

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

BIANCA CINTRA DE CARVALHO

**EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR:
O QUE DIZEM OS LIVROS DIDÁTICOS E O QUE AFIRMA JOULE
EM SEUS TEXTOS**

MARINGÁ
2013

BIANCA CINTRA DE CARVALHO

**EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR:
O QUE DIZEM OS LIVROS DIDÁTICOS E O QUE AFIRMA JOULE
EM SEUS TEXTOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes

MARINGÁ
2013

BIANCA CINTRA DE CARVALHO

**EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR:
O QUE DIZEM OS LIVROS DIDÁTICOS E O QUE AFIRMA JOULE
EM SEUS TEXTOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Física.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes (orientador)
(Universidade Estadual de Maringá - UEM)

Prof^a. Me. Alice Sizuko Iramina
(Universidade Estadual de Maringá - UEM)

Prof. Me. Daniel Gardelli
(Universidade Estadual de Maringá - UEM)

Maringá, 01 de novembro de 2013.

EPÍGRAFE

Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Porque ele se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que se ensine um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser compreendido, daquilo que é belo, daquilo que é eticamente correto.

(Albert Einstein)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e à minha irmã que ao longo desses quatro anos sempre me apoiaram nas horas difíceis, dedico este trabalho com imensa gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças para concluir essa longa caminhada.

Aos meus pais, Mauro e Marly, e à minha irmã, Gabriela, por me apoiar em minhas decisões e pelo amor incondicional que sempre me foi dado.

Ao Augusto, pela sua compreensão e companheirismo.

Aos meus amigos, que durante esses quatro anos estiveram ao meu lado, nos momentos alegres e naqueles momentos em que só nos restava a esperança, em especial, a Tamiris e a Samira, companheiras dessa jornada e a todos aqueles que conheci ao longo do curso e do projeto PIBID.

Ao meu orientador, professor Luciano Carvalhais Gomes, por sua valiosa contribuição para minha formação e por ter me ajudado a criar uma nova concepção de ensino.

A todos os professores da Universidade Estadual de Maringá que auxiliaram em minha formação, em especial à professora Alice Sizuko Iramina, pelo incentivo dado à carreira docente através do projeto PIBID.

A todos minha eterna gratidão.

RESUMO

No presente trabalho, analisamos os textos históricos originais de Joule, escritos em meados do século XIX, sobre o conceito de equivalente mecânico do calor, com o intuito de examinar como este conceito é abordado nos livros didáticos de Física do Ensino Médio. Para embasar nossa análise teórica, fizemos uma revisão bibliográfica com a leitura de textos sobre o ensino tradicional e ensino construtivista, leitura de textos sobre a utilização da história da ciência, além de buscar compreender as concepções alternativas sobre calor. Guiados por essa revisão bibliográfica e por nossa análise histórica, verificamos que os livros didáticos apresentam inúmeras distorções e simplificações ao abordarem o conceito de equivalente mecânico do calor, não só em relação à explicação textual, mas também quanto às imagens utilizadas para ilustrar o famoso experimento de Joule, o calorímetro das pás. Essas conclusões servem como um alerta para aqueles que utilizam os livros didáticos como referenciais teóricos no ensino, uma vez que estes reduzem a história da ciência a nomes, datas e procuram reafirmar posições indutivistas. É necessário posicionar-se de forma crítica, visto que não é suficiente apresentar as teorias do passado apenas como curiosidades históricas, sendo preciso ir além para possibilitar uma compreensão mais significativa e uma visão mais crítica da construção do conceito de equivalente mecânico do calor.

Palavras-chaves: Ensino de Física. História da ciência. Equivalente mecânico do calor. Livro didático.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	ENSINO TRADICIONAL <i>versus</i> ENSINO CONSTRUTIVISTA	10
	2.1 Ensino tradicional.....	10
	2.1.1 Desenvolvimento do ensino	10
	2.1.2 Ensino tradicional atual	18
	2.2 Críticas ao modelo tradicional.....	21
	2.3 Ensino construtivista: um novo olhar sobre a educação.....	24
	2.4 Ensino construtivista: a contribuição do PIBID	29
3	HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE FÍSICA.....	32
	3.1 Importância da história da ciência no ensino	32
	3.2 Críticas à utilização da história da ciência	41
4	CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS.....	50
	4.1 Uma visão geral.....	50
	4.2 Concepções alternativas sobre o calor.....	53
5	O EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR	55
	5.1 Revolução Industrial e o conceito de calor	55
	5.2 Mayer e o equivalente mecânico do calor	59
	5.3 Joule e o equivalente mecânico do calor	62
6	ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS	105
	6.1 Procedimentos metodológicos.....	105
	6.1.1 Os livros didáticos escolhidos	106
	6.2 Resultados obtidos, interpretação e inferência	108
	6.2.1 Comentários adicionais	127
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129
	REFERÊNCIAS	131

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o ensino tradicional tem recebido críticas de diversos pesquisadores (CARVALHO, 2009; CARVALHO, 2010; MATTHEWS, 1995). Neste modelo de ensino, “[...] a atividade de ensinar está centrada no professor, que expõe e interpreta a matéria [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 64), expressando a ideia de que o conhecimento é algo a ser transmitido, sendo o aluno um agente passivo do processo. Dessa forma, os alunos são sobrecarregados de conhecimentos que são apenas decorados sem questionamento. O ensino tem como objetivo somente a execução de exercícios repetitivos, que não passam de mera manipulação de fórmulas, reduzindo-se a práticas de memorização.

Essa prática é reforçada pelos livros didáticos, que trazem uma ciência fragmentada, criada por “mentes brilhantes”, não havendo mais nada para ser inventado ou descoberto, pois se encontra pronta e acabada. Essa visão leva os alunos a concluírem que são incapazes de fazer ciência, aumentando seu desinteresse pelas aulas (GARDELLI, 2004). Faz-se então necessário que o aluno compreenda que a ciência não é algo linear e fragmentado, da forma como tem sido abordada tradicionalmente. Trata-se de uma construção humana, não imune a erros e que está marcada por contradições e dúvidas.

A utilização de forma adequada da história da ciência possibilita tornar o aluno um agente mais ativo e consciente da verdadeira natureza da ciência. Por consequência, aumentam as chances de um maior e mais eficaz desenvolvimento do pensamento crítico, tornando possível um entendimento mais integral e significativo dos conceitos estudados (MATTHEWS, 1995). Além disso, os textos históricos auxiliam o professor na compreensão da estrutura e desenvolvimento dos conteúdos que leciona (MATTHEWS, 1995; GARDELLI, 2004), o que o capacita a compreender com mais profundidade as dificuldades e resistências dos alunos, pois estes, muitas vezes, passam por um processo semelhante ao processo ocorrido no desenvolvimento histórico da ciência (BARROS; CARVALHO, 1998). Assim, conforme Martins (2006, p. xxvi, grifo nosso):

[...] as suas resistências são semelhantes às dos próprios cientistas do passado; e mesmo as suas idéias, por mais “absurdas” que pareçam, podem ser semelhantes às que foram aceitas em outros tempos por pessoas que nada tinham de tolas. **Embora não haja um paralelo completo entre esses**

“conceitos prévios” e as concepções científicas antigas, as semelhanças acima indicadas são suficientemente fortes para tornar o conhecimento da história da ciência um importante aliado nesse trabalho [...].

Porém, conforme aponta Martins (2006), existem diversas barreiras para a utilização de textos históricos em sala de aula. As principais são a falta de educadores com formação apropriada para pesquisar e ensinar corretamente história da ciência e a falta de material didático adequado, pois os livros didáticos tradicionais trazem inúmeras distorções sobre os fatos e descobertas científicas. De fato, “[...] quando utilizada de forma inadequada, a história das ciências pode chegar a ser um empecilho ao bom ensino de ciências [...]” (MARTINS, 2006, p. xxix). Não é suficiente apresentar as teorias do passado apenas como curiosidades históricas, é necessário ir além, para permitir uma compreensão mais significativa e uma visão mais crítica da origem e evolução dos conceitos científicos (GARDELLI, 2004).

Nesse contexto, o nosso objetivo foi analisar de modo crítico os textos originais de Joule sobre o equivalente mecânico do calor, comparando com o que é dito pelos livros didáticos de Física do Ensino Médio. Desse modo, acreditamos que esse trabalho será útil como material de apoio para uma possível aplicação didático-pedagógica em sala de aula pelos professores.

Com esse propósito, dividimos nosso trabalho em sete seções. Nesta, a primeira, após algumas considerações iniciais, apresentamos o nosso objeto de estudo, objetivos e justificativa. Na segunda seção, aprofundamos nossas considerações iniciais, descrevendo como se desenvolveu o ensino e uma reflexão sobre o método tradicional, a fim de compreendermos as críticas a ele feitas. A fim de subsidiar uma adequada utilização da história da ciência, apresentamos o construtivismo e a contribuição dada pelo projeto PIBID – Física da UEM. Deixamos para a terceira seção os argumentos a favor da utilização da história da ciência e as críticas feitas quanto a isso. Na quarta seção, descrevemos as concepções alternativas dos alunos sobre calor, de modo a auxiliar, posteriormente, na análise dos livros didáticos. Na quinta seção, procuramos analisar os artigos originais de Joule sobre o equivalente mecânico do calor, além de abordar, brevemente, o trabalho de Mayer e o contexto no qual estavam inseridos: a Revolução Industrial. Na sexta seção, descrevemos os resultados de nossa análise dos livros didáticos. Na sétima e última seção, apresentamos as considerações finais de nosso trabalho.

2 ENSINO TRADICIONAL *versus* ENSINO CONSTRUTIVISTA

2.1 ENSINO TRADICIONAL

O ensino tradicional, ainda hoje, predomina na grande maioria das escolas, não só do Brasil, mas do mundo. Porém, este modelo “[...] tem se mostrado pouco eficaz, seja do ponto de vista dos estudantes e professores, quanto das expectativas da sociedade [...]” (BORGES, 2002, p. 292). Faz-se necessário, pois, uma reflexão sobre esse método, verificando como este se desenvolveu durante os tempos, para compreendermos as críticas a ele feitas.

