



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS CAMPINA GRANDE  
CENTRO CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**JOSÉ LEANDRO DE ALBUQUERQUE MACEDO COSTA GOMES**

**CONCEITO DE CALOR:  
Contexto Histórico e Proposta para Sala de Aula.**

CAMPINA GRANDE – PB  
2013

**JOSÉ LEANDRO DE ALBUQUERQUE MACEDO COSTA GOMES**

**CONCEITO DE CALOR:  
Contexto Histórico e Proposta para Sala de Aula.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de mestre em ensino de ciências e matemática, modalidade ensino de física com ênfase em história e filosofia da ciência.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Paula Bispo da Silva  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Thaís Cyrino de Mello Forato

CAMPINA GRANDE – PB  
2013

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

G633c Gomes, José Leandro de Albuquerque Macedo Costa.  
Conceito de calor [manuscrito] : contexto histórico e proposta para sala de aula / José Leandro de Albuquerque Macedo Costa Gomes. – 2013.  
134 f. : il. color.

Digitado

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, 2013.

“Orientação: Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva, Departamento de Física.”

“Co-Orientação: Profa. Dra. Thaís Cyrino de Mello Forato, UNIFESP.”

1. Natureza da Ciência. 2. História da Ciência. 3. Plano de aula. 4. Calor. I. Título.

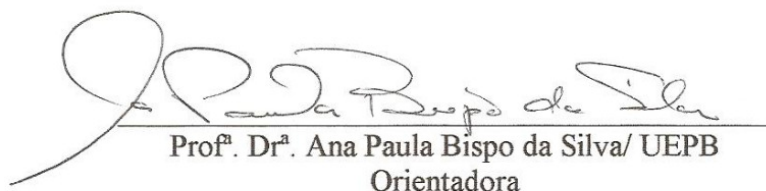
21. ed. CDD 509

JOSÉ LEANDRO DE ALBUQUERQUE MACEDO COSTA GOMES

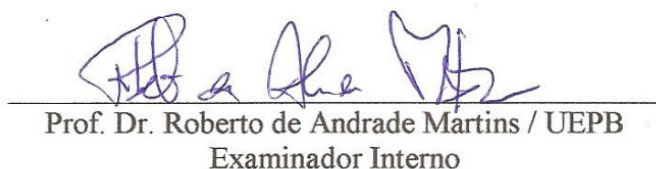
## CONCEITO DE CALOR: Contexto Histórico e Proposta para Sala de Aula.

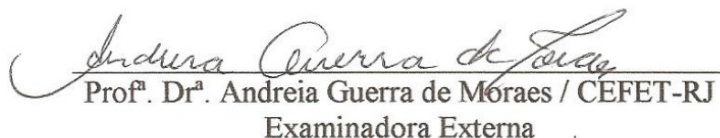
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de mestre em ensino de ciências e matemática, modalidade ensino de física com ênfase em história e filosofia da ciência.

Aprovada em: 25/10/2013.

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Bispo da Silva / UEPB  
Orientadora

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Thais Cyrino de Mello Forato / UNIFESP  
Coorientadora

  
Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins / UEPB  
Examinador Interno

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andreia Guerra de Moraes / CEFET-RJ  
Examinadora Externa

**Ao meu pai e amigo, José Costa Gomes,  
que me deixou no início dessa jornada.**

## AGRADECIMENTOS

À coordenação do curso de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, por sempre fornecer as melhores condições para o desenvolvimento do curso.

À professora Ana Paula Bispo da Silva pela dedicação e todas as orientações dadas nessa caminhada.

À professora Thaís Cyrino de Mello Forato pelo apoio acadêmico e humano no decorrer de toda a pesquisa.

À minha esposa, sempre apoiadora, Hadassa, que tanto me deu forças para continuar a jornada, levando-me nos braços de seu carinho nos momentos mais difíceis.

Aos professores do Curso Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática da UEPB, em especial, Cidoval Moraes, Silvanio Andrade, Abigail Lins, Morgana Freire e Roberto Martins, que contribuíram ao longo desse período, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus familiares e amigos por acreditarem sempre no meu potencial e me darem suporte emocional em todos os passos dessa caminhada.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

Se a história fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem da ciência que atualmente nos domina.

Thomas Kuhn (1978)

## RESUMO

A imagem de ciência e de como esta é construída tem sido corriqueiramente apresentada de forma inadequada. Vários estudos exploraram tal fato, suas implicações e possíveis causas. Para construir com os educandos do ensino básico uma imagem de ciência mais apropriada, a pesquisa aqui apresentada culmina numa proposta de plano de aulas, a qual fez uso da História e Filosofia da Ciência (HFC) como ferramenta metodológica para levar aos educandos do ensino básico situações didáticas que propiciem a discussão acerca de alguns dos aspectos da Natureza da Ciência (NdC). O conteúdo histórico selecionado para promover a discussão sobre a NdC foi a Natureza do Calor, sendo abordadas as explicações Substancialista e Atomista em vários períodos históricos, com ênfase em alguns constructos teóricos da Europa nos séculos XVII e XVIII. Para promover maior eficácia do processo de ensino-aprendizagem, o plano de aulas buscou abordar os mesmos aspectos da NdC em várias atividades diferentes, utilizando diversas ferramentas pedagógicas e em momentos didáticos distintos, havendo também matematização do conteúdo escolhido. O produto final apresentado busca dar subsídios teóricos e práticos a docentes que queiram aplicar o plano de aulas para promover o debate sobre a NdC em sala de aula.

**Palavras-Chave:** Natureza da Ciência; História e Filosofia da Ciência; Natureza do Calor; Plano de Aulas.



## **ABSTRACT**

The image of science and how it is built has been routinely displayed improperly. Several studies have explored this fact, its implications and possible causes. To build with the students of basic education an image of science most appropriate, the research presented here culminates in a proposed lesson plan, which made use of the History and Philosophy of Science (HPS) as a methodological tool to bring students to the basic education teaching situations that provides discussion about some of the aspects of Nature of Science (NOS). The selected historical content to promote discussion about the NOS was the Nature of Heat being addressed and explanations Substantialist and Atomist views in various historical periods, with emphasis on some theoretical constructs of Europe in the seventeenth and eighteenth centuries. To promote greater efficiency in the process of teaching and learning, lesson plan sought to address the same aspects of NOS in several different activities, using various teaching tools and educational different times, there is also the mathematization chosen content. The final product presented seeks to provide theoretical and practical information for teachers who want to apply the lesson plan to promote debate about the NOS in the classroom.

**Key-words:** Nature of Science; History and Philosophy of Science; Nature of Heat; Lesson Plan.

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1 –</b>	Plano de aulas .....	99
-------------------	----------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 01</b> –	Os quatro elementos gregos.....	61
<b>FIGURA 02</b> –	Representação da aeófilia.....	62
<b>FIGURA 03</b> –	Termoscópio de Philon.....	63
<b>FIGURA 04</b> –	Laboratório alquímico.....	65
<b>FIGURA 05</b> –	A descoberta alquímica do fósforo.....	66
<b>FIGURA 06</b> –	Símbolos alquímicos.....	67
<b>FIGURA 07</b> –	Simbologia do Iluminismo.....	73
<b>FIGURA 08</b> –	Experimento de Priestley 1.....	74
<b>FIGURA 09</b> –	Um experimento com pássaro numa bomba de ar.....	75
<b>FIGURA 10</b> –	Experimento de Priestley 2.....	76
<b>FIGURA 11</b> –	Termômetro do séc. XVIII.....	78
<b>FIGURA 12</b> –	Lavoisier e Paulze.....	80
<b>FIGURA 13</b> –	Calorímetro de Lavoisier.....	80
<b>FIGURA 14</b> –	Esquema experimental de Rumford.....	90
<b>FIGURA 15</b> –	Experimento de Rumford.....	92
<b>FIGURA 16</b> –	Representação do experimento de Joule.....	97

## **LISTA DE SIGLAS**

HFC	História e Filosofia da Ciência
NdC	Natureza da Ciência
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Parâmetros Curriculares Nacionais Mais
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 O problema estudado .....	14
1.2 Estrutura da pesquisa.....	17
<b>2. A HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA COMO MEDIADORA ENTRE A SALA DE AULA E A NATUREZA DA CIÊNCIA. ....</b>	<b>20</b>
2.1 Alguns estudos recentes sobre a NdC, a HFC e sua relação como ensino das ciências. ....	20
2.2. Relação HFC e NdC c pelo método de ensino – potencialidades.....	29
2.3 Possíveis obstáculos à introdução da HFC no ensino básico para discutir aspectos da NdC.....	32
2.4. A perspectiva adotada.....	41
<b>3. CONSIDERAÇÕES EDUCACIONAIS.....</b>	<b>42</b>
3.1. Introdução da HFC no ensino básico: considerações de pertinência educacional....	42
3.2. Introdução da HFC no ensino básico: considerações sobre a psicologia educacional.....	43
3.3 Introdução da HFC no ensino básico: considerações sobre os documentos oficiais brasileiros.....	45
3.4 Introdução da HFC no ensino básico: considerações sobre o processo de ensino-aprendizagem.....	47
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>49</b>
4.1 Metodologia de pesquisa .....	49
4.2. Metodologia de ensino.....	51
4.3 Parâmetros Forato (2009).....	52
4.4 Professores e discente na construção do plano de aulas.....	58
<b>5. NATUREZA DO CALOR EM DIFERENTES CONTEXTOS HISTÓRICOS....</b>	<b>60</b>
5.1. O Calor na Antiguidade.....	60
5.2. A Interpretação da Alquimia.....	64
5.3. Os conceitos de flogístico e calórico.....	69
5.4. Estudos de calorimetria.....	77
5.5. Os novos “ares” e a decomposição da água.....	79
5.6. O dilema do século XVIII.....	86
5.7. Afinal, o que é calor?.....	96
5.8. Algumas considerações.....	98
<b>6. PLANO DE AULAS.....</b>	<b>99</b>
<b>7. CONCLUSÕES E DESDOBRAMENTOS.....</b>	<b>110</b>
<b>8. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>122</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

*Muda o superficial  
Muda também o profundo  
Muda o modo de pensar  
Muda tudo neste mundo*

*Muda o clima com os anos  
Muda o pastor e seu rebanho  
E assim como tudo muda  
Que eu mude não é estranho  
(Julio Numhauser)*

Desde os tempos em que era estudante secundarista, a percepção que tinha sobre ciência e seus produtos era a que mais se propalava nas salas de aulas pelos professores. Uma ciência produtora de verdades indissolúveis. Uma ciência de poucos e para poucos detentores de intelecto superior. Uma ciência que cresceu e se fermentou pelo acúmulo justaposto dos conhecimentos produzidos ao longo dos séculos.

Esta visão inadequada do fazer científico apenas foi modificada quando já me encontrava lecionando física no ensino médio. Nem na época da graduação houve esclarecimento quanto ao que é ciência. Pelo contrário, o ensino superior reforçou tal perspectiva deformada de ciência.

Toda esta inquietação e o desejo de levar aos discentes aos quais leciono uma imagem propícia de ciência levaram-me à procura de novos métodos de ensino que proporcionassem uma abordagem crítica acerca da ciência. Nesse caminho acabei por encontrar a História e Filosofia da Ciência (HFC) como metodologia de ensino para trazer ao debate em sala de aula os aspectos da Natureza da Ciência (NdC).

Assim, eis a questão central a que tentamos responder nesta pesquisa: como e com que ferramentas didáticas pode-se levar aos educandos do ensino básico uma perspectiva adequada dos aspectos da NdC?

### 1.1 O problema estudado

Tal como é apresentado aos estudantes, o fazer ciência parece seguir um manual de instruções bem definido e aceito por toda a classe de cientistas (MARTINS, R. 2006; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2009). Além disso, parece não haver limite para o que a ciência pode realizar. O aval da ciência transformou-se em uma espécie de “bula papal”, a qual não se questiona, apenas se aceita. Portanto, a ciência ganhou *status* de religião. E assim como tal, há sumos sacerdotes dotados de uma visão singular sobre a ciência e sobre

o mundo. São eles que possuem o dom da inspiração, e por ele desvendam os segredos do universo (GIL-PEREZ *et al*, 2001, 2005).

Fazer conhecer a NdC e suas implicações ao cotidiano das pessoas: este é um dos temas mais discutidos na atualidade entre os que propõem um novo ensino das ciências para um novo tipo de sociedade.

Muitos dos alunos e professores trazem concepções prévias sobre a NdC e como e por quem esta é desenvolvida. Como ensinado tradicionalmente numa perspectiva propedêutica ou exageradamente tecnicista, as ciências, em específico a física, é transmitida como uma aplicação de “fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo.” (BRASIL, 1999, p. 22). A repetição de situações exemplares é frequentemente a ferramenta mais usada, aparecendo, inclusive nos manuais do professor de vários livros didáticos. Os Parâmetros Curriculares Nacionais divulgados no final da passada década de noventa já alertavam sobre a forma como ocorria, e ainda ocorre, o ensino de física:

Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo (BRASIL, 1999, p. 22).

Nesse caminho, faz-se interessante perceber que os métodos utilizados no ensino das ciências têm sistematicamente não apresentado os resultados esperados. É notório que “assistimos a um fracasso generalizado e, o que é pior, a uma crescente recusa dos estudantes para a aprendizagem das ciências e incluso para a própria ciência.” (GIL-PEREZ *et al*, 2005, p. 38). Nesse mesmo entendimento, Pozo e Crespo (2009, p. 14-15) constataam que:

Espalha-se entre os professores de ciências, especialmente nos anos finais do ensino fundamental e do ensino médio, uma crescente sensação de desassossego, de frustração, ao comprovar o limitado sucesso de seus esforços docentes. Aparentemente, os alunos aprendem cada vez menos e têm menos interesse pelo que aprendem.

Além dos autores mencionados, há uma vasta literatura especializada apontando que o ensino das ciências tem sido restringido a uma metodologia de apresentação de conteúdos, de classes de conhecimentos já previamente organizados e agrupados, de feitos “milagrosos” produzidos por “magos” da ciência. Além disso, não se busca nesse tipo de ensino estreitar os laços entre o como e por quem a ciência é produzida com o quando e o porquê ela foi desenvolvida (GIL-PEREZ *et al*, 1999).

Dessa forma, o ensino das ciências nesses moldes faz com que os alunos percam, ou pior, sequer construam uma imagem de ciência satisfatória. E, em assim sendo:

Essa perda de sentido do conhecimento científico não só limita sua utilidade ou aplicabilidade por parte dos alunos, mas também seu interesse e relevância. De fato, como consequência do ensino recebido os alunos adotam atitudes inadequadas ou mesmo incompatíveis com os próprios fins da ciência, que se traduzem sobretudo em uma falta de motivação ou interesse pela aprendizagem desta disciplina (POZO e CRESPO, 2009, p. 17).

Tais descaracterizações acerca da NdC têm dado fortes golpes no processo de ensino-aprendizagem da mesma.

Esta análise do ensino das ciências, tem mostrado entre outras coisas, graves discordâncias da natureza da ciência que justificam, em grande medida, tanto o fracasso de um bom número de estudantes, como a sua recusa à ciência (GIL-PEREZ *et al*, 2005, p. 38).

Pozo e Crespo (2009) fazem uma análise acerca de uma das possibilidades da razão desse insucesso no ensino de ciências quando dizem que um dos problemas é o descompasso entre o que se faz no ensino e para quem esse ensino é destinado. Segundo esses autores,

... o problema é justamente que o currículo de ciências praticamente não mudou, enquanto a sociedade à qual vai dirigido esse ensino de ciências e as demandas formativas dos alunos mudaram. O desajuste entre a ciência que é ensinada (em seus formatos, conteúdos, metas, etc.) e os próprios alunos é cada vez maior, refletindo uma autêntica crise na cultura educacional (POZO e CRESPO, 2009, p. 19).

Por vezes, a ciência é deformadamente revelada aos estudantes como uma produção que, embora construída pelo homem, é desprovida de marcas humanas. E para uma melhor formação científica dos discentes, necessita-se primeiro trabalhar a própria visão da NdC que há difundida entre os docentes. Assim,

Compreendeu-se, pois, que o melhoramento da educação científica exige como requisito iniludível, modificar a imagem da natureza da ciência que nós os professores temos e transmitimos (GUILBERT e MELOCHE, 1993, apud. GIL-PEREZ *et al*, 2005, p. 38).

Contribuindo a esta perspectiva deformada da NdC, muitos dos manuais didáticos que são largamente destinados ao ensino das ciências no ensino básico não fornecem aos docentes e discentes ideias e fatos da história científica que possibilitem uma adequada compreensão da NdC. Segundo Roberto Martins (2006, p. xvii),

Os livros científicos didáticos enfatizam os resultados aos quais a ciência chegou – as teorias e conceitos que aceitamos, as técnicas de análise que utilizamos – mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência. De que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como os cientistas trabalham? Quais as ideias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado? Quais as relações entre ciência, filosofia e religião? Qual a relação entre o desenvolvimento do pensamento científico e outros desenvolvimentos históricos que ocorreram na mesma época?



A HFC, então, entra no processo educacional como uma ferramenta, como um instrumento metodológico versátil ao ensino de física. Castro (2009, p. 105-106) dá uma ideia da magnitude dessa ferramenta quando afirma que:

Ao buscarem o estabelecimento do diálogo entre o presente e o passado, entre a intencionalidade do ensino de conceitos que queremos construir e esses mesmos conceitos em seu nascedouro, os estudantes transitam com mais naturalidade por entre as ideias em gestação. Sentem-se mais autorizados a formular explicações mais significativas ou em um nível mais profundo. Deixam de se contentar com a mera repetição de definições ou formulações que não são suas, para as quais sequer construíram sentido.

Assim, esta pesquisa volta-se para o tema da inserção de aspectos acerca da Natureza da Ciência (NdC) na sala de aula, utilizando episódios da História das Ciências. Pretende-se, de modo geral, problematizar as visões distorcidas acima mencionadas, e atingir outros objetivos formativos.

Passamos a seguir à apresentação da estrutura da pesquisa aqui relatada, descrevendo brevemente o conteúdo de cada capítulo desta dissertação. Também são apresentados os objetivos da mesma e alguns dos aspectos teóricos abordados.

## **1.2 Estrutura da pesquisa**

Na busca por alternativas metodológicas de ensino que produzam situações didático-pedagógicas que se prestem à discussão acerca da Natureza da Ciência<sup>1</sup> (NdC), esta pesquisa apresenta uma proposta de ensino de física para o ensino médio fundamentada no uso da História e Filosofia da Ciência (HFC) enquanto metodologia de ensino.

A investigação aqui descrita partiu do pressuposto de que a HFC é ferramenta útil para promover a interlocução entre a NdC e um conteúdo disciplinar escolhido especificamente para ser trabalhado em sala de aula pelo viés histórico. Assim, a HFC assume a dimensão metodológica em relação ao processo de ensino-aprendizagem.

Na escolha do conteúdo da disciplina, que foi pano de fundo para a discussão sobre a NdC, alguns cuidados foram tomados. Tais precauções foram adotadas segundo o referencial descrito por Forato (2009), uma pesquisa que utilizou a HFC como metodologia de ensino para debater com os discentes sobre alguns aspectos da NdC. Como resultados dessa pesquisa, Forato (2009) apresenta uma lista de parâmetros que podem ser seguidos para a elaboração de um plano de aulas que adote esta linha metodológica.

---

<sup>1</sup> O termo ciência é tomado neste trabalho como referentes às Ciências da Natureza. Esse também é o sentido no qual é empregado esta palavra nos escritos das referências que aqui se faz uso.

Assim, para a confecção do plano de aulas foram levados em conta alguns parâmetros (FORATO, 2009). Aspectos como o processo de produção e adequação dos textos e atividades didáticas em relação ao público-alvo, tempo didático necessário e disponível à aplicação do plano de aulas e possíveis obstáculos à aplicação das atividades e textos foram considerados.

Selecionamos como conteúdo de física as várias explicações acerca da natureza do calor, em específico na Europa dos séculos XVII e XVIII. Ainda mais restritamente, abordamos as visões mecanicista e substancialista da natureza do calor presentes nos trabalhos de alguns pensadores desse período.

A pesquisa aqui descrita partiu das premissas anteriormente citadas e almejou atingir três objetivos:

- a) Elaborar estratégias de abordagem do conteúdo específico da física (calor) utilizando a História e Filosofia da Ciência (HFC) como metodologia de ensino, partindo do estudo aspectos do desenvolvimento histórico do conceito de calor para buscar compreender aspectos de como se dá o trabalho científico;
- b) Levar aos educandos do ensino básico momentos didáticos que proporcionem o debate sobre o fazer científico e a Natureza da Ciência (NdC) a partir da utilização da metodologia HFC.
- c) Promover o desenvolvimento de aspectos formativos, como leitura e interpretação de textos metacientíficos, trabalhos em grupo, desenvolvimento da argumentação crítica e a compreensão sobre a coletividade da construção da ciência, a transitoriedade dos conhecimentos, a falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência, coerência dos constructos teóricos para explicação dos fenômenos à época em que foram desenvolvidos.

No segundo capítulo, é feita breve revisão bibliográfica acerca de aspectos da NdC a serem introduzidos no ensino das ciências. Perspectivas favoráveis e contrárias ao uso da HFC para promover o debate acerca da NdC são apresentadas, bem como um embasamento teórico sobre a viabilidade ou não de se promover o debate sobre aspectos da NdC no ensino básico. Também apresentamos, ao final desse capítulo, nosso posicionamento com relação a tais argumentos sobre o uso da HFC.

Algumas considerações educacionais são discutidas ao longo do capítulo três. São trabalhadas perspectivas de pertinência educacional da proposta, a psicologia educacional

envolvida, e uma breve discussão sobre o que trazem os documentos oficiais brasileiros acerca da abordagem histórica e contextual da ciência para o ensino básico.

O capítulo 4 é dedicado à descrição da abordagem acerca da metodologia científica empregada nessa pesquisa. O mesmo capítulo traz a exposição e discussão sobre os resultados da pesquisa realizada em 2009 por Forato. Em sua tese, Forato (2009) analisou a confluência de requisitos teóricos do campo da didática das ciências e da historiografia contemporânea da história das ciências. A partir daí, elaborou, implementou e analisou uma proposta didática que faz uso de episódios da história da óptica para discutir alguns aspectos da NdC. Como resultados das análises das partes teórica e prática, Forato (2009) faz uma compilação das várias conclusões, apresentando-as como parâmetros que podem ser usados para a construção de propostas didáticas, que almejem realizar a transposição didática de conteúdos da HFC para a sala de aula. Para fins de simplificação, a partir desse momento denotaremos tais conclusões como *Parâmetros Forato (2009)*.

Em seguida, no capítulo 5, descrevemos o episódio histórico voltado *Natureza do Calor em Diferentes Contextos Históricos* utilizado como estopim para debater a NdC. Esse capítulo é o texto que será disponibilizado aos docentes que queiram aplicar nossa proposta didática em salas de aula do ensino básico.

O plano de aulas e a descrição das atividades e destinados aos docentes que queiram aplicar tal plano são apresentados no capítulo 6. Uma descrição dos objetivos que se almejam atingir em cada atividade, bem como das demandas de material e tempo necessários ao bom desenvolvimento dos momentos didáticos acompanham todas as atividades e textos. Encontram-se nos anexos (I a XII) a esta dissertação as atividades e textos destinados aos discentes. A junção do material destinado aos docentes com os dirigidos aos educandos compõem o plano de aulas em sua integralidade.

Por fim, o último capítulo apresenta nossas impressões finais e possíveis desdobramentos dessa pesquisa no âmbito da construção de planos de aulas que envolvam o uso da HFC para discutir o fazer científico.

Vale ressaltar que a pesquisa aqui apresentada se constitui num estudo sobre ensino das ciências, tomando como ferramenta metodológica a HFC com o intuito de levar à sala de aula o debate sobre aspectos da NdC. Dessa forma, passamos a apresentar a HFC como instrumento mediador entre a sala de aula e a NdC.

## **2. A HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA COMO MEDIADORA ENTRE A SALA DE AULA E A NATUREZA DA CIÊNCIA.**

Este capítulo é dedicado ao debate sobre o que é NdC e como esta se relaciona com o ensino básico, na tentativa de realizar a construção de uma imagem adequada do fazer científico junto aos educandos. Iniciamos com uma rápida passagem por trabalhos recentes nos quais o tema NdC e HFC são discutidos. Abordamos também a HFC e seu potencial enquanto metodologia de ensino para discutir os aspectos da NdC em sala de aula. Além disso, trazemos algumas considerações relacionadas à educação e à abordagem sobre HFC e NdC que aparece nos documentos oficiais brasileiros.

### **2.1 Alguns estudos recentes sobre a NdC, a HFC e sua relação como ensino das ciências.**

No início da década de 1990, Pumfrey (1991) apresenta um estudo no qual faz uma síntese de alguns pontos sobre os quais haveria consenso entre historiadores e filósofos da ciência sobre aspectos da NdC, que permearam a reforma educacional no Reino Unido. Nesse trabalho, a ciência tem por características que:

- a) Observação significativa não é possível sem uma expectativa pré-existente;
- b) A Natureza não produz evidências simples o bastante para permitir uma interpretação não ambígua;
- c) As teorias científicas não são induções, mas hipóteses que vão imaginativa e necessariamente além das observações;
- d) As teorias científicas não podem ser provadas;
- e) O conhecimento científico não é estático e convergente, mas mutável e ilimitado;
- f) Treinamento compartilhado é um componente essencial do acordo entre os cientistas;
- g) O raciocínio científico não se estabelece sem apelar para fontes sociais, morais, espirituais e culturais;
- h) Os cientistas não desenvolvem deduções incontestáveis, mas fazem complexos julgamentos de especialistas;
- i) O desacordo sempre é possível.

(PUMFREY, 1991, p. 69)

No fim da mesma década de 1990, McComas *et al* (1998), apresentam um estudo no qual relacionam aspectos que repetidamente aparecem sobre a NdC em alguns documentos oficiais de vários países. Tais documentos traziam as diretrizes<sup>2</sup> sobre o ensino das ciências nas suas respectivas nações. Após o estudo desses parâmetros de ensino, McComas *et al* (1998) apresentam a seguinte lista de aspectos da NdC recorrentes nos documentos analisados:

1. O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter provisório;

---

<sup>2</sup> Tais documentos assemelham-se aos PCN's (Parâmetros Curriculares Nacionais) do Ministério da Educação no Brasil.

2. O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, em evidências experimentais, em argumentos racionais e no ceticismo;
3. Não existe uma única maneira de se fazer Ciência (portanto, não existe um método científico universal);
4. A Ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais;
5. Leis e teorias desempenham diferentes papéis na Ciência, portanto os estudantes devem notar que as teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais;
6. Pessoas de todas as culturas contribuem para a Ciência;
7. O novo conhecimento deve ser informado clara e abertamente;
8. Os cientistas necessitam da preservação registros precisos, revisão e replicabilidade;
9. As observações são dependentes da teoria;
10. Os cientistas são criativos;
11. A História da Ciência revela tanto um caráter evolucionário quanto revolucionário;
12. A Ciência é parte de tradições culturais e sociais;
13. A Ciência e a Tecnologia se influenciam;
14. As ideias científicas são afetadas pelo ambiente histórico e social.

(McCOMAS *et al*, 1998, p. 513)

Num trabalho intitulado “Para uma imagem não-deformada do trabalho científico”, Gil-Pérez *et al* (2001), em pesquisa realizada entre docentes das ciências, enumeram sete visões distorcidas sobre o fazer ciência que têm sido apresentadas nas salas de aula: a descontextualizada, a individualista e elitista, a empírico-indutivista e atórica, a rígida e algorítmica, a aproblemática e ahistórica, a exclusivamente analítica, e a acumulativa e de crescimento linear.

Como tais visões foram detectadas entre professores, é de se esperar que as mesmas sejam propaladas aos educandos, gerando assim uma “reação em cadeia” que, infelizmente, espalha entre os discentes uma ideia não adequada do fazer ciência, da Natureza da Ciência (NdC). Dessa maneira, descrevemos brevemente aqui as sete visões identificadas por Gil-Pérez *et al* (2001, 2005).

A primeira delas, a visão *descontextualizada* ou *socialmente neutra da ciência*, leva aos educandos a concepção de uma ciência separada de interesses econômicos, sociais, religiosos e, até, pessoais, negando seus impactos sobre o indivíduo, a sociedade e sobre o ambiente.

Uma das consequências disso é que, dessa maneira, a ciência e a tecnologia ficam em campos diferentes, sendo por vezes vista a tecnologia como a aplicação direta da ciência, ou, simplesmente, como ciência aplicada (GIL-PÉREZ *et al*, 2001, 2005). Desconsidera-se, portanto, que historicamente uma parte significativa das técnicas de trabalho, instrumentos e ferramentas, armas, máquinas e demais casos correlatos, foram implementados antes de haver uma explicação sistematizada para o fenômeno que permitiria seu funcionamento. Ademais,

propaga-se uma visão simplista da complexa relação entre ciência e tecnologia, ignorando que muitas vezes é difícil, e nem mesmo cabível, sua separação.

Em sua dimensão humana, o fazer científico é carregado pelas nuances do processo de pensamento crítico do homem, ou seja, não é nem definitivo nem irrefutável. Não é incondicional nem supremo. Pelo contrário, é sobremaneira fruto de um contexto geral, mas principalmente influenciado pela condição humana. Para Castro (2009, p. 103),

... a busca de aproximações faz parte do método da ciência e a abordagem histórica nos permite constatar que o saber científico não é meramente transmitido, revelado ou adquirido pela simples observação. Ele é construído a partir de referências múltiplas, num processo de ir e vir constante e incansável, num exercício de aproximação e distanciamento que engendra uma visão de mundo que se modifica a cada dia, num processo de dialetização permanente. Contudo, não se pode reconstruir o que não se reconhece como objeto de reconstrução. A história ajuda a reconhecer a ciência como uma reconstrução possível.

A segunda visão deformada sobre a construção da ciência, a visão *individualista e elitista*, retrata o fazer científico como realização de mentes privilegiadas: cientistas que, solitariamente, valendo-se de uma capacidade intelectual diferenciada, conseguem conceber algo impensável aos demais (GIL-PEREZ *et al*, 2001, 2005).

Assim sendo, a produção coletiva da ciência é desprezada, a troca de experiências e conhecimentos e grupos de pesquisa é simplesmente ignorada. Adota-se, portanto, que aquilo que foi conquistado por um único cientista ou um só grupo de pesquisa é suficiente para validar ou não uma tese ou teoria (GIL-PEREZ *et al*, 2001, 2005).

Tal perspectiva acerca da natureza da ciência é também prejudicial à formação dos educandos. Por um lado conduz o educando a conceber que ele, simples ser humano, não está sequer próximo de atingir o grau de quase-divindade, e por isso jamais poderá adentrar ao Olimpo. Por outro, revela a ideia de que para ser cientista precisará abdicar do convívio social. Em qualquer desses pontos de vista, a ciência é tida como a produção de uma elite, de uma casta, de um grupo altamente selecionado – os que revelam os segredos da natureza e a dominam.

A *empírico-indutivista e atórica*, terceira das visões deformadas, é definida por Gil-Perez *et al* (2005, p. 45) como:

Uma concepção que defende o papel da observação e da experimentação ‘neutra’ (não contaminadas por ideias aprioristas), esquecendo o papel essencial das hipóteses como focalizadoras da investigação e dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo.

Insiste-se, por isso, em que toda a investigação [...], vêm marcadas por paradigmas teóricos, ou seja, por visões coerentes, articuladas que orientam a dita investigação.

Qual estudante que não teve contato com a velha ideia de um cientista maluco que observa um fenômeno, realiza um experimento e descobre, como que por abracadabra, um resultado, uma conclusão revolucionária? Parece que basta, portanto, observar a natureza e seus fenômenos, tentar reproduzi-los, e tudo mais se fará por si só. A teoria, o conhecimento, surgirá naturalmente. A ciência não é vista, também, como uma produção do pensar sobre, resultado de uma atividade intelectual, desenvolvida pela abstração, pela aproximação, pela idealização. Assim, todo conhecimento científico advém, exclusivamente, de um laboratório.

Alinhados a esta perspectiva, Pozo e Crespo (2009, p. 20) retratam que:

Durante muito tempo se concebeu que o conhecimento científico surgia de escutar a voz da Natureza da maneira “adequada” [...] Tudo o que era preciso fazer para descobrir uma Lei ou Princípio era observar e coletar dados de maneira adequada e deles surgiria, inevitavelmente, a verdade científica. Essa imagem da ciência como um processo de descobrimento de leis cuidadosamente enterradas sob a aparência da realidade ainda continua, em grande medida, vigente nos meios de comunicação e, inclusive, nas salas de aula.

Tal concepção traduz a natureza da ciência como produção apenas e sempre a partir da observação. O que é, evidentemente, equivocado. Ademais,

Nem sequer o velho ‘clichê’ da ciência empírica, dedicada a descobrir as leis que governam a natureza por meio da realização de experimentos, é verdadeiro hoje em dia. Boa parte da ciência de ponta, de fronteira, é baseada, cada vez mais, no paradigma da simulação, mais do que no experimento em si, o que supõe uma importante revolução na forma de fazer ciência e concebê-la (WAGENSBERG, 1993, *apud*. POZO e CRESPO, 2009, p. 21).

Outra dimensão a se considerar é que, na ciência, a atitude de observar é essencialmente uma atitude controversa, visto que observar é uma atitude carregada de pressupostos do sujeito que realiza a observação. E ademais, uma observação pode tanto confirmar aquilo que se era esperado, isto é, ratificar uma teoria pré-existente à observação, bem como negá-la, gerando a instabilidade dos paradigmas então aceitos. Assim, a metodologia de ensino das ciências, e em especial da física, deve conduzir a um processo no qual os educandos sejam levados ao confronto entre a ciência normalmente proclamada e a ciência produto da aventura humana. Tal ciência gera feitos científicos os quais estão severamente marcados pelas teorias e raciocínios aceitos pelo produtor do conhecimento e que são antecedentes à realização do cientista/filósofo/pensador, sendo, portanto, um norteador do processo de produção do saber. Na visão de Gaston Bachelard,

A observação científica é sempre uma observação polêmica; ela confirma ou invalida uma tese anterior, um esquema prévio, um plano de observação; ela mostra demonstrando; hierarquiza as aparências; transcende o imediato; reconstrói o real após haver reconstruído seus esquemas (BACHELARD, 1996, p. 89-90).

Dessa maneira, é inadequado afirmar categoricamente que a ciência é produto de observação neutra, visto que a neutralidade impõe uma imparcialidade do ver a natureza que não é, em primeira aproximação, possível. Isto porque o ato de observar já é fruto de uma escolha e uma razão, a opção do que deve ser observado e motivo para se observar. Tanto a escolha quanto a razão são produtos da ação do intelecto e, portanto, são parciais.

A quarta das visões deformadas sobre a natureza da ciência é a *rígida e algorítmica*. Nessa perspectiva, o produzir ciência é tido como fruto da aplicação do famigerado “método científico”: uma sequência de etapas pré-determinadas e rigorosamente definidas a serem cumpridas para que seja estabelecido ou alcançado o resultado desejado.

Esse algoritmo deve, portanto, ser aplicado a todo e qualquer processo de produção científica. É, dessa forma, incapaz de falhar, isto é, utilizado corretamente sempre conduzirá ao resultado que se almejava. Esquece-se, pois, que muitos dos conhecimentos produzidos pela ciência tiveram início com hipóteses, e são estas “que orientam a procura de dados.” (GIL-PEREZ *et al*, 2005, p. 48).

