Acesso em: 22 abril 2016.



Num dos recipientes colocava-se água, e deixava-se o outro, no formato de uma esfera, vazio. A esfera era colocada exposta à luz do Sol, e quando aquecida gerava bolhas na água, pois dessa forma o Fogo seria transportado entre os recipientes através do ar que havia no tubo. Quando a esfera esfriava, a água subia pelo tubo. Com este instrumento, Philo conseguia mostrar a interação entre os quatro elementos e a transformação de um no outro, como pressupunha o pensamento aristotélico. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Utilizando o mesmo princípio de combinação dos quatro elementos Galeno (129-199) também construiu termoscópios, porém os seus termoscópios já tinham a finalidade de produzir melhorias no tratamento de doenças. Esses termoscópios indicavam “graus” de calor ao estado do paciente, pois já se conheciam fenômenos da dilatação térmica. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Conforme Silva, Forato e Gomes (2013) as concepções de calor relacionado aos quatro elementos e o pensamento atomista permaneceram até o século II.

Explicações sobre a natureza do calor fundamentadas nessas duas concepções distintas sobre a natureza da matéria, o atomismo ou os quatro elementos, costumam ser as mais conhecidas do período compreendido entre o século VI a.C. e o século II. Por um lado, a escola atomista defende o mundo formado pela combinação de diferentes átomos, movimentando-se no vazio, cujas diferenças explicam as características de cada substância. Já pensadores como Empédocles, Aristóteles, Heron, Philo e Galeno, naturalmente com distintas especificidades em suas ideias, relacionavam os fenômenos do calor ao elemento Fogo, e não aceitavam a existência de vazio na natureza, a não ser aquele artificialmente produzido. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013, p.499).

Os estudos sobre a natureza do calor não ficaram restritos à Antiguidade. Muitos pensadores deram continuidade à busca pelo entendimento das causas dos fenômenos térmicos, à essência do calor.

#### 4.3. A INTERPRETAÇÃO DA ALQUIMIA

Outro modo de interpretar o mundo foi discutido pela alquimia, cuja origem se remete a Antiguidade. A prática da alquimia esta vinculada ao trabalho da metalurgia, a arte da transformação dos metais, da Medicina, buscando a cura de todos os males, além do aprimoramento do espírito, da busca pela eternidade e da fabricação de ouro. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Segundo Silva, Forato e Gomes (2013) alguns documentos do século XV mostram uma forma de pensar e explicar as causas dos fenômenos naturais envolvendo princípios alquímicos atrelados à transformação da matéria (transmutação). Seus objetivos eram a transformação de um metal em outro e busca pela pedra filosofal. Além disso, alguns alquimistas, do período, buscavam a causa dos fenômenos, a formalização de receitas medicinais e de tratados diversos e suas compilações, que descreviam métodos para se encontrar novos elementos na natureza a partir da manipulação de substâncias.

No ambiente do Renascimento alguns fenômenos são explicados pela presença de um elemento novo, semelhante a uma substância purificadora, que recebeu diversas nomenclaturas. Essa substância foi utilizada para a transmutação da matéria e também para fins medicinais. Segundo alguns historiadores, foi Paracelsus (1493-1541) quem deu origem ao termo *alcahest* para tal substância, tratando-o como remédio para patologias no fígado, mas sem saber do que essa substância era composta. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Outros pensadores, adeptos das ideias de Paracelsus, deram novos tratamentos ao *alcahest* em seus estudos. Um deles, Jan Baptist van Helmont (1579-1644), associou o Fogo ao *alcahest*. O *alcahest* está na mesma categoria dos quatro elementos de Aristóteles, ou seja, seria um quinto elemento, ou quinta essência, já que não se misturava à substância que dissolvia. A possível associação com o elemento Fogo aparece no sentido de purificação ou capacidade de tornar a substância pura. Assim como fogo possui a virtude de limpar, o *alcahest* possui um Fogo interno que tem a propriedade de limpar o corpo das doenças: há similaridade nas ações do fogo e do *alcahest*. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

No mesmo período, havia alquimistas que alegavam que os quatro elementos de Aristóteles não eram suficientes para explicar as transformações que ocorriam nos metais e atribuíram à constituição da matéria a três propriedades filosóficas, que seriam os princípios filosóficos mercúrio, enxofre e sal. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

O princípio mercúrio era responsável pela propriedade de maleabilidade dos metais. O princípio enxofre pela cor, afinidade, peso e combustibilidade. E o princípio sal era o responsável pela união dos dois outros princípios e não se alterava no tratamento químico. Vários destes alquimistas estavam mais preocupados com a transmutação de elementos e em encontrar a pedra filosofal. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Seguindo as idéias desses alquimistas, o alemão Johann Becher (1635-1682) denominou o princípio responsável pela combustibilidade de *terra pinguis*, um tipo de combustível presente em todas as substâncias que pudessem queimar. Assim, quando uma

substância queimava, a parte correspondente à *terra pinguis* era expelida, e o que restava podia se transformar em outra substância, com proporções diferentes dos outros dois princípios. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Entretanto, tanto o *alcahest* como a *terra pinguis* não havia um processo conhecido quanto à sua preparação ou obtenção, todavia ainda foram objeto de estudo de várias pessoas durante os séculos XVII e XVIII. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Havia também quem não concordasse com nenhuma das idéias dos pensadores anteriores, este era o caso de Robert Boyle (1627-1691). Este adotava uma posição corpuscularista, fundamentado nas ideias atomistas que remetiam à Antiguidade. Entretanto, Boyle, mesmo adepto do pensamento atomista, defendia a inexistência do vácuo absoluto, atribuindo a uma matéria sutil o preenchimento desses espaços, a qual permeava tudo. A mesma forma de compreender o mundo era compartilhada por Francis Bacon (1561 - 1626) e René Descartes. Bacon considerava o calor como o movimento de pequenas partículas do corpo sob a ação do fogo. Descartes considerava que a sensação de calor estava ligada ao movimento entre as partículas, que era comunicado aos nervos. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

#### 4.4. O CONCEITO DE FLOGÍSTICO

De acordo com Silva, Forato e Gomes (2013) o século XVIII foi um período de várias mudanças em relação à forma que se fazia a ciência anteriormente. Chamado também de “século da razão”, foi neste período que se estabeleceram prioridades quanto à necessidade de sistematização das observações e a comunicação das ideias. Além disso, havia uma mudança na forma de se estudar os fenômenos naturais, proveniente, principalmente, das necessidades que haviam sido criadas com a Revolução Industrial.

O surgimento de fábricas e indústrias em considerável número gerou grande demanda por combustíveis. Assim, fazia-se necessário encontrar melhores combustíveis ou aprimorar os que existiam. Para isso, eram precisos especialistas, artesãos e também os filósofos naturais principalmente aqueles que lidavam com questões ligadas à constituição da matéria. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Essas pesquisas, estudos, experimentações demandavam investimento de capital e este capital advinha das sociedades científicas.