2.1.1 DESENVOLVIMENTO DO ENSINO

“A didática sempre existiu na história dos homens, porque sempre se ensinou e sempre se aprendeu” (GASPARIN, 1994, p. 14), porém, no século XVII, com João Amós Comenius (1592-1670) ela adquire dimensões peculiares que a diferenciam de todas as outras formulações até então existentes. Ele foi o primeiro educador a articular “[...] a idéia da difusão dos conhecimentos a todos e criar princípios e regras do ensino” (LIBÂNEO, 1994, p. 58).

Comenius “[...] desenvolveu idéias avançadas para a prática educativa nas escolas, [...] em contraposição às idéias conservadoras da nobreza e do clero [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 58), vigentes na época. Acreditava que “[...] a cabeça da criança é como uma folha de papel em branco podendo receber qualquer inscrição ou ensino¹ [...]” (MAZZOTTI, 2005, p. 2), sendo necessário, portanto, investigar se existe um “método seguro” para inserir a verdade nas cabeças das crianças (MAZZOTTI, 2005).

Para ele, esse método consistia em aliar o trabalho intelectual com o prático ou empírico (MAZZOTTI, 2005). Sua pedagogia fundamentava-se em: “[...] *se há um método para conhecer, então há um método para ensinar* [...]” (MAZZOTTI, 2005, p. 3). Dessa forma:

¹ Ainda hoje, no ensino tradicional, acredita-se que os alunos são uma *tabula rasa*, em que cabe ao professor apenas transmitir seus conhecimentos para estes, sendo que, aqueles que prestarem atenção ao longo da explicação, aprenderão, registrando na memória o que lhes foi transmitido (LIBÂNEO, 1994).

[...] esse método ou caminho expressa o que é próprio da Criação: sua ordem, a ordem encontrada no micro e macro cosmos [sic]. Cabe, então, **estabelecer um processo ordenado de ensinar com vistas a obter o sucesso na educação em massa de crianças e jovens de ambos os sexos e que tenham “alguma semente de entendimento”** [...] (COMÊNIO, 1966 apud MAZZOTTI, 2005, p.3, grifo nosso).

Alegava, portanto, que as causas do fracasso do trabalho docente eram devido ao fato de ensinar de maneira desordenada, não organizando de forma conexa as matérias que o são por natureza, agindo errado por não estruturar os conteúdos com objetivos para cada ano, mês, semana, dias e horas escolares (MAZZOTTI, 2005). Para ele, “[...] o ensino fragmentado das ciências e técnicas impede que se alcance o conhecimento fundamental e universal [...]” (MAZZOTTI, 2005, p. 3). Outras causas do fracasso advinham da utilização de métodos variados para ensinar a mesma disciplina, que dificultavam o aprendizado, e a postura do professor frente ao grupo de alunos, que procurava ensinar cada aluno em particular, acrescentando-se a isso, a utilização de diversos livros, produzindo certa confusão, que podia ser compreendida por apenas algumas inteligências mais bem dotadas (MAZZOTTI, 2005). Assim:

[...] o método comeniano busca suprimir cada causa do fracasso escolar por meio de um forte controle do tempo e dos materiais de ensino, estabelecendo objetivos diários, semanais, mensais e anuais para cada disciplina e com tempo pré-definido.

Em suma, as diretrizes metodológicas para a reforma da escola são as seguintes: em cada escola, ou em cada sala de aula, apenas um professor para todas as disciplinas; para cada disciplina, apenas um livro. Todos os alunos realizam as mesmas tarefas ao mesmo tempo; todas as disciplinas devem ser ensinadas segundo os seus fundamentos, de maneira breve e eficaz. [...] Os assuntos conexos devem ser ensinados em conexão; o ensino deve ser gradual, sem interrupções, de modo que o aprendido seja suporte para o que se vai aprender; finalmente, deve deixar de lado tudo que é inútil (MAZZOTTI, 2005, p. 3).

Dessa forma, Comenius redefine o papel do professor, não sendo mais necessário que este seja um sábio, que inicia cada discípulo nas fontes de conhecimento aprofundado. Defende que se tornarão hábeis para lecionar mesmo aqueles a quem a natureza não dotou de muita habilidade para ensinar, simplificando o trabalho do professor pelo emprego do livro didático como instrumento de ensino, não sendo mais necessário que o professor tire de sua própria mente o que deve ensinar (COMÊNIO, 1966 apud MAZZOTTI, 2005).

Utilizando-se da metáfora Didacografia, Comenius apresenta o ensino com uma analogia com o processo de impressão tipográfica, que havia sido inventado na época. Para ele, o ensino se passa da mesma maneira que na tipografia, de tal forma que:

[...] o papel são os alunos, em cujos espíritos devem ser impressos os caracteres das ciências. Os tipos são os livros didáticos e todos os instrumentos propositadamente preparados para que, com sua ajuda, as coisas a aprender se imprimam nas mentes com pouca fadiga. A tinta é a viva voz do professor que transfere o significado das coisas, dos livros para as mentes dos alunos. O prelo é a disciplina escola que a todos dispõem e impele para se embeberem dos ensinamentos. (COMÊNIO, 1966 apud MAZZOTTI, 2005, p. 4).

Neste sentido, o percurso escolar é direcionado pelos livros didáticos, que são responsáveis por transformar o saber existente em um saber escolarizado, de tal modo a sistematizar, aumentando gradualmente a dificuldade (MAZZOTTI, 2005). Portanto, ele acreditava que “[...] o ensino deve seguir uma ordem, ou seja, do concreto para o abstrato, do geral para o particular. Ao contrário do que ocorria nas escolas em que o ensino partia de regras abstratas sem nexos algum com a realidade concreta dos alunos [...]” (MONÇÃO, 2011, p. 5-6).

Assim sendo, os estudos deveriam ser organizados fundamentando sempre os estudos sucessivos nos precedentes, de modo que estes sejam consolidados por aqueles (COMENIUS, 2002 apud MONÇÃO, 2011). Diferentemente da escola medieval, em que havia o debate e o confronto de opiniões, os saberes escolarizados devem afastar as polêmicas e disputas, apresentando apenas os conhecimentos que são considerados válidos e corretos (MAZZOTTI, 2005, p. 4), pois o saber já está consolidado. O aprendiz só irá saber se dedicar-se a aprender sem levantar questionamentos a respeito do que está aprendendo, pois só há lugar para procedimentos dialéticos quando os envolvidos sejam iguais em conhecimento (o que não é possível na situação ensino-aprendizagem). Por conseguinte, quem sabe ensina aos que não sabem (MAZZOTTI, 2005).

Dessa forma, para Comenius, “[...] os livros didáticos e os demais materiais para o ensino são a materialização de um saber, são os ‘caracteres das ciências’ [...]” (MAZZOTTI, 2005, p. 4). Deste modo, com suas divisões ou unidades internas, o livro didático determina quais são as etapas necessárias para se obter o conhecimento (MAZZOTTI, 2005), concebendo, pois, o ensino como mera memorização dos conhecimentos presentes nestes livros, em que “[...] o

processo de conhecer é o de memorizar informações, um acumular de conhecimentos segundo uma certa ordem de exposição” (MAZZOTTI, 2005, p. 4).

Além disso, ele considerava necessário tratar os assuntos de acordo com cada idade, com explicações claras, sendo mescladas com atividades menos sérias, agradáveis, propiciando um clima favorável à aprendizagem (MONÇÃO, 2011), pois:

A escola [...] erra na educação das crianças quando elas são obrigadas a estudar a contragosto. [...] É imprescindível despertar nas crianças o amor pelo saber e pelo aprender [...]. Nas crianças, o amor pelo estudo deve ser suscitado e avivado pelos pais, pelos professores, pela escola, pelas próprias coisas, pelo método, pelas autoridades (COMENIUS, 1997 apud COSTA; FIGUEIREDO, 2009, p. 308).

Ou seja, é preciso tornar a escola um lugar bonito, com espaço para brincar, com jardim, sendo um local onde crianças e jovens sintam prazer em frequentar tanto quanto se fossem a lugares de diversão e entretenimento, distinguindo-se da metodologia punitiva e coercitiva adotada até então, na época (MONÇÃO, 2011). Em síntese, pelo modelo comeniano, era necessário:

[...] padronizar o ensino, o que foi feito por meio dos livros didáticos e outros meios de ensino, não requerendo alguma especialização do docente, cujo trabalho é objetivado, assim como o do aluno. [...] Um “professor” é permutável por qualquer outro, uma vez que o ensinável e o modo de ensinar encontram-se estabelecidos na técnica ou na arte de **ensinar tudo a todos** (MAZZOTTI, 2005, p. 5, grifo nosso).

No século XVII e nos séculos seguintes, as ideias de Comenius não tiveram um efeito prático, predominando ainda:

[...] práticas escolares da Idade Média: ensino intelectualista, verbalista e dogmático, memorização e repetição mecânica dos ensinamentos do professor. Nessas escolas não havia espaço para as idéias próprias dos alunos, o ensino era separado da vida, mesmo porque ainda era grande o poder da religião na vida social (LIBÂNEO, 1994, p. 59).

Apesar das ideias de Comenius serem um avanço para a educação, ele não se preocupou em introduzir uma psicologia de ensino-aprendizagem, mantendo-se ingênuo ao acreditar que apenas um método de aprendizagem seria suficiente para que as crianças pudessem aprender.

Os princípios de Comenius começaram a ser considerados na educação somente quando o poder e a influência da nobreza e do clero decresceram à medida que aumentavam as influências da burguesia. Na medida em que esta se fortalecia como classe social, crescia a necessidade de “[...] um ensino ligado às exigências do mundo da produção e dos negócios e, ao mesmo tempo, um ensino que contemplasse o livre desenvolvimento das capacidades e dos interesses individuais” (LIBÂNEO, 1994, p. 59).

Procurando interpretar essas aspirações, Jean Jacques Rousseau (1712-1778) propôs “[...] uma nova concepção de ensino, baseada nas necessidades e interesses imediatos da criança” (LIBÂNEO, 1994, p. 59). O princípio fundamental de sua obra é que o homem é bom por natureza, mas está submetido à influência corruptora da sociedade na qual ele se insere. Assim, suas principais ideias resumem-se em:

[...] a preparação da criança para a vida futura deve basear-se no estudo das coisas que correspondem às suas necessidades e interesses atuais. Antes de ensinar as ciências, elas precisam ser levadas a despertar o gosto pelo estudo. Os verdadeiros professores são a natureza, a experiência e o sentimento. O contato da criança com o mundo que a rodeia é que desperta o interesse e suas potencialidades naturais. [...] A educação é um processo natural, ela se fundamenta no desenvolvimento interno do aluno (LIBÂNEO, 1994, p. 60).