Essa forma de ver a ciência traduz claramente a concepção de “exatidão e objetividade” (GIL-PEREZ *et al*, 2005, p. 48) com que a mesma é percebida pelos alunos (e professores), haja visto o famoso jargão utilizado quando se quer dar autoridade para algum argumento: “mas, isso é provado cientificamente.” Assim, a ciência é percebida como aquilo que conduz a uma verdade irrefutável, pois é produzida dessa mesma forma.

Nessa mesma direção, Pozo e Crespo (2009, p. 20), falando sobre o ensino de ciências, dizem que, “de fato, ainda se continua ensinando que o conhecimento científico é baseado na aplicação rigorosa do ‘método científico’, que deve começar pela observação dos fatos, do qual devem ser extraídas as leis e princípios.”

Evidente que o fazer ciência não se dá dessa maneira. Gil-Perez *et al* (2005, p. 48) falam que o produzir ciência

Não se raciocina em termos de certezas, mais ou menos baseadas em ‘evidências’, senão em termos de hipóteses, que se apoiam, é certo, nos conhecimentos adquiridos, mas que são contempladas como ‘tentativas de resposta’ que devem ser postas à prova o mais rigorosamente possível, o que dá lugar a um processo complexo, em que não existem princípios normativos de aplicação universal, para a aceitação ou a rejeição de hipóteses.

Era de se esperar que a ciência tivesse uma produção muito maior de conhecimentos, caso houvesse um método infalível para produção de saberes. No entanto, isto não ocorre,



pois não há tal método. Há sim formas, maneiras, métodos variados de investigação, os quais se adaptam às variadas nuances de cada pesquisa em particular.

A quinta visão deformada sobre o fazer científico, a *aproblemática e ahistórica* da ciência, evidencia uma ciência como conhecimento acabado, pronto, fechado. Esse ponto de vista sobre a produção científica relega ao esquecimento as questões as quais se apresentavam quando da pesquisa que produziu o conhecimento. Não se considera, portanto, que o ponto de partida da pesquisa foi um questionamento, que a pesquisa era, é e será a tentativa de responder a um questionamento (GIL-PEREZ *et al*, 2005).

Essa divulgação ahistórica da ciência não dá aos estudantes a oportunidade de perceberem a evolução das ideias, dos conceitos, das teorias com o passar do tempo. Revela-se, assim, uma ciência independente de época – uma ciência que ao produzir um determinado conhecimento o faz em caráter irrevogável, imutável, inabalável e irrefutável. Não são postas na mesa as cartas referentes às dificuldades encontradas durante a pesquisa, aos obstáculos epistemológicos, as concepções teóricas e paradigmas científicos válidos na época e que precisaram ser confrontados, superados, desconstruídos. Ignora-se, por conseguinte, que a ciência possui uma história (CASTRO e CARVALHO, 1992; GIL-PEREZ *et al*, 2001 e 2005; CASTRO, 2009; DUSCHEL, 1994, *apud*. POZO e CRESPO, 2009; CARVALHO e SASSERON, 2010).

É de importância basilar fazer com que os educandos percebam a ciência como algo que está sempre em construção – desconstrução – reconstrução (SALTIEL e VIENNOT, 1985). E isso encontra alicerce quando pensamos em termos da gênese e desenvolvimento de um saber, de um conhecimento. A certeza<sup>3</sup> sobre algo não é a atitude imediata. A ação primeira é duvidar, e, então, buscar em seus saberes prévios algo que se relacione com o que está sendo apresentado e que forneça argumentos para que se ratifique ou refute o fato. Assim, é nesse processo constante de caracterização – descaracterização – reformulação – recaracterização que um conhecimento toma sua forma mais pujante, e torna-se mais eminente, pelo menos momentaneamente.

A visão *exclusivamente analítica*, sexta da lista de visões inadequadas da construção da ciência supracitada, reporta à ideia de que o trabalho do cientista dá-se apenas e tão

---

<sup>3</sup> Nos meandros das ciências, a possibilidade de haver certeza irrefutável sobre algo não é aplicável. A intrincada relação entre fenômeno – hipótese – medição – teoria é estabelecida pelo arcabouço teórico e instrumentação disponíveis em determinado período histórico. Assim, as certezas são passíveis de correção, refutação, desenvolvimento, descarte (HOLTON, 1955; CHALMERS, 1993; GIL-PEREZ, 2001; ABD-EL-KHALICK, 2005).

somente pela análise exaustiva de recortes da realidade, obtendo exclusivamente dessa análise os resultados esperados para validar ou não o objeto de pesquisa.

Tal viés transmite a concepção de uma ciência fracionada e simplista, o que não verdadeiramente ocorre, pois, como revela Gil-Perez *et al* (2001, p. 131-132), a visão exclusivamente analítica

Destaca a necessária divisão parcelar dos estudos, o seu carácter limitado, simplificador. Porém, esquece os esforços posteriores de unificação e de construção de corpos coerentes de conhecimentos cada vez mais amplos, ou o tratamento de “problemas-ponte” entre diferentes campos de conhecimento que podem chegar a unificar-se, como já se verificou tantas vezes e que a História da Ciência evidencia.

Esta construção sobre o fazer científico pode parecer conveniente, visto que, em sala de aula e nos livros didáticos, apenas serão abordados os conhecimentos validados pelos paradigmas científicos vigentes.

A visão *acumulativa e de crescimento linear* traz uma ciência que foi e continua sendo construída pelo acúmulo gradual e organizado de conhecimentos desenvolvidos ao longo dos séculos (GIL-PEREZ *et al*, 2001 e 2005).

Nessa direção, os discentes são levados a crer que a sequência constante no sumário de um livro didático é exatamente a ordem na qual os conhecimentos foram construídos. Assim, ou a própria natureza se encarregou de prover aos cientistas os conhecimentos naquela ordem ou os cientistas entraram num consenso milenar sobre quando e quais fenômenos seriam estudados.

Ademais, pensando desta forma, a ciência jamais poderia passar por qualquer tipo de crise, seja ela ideológica, epistemológica, natural, tecnológica ou de qualquer outra dimensão que seja. A despeito do que possa parecer, o desenvolvimento da ciência não se deu desta forma: basta o exemplo, dentro do estudo da Termologia, da concomitante existência das teorias substancialista e mecanicista do calor durante os séculos XVII e XVIII para que se perceba o quanto a ciência sofre transformações (AMARAL e MORTIMER, 2001; SICCA e GONÇALVES, 2002; DE PÁDUA, 2009). Dissensos, debates, controvérsias, desestruturações. Todas essas nuances são constituintes de uma ciência viva, orgânica, a qual passa por processos de crise e criação, numa tensão natural que é inerente e intrínseca ao seu desenvolvimento.

De forma bem mais sucinta, mas não menos importante, o resultado do estudo realizado por Abd-El-Khalick (2005) mostra que, sobre dadas perspectivas sobre a NdC, a produção científica é desenvolvida por:

- i. Tentativa (sujeita a mudanças);
- ii. Empírica (baseada e/ou derivada das observações do mundo natural);
- iii. Parcialmente o produto da inferência, imaginação e criatividade humanas (o que envolve a invenção de conceitos e explicações);
- iv. Imersa em contextos sociais e culturais.

(ABD-EL-KHALICK, 2005, p. 17)

Tais perspectivas sobre a NdC já aparecem em diversos documentos oficiais brasileiros. Apenas para citar um deles, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) o tratamento da NdC aparece claramente em passagens como a que direciona o ensino para uma física que

Emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz (BRASIL, 1999, p.27)

Fazendo o raciocínio reverso, também há certo consenso sobre as inadequadas perspectivas sobre a NdC encontradas entre discentes. Em pesquisa realizada entre discentes do curso de graduação em física graduação, Teixeira *et al* (2009) resume os pontos de visão deformada sobre a ciência entre tais estudantes:

- A. ausência de compreensão sobre a natureza do conhecimento científico;
- B. compromisso com uma visão epistemológica absolutista, de acordo com a qual uma forma de conhecimento pode ser entendida como definitiva e absolutamente verdadeira;
- C. uma visão empírico-indutivista da ciência, segundo a qual o conhecimento científico é obtido por generalização indutiva a partir de dados de observação destituídos de qualquer influência teórica e/ou subjetiva, o que asseguraria a natureza verdadeira das proposições científicas;
- D. crença na existência de um método único, que seria capaz de assegurar a verdade absoluta das afirmações científicas sobre o mundo;
- E. ausência de reconhecimento do papel da criatividade e da imaginação na produção do conhecimento científico;
- F. falta de compreensão dos conceitos metateóricos 'fato', 'evidência', 'observação', 'experimentação', 'modelos', 'leis' e 'teorias', bem como de suas inter-relações etc.

(TEIXEIRA *et al*, 2009, p. 531)

Numa dimensão mais filosófica da ciência, a produção do conhecimento científico carrega em si as marcas do contexto humano geral no qual foi realizado. Epistemologicamente, a estrutura que alicerça a produção do conhecimento está presa ao imaginário sociocultural no qual os produtores do conhecimento encontravam-se imersos. E isto distingue historicamente a ciência em um momento da ciência realizada em outro. Daí a noção de que “Física Também é Cultura.” (ZANETIC, 1989). Assim, “o imaginário sociocultural de cada época, que faz a distinção entre umas e outras etapas históricas, é a matriz epistêmica que funciona como fulcro gerador do pensamento humano, condicionando as atividades da razão à estrutura inconsciente da cultura.” (MORAIS, 2007 p.10). Afinal,

“não há criação humana que não traga, impressa em si – em termos de forma e funcionalidade –, importantes sentidos culturais.” (MORAIS, 2007, p.22).

Pode-se, assim, resumir tais considerações com as palavras de Pozo e Crespo (2009), que falando sobre como a ciência deve ser percebida pelos alunos, põem luz sobre o que se deve fazer para que os educandos:

...percebam sua [da ciência] transitoriedade e sua natureza histórica e cultural, que compreendam as relações entre o desenvolvimento da ciência, a produção tecnológica e a organização social, entendendo, portanto, o compromisso da ciência com a sociedade, em vez da neutralidade e objetividade do suposto saber positivo da ciência. Ensinar ciências não deve ter como meta apresentar aos alunos os produtos da ciência como saberes acabados, definitivos (a matéria é descontínua, a energia não se consome, mas se conserva, é a Terra que gira em volta do Sol e não o contrário), nos quais... eles [os alunos] devem crer com fé cega, uma vez que se abrirem bem os olhos todos os indícios disponíveis indicam justamente o contrário: a matéria é contínua, o Sol é que gira, a energia (assim como a paciência do aluno) se gasta... Pelo contrário, a ciência deve ser ensinada como um saber histórico e provisório, tentando fazer com que os alunos participem, de algum modo, no processo de elaboração do conhecimento científico, com suas dúvidas e incertezas, e isso também requer deles uma forma de abordar o aprendizado como um processo construtivo, de busca de significados e de interpretação, em vez de reduzir a aprendizagem a um processo repetitivo ou de reprodução de conhecimentos pré-cozidos, prontos para o consumo (POZO e CRESPO, 2009, p. 21).

Assim, uma nova perspectiva metodológica faz-se necessária se é almejada uma mudança de paradigmas educacionais com relação ao ensino das ciências. “Exige-se agora que o ensino consiga conjugar harmoniosamente a dimensão conceptual da aprendizagem disciplinar com a dimensão formativa e cultural. Propõe-se ensinar Ciências a partir do ensino *sobre* Ciências.” (CARVALHO, 2009, p. 2-3; SANTOS, 1999).

Após a consideração dos estudos apresentados até aqui, optamos por elaborar um conjunto de momentos didáticos, isto é, um plano de aulas que levasse a temática da NdC para a sala de aula. Assim, como resultado desta pesquisa, apresentamos no capítulo 6 uma proposta de plano de aulas para ser aplicado no ensino médio. Tal proposta fez uso da HFC como metodologia mediadora na discussão da NdC em sala de aula. O plano de aulas traz orientações aos docentes que quiserem aplicar tal proposta e a descrição pedagógica (tempo necessário, nível de aprofundamento das discussões, possíveis métodos de avaliação) e o(s) objetivo(s) das atividades didáticas planejadas para propiciar o debate com os discentes sobre a NdC.

Buscamos, portanto, na gênese do plano de aulas, uma metodologia alternativa que explore o quadro humano da ciência e de seu desenvolvimento. Uma metodologia de ensino das ciências que explicita as nuances do fazer científico. Assim, apresentamos abaixo a

síntese dos pontos sobre a NdC que apareceram em consonância nos estudos descritos anteriormente e podem ser explorados na construção do plano de aulas

- ❖ Transitoriedade dos conhecimentos;
- ❖ Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência;
- ❖ A imersão do ser no saber e do saber no ser numa recíproca e contínua mutação de ambos;
- ❖ A ideia primeira como contingenciadora do observar e pensar sobre o fenômeno;
- ❖ A ação do intelecto (ser) sobre o concreto (fenômeno) na produção de um abstrato (conceito) manipulável em sua totalidade no pensamento;
- ❖ O dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento;
- ❖ A multiplicidade de métodos ao se fazer ciência;
- ❖ A coletividade da construção da ciência;
- ❖ Coerência dos constructos teóricos para explicação dos fenômenos à época em que foram desenvolvidos.

Dos aspectos da NdC acima citados, procuramos explorar no plano de aulas apenas quatro: a coletividade da construção da ciência, a transitoriedade dos conhecimentos, a falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência, e o dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento. Esse recorte fez-se necessário para que pudéssemos abordar os mesmos aspectos da NdC em várias atividades didáticas diferentes (FORATO, 2009), a fim de otimizar o debate e a construção de uma imagem adequada do fazer científico, em relação aos aspectos selecionados.

Na tentativa de estabelecer a relação entre os aspectos da NdC apresentados anteriormente e a abordagem histórica da ciência, discorreremos a seguir sobre as potencialidades do uso da HFC para proporcionar o debate sobre a NdC em sala de aula.

## **2.2. Relação HFC e NdC c pelo método de ensino – potencialidades.**

Adotar a HFC como parte integrante de uma metodologia de ensino pode contribuir para a formação de uma visão sobre a NdC a qual evite o pesado fardo das deformadas perspectivas anteriormente relacionadas (MATTHEWS, 1995; GIL-PÉREZ *et al*, 2001; MARTINS, R. 2006; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2009; FORATO *et al*, 2011).

Entretanto, há implicações sobre a formação científica do educando que devem ser consideradas com um mínimo de rigor. Dessa forma, apresentamos a seguir tanto

alinhamentos favoráveis à introdução do estudo histórico da ciência como direcionamentos contrários a este uso.

Ferramentas e metodologias para o ensino das ciências arriscam-se à esterilidade quando o contexto do fazer científico encontra-se descaracterizado. Sendo assim, a introdução da História e Filosofia da Ciência (HFC), enquanto metodologia para o ensino de ciências, e particularmente ao ensino de física, pode contribuir para uma efetiva educação científica (MATTHEWS, 1991, 1995; GIL-PEREZ *et al*, 2001, 2005; SEROGLU e KOUMARAS, 2001; MARTINS, R., 2006). É este o papel da HFC que defendemos aqui: um propiciador de situações educacionais que façam os educandos repensarem seus padrões de ciência e de fazer científico.

Entretanto, como comumente ocorre em relação ao que diz respeito à educação e métodos de ensino, não há consenso sobre os possíveis benefícios e malefícios da introdução da HFC para discutir a NdC no ensino básico. Dessa forma, apresentamos brevemente a seguir alguns argumentos que defendem o uso histórico da ciência e outras perspectivas que apresentam possíveis obstáculos para tal utilização.

A introdução da História e Filosofia da Ciência (HFC) nos programas de ensino, não como um conteúdo a ser acrescido ao mesmo, mas como uma metodologia de ensino tem-se mostrado útil no que concerne à apresentação de uma visão mais humana da ciência e de seu desenvolvimento, ciência enquanto constructo do homem, homem esse que é ser social (MATTHEWS, 1991, 1995; GIL-PEREZ *et al*, 2005).

Busca-se, portanto, uma nova perspectiva educacional a qual seja capaz de trazer ao processo de ensino uma visão de ciência e do trabalho científico que proporcione ao educando uma ideia da complexidade da ciência e de seu desenvolvimento. Nesse ensejo, uma das ferramentas que desponta como útil a este propósito é metodologia de ensino das ciências pela HFC.

A partir da análise de episódios históricos da ciência parece possível realizar discussões sobre a NdC, o que possibilita a exploração do como é realizado o trabalho científico dentro de contexto histórico, cultural e humano. Dessa forma,

O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as interrelações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade (MARTINS, R. 2006, p. xvii – xviii).

O campo de pesquisa História e Filosofia da Ciência (HFC) têm crescido ao longo das últimas décadas. Aplicada à sala de aula, a HFC tem se mostrado como uma interessante alternativa didática para o ensino da física. Segundo André Martins (2007, p. 114 – 115), “... do ponto de vista mais prático e aplicado, a HFC pode ser pensada... como estratégia didática facilitadora na compreensão de conceitos, métodos e teorias.”

Enquanto ferramenta de contextualização efetiva para o ensino dos conteúdos de física, a HFC presta-se à formação dos conceitos acerca da NdC e de como esta é construída e constituída. Assim, a HFC desponta no cenário do ensino como um dos instrumentos didáticos mais promissores para uma reestruturação do quadro educacional por meio da educação científica (ou alfabetização científica). O desafio é levar ao aluno um conhecimento tal que possa instrumentá-lo a tomar decisões baseadas na ciência, decisões criticamente definidas, acerca, por exemplo, do uso de tecnologias, de experimentos com seres vivos, etc (GIL-PEREZ *et al*, 2001, 2005; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2009).

Em dissertação apresentada em 2002, Ribeiro apresenta uma lista de potencialidades da utilização da HFC no ensino básico. Tais potencialidades transitam desde à promoção da interdisciplinaridade até à discussão propriamente do que é ciência. Para Ribeiro (2002), os benefícios da aplicação metodológica ao ensino das ciências se dariam a partir do momento em que auxiliam:

- a selecionar conteúdos [históricos que possibilitem a discussão sobre a NdC];
- a diagnosticar concepções prévias/alternativas dos alunos;
- a interdisciplinaridade, ao tratar determinados conceitos;
- a analisar os problemas [científicos] levantados em épocas passadas e a construção do pensamento científico;
- na compreensão de conhecimentos complexos, seu significado e utilidade;
- na percepção e superação de obstáculos epistemológicos;
- na compreensão do processo de construção de Ciência e suas relações com a sociedade;
- na compreensão de que a Ciência é mutável e não estática;
- a combater o cientismo [ou cientificismo] e o dogmatismo, muito frequentes nos textos científicos;
- a mostrar as relações C.T.S.<sup>4</sup> não só no presente mas ao longo da história;
- a humanizar as Ciências aproximando-as dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos;
- a melhorar as atitudes dos alunos face à Ciência e sua aprendizagem;

---

<sup>4</sup> C.T.S. diz respeito à relação intrínseca entre Ciência, Tecnologia e Sociedade;

- a mostrar a Ciência como uma construção humana, coletiva, fruto do trabalho de muitas pessoas e evitar a ideia de uma Ciência feita basicamente por gênios, na sua maioria homens.

(RIBEIRO, 2002, p. 25-26).

Nesse sentido, a proposta de plano de aulas construída e apresentada no capítulo 6 desta dissertação buscou promover, em sala de aula, a discussão com os discentes acerca de alguns dos aspectos da NdC, fazendo uso da HFC como ferramenta metodológica mediadora entre a NdC e a sala de aula.

A despeito dos inúmeros benefícios que a HFC pode trazer a formação crítica dos estudantes, a literatura especializada vem apontando dificuldades e obstáculos concretos para sua utilização. Realizar a transposição didática da HFC para o ensino de ciências é uma tarefa complexa, requer fazer difíceis escolhas e assumir alguns riscos potenciais (MATTHEWS, 1995; GIL-PEREZ, 2001; RIBEIRO, 2002; MARTINS A., 2007; FORATO, 2009).

### **2.3 Possíveis obstáculos à introdução da HFC no ensino básico para discutir aspectos da NdC.**

Assim como vários especialistas apontam as vantagens e benefícios de se levar ao debate as características do fazer científico através da HFC no ensino básico, diversos estudos analisam possíveis obstáculos e dificuldades que podem ser enfrentados quando da aplicação metodológica do enfoque histórico-crítico da ciência e seu desenvolvimento.

Neste momento, passamos, então, a apresentar alguns trabalhos e estudos que discutem as possíveis complicações que possam se apresentar no uso da História e Filosofia da Ciência no ensino básico. Buscamos explorar suas ideias centrais. Na tentativa de melhor organizar tais argumentos e facilitar a compreensão, dispomos tais teses em tipos ou natureza dos argumentos e problemas estudados.

#### **2.3.1 Problemas de formação conceitual**

Numa dimensão psicológica da educação, durante o processo de construção e formação dos conceitos, o educando passa por várias etapas de construção do pensamento. Nesse processo, podem, grosso modo, ocorrer dois tipos de conflito cognitivo quando um novo conceito ou ideia são apresentados ao educando: ou ideais já existentes no educando são confrontadas com novas formas de pensar e ocorre uma adequação por verossimilhança entre elas ou, simplesmente, as ideais novas não encontram relação alguma com outras já existentes, gerando uma nova classe de estruturas de raciocínio. Nos dois casos, há uma



desestabilização do pensamento a fim de “encaixar” aquilo que lhe foi apresentado, criando um padrão lógico de pensamento em suas estruturas cognitivas (SANTROCK, 2009).

Para Mortimer (1996), a estruturação do perfil conceitual<sup>5</sup> dos conhecimentos sofre profunda influência das contingências sociais mais imediatas ao educando, das suas vivências, da metodologia de ensino empregada e das perspectivas educacionais e didáticas que alicerçaram o planejamento pedagógico.

A construção do conhecimento na escola e o seu uso adequado depende do conteúdo, dos contextos em que foi empregado, dos processos usados na sua construção e dos propósitos de quem usa. A tentativa de descrever a evolução das ideias dos estudantes como uma mudança de perfil conceitual é, portanto, uma maneira de descrever um conjunto específico de ideias num espaço social bem determinado - a sala de aula de ciências - usando questões apropriadas para o processo de ensino e para se ter acesso às ideias dos estudantes nesse contexto escolar (MORTIMER, 1996, p. 34).

Nesse contexto, o perfil conceitual que representa a realidade para o discente passaria por adaptações quando um novo conhecimento fosse apresentado a ele. Haveria, assim, o conflito entre o que é chamado de conhecimento cotidiano e o conhecimento tido como científico. Nesse processo, a aquisição de novos conhecimentos não necessariamente conduziria ao abandono dos conhecimentos prévios. Os conhecimentos cotidiano e científico podem coexistir. O discente recorreria a um ou a outro dependendo da conveniência em relação às contingências do saber a ser empregado. Não há a intenção de descartar o conhecimento cotidiano, mas de fortalecer o perfil conceitual acerca de dado saber (MORTIMER, 1996).

Essa noção permite entender a evolução das ideias dos estudantes em sala de aula não como uma substituição de ideias alternativas por ideias científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções, em que as novas ideias adquiridas no processo de ensino - aprendizagem passam a conviver com as ideias anteriores, sendo que cada uma delas pode ser empregada no contexto conveniente (MORTIMER, 1996, p. 22).

Dessa forma, a estratégia de ensino ótima seria aquela na qual fosse proporcionada a verbalização do conhecimento cotidiano dos discentes para, logo em seguida, confrontá-lo com o conhecimento científico, a fim de construir um momento de questionamento para, assim, promover o desequilíbrio no perfil conceitual. Nesse embate, o processo didático-

---

<sup>5</sup> Mortimer (1996, p. 34) define perfil conceitual “como um sistema supra- individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura. Apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado - pelo menos no contexto da educação científica - são as mesmas para cada conceito. A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciado pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que para cada conceito em particular tem - se um perfil diferente.”

pedagógico pela argumentação e apresentação de ideias divergentes levariam ao fortalecimento do perfil conceitual (MORTIMER, 2000).

Entretanto, alguns autores relacionados à utilização da HFC para discussão dos aspectos da NdC expõem a preocupação do risco potencial que pode existir quando um discente é apresentado a aspectos do desenvolvimento do fazer científico com o qual ele não está familiarizado. O choque entre as possíveis imagens deformadas que o educando tenha com os aspectos da NdC discutidos com ele poderia gerar, na desestruturação no perfil conceitual sobre ciência que o discente tenha, o desinteresse pela ciência e seu aprendizado. Para um grupo de físicos no início da década de 1970, por exemplo, o americano Martin Klein (1924-2009), tratar das nuances do fazer científico poderia expor a vulnerabilidade dos saberes construídos, e isto poderia também colocar em risco a credibilidade da ciência e de sua objetividade (BRUSH, 1974). E isto ocorrido, como incentivar o discente para que este ainda queira se tornar um cientista? Pragmaticamente, pensavam os que argumentavam como Klein, que motivação teria um educando para estudar ciência a ponto de vir a ser um cientista se a HFC mostra esta mesma ciência e tudo o quanto o cientista constrói como provisórios? Ou ainda uma história que desnudasse o caráter de muitos dos “heróis” do passado? (KLEIN, 1972 *apud*. MATTHEWS, 1995<sup>6</sup>). Na mesma época, entretanto, havia outro grupo de físicos e historiadores das ciências que discordavam da postura de Klein (BRUSH, 1974). Eles defendiam que perpetuar a história linear e *whig*<sup>7</sup> dos vencedores, não era coerente com o objetivo de formar cidadãos críticos.

Além da imagem que a “verdadeira” história da ciência, como diziam, poderia transmitir sobre a ciência e os cientistas, Klein ainda argumenta que um dos riscos de se apresentar o desenvolvimento histórico de um conceito científico seria criar no discente uma desestabilização tal que viesse a levar o educando a rejeitar a importância dos conceitos, paradigmas e parâmetros científicos vigentes à época do educando. Isso ocorrido, tem-se, então, a descrença na epistemologia do conhecimento apresentado (KLEIN, 1972, *apud* MATTHEWS, 1995). Em outras palavras, a exibição do descarte de teorias, mudanças de conceitos e abandono de ideias que historicamente ocorreram durante o desenvolvimento de

---

<sup>6</sup> Matthews (1995) apresenta os benefícios de se utilizar a HFC para abordar aspectos da NdC em sala de aula. Todavia, como estratégia de retórica, ele exhibe argumentos que são contrários a tal utilização e os rebate.

<sup>7</sup> O *whiggismo* é uma distorção da HC, quando uma narrativa é construída com o propósito de construir ou perpetuar a heroificação de instituições, pensadores, escolas de pensamento. Pode ser considerado como um tipo de anacronismo, quando se tenta reconstruir fatos, ideais, contextos sociais e históricos passados, pode-se incorrer no risco de julgar o passado com base nos paradigmas e aspectos aceitos na atualidade. Esta distorção acaba por impor uma história ao invés da procurara pelo entendimento do passado em seu próprio contexto (FORATO, 2008; JARDINE, 2003).

dado conhecimento pode fazer com que os educandos tenham sua “fé” na ciência abalada de tal forma que passem a questionar (de forma inadequada) os conceitos, teorias e paradigmas da ciência válidos na época na qual o educando vive (KUHN, 1978<sup>8</sup>).

Atualmente, no âmbito do ensino de ciências, não foram localizados pesquisadores que defendessem a posição advogada por Klein há algumas décadas. Entretanto, Forato e colaboradores (2011) apontam que ressaltar a transitoriedade do conhecimento científico, pode fomentar o relativismo, como um dos riscos de se optar por uma abordagem sócio-histórica da construção do conhecimento. Isso não significa ser contrário ao uso da HFC, mas ter em conta que criticar um objetivismo extremo, sem cuidados e mediações, pode sugerir a falta de critérios objetivos na ciência, e uma excessiva subjetividade. O risco apontado volta-se a problemas epistemológicos, ou seja, fomentar no aluno um relativismo extremo, que para o ponto de vista da autora, seria uma concepção inadequada e indesejada para o ensino de ciências.

### **2.3.2 Problemas relativos à construção e qualidade dos textos históricos para o ensino básico**

Fazer uso da HFC encerra em si um perigo sempre iminente: o de se deformar as informações históricas para adequá-las ao contexto da escola básica. Nesse processo de descaracterização todo o possível potencial educacional da HFC pode ser perdido. E o que é pior, ainda se pode levar ao educando uma distorção da NdC. Tal risco ocorre, em linhas gerais, quando da escolha do tema, recorte histórico e da perspectiva historiográfica com a qual se trabalhará esse recorte nas atividades propostas para sala de aula (FORATO, 2009).

Um profissional não formado em História e Filosofia da Ciência pode escolher inadequadamente o recorte histórico, além de produzir algo que não é HFC e levar tal produto diretamente aos educandos. Tais formas de mau uso da HFC perpassam desde simplificações exageradas até uma distorção proposital a fim de validar os conceitos e visões acerca do fazer científico adotado pelo autor dessas histórias.

Nessa linha, uma das críticas ao uso da HFC no ensino básico diz respeito ao risco de se levar ao educando um texto histórico cujas informações foram inadequadamente manipuladas com o objetivo de que a história contada corrobore com imagem de ciência que

---

<sup>8</sup> Kuhn (1978) não é contra o uso da HFC no ensino das ciências, pelo contrário. Entretanto, ele apresenta argumentos contrários a este uso e os analisa criticamente, enfatizando que a distorção histórica presente nos manuais didáticos propaga visões equivocadas sobre a construção da ciência.

se pretende validar de acordo com os propósitos didático-pedagógicos almejados. Esta crítica quanto ao uso da HFC foi defendida por autores como Klein (1972).

Sabe-se que um texto carrega as impressões de mundo do seu autor. Entretanto, o que queremos dizer é que, sendo otimistas, é grande a tentação de se deformar a história para adequá-la aquilo que o autor concebe como ciência e seu papel social. Whittaker (1979, *apud*. MATTHEWS 1995) denomina essa construção textual de *quasi-história*.

De forma mais abrangente, a *pseudo-história* (ALLCHIN, 2004) da ciência é uma reconstrução maculada dos fatos históricos. Omissões, simplificações, descartes, são todos propositadamente feitos para produzir uma ciência sem falhas, sem dissensos, sem controvérsias, o que pode conduzir a uma imagem deificada de ciência. Uma ciência construída às custas de trabalhos de gênios, de seres extraordinários, de verdadeiros heróis. É a idealização do pensador, do filósofo e do cientista como um homem acima dos homens, infalível, despojado das vicissitudes dos cidadãos comuns. O produto do pensar desse homem é sem mácula, irredutível, absoluto, certo, acabado. O estilo de escrita é cuidadoso, romanceado, leva o leitor (leigo em HFC) a aceitar o que está escrito sem muita resistência. Esse é o agravante dos relatos pseudo-históricos: eles apresentam uma história da ciência linearmente reconstruída (MATTHEWS 1995; RIBEIRO 2002; ALLCHIN, 2004; FORATO 2009), e isso se dá para “sustentar uma determinada versão de metodologia científica onde as figuras históricas são retratadas à luz da metodologia ortodoxa atual.” (MATTHEWS, 1995, p. 174).

A quasi-história não é nem de longe fácil de ser definida e de se determinar o que é certo ou errado quanto à reconstrução dos fatos históricos da ciência. Nas palavras de Matthews (1995) isto ocorre porque:

A quasi-história é um assunto complexo. Sabe-se que objetividade em história é, num certo nível, impossível: a história não se apresenta simplesmente aos olhos do espectador; ela tem que ser fabricada. (MATTHEWS, 1995, p. 174).

É nesse processo de confecção da história a ser apresentada que se pode cair em certas armadilhas. Os riscos inerentes a esta produção aparecem quando tentamos responder perguntas como qual conteúdo e recorte histórico selecionar? Com que profundidade abordá-lo? Que tipo de atividades didáticas serão propostas? Com que finalidade?

Outra forma de construção deturpada dos fatos históricos é o que se chama de *anacronismo*. Nesse tipo de formulação histórica, os conceitos, teorias, paradigmas da ciência produzida num determinado período histórico tem seus valores, preceitos e produtos julgados

de acordo com os parâmetros científicos de outra época. É uma reconstrução preconceituosa e desvirtuada, visto que tal perspectiva é carregada de distorções e pré-julgamentos (MATTHEWS, 1995; MARTINS R., 2005; FORATO, 2009).

Este é ponto fulcral dos últimos problemas relatados: há escassez de material didático de qualidade e de apoio aos docentes no que se refere à HFC e ensino. Muito da literatura disponível não foi escrita por historiadores da ciência, e, assim sendo, não possui rigor historiográfico ou usam como fonte uma literatura não específica para a área. Dessa forma, “as obras que resultam desse ‘esforço’ transmitem não apenas informações históricas erradas, mas deturpam totalmente a própria natureza da ciência.” (MARTINS, R., 2006, p. xxiv).

Produzir textos que envolvam HFC não é simples. Requer certo grau de especialização. Nas palavras de Roberto Martins (2001, p. 114), “... somente uma pessoa com um conhecimento e treino adequado nas técnicas de trabalho de história da ciência deveria poder escrever sobre história da ciência”, a fim de que erros acerca da mesma não sejam propagados. Afinal, “a história da ciência não é feita simplesmente de opiniões, repetições e boatos, ela é desenvolvida a partir do estudo de documentos” – fontes secundárias confiáveis e, quando possível, fontes primárias (MARTINS, R., 2001, p. 115),

De maneira mais pragmática, textos inadequados da história da ciência podem ser reconhecidos por abusarem de certos floreios, embelezamentos e exacerbação ou desprezo de características humanas, sociais e culturais durante o transcorrer do texto (ALLCHIN, 2004; FORATO, 2009).

Ainda podem ser citadas dificuldades relacionadas à estrutura didática e pedagógica da própria HFC. Para discutir acerca desses problemas, passamos a explorar brevemente os obstáculos enfrentados por Forato (2009)<sup>9</sup> para a construção e avaliação de um minicurso para a escola básica.

### **2.3.3 Obstáculos na construção de uma proposta de utilização metodológica da HFC para promover a discussão sobre aspectos da NdC em sala de aula.**

Forato (2009) identificou alguns obstáculos ao uso da HFC no ensino de física e apresentou tais resultados em sua tese intitulada “A Natureza da Ciência como Saber Escolar: Um Estudo de Caso a Partir da História da Luz”.

---

<sup>9</sup> Uma síntese da análise teórica desta tese é apresentada em Forato *et al* (2011).

Nessa pesquisa, três episódios da história da luz foram abordados para o desenvolvimento de várias atividades pedagógicas, a fim de que a construção do conhecimento e da discussão sobre a NdC fosse oportunizada pelo debate acerca da visão que se tinha sobre luz ao longo das épocas.

A análise desses obstáculos, conjuntamente com os estudos já apresentados nesse capítulo, também guiou a construção do plano de aulas produto final desta pesquisa, no que concerne aos cuidados necessários para confecção do mesmo.

Exploramos brevemente a seguir um grupo de resultados sobre algumas das dificuldades relatadas por Forato (2009), a partir de uma análise teórica que confrontou recomendações da historiografia contemporânea da história da ciência, com requisitos da didática das ciências, especialmente as apontadas por Chevallard (1991).

#### 2.3.4.1 Seleção do conteúdo histórico

O recorte histórico selecionado para ser trabalhado em sala de aula deve atender aos propósitos educacionais que se almeja trabalhar. Isto é, deve haver uma conjunção pedagógica entre os aspectos da NdC que serão discutidos e os episódios históricos da ciência que servirão de pano de fundo para tal discussão (FORATO, 2009).