Estes filósofos naturais estavam ligados às Sociedades, financiadas por reis ou grupos locais com posses, nas quais eram apresentados experimentos e levantadas discussões a respeito de vários temas. São exemplos de sociedades fundadas nesse período: a *Royal Society*, na Inglaterra, criada por estudiosos; a *Académie des Sciences*, em Paris, criada por um ministro de Luís XIV; a Academia de Ciências de Berlim, na Prússia, criada e mantida pelo rei da Prússia; e a Sociedade Lunar, em Birmingham, fundada por industriais e homens da ciência como Joseph Priestley e James Watt, na década de 1760. Nestas sociedades desenvolvia-se uma nova forma de fazer ciência, com a discussão e reconhecimento entre pares, a experimentação e a observação durante reuniões, funcionando como meio de aprofundamento do conhecimento e sua divulgação (OLIOSI, 2004, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013)

Esse foi o contexto no qual surgiram duas linhas de pensamento sobre a natureza do calor. A interpretação do flogístico (flogísto) e posteriormente a do calórico.

Sob influência do pensamento alquímico, o médico alemão George Ernst Stahl (1669-1734), deu continuidade aos estudos iniciados por Becher e buscou compreender os fenômenos de combustão e calcinação, atribuindo ao princípio inflamável que os corpos possuíam o nome de flogístico (ou flogísto). Os dois fenômenos envolviam algum tipo de relação com o calor. Para Stahl, o processo de combustão com flogístico seria:

[...] seria baseado na presença de substâncias combustíveis como o carbono e o enxofre, que quando aquecidas por uma chama, produziam grande quantidade de calor. Enquanto na calcinação, o aquecimento levava à transformação da substância, que se tornaria cal. Tanto a combustão quanto a calcinação seriam devidas à presença de um princípio inflamável (flogístico), presente no fenômeno: quanto mais combustível o material, mais flogístico ele possui. Na calcinação, quem possui o flogístico é o metal inicial, enquanto que a cal, derivada no processo. Portanto, na calcinação, o produto do metal fundido seria cal mais flogístico, sendo que o segundo elemento é liberado no ar. Já as substâncias como enxofre e carbono possuíam muito flogístico, que liberado na atmosfera após a queima, ficaria no seu estado livre. (WISNIAK, 2004, p.733, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

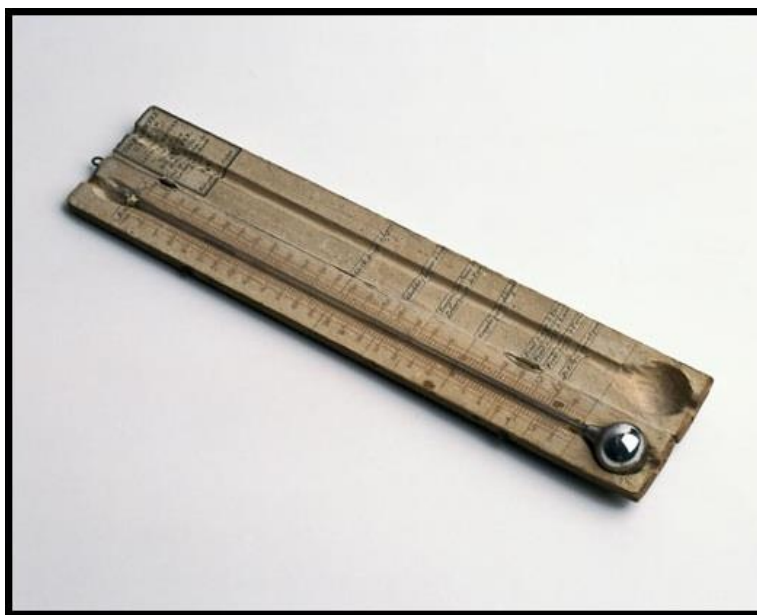
O flogístico de Stahl se constitui naquilo que cria o fogo e não pode ser criado nem destruído. Assim, nos processos de queima, o flogístico é liberado e ele passa para a atmosfera assumindo diferentes formas, como chamas, nuvens e raios. Dessa forma, o flogístico é um elemento eterno na natureza, que passa de um ente para o outro, e também por meio de reações químicas. Isto acaba explicando questões como a não ocorrência da combustão no vácuo, pois, sem ar, o flogístico não poderia ser transferido do corpo. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Entretanto, havia alguns fenômenos que a concepção de flogístico não explicava. Pois se ele era o princípio da combustibilidade, então toda vez que uma substância queima, ela perde flogístico, e como este tem massa, a substância resultante deveria ter uma massa menor, o que não ocorria no processo de calcinação. Para os adeptos do flogístico, como Joseph

Priestley (1733-1804) e Willian Watson (1715-1787), isso parecia não ser problema, já que ele poderia ser colocado na mesma categoria dos fluidos elétricos e magnéticos, ou seja, imponderáveis. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

#### 4.5. ESTUDOS DE CALORIMETRIA

Os estudos de calorimetria iniciaram no final do século XVIII, no qual diversos pensadores estavam envolvidos com o estudo da natureza e ação do calor. Os estudos de variação de temperatura de substâncias puras e de misturas, em diferentes estados de aquecimento e resfriamento, tiveram êxito graças ao aumento da precisão dos termômetros e a adoção de escalas padrão e esses estudos acabaram trazendo muitas contribuições para tentar entender a natureza do calor e explicar os fenômenos a ele envolvidos. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).



**Figura 3 - Termômetro do final do século XVIII<sup>3</sup>**

Assim foi com Joseph Black (1728-1799) e seus estudos sobre calor específico e calor latente. Para ele, a ideia de calor está vinculada a quantidade de algo.

Eu comentei formalmente que, mesmo sem a ajuda de um termômetro, podemos perceber a tendência do calor se difundir de um corpo mais quente para o próximo

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://172631.blogspot.com.br>. Acesso em 27 abril 2016.

mais frio, até que ele seja distribuído entre eles, de tal maneira que nenhum deles tome mais calor do que os demais. O calor é, então, levado a um estado de equilíbrio (BLACK, 1803 apud SILVA, FORATO e GOMES, 2013, p.511-512).

Referente à relação entre a quantidade de massa de um corpo e a quantidade de calor transferida, Black verificou através de seus experimentos que a quantidade de calor necessária (energia) para aumentar o calor (temperatura) de diferentes corpos pelo número de graus, não era diretamente proporcional à quantidade de matéria em cada um deles ou proporcional a sua densidade, mas que estava em proporções muito diferentes disso, e esta proporção é o que conhecemos hoje pelo conceito de calor específico. BLACK, 1803 apud SILVA, FORATO e GOMES, 2013, p. 512).