Deste modo, o que define a organização dos estudos e seu desenvolvimento são as necessidades e desejos imediatos dos alunos, pois a criança não é um “adulto em miniatura” sendo necessário desenvolver os processos educativos de forma natural (LIBÂNEO, 1994). Vinculado a isso, faz-se necessário o acompanhamento e regramento do adulto, para que “[...] a criança não caía no autoritarismo e nem mesmo no espontaneísmo [...]” (SANTOS, 2007, p. 9). Para Rousseau:

[...] a educação natural assume um papel decisivo na construção de um sujeito humano ético e político em seu modelo de república que deve ser governada pela vontade geral e para isso a criança deve ser educada logo na infância para alcançar essa máxima [...] (SANTOS, 2007, p. 2).

Ou seja, preocupando-se com o desenvolvimento cognitivo e moral da criança, Rousseau acredita que é necessário preservar e respeitar a criança, de modo a conduzi-la para que na vida adulta ela participe das decisões construídas pela vontade geral, fornecendo a ela a

possibilidade de ser um bom sujeito humano, ético, político, que seja capaz de apreender em meios aos aspectos sociais – sendo decisiva nessa formação, a “intervenção” do adulto (SANTOS, 2007).

Ele almejava, portanto, uma sociedade em que as pessoas tivessem um papel ativo dentro do contexto geral, não sendo apenas pessoas “livres e iguais”. Acreditava que para isso era necessário não apenas realizar um contrato justo, mas seria de suma importância ensiná-las a ser livres e autônomas, tarefa que deveria se iniciar na educação infantil (SANTOS, 2007).

Apesar de ter contribuído expressivamente para uma nova visão da educação, “Rousseau não colocou em prática suas idéias e nem elaborou uma teoria de ensino [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 60). Quem desenvolveu suas ideias foi o pedagogo suíço, Henrique Pestalozzi (1746 - 1827), que dedicou sua vida à educação de crianças pobres, em instituições dirigidas por ele próprio. Assim como Rousseau, considerava fundamental levar em conta a “[...] psicologia da criança como fonte do desenvolvimento do ensino” (LIBÂNEO, 1994, p. 60).

Pestalozzi atribuiu “[...] grande importância ao ensino como meio de educação e desenvolvimento das capacidades humanas, como cultivo do sentimento, da mente e do caráter” (LIBÂNEO, 1994, p. 60). Além disso, conferia grande relevância ao método indutivo, demarcando com suas ideias uma vertente da pedagogia tradicional, a Pedagogia Intuitiva, que se caracteriza por oferecer (na medida do possível) “[...] dados sensíveis à percepção e observação dos alunos [...]” (ZANATTA, 2012, p. 106). Para ele, o propósito era: “[...] descobrir leis que propiciassem o desenvolvimento integral da criança e, para isso, concebeu uma educação com as dimensões intelectual, profissional e moral, estreitamente ligadas entre si” (PESTALOZZI, 1946 apud ZANATTA, 2012, p.106).

Deste modo, “[...] nessa concepção, a educação intelectual resulta da organização das impressões sensoriais obtidas pela relação homem-natureza [...]” (ZANATTA, 2012, p. 106), em que o meio indispensável é a intuição. Acreditava, portanto, que o desenvolvimento intelectual e moral do homem deveriam estar intimamente articulados, pois, “[...] a intuição não se limitava à mera visão passiva dos objetos e à contemplação das coisas, mas incluía a atividade intelectual por meio do qual eram criados os objetos [...]” (ZANATTA, 2012, p. 106-107). Para alcançar tais objetivos, Pestalozzi:

[...] formulou seu método de ensino com alguns princípios, quais sejam: partir do conhecido para o desconhecido, do concreto ao abstrato, ou do particular ao geral, da visão intuitiva à compreensão geral, por meio de uma associação natural com outros elementos e, finalmente, reunir no todo orgânico de cada consciência humana os pontos de vista alcançados (ZANATTA, 2012, p. 107).

Para ele, era necessário levar “[...] os alunos a desenvolverem o senso de observação, análise dos objetos e fenômenos da natureza e a capacidade da linguagem, através da qual se expressa em palavras o resultado das observações [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 60), tomando como base a ideia de percepção sensorial. Ele acreditava que “[...] a intuição da natureza é o único fundamento próprio e verdadeiro da instrução humana, porque é o único alicerce do conhecimento humano” (PESTALOZZI, 1946 apud ZANATTA, 2012, p. 107). Assim, o importante é desenvolver nos alunos a capacidade de percepção e observação e não ensinar apenas determinados conhecimentos.

Entretanto, na Pedagogia Intuitiva, conseqüentemente, o aluno mantinha sua posição passiva enquanto assimilava os conhecimentos a ele transmitidos utilizando todos os seus sentidos, pois cabia ao professor executar as operações efetivas (ZANATTA, 2012). Dessa forma, “[...] aprender significa para a criança tirar uma cópia da explicação dada pelo professor [...]” (ZANATTA, 2012, p. 107), ou seja, o aluno deve memorizar os conceitos e definições, “[...] tais como lhe foram dados e aplicar invariavelmente os mesmos procedimentos para achar soluções” (ZANATTA, 2012, p. 107).

Johann Friedrich Herbart (1766-1841), pedagogo alemão, apresentando rupturas e continuidades com Pestalozzi, exerceu influência relevante na Didática e na prática docente, sendo o pioneiro em “[...] propor a pedagogia como ciência sistematizada com fins e método de ensino bem definidos [...]” (ZANATTA, 2012, p. 112), trazendo esclarecimentos de como organizar a prática docente. Para ele, a finalidade da educação é formar o cidadão futuro, diferenciando de Pestalozzi, que defendia que a educação deveria ser o cultivo da mente, do sentimento e do caráter.

Assim, o objetivo da educação é a moralidade, que é atingida pela instrução educativa, e é através da imposição desta que a criança pode desenvolver sua própria disciplina. Ou seja, “[...] educar o homem significa instruí-lo para querer o bem, de modo que aprenda a comandar a si próprio [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 60). Portanto:

Herbart indicou a necessidade de que o professor tenha uma teoria pedagógica e que sua prática não seja baseada somente na experiência, que, embora importante, é insuficiente para promover um ensino eficaz [...] (GOMES, 2003 apud ZANATTA, 2012, p. 107-108).

Dessa forma, a instrução educativa tem como tarefa inserir na cabeça dos alunos as ideias consideradas como corretas (LIBÂNEO, 1994), cabendo ao professor:

[...] trazer à atenção dos alunos aquelas idéias que deseja que dominem suas mentes. Controlando os interesses dos alunos, o professor vai construindo uma massa de idéias na mente, que por sua vez vão favorecer a assimilação de idéias novas. O método de ensino consiste em provocar a acumulação de idéias na mente da criança (LIBÂNEO, 1994, p. 60).

Deste modo, o professor deve apresentar a nova matéria, caracterizando-se por ser aquele que introduz tais ideias e conhecimentos na mente dos alunos (ZANATTA, 2012). Logo, “[...] o aluno permanece sem oportunidade de elaborar conhecimento, uma vez que predominam as ações externas do professor (ideias, conceitos, valores, e regras morais) por meio da instrução educativa [...]” (LIBÂNEO, 1990 apud ZANATTA, 2012, p. 109).

Herbart estabeleceu quatro passos didáticos, que deveriam ser rigorosamente seguidos, buscando formular um método único de ensino, estando de acordo com as leis psicológicas do conhecimento (LIBÂNEO, 1994). Esses passos formais são:

[...] o primeiro seria a preparação e apresentação da matéria nova de forma clara e completa, que denominou *clareza*; o segundo seria a *associação* entre as idéias antigas e as novas; o terceiro, a *sistematização* dos conhecimentos, tendo em vista a generalização; finalmente, o quarto seria a aplicação, o uso dos conhecimentos adquiridos através de exercícios, que denominou *método* [...] (LIBÂNEO, 1994, p. 61).

O sistema pedagógico de Herbart conduziu a organização da prática docente, atentando-se para “[...] a necessidade de estruturação e ordenação do processo de ensino, a exigência de compreensão dos assuntos estudados e não simplesmente a memorização, o significado educativo da disciplina na formação do caráter [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 61), entre outros aspectos que estão englobados neste sistema. Porém, o ensino continua a ser entendido como transmissão do conhecimento do professor para a cabeça do aluno, sendo necessário que o aluno compreenda o que o professor está repassando, a fim de reproduzir a matéria a ele

transmitida. Conseqüentemente, “[...] a aprendizagem se torna mecânica, automática, associativa, não mobilizando a atividade mental, a reflexão e o pensamento independente e criativo dos alunos” (LIBÂNEO, 1994, p. 61).

As ideias pedagógicas de Comenius, Rousseau, Pestalozzi e Herbart estruturaram “[...] as bases do pensamento pedagógico europeu, difundindo-se depois por todo o mundo, demarcando as concepções pedagógicas que são hoje conhecidas como Pedagogia Tradicional e Pedagogia Renovada” (LIBÂNEO, 1994, p. 61). As ideias descritas até então, precisam ainda hoje ser consideradas devido à sua presença ainda constante nas salas de aula brasileiras (LIBÂNEO, 1994).

2.1.2 ENSINO TRADICIONAL ATUAL

O ensino tradicional passou por diversas modificações ao longo de sua história, porém continua em evidência até os dias atuais, existindo de modo semelhante ao que foi no seu início (LEÃO, 1999). Segundo Saviani (1991, p. 54):

[...] Esse ensino tradicional que ainda predomina hoje nas escolas se constituiu após a revolução industrial e se implantou nos chamados sistemas nacionais de ensino, configurando amplas redes oficiais, criadas a partir de meados do século passado, no momento em que, consolidado o poder burguês, aciona-se a escola redentora da humanidade, universal, gratuita e obrigatória como um instrumento de consolidação da ordem democrática.