Historicamente, o debate proposto pelo plano de aulas, apresentado no sexto capítulo desta pesquisa, explora o conteúdo calor, o qual coaduna-se com o que trata Forato *et al* (2011), em relação à seleção dos conteúdos histórico para uso em sala de aula. Além de ser um conceito com larga difusão inadequada no senso comum, é também contemplado normalmente pelo conteúdo programático do segundo ano do ensino médio. Selecionamos e exploramos tal conteúdo no período dos séculos XVII e XVIII, a fim de analisar com os discentes as principais características do Calor nesses períodos, confrontando-as com a finalidade de buscar descrever os aspectos da NdC selecionados para serem discutidos em sala de aula.

#### 2.3.4.2 Tempo didático

O tempo de que se dispõe para aplicação do plano de aulas sobre o conteúdo histórico selecionado para a discussão acerca da NdC é fator de suma relevância ao sucesso da proposta metodológica. Tal tempo deve ser suficiente para desenvolver sem comprometimento as atividades propostas, bem como para realizar uma análise crítica junto com os discentes acerca do que foi trabalho. Todavia, o tempo didático também delimitará a quantidade de conteúdo histórico a ser desenvolvido em sala de aula (FORATO 2009; FORATO *et al*,

2011). Dessa forma, há uma via de mão dupla: o tempo didático condiciona a quantidade e profundidade dos conteúdos escolhidos, e vice-versa. É importante destacar que o tempo dedicado a cada atividade deve ser pensado tendo em vista os objetivos pedagógicos da mesma. Não é raro encontrarmos propostas em que breves atividades buscam contemplar complexos objetivos pedagógicos, sem que os autores se deem conta das dificuldades que os estudantes podem ter, e a ausência de tempo para uma rediscussão.

Para a determinação do tempo necessário ao desenvolvimento do plano de aulas apresentado mais adiante foram levadas em consideração as complexidades tanto do conceito físico selecionado, no nosso caso o calor, quanto do período histórico e dos textos primários e secundários escolhidos.

O tempo do qual se trata aqui não diz respeito tão somente às aulas que serão disponibilizadas para o desenvolvimento das atividades, mas também ao período necessário à compreensão dos conceitos físicos e dos aspectos trabalhados sobre a NdC (FORATO 2009; FORATO *et al*, 2011).

#### 2.3.4.3 Simplificação e omissão

Outra consideração a ser feita é quanto à profundidade histórica que será trabalhada. Considerar todos os aspectos sócio-históricos e culturais de uma determinada época em um plano de aulas seria de grande ousadia e demandaria um tempo enorme dentro do ano letivo. Dessa maneira, recortes e simplificações são naturalmente feitos, a fim de que haja sintonia entre o tempo disponível, os conteúdos de Física, os históricos e os aspectos da NdC selecionados e o processo de ensino-aprendizagem dos mesmos (FORATO 2009; FORATO *et al*, 2011).

O risco inerente a esse processo de simplificação e omissão é incorrer numa descaracterização histórica, comprometendo assim a discussão sobre a NdC.

A etapa de simplificação e omissão, isto é, de lapidação do conteúdo histórico selecionado é necessária e intrínseca ao processo de adequação desse conteúdo para sua utilização em sala de aula. E, nas escolhas do que e como abordar o conteúdo histórico selecionado estão implícitos valores e paradigmas de quem as fez. Forato *et al* (2011, p. 47) enfatiza que “é importante lembrar que a própria seleção do episódio histórico, dos aspectos a enfatizar ou omitir não estão desvinculados dos valores pessoais dos sujeitos envolvidos.”

#### 2.3.4.4 Relativismo

Ao realizar a abordagem histórica do conceito físico selecionado, buscando problematizar um empirismo ingênuo, pode-se sobrevalorizar o papel das hipóteses, das teorias admitidas como verdadeiras, influenciando a observação. Isso pode sugerir a falta de critérios objetivos. Se um mesmo fenômeno pode levar diferentes pensadores a defenderem teorias muito distintas, com consistente argumentação fundamentada por concepções de mundo distintas, é possível que isso acarrete um relativismo indesejado. É importante haver uma mediação adequada, ao mesmo tempo em que se problematiza a observação neutra da natureza, deve-se dar o devido valor à experimentação, à matematização e aspectos objetivos da construção do conhecimento. A crítica a uma forma rígida e algorítmica da ciência pode conduzir a armadilha de se colocar em segundo plano a importância da observação científica, ou até que a existência de duas ou mais correntes filosóficas para explicação-descrição de dado conceito ou fenômeno. Corre-se o risco de sugerir que uma teoria é proveniente tão somente das preferências pessoais de um grupo de pensadores ou mesmo de um só cientista.

Assim, faz-se necessário ter cuidado ao tratar criticamente a visão empírico-indutivista, a fim de que não se recaia numa relativização dos conceitos e aspectos da NdC, os quais se tenciona abordar analiticamente na proposta metodológica.

#### 2.3.4.5 Inadequações dos trabalhos históricos especializados

Uma das maiores dificuldades para a elaboração de uma proposta metodológica de ensino que utilize a HFC como estopim à discussão de aspectos da NdC no ambiente escolar é a escassez de material adequado. Ou seja, a maioria dos escritos gerados por historiadores da ciência destina-se a historiadores da ciência, e, portanto, não foram confeccionados levando-se em conta aspectos didáticos e pedagógicos necessários a sua aplicação em sala de aula (FORATO, 2009).

Entretanto, a quantidade de trabalhos publicados que relacionam diretamente a HFC com o ensino tem aumentado ao longo dos tempos (QUEIRÓZ, 2009).

#### 2.3.4.6 Supostos benefícios das reconstruções históricas lineares

Uma parcela significativa dos manuais de ensino e os métodos canônicos de ensino largamente hoje utilizados nas escolas propagam uma ciência que foi construída linearmente, com os conhecimentos acumulados sistemática e organizadamente, gerando o corpo de saberes hoje existente. Além disso, os escritos atuais destinados à escola básica têm por tendência a perpetuação da visão atualmente aceita da ciência e dos paradigmas vigentes. Não há, assim, a confrontação dos paradigmas atuais com os vigentes outrora e nem a preocupação de se levar à sala de aula o processo crítico de construção da ciência ao longo do tempo. As



nuances desse processo, como as rupturas teóricas, influências sociais e culturais marcantes no produto da ciência e as demandas econômicas e políticas que delinearão em certas épocas o fazer científico, não são consideradas (KUHN, 1978; MCCOMAS, 1998; PAGLIARINI, 2007; FORATO, 2009; FORATO *et al*, 2011).

Todavia, essa construção anacrônica, linear e cumulativa da ciência é deveras atrativa, pois traz consigo uma forte simplificação do processo de produção dos saberes científicos, o que “beneficia” a compreensão acerca dos passos dados pela ciência até chegar ao estado no qual se encontra atualmente (GIL-PÉREZ *et al*, 2001; RIBEIRO, 2002; ALLCHIN, 2004). Parece, assim, conveniente que essa visão seja utilizada na escola básica.

Está não é linha de ação que adotamos no plano de aulas proposto nesta pesquisa. Aqui adotamos que a confrontação dos aspectos da fazer ciência aceitos em épocas anteriores com aqueles que são aceitos hoje pode produzir momentos didáticos que ponham em discussão aspectos da NdC.

Assim, apresentamos a seguir a linha de ação que adotamos para a confecção do plano de aulas, em relação ao uso metodológico da HFC para levar aspectos da NdC ao debate em sala de aula.

#### **2.4. A perspectiva adotada**

Diante da apresentação dos argumentos favoráveis, contrários e das ressalvas e cuidados que devem ser tomados quando da aplicação metodológica da HFC no ensino básico, adotamos a linha de que SIM, a introdução da HFC no ensino traz benefícios, principalmente no que concerne à discussão acerca dos aspectos da NdC.

Entretanto, também concordamos que muitos cuidados devem ser tomados para a construção a e na aplicação de uma proposta didática que envolva um recorte histórico e sua apresentação em sala de aula. Como abordado durante o presente capítulo, buscamos levar em consideração todas as nuances apresentadas, a fim de produzirmos um material histórico e didaticamente adequado.

Apresentamos a seguir a postura educacional adotada e o pressuposto teórico-metodológico utilizados para confecção da proposta didática.

### **3. CONSIDERAÇÕES EDUCACIONAIS**

Citamos em momentos anteriores que um dos benefícios da inserção da HFC no ensino, para discutir aspectos da NdC, é poder proporcionar ao educando uma revisão de suas ideias iniciais a respeito da ciência, colocando suas pré-concepções em contraste com os aspectos da NdC implícitos nos relatos e recortes históricos escolhidos e apresentados em sala de aula.

Todavia, além dos argumentos e cuidados que devem ser tomados com relação ao uso da HFC no ensino, há cuidados de outras ordens. Assim, passamos a apresentar e discutir ideais da área Educação as quais entendemos como pertinentes à boa construção do plano de aulas apresentado como produto desta pesquisa.

#### **3.1 Introdução da HFC no ensino básico: considerações de pertinência educacional**

Alinhado à perspectiva de que se deve abordar em sala de aula a ciência como um produto humano, desde o fim da década de noventa, os documentos oficiais brasileiros direcionavam o processo de ensino por uma metodologia que caracterizasse a física como um constructo social histórico do homem. Zanetic (1989) defendia a perspectiva de um ensino que caracterizasse a física enquanto produção da cultura de uma sociedade em uma época. A física passa a ser, nesse viés, um bem social, um legado. Assim, deve-se buscar um ensino que conduza o educando a perceber que “o surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram.” (BRASIL, 1999, p. 27).

Valendo-se da contextualização sócio-histórica aliada a uma perspectiva humanista da ciência e integrada à experimentação (como esta é desenvolvida comumente no fazer científico), o ensino das ciências, em particular o ensino de física, pode trazer um caráter mais efetivo ao processo de ensino-aprendizagem, visto que, com aulas concebidas dessa forma, a ciência deixa de ser percebida como algo acessível apenas para uma nobre casta – os escolhidos – para ser vista como um constructo da humanidade, e, portanto, uma ciência influenciada por todas as dimensões humanas. Isso se deve também “a nova postura na qual ensinar ciência incorpora a ideia de ensinar sobre ciência, o desenvolvimento da metodologia de ensino sofreu bastante influência das reflexões sobre filosofia das ciências e os trabalhos que estudaram o seu desenvolvimento histórico.” (CARVALHO, 2009, p.4).

Além de sua função metodológica, a aplicação da HFC ao ensino presta-se a diagnose de certos aspectos vazios existentes no conhecimento escolar acerca do fazer científico que se

almeja que sejam apreendidos e aprendidos pelos discentes. Como mostra Ruth de Castro (2009, p. 105), há

... duas principais funções do uso da história da física num curso de Física: uma função facilitadora do pensamento dos alunos e uma função reguladora das perturbações lacunares, que têm um importante papel na construção dos conhecimentos. Essa função reguladora manifesta-se no fato de a abordagem histórica trazer à tona questões que, mesmo aparentemente banais, são capazes de evidenciar as lacunas que impedem o avanço do processo de conhecer.

Os vazios aos quais se refere Castro (2009) estão relacionados à forma como os discentes concebem a ciência a partir das informações sobre ciência que já trazem de suas vivências e das informações que lhe são apresentadas no ambiente escolar (caso tais informações não sejam oriundas de fontes que tratem a NdC adequadamente). Todavia, uma exploração da ciência por meio de seu estudo histórico pode propiciar aos discentes formas de relacionar as causas, motivos e contingências que formaram o contexto mais amplo no qual um conhecimento foi produzido com os próprios conceitos científicos e ideias desse conhecimento. Assim, dá-se à ciência e ao conhecimento objeto de estudo uma formatação mais significativa, mais plausível, podendo fazer com que os discentes lidem mais naturalmente com a complexidade do fazer científico.

### **3.2. Introdução da HFC no ensino básico: considerações sobre a psicologia educacional**

Há alguns obstáculos a serem superados no que se refere à tentativa de mudança paradigmática em relação tanto à postura do educando em relação à ciência quanto à própria ideia de ciência do mesmo. Um desses obstáculos é o que na psicologia educacional se conhece por *perseverança na crença*: “Tendência de se apegar a uma crença quando se é confrontado com uma evidência contraditória. Dificuldade para abandonar uma ideia ou estratégia uma vez que a tenham adotado.” (SANTROCK, 2009, p. 312). Nessa linha, as concepções, ideias e pré-conceitos dos educando em relação à ciência entrarão em rota de colisão com os novos paradigmas da NdC que serão apresentados a eles. E nesse embate, a tendência inicial do educando deve ser a de apego à ideia primeira. Em assim sendo, uma importante estratégia de ação pedagógica é escolher determinados aspectos da NdC e explorá-los em atividades e situações didáticas diversas (texto, paródia, experimento, gincana, exercício, teatro, filme, pesquisa, etc.). O que se deseja com isto é expor o discente a uma gama de situações educacionais que o incentive a refletir acerca dos aspectos da NdC que são trabalhados nessas atividades didáticas.

Ainda dentro do campo da psicologia educacional, uma metodologia de ensino deve considerar alguns aspectos referentes aos processos cognitivos. Assim, aspectos como

*competência cognitiva* (ou *nível de desenvolvimento cognitivo*), *saberes prévios* (ou *conhecimentos cotidianos*) e *estratégias de pensamento* que os discentes trazem ao ambiente de ensino devem ser considerados quando do planejamento e aplicação da metodologia de ensino adotada (SANTROCK, 2009; MORETTO, 2010; MORIN, 2010 e 2011).

O conceito de *competência*, dentro do âmbito educacional, refere-se essencialmente a três grandes campos de atuação do indivíduo (no caso aqui, o discente): atuação sobre o conhecimento, sobre os conhecimentos e sobre si mesmo (MORIN, 2010 e 2011).

Competência sobre o conhecimento, ou sobre o conteúdo disciplinar, refere-se à compreensão do discente em relação a um conteúdo escolar específico. Busca-se aqui a relação estabelecida entre o indivíduo e um conhecimento. Essa relação é dada, então, pelos processos de ensino-aprendizagem e pela apropriação do saber pelo educando. Neste momento, insere-se a realidade dada pela e para a produção de um saber e sua estreita afinidade com o *erro* e a *ilusão* (MORIN, 2011). Erro porque na gênese de um conhecimento encontra-se a probabilidade de que aquilo que se estuda pode estar sendo analisado de forma inadequada ou que a interpretação dada ao objeto de estudo pode estar equivocada, e assim tem-se a produção do erro, o qual precisa ser encarado como um produto possível na busca pelo entendimento sobre algo. Ilusão no que concerne à possibilidade de deixar-se levar pela ideia de que o resultado do processo de produção do conhecimento seria certo e definitivo (MORETTO, 2010; MORIN, 2010 e 2011). Neste ponto, a metodologia HFC pode contribuir para que a formação de conceitos oriundos do erro ou ilusão sejam tratados de forma adequada, buscando a não geração de deformações no perfil conceitual dos educandos quanto a fazer científico, quer seja ao explorar a gênese de um conhecimento quer seja na contextualização sócio-histórica de um episódio científico.

O segundo ponto em destaque é a competência sobre conhecimentos. O plural anterior está relacionado com a capacidade de manobrar e mobilizar os conhecimentos. Em relacionar os diversos saberes, em constituir uma teia de informações que dê suporte ao educando para compreender e intervir criticamente no mundo, auxiliando-o em tomadas de decisão e formação de juízo de valores acerca de temas que envolvam os conhecimentos acadêmicos direta ou indiretamente (MORETTO, 2010; MORIN, 2010 e 2011).

Nessa mesma direção, a psicologia educacional lança luz sobre essa dinâmica de associação de saberes em seu conceito denominado *transferência*. Em linhas gerais, “transferência ocorre quando uma pessoa aplica experiências e conhecimentos prévios para aprender ou para solucionar um problema em uma nova situação” (SANTROCK, 2009, p.

327). Novamente, o que é desejado é que uma leitura adequada de um recorte histórico da ciência, isto é, que a exploração sócio-histórica de um fato ou conceito científico possa clarificar os meios pelos quais ocorre o desenvolvimento da ciência. Assim haveria, portanto, uma transferência, conforme a psicologia educacional, dos aspectos compreendidos sobre a NdC para outras áreas da vivência do discente, tais como a humanização dos saberes, produção em equipe, o erro como parte integrante de qualquer processo da vida do educando, etc. A metodologia HFC aqui se presta a outro viés de formação do educando: o de propiciar uma visão de mundo.

Competência sobre o si mesmo remete a uma individual ação sobre o coletivo do qual se faz parte. Enquanto ser único, o indivíduo possui seus objetivos, suas metas, porém está inserido num projeto coletivo, a sociedade. Assim, em sua integridade, o ser-cidadão deve participar ativamente em prol do bem-estar coletivo e da promoção de si mesmo. Não se deve perder a individualidade por causa do bem maior social, e nem subestimar o valor da sociedade em detrimento ao sucesso individual. Tais juízos de valores permeiam a educação e o ambiente de aula que preconiza a formação do ser integral (MORETTO, 2010; MORIN, 2010 e 2011). “Diferentes como pessoas, somos iguais como cidadãos” (MACHADO, 2010, p. 38). Essa complementaridade deve ser levada à ação didática cotidiana. Pois, nesse aspecto encontra-se contemplada a ação do sujeito sobre a realidade, e desta sobre o indivíduo. O papel do outro próximo (outros discentes e o docente, por exemplo) e que age de forma transformadora sobre o discente está presente nesse viés. Assim, “a integridade [do ser-cidadão] está associada de modo essencial a uma abertura no quadro de valores para o diálogo, para a argumentação racional em busca de consensos sendo factíveis tanto o convencimento do outro quanto a aceitação de sua perspectiva” (MACHADO, 2010, p. 39-40). Aqui a metodologia HFC proposta, ao tratar dos aspectos humanos e sociais da NdC, busca fornecer subsídios para trabalhar a individualidade do pensamento científico, o qual encontra validação no coletivo de seus pares, relacionando isto à produção coletiva do conhecimento.

### **3.3 Introdução da HFC no ensino básico: considerações sobre os documentos oficiais brasileiros**

No Brasil, os documentos oficiais acerca da Educação, seus métodos e currículos disciplinares, especificamente no que concerne ao Ensino das Ciências, têm apontado, desde as últimas décadas do século passado, que a perspectiva histórico-filosófica e social do fazer

ciência deve ser seriamente considerada no processo de ensino-aprendizagem das ciências. Assim, tal processo deve conduzir o educando 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. 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, 1999, p.13).

Os documentos oficiais brasileiros referem-se à educação em ciências como uma importante arma para promover um indivíduo à plena cidadania. Compreender o mundo significa poder atuar efetivamente para a mudança desse mundo. Assim, busca-se o progresso do ser e do coletivo, da unidade e da sociedade. Quer seja pelo avanço tecnológico quer seja pelo desenvolvimento das ciências, é o homem quem os produz, e é para a formação deste homem que deve fitar a educação. Dessa forma, diversas competências e aspectos do indivíduo devem ser trabalhados. Segundo os PCN+ (BRASIL, 2007),

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam [ao educando] perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. (p. 59)

No trajeto didático e pedagógico a ser trilhado na intenção de ferramentar o indivíduo a fim de que ele se ponha e se imponha na e para a realidade na qual vive, deve-se inserir as ciências como um produto fundamentalmente humano. Sendo assim, “a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais” (BRASIL, 2007, p. 59).

Recentemente, a Resolução nº 02 do Ministério da Educação, de 30 de janeiro de 2012, ratifica a importância que as várias dimensões humanas têm no processo de produção das ciências. Nesse documento, a relação entre ensino e sociedade é enfatizada e deve ter seus reflexos nos procedimentos de ensino, deixando isso muito claro quando diz que o ensino deve contemplar a “indissociabilidade entre educação e prática social, considerando-se a historicidade dos conhecimentos e dos sujeitos do processo educativo, bem como entre teoria e prática no processo de ensino-aprendizagem.” (BRASIL, 2012, p. 2). Nesse mesmo documento, “a ciência é conceituada como o conjunto de conhecimentos sistematizados, produzidos socialmente ao longo da história, na busca da compreensão e transformação da natureza e da sociedade.” (BRASIL, 2012, p. 2).

Percebe-se, portanto, que as instituições governamentais brasileiras que respondem pelas diretrizes e parâmetros da educação nacional e seus atributos há várias décadas já

sinalizam para a necessidade de uma reconstrução do ensino das ciências. Nesse período, vários dos documentos oficiais publicados trazem à tona a importância de um estudo das ciências fundamentado nas suas dimensões técnica, epistemológica e humana. E, portanto, necessário é que se contextualize essa produção humana de acordo com as contingências que influenciam o ser e, por conseguinte, aquilo que ele desenvolve.

### **3.4 Introdução da HFC no ensino básico: considerações sobre o processo de ensino-aprendizagem**

Um dos entraves à promoção de mudanças paradigmáticas no ensino científico no nível médio deve-se ao modelo de escola vigente nas instituições de ensino. Tal modelo ainda perpetua a concepção de ciência enquanto produtora de verdades, na qual seus agentes, os cientistas, são detentores de capacidade intelectual bem acima da média, além de serem antissociais e desleixados consigo mesmos. Uma ciência que quando aplicada produz diretamente tecnologia (nessa ordem). E muitas vezes vista como uma abstração inútil do pensamento para a grande massa da população. Mudar essa visão não é simples e requer um grande esforço.

A mudança metodológica e didática necessária seria aquela que durante sua aplicação produza conhecimento por meio da crítica sobre esse mesmo conhecimento. Almeja-se com isso que os discentes submetidos a esta metodologia didática tenham algumas de suas habilidades e competências desenvolvidas, principalmente aquelas relacionadas à ação do sujeito sobre o saber e sobre o mundo. Dessa forma, a meta educacional é dar subsídios para que o discente compreenda a sociedade na qual vive, lide consciente e adequadamente com as regras e demandas sociais e atue significativamente sobre a realidade imediata (POZO, 2005; MORETTO, 2010; MORIN, 2010 e 2011). Aqui se insere a metodologia HFC: em seu papel para conscientização sobre os aspectos da NdC, a contextualização sócio-histórica do saber pode fornecer ferramentas que contribuam para a mudança educacional desejada, a partir do momento em que exhibe a relação reflexiva entre conhecimento – indivíduo – sociedade.

Se a intenção é promover tal mudança, faz-se preciso perceber o processo educacional e de ensino como algo que necessita, em seu planejamento, deixar claros os papéis dos atores e autores desse processo, bem como suas limitações. Mas, não somente isto, deve-se ainda considerar que a discussão sobre ciência que será estabelecida encontrará possíveis resistências quanto às ideias já trazidas pelos discentes à sala de aula.

Promover essa mudança de perspectiva na forma como a ciência é vista não é tão simples quanto parece. Deve-se tomá-la como complexa, mas não subestimar suas potencialidades.

O capítulo seguinte descreve a metodologia adotada tanto na construção do plano de aulas quanto na realização de todas as etapas dessa pesquisa.



## **4. METODOLOGIA**

A pesquisa para esta dissertação de mestrado envolveu questões metodológicas em três momentos distintos. O primeiro deles diz respeito à concepção metodológica da pesquisa de um modo mais amplo, isto é, a linha de atuação e a forma pela qual se deu o processo de pesquisa. O segundo momento é referente à metodologia de ensino que se almeja para a aplicação do plano de aulas proposto para sala de aula. O último descreve a metodologia empregada na confecção das atividades e textos para os discentes e de suporte ao professor, a partir dos Parâmetros Forato (2009).

Dessa maneira, a seguir encontra-se a descrição dessas três metodologias.

### **4.1. Metodologia de pesquisa**

A pesquisa aqui apresentada versa sobre o uso da HFC como ferramenta metodológica para o ensino de Física e discussão acerca da Natureza da Ciência, utilizando fontes históricos, primárias e secundárias. Como resultados e desdobramento, temos o plano de aulas, com atividades didáticas, planejamento pedagógico do curso, e material didático para discentes e de suporte ao professor, cuja fundamentação de confecção baseou-se em Forato (2009).

Tal estudo foi inicialmente dividido em três etapas. A primeira delas foi a pesquisa bibliográfica sobre a utilização didática da História e Filosofia da Ciência enquanto metodologia de ensino, que compôs o quadro teórico que deu sustentação ao estudo.

A segunda etapa foi o levantamento e estudo de fontes históricas primárias e secundárias sobre o conceito físico de Calor. Foram, então, selecionados os conteúdos objeto de transposição didática para a sala de aula, enfocando o plano de aulas que foi desenvolvido para ser aplicado, inicialmente em turmas do segundo ano do ensino médio da rede federal de ensino em Alagoas.

A terceira etapa foi a construção dos textos históricos para produção do material didático, que aborda o conceito físico supracitado. Após análise, dentre os textos estudados, selecionamos aspectos históricos do Calor em diferentes episódios históricos, mais precisamente envolvendo alguns elementos do pensamento de Empédocles, Aristóteles, entre outros, na Antiguidade, Paracelsus, van Helmont e Becher, no medievo, e Stahl, Black, Priestley, Lavoisier e Rumford entre os séculos XVII e XVIII, utilizados enquanto extratos de fontes primárias. Os textos foram elaborados em conjunto com atividades didáticas, nas quais se destacam as duas linhas de pensamento abordadas historicamente sobre o Calor e alguns

dos pensadores envolvidos com tais linhas. Teve-se por objetivo discutir as várias perspectivas, as dificuldades, os resultados experimentais que estiveram diretamente relacionados à construção do conceito de Calor.

O desenvolvimento dessa proposta utilizou os parâmetros propostos por Forato (2009) como fundamentação teórica para a transposição didática de conteúdos de HFC para o ambiente escolar. Tais parâmetros discutem desafios, obstáculos, algumas sugestões e riscos inerentes ao uso da HFC como ferramenta metodológica para o ensino. São discutidas as possíveis dificuldades (e como superá-las) que podem ser enfrentadas ao levar a HFC como ferramenta de ensino para a sala de aula. Desse modo, tais parâmetros foram utilizados como norteadores da elaboração do produto final: o plano de aulas e material didático para o aluno e de suporte ao professor.

A metodologia empregada nessa pesquisa foi de ordem qualitativa. Nessa perspectiva, “[...] a tarefa do pesquisador não é descobrir leis, mas engajar-se numa compreensão interpretativa [...] das mentes daqueles que são parte da pesquisa” (SANTOS FILHO, 2001, p.27). Portanto, a metodologia utilizada teve por finalidade explorar a construção-reconstrução do conceito de Calor em diferentes momentos históricos, a transformação-reassignificação de aspectos da NdC dos educandos, mediante o uso da HFC como ferramenta de ensino.

O dia a dia da sala de aula é tomado como contexto de aplicação do resultado desta pesquisa. Tal cotidiano foi considerado em sua pluralidade de perspectivas e complexidade de relações entre os indivíduos constituinte desse ambiente. Assim, a heterogeneidade não se simplifica ao ponto do dever-ser, mas tem sua complexidade caracterizada no turbilhão de visões, conceitos, concepções e vivências de cada partícipe do contexto da pesquisa. Tais considerações foram tomadas a partir das experiências em sala de aula dos envolvidos na construção da pesquisa aqui apresentada. Da interseção desses fatores, heterogeneidade dos indivíduos em sala de aula, complexidades de relações e experiência docente nasceram os três elementos essenciais a esta pesquisa qualitativa: o contexto, a transformação social e a historicidade (ou diacronia) (GODOY, 1995a, 1995b; OLIVEIRA, 2000; SANTOS FILHO, 2001).

A despeito da proposta ter sido desenvolvida inicialmente para um contexto educacional específico, a análise do processo de sua construção será um valioso desdobramento desse projeto, possivelmente geradora de novas pesquisas (ERICKSON, 1998; CARVALHO, 2006).

## 4.2. Metodologia de ensino

Para a aplicação do plano de aulas aqui contido, sugere-se que o professor deva agir como organizador das atividades e momentos didáticos, mediando e facilitando a relação conhecimento prévio e cotidiano – educando – conhecimento pretendido (COLL, 2006; CONTRERAS, 2002; DUARTE, 2010). Mediador atuante entre as informações a serem trabalhadas e os discentes que trabalharão sobre as informações. Facilitador no que concerne a proporcionar estratégias de ensino e adequado ambiente de aula que permitam o melhor transcorrer possível dos momentos didáticos planejados.

Para desenvolver adequadamente o plano de aulas aqui apresentado, o professor, enquanto mediador/facilitador, deve procurar exercer mínima influência sobre a formação de juízo e opinião dos discentes acerca da natureza do Calor e da Natureza da Ciência. Permitindo, assim, que por meio das discussões e debates relativos às informações apresentadas nos materiais didáticos utilizados os educandos formem suas próprias opiniões sobre o assunto em pauta.

Um segundo cuidado a ser tomado ao se utilizar esta proposta é o respeito e a consideração dos conhecimentos prévios dos discentes como integrantes do processo de ensino-aprendizagem. Em certa medida, é o conflito entre o conhecimento que se tem e o conhecimento que se propõe que gerará a oportunidade de discussão (GIL-PEREZ *et al*, 2001, 2004) e ressignificações com relação aos perfis conceituais (MORTIMER, 1996 e 2000). Nesse sentido, entende-se que a ideia de perfil conceitual

... permite entender a evolução das ideias dos estudantes em sala de aula não como uma substituição de ideias alternativas por ideias científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções, em que as novas ideias adquiridas no processo de ensino-aprendizagem passam a conviver com as ideias anteriores, sendo que cada uma delas pode ser empregada no contexto conveniente. Através dessa noção é possível situar as ideias dos estudantes num contexto mais amplo que admite sua convivência com o saber escolar e com o saber científico (MORTIMER, 1996, p. 23).

Essencialmente, a proposta tomou por fundamento a produção do conhecimento pela exposição de ideias e perspectivas diversas, promovendo o debate e discussão, na tentativa de enriquecer os momentos didáticos pela exploração das várias concepções discentes sobre os temas em estudo. Tal sistemática de trabalho adota a perspectiva do debate crítico, no qual o confronto de ideias e posturas fornece subsídios para a exposição de argumentos (SOUZA, 2012). Nesse ambiente de discussão é que é produzida a criticidade acerca dos conteúdos escolares e históricos e da NdC. Dessa forma, os textos e atividades propostos não devem ser

tomados como receituários ou bulas, nem como fechados e rígidos. Pelo contrário, todas as atividades propostas são tão somente norteadoras para as discussões e debates.

Todo o plano de aulas aqui apresentado tem por fundamento os Parâmetros Forato (2009), utilizados desde a confecção dos textos e atividades, passando pela seleção e nível de aprofundamento das informações contidas nos mesmos, até didatização da proposta de ensino.

Segundo Forato (2009), ao se utilizar a HFC enquanto metodologia de ensino alguns cuidados devem ser tomados.

O cuidado primeiro tomado para usar a HFC para o ensino foi escolher qual recorte da história da física será utilizado para o ensino, para que não se corresse o risco de produzir uma maquiagem histórica (HEERING, 2000). Tal consideração fez-se pertinente devido aos fatores que estão além da esfera do conhecimento em si. São contingências do ambiente escolar, as quais irão interferir diretamente na relação didática entre o conteúdo e o discente, relação esta mediada pelo professor.

Entretanto, a adequação de conhecimentos aos condicionantes e possibilidades do sistema de ensino pressupõe a necessidade de se considerar a pertinência dos saberes escolares, a legitimidade cultural conferida pelo seu contexto sociocultural e as necessidades didáticas de cada disciplina, respeitando a autonomia epistemológica atribuída ao saber escolar. Transformar os saberes em conteúdos adequados à escola básica requer admitir uma mudança de nicho epistemológico, reconhecer as diferentes funções sociais desses conhecimentos e sua necessária reconstrução (FORATO, PIETROCOLA E MARTINS, 2011, p. 40).

É nesse contexto rico e diverso que o plano de aulas proposto se reveste de sentido e significado. E foi para este contexto que as atividades, conhecimentos trabalhados e textos para suporte tanto dos educandos quanto dos docentes foram pensados e construídos. Para tanto, adotamos os Parâmetros Forato (2009).

#### **4.3 Parâmetros Forato (2009)**

Tomados como referência e norteadores para a confecção dos momentos didáticos, atividades e textos do plano aulas proposto, os Parâmetros Forato (2009) descrevem uma possível estratégia para construção de materiais e aulas que façam o uso da HFC como metodologia de ensino para discussão de aspectos da NdC em sala de aula.

Os parâmetros foram sistematizados em cerca de 20 (vinte) aspectos pontuais que tratam de diferentes particularidades a serem considerados para a construção de propostas para a sala de aula (FORATO, 2009, vol. 1, p 188-196).

Para nosso contexto específico de pesquisa e considerando o contexto educacional que buscamos atender, realizamos uma adaptação e agrupamos estes 20 parâmetros em cinco blocos temáticos:

- a) Definição de objetivos pedagógicos e epistemológicos;
- b) Definição dos recortes dos conteúdos científicos, históricos e epistemológicos;
- c) Apoio para construção das atividades e materiais didáticos;
- d) Apoio ao professor da escola básica;
- e) Verificação da consistência interna da proposta frente aos objetivos estabelecidos.

Apresentamos abaixo os parâmetros agrupados em cada um desses blocos e as reflexões realizadas nessas instâncias.

*a) Definição de objetivos pedagógicos e epistemológicos.*

O ponto de partida para a produção do plano de aulas foi estabelecer as interseções entre os objetivos educacionais e epistemológicos, conforme especificam os parâmetros:

- Estabelecer os propósitos pedagógicos para os usos da HFSC no ensino;
- Explicitar a concepção de ciência adotada e os aspectos epistemológicos pretendidos.

Didaticamente, com o plano de aulas espera-se que os discentes entendam criticamente o conceito físico Calor a alguns de seus atributos, como calor sensível, calor específico e a relação que estes possuem com a variação da temperatura e massa dos corpos e substâncias, inseridos no estudo histórico acerca do conceito Calor. Epistemologicamente, almeja-se que o educando compreenda o processo histórico que levou à formação de várias perspectivas quanto ao conceito Calor, compreendendo a coletividade da construção da ciência, a transitoriedade dos conhecimentos, a falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência e a coerência dos constructos teóricos para explicação dos fenômenos à época em que foram desenvolvidos, os quais são alguns dos aspectos relativos à NdC.

Para atingir tais objetivos é que optamos pela utilização da HFC como proposta metodológica de ensino. O estudo histórico de uma ideia, conceito ou explicação de um fenômeno da natureza pode propiciar situações nas quais os aspectos da NdC aflorem e possam ser trabalhados e problematizados em sala de aula (ver capítulo 2).

*b) Definição dos recortes dos conteúdos científicos, históricos e epistemológicos.*

Em seguida, a preocupação recai sobre que conteúdo histórico atende aos propósitos e objetivos pretendidos. E, assim, de que forma deve este conteúdo ser construído, pensando os momentos didáticos, relacionando-se para quem este será apresentado e em que ambiente isto será feito. Sobre isso estão relacionados os seguintes parâmetros:

- Selecionar o tema e os conteúdos históricos apropriados;
- Escolher temas que despertem a curiosidade da faixa etária pretendida. A escolha não pode considerar apenas critérios técnicos e objetivos, mas envolver os estudantes é fundamental;
- Definir o nível de profundidade e formulação discursiva dos conteúdos epistemológicos;
- Selecionar os aspectos a enfatizar e a omitir em cada conteúdo da história da ciência;
- Confrontar os aspectos omitidos com os aspectos da NdC objetivados;
- Definir o nível de detalhamento do contexto não científico a ser tratado;
- Mediar as simplificações e omissões, pois enfatizar a influência de aspectos não científicos pode promover interpretações relativistas extremas;
- Avaliar quando é possível superar ou contornar a ausência de pré-requisitos nos conhecimentos matemáticos, físicos, históricos, epistemológicos.