Percebe-se na citação acima que o termo calor refere-se tanto para calor como para temperatura, o que é muito diferente de hoje, no qual há uma definição distinta para cada termo.

Black realizou experimentos com misturas de água e mercúrio, em diferentes proporções e temperaturas, Black conclui sobre a capacidade para a matéria do calor e sobre sua distribuição.

Devemos, assim, concluir que diferentes corpos, apesar de possuírem o mesmo tamanho, ou inclusive, o mesmo peso, quando são reduzidos à mesma temperatura ou grau de calor, qualquer que seja, podem conter quantidades da matéria do calor muito diferentes; cujas diferentes quantidades são necessárias para trazê-los a este nível, ou equilíbrio, um com o outro. BLACK, 1803 apud SILVA, FORATO e GOMES, 2013, p. 512).

A mesma ideia acerca da matéria do calor aparece quando Black trata do que hoje entendemos como calor sensível (aquele que se percebe pelas mudanças no termômetro) e o calor latente. Black não denomina, explicitamente, se tal matéria do calor corresponde ao flogístico, mas está claro que se trata de um fluido distinto, com capacidade de penetrar a matéria. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

#### 4.6. O CONCEITO DE CALÓRICO

Segundo Silva, Forato e Gomes (2013) a hipótese do flogístico demorou a chegar à França. Em 1736, a Academia Real das Ciências de Paris divulgou um prêmio para aquele

que apresentasse a melhor explicação para a “natureza e propagação do calor”. Os trabalhos enviados apresentavam tanto a visão do elemento primordial, assemelhando-se as ideias de Aristóteles como também uma visão do calor relacionado ao movimento entre a matéria sutil, com influência da Mecânica de Newton. É neste contexto que vive Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794).

Lavoisier teve contato com as idéias do flogístico através de Guillaume-François Rouelle (1703-1770), um dos divulgadores da obra de Stahl na França e foi um dos professores de Lavoisier na universidade. Por meio das traduções realizadas por sua esposa, Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), Lavoisier também conhecia estudos que haviam sido realizados na Inglaterra. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Conforme mencionados anteriormente, Black havia desenvolvido um calorímetro. Lavoisier realizou aperfeiçoamentos neste instrumento e dedicou-se aos estudos de ares (gases) e decomposição de substâncias. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Além disso, Lavoisier reproduziu várias experiências de Priestley, Cavendish e outros, até chegar às suas conclusões quanto aos fenômenos da calcinação e combustão. Assim, as experiências levaram Lavoisier a concluir que a combustão era uma reação química que se dava não pela presença de uma substância na matéria submetida à queima, mas na “atmosfera” em que o fenômeno ocorria, ou seja, seria um elemento presente no ar, elemento que ele denominou *calórico*. Portanto, a matéria do fogo está no ar ambiente em que se realiza a combustão ou calcinação, e não na substância queimada, como era o caso do flogístico. Isso explicava o aumento do peso de alguns materiais, já que ocorre uma combinação com o ar puro. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

A menção que Lavoisier faz ao “ar puro” é referente ao oxigênio, “ar” que ele havia encontrado em seus experimentos anteriores. Este é um dos pontos de discordância com as idéias de Priestley. Para Priestley o “ar” é como substância elementar, considerou ter encontrado um “ar deflogisticado”, sem o princípio do flogístico; enquanto Lavoisier entendeu haver um elemento presente no ar, ou seja, o ar não seria uma substância elementar, e sim uma mistura. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

As ideias em oposição ao flogístico estão discutidas em três Memórias apresentadas à Academia por Lavoisier, no período entre 1777 e 1785. Nelas, o estudioso indica os principais

fatos que colocariam essa teoria em xeque, quando relacionado aos fenômenos de combustão e calcinação. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Entre os anos de 1783 e 1785 a decomposição da água foi objeto de discussão entre vários estudiosos da época, como Cavendish, Priestley, Watt e Lavoisier e trouxe novas hipóteses para a ideia do calórico.

[...] Por não considerar a existência do flogístico, era mais coerente para Lavoisier pensar na água como composta de dois gases que seriam consumidos quando aquecidos (ar puro e ar inflamável), ocasionando a redução da massa do produto final, do que pensar numa água “deflogisticada”. A ideia de uma água deflogisticada tinha implícita a concepção da água como “elemento primordial”, substância elementar, eterna e imutável, em que o flogístico ocupava o papel de princípio combustível que havia sido retirado. (SILVA, FORATO E GOMES, 2013, p. 517).

O sucesso de Lavoisier na explicação sobre a formação da água e experimentos posteriores e na explicação de vários fenômenos (principalmente combustão e calcinação) em que o aquecimento estava presente tornou sua teoria do calórico reconhecida e, aos poucos os defensores do flogístico passaram a lhe dar crédito. Um dos principais estudiosos a abandonar o flogístico e adotar o calórico foi Black. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Segundo Fox, Medeiros e Roller *apud* Gomes (2012), o calórico possuem as seguintes propriedades:

- é uma substância material, um fluido elástico, constituído por partículas que se repelem fortemente;
- suas partículas são atraídas pelas partículas da matéria comum com intensidade diferente para cada substância e estado de agregação;
- pode ser sensível, espalhando-se pelos espaços vazios das substâncias até formar, por meio da atração que existe entre suas partículas e as da matéria ordinária, uma espécie de “atmosfera” ao redor dessas últimas. A temperatura de um corpo é diretamente proporcional à quantidade de calórico sensível que possui;
- pode ser latente, combinando-se com as partículas da matéria comum de forma semelhante ao que ocorre com as combinações químicas, ao contrário da justaposição que acontece com o calórico sensível;
- não pode ser criado ou destruído;
- têm um peso desprezível.

Porém, o calórico de Lavoisier ainda apresentava problemas. Um deles seria referente à explicação dada ao que seria o oxigênio, o qual era concebido como composto por um



*princípio oxigênio e calórico*. Ao *calórico* era associado o elemento do fogo e do calor, e, assim, seria também imponderável, tal como era o *flogístico*. O restante da teoria de Lavoisier apresentava consistência suficiente para que este argumento fosse relevado. Apesar de não poder medir a massa do calórico, ele era mensurável nas transformações químicas, uma vez que já se considerava como pressuposto, desde a Antiguidade, a suposição da conservação da matéria nas transformações. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Priestley continuou adepto do flogístico até sua morte em 1804, mas chegou a conjecturar que o calórico de Lavoisier poderia ser mais plausível. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Diferentes teorias buscavam explicar a natureza do calor, tanto entendendo-o como substância, ou relacionado ao movimento da matéria.