Porém, ainda hoje, não há essa igualdade entre os homens que foi a base para o ensino tradicional. A escola por si só, não é a redentora da humanidade, havendo ainda uma educação para pobres e outra para ricos, assim como no século XIX, quando surgiu a necessidade de oferecer a instrução mínima para massa trabalhadora, mantendo, entretanto, seu caráter elitista.

Segundo Leão (1999, p. 190), “[...] a abordagem tradicional do ensino parte do pressuposto de que a inteligência é uma faculdade que torna o homem capaz de armazenar informações, das mais simples às mais complexas [...]”, sendo necessário decompor a realidade a ser estudada de modo a simplificar o conhecimento a ser transmitido ao aluno, que precisa armazenar apenas os resultados do processo. Portanto, “[...] na escola tradicional o conhecimento humano possui um caráter cumulativo, que deve ser adquirido pelo indivíduo pela

transmissão dos conhecimentos a ser realizada na instituição escolar” (MIZUKAMI, 1986 apud LEÃO, 1999, p. 190). Nesse método de ensino, o aluno é um receptor passivo, sendo que:

[...] atribui-se ao sujeito um papel irrelevante na elaboração e aquisição do conhecimento. Ao indivíduo que está “adquirindo” conhecimento compete memorizar definições, enunciados de leis, sínteses e resumos que lhe são oferecidos no processo de educação formal a partir de um esquema atomístico (MIZUKAMI, 1986 apud LEÃO, 1999, p. 190).

Assim sendo, “[...] ou o aluno aprendia os conteúdos escolares porque era portador de uma inteligência inata, ou sua aprendizagem estava diretamente relacionada à quantidade ou qualidade da experiência escolar em determinado conteúdo [...]” (LEÃO, 1999, p. 191). A ênfase desse modelo de ensino está na transmissão dos conhecimentos, de modo que os conteúdos a serem ensinados deveriam ser previamente resumidos, sistematizados e integrados ao acervo cultural da humanidade (assim como nos livros didáticos) (LEÃO, 1999).

O papel do professor é fundamental na escola tradicional, pois cabe a ele dominar os conteúdos e organizá-los de modo a transmiti-los aos alunos e exigir destes uma atitude receptiva, impedindo-os até mesmo de dialogar com os colegas no decorrer da aula, assegurando a atenção e o silêncio (LIBÂNEO, 1992), pois:

[...] supõe-se que ouvindo e fazendo exercícios repetitivos, os alunos “gravam” a matéria para depois reproduzi-la, seja através das interrogações do professor, seja através das provas. Para isso, é importante que o aluno “preste atenção”, porque ouvindo facilita-se o registro do que se transmite, na memória [...] (LIBÂNEO, 1994, p. 64).

Conseqüentemente, os conhecimentos e valores sociais acumulados pela sociedade são repassados aos alunos como verdades, sendo tarefa do aluno apenas recebê-las e decorá-las. Além disso, o objetivo deste é a formação de um aluno ideal, distante da sua realidade, logo, “[...] a matéria de ensino é tratada isoladamente, isto é, desvinculada dos interesses dos alunos e dos problemas reais da sociedade e da vida [...]” (LIBÂNEO, 1994, p. 64).

Deste modo, o ensino tradicional permanece estruturado a partir do método pedagógico expositivo, cuja matriz teórica pode ser encontrada nos passos formais de Herbart, que são:

preparação, apresentação, a assimilação, generalização e aplicação, que correspondem ao método indutivista (LEÃO, 1999). Assim, a estrutura do método tradicional, que segue ainda suas origens, pode ser sintetizada da seguinte forma:

[...] na lição seguinte começa-se corrigindo os exercícios, porque essa correção é o passo da preparação. Se os alunos fizerem corretamente os exercícios, eles assimilaram o conhecimento anterior, então eu posso passar para o novo. Se eles não fizeram corretamente, então eu preciso dar novos exercícios, é preciso que a aprendizagem se prolongue um pouco mais, que o ensino atente para as razões dessa demora, de tal modo que, finalmente, aquele conhecimento anterior seja de fato assimilado, o que será a condição para se passar para um novo conhecimento (SAVIANI, 1991, p. 56).

A qualidade das aulas era, dessa forma, mensurada pela quantidade de conteúdos desenvolvidos, apresentando um questionário como um instrumento de avaliação da eficácia do trabalho realizado. Por conseguinte, “[...] se os estudantes conseguissem responder aos questionamentos utilizados pelo professor, no processo de avaliação, o trabalho desenvolvido era considerado satisfatório, caso contrário, precisaria ser revisto [...]” (ROSA; ROSA, 2012, p. 13).

Devido à presença do método indutivista, muitos professores acreditam que “partir do concreto” é a solução para o ensino atualizado (LIBÂNEO, 1994). Entretanto, “partir do concreto” (mostrando objetos, ilustrações, gravuras etc.) serve apenas para gravar na mente dos alunos o que foi possível captar pelos sentidos (LIBÂNEO, 1994). Por conseguinte:

[...] o material concreto é mostrado, demonstrado, manipulado, mas o aluno não lida mentalmente com ele, não o repensa, não o reelabora com seu próprio pensamento. A aprendizagem, assim, continua receptiva, automática, não mobilizando a atividade mental do aluno e o desenvolvimento de suas capacidades intelectuais (LIBÂNEO, 1994, p. 65).

O método tradicional tem resistido ao tempo e continua sendo o mais utilizado nos sistemas de ensino, tanto naqueles destinados aos filhos das classes populares como nos destinados às classes privilegiadas da sociedade. Assim, “[...] as escolas mais conceituadas do mundo, entre elas, as inglesas e as suíças, são as mais tradicionais possíveis [...]” (LEÃO, 1999, p. 194). Na realidade brasileira “[...] podemos nos certificar de que esse é o modelo de ensino mais utilizado e até mais desejado pela sociedade” (LEÃO, 1999, p. 194), modelo no qual se resume o ensino à tarefa de mera transmissão dos conhecimentos, sobrecarregando o aluno de

informações que são apenas decoradas sem questionamento, aplicando somente exercícios repetitivos, impondo externamente a disciplina e utilizando-se de castigos (LIBÂNEO, 1994).

Conseqüentemente:

[...] os conhecimentos ficaram estereotipados, insossos, sem valor educativo vital, desprovidos de significados sociais, inúteis para a formação das capacidades intelectuais e para a compreensão crítica da realidade. O intento de formação mental, de desenvolvimento do raciocínio, ficou reduzido a práticas de memorização (LIBÂNEO, 1994, p. 65).

2.2 CRÍTICAS AO MODELO TRADICIONAL

Nos dias de hoje, “[...] não podemos mais continuar ingênuos sobre como se ensina, pensando que basta conhecer um pouco o conteúdo e ter jogo de cintura para mantermos os alunos nos olhando e supondo que enquanto prestam atenção eles estejam aprendendo [...]” (CARVALHO, 2009, p. 1). É necessário compreender que o ensino é mais do que apenas trabalhar com conceitos e ideias científicas:

[...] a escola precisa também ensinar os alunos a perceber os fenômenos da natureza e a examiná-los na busca por explicações, tornando-os capazes de construir suas próprias hipóteses, elaborar suas próprias idéias, organizando-as de modo a construir conhecimento (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 107).

Deste modo, no caso do ensino de Física, o aluno deve ser instruído para além do âmbito escolar, permitindo que este desenvolva, na escola, habilidades que lhe permitam “[...] atuar consciente e racionalmente fora do contexto escolar, estabelecendo julgamentos e opiniões sobre assuntos variados que afetam sua vida” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 107).

Percebe-se assim, que o método tradicional tem se mostrado pouco eficaz, visto que:

[...] a escola tem sido criticada pela baixa qualidade de seu ensino, por sua incapacidade em preparar os estudantes para ingressar no mercado de trabalho ou na universidade, por não cumprir adequadamente seu papel de formação das crianças e adolescentes, e pelo fato de que o conhecimento que os estudantes exibem ao deixar a escola é fragmentado e de aplicação limitada [...] (BORGES, 2002, p. 292-293).

Ou seja, limita-se à resolução de exercícios e repetição daquilo que foi dado em sala de aula pelo professor, sem relação com os conhecimentos necessários para a compreensão do mundo

contemporâneo. Este problema não se restringe às ciências, mas estende-se por diversas áreas do conhecimento, “[...] como indicam os resultados conseguidos por grupos de estudantes brasileiros nas avaliações nacionais e no [...] projeto PISA² [...]” (OCDE, 2001 apud BORGES, 2002, p. 292). De fato, a qualidade deste método de ensino “[...] tem sido objeto de debates ao longo de várias décadas, culminando com os chamados para a reforma desses sistemas e dos currículos vigentes [...]” (BORGES, 2002, p. 292).

Visando essa reformulação do Ensino Médio no Brasil, foi estabelecida, em 1996, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), regulamentada em 1998, pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, de forma a:

[...] atender a uma reconhecida necessidade de atualização da educação brasileira, tanto para impulsionar uma democratização social e cultural mais efetiva pela ampliação da parcela da juventude brasileira que completa a educação básica, como para responder a desafios impostos por processos globais, que têm excluído da vida econômica os trabalhadores não-qualificados, por conta da formação exigida de todos os partícipes do sistema de produção e de serviços (BRASIL, 2002, p. 8).

Assim, a ideia central que orienta essa transformação “[...] estabelece o ensino médio como etapa conclusiva da educação básica de toda a população estudantil – e não mais somente uma preparação para outra etapa escolar ou para o exercício profissional [...]” (BRASIL, 2002, p. 8). Dessa forma, “supera” as limitações do ensino médio tradicional, o qual “[...] vinha sendo considerado como uma preparação para o ensino universitário, tendo como objetivo último o sucesso no vestibular [...]” (HOSOUME; KAWAMURA, 2003, p. 23). Essa visão priorizava apenas uma pequena parcela da população, pois “[...] a escolaridade média vem sendo bastante ampliada assim como também o espaço de atuação social dos egressos da escola média, que não necessariamente buscam o ensino superior” (HOSOUME; KAWAMURA, 2003, p. 23).