Assim, tendo o conceito Calor diversas interpretações e explicações ao longo das épocas, sofrendo abandono de ideias passadas ou reformulações e formulação de novas hipóteses, envolvendo pensadores de perspectivas diversas e divergentes sobre a constituição das coisas, pode-se explorar aspectos da NdC. Nesse sentido, para a confecção dos materiais dos discentes fez-se necessário enfatizar em todo o plano de aulas duas linhas de entendimento sobre o Calor que conviveram ao longo de várias épocas, bem como omitir algumas concepções alquimistas do medievo e as ideias relacionadas ao calor radiante, por exemplo.

Tais omissões foram precisas por três fatores: o tempo didático necessário para uma abordagem tão ampla, o aprofundamento necessário para o docente que irá aplicar o plano de aulas e a quantidade de textos e materiais que teriam de ser reproduzidos para aplicação da proposta de ensino. O tempo do qual se dispõe para o cumprimento do conteúdo programático anual de Física é limitado, o que inviabiliza uma proposta de ensino que comprometa tal cumprimento. A quantidade de informações que o docente que se proponha a aplicar um estudo histórico vasto teria de estudar seria tão grande que poderia desestimular o professor,

possivelmente pela elevada carga de trabalho com as quais os professores da rede básica brasileira lidam comumente. Além disso, a quantidade de material a ser disponibilizado para os discentes seria igualmente grande, o que poderia inviabilizar a adoção da proposta de ensino.

As ênfases dadas a certos aspectos concentraram-se naqueles ligados mais diretamente à construção científica do conceito Calor, respeitando-se o fazer científico de cada época considerada. Com isso, mesmo tratando de nuances extra científicas, não foram feitas considerações tamanhas sobre aspectos metacientíficos para que não se incorresse num relativismo ingênuo da ciência e seus pensadores. Por exemplo, ao se discutir as contingências e demandas sociais e econômicas do século XVIII, pode-se correr o risco de sugerir que a ciência é apenas uma resposta aos anseios e demandas industriais e tecnológicas. Por outro lado, omitir tais considerações históricas pode fomentar ideias relacionadas a uma produção científica isenta de influências externas. Dessa forma, buscou-se equilibrar considerações externas à ciência com as estritamente científicas.

Em outra frente, o tratamento dado e a abordagem sugerida também levam em conta aspectos matemáticos do Calor e deseja-se que o plano de aulas seja aplicado plano de ensino da série e ano letivo nos quais o conteúdo Calor seria naturalmente abordado, adequando-se o discurso e materiais para este público. Isso minimiza problemas relacionados aos conhecimentos antecedentes necessários ao entendimento do Calor.

*c) Apoio para construção das atividades e materiais didáticos.*

O próximo passo é planejar as atividades a serem desenvolvidas para que as metas definidas possam ser atingidas de forma satisfatória. Nesse momento também devem ser pensados os textos e materiais didáticos que, porventura, devam ser construídos para os discentes e para dar suporte aos professores que queiram aplicar tais momentos didáticos. Os parâmetros que apoiam este bloco são:

- Combinar um grupo de estratégias e recursos didáticos distintos pode compensar a falta de conhecimento em certos conteúdos físicos e matemáticos;
- Ponderar sobre a quantidade e profundidade dos textos;
- Abordar diacronicamente os conteúdos da história da ciência de difícil compreensão atualmente;
- Abordar diacronicamente diferentes concepções de ciência e o pensamento dos filósofos, filósofos naturais e cientistas de distintos períodos e civilizações;

- Apresentar exemplos de teorias superadas em diferentes contextos culturais permite criticar ideias ingênuas sobre história e epistemologia da ciência, como a possível concepção de que a ciência atual pode resolver todos os problemas;
- Defender uma nova ideia conflitante com aquelas predominantes no repertório cultural dos estudantes requer o uso de estratégias capazes de criar desconforto, conflitos que permitam o questionamento de ideias preestabelecidas;
- Permitir aos estudantes vivenciarem aspectos dos debates entre teorias rivais favorece a compreensão de aspectos da NdC.

Uma das particularidades mais importantes de um plano de aulas que é norteado pelos Parâmetros Forato (2009) é fazer uso de uma diversidade de ferramentas didáticas que abordem os mesmos aspectos da NdC. As finalidades disso são atingir o maior número de educandos possível em sala de aula e explorar os conteúdos de ensino e epistemológicos de forma mais eficiente, buscando maximizar o processo de ensino-aprendizagem das nuances da NdC a serem trabalhadas na proposta de ensino. Assim, no plano de aulas proposto há:

- ✓ Momentos de discussão e debate;
- ✓ Júri simulado;
- ✓ Experimentos abertos;
- ✓ Lições de casa subjetivas e objetivas, teóricas e com cálculos;
- ✓ Interpretações e produção de texto;
- ✓ Análise de trechos de poesias e músicas;
- ✓ Vídeos;
- ✓ Experimentos virtuais.

Alguns desses momentos são destinados a trabalhos individuais dos discentes, outros em pequenos grupos e ainda outro em grandes grupos, buscando promover também o desenvolvimento de competências singulares e plurais, individuais e coletivas (ver cap. 3).

Os momentos planejados, bem como os materiais disponibilizados, buscaram discutir por meio do estudo histórico do conceito Calor a HFC de forma diacrônica, levando-se em consideração vários períodos da história e várias concepções sobre o calor em cada época. Unindo-se a isto, deseja-se que na realização de alguns momentos didáticos o aplicador do plano de aulas promova uma reflexão crítica sobre hipóteses que foram abandonadas ou superadas a fim de problematizar visões inadequadas da NdC.



A apresentação crítica de perspectivas contemporâneas e divergentes do conceito Calor, seu contexto em que se validavam, permite confrontar as ideias dos discentes sobre a produção de verdades absolutas na ciência, abordando assim aspectos da NdC. Isso é viabilizado pela aplicação de atividades que geram desestabilização dos perfis conceituais dos educandos, propiciando situações mais efetivas de ensino-aprendizagem. Busca-se um conjunto de ferramentas e momentos didáticos que produzam tal desestabilização pelo conflito de ideias, perspectivas e percepções sobre algo, no nosso caso aspectos da NdC e Calor. Nessa linha, os discentes são incentivados a exibirem suas ideias, as quais são prontamente questionadas, no intuito de promover o conflito cognitivo (MORTIMER, 2000).

*d) Apoio ao professor da escola básica.*

Pensando nos docentes que, porventura, não tenham tido oportunidades de ter contato com HFC e NdC, o plano de aulas aqui proposto traz, antecedendo ao plano de aulas propriamente dito, uma breve explanação sobre os aspectos da NdC, características pedagógicas da HFC e como relacioná-las ao ensino de Física. Além disso, na proposta de ensino há indicações, sugestões de caminhos pedagógicos que podem ser trilhados para a exploração das ideias e hipóteses levantadas pelos discentes, conforme certas situações didáticas se apresentem. Contudo, não há aqui nenhuma intenção de que tais caminhos e sugestões sejam tomados por método fechado de trabalho do plano de aulas.

O plano de aulas proposto também traz a descrição de todos os momentos didáticos planejados, atividades e textos, relacionando-os aos aspectos da NdC que são trabalhados neles. Além disso, acompanha tal plano o texto histórico suporte para os docentes (cap. 5).

Tais considerações e construções foram feitas conforme a indicação do parâmetro:

- Compensar a falta de preparo do professor para lidar com saberes da HFC na sala de aula inclui prepará-lo para identificar e problematizar manifestações anacrônicas. Materiais didáticos poderiam incluir orientações e advertências sobre ideias inesperadas e possíveis modos para se lidar com elas.

*e) Verificação da consistência interna da proposta frente aos objetivos estabelecidos.*

Também é preciso avaliar se o que foi planejado, atividades, textos e momentos didáticos prestaram-se adequadamente às metas pretendidas, em consonância com os parâmetros:

- Ter em mente as diferentes funções sociais do conhecimento acadêmico e dos saberes escolares da escola básica;
- Questionar cada mensagem objetivada sobre a NdC em diferentes atividades didáticas e distintos episódios históricos.

Para isso, é necessário verificar se na confecção dos textos e atividades aquilo que foi omitido realmente era desnecessário comparado com os objetivos de ensino e epistemológicos. E, também, verificar se os aspectos da NdC que se quer abordar são trabalhados em vários momentos didáticos e a diversas atividades.

Esta etapa se reveste de suma importância, pois é nela que toda a construção didática utilizando a HFC para propiciar a discussão de aspectos da NdC encontra validação e relevância. Assim, cada atividade, cada texto, cada questionamento e lição foram pensados e repensados, construídos, desconstruídos e dadas novas formas e delineamentos, a fim de que atingissem os propósitos didáticos e epistemológicos (descritos no item a).

Essas foram as etapas seguidas, as diretrizes e norteadores utilizados para a construção do plano de aulas, das diversas atividades e textos, tanto para os educandos como para os docentes. Não se propõe aqui e nem em Forato (2009) que tais sejam tidos como por receituário, ou método certo para que se possa utilizar com sucesso a HFC para abordar aspectos da NdC em sala de aula. Dessa forma, os Parâmetros Forato (2009) foram tomados enquanto ferramentas auxiliaadoras na confecção de materiais, atividades e momentos didáticos nos quais haja a proposição de discutir características da NdC pela metodologia HFC.

#### **4.4 Professores e discentes na construção do plano de aulas**

Com a finalidade de avaliar se o texto histórico e plano de aulas com descrição das atividades a serem desenvolvidas estavam claras e adequadas ao nível escolar pretendido, tais materiais foram submetidos a avaliação por dois docentes de Física do ensino médio, ambos de Institutos Federais.

Como *feedback*, os docentes sugeriram mudanças na estrutura textual do plano de aulas solicitando que o deixasse mais enxuto, objetivo. Com relação à descrição inicial das atividades, solicitaram que a mesma trouxesse uma breve definição/descrição dos aspectos da NdC objetivados nas atividades.

Elogiaram as várias atividades sugeridas, em especial aos experimentos abertos e ao Julgamento do Calor (4º, 6º e 7º momentos do plano de aulas). No mais, acharam o texto histórico bom, sugerindo poucas alterações na estrutura textual inicial.

Quanto aos materiais destinados aos discentes (textos, lições e questionário), estes foram aplicados a um grupo de composto por nove educandos, todos do ensino médio de um Instituto Federal. Foram 4 mulheres e 5 homens, entre 15 e 17 anos, 4 do terceiro ano e 5 do segundo do ensino médio, com desempenhos escolares variados.

Surgiram alguns dúvidas quanto aos textos, em trechos nos quais eles alegaram haver ambiguidade. Solicitaram que algumas das questões contidas ao fim dos textos fossem mais objetivas. Quanto ao questionário não houve solicitações.

Analisadas as respostas dadas às questões dos textos, verificou-se razoável entendimento dos mesmos e das ideias centrais sobre os aspectos da NdC contidos neles.

As alterações solicitadas e sugestões feitas foram analisadas e, quando pertinentes, incorporadas ao plano de aulas, atividades e texto histórico para docentes.

## **5. NATUREZA DO CALOR EM DIFERENTES CONTEXTOS HISTÓRICOS**

Tentar compreender a natureza do calor ao longo da história ao longo da história também é mergulhar nas concepções de mundo, de Universo, que pensadores de várias culturas e épocas possuíam. Dessa forma, faz-se necessário definir as fronteiras que limitam o estudo, a fim de que um tratamento mais adequado seja dado ao tema escolhido. Por isso, escolhemos a abordagem temática, apresentando algumas perspectivas da natureza do calor em várias épocas. Procurar abordar determinado tema historicamente ao longo de várias épocas é arriscado. Há chance de cometer erros historiográficos, gerando problemas de ordem epistemológica (MARTINS R., 2001).

A intenção principal da construção histórica e temática da natureza do calor é que esta “possa ser útil a todo professor que tenha interesse em utilizar uma abordagem histórica sobre o calor, tanto na escola básica, quanto na formação inicial ou continuada de professores” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo). Em específico, a descrição da natureza do calor aqui apresentada é o subsídio teórico aos docentes que, porventura, queiram aplicar o plano de aulas, produto desta pesquisa.

Se por um lado a construção da narrativa histórica foi margeada pelos pré-requisitos da historiografia das ciências (MARTINS R., 2004), por outro foi norteadada pelos Parâmetros Forato (2009) com relação à transposição didática da HFC para o ensino básico.

Dessa forma, a seguir encontra-se a narrativa histórica temática acerca da natureza do calor construída como alicerce para que os professores possam aplicar o plano de aulas apresentado no capítulo 6.

### **5.1. O Calor na Antiguidade**

A busca pela compreensão de como era concebida a natureza do calor pode levar, na Antiguidade, ao entendimento que os pensadores dessa época tinham sobre o Universo e seu surgimento (cosmogonia).

Nessa linha, destacam-se, inicialmente, dois pensadores: Empédocles de Agrigento (séc. V, a.C.) e Aristóteles de Estagira (séc. IV a.C.). O filósofo Empédocles adotava a ideia de que os quatro elementos essenciais, Ar, Terra, Água e Fogo, eram os constituintes de todas as coisas. Não havia nesse filósofo a intenção de explicar as causas dos fenômenos naturais, mas, sim, do que era feito o Universo. Aristóteles, por sua vez, assumindo também a tese dos

quatro elementos primordiais, relacionou a estes as características intrínsecas *secura* e *umidade*, *frieza* e *quentura* (figura X). Indo mais adiante, Aristóteles acrescentou um quinto elemento (*quinta essência* ou *quintessência*), o *Éter*. Este seria o elemento que constituiria os corpos celestes e a ele não seriam associadas nenhuma das características intrínsecas anteriormente mencionadas (BUSTOS e SOTELO, 2008).

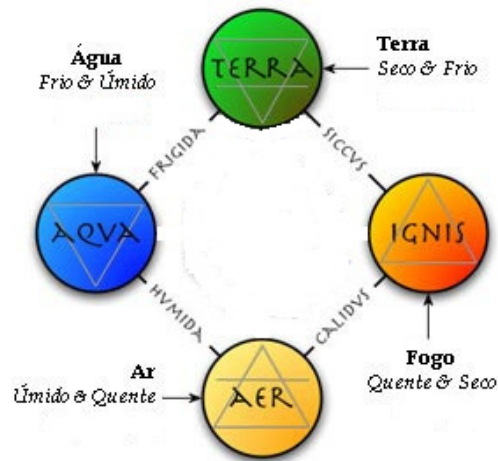


Figura 1: Os quatro elementos e suas propriedades<sup>10</sup>

Diferente de Empédocles, Aristóteles buscava compreender as causas dos fenômenos. Em seus estudos, explicava o movimento dos corpos de acordo com o movimento natural dos seus constituintes. Para este pensador, os elementos Terra e Água tinham movimento natural diretamente para baixo, enquanto que o Fogo e o Ar possuíam movimento natural direto para cima.

Assim, à fumaça, por exemplo, que era constituída de Fogo e Ar, poderiam ser atribuídas as propriedades características destes elementos, como *quentura* e *secura*. Aristóteles associava ainda movimentos naturais aos elementos primordiais. Segundo ele, Fogo e Ar possuem o movimento natural reto para cima, enquanto Terra e Água possuem movimento natural reto para baixo. Ou seja, a fumaça irá possuir movimento natural para cima, assim como a chama de uma vela, que queima para cima, ainda que a vela seja colocada de cabeça para baixo (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Entretanto, havia, na mesma época, outras formas de pensar o Universo. Uma delas é o Atomismo, que também buscava entender as causas dos fenômenos, assim como o fazia Aristóteles. Segundo essa linha de compreensão, tudo que havia seria formado por diminutos átomos, os quais podiam possuir várias formas, que se combinavam dando origem a toda sorte

<sup>10</sup> Adaptação da imagem disponível em: [www.clubedotaro.com.br](http://www.clubedotaro.com.br).

de matéria. Demócrito (séc. V a.C.) foi, possivelmente, o formador dessa linha de pensamento e tinha em Epicuro (sécs. V-IV a.C.) um dos seus defensores. O calor, nessa forma de ver o Universo, seria derivado da movimentação de certos átomos nos espaços vazios existente entre átomos. Além disso, o pensamento “buscava compreender o mundo em termos de matéria e movimento, ao acaso, sem intervenção de seres sobrenaturais” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Não havia consenso sobre as causas dos fenômenos naturais e nem sobre a constituição da matéria. Aristóteles, por exemplo, criticava a linha atomista em relação aos tais espaços vazios entre os átomos.

Adepto da ideia de que não existiria vácuo, Heron de Alexandria (séc. II a.C.) sugere a construção da *aeolípia* (figura X) na tentativa de verificar a inexistência do vácuo. A ideia era mostrar a associação de elementos geraria movimento, e, assim sendo, os espaços ditos vazios na verdade estariam preenchidos por pequenas quantidades dos elementos (BUSTOS e SOTELO, 2008).



Figura 2: representação<sup>11</sup> da *aeolípia*.

Na *aeolípia*, quando se aquece a água contida no caldeirão tampado, o vapor gerado pela ebulição da água entra na esfera oca através dos tubos que ligam o caldeirão a esta, passando para fora da esfera através de dois canos recurvados, fazendo-a girar em torno do eixo do pivô. Heron ainda teria proposto “um método de abrir porta, conhecido como o famoso experimento dos ‘Portões de Alexandria’” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo) lançando mão dos mesmos argumentos que uso na *aeolípia*.

Faz-se de suma importância ressaltar que

Costuma-se considerar a *aeolípia* de Heron como a primeira máquina térmica, mas os conceitos de energia e de conversão entre modalidades de energia apenas seriam

<sup>11</sup> Disponível em: [www.recenze.okamzite.eu](http://www.recenze.okamzite.eu).

desenvolvidos a partir dos séculos XVIII e XIX.<sup>12</sup> Tais conceitos constituem-se a fundamentação teórica para explicar o funcionamento do que hoje é denominado máquina térmica. Admitindo que o vocabulário próprio da ciência e da técnica pressupõe ideias, concepções de mundo e de conceitos, usá-los inadequadamente provoca inconsistências teóricas (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Essa forma de interpretar o passado com os olhos do presente, na HFC, é uma das maneiras pelas quais o anacronismo se apresenta. Tal prática pode gerar diversos problemas com relação a perspectivas construídas sobre a NdC (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001).

Retomando a discussão sobre a natureza do calor na Antiguidade, a compreensão aristotélica sobre o Universo e os fenômenos naturais influenciaram outros pensadores e seus trabalhos. Dentre eles, Philo de Bizâncio (~séc. III a.C.), que construiu um termoscópio (figura X) utilizando as ideias relacionadas aos fenômenos de aquecimento e resfriamento de substâncias.

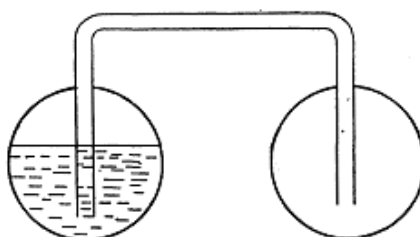


Figura 3: imagem<sup>13</sup> ilustrativa do termoscópio de Philon.

Esse aparato era feito ligando-se duas esferas ocas por um tudo. Uma das esferas era preenchida parcialmente com água enquanto que a outra estava cheia de ar. Pondo-se esta última ao Sol, percebia-se a formação de bolhas na água. Para Philon, isto ocorria porque o Fogo, tendo sua essência muito relacionada ao ar, era transportado por este através do tubo até chegar à água. Assim, o nível de água na esfera aumentava. Quando a esfera com era resfriada, ocorria o inverso, havendo elevação do nível de água no 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, no prelo).

Tantos outros termoscópios e outras variedades de aparelhos foram construídos. Já se era sabido o fenômeno da dilatação térmica dos materiais. Relata-se de Galeno (séc. II d.C.)

<sup>12</sup> Veja sobre a formulação do primeiro princípio da termodinâmica em Martins (1984). Mayer e Joule adotavam uma ideia de força para se referir ao que poderíamos considerar hoje como energia. Somente no século XIX é que as concepções de energia e trabalho começam a se definir, do modo como ainda são adotadas.

<sup>13</sup> Disponível em Barnett, 1956, p. 270.

também construía termoscópios, tendo utilizado tal instrumento na tentativa de produzir melhores tratamentos para doenças. Ao que parece, uma maior importância foi dada aos aspectos práticos desses instrumentos em detrimento da busca pelas causas ou pela compreensão da natureza do calor (BARNETT, 1956).

Percebe-se, assim, que o pensamento atomista e o linha dos Quatro Elemento permaneceram ativas durante o período considerado até aqui.

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, no prelo).

A forma como tais pensadores exerciam a busca pela compreensão das causas dos fenômenos estava estritamente relacionada com suas ideias sobre o Universo. Assim, o pensar sobre tais fenômenos é um pensar carregado de suas ideias primeiras sobre a essência de tudo, sobre seu funcionamento, sobre o começo das coisas. Além disso, houve em um mesmo período histórico a convivência de diversas linhas de pensamento explicando um mesmo fenômeno natural. E mais ainda, deve-se buscar compreender estas formas de ver o mundo e o Universo dentro de seus contextos originais, evitando o julgamento do passado com olhos do presente, tomando tais ideias “anacronicamente como “primitivas” ou “ridículas”, ou embriões de teorias atuais” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

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

## **5.2. A Interpretação da Alquimia**

Outras formas de conceber o Universo foram desenvolvidas desde épocas antigas, além das duas já discutidas na seção anterior. Entre elas destacamos a que foi denominada por Alquimia. Há relatos de estudos alquímicos em várias culturas ancestrais, como na Arábia,



China, Egito, Pérsia. Entretanto, não concordância entre os historiadores com relação à origem dessa prática.

Alquimia é uma tradição filosófica influente, intimamente relacionada com magia e mitologia, espiritualidade e religião, cujas origens remontam à Antiguidade. A prática alquímica associava, dentre outros, elementos da Filosofia Natural, Metalurgia e Medicina. Em linhas gerais, seus objetivos eram variados, incluindo a criação de pedra filosofal, a capacidade de transformar metais comuns em ouro, a obtenção do elixir da vida e a cura para as doenças. “Seria uma tentativa de compreender os segredos mais íntimos da matéria, de encontrar a cura de todos os males, do aprimoramento do espírito, da busca pela eternidade, da fabricação de ouro” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).



Figura 4: Representação<sup>14</sup> de um laboratório alquímico, Swiss Alchemy Lab Museum,.

Com a pedra filosofal (*lapis philosophorum*) os alquimistas poderiam, por exemplo, realizar a transformação dos metais em ouro e produzir o elixir da juventude, o qual teria a capacidade de curar todos os males e prolongar a vida indefinidamente.

---

<sup>14</sup> Disponível em: <http://www.rosicrucians.org/salon/swiss/swiss.html>.



Figura 5: The Alchemist Discovering of Phosphorus<sup>15</sup> (A Descoberta Alquímica do Fósforo), pintura de Joseph Wright de Derby, 1771.

Vários documentos da Idade Média relatam estudos que utilizaram os princípios da Alquimia na busca pela explicação dos fenômenos naturais, trazendo nesses escritos, inclusive, a transmutação da matéria, principalmente em ouro, e a procura pela pedra filosofal. Em seus trabalhos, esses pensadores ao procurarem pelas causas dos fenômenos naturais, uniam “os questionamentos de pensadores e filósofos da Antiguidade à prática experimental” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo). A prática possivelmente proporcionara uma sistematização dos procedimentos de produção de novas matérias pela manipulação dos elementos. Tal forma de compreensão de mundo Universo remonta ao século X (BELTRAN, 2006).

As demandas geradas pela sociedade em geral na época do Renascimento (sécs. XIV-XVI) promoveram os estudos sobre os fenômenos naturais, medicina, entre outras coisas. Os pensadores gregos da Antiguidade estavam novamente em destaque, a expansão do mundo pelas Grandes Navegações trouxe novidades em relação à flora e à fauna encontradas no oriente, assim como novas doenças (PORTO, 2002, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Ao que parece, são os estudos de Paracelsus<sup>16</sup> (1493-1541) que deram início à busca pela transmutação de metais em ouro, entre outros estudos. Foi ele quem evidenciou o termo *alcahest*. Este era, em Paracelsus, uma espécie de fármaco, o qual seria usado para cura de

<sup>15</sup> Disponível em: <http://www.derbymuseums.org/joseph-wright-gallery/>

<sup>16</sup> Pseudônimo para Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim.

patologias no fígado. Entretanto, os escritos desse pensador não trazem maiores detalhes sobre tal substância (PORTO, 2002; ALFONSO-GOLDFARB, FERRAZ e WAISSE, 2009).

Outros pensadores, adeptos das ideias de Paracelsus, deram novos tratamentos ao *alcahest* em seus estudos. Um deles, o médico Jan Baptist van Helmont (1579-1644), associou o Fogo ao *alcahest*.

Com van Helmont, o *alcahest* passa de um remédio para um “liquor” com propriedades de dissolução universal. Porém, essa dissolução não se refere ao processo comum de dissolver, e sim a um processo de purificação de uma substância que permitiria levá-la à sua matéria essencial, ou estado primordial (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Como o *alcahest* não se modificava quando dissolvia qualquer substância, este era para Van Helmont como o éter para Aristóteles, isto é, seria o quinto elemento. Dessa forma, a Fogo do *alcahest* era o agente purificador das substâncias, tornando-as puras.

Outro seguidor de Paracelsus, Herman Boerhaave (1668-1738), assim como van Helmont, adotaram o *alcahest* dentro da interpretação medicinal, sem associar este aos estudos da transmutação dos metais. Mesmo considerando a relação do *alcahest* com o fogo verdadeiro, nenhum dos dois pensadores o relacionou diretamente com o fenômeno da combustão (associado intrínseco do calor). Boerhaave tratava o *alcahest* como um fogo do céu, o qual não podia ser alterado ou destruído, um fogo achado em todas as coisas, mas que seria abundante no *alcahest* (ALFONSO-GOLDFARB, FERRAZ e WAISSE, 2009). Nesse sentido, esse fogo verdadeiro se difere do Fogo elementar de Aristóteles.

Na mesma época, outros pensadores da Alquimia adotaram outra linha, em detrimento da explicação aristotélica dos Quatro Elementos, para explicar as transformações e fenômenos. Para estes, a visão aristotélica não dava conta para esclarecer o que e como ocorriam as transformações nos metais. Assim, conferiram à matéria três propriedades intrínsecas, os princípios filosóficos *mercúrio*, *enxofre*<sup>17</sup> e *sal*<sup>18</sup>.



Figura 6: símbolos alquímicos dos três princípios filosóficos

<sup>17</sup> Aqui, mercúrio e enxofre não se referem aos Hg e S da atual tabela periódica dos elementos químicos.

<sup>18</sup> Este *sal* não tem relação com os atuais sais produzidos pela reação de um ácido com uma base.

O princípio enxofre conferia à substância a capacidade de combustão, coloração, peso e afinidade por outras substâncias. A maleabilidade era atribuída aos corpos pelo princípio mercúrio, e ao princípio sal, o qual não sofria qualquer modificação nos processos alquímicos, cabia a responsabilidade de unir os outros dois princípios. O maior interesse dos alquimistas que adotaram tal linha de pensamento era a busca pela pedra filosofal e a transmutação dos metais.

Defensor dessa linha, o alemão Johann Becher (1635-1682), denomina o princípio responsável pela combustão de *terra pinguis*, o qual estaria presente em todos os corpos que pudessem queimar. Segundo este pensador, durante a queima os corpos liberariam a *terra pinguis*. O produto dessa combustão era outra substância, sem o princípio inflamável, com proporções dos outros dois princípios (WISNIAK, 2004).

Entretanto, não havia processo conhecido para que se pudessem ser produzidas a *terra pinguis* e o *alcahest*. Todavia, isso não parece ter impedido vários pensadores dos séculos XVII e XVIII de estudarem tais substâncias. Diversas eram as maneiras pelas quais os alquimistas buscavam compreender o mundo, o Universo.

Não havia uma única maneira de entender e explicar a natureza entre os alquimistas de um mesmo período e de uma mesma civilização. Existiam concepções e práticas em comum, o que permitia serem entendidos [os pensadores] como alquimistas, mas nem todas as ideias e propostas eram consensuais. Havia ainda quem não concordava com nenhuma das formas de constituição da matéria baseada nos elementos aristotélicos, ou nos três elementos e princípios, na linha do que pensava Becher – como era o caso de Robert Boyle (1627-1691) (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Boyle defendia a linha 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. Tal forma de compreender o mundo era compartilhada por Francis Bacon (1561 - 1626) e René Descartes (1596 - 1650).

Bacon e Descartes possuíam semelhanças e diferenças quanto às ideias sobre calor. Ambos trabalhavam com relação movimento-calor. Enquanto Bacon atribuía a natureza do calor ao movimento devido ao fogo de diminutas partículas internas aos corpos, Descartes que o movimento entre partículas gerava a sensação de calor (BARNETT, 1946a).

Contudo, alguns cuidados devem ser tomados na consideração da relação movimento-calor nesses pensadores. Se por um lado esta visão parece assemelhar-se com as atuais ideias sobre calor, por outro se diferenciam bastante destas quanto à ação do movimento gerando calor e vice-versa. Enquanto que ao pensamento substancialista do calor pode-se destacar que os estudos dessa linha de percepção quanto à natureza do calor contribuiu para o desenvolvimento da calorimetria, à linha corpuscularista pode-se associar o desenvolvimento dos estudos dos gases.

Mesmo não havendo verificações claras de que qualquer uma das duas linhas de pensar a natureza fosse adequada, nenhuma das duas foi desconsiderada. Em vez disso, vários estudos deram força à linha corpuscularista, como o estudo da luz, e outros contribuíram com a linha substancialista, como os estudos sobre fluidos elétricos.

### **5.3. Os conceitos de flogístico e calórico**

Alterações nas linhas das fronteiras, mudanças no regimes de governo de algumas nações, a Revolução Industrial, entre tantas outras alterações: denominado como “O Século da Razão”, muitas foram as mudanças e novidades trazidas pelo século XVIII. E não foi diferente com a ciência.

O século XVIII foi um período de várias mudanças em relação à forma que se fazia a ciência anteriormente. O “século da razão” estabeleceu 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 (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

O surgimento de fábricas e indústrias em considerável número gerou grande demanda por combustíveis. Os principais combustíveis utilizados eram os carvões mineral e vegetal. Contudo, havia problemas na utilização destes. Os combustíveis “ruins” agregam impurezas aos produtos industriais; uma das principais atividades na época era a metalurgia, em especial a indústria de processamento de ferro, sofria com a degradação do produto gerada pelas impurezas (OLIOSI, 2004, *apud* SILVA, FOTATO e GOMES, no prelo).

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, no prelo). Para realizar tal tarefa, precisava-se experimentar,

aprimorando as técnicas. Assim, a realização de experimentos ganhou destaque entre os filósofos naturais.

A experimentação passou para outro nível. Além da produção de conhecimentos e melhora das técnicas de manipulação e combinação de substâncias, era utilizada para entender como era a ação de um corpo sobre outro.

Tais pesquisas, estudos, experimentações requeriam (e requerem) investimento de capital. Muito do capital (senão todo) advinham 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, no prelo).

Muitos pensadores fizeram parte de sociedades científicas. No século XVIII, por exemplo, pertenciam à *Royal Society*: Henry Cavendish, Joseph Banks, James Cook, Erasmus Darwin, Daniel Fahrenheit, Benjamin Franklin, Joseph Priestley, Isaac Newton, Adam Smith, James Watt, dentre muitos outros. Nessa lista há naturalista, economista, filósofos naturais, cartógrafo. As discussões nessas sociedades era ampla.

Esse foi o ambiente no qual surgiram duas linhas de pensamento sobre a natureza do calor. A interpretação *flogística* e a *calórica*.

Influenciado pelo ideário alquímico, Georg Ernst Stahl (1669-1734), prosseguindo com os estudos iniciados por Becher sobre a natureza do calor, buscou compreender os fenômenos de combustão e calcinação. Denominando o princípio inflamável por *flogístico*<sup>19</sup> (ou *flogisto*), Stahl argumenta que este seria liberado dos corpos quando os processos de queima ocorressem. Para esse pensador, os processos de combustão eram explicados de forma diferente:

---

<sup>19</sup> Do grego *phlogiston*, inflamável.

[...]de combustão, que seria baseado na presença de substâncias combustíveis como o carbono e o enxofre, enquanto que a calcinação correspondia a um processo de transformação, que não levaria à perda de calor, mas à modificação deste calor dentro da matéria, produzindo a cal. Tanto a combustão quanto a calcinação seriam devidas à presença de um princípio inflamável (*flogístico*): 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, não. Portanto, na calcinação, o produto do metal fundido seria cal mais *flogístico*, sendo que o segundo elemento é liberado no ar (WISNIAK, 2004, 733).

O *flogístico* de Stahl era o princípio ativo do fogo, sua força motora, e eram atributos intrínsecos a ele a impossibilidade de ser destruído ou criado. Assim, nos processos de queima, o *flogístico* liberado na atmosfera assumiria várias formas, como fogo visível, nuvens e até raios. Dessa forma, admitindo que o *flogístico* não escape da atmosfera, a quantidade total deste não seria alterada por causa do processo de queima. Em assim sendo, o *flogístico* se constituiria *perene*, podendo ser transferido de um corpo pra outro, quaisquer que sejam estes corpos, o que acabava explicando a razão da não ocorrência de queima no vácuo, pois, sem ar, o *flogístico* não poderia ser transferido do corpo.

Os atributos e características do *flogístico* de Stahl se confundem com as propriedades do *enxofre*, princípio filosófico da Alquimia. Entretanto, Stahl, buscando compreender os processos de queima, combustão e calcinação, relacionava o *flogístico* a algo que existe na natureza. Já o *enxofre* da Alquimia, como princípio, está mais próximo de algo que se pensa como um elemento da essência da matéria.

O fenômeno da calcinação de metais se constituiria num problema para o entendimento da ação do *flogístico* de Stahl: se, durante o processo, o *flogístico* é liberado do corpo, então os resíduos desse processo deveriam ser mais leves do que o metal inicialmente utilizado, e isso não era observado na calcinação. Pelo contrário, os resíduos do processo eram mais pesados que o metal inicial. Entretanto, Stahl parecia não se preocupar com isso.

Para explicar o aumento de massa após a calcinação de alguns metais, outros pensadores propõem um novo atributo ao *flogístico*: ou a imponderabilidade ou um “peso negativo”. Se imponderável então sua massa não poderia ser medida, nem verificada. O “peso negativo” atuaria da seguinte forma: quanto mais *flogístico* o corpo possuir mais leve este corpo será. Portanto, quando liberado pelo processo de queima, o resíduo, sem o *flogístico* de “pese negativo”, se tornaria mais pesado. Ao que parece, tais considerações geraram certo desconforto entre os pensadores da época, mas dava suporte às ideias de Stahl na explicação

dos fenômenos. Entretanto, na combustão do carvão, o resíduo é bem mais leve que o carvão inicial. E, como o carvão queima facilmente, este deveria ser, pelo pensamento de Stahl, rico em *flogístico*. Portanto, seguindo a ideia do “peso negativo” atribuído ao *flogístico*, o carvão inicial deveria ser mais leve que seus resíduos gerados pela combustão. Talvez por essa contradição, a ideia da imponderabilidade tenha tido mais força entre os pensadores da época.