#### 4.7. O DILEMA DO SÉCULO XVIII

Dentre as várias hipóteses que eram cogitadas, destaca-se aquela que associava calor a movimento, como Lavoisier e Laplace relatam nas “Memórias sobre o calor”. Nesta obra, os autores apresentam vários experimentos envolvendo calor e discutem duas das interpretações dadas na época, calor como movimento ou como substância, e qual a consequência para os fenômenos a serem estudados. Aqueles que defendiam o calor como movimento, em geral, adotavam uma visão corpuscular da matéria, sendo todos os corpos constituídos por partículas com espaços vazios entre elas, o que as permitia certo movimento vibratório. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Os autores explicam que, para alguns casos, a ideia de calor como fluido para certos fenômenos é a melhor; enquanto em outros, a ideia de calor por movimento parecia mais satisfatória, como na explicação do calor gerado pela fricção de corpos. Alguns princípios, no entanto, podem ser adotados como comuns para o caso do calor como movimento ou fluido. Um destes princípios é que a quantidade de calor livre é sempre a mesma na mistura simples de corpos. Seja o calor um fluido ou o movimento da parte sutil da matéria, o calor livre será conservado na mistura de corpos em que não há modificação química, fluindo de um corpo para o outro (fluido) ou fazendo variar a força viva dos corpos (movimento). (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Contudo, em 1789, na obra *Traité élémentaire de chimie*, Lavoisier se declarou um adepto da hipótese do calor como um fluido, adotando o conceito do calórico como responsável pelas mudanças físicas e químicas. O calórico ganhou força em relação ao flogístico ao descrever mais satisfatoriamente certos fenômenos, como a combustão e calcinação. Além disso, o calórico apresentava argumentos convincentes na explicação da dilatação térmica, alteração do estado de agregação da matéria, e na determinação de calor específico de várias substâncias. As ideias calóricas de Lavoisier influenciaram os escritos de Carnot sobre o funcionamento e construção de máquinas térmicas. (CASTIGNANI, 1999, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Como já mencionado, havia também, os defensores da ideia de calor como movimento, que tentaram apresentar argumentos convincentes para esta hipótese, um deles foi Benjamin Thompson (1753-1814), também conhecido como Conde Rumford. Thompson era britânico de carreira militar e seus estudos estiveram sempre ligados às questões práticas, como as armas de fogo, canhões e o desenvolvimento de novos aparelhos. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

As primeiras hipóteses de Thompson sobre o calor como movimento ocorreram por volta de 1778, enquanto ele estudava a pólvora e as armas de fogo. Thompson observou que a temperatura das balas, logo após deixarem as armas, era muito alta, e parece ter suposto que seria mais alta do que a temperatura causada apenas pela explosão. Se atiradas contra água, esta não aquecia sensivelmente, mas se a bala fosse projetada contra um aparato rígido, o qual não pudesse penetrar, os estilhaços espalhados se encontravam em temperatura próxima da fusão do material da bala. Com isso, Thompson concluiu que o atrito da bala no cano de disparo contribuía para a geração do calor que a levava a ter uma temperatura maior do que poderia ter sido causada apenas pela explosão. Para fortalecer sua conclusão, Thompson forneceu outros exemplos em que o atrito levava à produção de calor, como no caso de colisões; e que eram proporcionais à dureza, à vibração e também à violência com que era feito o movimento de fricção. (WATANABE, 1959, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Thompson continuou com vários experimentos tentando mostrar incoerências na hipótese do calórico, como por exemplo, sua propagação através do vácuo, apresentado em 1785. Como o calórico se propagaria no corpo devido à grande atração entre ele e a matéria, no vácuo, onde não há matéria, não poderia haver a propagação dele. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Os experimentos de Thompson continuaram e, em 1798, ele pensou ter encontrado uma “prova definitiva” de que o calor estava relacionado ao movimento, e não seria um fluido. O experimento, realizado enquanto ele se encontrava supervisionando uma fábrica de canhões pretendia responder à questão da produção infinita de calor prevista na hipótese do calórico para o fenômeno observado.

Argumentei que se a existência do calórico era um fato, deve ser absolutamente impossível para um corpo, ou para muitos corpos individualmente que juntos formam apenas um, comunicar esta substância continuamente para vários outros corpos que os rodeiam, sem que esta substância seja gradualmente totalmente exaurida. Uma esponja cheia com água, e apertada por um fio no meio de uma sala cheia de ar seco, comunicará sua umidade ao ar, é verdade; mas breve a água se evaporará e a esponja não poderá mais fornecer umidade. Pelo contrário, um sino soa sem interrupções quando é tocado, e fornece seu som tão frequente quanto queremos, sem a menor percepção de perda. Umidade é substância; som não é. É bem conhecido que dois corpos duros, quando atritados entre si, produzem muito calor. Eles podem continuar a produzi-lo sem finalmente se tornarem exauridos? Vamos deixar o resultado do experimento decidir esta questão (RUMFORD, 1798, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Para decidir a questão, Thompson realizou cinco experimentos em que analisava a quantidade de calor gerada quando canhões eram perfurados. Nessa atividade, tanto o canhão perfurado, quanto o metal em torno dele e as faíscas produzidas, eram aquecidos pelo atrito.



**Figura 4 - A máquina para perfuração de canhão adaptado pelo conde Rumford para suas experiências de calor. O atrito como a broca do embotada cortado no calor suficiente metal produzido para fazer a água ferver<sup>4</sup>.**

<sup>4</sup> Disponível em: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/R/Rumford.html>. Acesso 29 de abril.

Após ter realizado os experimentos, Thompson analisou-os e concluiu:

Vimos que uma quantidade considerável de calor pode ser provocada na fricção de duas superfícies metálicas, e fora dado em uma corrente constante ou fluxo, em todas as direções, sem interrupção ou intervalo, e sem quaisquer sinais de diminuição ou exaustão.

De onde veio o calor que estava continuamente fornecido dessa maneira, nas experiências anteriores? É devido às pequenas partículas de metal, desligadas das massas sólidas maiores, ao serem friccionadas juntas? Isso, como já vimos, não poderia ter sido o caso.

Foi fornecido pelo ar? Isto não teria sido o caso, pois, em três dos experimentos, a máquina ao ser imersa em água, o acesso do ar da atmosfera foi completamente impedido.

Foi fornecido pela água que permeava a máquina? Que este não pode ter sido o caso é evidente: em primeiro lugar, porque esta água foi continuamente recebendo calor do equipamento, e não podia, ao mesmo tempo, fornecer e receber calor a partir do mesmo corpo, e em segundo lugar, porque não houve decomposição química de qualquer parte desta água. Tivesse ocorrido qualquer decomposição, (que na verdade não poderia ter sido razoavelmente esperada) um dos seus componentes fluidos elásticos (provavelmente ar inflamável) deveria, ao mesmo tempo, ter sido liberado, e ao fazer a sua fuga para a atmosfera, teria sido detectado, mas embora eu frequentemente examinasse a água para ver se as bolhas de ar levantavam-se através dela, e tivesse até feito os preparativos para capturá-las, a fim de examiná-las, se fosse o caso de aparecerem, eu não pude perceber nenhuma, nem havia qualquer sinal de decomposição de nenhuma espécie, ou outro processo químico, acontecendo na água.