Portanto, “[...] o objetivo da escola média deve, assim, estar voltado para a formação de jovens, independente de sua escolaridade futura [...]” (HOSOUME; KAWAMURA, 2003, p. 23), em que se deve atentar ao fato de que “[...] estar formado para a vida significa mais do que reproduzir dados, denominar classificações ou identificar símbolos [...]” (BRASIL, 2002, p. 9). Logo, é necessário que os jovens saibam se informar, comunicar, argumentar,

² PISA: disponível em <<http://Pisa.OCDE.org>>

compreender e agir; consigam enfrentar problemas de diferentes naturezas; possam participar socialmente, de forma prática e solidária; sejam capazes de elaborar críticas ou propostas; e, possam adquirir uma atitude de permanente aprendizado (BRASIL, 2002).

Para tal formação, é preciso utilizar métodos de aprendizado compatíveis, que propiciem condições efetivas para que os alunos sejam capazes de comunicar-se e argumentar; defrontar-se com problemas, compreendê-los e enfrentá-los; participar de um convívio social que lhes dê oportunidades de se realizarem como cidadãos; fazer escolhas e proposições; tomar gosto pelo conhecimento, aprender a aprender (BRASIL, 2002).

Todavia, “[...] aprender a aprender requer, antes de qualquer coisa, uma pedagogia centrada em situações didáticas favorecedoras a ela [...]” (ROSA; ROSA, 2012, p. 12). Assim sendo:

[...] não se aprende a aprender ouvindo, escrevendo, memorizando e reproduzindo conhecimentos em provas, é preciso algo mais dinâmico, que ative os alunos, não apenas fisicamente, mas acima de tudo, intelectualmente. É necessário que ele, o aprendiz, ponha em funcionamento toda a sua estrutura cognitiva durante o ato de aprender, e consiga ir além dela, refletindo e retomando cada ação efetivada em busca do conhecimento (ROSA; ROSA, 2012, p. 12).

Dessa forma, o ensino tradicional não é capaz de atender aos chamados das novas diretrizes escolares, já que a escola conseguiu tampouco fazer com que os alunos fossem “[...] pessoas acostumadas a tomar decisões, a avaliar alternativas de ação de maneira crítica e independente e a trabalhar em cooperação” (BORGES, 2002, p. 293). Isso deve-se ao fato de que:

[...] decorar não significa que se tenha compreendido o que tentamos aprender. [...] A verdadeira aprendizagem é a que consegue gerar conhecimento e desenvolvimento. Dessa forma, a relação que se estabelece entre professor e alunos quando o primeiro expõe e os segundos anotam e decoram, não propicia a aprendizagem, ao contrário, dificulta ou impossibilita que ela ocorra [...] (LEÃO, 1999, p. 203).

Logo, como cabe ao professor transmitir o conteúdo aos alunos, temos que:

[...] o método tradicional de ensino é de eficiência extraordinária para desenvolver o professor, porque ele é quem executa os atos que conduzem aos objetivos formativos, enquanto os alunos são submetidos a aulas de exposição que não lhes dão oportunidade de desenvolvimento [...] (FROTA-PESSOA, 1970 apud ESPÍNDOLA; MOREIRA, 2006, p. 16).

Faz-se necessário, pois, privilegiar as competências e habilidades, propostas nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), que devem ser desenvolvidas no ensino de Física, estabelecendo novos critérios, de modo a não considerar apenas o que “[...] um futuro profissional vai precisar saber para sua formação universitária, passando a tomar como referência o que precisará saber um jovem para atuar e viver solidariamente em um mundo tecnológico, complexo e em transformação [...]” (HOSOUME; KAWAMURA, 2003, p. 24).

Tomando por base as críticas feitas até então ao método tradicional de ensino, surge a necessidade de um novo modelo de ensino, de modo que o ensino de Ciências, neste caso específico o de Física, seja redimensionado, renovando os currículos e as metodologias.

2.3 ENSINO CONSTRUTIVISTA: UM NOVO OLHAR SOBRE A EDUCAÇÃO

Visando ultrapassar essa concepção de disciplina vinculada à memorização de nomenclaturas e a listas intermináveis de fórmulas (ROSA; ROSA, 2012) e buscando tornar o aluno sujeito ativo do processo de ensino aprendizagem, o Construtivismo parte do pressuposto de que:

[...] nada, a rigor, está pronto, acabado, e de que, especificamente, o conhecimento não é dado, em nenhuma instância como algo terminado. Ele se constitui pela interação do indivíduo com o meio físico e social, com o simbolismo humano, com o mundo das relações sociais [...] (BECKER, 1993, p. 88).

Deste modo, “[...] um dos aspectos fundamentais do ensino de Física é conhecer como os alunos percebem e compreendem o mundo físico que os cerca [...]” (CARVALHO, 1989, p. 3), ou seja, identificar “[...] como eles vêem e explicam os fenômenos fundamentais e qual é a lógica usada por eles na formação espontânea dos conceitos [...]” (CARVALHO, 1989, p. 3). É a partir destes conhecimentos que se fundamenta um novo modelo de educação, no qual “[...] os processos de aprendizagem ocorrem na interação do sujeito com o meio social e material, a partir da confrontação de idéias e ações [...]” (RODRIGUES; COELHO; AQUINO, 2009, p. 577). Portanto, o ensino deve ser tal que:

[...] leve os estudantes a construir o seu conteúdo conceitual participando do processo de construção e dando oportunidade de aprenderem a argumentar e

exercitar a razão, em vez de fornece-lhes respostas definitivas ou impor-lhes seus próprios pontos de vista transmitindo uma visão fechada das ciências (CARVALHO, 2009, p. 3).

Ou seja, para incluir uma prática construtivista, é necessário que haja uma “[...] participação dos estudantes na (re)construção dos conhecimentos, que habitualmente se transmitem já elaborados [...]” (CARVALHO, 2009, p. 7), afim de superar os reducionismos e visões deformadas da natureza da ciência que são simplesmente repassados ao alunos, pois, segundo Piaget (2009, p. 1), “[...] o conhecimento não é uma cópia da realidade. Conhecer um objeto, conhecer um acontecimento não é simplesmente olhar e fazer uma cópia mental, ou imagem, do mesmo [...]”, como pressupõe o ensino tradicional. Sendo assim, “[...] para conhecer um objeto é necessário agir sobre ele. Conhecer é modificar, transformar o objeto, e compreender o processo dessa transformação e, conseqüentemente, compreender o modo como o objeto é construído [...]” (PIAGET, 2009, p. 1).

Reconhecendo isto, torna-se possível criar situações que propiciem aos alunos inventar, modificar e recombina, de modo a incitar a inteligência, visto que esta só se manifesta em situações novas (LIMA, 1980). Portanto, quando o professor dá a fórmula para que o aluno resolva um problema “[...] está ensinando uma operação inteligente, mas não está *ensinando a criança a ser inteligente*. Pelo contrário está ensinando a ser imbecil [...]” (LIMA, 1980, p. 59). Pois, “[...] se a criança é impedida de inventar a solução, aprende a não inventar e se convence de sua incapacidade de resolver o problema se não for lhe dada a ‘fórmula’ [...]” (LIMA, 1980, p. 59). Dessa forma:

[...] todo ensino que se baseia na *imitação* (do professor), isto é, que depende da aprendizagem de *fórmulas, definições e nomenclaturas* não é ensino inteligente. O ensino inteligente depende do *ensaio e erro*, de pesquisa, da solução de problemas (sem fórmulas prontas) [...] (LIMA, 1980, p. 59).

Levando isso em conta, o aluno precisa “[...] exercer um papel ativo, dialogando, interagindo, elaborando hipóteses e criando soluções para problemas, desenvolvendo assim, certas capacidades como questionar, refletir e argumentar [...]” (RODRIGUES; COELHO; AQUINO, 2009, p. 578). Portanto:

Essa concepção de ensino construtivista se difere dos modelos não construtivistas de ensino porque ela deve estimular uma forma de pensar em que o aprendiz, ao invés de assimilar o conteúdo passivamente, reconstrói o

conhecimento existente, dando um novo significado, o que implica em novo conhecimento. Desse modo, os educadores precisam começar a fazer mudanças importantes adotando práticas que contribuam para a construção do conhecimento (SANTOS, F., 2007, p. 16).

Para que ocorra essa construção dos conhecimentos, Piaget enfatiza a importância do *trabalho em grupo* (dinâmica de grupo), em oposição às aulas expositivas (LIMA, 1980). Assim, “[...] o trabalho em grupo, por si, produz tal transformação na vida escolar, que implica em uma revolução pedagógica [...]” (LIMA, 1980, p. 128), pois possibilita o desenvolvimento das estruturas mentais e da inteligência em geral, além de contribuir para o equilíbrio da afetividade e a superação do egocentrismo natural das crianças (LIMA, 1980). Para Piaget, “[...] a *tomada de consciência* dos mecanismos íntimos da atividade (motora, verbal e mental) [...] ocorre, espontaneamente, quando as atividades pedagógicas são feitas em grupo [...]” (LIMA, 1980, p. 130), visto que “[...] o *egocentrismo natural* do comportamento humano só é superado *pelo conflito que surge do choque de indivíduos com interesses diferentes* [...]” (LIMA, 1980, p. 78).

Tendo em vista o desenvolvimento da inteligência, torna-se necessário então, que toda proposta didática seja sempre uma proposta “intelectual” (um problema) (LIMA, 1980). Porém, mesmo a relação excessiva da criança com os adultos sendo apontada como um perigo para o desenvolvimento desta, não se deve tomar como modelo o “espontaneísmo” (deixar a criança fazer o que quer) (LIMA, 1980). Pelo contrário:

[...] uma escola piagetiana é altamente “dirigida”, entendendo-se por “dirigir” propor *situações-problema* de nível, progressivamente, mais complexo (processo seqüencial, altamente graduado). O que não é dirigido é a maneira como a criança (em grupo) tenta resolver o problema proposto, de modo que se concilia a diretividade e a espontaneidade: dirigida é a proposta; espontânea é a forma de solução [...] (LIMA, 1980, p. 129).

Além disso, é preciso compreender que não há “leitura direta da experiência”, visto que toda percepção que se tem da realidade depende de esquemas anteriores (LIMA, 1980). Isso traz-nos graves consequências pedagógicas, pois, tem-se que o uso dos *recursos visuais* não são instrumentos relevantes para auxiliar no ensino e nenhuma proposta didática deve ser feita sem que se realize uma sondagem dos esquemas prévios que apoiam aquilo que será aprendido (LIMA, 1980). De fato:

Os alunos chegam à sala de aula com idéias preconcebidas sobre como o mundo funciona. Se o seu entendimento inicial não for considerado, é possível que não consigam compreender os novos conceitos e informações ensinados, ou que os aprendam com o objetivo de fazer uma prova, mas recaindo depois em suas idéias preconcebidas fora da sala de aula (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2007, p. 33).