Todavia, ao que parece, este problema quando ao peso dos corpos antes e depois dos processos de combustão e calcinação não causava desconforto para os que defendiam a ideia do *flogístico*. Joseph Priestley (1733-1804) e Willian Watson (1715-1787), o classificavam, quanto à imponderabilidade, junto aos fluidos elétricos e magnéticos. Watson argumentou que:

Certamente os senhores não esperam que a química seja capaz de apresentar-lhes um punhado de flogístico separado de um corpo inflamável; isto seria tão razoável como pedir um punhado de magnetismo, eletricidade ou gravidade extraído de um corpo magnético, elétrico ou pesado; existem poderes na natureza que não podem absolutamente tornar-se objetos dos sentidos, a não ser pelos efeitos que eles produzem, e o flogístico é deste tipo (WATSON, 1781, *apud* FILGUEIRAS, 1995).

Os experimentos com gases, à época chamados de “ares”, e o aprimoramento de instrumentos de medida, conferindo mais precisão às medidas de massa, por exemplo, deixava paulatinamente as ideias de imponderabilidade e “peso negativo” em situação precária.

O Século da Razão trouxe o Iluminismo e sua busca pela sociedade racional, na tentativa de reformá-la, deixando de lado as práticas e pensamentos herdados do medievo. Dentre tais, na ciência buscava-se a compreensão razoável dos fenômenos, sem o uso de questões ou propriedades metafísicas ou especulações puras. É a época em que a atitude racional e a experimentação ganham forte destaque. Assim, considerações e constructos teóricos embasados em entes que fugiam aos sentidos (intangíveis, invisíveis, imponderáveis) estavam fora dos padrões da racionalidade e do empirismo<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Vale destacar que diversos filósofos naturais permaneceram envolvidos em questões metafísicas, como Priestley, por exemplo.





Figura 7: Capa<sup>21</sup> da Encyclopédie, 1772, Cochin e Prévost. Obra com simbologia iluminista: ao centro e acima, a verdade – intensamente iluminada (o símbolo central do Iluminismo). À direita desta, um pouco abaixo, a razão e a filosofia retiram o véu que impede de ver claramente a verdade.

O fato de pensadores, filósofos naturais considerarem os entes metafísicos requer um pouco mais de atenção:

Para alguns filósofos naturais, tais entes inobserváveis estavam vinculados às suas concepções religiosas, por exemplo, justificando a ação de Deus no mundo natural, o que poderia comprometer a visão racionalista, de um suposto método experimental, que construiria teorias a partir de observações neutras, apenas matematizando elementos detectáveis e mensuráveis. Para esses filósofos, o laboratório era, não raramente, o meio utilizado para entender as Leis Divinas e “conferir” suas manifestações, numa mistura de religião e ciência, envoltas na racionalidade suposta do método experimental (OLIOSI, 2010, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

<sup>21</sup> Disponível em: <http://www.explicaki.com/7370-idade-moderna.html>

Além das questões de cunho religioso, fatores sociais influenciaram diretamente nos conhecimentos que eram produzidos, como a necessidade de mais e melhor combustível e do desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias. As ideias relacionadas ao *flogístico* são desenvolvidas e ganham destaque, incrustadas de influências vindas da religião, economia, metafísica e dos fatores iluministas.

Defensor aberto das ideias do *flogístico*, Joseph Priestley (1733-1784) desenvolveu estudos com os gases, à época chamados por ares, construindo um aparato experimental com o qual podia misturar ares com água ou mercúrio, possibilitando o estudo das características dessas misturas. Para ele, experimentação propiciava a compreensão da natureza, das substâncias e das características dessas sob diversas condições (OLIOSI, 2010, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

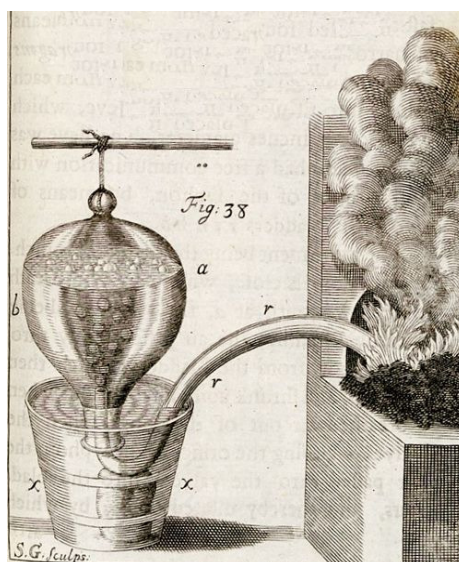


Figura 8: Gamela pneumática de Hales. Priestley usou uma versão modificada desse aparato para realizar experimentos com ares.

Priestley dava grande importância à experimentação, tomando-a como a ideal forma de compreender a natureza e seu funcionamento, da qual tudo e todos faziam parte. Além disso, buscava relacionar seus estudos científicos com teologia. Priestley era pastor protestante, que se afastara do calvinismo durante sua formação por discordar de algumas ideias. Retoma seus estudos e se torna pastor, mas de uma linha diferente da usual, adotando a razão na interpretação das Sagradas Escritura (MARTINS R, 2009). Essas duas características marcam os trabalhos de Priestley.

Mas, em que a teologia e os fatos do sistema da natureza possuem relação? Tal relação está presente principalmente na descrição que Priestley faz do homem: um ser que possui faculdades para interagir nesse sistema, como falar, sentir, cheirar,

etc. Faculdades estas que o auxiliam na observação dos fatos e depois na explicação da natureza, conduzindo-os ao Cristianismo como religião baseada nos fatos e evidências. Ele acreditava que as verdades religiosas e as leis morais poderiam ser provadas pelos mesmos métodos da ciência (MARTINS, 2009, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Os experimentos de Priestley e a forma como os detalhava conferiram-lhe notoriedade na Europa e em sociedades para o desenvolvimento da ciência. Priestley questionava as ideias relacionadas aos ares, estudando-os quanto às suas características físicas, sem buscar profunda compreensão sobre sua constituição íntima. À época dessas pesquisas, outros dois ares eram conhecidos: o *ar inflamável* (atual Hidrogênio) o *ar fixo* (atual gás carbônico). O ar inflamável era necessário para queimas dos materiais, enquanto que o ar fixo podia extinguir a vida em animais.



Figura 9: *An Experiment on a Bird in the Air Pump (Um Experimento com um Pássaro numa Bomba de Ar)*, pintura de Joseph Wright of Derby, 1768. Ao se retirar o ar da câmara do pássaro este morria.

A partir de seus trabalhos, pode-se concluir que Priestley concebia tais ares como um dos elementos simples, não podendo estes serem decompostos. Todavia, dependendo da origem desse ar, este poderia apresentar características diferentes. E, assim, o *flogístico* estaria ou não presente em alguns ares.

Há, eu acredito, poucas máximas em filosofia que mantenho firmes em minha mente, entre as quais aquela que afirma que o ar atmosférico (livre de matérias estranhas, que sempre são supostas como dissolvíveis misturadas nele) é uma *substância elementar simples*, indestrutível, e inalterável, no mínimo, tanto quanto

supõem-se que a água seja (PRIESTLEY, 1790, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Entretanto, Priestley viria a mudar de opinião. Num experimento no qual fazia incidir luz concentrada por uma lente sobre uma cal de mercúrio, o ar obtido pela queima desse material fazia com que a chama de uma vela ficasse mais intensa.

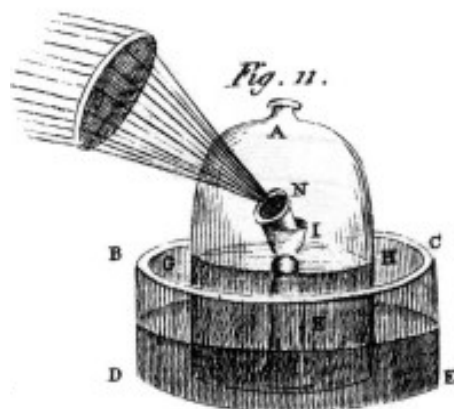


Figura 10: Representação do aparato usado por Priestley no experimento com cal de mercúrio e luz. Os raios de luz solar eram concentrados pela lente externa e incidiam na cal de mercúrio dentro da campânula.

O fato da queima da cal ter sido feita com luz e não fogo garantiria que apenas *flogístico* fosse o responsável pela queima (combustível). Tal ar, propiciando a chama da vela por mais tempo que ar inflamável, deveria estar desprovido do princípio inflamável. Isto porque a queima e extinção da chama de uma vela em uma câmara fechada eram vistas da seguinte forma: o ar confinado na câmara receberia gradativamente o *flogístico* liberado pela combustão, tornando-se saturado deste; assim, o ar saturado, não tendo mais capacidade de receber *flogístico*, gerava a extinção da chama. Este ar saturado de *flogístico* era denominado de “ar flogisticado”, o qual é o “ar fixo”. Assim, esse “novo ar”, que parecia ter características diferentes dos ares fixo e inflamável, sendo desprovido de *flogístico*, foi denominado por “ar deflogisticado” (PRIESTLEY, 1790<sup>22</sup>, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Nesse mesmo período, Henry Cavendish (1731-1810), percebeu o aparecimento de pequenas gotas de água no aparato, quando realizava explosões com ar inflamável em mistura com o ar comum, verificando a diminuição do peso do ar inicial. A aparente formação de água a partir da combinação de ares em certas proporções gerava desconforto para aqueles que defendiam a ideia de certos ares como elementares, assim como água também era considerada por alguns estudiosos.

<sup>22</sup> Esta referência corresponde à coletânea dos trabalhos publicados por Priestley no período de 1772 a 1790. Veja também sobre os trabalhos de Priestley envolvendo *flogístico* e seus experimentos com ares (Martins, 2009) e Oliosi (2004).

A constatação da água como uma substância composta, e não mais uma substância elementar, levava a questionamentos também sobre a composição dos “ares”: seria o “ar inflamável” um elemento ou um ar composto de outros elementos, como por exemplo, flogístico e ar deflogisticado? Enquanto Priestley tentava seus experimentos baseado nas propriedades físicas, outros seguiam por caminhos diferentes, como calorimetria e, posteriormente, decomposição (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Influenciados pelos novos paradigmas científicos do séc. XVIII, vários estudiosos em diversos locais repetiam os experimentos realizados por Priestley e Cavendish como os ares e outros materiais. Houve a melhoria dos instrumentos, assim como a construção de novos, possibilitando outras formas de ver as mesmas experiências. As ideias relacionadas ao *flogístico* na explicação da natureza do calor e dos fenômenos era muito forte.

As contingências sociais, religiosas, e as demandas tecnológicas influenciaram decisivamente os caminhos trilhados pelos pensadores em seus estudos. Havia conflitos entre os ideais religiosos e as especulações metafísicas. Entretanto, ao passo que as conjecturas metafísicas, como os entes inobserváveis, geravam desconforto e conflitos para os pensadores do Iluminismo, também possuíam bom poder explicativo quanto aos fenômenos estudados à época.

#### **5.4. Estudos de calorimetria**

O desenvolvimento de novos instrumentos e o aprimoramento dos já existentes, tornando-os mais precisos, chegara ao estudo do calor e da temperatura<sup>23</sup>, ao final do século XVIII. Diversos pensadores estavam relacionados com o estudo da natureza e ação do calor. A possibilidade de medir com certa precisão os graus de temperatura e sua variação durante os fenômenos, por meio do uso de escalas de referência, trouxeram novos dados e ajudaram em vários esclarecimentos.

---

<sup>23</sup> Veja em Barnett (1956), sobre o desenvolvimento da termometria, dando especial atenção aos aspectos conceituais. Para uma abordagem contextual, veja Beretta *et al.*, 2009.



Figura 11: Termômetro do fim do século XVIII.

Assim foi com Joseph Black (1728-1799) e seus estudos sobre calor específico e calor latente, nos quais se pode encontrar a associação do calor com quantidade de algo (MAGIE, 1935). Black argumentava que:

[...] mesmo sem a ajuda de um termômetro, podemos perceber a tendência do calor se difundir de um corpo mais quente para o próximo 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 *in* MAGIE, 1935, p. 134).

Indo mais a fundo, Black estudou a relação entre as quantidades de matéria e de calor que era transferido para os corpos. Mesmo antes de Black já havia estudos e argumentos os quais buscavam esclarecimentos quanto à proporção entre as massas de corpos diferentes e calor necessário para modificar a temperatura nesses corpos. Para Black:

Já se supunha anteriormente que a quantidade de calor necessária para aumentar o calor de diferentes corpos pelo número de graus, era diretamente proporcional à quantidade de matéria em cada um deles; e portanto, quando os corpos eram de tamanhos iguais, as quantidades de calor eram proporcionais a sua densidade. Mas logo depois que comecei a pensar sobre esse assunto (1760), percebi que esta opinião era um erro, e que as quantidades de calor que diferentes tipos de matéria devem receber, para reduzi-las a um equilíbrio entre si, ou para aumentar sua temperatura por um número igual de graus, não está em proporção com a quantidade de matéria em cada um, mas em proporções muito diferentes disso, e para a qual nenhum princípio ou razão geral pôde ser atribuído (BLACK, 1803, *in* MAGIE, 1935, p. 135).

Vale ressaltar que o termo calor designava tanto calor como temperatura, sem haver a distinção entre tais conceitos, como atualmente.

Black realizou experimentos com água e também mercúrio e fontes de calor e percebeu que, pondo mesmas quantidades de mercúrio e água, separadamente, numa mesma fonte de calor, o mercúrio tinha sua temperatura variada mais rapidamente. A este fato Black associou o termo “capacidade para a matéria do calor” (BLACK, 1803, *in* MAGIE, 1935, p. 137). E assim conclui:

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, *in* MAGIE, 1935, p. 139).

Black faz uso desse mesmo argumento em outros estudos, quando, por exemplo, analisou o que atualmente é conhecido como calores sensível e latente. Em seus trabalhos, Black, não faz associações dessa “matéria do calor” com o *flogístico*. Entretanto, pela descrição de suas características, percebe-se que se trata de outro fluido, podendo a “matéria do fogo” penetrar nos corpos e substâncias.

### **5.5. Os novos “ares” e a decomposição da água**

Próximo à metade do século XVIII, a Academia Real das Ciências de Paris divulgou uma premiação para aquele que apresentasse a melhor explicação para a “natureza e propagação do calor”. Cerca de 30 trabalhos foram apresentados à academia. Alguns dos estudos apresentados tratavam de elementos básicos da natureza, numa perspectiva parecida com a aristotélica, enquanto outros apresentaram análises a partir de movimentos da matéria sutil, nos quais apareciam influências das ideias de Newton. As discussões relativas ao *flogístico* demoraram para chegar à França (FILGUEIRAS, 1996, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Ao que parece, Antoine-Laurent de Lavoisier tomou conhecimento das ideias de Stahl por meio de Guillaume-François Rouelle (1703-1770), que fora seu professor na universidade. Por meio das traduções realizadas por sua esposa, Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), Lavoisier sabia dos estudos realizados na Inglaterra. Lavoisier pertencia à aristocracia francesa e gozava de destaque na Academia de Ciências de Paris e no governo, no qual possuía cargos, razão pela qual foi enforcado em 1794, durante a Revolução Francesa (BERETTA, 2008; TOSI, 1989 *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).



Figura 12: Lavoisier e Paulze, pintura de Jacques-Louis David, 1788.

Durante seus estudos, Black construiu um calorímetro, o qual foi aprimorado por Lavoisier, com qual estudou os ares e a decomposição de substâncias. Lavoisier buscou compreender o que acontecia na absorção e liberação de ares, realizando diversas experimentações com combustão e calcinação de diversas substâncias.

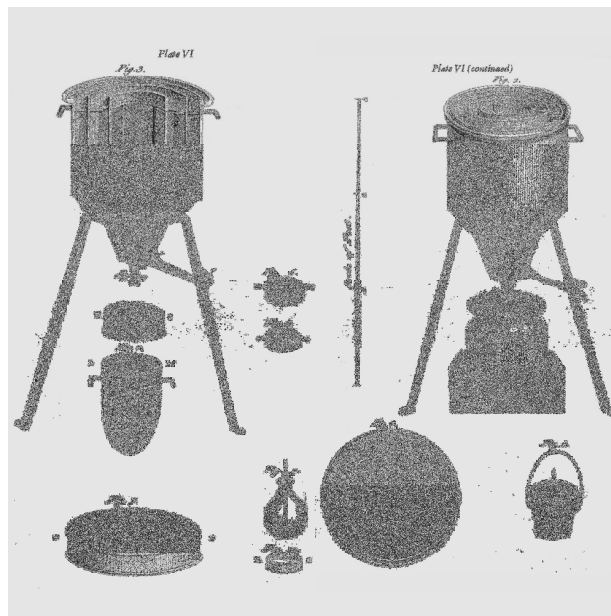


Figura 13: Esquema do calorímetro utilizado por Lavoisier. Gelo era posto no compartimento intermediário cercado pelo recipiente externo totalmente preenchido também por gelo. No compartimento interno eram inseridos os objetos aquecidos que seriam estudados. O calor proveniente do objeto derretia certa quantidade de gelo do compartimento intermediário e a água proveniente era armazenada em um recipiente colocado abaixo do calorímetro. Sabendo-se o calor latente de derretimento do gelo e a massa de água recolhida podia-se medir o calor liberado pelo objeto



Com estes estudos e instrumentos, Lavoisier pode afirmar que tanto o fósforo quanto o enxofre (elemento químico, e não o princípio filosófico) ganhavam peso após o processo de queima. Realizando experimentos usando o mínio<sup>24</sup> e carvão, percebeu que estes não liberavam qualquer ar conhecido quando aquecidos em separado. Entretanto, aquecidos juntos produziam algum fluido. Tal observação conflitava com o que era esperado pelas ideias de Stahl, para qual qualquer substância liberaria *flogístico* quando aquecida. E isso não era observado no caso do mínio e do carvão aquecidos separadamente. Mas, juntas e aquecidas essas substâncias liberavam “ar identificável, ou fluido elástico, como ele e alguns contemporâneos denominavam ‘a matéria do fogo e da luz’” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Esses fenômenos se explicam de maneira muito feliz com a teoria de Stahl, mas é preciso supor que existe a matéria do fogo, o flogístico, nos metais, no enxofre e em todos os corpos combustíveis. Mas se, pode-se provar a existência do flogístico nessas substâncias para os partidários da teoria, eles caem num círculo vicioso: dizem que os corpos combustíveis contêm a matéria do fogo porque queimam e queimam porque contêm a matéria do fogo. Isso é explicar a combustão pela combustão. A existência da substância do fogo, do flogístico nos metais, enxofre, etc., é então atualmente nada mais que uma hipótese, uma suposição na qual, uma vez admitida, explica, é verdade, alguns dos fenômenos da calcinação e combustão; mas se eu for capaz de mostrar que esses fenômenos talvez sejam explicados de uma maneira natural oposta a essa hipótese, a qual é sem a suposição de que a matéria do fogo, ou flogístico, existe em materiais combustíveis, então o sistema de Stahl será abalado.

Indubitavelmente não será descabido perguntar primeiro qual o significado da matéria do fogo. Alinho-me com Franklin, Boerhaave, e alguns outros filósofos da antiguidade de que a matéria do fogo ou da luz é muito sutil, fluido muito elástico o qual envolve todas as partes do planeta que habitamos, o qual [o fluido do fogo] penetra os corpos compostos com maior ou menor facilidade, e que quando livre tende ao equilíbrio com todas as coisas (LAVOISIER, 1789, in LEICESTER & KLICKSTEIN, 1968, p. 170).

Lavoisier questionava a explicação do *flogístico* quanto à reduzida massa dos resíduos dos metais após a calcinação. Atribuí-la a uma capacidade de levitação ou “peso negativo” do *flogístico* não proporcionava satisfação quanto a certas propriedades. Uma substância que tende a levitar procura separar-se do corpo que a contem. Dessa forma, como essa substância

---

<sup>24</sup> Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, óxido natural de chumbo, ou tetróxido de chumbo, também conhecido como vermelho-cinábrio ou zarcão.

poderia compor os corpos, associada a eles e imprimindo-lhe características? Além disso, uma substância que tende a levantar parece infringir o princípio gravitacional pelo qual um corpo atrai outro, pois busca apartar-se dos corpos. Assim sendo, como pode permanecer tal substância unida aos corpos? Mais além, se esta substância não obedece ao princípio de atração entre os corpos, então não pode ter afinidade por corpo algum. Portanto, nem os corpos ditos combustíveis poderiam conter e reter o *flogístico*.

Em muitos livros didáticos e paradidáticos é comum identificar Lavoisier como racionalista, empirista, o que deveria pô-lo em confronto com as ideias alquímicas. Entretanto, “adota e cita explicitamente as ideias de Boerhaave, amalgamadas pelo ideário alquímico, conforme discutido anteriormente” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Tendo refeito vários dos experimentos de Priestley, Cavendish e outros, Lavoisier realizou a calcinação de metal dentro de um recipiente devidamente fechado, para o qual a quantidade de matéria dentro do recipiente antes e depois do processo de calcinação deve se manter a mesma. Partindo desse princípio, não haveria nem entrada e nem saída de *flogístico* do sistema considerado. Lavoisier observou tal fato. Pesando o sistema recipiente + material (que sofre a calcinação) + ar (que deveria conter *flogístico*), antes e depois do processo, ele não observou alteração de peso. No entanto, quando pesou apenas o metal antes e depois da calcinação ele verificou o aumento de peso desse metal. Num raciocínio direto, como o sistema estava isolado do ambiente, Lavoisier atribuiu o ganho de peso do metal à quantidade de ar que este absorveria durante a calcinação, diferente da combustão de materiais como a madeira, os resíduos e cinzas, são mais leves que a madeira original. Procedendo analogamente ao raciocínio em relação à calcinação dos metais, a redução de peso era explicada a partir do ar que era liberado pela madeira durante sua combustão. Confinando-se a madeira e o ar dentro de um recipiente, o peso desse sistema medido antes e depois da combustão também não se altera (LAVOISIER, 1789, *in* LEICESTER & KLICKSTEIN, 1968).

Entre 1775 e 1785, Lavoisier apresenta três trabalhos à Academia de Ciências da França nos quais traz argumentos contra as ideias referentes ao *flogístico*, principalmente criticando a explicação dada pelos defensores de tal fluido sutil para os fenômenos da combustão e calcinação.

[...] atrevo-me a propor à Academia hoje uma nova teoria da combustão, ou melhor, falando com a reserva que eu habitualmente imponho a mim mesmo, de uma hipótese que nos auxilia para podermos explicar de uma maneira muito satisfatória

todos os fenômenos de combustão e de calcinação [...], uma opinião que pode parecer peculiar e foi diretamente contrária à teoria de Stahl e de muitos homens célebres que o seguiram (LAVOISIER, 1775, in LEICESTER & KLICKSTEIN, 1968, p. 168).

Porém, surge mais uma questão: refazendo as experiências de outros pensadores adeptos do *flogístico*, como Priestley, por exemplo, Lavoisier chegaria a conclusões diferentes as quais não lançassem mão de tal fluido? A resposta é sim. Lavoisier estava pensando, também, na constituição da matéria, e não somente nas nuances físicas dos ares. Além disso, Lavoisier não concebia estritamente os ares como indecomponíveis, estando ele acessível às ideias dos ares compostos por outros elementos.

Dessa forma, Lavoisier chega à conclusão, após experimentos, de que o processo de “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*” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Esta substância, o que quer que seja, sendo a causa do calor, ou, em outras, a sensação que chamamos quentura causada pela acumulação desta substância, não pode, em estrita linguagem, ser distinguida pelo termo calor; porque o mesmo nome muito impropriamente expressaria tanto causa quanto efeito.

[...] nós distinguimos a causa do calor, ou aquele estranho fluido que o produz, através do termo *calórico* (LAVOISIER, 1789, p. 5).

A “matéria do fogo” estaria em todo o ar no qual a combustão tenha sido realizada, fora dos corpos, o que a diferenciava os *flogístico*. Com isso, o problema do ganho de peso na calcinação de certos materiais estava resolvido pela quantidade de ar que seria associado ao corpo no processo.

O ar está composto da matéria do fogo como dissolvente combinado com uma substância que lhe serve de base. Todas as vezes que essa base está na presença de uma substância com a qual tem mais afinidade, ela abandona seu dissolvente e a matéria do fogo aparece como calor, chama e luz. O ar puro [...] é então o verdadeiro corpo combustível, e possivelmente o único da natureza. Então, para explicar os fenômenos da combustão não é necessário supor que exista uma quantidade imensa de fogo fixada em todos os corpos que chamamos combustíveis e, pelo contrário, é provável que exista pouca nos metais. Compreende-se também porque não pode haver combustão no vácuo..., enfim, não estamos obrigados a admitir, como o faz

Stahl, que os corpos que aumentam de peso percam uma parte de sua substância (LAVOISIER *apud* TOSI, 1989, p. 42).

A menção que Lavoisier faz ao “ar puro” é o oxigênio, o qual ele mesmo havia encontrado em seus experimentos anteriores. Seguindo a ideia de *flogístico*, Priestley havia chegado a conclusões diferentes das de Lavoisier. Para Priestley este ar é o “ar deflogisticado”, um ar elementar desprovido de *flogístico*. Em outra direção, Lavoisier assumiu existir “um elemento presente no ar, ou seja, o ar não seria uma substância elementar, e sim uma mistura” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo). As explicações dadas por Lavoisier pareciam, para Priestley, meras especulações. Lavoisier não fazia questão de receber os créditos pela descoberta do “ar puro”, mas os requisitava quando a questão era interpretação da combustão e calcinação por um novo elemento, algo de maior reconhecimento (TOSI, 1989).

Retomando a discussão sobre a água ser ou não uma substância simples, básica, durante os anos de 1783 a 1785 o processo de decomposição da água foi bastante analisado e discutido por diversos pensadores, como Cavendish, Priestley, James Watt (1736-1819) e Lavoisier. Tal debate acabou por proporcionar novas visões para a hipótese 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, na qual o flogístico ocupava o papel de princípio combustível que havia sido retirado (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

A capacidade de explicação dos fenômenos pela hipótese do *calórico* conferiu grande credibilidade aos trabalhos de Lavoisier. Em experimentos posteriores, Lavoisier aplicou a ideia de *calórico* para explicar a formação da água. Junto ao sucesso nas explicações de diversos fenômenos, como os da combustão e calcinação, dentre outros onde havia aquecimento associado, veio o reconhecimento por parte de outros pensadores sobre a validade das hipóteses associadas ao *calórico*. Joseph Black deixou de lado o *flogístico*, adotando o *calórico*, enviando para Lavoisier, 1791, uma carta na qual admitia a supremacia do *calórico* na explicação dos fenômenos (TOSI, 1989).

Passei trinta anos crendo na teoria do flogisto e ensinando-a [...] experimentei durante muito tempo um grande afastamento do novo sistema, que apresentava como um erro o que eu considerava uma doutrina sã; contudo, esse afastamento, que

eu não provinha senão da força do costume, tem diminuído gradualmente, vencido pela clareza e a solidez do vosso método (BLACK, *apud* TOSI, 1989, p. 47).

Mesmo a despeito do reconhecimento recebido, o *calórico* também tinha pontos obscuros. Um deles residia na 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*. Excetuando-se isso, todo arcabouço teórico construído por Lavoisier era coerente, o que lhe deu forças para ser divulgada. Mesmo com a impossibilidades de se aferir 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” (FILGUEIRAS, 1995; MARTINS e MARTINS, 1993, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Até o fim da vida em 1804, Priestley defendeu as ideias do *flogístico*. Entretanto, aventou a possibilidade das ideias de Lavoisier serem mais coerentes.

Há poucos assuntos, talvez nenhum, que tenham ocasionado mais perplexidade aos químicos que o *flogístico*, ou, como é chamado algumas vezes, o *princípio da inflamabilidade*. Foi uma grande descoberta de Stahl que este princípio, o que quer que seja, é transferível de uma substância para outra, ainda que tenham propriedades diferentes como o enxofre, a madeira e todos os metais, mas é a mesma coisa em todas elas. Mas o que tem dado um ar de mistério a este assunto, tem sido que ele foi imaginado, seja como princípio, ou substância, que não poderia ser exibido exceto em combinação com outras substâncias, e não poderia assumir separadamente uma forma fluida ou sólida. Foi também dito por alguns, que o *flogístico* estava tão longe de adicionar peso aos corpos, que a adição dele aos corpos tornava-os mais leves do que antes, o que o levaria a ser chamado de *princípio da leveza*. Esta opinião teve grandes adeptos.

Por último, tem sido a opinião de muitos célebres químicos, Mr. Lavoisier entre eles, que toda a doutrina do *flogístico* foi fundada em um erro, e que todos os casos em que foi pensado que os corpos se dividirão com o princípio do *flogístico*, de fato eles não perderam nada, mas pelo contrário, adquiriram alguma coisa; e em muitos casos uma adição de algum tipo de ar; que um metal, por exemplo, não era a combinação de duas coisas *viz*, uma terra e *flogístico*, mas era provavelmente uma substância simples em seu estado metálico; e que a cal é produzida não pela perda de *flogístico*, ou qualquer outra coisa, mas pela aquisição do ar.

Os argumentos a favor desta opinião, especialmente aqueles obtidos a partir dos experimentos de Mr. Lavoisier feitos com mercúrio, são tão especiais, que eu

próprio estava me inclinando a adotá-los. Meu amigo Mr. Kirwan, entretanto, sempre acreditou que o flogístico era a mesma coisa que o ar inflamável; e ele tinha provado suficientemente isto a partir de muitos experimentos e observações, tanto as minhas como as de outros. (PRIESTLEY, 1783, p. 399-400).

Por estes últimos escritos de Priestley, “pode-se observar que se trata, como já conjecturado aqui, muito mais que um receio em aceitar a existência de substâncias compostas do que uma crença arraigada na *existência* do flogístico” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Diferentes teorias buscavam explicar a natureza do calor, tanto entendendo-o como substância, quanto relacionando-o ao movimento da matéria. À primeira visão eram adeptos, dentre outros, alguns dos filósofos naturais já discutidos, por exemplo, Becher, Stahl, Priestley, Black e Lavoisier. Exemplos de pensadores alinhados com a segunda visão são Francis Bacon (1551 – 1626), Robert Boyle (1627 – 1691), Robert Hooke (1635 – 1703), Daniel Bernoulli (1700 – 1782), Benjamim Thompson ou Conde Rumford (1753 – 1814) e Humphry Davy (1778 – 1829). Nossa análise para essa perspectiva volta-se para aspectos da contribuição de Benjamim Thompson.

## 5.6. O dilema do século XVIII

Tanto a linha de calor como fluido quanto o pensamento do calor associado ao movimento da matéria sutil explicavam<sup>25</sup> alguns fenômenos. Os próprios pensadores envolvidos diretamente com esses estudos admitiam tal fato. Lavoisier e Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) fizeram a seguinte afirmação sobre tais diferenças de pensamento entre os estudiosos do calor:

Os físicos estão em desacordo sobre a natureza do calor. Alguns o consideram como um fluido expandido por toda a natureza, o qual se encontra em todos os corpos por haver penetrado mais ou menos neles, à razão de sua temperatura e de sua disposição particular em retê-lo; pode combinar-se com eles e, nesse caso, deixa de atuar sobre o termômetro e de se comunicar de um corpo a outro, em um estado de liberdade que permite manter o equilíbrio entre os corpos, e que forma o que chamamos de *calor livre*. Outros físicos pensam que o calor não é senão o resultado de um movimento insensível das moléculas da matéria. Sabemos que todos os corpos, mesmo os mais densos, estão cheios de um grande número de poros, de pequenos vazios. Esses espaços vazios deixam às suas partes insensíveis a liberdade de oscilar em todo sentido; é natural pensar, então, que essas partes estão em

---

<sup>25</sup> Além das linhas de pensamento citadas, também havia, na mesma época, estudiosos que defendiam ideias que associavam calor à luz, explicar fenômenos como o calor radiante (BARNETT, 1946a).

contínua agitação e que, se esta aumenta até um certo ponto, pode chegar a desuni-las e a decompor os corpos. É esse movimento interno o que, segundo os físicos que mencionamos, constitui o calor (LAVOISIER e LAPLACE, 1780, p. 285).

Lavoisier, como visto na seção anterior, era defensor da ideia de calor como fluido, e chegou a formular suas próprias conjecturas quanto à constituição da matéria e à natureza do calor. Após suas análises, concluiu que a melhor forma de explicar alguns dos fenômenos, como o ganho de peso na calcinação de certos metais e a decomposição da água, era relacionar o calor a um fluido, seja material seja ele sutil.

Em um trabalho publicado em 1780 sob o título “Memórias sobre o Calor”, Lavoisier e Laplace discutem as duas formas de pensar o calor por meio de vários experimentos relacionados ao calor. Nessa discussão, apresentam interpretações para os resultados dos experimentos segundo as duas linhas, calor por movimento da matéria sutil e calor como fluido.

Segundo Lavoisier e Laplace, para certos fenômenos a ideia de calor por movimento parecia mais satisfatória, como na explicação do calor gerado pela fricção de corpos. Já para a explicação de outros fenômenos, a hipótese de calor como fluido parecia melhor, como no caso da decomposição da água. No escrito de 1780, Lavoisier e Laplace expressam que, na análise dos experimentos, não foram tendenciosos. Entretanto, afirmam que certos parâmetros foram tomados por referência, tanto na explicação usando o calor como substância ou como movimento. Dentre eles, um seria que a quantidade de calor livre é sempre a mesma na mistura simples de corpos. Na discussão sobre os experimentos realizados, relatam:

Quando aquecemos um corpo sólido até um certo grau e causamos assim a separação de suas partículas umas das outras, se permitirmos ao corpo esfriar, suas partículas novamente aproximam-se umas das outras na mesma proporção na qual foram separadas pela temperatura aumentada [...]

[...] Assim as partículas de todos os corpos podem ser consideradas como sujeitas à ação de dois poderes opostos, um repulsivo, o outro atrativo, entre os quais elas permanecem *in equilibrio*.

Enquanto a força atrativa permanece mais forte, o corpo continua em um estado de solidez; mas se, pelo contrário, o calor removeu cada uma destas partículas para além da esfera de atração, elas perdem a adesão que possuíam antes umas às outras, e o corpo cessa de ser sólido.

[...] O mesmo pode ser afirmado sobre todos os corpos da natureza: eles são ou sólido ou líquidos, ou no estado de vapor elástico aeriforme, de acordo com a

proporção que tem lugar entre a força atrativa inerente de suas partículas, e o poder repulsivo do calor agindo sobre estas; ou, o que resulta no mesmo, na proporção do grau de calor ao qual elas estão expostas.

É difícil compreender estes fenômenos, sem admiti-los como os efeitos de uma substância real e material, ou um fluido muito sutil, o qual, insinuando-se entre as partículas dos corpos, separa-as uma das outras; e, mesmo assumindo a existência deste fluido como hipotética, podemos pelos resultados ver que explica os fenômenos da natureza de uma maneira muito satisfatória (LAVOISIER, 1789, p. 1-5).

Mesmo sem adotar quaisquer das linhas sobre a natureza do calor, tais pensadores calcularam empiricamente o calor específico de diversos materiais, também descrevendo experiências nas quais estudaram a capacidade calorífica no trabalho de 1780. Assim, era indiferente adotar a explicação de calor como fluido ou movimento em considerações calorimétricas.

O *calórico* ganhou força em relação ao *flogístico* ao descrever mais satisfatoriamente certos fenômenos, como a combustão e calcinação. Além disso, apresentava argumentos convincentes na explicação da dilatação térmicas, 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, no prelo).