É possível que o calor possa ter sido fornecido pela barra de ferro até o fim do qual a broca cortante de aço foi fixada? ou pelo gargalo pequeno da arma de metal pela qual o cilindro oco foi unido ao canhão? Estas suposições parecem mais improváveis ainda que qualquer das acima citadas para o calor fluir continuamente, ou para fora das máquinas, por estas duas passagens, durante o tempo todo que a experiência durou.

Refletindo sobre isso, não devemos esquecer de considerar aquele relevante fato, que o calor gerado por atrito, nestes experimentos, pareceu evidentemente ser inesgotável.

Não é necessário adicionar que qualquer coisa que um corpo isolado, ou sistema de corpos, pode fornecer continuamente sem limitação, não pode de maneira alguma ser uma substância material: e parece-me ser extremamente difícil, senão impossível, formar qualquer conjectura diferente de qualquer coisa que seja capaz de ser excitada e comunicada, da maneira pela qual o calor foi excitado e comunicado nestes experimentos, a não ser que ela seja MOVIMENTO (THOMPSON, 1798, p. 98-99 *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

As tentativas de Rumford para refutar a hipótese do calórico não foram tidas como definitivas, ou ao menos suficientes para tanto, sendo alvo de várias críticas de pensadores adeptos ao calórico. Algumas dessas referiam-se à dilatação sofrida pelo canhão e pelas lascas metálicas, fato que era relativamente bem explicado pelo calórico. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Outros experimentos foram realizados por ele, entretanto, ao longo do século XVIII, tanto a hipótese do calórico, quanto a do movimento, explicavam vários aspectos dos fenômenos envolvendo o calor. Do mesmo modo, havia bons argumentos que as refutavam. Diferente do que costuma ser apresentado, não foi um experimento com canhões que permitiu

ao Conde Rumford derrubar a crença no calórico, a história se mostra bem mais complexa. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

#### 4.8. O DECLÍNIO DA TEORIA DO CALÓRICO

As tentativas de refutar o calórico continuaram no início do século XIX. Exemplos disso são os trabalhos de Humphry Davy (1778-1829), que realizou o experimento da fricção de dois cubos de gelo em 1799 e depois considerou uma teoria que seria uma junção do “fluido” com “movimento”. Enquanto Davy retomava uma visão mais “química” do calor, Thomas Young (1773-1829) seguia pela analogia entre os fenômenos luminosos (ondas) e os fenômenos envolvendo o calor (WATANABE, 1962 *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Nesse período, a técnica encontrava-se em destaque, e a ciência voltada para o progresso levava a uma busca por entender os processos das máquinas para melhorá-los. É nesse contexto que o trabalho de Sadi Carnot de 1824 que busca entender as máquinas térmicas, está inserido. Apesar de serem baseadas na hipótese do calórico, as interpretações posteriores dos resultados de Carnot se aproximaram mais da hipótese de movimento. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Uma hipótese diferente surgiu com os trabalhos de Julius Robert Mayer (1814-1878) e James Prescott Joule (1818-1889) na primeira metade do século XIX, associando o calor a um tipo de trabalho realizado (MARTINS, 1984). Para Mayer, o trabalho estava diretamente ligado ao esforço, e a equivalência entre esse esforço e o calor produzido era considerada constante, tanto por aspectos físicos quanto filosóficos. Por outro lado, Joule buscava a relação entre o calor e a eletricidade, realizando vários experimentos. Controvérsia à parte sobre a primazia de Joule ou Mayer na fundamentação do princípio que hoje chamamos de conservação da energia, Joule encontrou o equivalente mecânico do calor partindo tanto de experimentos de eletricidade quanto de queda de pesos que movimentam pás imersas na água, obtendo seu reconhecimento com o experimento de 1850, em que a queda de dois pesos proporciona diferença de temperatura mensurável numa certa quantidade de água (HEERING, 1992 *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

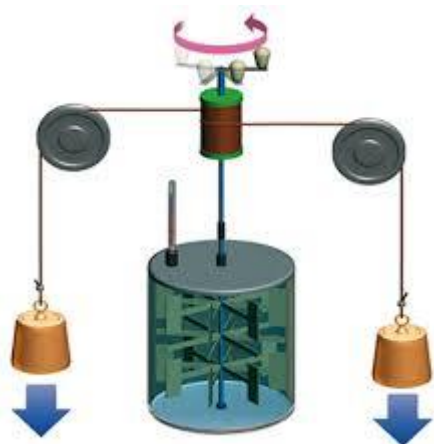


Figura 5 - Aparato experimental de Joule - o equivalente mecânico do calor<sup>5</sup>.

Os estudos de Mayer, Joule e outros do mesmo período, como Colding e Helmholtz, estavam direcionados para a concepção de equivalência entre forças. A força do movimento produzia calor, assim como forças elétricas e magnéticas. A equivalência entre forças levou à formulação de um princípio geral por Helmholtz, que assumia que a soma das forças vivas e das forças de tensão era uma constante. Como a força viva estava associada a movimento, que produzia calor, Helmholtz concluiu que o calor também seria um tipo de movimento (COELHO, 2009 e 2012 *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Outras áreas que estavam relacionadas com os estudos envolvendo calor também passaram por modificações, como, por exemplo, a parte de interação da radiação com a matéria; o estudo dos gases, os estudos de eletricidade, magnetismo e óptica, etc., que acabaram influenciando na maneira de observar os fenômenos, passando a destacar uma analogia mecânica. Parecia haver, em todas as áreas, a conservação de “algo” para o qual a analogia mecânica (movimento) apresentava bons resultados. (SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

O termo energia foi introduzido no mesmo período em que se estabelecia a ideia de conservação de forças. Em 1851, Thomson introduziu o conceito de energia mecânica de um corpo. Assumindo que a energia de um corpo está associada à sua atividade, e analogamente, supondo que calor era concebido como movimento, paulatinamente passou-se a adotar calor como energia. A concepção de energia de Thomson tinha argumentos não físicos, mas nos anos posteriores foi alterando seu significado, assumindo características existenciais, como se ocupasse um certo espaço no corpo ou entre as partes do corpo. Assim como as concepções

<sup>5</sup> Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/experiencia-joule.htm>. Acesso em 02 abril 2016.

anteriores que assumiam “calor” como uma substância, a ideia de energia ocupando espaço também recebeu críticas (COELHO, 2009 e 2012 *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

#### 4.9. AFINAL, O QUE É O CALOR?

A conservação da energia e o calor como energia em movimento pareciam responder às perguntas. Mas, qual a natureza da energia? A resposta a essa pergunta também é complexa e tem diferentes hipóteses.