Assim, “[...] diante desse quadro, a grande tarefa do professor não é só conhecer o conteúdo que terá de transmitir-lhes, mas é também, e principalmente, conhecer como seus alunos trazem já estruturados esses conhecimentos” (CARVALHO, 1989, p. 3-4). É preciso, portanto, discutir com o aluno como este “resolveu o problema”, pois, para que ocorra esse processo de mudança conceitual, “[...] os professores precisam dar oportunidade aos estudantes de exporem suas idéias sobre os fenômenos estudados, num ambiente encorajador, para que eles adquiram segurança e envolvimento com as práticas científicas [...]” (CARVALHO, 2009, p. 9). Desta forma os *resultados* do problema são irrelevantes (LIMA, 1980). Logo, o papel do professor é fundamental, pois cabe a ele ser o *mediador* durante processo de aprendizagem da criança, ou seja, cabe a ele propiciar a interação tanto entre os alunos, como entre ele e seus alunos (LEÃO, 1999):

[...] criando situações problemáticas estará permitindo o surgimento de momentos de conflito para o alfabetizando e conseqüentemente, o avanço cognitivo; estará considerando o aprendiz como um ser ativo, aquele que não espera passivamente que alguém venha lhe ensinar alguma coisa para começar a aprender, uma vez que por si só compara, ordena, classifica, reformula e elabora hipóteses, reorganizando sua ação em direção à construção do conhecimento (ELIAS, 1991 apud LEÃO, 1999, p. 201).

Segundo Lima (1980, p.131), “[...] a função do professor é, portanto, provocar desequilíbrios (o que em termos corriqueiros significa “fazer desafios” [...])”, de modo a “[...] *extrair a compreensão preexistente trazida pelos alunos e trabalhar com ela* [...]” (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2007, p. 38), questionando ativamente o pensamento dos alunos, criando na sala de aula tarefas e condições em que o pensamento do estudante possa se revelar, transpondo, pois, o modelo no qual o aluno é uma *tabula rasa*, a ser preenchido pelo professor (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2007). Assim, “[...] as concepções iniciais dos estudantes fornecem então a base sobre a qual se constrói a compreensão mais formal do assunto” (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2007, p. 39).

Deste modo, “[...] não basta o professor *saber que* aprender é também apoderar-se de um novo gênero discursivo, o gênero científico escolar, ele também precisa *saber fazer* com que seus alunos aprendam a argumentar [...]” (CARVALHO, 2009, p. 9), ou seja, fazer com que eles sejam capazes de distinguir afirmações contraditórias, as evidências que dão ou não apoio às afirmações, além da capacidade de integração dos méritos de uma afirmação. É necessário “[...] *saber criar* um ambiente propício para que os alunos passem a refletir sobre seus pensamentos, aprendendo a reformulá-los por meio da contribuição dos colegas, mediando conflitos pelo diálogo e tomando decisões coletivas” (CARVALHO, 2009, p. 9). Em síntese:

Primeiro: é importante para o professor tomar consciência do que faz ou pensa a respeito de sua prática pedagógica. Segundo, ter uma visão crítica das atividades e procedimentos na sala de aula e dos valores culturais de sua função docente. Terceiro, adotar uma postura de pesquisador e não apenas de transmissor. Quarto, ter um melhor conhecimento dos conteúdos escolares e das características de aprendizagem de seus alunos (MACEDO, 1994 apud LEÃO, 1999, p. 201).

Conseqüentemente, o professor, ao utilizar-se do construtivismo, deve aceitar que não é mais o centro do ensino e da aprendizagem, compreendendo que a criança e o adolescente aprendem em interação um com o outro (sendo que este pode ser o próprio professor ou seus colegas de classe). Por isso, a hegemonia do professor deve dar lugar à competência, de modo a criar situações problematizadoras que provoquem o raciocínio do aluno e resultem em aprendizagem satisfatória (LEÃO, 1999), considerando que:

[...] iniciar um conteúdo novo por um conjunto de definições logicamente estruturadas (se... então), planejar experimentos onde a separação de variáveis é condição necessária, selecionar problemas em que o raciocínio proporcional é o ponto de partida são atividades que requerem do aluno muito mais do que ser um bom estudante e prestar atenção às aulas (CARVALHO, 1989, p. 5-6).

Portanto, não existe uma única metodologia de ensino que seja infalível para todos os conteúdos. Para tornar possível que o aluno seja um agente ativo é necessário utilizar-se de uma pluralidade de práticas de ensino, visto que:

[...] as aulas expositivas *podem* ser modos maravilhosamente eficientes para transmitir novas informações para a aprendizagem, para estimular a imaginação e para aguçar as faculdades críticas dos estudantes; mas escolheríamos outros tipos de atividade para extrair as idéias preconcebidas e o nível de compreensão dos alunos, ou para ajudá-los a perceber o poder de

utilizar estratégias metacognitivas para monitorar sua aprendizagem. As experiências práticas *podem* ser uma maneira eficiente de fundamentar o conhecimento emergente, mas sozinhas não evocam a compreensão conceitual subjacente que ajuda a generalização. Não existe nenhuma prática de ensino que seja universalmente melhor (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2007, p. 41).

Assim, devemos utilizar diversas ferramentas para tornar possível o ensino-aprendizado, como utilização da história da ciência, laboratório aberto, questões abertas, problemas abertos, laboratório demonstrativo (CARVALHO, 2009) e até mesmo, aulas expositivas, para sintetizar as hipóteses levantadas pelos alunos em cada metodologia, visto que, o aluno não conseguirá, em algumas aulas, descobrir sozinho todas as leis que demoraram séculos para serem desenvolvidas como nós a conhecemos hoje. Esse, aliás, é um dos grandes equívocos com relação à teoria construtivista: acreditar que os professores nunca podem dizer nada diretamente aos alunos, mas apenas permitir que eles construam o conhecimento por si mesmos (BRANSFORD; BROWN; COCKING, 2007). Desta forma, cabe ao professor, pesquisar e verificar qual dessas metodologias será cabível para o conteúdo visado, sendo muitas vezes necessário utilizar mais que uma alternativa para que se atinja o objetivo almejado, levando em conta que, o professor não ensina: apenas ajuda o aluno a aprender (LIMA, 1980), sendo seu papel o de “[...] construir com os alunos essa passagem do saber cotidiano para o saber científico [...]” (CARVALHO, 2009, p. 26). Portanto, “[...] onde houver um professor “ensinando”... aí não está havendo uma escola piagetiana!” (LIMA, 1980, p. 131).

2.4 ENSINO CONSTRUTIVISTA: A CONTRIBUIÇÃO DO PIBID

A compreensão de que o ensino tradicional não está sendo eficaz é um ponto de confluência e acordo entre os pesquisadores que produzem conhecimento no campo educacional. Entretanto, atualmente nos “[...] deparamos com inúmeras possibilidades de fazer um ensino melhor do que outrora [...]” (COLOMBO JUNIOR, 2009, p. 28), visto que até então, “[...] quase sempre se tinha um professor rígido e sem muita didática, incumbido de fazer o aluno aprender a qualquer custo [...]” (COLOMBO JUNIOR, 2009, p. 27). Porém, as aulas ainda têm sido muito mais desenvolvidas a partir da própria disciplina do que das experiências dos alunos (PÉREZ-GÓMEZ, 1998 apud GARCIA e HIGA, 2007), não levando em conta o papel relevante que o aluno ocupa nos processos de ensino, principalmente porque este traz, para as

aulas, um conjunto de experiências individuais e coletivas que interferem na apropriação dos conhecimentos escolares. Este não é um problema exclusivo do ensino fundamental e médio:

[...] esse modelo de ensino-aprendizagem, que se estrutura independentemente dos conteúdos culturais que os alunos já construíram socialmente, também se expressa na forma como são organizadas as aulas no Ensino Superior, e em particular nos cursos de formação de professores, nos quais a idéia de que o conhecimento é algo a ser transmitido é aceita de forma hegemônica (GARCIA e HIGA, 2007, p. 2).

Assim, os futuros docentes mostram um grande distanciamento das teorias educacionais recentes, apresentando a sala de aula como lugar da “transmissão de conhecimentos” (GARCIA e HIGA, 2007). Isso é corroborado, em parte, porque nos cursos de Licenciatura em Ciências Exatas em geral, “[...] a ênfase maior é dada a disciplinas específicas (comumente chamadas de *hard*) ao passo que disciplinas pedagógicas e questões práticas são menos trabalhadas [...]” (COLOMBO JUNIOR, 2009, p. 30). Deste modo, “[...] na ausência de alternativas e em meio aos conflitos formados, muitos professores acabam usando práticas aprendidas com seus ex-professores, práticas rejeitadas por eles quando alunos [...]” (QUADROS et al., 2006 apud COLOMBO JUNIOR, 2009, p. 30), ou seja, permanecem a utilizar o modelo de ensino tradicional. Assim:

[...] neste contexto, nos últimos anos alguns indícios apontam que a prática docente está sendo repensada. Vemos de um lado a intensificação de debates sobre a formação docentes, as pesquisas sobre a formação inicial e trabalho em sala de aula. Por outro, as ações governamentais por meio de leis e programas, tentam ditar medidas para a melhoria do ensino no país [...] (COLOMBO JUNIOR, 2009, p. 30).

Uma dessas ações é o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), o qual tem por objetivo antecipar os vínculos entre os futuros docentes e as salas de aula da rede pública de ensino. A intenção do programa é buscar melhorias no ensino das escolas públicas. Entre suas propostas está: incentivar a formação de docentes em nível superior para a Educação Básica; contribuir para a valorização do magistério; inserir os licenciandos no cotidiano de escolas da rede pública de educação, proporcionando-lhes oportunidades de criação e participação em experiências metodológicas, tecnológicas e práticas docentes de caráter inovador e interdisciplinar que busquem a superação de problemas identificados no processo de ensino-aprendizagem; e, contribuir para a articulação entre teoria e prática

necessárias à formação dos docentes, elevando a qualidade das ações acadêmicas nos cursos de licenciatura (CAPES, 2013).