Como dito por Lavoisier e Laplace, havia aqueles que defendiam outra abordagem sobre o calor. Simultaneamente ao desenvolvimento da hipótese do *calórico*, vários trabalhos foram realizados fundamentados na hipótese da natureza do calor relacionada ao movimento interno aos corpos. Dentre os defensores dessa linha destacamos os trabalhos de Benjamin Thompson, mas conhecido como Conde Rumford, título recebido do Império Alemão no fim do século XVIII.

Com interesse em armamentos e desenvolvimento de máquinas, Rumford, militar de carreira, parece ter tecido suas primeiras conjecturas sobre a ideia mecânica do calor quando estudava pólvora e armas, percebendo a alta temperatura com a qual a bala deixava o cano da arma. Rumford teria percebido que as balas saídas de mosquetes possuíam mais alta temperatura do que a região do aparato que atingiam. 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. Assim, concluiu que tamanha temperatura não poderia ter sido gerada



pela explosão da pólvora (a arma não atingia tal temperatura), sendo, portanto, gerada no atrito do trajeto da bala dentro da arma. Para corroborar com este argumento, ele apresentou outras situações nas quais havia geração de calor por atrito. Tais situações, como choques entre corpos, também associavam tal geração de calor à dureza do material, vibração e intensidade com a qual a fricção entre os corpos ocorria (WATANABE, 1959, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Buscando mostrar inconsistências na hipótese do *calórico*, Rumford realiza mais estudos e experimentos, exibidos em 1785, com calor gerado por atrito e calor propagado no vácuo. A hipótese do *calórico* pressupunha a intensa interação entre este e a matéria, sendo esta a razão pela qual o *calórico* se propagaria dentro dos corpos, então tal fluido não poderia se propagar no vácuo, local onde inexistia matéria. Aqueles que defendiam o *calórico* explicavam que tal fluido ocupava todo o espaço, inclusive o vácuo, pela sua característica de repelir a si mesmo (WATANABE, 1962, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

No fim do século XVIII, Rumford exhibe um trabalho no qual apresenta argumentos do que seriam as provas incontestáveis da natureza mecânica do calor, refutando em definitivo as hipóteses de calor como fluido. Tal estudo ocorreu “enquanto ele supervisionava uma fábrica de canhões, pretendia responder à questão da produção infinita de calor prevista na hipótese do *calórico* para o fenômeno observado” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

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, 210).

Buscando resolver esta questão, Rumford propôs-se à realização de alguns experimentos, a fim de investigar se poderia ou não haver, admitindo-se a hipótese de calor

como fluido, a produção aparentemente infinita de calor. Tais experimentos foram realizados com a perfuração de um canhão cilíndrico de metal.

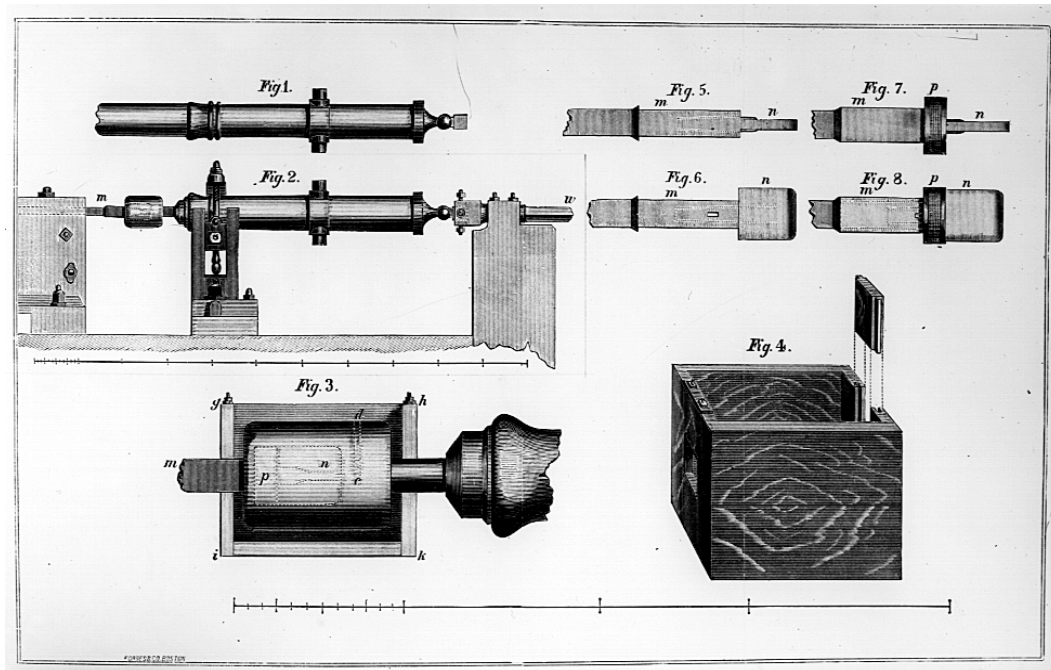


Figura 14: Esquema do aparato utilizado nos experimentos de perfuração do canhão realizados por Rumford.

Este cilindro foi projetado para a proposta específica de geração de calor por atrito ao ter uma broca cega forçada contra seu fundo sólido ao mesmo tempo em que ele era girado em torno de seu eixo pela força de cavalos. Para que o calor acumulado no cilindro pudesse ser medido de tempos em tempos, um pequeno buraco foi feito nele, com a finalidade de introduzir um pequeno termômetro mercurial cilíndrico [...] (RUMFORD, 1798, p. 83-84).

O primeiro experimento foi realizado à seco. Rumford recobriu o canhão com uma flanela grossa, sem folgas, a fim de que o calor gerado pela fricção da broca no canhão não fosse perdido para o ambiente.

Para evitar, tanto quanto possível, a perda de qualquer parte do calor que foi gerado no experimento, o cilindro foi bem coberto com uma camada justa de flanela grossa e quente, que foi cuidadosamente embrulhada em volta dele, e isolando-o por todos os lados do ar frio do ambiente (RUMFORD, 1798, p. 85).

Assim, mediu a temperatura do ambiente e do canhão e broca, verificando-a ser em torno dos 60°F (aproximadamente 15,6°C). Então, pôs a broca a perfurar o canhão. Após 30 minutos e tendo o canhão realizado 960 revoluções em torno do seu eixo, Rumford introduziu o termômetro de mercúrio no canhão e percebeu que a temperatura, naquele instante, era de 130°F (aproximadamente 54,5°C). Para saber quão rápido o calor escaparia do cilindro,

Rumford deixou o termômetro no pequeno furo por cerca de 45 min, observando que a temperatura seria reduzida até 110°F (cerca de 43,3°C) (RUMFORD, 1798).

Durante a perfuração foram produzidos lascas e pó metálico. Entretanto, Rumford observou que este resíduo não representava mais que um milésimo da massa inicial do canhão. Rumford colocou as lascas e o pó quentes em contato com gelo, verificando que o calor desse material residual do canhão, imediatamente após a perfuração, fora suficiente para derreter aproximadamente três quilogramas de gelo. Assim, concluiu que não era possível que tão pequena massa metálica pudesse conter uma quantidade tal de *calórico* para ser a responsável pela origem de tamanho calor que gerou o aquecimento do canhão dos 15,6°C iniciais até os 54,5°C, em apenas 30 minutos de perfuração (RUMFORD, 1798).

Em um segundo momento, Rumford encerrou a parte que estava sendo perfurada em uma caixa cuidadosamente fechada para isolar o experimento do ar do ambiente, a fim de verificar se este poderia interferir nos resultados obtidos no experimento anterior. Os mesmos resultados foram verificados, o que impossibilitava a conjectura do calor vir de algo que estivesse contido no ar.

Um terceiro experimento foi realizado. Desta vez, Rumford encerrou a parte na qual estava ocorrendo a perfuração em caixa, preenchendo esta completamente com água.

Uma caixa quadrangular oblonga de madeira, impermeável, [...], provida com buracos ou fendas no meio de cada uma de suas extremidades, grandes o suficiente para receber, de um lado, o bastão quadrado de ferro na ponta do qual a broca de ferro cega estava presa, e, do outro, o pequeno gargalo cilíndrico que ligava o cilindro oco ao canhão. [...] Ao entornar água na caixa, e enchendo-a até o topo, o cilindro deve ficar completamente coberto, e envolto por todos os lados, por aquele fluido. [...]

Feito isso, a caixa foi posta no lugar, e as junções do bastão de ferro e do gargalo do cilindro, nas duas extremidades da caixa, foram feitas impermeáveis por meio de anéis de couro lubrificados. A caixa foi cheia com água fria (à temperatura de 60° [F]) e a máquina posta em funcionamento.

O resultado deste belo experimento [experimento nº 3] foi muito impressionante, e o prazer que me deu compensou amplamente todo o trabalho que eu tive em planejar e organizar o complicado maquinário necessário para fazê-lo.

O cilindro, girando a uma taxa de 32 vezes por minuto, estava ainda em movimento por pouco tempo quando percebi, colocando minha mão na água e tocando o lado externo do cilindro, que havia sido gerado calor. E não demorou muito para que a

água que envolvia o cilindro ficasse sensivelmente quente (RUMFORD, 1798, p. 90-91).

O fato da água também ter esquentando levou Rumford a concluir que o calor não tinha origem em algo contido na água, pois, se assim o fosse, a água não poderia ao mesmo tempo fornecer calor ao canhão e à broca e esquentar a si mesma. Afinal, se algo na água fosse responsável pelo calor e esse algo fosse transferido para o canhão e à broca, então a água estaria perdendo calor e deveria esfriar; o que não foi observado (RUMFORD, 1798).



Figura 15: Ilustração<sup>26</sup> de um dos aparatos experimentais na perfuração de canhão, adaptado pelo conde Rumford para suas experiências de calor. O atrito como a broca embotada a cortar o metal produzia calor suficiente para fazer a água ferver.

Dando continuidade ao experimento em ação, Rumford verificou que:

[...] 1 hora e 30 minutos após a máquina ter sido posto em movimento, o calor da água na caixa foi de 142° [°F].

Ao fim de 2 horas, contando a partir do início da experiência, a temperatura encontrada para a água aumentou para 178° [°F].

Às 2 horas e 20 minutos, foi de 200° [°F] e após 2 horas e 30 minutos ela [a água] **DE FATO FERVEU!** (RUMFORD, 1798, p. 92).

Apesar de esperar tal resultado, Rumford não escondeu sua surpresa em relação à quantidade de calor gerada nesse processo. Tentando compreender as informações, baseado em seus estudos anteriores e em trabalhos de outros pesquisadores, escreve sobre suas impressões.

<sup>26</sup> Disponível em: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/R/Rumford.html>

[...] O que é Calor? – Existe algo como um *fluido ígneo*? – Existe algo que possa, com propriedade, ser chamado *calórico*? (RUMFORD, 1798, p. 98).

Analisando os experimentos, Rumford conclui:

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 freqüentemente 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 citados 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 (RUMFORD, 1798, p. 98-99).

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 à linha de calor como fluido. Algumas dessas referiam-se à dilatação sofrida pelo canhão e pelas lascas metálicas, fato que era relativamente bem explicado pelo *calórico*.

Rumford continuou estudando, pesquisando e experimentando, a fim de produzir mais argumentos para rechaçar tais críticas. Em trabalho apresentado em 1799, Rumford mostrou os resultados a que chegou após ter realizado experimentos relacionados à evaporação e sublimação de substâncias, buscando relacionar se tais fenômenos tinham associações com o peso do calor (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Tendo providenciado três garrafas A, e B tão semelhantes quanto possível [...] na primeira, A, coloquei 4107,86 grains Troy [~266,19 gramas] de água [...], na segunda garrafa, B, pus o mesmo peso de álcool [...].

Estas garrafas foram hermeticamente fechadas e colocadas numa sala grande [...] onde o ar parecia estar completamente quieto, e, permanecendo nesta situação por mais que 24 horas, o calor na sala (61°F) se manteve constante por quase todo o tempo, com poucas variações [...]. Elas foram todas pesadas, e deixadas em equilíbrio entre si [com o mesmo peso] atando-se no gargalo da mais leve, pequenos fios de prata.

Deixando este aparato nessa situação por 12 longas horas, e não encontrado qualquer alteração nos pesos das garrafas – elas continuavam em perfeito equilíbrio – Eu removi as garrafas para uma sala fechada em que o ar estava a 29°F; com as portas abertas estava a 27°F; saí da sala e a tranquei, deixando as garrafas assim por 48 horas, sem perturbação, nesse frio, presas as balanças como antes.

Após esse tempo, entrei na sala [...] A água contida na garrafa estava completamente congelada; mas, o álcool, na garrafa B, não apresentava qualquer sinal de congelamento.

Removendo a balança, com as duas garrafas presas a ela, do frio para uma sala aquecida, mantendo-a à 61°F, o gelo na garrafa gradualmente derreteu; e tendo por completo se reduzido à água, e deixando esta água assumir a temperatura ambiente,

as duas garrafas, depois de limpas e secas, estavam com os mesmos pesos com os quais começaram o experimento, antes da água ter congelado.

Repeti este experimento, encontrando os mesmos resultados (RUMFORD [1799], 1873, p. 2-5).

Rumford se questionou se os resultados poderiam ter sido produzidos por alguma falha da balança que utilizou. Por isso, realizou o experimento descrito anteriormente com duas garrafas cheias de mercúrio, encontrando perfeito equilíbrio após todas as etapas do experimento, o que descartava a possibilidade de defeitos na balança (RUMFORD [1799], 1873).

Rumford repetiu tais experimentos várias vezes, alterou os conteúdos das garrafas, conferiu problemas na balança, etc., chegando à conclusão que “toda tentativa de descobrir qualquer efeito do calor sobre os pesos aparentes dos corpos será infrutífera” (RUMFORD [1799], 1873, p. 16). Dessa forma, não havendo alteração nos pesos das substâncias quando estas mudam de estado físico, então a ideia que relacionava a atração do *calórico* pela matéria estava em contradição com o observado pelos experimentos. No estado sólido, uma substância está mais fria que em seu estado líquido, e, portanto, deveria conter menos *calórico* quando sólida e mais desse fluido quando líquida, resultando num maior peso da substância quando líquida. Fato que não foi observado nesses experimentos de Rumford.

Rumford ainda realizaria experimentos envolvendo o fenômeno da sublimação, dentre outros, na busca pela refutação total do *calórico*. Num estudo apresentado em 1804, *Reflexões sobre o Calor*, Rumford, depois de todos os experimentos descritos anteriormente, admite a existência das duas linhas de pensamento quanto à natureza do calor.

A prova de que nosso conhecimento sobre o assunto de calor ainda é extremamente limitado e imperfeito reside na diferença de opinião que existe no que aprendemos sobre a natureza do calor e do seu modo de ação. Alguns o consideram como uma substância, outros como um movimento vibratório das partículas de matéria de que um corpo é composto.

Aqueles que adotaram a hipótese de uma substância calorífica peculiar, a qual chamam *calórico*, supõem que o aquecimento de um corpo é sempre o resultado de uma acumulação desta substância no corpo; por outro lado, aqueles que consideram o calor como um movimento vibratório concebem existir sempre uma maior ou menor rapidez das partículas de todos os corpos, considerando o calor como uma aceleração deste movimento (RUMFORD [1804], 1873, p. 167).

As duas linhas de pensamento acerca calor tinham seus méritos e suas falhas. A hipótese de calor como fluido explicava bem certo números de fenômenos, enquanto que a ideia mecânica dava conta de esclarecer o que se dava em tantos outros. Analogamente, alguns argumentos iam de encontro à visão Substancialista do Calor, enquanto que outros confrontavam a visão que relacionava calor ao movimento.

“Diferente do que costuma ser apresentado, não foi um experimento com canhões que permitiu ao Conde Rumford derrubar a crença no *calórico*, pois o pequeno recorte aqui apresentado já nos permite perceber que a história é bem mais complexa” (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo). Foram realizadas experimentações, diversas conjecturas levantadas, hipóteses refutadas, teste dos equipamentos utilizados.

### **5.7. Afinal, o que é calor?**

Outros estudos sobre o *calórico* foram realizados, buscando fundamentá-lo mais enquanto outras pesquisas continuaram sendo feitas a fim de rechaçá-lo, durante o século XIX. Humphry Davy (1778-1829) foi um dos que se engajou na em novas pesquisas, tendo feito experimentos com o atrito entre blocos de gelo. Acabou por adotar uma explicação para o calor mesclando ideias substancialistas e corpuscularistas, considerando-o como um fluido em movimento. Havia também aqueles que defendiam a outra linha de pensamento, a do calor radiante, relacionado este aos fenômenos luminosos, como foi o caso de Thomas Young (1773-1829) (WATANABE, 1962, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

No período considerado acima, a forma e os mecanismos com os quais as pesquisas e experimentos eram desenvolvidos gozavam de grande destaque. O fazer científico estava dirigido ao progresso das indústrias, desenvolvimento de novas máquinas, etc. Isto era claramente uma visão positivista da ciência. Os estudos realizados por Sadi Carnot (1796-1832) buscando compreender o funcionamento das máquinas térmicas estavam inseridos nessas perspectiva (CASTIGNANI, 1999, *apud* SILVA, FORATO e GOMES, no prelo). Carnot adotou de início as ideias relacionadas ao *calórico*, todavia as interpretações dadas a esses estudos em análises posteriores encontravam-se mais próximas da linha de calor por movimento (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

Outras conjecturas existiam. Dentre elas está a que acabou por gerar o conceito de energia e sua conservação, por vezes atribuída a James Joule (1818-1889), por vezes a Julius Mayer (1814-1878). Tais teses relacionavam calor com a realização de certo trabalho (MARTINS R., 1984). Mayer relacionava este trabalho a um esforço, e a correspondência



entre este esforço e calor produzido por ele era admitida como invariável sob quaisquer perspectiva<sup>27</sup> (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo). Já Joule relacionava calor e eletricidade, tendo feito diversos experimentos sobre tal, encontrando o equivalente mecânico do calor a partir tanto de experimentos de eletricidade quanto de experimentos com queda de corpos. Os trabalhos de Joule obtiveram reconhecimento quando demonstrou que a queda de dois corpos gerava diferença de temperatura em certa quantidade de água (HEERING, 1992).

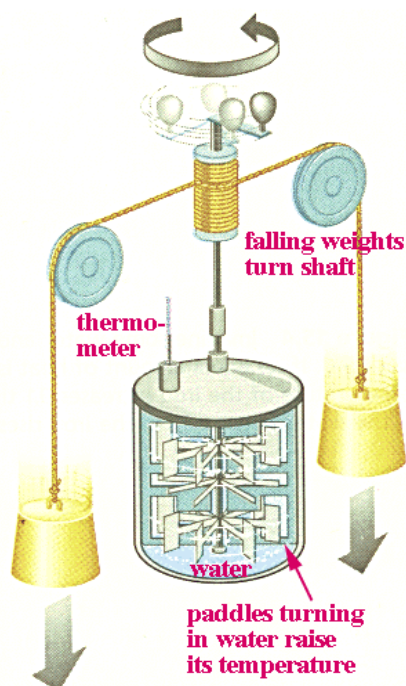


Figura 16: Representação<sup>28</sup> do aparato experimental de Joule. As duas massas penduradas faziam o eixo vertical girar, acionando as pás que estavam dentro do cilindro fechado contendo água. Quando agitada, a água tinha sua temperatura elevada, o que era registrado pelo termômetro introduzido no cilindro.

Algumas das perspectivas que buscavam explicar o calor sofreram alterações em suas conjeturas, passando a adotar mais enfaticamente a explicação associada ao movimento.

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, no prelo).

<sup>27</sup> Mayer era ligado à *Naturphilosophy*, uma corrente filosófica em que as ideias de conservação não poderiam ser violadas. Para um aprofundamento nos trabalhos de Mayer e Joule, veja Martins (1984).

<sup>28</sup> Disponível em <http://www.perdiamateria.eng.br/nomes/Joule.htm>.

Admitir as ideias de conservação de energia e adotar o calor como uma energia em transferência se adequavam bem às explicações buscadas. Entretanto, surgiam novos questionamentos, agora relacionados à natureza da energia. Assim como com o calor, explicar a natureza da energia também era complexo e havia várias formas de concebê-la.

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, no prelo).

Todos os estudos e pesquisas que buscaram compreender a natureza do calor, por melhor que fossem fundamentados, foram alvo de críticas igualmente bem embasadas. O fato da perspectiva que relacionava calor ao movimento ter se destacado pela melhor explicação que dava aos fenômenos no fim do século XIX e início do XX, não se constitui numa resposta final, definitiva sobre a natureza do calor.

## **5.8. Algumas considerações**

Diversas perspectivas sobre a natureza do calor existiram desde a Antiguidade até o século XIX. A forma como os pensadores de cada época concebiam o mundo e a cultura na qual estavam imersos exerceram influência sobre seus estudos e pesquisas. Se por um lado determinavam suas observações e conjecturas, por outro acabavam por nortear suas interpretações, o que refletia em suas explicações sobre a natureza do calor.

É muito provável que várias outras concepções ou hipóteses sobre a natureza do calor tenham “convivido” ao mesmo tempo em que aquelas apresentadas aqui. Porém, o período compreendido entre os séculos XVII e XIX é muito rico quanto ao desenvolvimento da termodinâmica e torna-se impossível abarcá-los por completo. O que foi aqui apresentado é uma breve síntese de alguns episódios históricos envolvendo o calor, buscando ressaltar a complexidade e coletividade da construção da ciência, bem como seu caráter sócio-histórico (SILVA, FORATO e GOMES, no prelo).

## 6. PLANO DE AULAS

Apresenta-se a seguir o produto gerado por esta pesquisa: um plano de aulas para levar ao ensino básico a discussão sobre aspectos da NdC (Natureza da Ciência), utilizando a HFC (História e Filosofia da Ciência) como ferramenta metodológica.

Esquemáticamente, mostra-se um quadro sintético do plano de aulas (quadro 1). Nesse quadro destacam-se os aspectos da NdC que se almeja serem discutidos e trabalhados nas atividades. Após o quadro há a descrição detalhada dos momentos didáticos, dos procedimentos a serem aplicados, das competências e habilidades trabalhadas nas atividades e orientações aos docentes que forem aplicar o plano de aulas.

Quadro 1: Plano de aulas

Momento Conteúdo	Atividades	Aspecto da NdC mobilizado	Duração (min)
1) <b>Provocando</b>	a) o que é física? O que a física estuda? b) Vídeo <i>Ano Mundial da Física</i> <sup>29</sup> c) Ideias sobre fogo. d) Encerrando o 1º momento.	A coletividade da construção da ciência; Transitoriedade dos conhecimentos; Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência.	45
2) <b>Calor como substância</b>	a) Recolhendo e lembrando b) Trechos de músicas e poesias c) Calor como substância. d) Encerrando o 2º momento.	A coletividade da construção da ciência; Transitoriedade dos conhecimentos; Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência.	45
3) <b>Movimento dentro da matéria</b>	a) Recolhendo e lembrando b) Simulações <sup>30</sup> <i>Atrito entre Superfícies</i> <sup>31</sup> e <i>Estados da Matéria</i> <sup>32</sup> c) Prévia da atividade <i>Julgamento do Calor</i> d) Encerrando o 3º momento.	A coletividade da construção da ciência; Transitoriedade dos conhecimentos; Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência; O dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento.	45
4) <b>Experimentando</b>	a) Recolhendo e lembrando; b) Experimentos abertos. c) Lição.	A coletividade da construção da ciência; O dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento; Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência.	45

<sup>29</sup> Disponível em <http://www.fisica.net/videos/Ensino/ANO%20MUNDIAL%20DA%20FISICA.mp4>

<sup>30</sup> As duas simulações trazem a perspectiva atomista da matéria. Após a descrição do plano de aulas há tutoriais de cada simulação (anexo III).

<sup>31</sup> Disponível em [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/friction](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/friction)

<sup>32</sup> Disponível em [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/states-of-matter-basics](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics)

Momento Conteúdo	Atividades	Aspecto da NdC mobilizado	Duração (min)
5) Calor sensível e sua mensuração	a) Recolhendo e relembrando; b) Formulando o conceito de calor sensível; c) Possíveis questionamentos; d) Lição.	Transitoriedade dos conhecimentos; Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência; O dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento; A coletividade da construção da ciência.	45
6) Julgamento do Calor – parte 1 <sup>33</sup> .	a) Relembrando e recolhendo; b) <i>O Julgamento do Calor.</i>	Transitoriedade dos conhecimentos; Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência; O dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento; A coletividade da construção da ciência.	45
7) Julgamento do Calor – parte 2	a) <i>O Julgamento do Calor.</i>	Transitoriedade dos conhecimentos; Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência; O dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento; A coletividade da construção da ciência.	45
8) Últimas reflexões	a) Aplicação de questionário b) Finalizando	Transitoriedade dos conhecimentos; Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência; O dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento; A coletividade da construção da ciência.	45

### 6.1 Detalhamento dos momentos didáticos

Todas as atividades descritas foram planejadas de forma que sejam trabalhadas uma ou mais das competências e habilidades listadas a seguir, além dos aspectos da NdC relatados no quadro anterior. Tal lista está em conformidade com os PCN (BRASIL, 1999) e PCN+ (BRASIL, 2002) de Ciências da Natureza.

- Articular, integrar e sistematizar fenômenos e teorias dentro de uma ciência, entre as várias ciências e áreas de conhecimento;
- Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.

<sup>33</sup> Os 6º e 7º momentos devem, preferencialmente, ser aulas duplas (geminadas).

- Consultar, analisar e interpretar textos e comunicações de ciência e tecnologia veiculados por diferentes meios;
- Elaborar comunicações orais ou escritas para relatar, analisar e sistematizar eventos, fenômenos, experimentos, questões, entrevistas, visitas, correspondências;
- Identificar em dada situação-problema as informações ou variáveis relevantes e possíveis estratégias para resolvê-la;
- Identificar fenômenos naturais ou grandezas em dado domínio do conhecimento científico, estabelecer relações;
- Identificar regularidades, invariantes e transformações;
- Ler, articular e interpretar símbolos e códigos em diferentes linguagens e representações: sentenças, equações, esquemas, diagramas, tabelas, gráficos e representações geométricas;
- Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos.

Com relação aos aspectos da NdC que são alvos deste plano de aulas, segue uma breve descrição dos mesmos.

a) A coletividade da construção da ciência:

Embora possa um conhecimento ser desenvolvido por um pensador isolado, isto não é regra. O todo da ciência foi construído pelas contribuições de inúmeros grupos de pensadores, ao longo das épocas. Isto não quer dizer simplesmente que os conhecimentos foram acumulados historicamente e nem que o saber científico que há hoje é o resultado desta acumulação. Mas, sim, que no desenvolvimento dos saberes científicos há uma complexa interação entre vários constructos teóricos, de várias épocas e de diversos pensadores.

b) A transitoriedade dos conhecimentos:

Em certos momentos históricos, como visto, por exemplo, no caso de calor, conceitos novos surgiram, outros foram reformulados e ainda outros descartados. Não há a perenidade dos saberes. Casos como os estudos astronômicos sobre o modelo de sistema solar, as teorias da biogênese e abiogênese na Biologia, e tantos outros casos são exemplos dessa construção científica baseada na confrontação de teses e perspectivas.

c) Falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência:

Os conhecimentos construídos na ciência são, essencialmente, não completos, não esgotados e passíveis de reformulações e até abandonos ao longo do tempo.

d) O dissenso como instância partícipe na produção de conhecimento:

A pluralidade de opiniões e ideias sobre dado fenômeno conduz ao estabelecimento de abordagens diferentes sobre o mesmo, produzindo maior gama de conhecimento.

Nesse sentido, os momentos didáticos devem privilegiar a exploração de tais aspectos. Para isso, é interessante que os trabalhos em sala de aula sejam construídos enfatizando os aspectos da NdC a serem trabalhados. Uma possibilidade é aproveitar as diversas explanações e opiniões dos educandos para explorar a construção coletiva da ciência e a falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência. Numa escala bem menor e sendo simplista, mas sem incorrer em erros, cada fala discente é uma contribuição ao estabelecimento de um consenso sobre o tema debatido. E assim como na produção dos conhecimentos na ciência, a coletividade, a diversidade de ideias pode promover a construção das ideias e conceitos. Além disso, a constituição de um consenso leva, em grande parte dos casos, ao descarte de certas ideias e opiniões, o que traz à tona a falibilidade dos constructos teóricos da ciência. E assim sendo, os conhecimentos são transitórios, válidos dentro de um intervalo de tempo e num contexto social e científico específico. São essas perspectivas que devem permear os trabalhos.

Segue a descrição dos momentos didáticos planejados para proporcionar a discussão sobre os aspectos da NdC acima apresentados.

### **1º momento: Provocando**

a) Colher algumas respostas acerca do que é Física e o que esta estuda, buscando relacioná-las, enfatizando a ciência como produto humano contextualizado. Tal relacionamento visa promover a ideia de que a construção coletiva ocorre comumente na ciência.

b) Pedir aos discentes que prestem atenção ao vídeo *Ano Mundial da Física* (duração ~5 min). O mesmo traz uma sequência de imagens relacionadas com o trabalho da Física. Não há narração e nem legendas, apenas o fundo musical do U2. Ao final da exibição, solicitar aos discentes que digam quais imagens mais lhes chamaram atenção, relacionando-as com a Física. Aproveitar para mostrar a diversidade de áreas de atuação da Física. Novamente há espaço para explorar a coletividade na construção da ciência.

c) Durante o intervalo [1:02s até 1:08s], no vídeo anterior, há a exibição de imagens relativas ao fogo. Utilizando isso, arguir os educandos sobre o que é o fogo, do que ele é composto e

como pode ser produzido. A intenção é provocar o discente a exhibir suas ideias sobre esse fenômeno físico e suas características. Muitas das respostas devem apresentar palavras como *Calor e Temperatura*. Ter cuidado para não mencionar a relação entre Calor e energia, o que apenas viria ser feito no século XIX, em período histórico posterior ao explorado neste plano de aulas. Aqui é possível explorar simultaneamente a coletividade da construção da ciência e o dissenso como instância partícipe na construção dos saberes.

Boa oportunidade para introduzir as ideias Substancialista e Mecanicista da Natureza do Calor, apresentando, de forma sintética, que o Calor foi explicado de diferentes formas ao longo dos tempos. Expor que o aquecimento e resfriamento dos corpos era explicado pela absorção ou liberação de uma substância, a qual seria a responsável por tais processos. Também explicar rapidamente que esses mesmos processos também eram explicados pelo entendimento de que partes materiais dentro das substâncias e corpos, ao se agitarem, faziam os mesmos aquecerem, e ao terem seu movimento diminuído, promoviam o resfriamento dos corpos. Enfatizar que as duas explicações sobre a ação do Calor nos corpos e substâncias coexistiram durante várias épocas. Tal momento proporciona a discussão sobre a transitoriedade dos conhecimentos e a falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência.

Aproveitar para questionar os discentes quanto às suas impressões sobre as duas linhas de pensamento sobre o Calor; sobre a possibilidade de haver explicações diversas sobre a ação do Calor; se conhecem outras situações da ciência nas quais também existiu, ao mesmo tempo, mais que uma explicação para um mesmo fenômeno.

## **2º momento: Calor como substância**

- a) Fazer, junto com os discentes, breve síntese do que já foi vivenciado, destacando a existência de mais de uma linha teórica explicando o Calor, apresentadas no momento anterior.
- b) Dividir a turma em cinco grupos e dar um dos trechos de músicas ou poesias da lista constante no anexo I para cada grupo.

Solicitar que os discentes leiam o trecho recebido, debatam entre os membros do grupo e escrevam as impressões e perspectivas sobre o Calor contidas no trecho artístico que receberam. Pedir para que um representante de cada grupo leia o trecho que recebeu e as impressões e perspectivas sobre o calor que o grupo formulou de acordo com texto recebido.

Ao fim de cada fala, abrir um breve momento de discussões, a partir do questionamento: alguém tem algo mais a acrescentar sobre o trecho que o grupo X acabou de apresentar?

Tal atividade pretende mostrar que ideias e concepções da ciência encontram-se diluídas em outras áreas da expressão humana de conhecimento, além de explorar possíveis indicações das concepções Mecanicista e Substancialista do calor que estejam amalgamadas com outras ideias.

Explorar tais ideias, incentivando os educandos a externarem suas opiniões, pode propiciar momento para discussão dos aspectos da NdC objetivados pelo presente plano de aulas.

c) A partir das falas dos grupos na atividade passada, introduzir os conceitos de Flogisto e Calórico, contextualizando historicamente o período no qual tais ideias foram desenvolvidas. É interessante iniciar falando que um grupo de pensadores gregos na Antiguidade já conjecturava o Calor como uma substância. Ressaltar que a ideia substancialista de Calor sofreu alterações ao longo do tempo e que vários foram os pensadores que contribuíram com essa tese. Isto pode proporcionar situação para discutir a coletividade da construção da ciência, a falibilidade das teorias e construções conceituais e a transitoriedade dos conhecimentos.

Finalizar este momento lembrando aos educandos que havia outras formas de entender o calor, sendo uma delas a perspectiva Mecanicista.

d) Entregar o texto *Flogístico e Calórico* (anexo II) e pedir para que os discentes, em casa, leiam o texto e respondam as questões contidas nele. Avisar que a folha de respostas será recolhida no início do próximo momento.

### **3º momento: Movimento Dentro da Matéria**

a) Recolher as folhas de respostas da atividade deixada ao final do momento anterior.

Fazer, junto com os discentes, breve síntese do que já foi vivenciado, destacando as principais características das teorias flogística e calórica contidas no texto entregue aos educandos.

b) Lembrando a explicação Mecanicista da Natureza do Calor, comentar com os discentes que alguns fenômenos já eram conhecidos no século XVII, tais como o calor gerado pelo atrito entre superfícies e a alteração no estado físico da matéria pela aplicação de calor na mesma. Interessante provocar os educandos a pensarem em como explicar cada fenômeno



apresentado pelas duas linhas de pensamento sobre o Calor, solicitando que eles opinem sobre qual delas melhor se adequa à explicação do fenômeno. Aqui se pode explorar o dissenso como instância partícipe na produção do conhecimento e a falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência.

Explorar as simulações *Atrito entre Superfícies e Estados da Matéria* (tutoriais no anexo III), solicitando aos discentes que expliquem fisicamente o que está ocorrendo no experimento virtual. Aproveitar este momento para ressaltar que a explicação Mecanicista sobre o Calor remonta aos gregos da Antiguidade, mas que tal perspectiva não ficou estagnada, sofrendo várias contribuições ao longo dos tempos. Momento para abordar a coletividade da construção da ciência, a transitoriedade dos conhecimentos e a falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência.

Ter cuidado para não levar o educando à ideia de energia, visto que esta, como aceita hoje, apenas começaria a aparecer no início do século XIX.

c) Entregar aos discentes a descrição da atividade *Julgamento do Calor* (anexo IV) e realizar a divisão da turma nos grupos descritos nas instruções.

d) Solicitar aos discentes que, em casa, leiam o texto *Canhões e Calor* (anexo V) e respondam as questões contidas no final do mesmo. Avisar que a folha de respostas será recolhida no início do próximo momento.

#### **4º momento: Experimentando**

a) Recolher as folhas de resposta da atividade deixada ao final do momento passado.

b) Utilizando os experimentos, explorar situações físicas que possam ser explicadas tanto pela linha Substancialista quanto pela linha Mecanicista da Natureza do Calor.

Entregar aos educandos uma ficha de acompanhamento de experimentos (anexo VI).

É importante que os materiais a serem utilizados nos experimentos sejam separados e vistoriados antes do 4º momento.