A aplicação do princípio geral da conservação da energia leva à conclusão indubitável que a energia térmica gerada é o equivalente do trabalho mecânico usado na fricção, mas traz pouca ou quase nenhuma luz sobre os passos do processo, e não dá informação sobre a atual natureza da energia produzida na forma de calor (CALLENDAR, 1912 *apud* SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Segundo Gomes (2012 *apud* DOMÉNECH, 2000; DOMÉNECH et al., 2003) destaca que atualmente o calor é o nome convencional de um processo. Assim como o trabalho, o calor é um processo pelo qual é possível variar a energia de um sistema. A diferença é que o trabalho envolve interações macroscópicas em que as forças são mensuráveis, ao contrário do calor que pode ser interpretado como um conjunto de microtrabalhos, realizados em nível microscópico, que ocorrem como consequência do contato entre objetos de diferentes temperaturas ocasionando a variação da energia interna de ambos.

Silva, Laburu, Nardi (2008) enfatiza que deve-se ter em mente que calor é, antes, uma “forma de transferir energia” e não a “energia”, embora a associação de calor como energia seja feita quando essa energia é transferida entre um sistema e sua vizinhança na condição de diferença de temperatura. Além disso, deve-se respeitar a definição de calor ao mencioná-lo ou não em situações de aquecimento, que é uma questão de consistência teórica. Não responda que trabalho converte-se em calor, mas sim que trabalho converte-se em energia interna, coerentemente com a primeira lei da Termodinâmica.

O conceito de calor e temperatura permaneceu por muito tempo sem haver uma definição distinta. Atualmente, possuem significados totalmente diferentes, apesar de estarem relacionados.

De acordo com Sant`Anna...et al (2013) o conceito de temperatura no mundo macroscópico está associado aos estados térmicos de um corpo: quente ou frio. Se um corpo

está quente, relacionamos a ele uma temperatura elevada. Aos corpos frios, associamos temperaturas de menor valor.

Há também uma interpretação microscópica do conceito de temperatura. Nesse caso quando um corpo é aquecido, a agitação média de suas partículas tende a aumentar, mas, quando ele é resfriado, o movimento de suas partículas tende a diminuir. Dessa forma, em dias de altas temperaturas está associado a níveis elevados de agitação térmica e, conseqüentemente, relacionadas à maior energia total média por partícula.

Assim, Sant`Anna...et al (2013) define temperatura como sendo a grandeza física macroscópica associada ao grau de agitação térmica média das partículas de um corpo ou sistema.

Como foi citado anteriormente, só podemos mencionar a palavra “calor” quando há uma diferença de temperatura, caso contrário não definirá “calor”. Esta é sua relação com a temperatura.



## 5. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR NA PERSPECTIVA DE BACHELARD

A análise da evolução do conceito de calor será realizada com base na filosofia histórica de Gaston Bachelard, epistemólogo que concebe a construção do conhecimento na perspectiva de rupturas e descontinuidades e também pelas noções de obstáculo epistemológico e de perfil epistemológico, no qual já foram explanados anteriormente.

### 5.1. O PERFIL EPISTEMOLÓGICO DO CONCEITO DE CALOR

Como Bachelard (1978a) defende o pluralismo filosófico, foi possível analisar que o conceito de calor atravessa cinco filosofias: realismo ingênuo ou animismo, empirismo claro e positivista, racionalismo newtoniano, racionalismo completo e racionalismo dialético ou discursivo.

A filosofia do realismo ingênuo ou animismo acredita que o que percebemos (sentidos) diretamente corresponde ao que as coisas são realmente. Refere-se então às ideias primitivas do calor, às sensações de quente e de frio, sendo o frio o contrário de quente e nesse contexto também contrário de calor. O calor é um estado de “quentura”. Os objetos quentes transmitem calor “quente” e os objetos frios transmitem o calor “frio”. Assim o realismo ingênuo diz respeito à ideia de calor vinculada estritamente às sensações sem diferenciação de temperatura, ou seja, sem que seja feita uma reflexão sobre a sua natureza. Além disso, na Antiguidade e na Alquimia, o calor é pensado como substância viva. O calor é atribuído a matéria e esta pode manifestar vontades e desejos. Assim, se apresenta o caráter anímico.

O empirismo é uma filosofia que diz que algo é verdadeiro ou falso se for verificado por meio dos resultados de experiências e observações. Teorias por si só não bastam. Assim, o empirismo inicia-se com o aumento da precisão dos termômetros, a adoção de escalas padrão, os estudos de variação de temperatura de substâncias puras e de misturas, em diferentes estados de aquecimento e resfriamento. Essas evoluções acabaram trazendo valiosas contribuições para tentar entender a natureza do calor e explicar os fenômenos. É o caso dos estudos realizados por Joseph Black, que permitiram a elaboração do conceito de calor específico, calor latente e calor sensível. Assim Black também possibilitou a diferenciação entre os conceitos de temperatura e calor. A partir disso, percebe-se que a ideia de calor

adquire um estatuto mais científico e o seu tratamento através de medidas permitiu grandes avanços.

No racionalismo clássico ou newtoniano a noção de calor não é mais definida isoladamente, mas sim por suas relações racionais. Dessa forma, o racionalismo clássico envolve os experimentos realizados pelo Conde Rumford sobre o aquecimento dos canhões quando perfurados. O conceito de calor passa a ser pensado como uma relação entre grandezas, ou seja, entre a massa de um corpo, o calor específico e a variação de temperatura ( $Q = mc\Delta t$ ). Assim o conceito de calor se torna abstrato, adquirindo um caráter racional. Nesse nível o conceito de calor já não é apenas um elemento primitivo de uma experiência imediata.

O racionalismo completo privilegia a razão em detrimento da experiência. Tem seu início do século XIX com os trabalhos de Humphry Davy, Thomas Young (1773-1829) e Sadi Carnot onde deram continuidade às tentativas de refutar o calórico. Uma hipótese diferente surgiu com os trabalhos de Julius Robert Mayer (1814-1878) e James Prescott Joule (1818-1889) na primeira metade do século XIX, associando o calor a um tipo de trabalho realizado. Quando se estabeleceu a teoria dinâmica do calor foi abandonada a teoria substancialista do calor (calórico) e foi introduzido o termo energia. Em 1851, Thomson introduziu o conceito de energia mecânica de um corpo, assumindo que a energia de um corpo está associada à sua atividade, e analogamente, supondo que calor era concebido como movimento, paulatinamente passou-se a adotar calor como energia.