Esse contato com práticas docentes de caráter inovador, que busquem superar o ensino tradicional foi essencial para que nós, do PIBID – Física da Universidade Estadual de Maringá (UEM), estabelecêssemos o primeiro contato com o construtivismo. Ao longo de um trabalho que têm durado mais de três anos, foi possível modificar a concepção de que uma “boa aula” é aquela onde os conhecimentos são *transmitidos* de forma clara e concisa. Por meio de discussões, leituras de texto e preparação de sequências didáticas que utilizavam os pressupostos construtivistas, tivemos a oportunidade de refletir, analisar, preparar e aplicar esse modelo, permitindo compreender quais são os déficits do ensino tradicional e como podemos superá-lo.

A partir disso, surgiram reflexões sobre como utilizar adequadamente a história da ciência, de modo a levar em conta as concepções alternativas dos alunos e contribuir para melhor compreensão de determinados conteúdos, estando ciente de que essa metodologia não é adequada para trabalhar todos os conteúdos estruturados ao longo do ano. De acordo com Carvalho (1989), o professor deve levar em conta, de um lado, o processo histórico da construção de um conceito e, de outro, uma teoria que explique como este é construído pelo aluno. Desse modo, “[...] a importância do professor conhecer a história da Ciência está em poder compreender seus alunos, pois inúmeras vezes o raciocínio encontrado em sala de aula é muito semelhante ao raciocínio que um dia a Ciência já considerou como correto [...]” (CARVALHO, 1989, p. 4). Assim:

[...] está errado o aluno pensar como um grande físico de outrora? Não. Porém, o nosso jovem vive no final do século XX e não no século XIV, e a obrigação da escola é ajudar esse jovem a construir a sua visão de mundo compatível com os conhecimentos adquiridos pela sociedade nestes últimos seis séculos [...] (CARVALHO, 1989, p. 4).

3 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE FÍSICA

3.1 IMPORTÂNCIA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO

A história da ciência tem sido considerada, por diversos autores, como um mecanismo importante no ensino de ciências (CARVALHO, 1989; CARVALHO; SASSERON, 2010; CASTRO, 2009; MARTINS, 2006; MATTHEWS, 1995), pois “[...] nos apresenta uma visão a respeito da natureza da pesquisa e do desenvolvimento que não costumamos encontrar no estudo didático dos resultados científicos [...]” (MARTINS, 2006, p. xxi) visto que, os livros científicos didáticos utilizados no Ensino Médio enfatizam apenas “[...] os resultados aos quais a ciência chegou – as teorias e conceitos que aceitamos [...] – mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência [...]” (MARTINS, 2006, p. xxi).

Assim, a compreensão da história da ciência é fundamental para que se consiga distinguir “[...] as transformações sofridas pelos conceitos físicos constantes no livro didático [...]” (CORDEIRO; PEDUZZI, 2012, p. 184), propiciando aos professores a “[...] capacidade de avaliar e criticar o que, porventura, não for adequado no livro didático – tanto em termos estritamente conceituais, quanto em termos históricos e filosóficos” (CORDEIRO; PEDUZZI, 2012, p. 184).

De fato, o ensino de Física baseado nos livros didáticos comuns corrobora com a prática de ensino tradicional, apresentando uma ciência fragmentada, criada por “mentes brilhantes”. Deste modo:

[...] não permite que as grandes questões levantadas pelo ser humano ao longo da história sejam discutidas em sala de aula, já que o conhecimento é apresentado como um produto acabado, fruto da genialidade de algumas mentes privilegiadas, **levando os alunos a concluir que são incapazes de fazer ciência ou que nada mais existe a ser descoberto ou inventado.** Isto contribui para a elevação dos índices de analfabetismo científico dos alunos, mesmo que freqüentem normalmente as aulas de ciências, já que não conseguem se interessar pelo que estão estudando (GARDELLI, 2004, p.1, grifo nosso).

Essa necessidade de uma contextualização do ensino, de modo a completar outras abordagens no ensino científico (MARTINS, 2006) é uma das preocupações expressas nos Parâmetros

Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) e nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), para que sejam atingidas as habilidades almejadas para os estudantes de física, possibilitando que estes compreendam o conhecimento científico e tecnológico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social (BRASIL, 2002). Assim:

[...] espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, **é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas [...]** (BRASIL, parte III, 2000, p. 22, grifo nosso).

Esta preocupação com uma abordagem histórica já havia sido sugerida por Ernst Mach, filósofo alemão do século XIX, defendendo que esta ferramenta é necessária para compreender os processos de construção dos conhecimentos científicos (CASTRO, 2009; GARDELLI, 2004; MATTHEWS, 1995), visto que:

[...] a investigação histórica do desenvolvimento da ciência é extremamente necessária a fim de que os princípios que guarda como tesouros não se tornem um sistema de preceitos apenas parcialmente compreendidos ou, o que é pior, um sistema de pré-conceitos. **A investigação histórica não somente promove a compreensão daquilo que existe agora, mas também nos apresenta novas possibilidades** (MACH, 1883/1960 apud MATTHEWS, 1995, p. 169, grifo nosso).

Seguindo com este raciocínio, Matthews (1995) sugere que a utilização da história, filosofia e sociologia da ciência fornece algumas respostas para a superação da crise do ensino tradicional, pois:

[...] **podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas**, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; **podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica**, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; **podem melhorar a formação do professor** auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura

das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas [...] (MATTHEWS, 1995, p. 165, grifo nosso).

Nessa óptica, o uso *adequado* da história da ciência possibilita ultrapassar a visão difundida nas aulas tradicionais, que mostram a ciência como um produto acabado, as quais atribuem ao conhecimento científico “[...] uma falsa simplicidade que se revela cada vez mais como uma barreira a qualquer construção, uma vez que contribui para a formação de uma atitude ingênua frente à ciência [...]” (CASTRO; CARVALHO, 1992, p. 227-228), pois transmite “[...] a falsa impressão de que a ciência é algo atemporal, que surge de forma mágica e que está à parte de outras atividades humanas [...]” (MARTINS, 2006, p. xxii).

Deste modo, introduzir a dimensão histórica torna o conteúdo mais interessante e mais compreensível, por “[...] trazê-lo para mais perto do universo cognitivo não só do aluno, mas do próprio homem, que, antes de conhecer cientificamente, constrói historicamente o que conhece” (CASTRO; CARVALHO, 1992, p. 228). Portanto, é indispensável que, no conjunto de atividades de História e Filosofia das Ciências que tem por objetivo introduzir os alunos no universo das ciências, fosse salientado que:

[...] a Ciência é uma construção histórica, humana, viva, e, portanto, caracteriza-se como proposições feitas pelo homem a partir de seu olhar imerso em seu contexto sócio-histórico-cultural; [...] a Ciência produz conhecimentos abertos, sujeitos a mudanças e reformulações; [...] a construção destes conhecimentos é guiada por paradigmas que influenciam a observação e a interpretação do fenômeno; [...] o conhecimento científico não é construído pontualmente, sendo um dos objetivos da Ciência criar interações e relações entre teorias (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 110-111).

Ou seja, estudar adequadamente alguns episódios históricos permite compreender o processo social (coletivo) e progressivo da construção do conhecimento, “[...] permitindo formar uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações [...]” (MARTINS, 2006, p. xxii), possibilitando a formação de um espírito crítico e a desmitificação do conhecimento científico, sem deixar de atribuir seu devido valor (MARTINS, 2006). Isto é importante para compreender que “[...] a ciência não brota pronta, na cabeça de “grandes gênios”. Muitas vezes, as teorias que aceitamos hoje foram propostas de forma confusa, com muitas falhas, sem possuir uma base observacional e experimental [...]” (MARTINS, 2006, p. xxii). Dessa forma, na ciência, as teorias, ideias, vão sendo

gradativamente aperfeiçoadas, através de debates e críticas, transformando totalmente os conceitos tidos inicialmente, na grande maioria das vezes (MARTINS, 2006). Assim:

[...] nosso conhecimento foi sendo formado lentamente, através de contribuições de muitas pessoas sobre as quais nem ouvimos falar e que tiveram importante papel na discussão e aprimoramento das idéias dos cientistas mais famosos, cujos nomes conhecemos (MARTINS, 2006, p. xxii).

Além disso, o estudo adequado de alguns episódios históricos permite também apreender que “[...] a ciência não é o resultado da aplicação de um “método científico” que permita chegar à verdade [...]” (MARTINS, 2006, p. xxiii). Dito de outra forma, não há uma “receita” pronta, assim como uma receita de bolo, na qual, seguindo sequencialmente os passos, é possível chegar a uma conclusão, ou ainda, provar uma teoria. Pelo contrário, “[...] as teorias científicas vão sendo construídas por tentativa e erro, elas podem chegar a se tornar bem estruturadas e fundamentadas, mas jamais podem ser *provadas* [...]” (MARTINS, 2006, p. xxiii), visto que o processo científico é extremamente complexo, não é linear e não segue um único método científico. Assim, “[...] o estudo histórico de como um cientista realmente desenvolveu sua pesquisa ensina mais sobre o real processo científico do que qualquer manual de metodologia científica” (MARTINS, 2006, p. xxiii). Deste modo, é possível compreender quais as hipóteses ou conjecturas refutadas, quais as ideias preconcebidas tidas pelos pesquisadores ao fazerem suas observações e experimentos, como o contexto histórico-social estava a influenciar, entre outros diversos aspectos que influem diretamente na construção do conhecimento científico (MARTINS, 2006).

Outro ponto que deve ser salientado é a necessidade de compreender que a ciência muda ao longo do tempo, sendo apenas um conhecimento provisório “[...] construído por seres humanos falíveis e que por seu esforço comum (social), tendem a aperfeiçoar esse conhecimento, sem nunca possuir a garantia de poder chegar a algo definitivo [...]” (MARTINS, 2006, p. xxiii). Dessa forma, torna-se possível desconstruir as concepções ingênuas tidas pelos estudantes (de todos os níveis), seus professores e o público em geral, que “[...] concebem a ciência com “a verdade”, “aquilo que foi provado” – algo imutável, eterno, descoberto por gênios que não podem errar [...]” (MARTINS, 2006, p. xxiii).