Incentivar os discentes a externarem suas impressões sobre o que ocorre em cada momento nos experimentos é muito relevante, pois será em cima da fala deles que a oportunidade para abordar a coletividade da construção da ciência, a falibilidade das teorias e construções conceituais e o dissenso como instância partícipe na produção do conhecimento.

*Experimento 1:* Reserve um cronômetro (pode ser o do celular). Numa panela qualquer, ponha 3 copos americanos de água, 1 termômetro de laboratório (suficiente para medir temperaturas de 80°C) e coloque esse conjunto num fogão (ou chapa térmica, ou bico de Bunsen, ou fogareiro) para que a água aqueça. Quando o termômetro registrar 50°C desligue a chama do fogão e acione o cronômetro. Meça o tempo para que a água atinja 45°C. Agora repita esse experimento, mas com apenas 2 copos de água.

Solicitar aos discentes que respondam, na ficha de acompanhamento de experimentos, as seguintes questões:

1 - Em qual das situações a água resfriou mais rápido? Por quê? Anote suas impressões e comentários.

2 - O que faz com que quantidades diferentes de uma substância esfriem (ou aqueçam) em intervalos de tempos diferentes, mesmo se submetidas à mesma fonte de calor e atingirem a mesma temperatura?<sup>34</sup>

*Experimento 2:* Reserve um cronômetro (pode ser o do celular). Numa panela qualquer, ponha 3 copos americanos de água, 1 termômetro de laboratório (suficiente para medir temperaturas de 80°C) e coloque esse conjunto num fogão (ou chapa térmica, ou bico de Bunsen, ou fogareiro) para que a água aqueça. Quando o termômetro registrar 50°C desligue a chama do fogão e acione o cronômetro. Meça o tempo para que a água atinja 45°C. Agora repita esse experimento, mas com 3 copos americanos de vinagre (de qualquer tipo).

Solicitar aos discentes que respondam, na ficha de acompanhamento de experimentos, a seguinte questão:

1 - Os tempos medidos no resfriamento da água e do vinagre são iguais? Por quê? Anote os dados e registre suas impressões<sup>35</sup>.

*Experimento 3:* Reserve dois cronômetros (pode ser o do celular). Numa panela qualquer, ponha 3 copos americanos de água, 1 termômetro de laboratório (suficiente para medir temperaturas de 80°C) e coloque esse conjunto num fogão (ou chapa térmica, ou bico de Bunsen, ou fogareiro) para que a água aqueça. Quando o termômetro registrar 50°C desligue a

---

<sup>34</sup> Muitas respostas ao item b devem aparecer relacionadas à massa de material utilizada. Tal discussão ajudará na formação do conceito físico de calor sensível e na formulação matemática do mesmo.

<sup>35</sup> Muitas respostas devem aparecer relacionadas ao tipo de substância que foi utilizada. Assim, é uma boa oportunidade para aprofundar os questionamentos a fim de que os discentes tomem partido ou da linha de explicação pelos Substancialista ou da linha Mecanicista. Na medida do possível, as discussões devem ser mediadas de forma a não propiciar um debate tendencioso. Além disso, a discussão em torno do tipo de substância conduzirá ao conceito de calor específico, a ser utilizado posteriormente, na formulação conceitual do calor sensível.

chama do fogão e acione os dois cronômetros. Quando a água atingir 47°C, pare um dos cronômetros e o anote o tempo marcado. Continue observando o resfriamento da água. Quanto o termômetro marcar 44°C, pare o segundo cronômetro e anote o tempo marcado.

Solicitar aos discentes que respondam, na ficha de acompanhamento de experimentos, a seguinte questão:

1 - Os tempos registrados são iguais? Por quê? Anote os dados e registre suas impressões<sup>36</sup>.

c) Entregar aos discentes a seguinte lição de casa:

Explique, tanto pela linha teórica do calor como substância quanto pela linha que defende o calor como movimento, os resultados verificados em cada um dos experimentos realizados no 4º momento.

Avisar aos educandos que a folha de respostas será recolhida no início do momento seguinte.

### **5º momento: O Calor Sensível**

a) Recolher as folhas de resposta da lição de deixada ao fim do momento anterior.

Retomar as discussões sobre a Natureza do Calor, lembrando as principais diferenças entre as explicações Substancialista e Mecanicista para tal fenômeno.

b) Retomando os resultados verificados nos experimentos realizados no 4º momento, e as impressões do discentes quanto à relação entre massa, substância, variação de temperatura e tempo, construir com os educandos o conceito de calor sensível, realizando, em sala de aula, algumas aplicações matemáticas e conceituais do mesmo. Tal construção pode partir da pergunta “por que os houve diferença entre os tempos medidos no resfriamento quando variamos a massa, a substância e a variação de temperatura?”

Muitas respostas devem trazer a ideia de energia. Entretanto, solicite ao discente que busque explicações pelas linhas Substancialista e Mecanicista do Calor. Provocar a comparação das explicações pode produzir interessante momento de debate e enriquecimento da discussão sobre o tema implícito, aspectos da NdC.

---

<sup>36</sup> Muitas respostas devem aparecer relacionadas à diferença de temperatura empregada em cada situação. É uma boa oportunidade para tentar fazer os discentes explicarem a diferença de tempo pela linha Substancialistas e pela linha Mecanicista. Na medida do possível, as discussões devem ser mediadas de forma a não propiciar um debate tendencioso, além de tomar cuidado para não citar termos como energia e transferência de energia. Além disso, a discussão em torno da diferença de temperatura ajudará na formação do conceito de calor sensível.

Após a descrição do plano de aulas há uma lista de questões e problemas (anexo VII) que podem ser utilizados em sala de aula para promover a construção do conceito de calor sensível e sua mensuração.

c) Reservar esse momento para possíveis questionamentos e lembrar aos discentes que, no 6º momento, começará a atividade *Julgamento do Calor*.

d) Entregar aos discentes a ficha de questões e problemas para ser respondida em casa e entregue no início do próximo momento. Tal ficha de questões e problemas referentes ao calor sensível encontra-se no anexo VIII, após a descrição do plano de aulas.

Avisar que a folha de respostas será recolhida no início do próximo momento.

O quinto momento visa explorar a matematização do conhecimento físico, aspecto importante ao se abordar historicamente um conteúdo, para que tal formalização não seja posta em segundo plano.

#### **6º e 7º momentos: O Julgamento do Calor**

a) Recolher a folha de respostas da atividade deixada ao fim do momento passado.

b) Realizar a atividade *Julgamento do Calor*, descrita no anexo IV.

Esta atividade se reveste de especial importância dentro do plano de aulas, pois esta propicia o relacionamento direto entre os aspectos da NdC objetivados e muitas das competências que devem ser trabalhadas trazidas pelos PCNs (ver página XX).

Ao haver o debate, promove-se a discussão do dissenso como instância partícipe na produção do conhecimento, expondo-se também a coletividade da construção da ciência. Ao fim da discussão, pode-se explorar a falibilidade das teorias e construções conceituais da ciência e a transitoriedade dos conhecimentos.

#### **8º momento: Últimas Reflexões**

a) Solicitar aos discentes que respondam ao questionário constante no anexo IX. As questões deverão trazer à tona os aspectos da NdC que foram focos de trabalho em todo o plano de aulas. É interessante realizar um pequeno debate após os discentes terem respondido ao questionário, dando ênfase, a partir de algumas das respostas dadas, às características da construção dos conhecimentos.

b) Reservar este momento para colher dos educandos as suas impressões sobre a metodologia empregada, sobre as atividades desenvolvidas.

**Últimas Recomendações:**

Será interessante articular com o professor de História da turma uma aula em dupla, explorando os aspectos gerais da sociedade na Europa dos séculos XVII e XVIII, fazendo um *link* com as demandas da ciência e como esta atuou e se desenvolveu nesse mesmo período. Tal aula poderia ser feita antes do 2º momento do plano de aulas, ou até mesmo substituindo, no 1º momento, os itens *a*, *b* e *c*.

Outro momento de interação entre disciplinas diferentes pode ser realizado quando do 4º momento (Experimentando). Pode-se convidar o professor de Química da turma para trazer contribuições sobre o que poderia estar ocorrendo nos fenômenos analisados nos experimentos. Além disso, como o 4º momento deve ser de intensa discussão, dois docentes podem melhor organizar os debates. Entretanto, deve-se tomar cuidado para que este segundo docente não traga argumentos que não estejam em discussão no plano de aulas, como, por exemplo, o conceito de energia.

Ainda sobre o 4º momento, experimentos sempre podem trazer imprevistos. Talvez seja necessário reservar dois momentos para realização das experimentações. Não se deve esquecer dos cuidados com a segurança de todos os envolvidos nos experimentos por causa da utilização de fontes de calor.

## 7. CONCLUSÕES E DESDOBRAMENTOS

A ciência e a construção dos saberes na ciência se dá num processo complexo, carregado de influências pessoais, sociais, religiosas, políticas e econômicas. A isenção do pensador quanto a esses aspectos da vida cotidiana é inviável. Além disso, o conhecimento produzido, impregnado dessas nuances, é temporário, válido dentro do contexto histórico no qual foi concebido.

Ainda que alguns dos conhecimentos tenham sido construídos isoladamente, o conjunto de saberes que se relacionam para dar corpo a determinada área da ciência é fruto de um trabalho coletivo, no qual o dissenso atua como instância partícipe do processo de formulação e reformulação dos saberes.

A pesquisa aqui apresentada e o produto por ela gerado, o plano de aulas, buscaram fornecer subsídios para que se possa levar tais aspectos da NdC aos educandos do ensino médio.

Numa perspectiva pessoal, durante a realização da pesquisa por várias vezes me vi em confronto com a minha visão de ciência e aquela apresentada pelos textos estudados. Tal desconforto me fez rever minhas ideias sobre o trabalho científico, suas características e processos de desenvolvimento dos conhecimentos. Talvez isso também possa vir a acontecer com os docentes que, porventura, venham a aplicar o plano de aulas proposto, o que pode torna-lo mais relevante, pois atingiria tanto discentes quanto docentes.

Um primeiro desdobramento desta será a análise da aplicação do plano de aulas proposto em sala de aula, já que não houve tempo hábil para tal.

Outro possível desdobramento é a construção de um minicurso voltado para formação continuada de docentes que atuam no ensino das ciências no ensino médio, a fim de dar a estes ainda mais subsídios com relação ao uso da HFC como ferramenta metodológica para a discussão de aspectos da NdC em sala de aula.

## REFERÊNCIAS

- ABD-EL-KHALICK, F. Developing Deeper Understandings of Nature of Science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional practice. **International Journal of Science Education**. v. 27, n. 1, p. 15-42, 2005.
- AGABRA, J. Echanges Termiques. **ASTER**, n. 2, 1986.
- AGUIAR JR, O.; SARAIVA, J. F.; Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas: Fundamentação e Diretrizes de Pesquisa. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 1, n. 1, p. 1-15, 1999.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **O Que é História da Ciência**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1994.
- \_\_\_\_\_. **Da alquimia à química**. São Paulo: Landy, 2001.
- \_\_\_\_\_. Uma suposta contradição na ciência inglesa do século XVII: divulgação x sigilo. **Discurso**, v. 31, p. 347-63, 2000.
- \_\_\_\_\_; FERRAZ, M. H. R.; WAISSE, S. Chemical remedies in the 18th century: Mercury and alkahest. **Circumscribere**, v. 7, p. 19-30, 2009.
- \_\_\_\_\_; FERRAZ, M. H. M. “Experiências” e “experimentos” alquímicos e a experimentação de Hermann Boerhaave. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (orgs.). **O saber fazer e seus muitos saberes: experimentos, experiências e experimentações**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 179-195, 2004.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma Proposta de Perfil Conceitual para o Conceito de Calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 3, p. 5-18, 2001.
- ARAGÃO, M. J. **História da Física**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- ASTOLFI, J. P.; DEVELAY, M. **A Didática das Ciências**. 15 ed. Campinas: Papyrus Editora. 2011.
- BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico**. Trad. E. S. Abreu. Ed. Contraponto, Rio de Janeiro, 1996.

BACON, F. **Novum Organum [1620]**. The Online Library of Liberty. Disponível em <[http://files.libertyfund.org/files/1432/Bacon\\_0415\\_EBk\\_v5.pdf](http://files.libertyfund.org/files/1432/Bacon_0415_EBk_v5.pdf)>. Acessado em 08 de julho de 2011.

BACON, F. **New Organom: Cambridge Texts in the History of Philosophy**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

BALL, W. W. R. **A Short Account of the History of Mathematics**. New York: Dover Publicacions. 1960.

BARNETT, M. K. The development of the concept of heat I, **The Scientific Monthly**, v. 62, n. 2, p. 165-172, 1946a.

\_\_\_\_\_. The development of the concept of heat II, **The Scientific Monthly**, v. 62, n. 3, p. 245-257, 1946b.

\_\_\_\_\_. The development of thermometry and the temperature concept. **Osiris**, v. 12, p. 269-341, 1956.

BECHER, J.J. **Physica subterranea [1669]**. Disponível em: <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k84226t/f3.image>> Acessado em 16 de outubro de 2011.

BERETTA, M. **Lavoisier, Antoine-Laurent. Complete Dictionary of Scientific Biography**. . Disponível em <<http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830905846.html>> Acessado em 07 de março de 2013.

\_\_\_\_\_; CLERICUZIO, A.; PRINCIPE, L. M. (eds.). **The Accademia del Cimento and its European Context**. Sagamore Beach: Science History Publciations, 2009.

BOYLE, R. **The Sceptical Chymist [1661]**. The Gutenberg Project. Disponível em <<http://www.gutenberg.org/files/22914/22914-h/22914-h.htm>>. Acesso em 15 de novembro de 2011.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ministério da educação. Secretária da Educação Média e Tecnológica. Brasília, 1999.

\_\_\_\_\_. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ministério da educação. Secretária da Educação Média e Tecnológica. Brasília, 2002.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Define as diretrizes curriculares nacionais para o ensino médio. Resolução n. 02, de 30 de janeiro de 2012. **Diário Oficial da União**. Brasília, 31 de jan. 2012. sec. 1, p. 20-21.



- BRICKHOUSE, W. Teacher's Beliefs About the Nature of Science and their Relationship to Classroom Practice. **Journal of Teacher Education**, v. 41, p. 53-62, 1990.
- BRITO, A. S. Flogístico, Calórico e Éter. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**. v.20, n.3, p. 51-63. 2008.
- BRUSH, S. Should History of Science be rated X? **Science**. v. 183, p. 1164-1172, 1974.
- BUSTOS, F. J. C.; SOTELO, S. J. R. Una revisión histórica del concepto de calor: algunas implicaciones para su aprendizaje. **Tecné, Episteme y Didaxis**, n. 23, p. 67 – 77, 2008.
- CAJORI, F. On the history of caloric. **Isis**. v. 4, n. 3, p. 483-492, 1922.
- CAMPANARIO, J. M.; MOYA, A. ¿Cómo Enseñar Ciencias? Principales Tendencias y Propuestas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 02, p. 179-192. 1999.
- CARRASCOSA, J. et al. Análisis de algunas visiones deformadas sobre la naturaleza de la ciencia y las características del trabajo científico. **Enseñanza de las Ciencias**. v. extra, p. 43-46, 1993.
- CARVALHO, A.M.P. Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. In: F. SANTOS; I. GRECA (Orgs.) **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Unijuí: Ed. Unijuí, p.13-48, 2006.
- \_\_\_\_\_. Critérios Estruturantes para o Ensino das Ciências. In: \_\_\_\_\_. (Org.) **Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática**. São Paulo: Cengage Learning, p. 1-17, 2009.
- \_\_\_\_\_; SASSERON, L. H. Abordagens Histórico-Filosóficas em Sala de Aula: Questões e Propostas. In: \_\_\_\_\_.; *et al.* **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- CASTRO, R. S. Uma e Outras Histórias. IN: CARVALHO, A. M. P. (Org.) **Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2009, p. 101-117.
- \_\_\_\_\_. **História e Epistemologia da Ciência**. São Paulo: FEUSP, 1993.
- CASTRO, R. S. e CARVALHO, A. M. P. História da Ciência: Investigando como Usá-la num Curso do Segundo Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.9, n.3, p. 225-237, 1992.
- CHALMERS, A. F. **O que é Ciência Afinal?** São Paulo: Editora Brasiliense. 1993. Tradução: Raul Filker.
- CHESMAN, A. **Sobre os Ombros de Gigantes: Uma História da Física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005.

CHEVALLARD, Yves; JOSHUA, Marie-Alberte. Un exemple d'analyse de la transposition didactique – La notion de distance (1982). In: \_\_\_\_\_ (org). **La Transposition Didactique du Savoir Savant au Savoir Enseigné**. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1985.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: del Saber Sábido al Saber Enseñado**. Buenos Aires: Aique, 1991.

CONNANT, J. B.; NASH, L. K. **Harvard Case Histories in Experimental Science**. Cambridge: Harvard University Press, 1957.

COON, D. **Introduction to Psychology, exploration and application**. St. Paul: West Publishing Company, 1989. Disponível em: <<http://www.noteaccess.com/MODES/Divergent.htm>>

DE BERG, K.C. The Concepts of Heat and Temperature: The Problem of Determining the Content for the Construction of an Historical Case Study which is Sensitive to Nature of Science Issues and Teaching–Learning Issues. **Science & Education**, v.17. n.1, p. 75-114, 2008.

\_\_\_\_\_. Writing Historical Case Studies for Science Students which Give Due Consideration to Teaching-Learning Issues and Nature of Science Perspectives. **Proceedings of VIII international History, Philosophy, Sociology & Science Teaching Conference**. Leeds, 2005.

DE PÁDUA, A. B.; DE PÁDUA, C. G.; SILVA, J. L. C. **A História da Termodinâmica Clássica: uma Ciência Fundamental**. Londrina: EDUEL, 2009.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos**. São Paulo: Cortêz. 2009. 3ª ed.

DILÃO, R. M. **Termodinâmica e Física da Estrutura da Matéria**. São Paulo: Zamboni. 2011.

DOWNEY, H. K.; IRELAND, R. D. Quantitative versus Qualitative: the case of environmental assessment in organizational. **Administrative Science Quarterly**, v. 24, n. 4, p. 630-637, 1999.

DRIVER, R. J.; LEACH, R. M.; SCOTT, P. **Young People's Images of Science**. Buckingham: Open University Press. 1996.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A Evolução da Física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.

ERICSON, F. Qualitative research methods for science education. In: FRASER, B.J. e TOBIN, K.G. (Orgs.), **International Handbook of Science Education**, Kluwer Academic Publishers, v.1, 1998.

FILGUEIRAS, C. A. L. A revolução química de Lavoisier: uma verdadeira revolução? **Química Nova**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 219-224, 1995.

FONTANA, R.A.C. **Mediação pedagógica na sala de aula**. 3. ed. Campinas: Autores Associados, 2000.

FORATO, T. C. M. **A Natureza da Ciência como Saber Escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. 2009. Tese (Doutorado em Educação) faculdade de Educação – USP, São Paulo.

\_\_\_\_\_; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A.; Historiografia e Natureza da Ciência na Sala de Aula. **Cadernos Brasileiros de Ensino de Física**, v. 28, nº 1: p. 27-59, 2011.

GIL-PEREZ, D.; VILCHES, A. Importância da Educação Científica na Sociedade Actual. In: CACHAPUZ, A.; et al. (orgs.) **A Necessária Renovação do Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, p. 19 – 34, 2005.

\_\_\_\_\_; et al. ¿Puede Hablarse de Consenso Construtivista em La Educación Científica? **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 3, p. 503 – 512, 1999.

\_\_\_\_\_; et al. Superação das Visões Deformadas da Ciência e da Tecnologia: Um Requisito Essencial para a Renovação da Educação Científica. In: CACHAPUZ, A.; et al. (orgs.) **A Necessária Renovação do Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, p. 37 – 70, 2005.

\_\_\_\_\_; et al. Para uma Imagem não Deformada do Trabalho Científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GODOY, A. S. Introdução à Pesquisa Qualitativa e suas Possibilidades. In: **Revista de administração de Empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995a.

\_\_\_\_\_. Pesquisa Qualitativa – tipos fundamentais. In: **Revista de administração de Empresas**, v 35, n 3, p. 20-29, 1995b.

HEERING, P. On J.P. Joule's Determination of the Mechanical Equivalent of Heat. **Proceedings of the Second International Conference on the History and Philosophy of Science and Science Teaching**. Ontario, 1992.

HOBBSAWN, E. J. **A Era das Revoluções**. São Paulo: Paz e Terra, 2009.

HOLTON, G. **Introduction to Concepts and Theories in Physical Science**. Cambridge: Addison-Wesley, 1955, third printing.

HÖTTECKE, D. How and What Can We Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study. **Science & Education**. v.9, n.4, p. 343-362, 2000.

IRWIN, A. R. Historical case studies: teaching the nature of science in context. **Science & Education**. v. 84, n. 1, p. 5-26, 2000.

JAFFE, B. **Crucibles: The story of Chemistry**. New York: Fawcett World Library. 1960.

KIM, M. G. The “Instrumental” Reality of Phlogiston. **Internacional Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 14, n. 1, p. 27-51, 2008.

KLEIN, M. Use and abuse of historical teaching in Physics. In: BRUSH, G.; KING, A. L. (orgs.). **History in the teaching of Physics**. Hanover: University Press of New England, 1972.

KLÜBER, T. E.; BURAK, D. A Fenomenologia e as suas Contribuições para a Educação Matemática. **Práxis Educativa**. v. 3, n. 1, p. 95-99, 2008.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LAUE, M. V. **History of Physics**. New York: Academic Press, 1950.

LAVOISIER, A. L. **Réflexions sur le Phlogistique Pour Servir de Suite à La Théorie de la Combustion et de la Calcination [1777]**. Disponível em: <[http://www.lavoisier.cnrs.fr/ice/ice\\_page\\_detail.php?lang=fr&type=text&bdd=lavosier&table=Lavoisier&typeofbookDes=Memoires&bookId=58&pageChapter=R%20E9flexions%20sur%20le%20phlogistique,%20pour%20servir%20de%20suite%20%20E0%20la%20th%20E9orie%20de%20la%20combustion%20et%20de%20la%20calcination,%20publi%20E9e%20en%201777&pageOrder=1&facsimile=off&search=no&num=&nav=1#](http://www.lavoisier.cnrs.fr/ice/ice_page_detail.php?lang=fr&type=text&bdd=lavosier&table=Lavoisier&typeofbookDes=Memoires&bookId=58&pageChapter=R%20E9flexions%20sur%20le%20phlogistique,%20pour%20servir%20de%20suite%20%20E0%20la%20th%20E9orie%20de%20la%20combustion%20et%20de%20la%20calcination,%20publi%20E9e%20en%201777&pageOrder=1&facsimile=off&search=no&num=&nav=1#)> Acessado em 08 de janeiro de 2012.

\_\_\_\_\_. **Traité Elementère de Chimie [1789]**. Disponível em: <[http://www.lavoisier.cnrs.fr/ice/modules/ice2pdf/pdf/extraitPDF17-03-2012\\_3-34-11.pdf](http://www.lavoisier.cnrs.fr/ice/modules/ice2pdf/pdf/extraitPDF17-03-2012_3-34-11.pdf)> Acessado em 04 de janeiro de 2012.

\_\_\_\_\_; LAPLACE, P. S. **Memoire sur Le Chaleur [1780]**. Disponível em: <[http://www.lavoisier.cnrs.fr/ice/ice\\_page\\_detail.php?lang=fr&type=text&bdd=lavosier&table=Lavoisier&typeofbookDes=Memoires&bookId=38&pageChapter=M%20E9moire%20sur%2](http://www.lavoisier.cnrs.fr/ice/ice_page_detail.php?lang=fr&type=text&bdd=lavosier&table=Lavoisier&typeofbookDes=Memoires&bookId=38&pageChapter=M%20E9moire%20sur%2)>

Ola%20chaleur&pageOrder=1&facsimile=off&search=no&num=&nav=1#> Acessado em 06 de janeiro de 2012.

LEDERMAN, N. G, ABD-EL-KHALICK, F. Avoiding de natured science: Activities that promote understandings of the nature of science. In: MCCOMAS, W. F.(Ed). **The nature of science in science education. rationales and strategies.** Netherland: Kluwer Academic Publishers. 1998.

LEICESTER, H.M.; KLICKSTEIN, H.S. **A source book in chemistry, 1400 – 1900.** Londres: Oxford University Press. 1968. Fourth Ed.

MACHADO, N. J. **Educação: Competência e Qualidade.** São Paulo: Escrituras. 2 ed. 2010.

MACQUER, P. **A Dictionary of Chemistry.** Londres: Cadell & Elmsley, 1777.

MAGIE, W. F. **A Source Book in Physics.** Cambridge: Harvard Press, 1969, tenth printing.

MANNING, P. K. Metaphors of the Field: varieties of organizational discourse. **Administrative Science Quartely**, v. 24, n. 4, p.660-671, 1979.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: Há Muitas Pedras Nesse Caminho. **Cadernos Brasileiros de Ensino de Física**, v. 24, nº 1: p. 112 – 131, 2007.

MARTINS, R. A. A História das Ciências e seus Usos na Educação. In: SILVA, C. C. **Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino.** São Paulo: Livraria da Física, introdução, p. xvii – xxx, 2006.

\_\_\_\_\_. Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de “ares” e os seres vivos. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo, v. 4, p. 167-208, 2009.

\_\_\_\_\_. Como não Escrever Sobre História da Física – Um Manifesto Historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, nº 1, p. 113 – 129, 2001.

\_\_\_\_\_. O Que É a Ciência, do Ponto de Vista da Epistemologia? **Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa**, n. 9, p. 5-20, 1999.

\_\_\_\_\_. Mayer e a conservação da energia, **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 6, p. 63-95, 1984.

MASON, S. F. **Historia de las Ciencias: La Revolución Científica de los Siglos XVI y XVII.** Madrid: Alianza Editorial, 2005.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: A Tendência Atual de Reaproximação. **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física**, v.12, n.3, p. 164-214, 1995.

\_\_\_\_\_. Un Lugar para La Historia y La Filosofía em La Enseñanza de las Ciencias. **Comunicación, Lenguaje y Educación**. p. 11-12, 141-155, 1991.

MATOS FILHO, M. A. S.; et al. A Transposição Didática em Chevallard: As Deformações/Transformações Sofridas pelo Conceito de Função em Sala de Aula. In: Congresso Nacional de Educação, 8, 2008, Curitiba. **Anais...**

McCOMAS, W. F. The principal elements of the nature of science: dispelling the myths. In: McCOMAS, W. F. (Ed). **The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies**. Netherland: Kluwer Academic Publishers. 1998.

\_\_\_\_\_; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. **Science & Education**, v.7, n.2, p. 511-532, 1998.

MEDEIROS, A. **A Termometria: de Galileu a Fahrenheit**. Recife: Editora Liber, 1999.

MODEL, M. e REID, R. C. **Thermodynamics and its Applications**. 1th edition, New Jersey: Prentice-Hall, 1974.

MORAIS, R. **Evoluções e Revoluções da Ciência Atual**. Campinas: Ed. Alínea, 2007.

MORETTO, V. P. **Construtivismo: A Produção do Conhecimento em Aula**. 2 ed. Rio de Janeiro: DP & A. 2000.

MORIN, E. **A Cabeça Bem-Feita: Repensar a Reforma e Reformar o Pensamento**. São Paulo: Bertrand Brasil. 2010.

\_\_\_\_\_. **Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro**. São Paulo: Cortez. 2011.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

\_\_\_\_\_. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

MÜLLER, I. **A History of Thermodynamics: the Doctrine of Energy and Entropy**. New York City: Springer, 2007.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. São Paulo: Edgar Blücher, 2002.

OLIVEIRA, C. S. **Metodologia científica, planejamento e técnicas de pesquisa: uma visão holística do conhecimento humano**. São Paulo: LTR, 2000.

PAGLIARINI, C. R. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de Física para o ensino médio**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) Instituto de Física e Faculdade de Educação – USP, São Carlos.

PRIESTLEY, J. **Experiments and observations on different kinds of air, and other branches of Natural Philosophy, connected with the subject**. Birmingham: Thomas Pearson, 1790. v 2.

\_\_\_\_\_. Experiments relating to phlogiston, and the seeming conversion of water into air. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Londres, v. 73, p. 398-434, 1783.

\_\_\_\_\_. Experiments and observations on different kinds of air, **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Londres, v. 72, 1772.

POZO, J. I. **Aquisição de Conhecimento** (Feltrin, A., Trad.). Porto Alegre: Artmed, 2005.

\_\_\_\_\_; CRESPO, M. A. G. **A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico**. Porto Alegre: Artmed, 5ª ed., 2009.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and their aims. **British Journal for the History of Science**. v. 24, n. 1, p. 61-78, 1991.

QUEIRÓZ, W. P.; BATISTETI, C. B.; JUSTINA, L. A. D. Tendências das pesquisas em história e filosofia da ciência e ensino de ciências: o que o enpec e o epef nos revelam? In: Encontro Nacional de Pesquisadores em Ensino de Ciências, 7, 2009, Florianópolis. **Atas...**

READ, J. **From alchemy to chemistry**. New York: Dover Publications. 1995. RAYNER, T. A., MACKEVICA, A. **The Birth of Modern Chemistry**. Roskilde: RUDAR. 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1800/3961>> Acessado em: 02 de novembro de 2011.

RIBEIRO, M. F. F. P. **História da Ciência na Construção de Material Didático: O Caso da Controvérsia Neptunismo, Vulcanismo e Plutonismo**. Dissertação (Mestrado em Ensino) Faculdade de Ciências – UNIVERSIDADE DO PORTO, 2002.

ROCHA, J. F. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EdUFBA, 2002.

RUMFORD, B. T. Count of. **The Complete Works of Count Rumford**. Boston: American Academy of Arts and Sciences, 1873, v. 2.

SALTIEL, E.; VIENNOT, L. ¿Qué Aprendemos de las Semejanzas entre las Ideas Historicas y el Razonamiento Espontáneo de los Estudiantes? **Enseñanza de las Ciencias**, v. 3, n. 1: 137 – 144, 1985.

SANTOS, M. E. Encruzilhadas de mudança no limiar do século XXI: co-construção do saber científico e da cidadania via ensino CTS de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2, 1999, Valinhos. **Atas...**

SANTOS FILHO, J. C. Pesquisa quantitativa *versus* pesquisa qualitativa: o desafio paradigmático. In: \_\_\_\_\_; GAMBOA, S. S. **Pesquisa educacional: quantidade-qualidade**. 4. ed. São Paulo: Cortez, p. 13-59, 2001.

SANTROCK, J. W. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: McGraw – Hill, 2009.

SAVIANI, D. **Escola e Democracia**. 36. ed. Campinas: Autores Associados, 2003.

SEROGLOU, F.; KOUMARAS, P. The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. **Science and Education**, n. 10, p. 153-172, 2001.

SESTAK, J.; MACKENZIE, R. C. The Fire/Heat Concept and its Journey from Prehistoric Time into the Third Millennium. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, vol. 64, p. 129-147, 2001.

SICCA, N. A.; GONÇALVES, P. W. História da Química e da Geologia: Joseph Black e James Hutton como Referências para Educação em Ciências. **Química Nova**, v. 25, nº 4, p. 689-695, 2002.

SILVA, A. P. B.; FORATO, T. C. M.; GOMES, J. L .A. M. C. **Concepções Sobre a Natureza do Calor em Diferentes Contextos Históricos**. No prelo.

SILVA, B. V. C. A Natureza da Ciência pelos Alunos do Ensino Médio: Um Estudo Exploratório. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 04, n. 03, p. 670-677, 2010.

SIQUEIRA, M. e PIETROCOLA, M. A Transposição Didática Aplicada a Teoria Contemporânea: A Física de Partículas Elementares no Ensino Médio. **Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – EPEF**, Londrina, 2006.

SOUZA, D. A. **Desenvolvimento da produção argumentativa: Um estudo de transformações na estrutura da argumentação de estudantes universitários em situação de “Debate Crítico”**. 2012. Dissertação (Mestrado em Psicologia Cognitiva). Departamento de Psicologia – UFPE, Recife.



SOUZA FILHO, O. M. **A Evolução da Ideia de Conservação da Energia – Um Exemplo de História da Ciência no Ensino de Física**. 1987. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) Instituto de Física e Faculdade de Educação – USP, São Paulo.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. Petrópolis: Vozes, 2002.

TEIXEIRA, E. S.; FREIRE JR., O.; EL-HANI, C. N. A Influência de uma Abordagem Contextual Sobre as Concepções Acerca da Natureza da Ciência de Estudantes de Física. **Ciência & Educação**. v.5, n. 3, p. 529-556, 2009.

TOSI, L. Lavoisier: uma revolução na química. **Química Nova**. São Paulo, v. 12, n.1, p. 33-56, 1989.

THOMSON, T. **The History of Chemistry**. Londres: Colburn & Bentley, 1830. Disponível em:<<http://books.google.com.br/books?id=xNnMY85KwHEC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Thomas+Thomson%22&hl=pt-BR&sa=X&ei=pBC-UL2QBpKP0QHsu4G4Cg&ved=0CEcQ6AEwCDgK#v=onepage&q&f=false>>

WISNIAK, J. Phlogiston: The rise and fall of a theory. **Indian Journal of Chemical Technology**. Vol. 11, september, p. 732-743, 2004.

WITKOWSKI, N. **Uma História Sentimental das Ciências**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2004.

ZANETIC, J. **Física Também é Cultura**. 1989. Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação - USP, São Paulo.

## ANEXO I

**Trechos de Músicas e Poesias**

Trecho 1:

Você no inverno  
Sem meias vai pro trabalho  
Não faz fé com agasalho  
Nem no frio você crê  
(Três Apitos – Noel Rosa)

Trecho 2:

É o meu lençol, é o cobertor  
É o que me aquece sem me dar calor.  
(De Mais Ninguém – Marisa Monte /  
Arnaldo Antunes)

Trecho 3:

O fogo tem  
A mania de queimar  
O que é bom e o ruim  
Meu fogo vem  
Do meu modo de esfregar  
Todas as partes de mim  
(Fogo Líquido – Gilberto Gil)

Trecho 4:

A saudade me esquentou  
Consertei o ventilador  
Pro teu corpo não ficar suado  
Nessa onda de calor  
Eu até peguei uma cor  
Tô com o corpo todo bronzado  
(Tá Perdoado – Arlindo Cruz/ Franco)

Trecho 5:

Você é para mim como o sol que está no  
céu  
Que me banha em seu calor e retorna de  
novo e de novo  
(Love Story – Rain)

## ANEXO II

## Flogístico e Calórico

Adaptado por José Leandro de A. M. Costa Gomes

De: SILVA, FORATO e GOMES. *Concepções sobre a Natureza do Calor em Diferentes Contextos Históricos, no prelo.*

"O Século da Razão" trouxe muitas mudanças, desde o Iluminismo até a Revolução Industrial. Muitas foram as novidades trazidas pelo século XVIII. E não foi diferente com a ciência.

O surgimento de fábricas e indústrias em considerável número gerou grande demanda por combustíveis. Os principais combustíveis utilizados eram os carvões mineral e vegetal. Tais carvões agregam impurezas aos produtos, gerando perdas, e isto incentivou o financiamento de pesquisas sobre melhores combustíveis.

Para realização de pesquisas, estudos, experimentações, é necessário dinheiro. Muito do capital vinha das sociedades científicas, como a *Royal Society* de Londres, patrocinadas pela monarquia ou grupos de industriais, da qual muitos pensadores faziam parte.