E por fim o racionalismo dialético ou discursivo que agrega novas noções que ainda não estavam presentes no racionalismo completo. Nessa filosofia, o calor é um nome convencional de um processo, ou seja, o calor não é energia, o calor é uma forma de transferir energia, isso quando há uma diferença de temperatura. No racionalismo dialético a compreensão do calor como uma forma de energia é bastante difícil e acompanhada de inúmeros significados. Isso acontece porque o conceito de energia é um conceito puramente teórico. A energia não pode ser medida, mas conseguimos calculá-la através de outras grandezas. A ideia da temperatura teve uma interpretação ao mundo microscópico, o qual define temperatura como sendo a grandeza física associada ao grau de agitação térmica média das partículas (átomos, moléculas) de um corpo ou sistema, o que permitiu à criação de uma nova escala de temperatura, a escala Kelvin, lidando com a temperatura absoluta, sem haja qualquer associação a sensação de quente e frio para esse valor. Percebe-se que esta definição de calor se distancia das filosofias anteriores, no qual não pode ser interpretada nem como sensação, nem como substância e nem como energia, mas de forma mais complexa.

O perfil epistemológico deixa claro que o progresso do conceito de calor deve dar-se no sentido de maior complexidade, de um racionalismo crescente, iniciando pelo realismo ingênuo, passando pelo empirismo e chegando ao racionalismo dialético, sem abandonar por completo a experiência (empirismo), ou seja, uma relação dialética, conforme a referida obra de Bachelard (1978a).

## 5.2. OS OBSTÁCULOS A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR

Dentro do perfil epistemológico ou durante a evolução do conhecimento científico especificamente do conceito de calor, foi constatada a existência de obstáculos epistemológicos a evolução desse conceito.

A análise da evolução histórica do conceito de calor permitiu a identificação dos obstáculos substancialista, animista e da experiência primeira, baseados nas proposições de Bachelard (1996).

A ideia primordial de calor está relacionada às sensações. Dessa forma, a primeira noção de calor está relacionada com a sensação de quentura, onde o frio é o contrário de quente. Ao tocar em objetos, se ele estiver quente, este transmite calor quente, se ele estiver frio ele vai transmitir calor frio. Assim, tendem a considerar dois tipos de "calor": o calor quente e calor frio. Dessa maneira, "calor" e "quente" são sinônimos e assim a temperatura é uma propriedade dos corpos. Consequentemente pode haver processos de transferência de calor e de frio, o que não faz sentido na ideia atual do conceito de calor. Essas ideias se enquadram no primeiro obstáculo a evolução do conceito de calor que Bachelard (1996) chama de "primeira experiência". Para o autor, o obstáculo inicial à cultura científica aparece com a primeira experiência: "repleta de imagens, é pitoresca, concreta, natural, fácil". Nesse caso, a sensação é uma experiência imediata do real, é colocada antes e acima da crítica. E como não é criticada, a experiência primeira não tem uma base segura. O que Bachelard (1996) afirma é que o conhecimento científico está em constante retificação, e para isso o conhecimento tem que ser criticado, o que não acontece com a experiência primeira, com a ideia de calor relacionado às sensações. Portanto, a sensação de calor e frio não produz necessariamente uma reflexão sobre a natureza do calor.

Na antiguidade tem-se uma noção de calor relacionado aos quatro elementos, no qual seria possível atribuir à constituição e propriedades de qualquer corpo existente, em função da proporção de elementos primordiais que ele continha. Além disso, havia os que defendiam o atomismo em que o Universo e tudo que nele existia seria constituído por minúsculas

partículas de diferentes formatos, denominadas átomos, que se enganchavam uns nos outros formando toda a matéria existente e cujas diferentes combinações e formatos explicavam todos os fenômenos naturais. Na alquimia, o calor surge vinculado ao ideário alquímico, associado à ideia de Fogo, purificação, *alcahest*. O *alcahest* é uma substância purificadora com propriedades de dissolução universal. Porém, essa dissolução é um tipo de processo de purificação de uma substância que permitiria levá-la à sua matéria essencial, ou estado primordial. O *alcahest* está na mesma categoria dos quatro elementos de Aristóteles, ou seja, seria um quinto elemento, ou quinta essência, já que não se misturava à substância que dissolvia. A associação com o elemento Fogo aparece no sentido de purificação ou capacidade de tornar a substância pura que, assim como fogo possui a virtude de limpar, o *alcahest* possui um Fogo interno que tem a propriedade de limpar o corpo das doenças. Nesse contexto da história do calor, percebe-se um outro obstáculo a evolução do conceito de calor, no qual Bachelard (1996) denomina de “animismo”. O animismo é uma atribuição de “vida” ao calor. Isso é encontrado na explicação do calor na tendência de atribuir sentimentos, intenções a objetos sem vida, geralmente a substâncias, podendo ser associada à ideia de que os objetos ou materiais possuem uma força, vontades e desejos.

O calor compreendido como substância é o obstáculo substancialista. Para Bachelard (1996) esse obstáculo é apontado como um entrave aos progressos do pensamento científico. O obstáculo substancialista é evidente na teoria do flogístico (flogisto) e na teoria do calórico. O flogístico era o nome dado a um princípio inflamável que os corpos possuíam. Tanto a combustão quanto a calcinação seriam devidas à presença de um princípio inflamável (flogístico), presente no fenômeno: quanto mais combustível o material, mais flogístico ele possui. Além disso, consideravam que o flogístico não pode ser criado nem destruído e se constitui naquilo que cria o fogo. Assim, o flogístico é um elemento eterno na natureza, que passa de um ente para o outro, em qualquer um dos reinos, num ciclo eterno e também por meio de reações químicas. O conceito do calórico seria esse fluido elástico que penetra pelos poros das substâncias, sendo capaz de tornar um mesmo corpo em sólido, líquido ou em vapor, de acordo com a quantidade de calórico presente ou conforme a força repulsiva do calórico esteja igual à atração das suas moléculas ou mais forte, ou mais fraca, do que ela. Nesse contexto, fica evidente o calor sendo uma substância, um fluido, que está presente na matéria (corpo) e que pode passar de um ente para outro ou também penetrar em outros corpos.

Bachelard (1996) coloca que a ideia substancialista não é fácil de ser superada e isso pode ser comprovado historicamente, pois a ideia de calor como substância resistiu às

diversas contestações feitas por estudiosos da época, como os experimentos do Conde Rumford. Embora, na ciência contemporânea, não sejam mais atribuídas ao calor às propriedades de uma substância, o obstáculo substancialista ainda está presente na linguagem cotidiana (senso comum) e sobrevive na linguagem dos livros didático, conforme Silva, Laburú e Nardi (2008).