Assim nasceram duas linhas de pensamento sobre a natureza do calor. O *flogístico*<sup>37</sup> e o *calórico*.

Influenciado pelos trabalhos de J. J. Becher (1635-1682), Georg Ernst Stahl (1669-1734), buscou compreender os fenômenos de combustão e calcinação. Denominando a substância responsável pelo Calor por *flogístico* (ou *flogisto*).

O *flogístico* de Stahl era o princípio ativo do fogo, sua força de ação. Não podia ser destruído e nem criado. Assim, nos processos de queima, o *flogístico* era liberado na atmosfera e se transformaria em fogo visível, nuvens e até raios. Dessa forma, o *flogístico* era eterno. Podia ser transferido de um corpo pra outro, quaisquer que sejam estes corpos, o que acabava explicando a razão de não acontecer queima no vácuo, pois, sem ar, o *flogístico* não poderia ser transferido do corpo para a atmosfera.

O fenômeno da calcinação<sup>38</sup> de metais se constituiria num problema para o *flogístico* de Stahl. Durante o processo, o *flogístico* é liberado do corpo, então os resíduos desse processo deveriam ser mais leves do

que o metal inicialmente utilizado, e isso não era observado na calcinação. Pelo contrário, os resíduos eram mais pesados que o metal inicial. Para explicar tal aumento de massa, Stahl propôs que o *flogístico* não possuiria massa ou teria um "peso negativo". O "peso negativo" atuaria da seguinte forma: quanto mais *flogístico* o corpo possuísse mais leve este corpo seria. Portanto, quando liberado pelo processo de queima, o resíduo, sem o *flogístico* de "peso negativo", se tornaria mais pesado. Entretanto, na combustão do carvão, o resíduo é bem mais leve que o carvão inicial. E, como o carvão queima facilmente, este deveria ser, pelo pensamento de Stahl, rico em *flogístico*. Portanto, seguindo a ideia do "peso negativo" atribuído ao *flogístico*, o carvão inicial deveria ser mais leve que seus resíduos da combustão. Talvez por essa contradição, a ideia da inexistência da massa tenha tido mais força entre os pensadores da época.

O Século da Razão também trouxe o Iluminismo e sua busca pela sociedade racional, na tentativa de reformá-la (ver figura 1). Na ciência, o Iluminismo buscava deixar de lado especulações e explicações atribuídas ao sobrenatural no estudo dos fenômenos. É a época em que a atitude racional e a experimentação ganham forte destaque.



Figura 1: Detalhe da capa da Encyclopédie, 1772, Cochin e Prévost. Simbologia iluminista: ao centro e acima, A Verdade – intensamente iluminada. À direita, um pouco abaixo, A Razão e A Filosofia retiram o véu que impede de ver claramente a verdade.

<sup>37</sup> Do grego *phlogiston*, inflamável.

<sup>38</sup> **Calcinação** é uma reação química fortemente endotérmica na qual o calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) transforma-se em cal virgem ( $\text{CaO}$ ), liberando gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Outras reações semelhantes também são denominadas calcinação.

Defensor aberto das ideias do *flogístico*, Joseph Priestley (1733-1784), teólogo e educador, desenvolveu estudos com os gases, construindo um equipamento com o qual podia misturar gases com água ou mercúrio, possibilitando o estudo das características dessas misturas (ver figura 2).

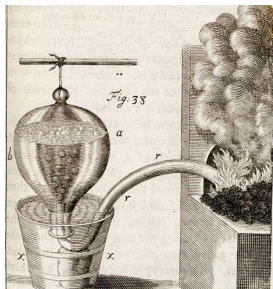


Figura 2: Aparato de experimentos com ar de Stephen Hales (1677-1761). Priestley usou uma versão modificada desse aparato para realizar experimentos com gases.

Priestley dava grande importância à experimentação, tomando-a como a forma ideal de compreender a natureza. Além disso, buscava relacionar seus estudos científicos com teologia. Priestley era pastor protestante, que se afastara do calvinismo durante sua formação por discordar de algumas ideias. Retoma seus estudos e se torna pastor, mas de uma linha diferente da usual, adotando a razão na interpretação das Sagradas Escrituras, clara influência dos ideais do Iluminismo.

Os experimentos de Priestley e a forma como os detalhava conferiram-lhe notoriedade na Europa e em sociedades científicas. À época dessas pesquisas, dois gases eram conhecidos: o ar inflamável (atual Hidrogênio) e o ar fixo (atual gás carbônico). O ar inflamável era necessário para queima dos materiais, enquanto que o ar fixo podia extinguir a vida em animais (ver figura 3).



Figura 3: Um Experimento com um Pássaro numa Bomba de Ar, pintura de Joseph Wright of Derby, 1768. Ao se retirar o ar da câmara do pássaro este morria.

O desenvolvimento de novos instrumentos e o aprimoramento dos já existentes, tornando-os mais precisos, chegara ao estudo do calor e da temperatura, ao final do século XVIII (ver figura 4). Diversos pensadores estavam relacionados com o estudo da natureza e ação do calor. A possibilidade de medir com certa precisão os graus de temperatura e sua variação durante os fenômenos, por meio do uso de escalas termométricas, trouxeram novos dados e ajudaram em vários esclarecimentos.



Figura 4: Termômetro do fim do século XVIII.

Assim foi com Joseph Black (1728-1799) e seus estudos sobre calor específico e calor latente, nos quais se pode encontrar a associação do calor com quantidade de algo.

Black estudou a relação entre as quantidades de matéria e de calor que era transferido para os corpos. Mesmo antes de Black já havia estudos e argumentos os quais buscavam esclarecimentos quanto à proporção entre as massas de corpos e o calor necessário para modificar a temperatura nesses corpos.

Vale ressaltar que, nesta época assim como em outras, o termo calor designava tanto calor como temperatura, sem haver a distinção entre tais conceitos como atualmente.

Black realizou experimentos com água e também mercúrio e fontes de calor e percebeu que, pondo mesmas quantidades de mercúrio e água, separadamente, numa mesma fonte de calor, o mercúrio tinha sua temperatura variada mais rapidamente. A este fato Black associou o termo "capacidade para a matéria do calor".

Usando esse mesmo argumento, Black analisou o que atualmente é conhecido como calores sensível e latente. Em seus trabalhos não fez relação dessa "matéria do calor" com o *flogístico*. Entretanto, pela descrição de suas características, percebe-se que se trata de outro fluido, podendo a "matéria do fogo" penetrar nos corpos e substâncias.

Por meio das traduções realizadas por sua esposa, Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), Lavoisier sabia dos estudos realizados na Inglaterra (ver

figura 5), e, ao que parece, Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) tomou conhecimento das ideias de Stahl por meio de Guillaume-François Rouelle (1703-1770), que fora seu professor na universidade.



Figura 5: Lavoisier e Paulze, pintura de Jacques-Louis David, 1788.

Lavoisier construiu aparelhos e realizou estudos com gases. Percebeu que tanto o fósforo quanto o enxofre (elemento químico, e não o princípio filosófico) ganhavam peso após o processo de queima. Realizando experimentos usando o mínio<sup>39</sup> e carvão, percebeu que estes não liberavam qualquer ar conhecido quando aquecidos separadamente. Entretanto, aquecidos juntos produziam um fluido. Tal observação contrariava com a ideia de Stahl, para qual qualquer substância liberaria *flogístico* quando aquecida. E isso não era observado no caso do mínio e do carvão aquecidos separadamente. Mas, juntas e aquecidas essas substâncias liberavam o que era chamado de "matéria do fogo e da luz".

Lavoisier questionava a explicação do *flogístico* quanto à massa menor dos resíduos dos metais após a calcinação. Não ficava satisfeito com a ideia de "peso negativo" do *flogístico*. Afinal, algo que é superleve procura se separar dos corpos e subir. Dessa forma, como o *flogístico* poderia fazer parte dos corpos que podem queimar? Além disso, uma substância que busca se separar dos corpos quebra a ideia de atração gravitacional entre os corpos. Assim sendo, como pode permanecer tal substância unida aos corpos e só deixá-los durante a combustão? E mais ainda, se esta substância não obedece à atração entre os corpos, então não pode ter afinidade por nenhum corpo, e, portanto, nem os corpos com

facilidade de queimar poderiam conter e reter o *flogístico*.

Tendo refeito vários dos experimentos de outros pensadores da época, Lavoisier realizou a calcinação de metal dentro de um recipiente devidamente fechado, para garantir que a massa dentro do recipiente antes e depois do processo de calcinação fosse a mesma (ver figura 6). Partindo desse princípio, não haveria nem entrada e nem saída de *flogístico* do sistema. Lavoisier observou tal fato. Pesando o sistema recipiente + material (que sofre a calcinação) + ar (que deveria conter *flogístico*), antes e depois do processo, ele não observou alteração de peso. No entanto, quando pesou apenas o metal antes e depois da calcinação, verificou o aumento de peso desse metal. Num raciocínio direto, como o sistema estava isolado do ambiente, Lavoisier atribuiu o ganho de peso do metal à quantidade de ar que este absorveria durante a calcinação.



Figura 6: Laboratório de Lavoisier, Museu de Artes e Ofícios da França.

Dessa forma, Lavoisier chega à conclusão, após experimentos, de que o processo de combustão e calcinação eram reações químicas que ocorriam por causa de algo contido no ar. A esse algo Lavoisier deu o nome de *calórico*.

A capacidade de explicação dos fenômenos pela hipótese do *calórico* deu muita credibilidade aos trabalhos de Lavoisier, a ponto de Joseph Black deixar de lado o *flogístico*, adotando o *calórico* em seus estudos. Em 1791, Black envia uma carta para Lavoisier na qual admitia a superioridade do *calórico* na explicação dos fenômenos.

Entretanto, vários pensadores continuaram adeptos da ideia do *flogístico*, como foi o caso do Priestley que o defendeu até sua morte, em 1804.

<sup>39</sup> Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, óxido natural de chumbo, ou tetróxido de chumbo, também conhecido como vermelho-cinábrio ou zarcão.

Desde o financiamento até à formação religiosa e política dos pensadores, as necessidades sociais, religiosas, e as demandas tecnológicas influenciaram decisivamente os caminhos trilhados pelos pensadores em seus estudos.

Responda as questões de acordo com o que foi vivenciado em sala de aula e com o que há no texto:

- 1 - Como Stahl explicava a queima dos materiais?
- 2 - Quais foram os argumentos usados por Stahl para resolver o problema da maior massa dos resíduos após a calcinação? Esses argumentos foram aceitos sem questionamentos?
- 3 - Como o Iluminismo influenciou nos estudos científicos?
- 4 - Na maioria das vezes, quem financiava as pesquisas científicas?
- 5 - Em que medida a Revolução Industrial interferiu nos estudos científicos?
- 6 - A que conclusão chegou Black após seus estudos?
- 7- Quais eram os questionamentos de Lavoisier contra o *flogístico* de Stahl?
- 8 - Após seus estudos, como Lavoisier explicou o aumento de massa dos resíduos da calcinação?
- 9 - Por que o *calórico* de Lavoisier teve mais credibilidade que o *flogístico*?
- 10 - Havia consenso entre os pensadores do século XVIII sobre o que era o calor e como ele agia na combustão e na calcinação?

## ANEXO III

## Tutoriais das Simulações

*As simulações indicadas servem para ilustrar a explicação Atomista do Calor.*

### Simulação ATRITO ENTRE CORPOS

1 - Na tela inicial do site ([http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/friction](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/friction)), clicar em “Use já!”. Essa ação irá abrir o simulador;

2 - O simulador representa uma visão microscópica das superfícies de dois livros, Química e Física. Há duas ideias a serem exploradas:

- a) Quando os corpos são atritados a temperatura de ambos é elevada;
- b) A relação entre movimento das partículas e a temperatura.

3 - Pondo o cursor em cima das partículas amarelas (livro Química) aparecerá uma pequena mão. Segurando o botão esquerdo do mouse, ou dando duplo clique no notebook (ou netbook ou tablet), você poderá arrastar tais bolinhas até pô-las em contato com as partículas verdes (livro Física);

4 - Ainda segurando as partículas amarelas, você pode arrastá-las para direita e esquerda, gerando o atrito entre os livros. Com isso, a temperatura marcada no termômetro do lado direito se eleva, e as partículas amarelas e verdes passam a vibrar com maior intensidade;

5 - Caso o atrito gerado seja intenso, você perceberá que as partículas amarelas ganharão liberdade de movimento, caracterizando a degradação do livro;

6 - Afastando os livros, a temperatura cairá e as partículas de ambos os livros terão suas vibrações também diminuídas;

7 - Caso você queira recomençar a simulação, basta clicar em “reiniciar” canto inferior direito da tela.

### Simulação ESTADOS DA MATÉRIA

1 - Na tela inicial do site ([http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/states-of-matter-basics](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics)), clicar em “Use já!”. Essa ação irá abrir o simulador. Na janela que aparecerá clique em “abrir”;

2 - Na coluna do lado direito, parte superior, há quatro substâncias diferentes disponíveis: Neônio,

Argônio, Gás Oxigênio e Água. Na mesma coluna, há a possibilidade de escolher o estado físico da substância. Pode ser trabalhada relação de liberdade de movimento e estado físico;

3 - Abaixo do recipiente há uma fonte de calor. Clicando e arrastando para cima o botão verde claro da fonte será fornecido calor ao recipiente e as partículas constituintes da substância vibrarão em maior intensidade. Clicando e arrastando para baixo, ocorrerá o inverso. Perceba que há um termômetro na parte superior do recipiente;

4 - Fornecendo suficiente quantidade de calor, você perceberá a mudança no estado físico da substância;

5 - No canto inferior esquerdo, para reiniciar a simulação basta clicar em “reiniciar tudo?”. Caso queira pausar a simulação clique no ícone de barra dupla. Para continuar a simulação clique no ícone de barra com triângulo;

6 - Na parte superior do simulador há uma aba chamada “mudança de fase”. Clicando nela irá abrir uma simulação mais completa, na qual se pode variar tanto a pressão interna quanto a quantidade de partículas;

7 - Para variar a pressão sem alteração da quantidade de partículas ou fornecimento de calor, clique e segure sobre o dedo que está na parte superior do recipiente, arrastando-o para baixo. Há um medidor de pressão associado ao recipiente. Perceba que certo momento a temperatura começará a subir e, dependendo do aumento da pressão, haverá também mudança no estado físico da substância;

8 - Para variar a quantidade de partículas basta acionar a bomba de ar que se encontra à direita do recipiente;

9 - Ainda há opção de ver o diagrama de fase (clique em “diagrama de fase” na coluna do lado direito do simulador). Perceba que há um ponto vermelho, o qual representa a situação momentânea da substância. Este ponto se desloca a medida em que os parâmetros pressão e temperatura são alterados.

## ANEXO IV

## O Julgamento do Calor

Realizar, ao fim do 4º momento, a divisão da turma em 3 grupos, grupo A, grupo B e grupo J, de preferência por sorteio, conforme as instruções. O grupo J deve conter exatamente 7 (sete) discentes. Todos os outros discentes devem formar os grupos A e B.

Sugestão: por dentro de uma sacola 7 (sete) papéis contendo a letra J, X papéis contendo a letra A e Y papéis contendo a letra B. Se a turma possuir número par de discentes, então X e Y serão desiguais por uma unidade. Se a turma possuir número ímpar de discentes, X e Y serão iguais. De forma que, em qualquer dos casos,  $X + Y + 7 = \text{NÚMERO DE DISCENTE DA TURMA}$ .

De forma que se dê às cegas, pedir para um representante do grupo A e um do grupo B retirarem de uma sacola, ou urna, ou caixa, um pedaço de papel. Na sacola, devem estar dois papéis, um contendo a palavra SUBSTÂNCIA e no outro MOVIMENTO. Após o sorteio, dizer para todos que haverá, no 7º momento, o *Julgamento do Calor*. Após o sorteio, entregar versão impressa, para cada grupo, das instruções a seguir.

### INSTRUÇÕES PARA A ATIVIDADE O JULGAMENTO DO CALOR

O grupo que retirou o papel SUBSTÂNCIA estará incumbido de defender a linha teórica de calor como substância, enquanto o outro grupo, que retirou o papel MOVIMENTO, deverá apoiar a ideia de calor como movimento interno da matéria. Já o grupo J será o júri.

O professor será o juiz, cabendo a ele apenas zelar pela ordem dos debates, buscando minimizar tumultos.

O julgamento durará 85 min, divididos nos 7º e 8 momentos, distribuídos assim, e nessa ordem:

#### No 7º momento:

10 min – exposição do réu, o Calor, e da acusação, dupla identidade. Tal exposição deve ser feita pelo professor;

15 min – para exposição inicial dos argumentos do grupo A (nesse período podem ser chamadas até 2 testemunhas históricas<sup>40</sup>);

15 min – para exposição inicial dos argumentos do grupo B (nesse período podem ser chamadas até 2 testemunhas históricas).

#### No 8º momento:

15 min – para réplica do grupo A (nesse período podem ser chamadas até 2 testemunhas históricas);

15 min – para réplica do grupo B (nesse período podem ser chamadas até 2 testemunhas históricas);

10 min – deliberações do júri;

5 min – anúncio do veredito.

---

<sup>40</sup> “Testemunhas históricas” são alunos que encenarão ser quaisquer dos pensadores relacionados ao estudo da Natureza do Calor, dentre aqueles que foram citados nos momentos até então vivenciados. Suas participações devem focar os conceitos e ideias assumidas e/ou desenvolvidas pelo personagem escolhido.



## Canhões e Calor

Adaptado por José Leandro de A. M. Costa Gomes

De: SILVA, FORATO e GOMES. *Concepções sobre a Natureza do Calor em Diferentes Contextos Históricos, no prelo.*

Tanto a linha de calor como fluido quanto o pensamento do calor associado ao movimento das partes internas da matéria explicavam alguns fenômenos. Os próprios pensadores envolvidos diretamente com esses estudos admitiam tal fato.

Lavoisier era defensor da ideia de calor como fluido, e chegou a formular suas próprias ideias. Após suas análises, concluiu que a melhor forma de explicar alguns dos fenômenos, como o ganho de peso na calcinação de certos metais era relacionar o calor a um fluido, o qual chamou de *calórico*.

Segundo Lavoisier e Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), amigo com o qual desenvolveu vários estudos, para certos fenômenos a ideia de calor por movimento parecia mais satisfatória, como na explicação do calor gerado pelo atrito de corpos. Já para a explicação de outros fenômenos, a hipótese de calor como fluido parecia melhor, como no caso da calcinação.

Mesmo sem adotar quaisquer das linhas sobre o calor, tais pensadores calcularam, empiricamente, o calor específico de diversos materiais. Assim, para estudos de calorimetria, não fazia diferença aceitar o se o calor ou a outra.

Simultaneamente ao desenvolvimento da hipótese do *calórico*, vários trabalhos foram realizados fundamentados na ideia do calor relacionado ao movimento interno aos corpos. Dentre os defensores dessa linha destacam-se os trabalhos de Benjamin Thompson, mas conhecido como Conde Rumford, título concedido pelo Império Alemão, no fim do século XVIII.

Com interesse em armamentos e máquinas, Rumford, militar de carreira, parece ter relacionado calor à movimento quando estudava pólvora e armas (ver figura 1), percebendo a alta temperatura com a qual a bala deixava a arma.



Figura 1: Soldado do século XVIII carregando seu mosquete.

Quando se atirava contra água, esta não aquecia sensivelmente, mas se a bala fosse projetada contra um obstáculo rígido, ao qual não pudesse penetrar, os estilhaços espalhados se encontravam em temperatura alta, próxima da fusão do material da bala. Assim, concluiu que tamanha temperatura não poderia ter sido gerada pela explosão da pólvora, pois a arma não atingia tal temperatura, sendo, portanto, gerada no atrito do trajeto da bala dentro da arma.

Buscando mostrar inconsistências na hipótese do *calórico*, Rumford realizou mais estudos e experimentos, exibidos em 1785, com calor gerado por atrito e calor propagado no vácuo. A hipótese do *calórico* admitia haver uma intensa interação entre o *calórico* e a matéria, e esta seria a razão pela qual o *calórico* se propagaria dentro dos corpos. Tendo tal afinidade com a matéria, o *calórico* não poderia se propagar no vácuo, local onde inexistia matéria.

No fim do século XVIII, Rumford exhibe um trabalho no qual apresenta argumentos do que seriam as provas incontestáveis da natureza mecânica do calor, refutando em definitivo as hipóteses de calor como fluido. Enquanto estava supervisionando a construção de canhões, Rumford percebeu que enquanto durava a perfuração havia a produção de calor, o que parecia levar à ideia da geração infinita de calor, algo que seria absurdo pela hipótese do *calórico*. Afinal, se o calor fosse um fluido contido no corpo e liberado quando este aquece então haveria uma quantidade limitada desse fluido no corpo, o que impossibilitaria a geração infinita de calor.

Buscando resolver esta questão, Rumford propôs-se à realização de alguns experimentos, realizando a perfuração de um canhão cilíndrico de metal (ver figura 2).

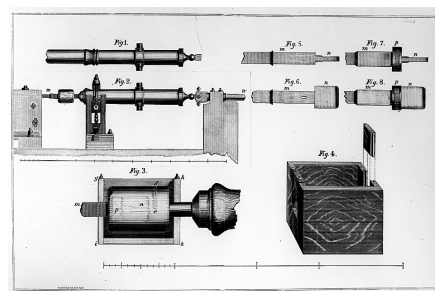


Figura 2: Esquema do aparato utilizado nos experimentos de perfuração do canhão realizados por Rumford.

O primeiro experimento foi realizado à seco. Rumford recobriu o canhão com uma flanela grossa, sem folgas,

a fim de que o calor gerado pela fricção da broca no canhão não fosse perdido para o ambiente.

Assim, mediu a temperatura do ambiente e do canhão e broca, verificando-a aproximadamente  $15,6^{\circ}\text{C}$ . Então, pôs a broca a perfurar o canhão. Após 30 minutos, Rumford introduziu o termômetro de mercúrio no canhão e percebeu que a temperatura, naquele instante, era de aproximadamente  $54,5^{\circ}\text{C}$ .

Durante a perfuração foram produzidos lascas e pó metálico. Entretanto, Rumford observou que este resíduo não representava mais que um milésimo da massa inicial do canhão. Assim, colocou as lascas e o pó quentes em contato com gelo, verificando que o calor desse material que veio do canhão, imediatamente após a perfuração, fora suficiente para derreter aproximadamente três quilogramas de gelo. Dessa forma, concluiu que não era possível que tão pequena massa metálica pudesse conter uma quantidade tal de *calórico* para ser a responsável pela origem de tamanho calor que gerou o aquecimento do canhão dos  $15,6^{\circ}\text{C}$  iniciais até os  $54,5^{\circ}\text{C}$ , em apenas 30 minutos de perfuração.

Em um segundo momento, Rumford colocou a parte que estava sendo perfurada em uma caixa cuidadosamente fechada para isolar o experimento do ar do ambiente, a fim de verificar se este poderia interferir nos resultados obtidos no experimento anterior. Os mesmos resultados foram achados, o que impossibilitava a ideia do calor vir de algo que estivesse no ar.

Um terceiro experimento foi realizado. Desta vez, Rumford pôs a parte na qual estava ocorrendo a perfuração em uma caixa, preenchendo esta completamente com água (ver figura 3).

Rumford verificou que a água também havia esquentando, levando-o a concluir que o calor não tinha origem em algo contido na água, pois, se assim o fosse, a água não poderia ao mesmo tempo fornecer calor ao canhão e à broca e esquentar a si mesma. Afinal, se algo na água fosse responsável pelo calor e esse algo fosse transferido para o canhão e à broca, então a água estaria perdendo calor e deveria esfriar, o que não foi observado.



Figura 3: Ilustração de um dos aparatos experimentais na perfuração de canhão, adaptado pelo conde Rumford para suas experiências de calor. O atrito como a broca embotada a cortar o metal produzia calor suficiente para fazer a água ferver.

Dando continuidade ao experimento em ação, Rumford verificou depois de certo tempo a água não só esquentara como fervera!

Apesar de esperar tal resultado, Rumford não escondeu sua surpresa em relação à quantidade de calor gerado nesse processo.

Analisando os experimentos, Rumford concluiu que a grande quantidade de calor gerada na perfuração não podia ter vindo nem da água, nem do ar. E também não deveria ter vindo de algum fluido contido na broca ou no canhão, pois o calor deveria ter cessado quando esse fluido acabasse. Como não cessara, então ou a quantidade desse fluido no corpo era infinita ou a origem do calor não era esse fluido.

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 à linha de calor como fluido.

Rumford continuou estudando, pesquisando e experimentando, a fim de produzir mais argumentos para refutar tais críticas. Em trabalho apresentado em 1799, Rumford mostrou os resultados a que chegou após ter realizado experimentos relacionados à evaporação e sublimação de substâncias, buscando relacionar se tais fenômenos tinham associações com o peso do calor.

Ele pegou duas garrafas iguais. Em uma pôs água e na outra álcool, sendo os volumes da água e do álcool iguais. Pendurou cada uma num dos braços de uma balança e deixou que elas atingissem a temperatura ambiente, cerca de  $16^{\circ}\text{C}$ . Depois, amarrou pequenos fios de metal na garrafa que continha álcool para que a balança ficasse equilibrada (a densidade do álcool é menor que a da água). Pegou todo esse conjunto e pôs numa sala fria, à cerca de  $-1,7^{\circ}\text{C}$ , e deixou lá por 2 dias. Quando retornou, a balança continuava equilibrada, com a água congelada, mas o álcool não.

Rumford se questionou se os resultados poderiam ter sido produzidos por alguma falha da balança que utilizou. Por isso, realizou o mesmo experimento descrito anteriormente, mas com as duas garrafas cheias de mercúrio, encontrando perfeito equilíbrio após todas as etapas do experimento, o que descartava a possibilidade de defeitos na balança.

Rumford repetiu tais experimentos várias vezes, alterou os conteúdos das garrafas, conferiu problemas na balança, etc., chegando à conclusão que "toda tentativa de descobrir qualquer efeito do calor sobre os pesos aparentes dos corpos será infrutífera".

Dessa forma, não havendo alteração nos pesos das substâncias quando estas mudam de estado físico, então a ideia que relacionava a atração do *calórico*

pela matéria estava em contradição com o observado pelos experimentos. No estado sólido, uma substância está mais fria que em seu estado líquido, e, portanto, deveria conter menos *calórico* quando sólida e mais desse fluido quando líquida, resultando num maior peso total da substância quando líquida. Fato que não foi observado nesses experimentos.

As duas linhas de pensamento acerca do calor tinham seus méritos e suas falhas. A hipótese de calor como fluido explicava bem certa quantidade de fenômenos, enquanto que a ideia mecânica dava conta de esclarecer o que ocorria em tantos outros. Assim, alguns argumentos iam de encontro à visão substancialista do calor, enquanto que outros confrontavam a visão que relacionava calor ao movimento.

Não havia concordância entre os pensadores. Muitos não consideraram os experimentos e conclusões de Rumford como definitivos, e a discussão sobre a natureza do calor continuou.

Responda as questões de acordo com o que foi vivenciado em sala de aula e com o que há no texto:

1 - O que fez Rumford estudar mais profundamente os fenômenos relacionados ao calor?

2 - Por que o *calórico* não conseguia explicar a produção aparentemente infinita do calor na perfuração do canhão?

3 - E se relacionamos calor com o movimento das partes internas dos corpos conseguimos explicar a esta produção aparentemente infinita de calor?

4 - O que Rumford pretendia demonstrar com o experimento das garrafas na balança? Ele conseguiu? Como?

5 - Lembra do aumento de peso dos resíduos da calcinação de metais que estudamos anteriormente e

que foram explicados pelo *calórico*, pois bem, como as ideias de Rumford, contrárias ao *calórico*, explicariam esse fenômeno?

6 - E o calor gerado pelo atrito entre corpos, é melhor explicado pelo *calórico* ou pela ideia de calor e movimento defendida por Rumford? Por quê?

7 - E como pode a ciência ter duas linhas de pensamento para o calor, sendo estas duas opostas, mas com as duas dando conta de explicar diversos fenômenos?

## ANEXO VI

**Ficha de Acompanhamento dos Experimentos**

## Experimento 1:

1 - Em qual das situações a água resfriou mais rápido? Por quê? Anote suas impressões e comentários.

---

---

---

---

---

2 - O que faz com que quantidades diferentes de uma substância esfriem (ou aqueçam) em intervalos de tempos diferentes, mesmo se submetidas à mesma fonte de calor e atingirem a mesma temperatura?

---

---

---

---

---

## Experimento 2:

1 - Os tempos medidos no resfriamento da água e do vinagre são iguais? Por quê? Anote os dados e registre suas impressões.

---

---

---

---

---

## Experimento 3:

1 - Os tempos registrados são iguais? Por quê? Anote os dados e registre suas impressões.

---

---

---

---

---

## ANEXO VII

## Lista de Questões e Problemas Sobre Calor Sensível para Sala de Aula

01. Uma panela de ferro, de massa igual a 600g, tem calor específico igual a  $0,11\text{cal/g}^\circ\text{C}$  e outra panela de alumínio, de massa igual a 300g, tem calor específico igual a  $0,22\text{cal/g}^\circ\text{C}$ . Fisicamente, o que a diferença entre esses dados significa?

02. São misturados massas iguais de água a  $20^\circ\text{C}$  e de álcool a  $40^\circ\text{C}$ , em um calorímetro ideal. O calor específico do álcool é, aproximadamente,  $0,6\text{ cal/g }^\circ\text{C}$  o calor específico da água é de  $1\text{ cal/g }^\circ\text{C}$ . Com base nas discussões e conclusões retiradas dos experimentos realizados no momento 5, a temperatura de equilíbrio desse sistema deve ser:

- a) Mais próxima da temperatura inicial da água;
- b) Mais próxima da temperatura inicial do álcool;
- c) Exatamente igual à média das temperaturas iniciais ( $30^\circ\text{C}$ )

Justifique sua resposta, fundamentando-a em relação ao conceito de calor específico.

03. Um calorímetro ideal contém 300g de água a  $20^\circ\text{C}$ . Introduce-se no calorímetro um bloco de alumínio, de massa 500g, à temperatura de  $170^\circ\text{C}$ . Determine a temperatura de equilíbrio térmico do sistema, admitindo que não há trocas de calor com o ambiente.

Calor específico da água =  $1,0\text{ cal/g}^\circ\text{C}$

Calor específico do alumínio =  $0,20\text{ cal/g}^\circ\text{C}$

04. Dois corpos, A e B, com massas iguais e a temperaturas  $t_A = 50^\circ\text{C}$  e  $t_B = 10^\circ\text{C}$ , são colocados em contato até atingirem a temperatura de equilíbrio. O calor específico de A é o triplo do de B. Com os dois corpos isolados termicamente, a temperatura de equilíbrio medida foi de  $20^\circ\text{C}$ . Esta medição está correta? Por quê?

## ANEXO VIII

**Lista de Questões e Problemas Sobre Calor Sensível para Lição**

01. O calor específico do alumínio é  $0,22 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ . Isto significa que ao fornecer 2200 cal a uma amostra de 50 g de alumínio a  $10^\circ \text{C}$ , sem que haja mudança de estado, ela atingirá que temperatura, em  $^\circ\text{C}$ ?

02. Um cubo de gelo de massa 100 g, inicialmente à temperatura de  $-20^\circ \text{C}$ , é aquecido até  $0^\circ \text{C}$ . Qual a quantidade de calor envolvida nesse processo, admitindo que não houve alteração no estado físico e que tal processo ocorreu isolado termicamente.

Calor específico da água =  $1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ .

03. (UFRRJ) Uma pessoa bebe 200 gramas de água a  $20^\circ \text{C}$ . Sabendo-se que a temperatura do seu corpo é praticamente constante e vale  $36,5^\circ \text{C}$ , qual a quantidade de calor absorvido pela água?

$c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ .

04. Dois corpos, A e B, de mesma substância, a temperaturas  $t_A = 50^\circ \text{C}$  e  $t_B = 10^\circ \text{C}$ , são colocados em contato até atingirem a temperatura de equilíbrio. A massa de A é metade da de B. Com os dois corpos isolados termicamente, a temperatura de equilíbrio medida foi  $23,3^\circ \text{C}$ . Tal medida está correta? Por quê?

05. Um calorímetro ideal contém 300 g de água em equilíbrio a uma determinada temperatura. Adiciona-se 36 g de água a  $0^\circ \text{C}$  e mantém-se o calorímetro em um ambiente isolado termicamente. Quando o sistema entra em novo equilíbrio, a sua temperatura final é igual a  $20^\circ \text{C}$ . Qual a redução na temperatura da água?

Calor específico da água =  $1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ .

## ANEXO IX

## Questionário final

Vivenciadas várias atividades relacionadas ao calor e sua essência - atividades de leitura e reflexão, vídeos, debates, júri simulado, experimentos e cálculos - responda:

**01.** Afinal, depois das discussões feitas, o que é calor, para você, um fluido ou algo relacionado ao movimento interno à matéria? Por quê?

**02.** Leia a afirmativa a seguir:

"Ciência é certeza. Ao realizar experimentos e colher resultados, a ciência produz suas provas, suas teorias. Uma vez testada, se verificada, uma ideia passa a ser válida e deve ser aplicada sem restrições para desvendar os segredos da natureza."

Você concorda com essa afirmação? Por quê?

**03.** Leia o texto abaixo:

"Agora essa. Descobriram que ovo, afinal, não faz mal. Durante anos, nos aterrorizaram. Ovos eram bombas de colesterol. Não eram apenas desaconselháveis, eram mortais. Você podia calcular em dias o tempo de vida perdido cada vez que comia uma gema. Cardíacos deviam desviar o olhar se um ovo fosse servido num prato vizinho: ver o ovo fazia mal. E agora estão dizendo que foi tudo engano, o ovo é inofensivo. O ovo é incapaz de matar uma mosca. A próxima será que o bacon limpa as artérias. Sei não, mas me devem algum tipo de indenização. "

*Trecho da crônica OVO de Luís Fernando Veríssimo.*

Como se vê no trecho acima, o ovo, por bastante tempo foi um alimento tido como maléfico para a saúde do homem, principalmente pelo elevado teor de colesterol que supostamente continha. Então, outros estudos foram feitos nos quais as conclusões foram que ovos eram inofensivos à saúde. Mais recentemente, novas pesquisas trazem que ovos são benéficos à saúde e devem ser consumidos com certa regularidade.

Afinal, a ciência e seus estudos provam ou não as coisas?

E com relação ao nosso estudo sobre o calor, está provado que o calor é fluido ou provado que está associado ao movimento? Não poderia ser os dois ao mesmo tempo? Ou nenhum deles? E então, podemos definir, sem dúvida alguma, qual é a natureza do calor?

**04.** Tanto o *flogístico* de Stahl como o *calórico* de Lavoisier não foram medidos, coletados, percebidos sensivelmente. Isto assegura sem dúvida alguma que eles não existem? Por quê?

**05.** No estudo sobre a natureza do calor, muitos pensadores ao longo da história explicaram o calor por linhas teóricas bem diferentes. O que você pensa sobre a Física, uma ciência dita exata, ter mais de uma explicação para um mesmo fenômeno e ao mesmo momento?

**06.** O fato de não haver concordância entre diversos pensadores acerca da natureza do calor acabou ajudando ou atrapalhando o desenvolvimento das ideias e conceitos? Por quê?

**07.** Se durante uma conversa sobre o calor alguém afirmasse para você que a ideia de calor como fluido se deve a Lavoisier e que a linha explicativa de calor relacionado ao movimento é de responsabilidade de Rumford, você concordaria? Por quê?