A perspectiva de Bachelard pode então, ser aplicada a evolução histórica do conceito de calor. O termo “ruptura” muito recorrente por ele está presente na evolução histórica do calor, pois é nítido que há uma ruptura com o conhecimento vulgar (senso comum), ou seja, o calor das primeiras experiências (calor como sensação) fica para trás e se aproxima da ideia de calor como “forma de transferir energia”. Além disso, verifica-se a descontinuidade entre os conceitos, a passagem de um conceito para outro, ou seja, pela contínua “retificação dos conceitos”.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura especializada na História e a Filosofia da Ciência já têm mostrado que sua inserção no ensino de Física pode trazer grandes benefícios. A partir da análise da evolução histórica do conceito do calor na visão de Bachelard, foi possível compreender a importância desse tema para explicar o conceito de calor e consequentemente para explicar outros conceitos também.

Através da História e da Filosofia da Ciência percebe-se que o conceito de calor passa por diversas interpretações, diferentes e bem fundamentas, ao longo da história da humanidade. Isso quer dizer, que independente da época ou dos métodos utilizados, essas observações não são neutras, mas são influenciadas pela visão de mundo de cada pensador. Bachelard (1978a) argumenta que cada cientista tem sua filosofia e com isso percebemos o pluralismo das filosofias durante toda a evolução histórica do conceito de calor.

Além disso, constata-se que a evolução do conceito de calor está longe de ser linear e acumulativa, mas destaca-se a “ruptura e a descontinuidade” entre os conceitos e principalmente com o conhecimento vulgar (senso comum). Isso só é possível através de uma retificação constante do conhecimento e com a superação dos obstáculos. (Bachelard, 1996). Desta forma, nunca chegaremos a verdade absoluta, mas sim num conhecimento provisório, passível de mudanças.

Nessa perspectiva, conclui-se que a HFC é indispensável para compreender o conceito de calor (e outros), pois contrastando com as ideias atuais aceitas sobre ele há resquícios da época em que o calor era considerado uma substância e através da HFC pode se fazer uma contextualização de porque esta linguagem é muito utilizada atualmente e explicar o conceito de calor corretamente, fugindo das concepções errôneas do senso comum (linguagem cotidiana) e também dos livros didáticos.

Dessa forma, entende-se que a inserção da História e da Filosofia da Ciência tanto pode facilitar melhorias no processo de aprendizagem de conceitos científicos, como também pode facilitar a inserção de estudos sobre a natureza do conhecimento científico, apresentando assim a ciência como um produto social e cultural da humanidade.

## 7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. J. P. M. Historicidade e interdiscurso: pensando a educação em ciências na escola básica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 333-341, 2004.

AMARAL, Edenia Maria Ribeiro do; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 3, 2001.

BACHELARD, G. **A epistemologia**. Tradução de Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Zahar, 1977.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996, 316p.

BACHELARD, G. **A filosofia do não**. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. São Paulo: Ed. Abril Cultural, 1978a.

BACHELARD, G. **O novo espírito científico**. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. São Paulo: Ed. Abril Cultural, 1978b.

BATISTA, I. L. O ensino de teorias Físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica**. Parecer CNE/CP 9/2001. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/009.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. **Guia de livros didáticos: PNLD 2015: Física: ensino médio**. Brasília: Secretaria de Educação Básica, 2014, 108 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Parte III- Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, MEC, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2016.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1: p. 27-59, abr. 2011.

GOMES, Luciano Carvalhais. A ascensão e queda da teoria do calórico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 1030-1073, dez, 2012.

HÜLSENDEGER, Margarete J. V. C. A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 2, 2007.

LOPES, A. R. C. Bachelard o Filósofo da Desilusão. **Ensenanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 11, n.3, 1993.

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

MARTINS, R. A. **Introdução: A História das Ciências e seus usos na Educação**. In SILVA, C. C (ed). Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, Michael R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense do Ensino da Física**, Florianópolis, v.12, n.3, p.164-214, 1995.

MEDINA, Marcio; BRAGA, Marco. O teatro como ferramenta de aprendizagem da física e de problematização da natureza da ciência. **Caderno Brasileiro do Ensino da Física**, v. 27, n. 2: p. 313-333, ago. 2010.

MONTEIRO, Midiã M.; MARTINS, André Ferrer P. História da ciência na sala de aula: Uma sequencia didática sobre o conceito de inércia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, 4501, 2015.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. v. 1. 130 p.

PEDUZZI, L. O. Q.; TENFEN, Danielle Nicolodelli; CORDEIRO, Marinês Domingues. Aspectos da natureza da ciência em animações potencialmente significativas sobre a história da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2: p. 758-786, out. 2012.

PENA, Fábio Luís Alves; RIBEIRO, Aurino Filho. O uso didático da história da ciência após a implantação dos parâmetros curriculares Nacionais para o ensino médio (PCNEM): um estudo a partir de relatos de experiências Pedagógicas publicados em periódicos Nacionais especializados em ensino de física (2000-2006). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1: p. 48-65, abr. 2009.

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, dez. 2011.

RODRIGUES, Edmundo Junior; LUNA, Fernando J.; LINHARES, Marília Paixão; HYGINO, Cassiana Barreto. Implicações didáticas de história da ciência no ensino de Física: uma revisão de literatura através da análise textual discursiva. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 769-808, dez. 2015.



ROSA, Katemari; MARTINS, Maria Cristina. A inserção de história e filosofia da ciência no currículo de Licenciatura em Física da universidade federal da Bahia: uma visão de professores universitários. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.12 , p.321-337, 2007.

SANT'ANNA, Blaidi; *et al.* **Conexões com a Física**. Livro do Professor, vol. 2. São Paulo: Moderna, 2013.

SCHIRMER, Saul Benhur; SAUERWEIN, Inés Prieto Schmidt. Recursos Didáticos e História e Filosofia da Ciência em sala de aula: uma análise em periódicos de ensino nacionais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 14, n. 3, 2014.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. História e filosofia da ciência como subsídio para elaborar estratégias didáticas em sala de aula: um relato de experiência em sala de aula. **Revista Ciência & Ideias**, v.3, n.2, p.01-14, 2011.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. A história e filosofia da ciência na formação dos professores: um estudo no curso de física da UFPI. **Revista Ciência & Ideias**, v.5, n.1, p.01-12, 2014.

SILVA, Ana Paula Bispo; FORATO, Thaís Cyrino de Mello; GOMES, José Leandro de A. M. Costa. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 492-537, dez, 2013.

SILVA, Osmar Henrique Moura da; LABURÚ, Carlos Eduardo; NARDI, Roberto. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3: p. 383-396, dez. 2008.

TEIXEIRA, Elder Sales; EL-HANI, Charbel Niño; FREIRE JR, Olival. Concepções de estudantes de física sobre a natureza da ciência e sua transformação por uma abordagem contextual do ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 3, 2001.