Somente pelo estudo e análise da história torna-se possível saber se uma visão sobre a ciência é inadequada e qual melhor descreve a realidade, pois uma visão anticientificista é igualmente falsa: defender a ideia de que todo conhecimento não passa de mera opinião, que não há razões suficientes para aceitar as concepções científicas, também não é verdade (CUPANI, 2004 apud MARTINS, 2006). É preciso modificar essas visões distorcidas da ciência, conscientizando-os de que:

[...] **embora nada garantida que os cientistas tomem decisões acertadas, suas escolhas não são totalmente cegas**: há evidências a favor ou contra cada posição e é possível pesar cada lado e preferir um ao outro, com base nos conhecimentos de cada época [...] (MARTINS, 2006, p. xxiii, grifo nosso).

Por fim, o estudo histórico possibilita, também, perceber que “[...] a ciência não se desenvolve em uma torre de cristal, mas sim em um contexto social, econômico, cultural e material bem determinado [...]” (MARTINS, 2006, p. xxiv), pois, segundo Martins (2006), não podemos considerar a ciência como algo totalmente “puro”, que independe do lugar e da época em que se desenvolve, mas também não devemos supor a ciência como um mero discurso ideológico da sociedade onde se desenvolveu, não possuindo valor objetivo. Assim, “[...] é necessário levar também em conta os fatores internos da ciência, tais como os argumentos teóricos e as evidências experimentais disponíveis em cada momento” (BARRA, 1998 apud MARTINS, 2006, p. xxiv). Deste modo:

[...] o estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as interrelações [sic] 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, 2006, p. xxi-xxii, grifo nosso).

Em síntese, o estudo *adequado* da história da ciência, possibilitará criarmos uma “[...] visão mais adequada e bem fundamentada da natureza das ciências, de sua dinâmica, de seus aspectos sociais, de suas interações com seu contexto, etc.[...]” (MARTINS, 2006, p. xxiv), trazendo inúmeras contribuições para o processo de ensino-aprendizagem.

Assim, se o trabalho científico for colocado em suas reais dimensões, poderá dessa forma, “[...] despertar vocações em jovens, quanto suscitar da sociedade o apoio que merece, em suas

devidas proporções” (MARTINS, 2006, p. xxv), pois estimula nestes a pretensão de também contribuir com a ciência. Portanto, “[...] além de poder ajudar a transmitir uma visão mais adequada sobre a natureza da ciência, a história das ciências pode auxiliar no próprio aprendizado dos conteúdos científicos [...]” (MARTINS, 2006, p. xxv).

Porém, surge-nos a questão: “[...] de que maneiras o desenvolvimento cognitivo individual e o processo de desenvolvimento conceitual histórico esclarecem um ao outro? [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 178). Nos últimos quarenta anos, devido à influência de Jean Piaget, os educadores começaram a compreender que os alunos não são “tabula rasa”, pelo contrário, trazem consigo concepções alternativas que, em geral, tendem a resistir à substituição pelas concepções da ciência atual (PIAGET; GARCIA, 1987 apud MARTINS, 2006). Assim, “[...] seja qual for o nível de ensino considerado, as aprendizagens não enchem o vazio da ignorância, mas estão em concorrência com aquilo que os alunos sabem ou julgam saber [...]” (ASTOLFI; PETERFALVI; VÉRIN, 1998, p. 53). Se as concepções alternativas não forem reconhecidas e transformadas progressivamente em concepções científicas elas continuarão a existir, “[...] paralelamente às concepções científicas impostas pelo professor, interferindo constantemente com sua efetiva compreensão, aceitação e aplicação [...]” (MARTINS, 2006, p. xxv).

Portanto, o conhecimento da história da ciência faz-se necessário, tanto para o docente quanto para o educando, visto que esta auxiliará para uma transformação conceitual (MARTINS, 2006). Poderíamos nos questionar: de que modo o conhecimento desta auxiliará no ensino-aprendizagem? A resposta parte do princípio de que, segundo Piaget (1970, apud MATTHEWS, 1995, p. 178), “[...] *a hipótese fundamental da epistemologia genética é de que existe um paralelismo entre o progresso alcançado na organização lógica e racional do conhecimento (história da ciência) e os processos psicológicos formativos correspondentes*”. Ou seja, “[...] a criança, de fato, parece possuir uma capacidade de compreensão anterior a qualquer instrução, ou uma credulidade ingênua, que se assemelha às primeiras noções científicas, ou noções pré-científicas” (MATTHEWS, 1995, p. 179). Assim, as resistências tidas pelos alunos se aproximam das dos próprios cientistas do passado; e, por mais “absurdas” que pareçam suas ideias, elas podem ser semelhantes às que foram aceitas em outros tempos pela comunidade científica (MARTINS, 2006).

Dessa forma, o aluno precisa passar por um processo semelhante ao desenvolvimento histórico da ciência (BARROS; CARVALHO, 1998). Logo, o conhecimento da história da ciência torna-se um importante aliado no processo de ensino-aprendizagem, visto que:

[...] examinando exemplos históricos, com o distanciamento emocional que isso permite, o estudante pode se preparar para aceitar que um processo semelhante ocorra com suas próprias idéias. Pode perceber que, na história, sempre houve discussões e alternativas, que algumas pessoas já tiveram idéias semelhantes às que ele próprio tem, mas que essas idéias foram substituídas por outras mais adequadas e mais coerentes com um conjunto de outros conhecimentos (MARTINS, 2006, p. xxvi).

Assim, os alunos “[...] sentem-se mais autorizados a formular explicações mais significativas ou em um nível mais profundo [...]” (CASTRO, 2009, p. 106). Dessa forma, “[...] deixam de se contentar com a mera repetição de definições ou formulações que não são suas, para as quais sequer construíram sentido [...]” (CASTRO, 2009, p. 106) e se tornam críticos ao longo do processo de ensino-aprendizado.

Segundo Carvalho e Sasseron (2010), a questão que surge em consequência disso é: quais os textos históricos ou artigos originais que devemos escolher, com o objetivo de planejar aulas com a mínima certeza de que estas levarão os alunos a entender o processo da construção do conhecimento científico? “[...] De que modo uma atividade como essa deve ser encaminhada em sala de aula para que possibilite promover o envolvimento dos alunos na construção de sua visão adequada sobre ciências?” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 111). De acordo com Solbes e Traver (2001 apud CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 111-112), as atividades de História e Filosofia das Ciências, para as aulas do Ensino Médio, necessitam:

[...] valorizar adequadamente os processos internos do trabalho científico como: os problemas abordados, a importância dos experimentos, a linguagem científica e suas formas de argumentação; o formalismo matemático; a evolução dos conhecimentos (crises, controvérsias e mudanças internas); [...] valorizar adequadamente aspectos externos como: o caráter coletivo do trabalho científico; as implicações sociais da Ciência (CTS), e, [...] o relacionamento com as mudanças ambientais (CTSA).

Dessa forma, para se alcançar grande parte do objetivo de auxiliar na promoção de uma enculturação científica, uma alternativa é trabalhar com os “[...] textos originais dos cientistas relatando suas dúvidas, o que realizaram durante sua investigação e como resolveram

problemas e mencionando nuances de seu trabalho [...]” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 112).

Porém, são necessários alguns cuidados ao transformar os textos originais em atividades didáticas a serem desenvolvidas, sendo o primeiro deles, a linguagem apresentada pelos cientistas, visto que, os textos “[...] foram escritos para comunicar a descoberta para um interlocutor, quase sempre outro cientista ou mesmo uma sociedade científica [...]” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 112), sendo necessário avaliar se os alunos compreenderão a mensagem comunicada. O segundo cuidado a se tomar é com a tradução da língua original para a língua pátria, pois, é preciso atentar-se à “[...] revisão dessa tradução, ou seja, se considerarmos o idioma seja em relação à clareza e a correção conceitual, também merece preocupação” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 112), a fim de evitar distorções sobre o fato apresentado.

Além desses cuidados, faz-se necessário organizar a atividade em si para os estudantes, ou seja, é preciso organizar questões que levem os alunos a interagir com os textos históricos, de forma ativa. Para isso, “[...] essas questões não devem ser diretivas, mas relativamente abertas, para permitirem uma leitura e uma intervenção criativa dos alunos [...]” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 112), de modo a enfatizar os principais aspectos do texto, que sustentarão a discussão dos alunos, no trabalho em grupo e na interação com o professor. Para Carvalho e Sasseron (2010, p. 112), “[...] são essas questões que orientarão o olhar dos estudantes e que permitirão emergir, no debate, os valores da Ciência e uma visão do trabalho do cientista [...]”, possibilitando aos alunos, compreender o processo da construção do conhecimento científico. Porém, é preciso atentar-se ao fato de que:

[...] apesar de atividades que versem sobre tópicos de História e Filosofia das Ciências serem essenciais ao se pretender enculturar cientificamente os estudantes, **é necessário que estas estejam inseridas em sequências de ensino que permitam o trabalho em sala de aula levando em conta os conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais [...]** (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 113, grifo nosso).

Ou seja, além da utilização da história da ciência, torna-se indispensável a elaboração de outras atividades de orientação construtivista, tais como demonstrações, laboratórios investigativos e resoluções de problemas abertos (CARVALHO; SASSERON, 2010) para que ocorra a real aprendizagem do conteúdo pretendido. Em todas as atividades didáticas nas

quais o enfoque é a construção dos conhecimentos, é necessário que haja uma relação de respeito frente às ideias dos alunos (CARVALHO; SASSERON, 2010). Assim:

[...] o papel do professor em sala de aula caracteriza-se por ser o de mediador entre duas culturas e, portanto, com a responsabilidade de ajudar seus alunos a transpor as fronteiras entre a cultura cotidiana e a científica (CARVALHO, 2005 apud CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 113).

Surge, portanto, uma nova questão: que contribuições a história da ciência poderá fornecer na formação do professor? (CASTRO, 2009). O aspecto essencial é que o professor conheça “[...] os obstáculos que se colocaram no caminho do desenvolvimento científico, as dificuldades de percurso ao longo da evolução das idéias e a real complexidade dos conceitos que ensina [...]” (CASTRO, 2009, p. 107), pois esta possibilita que se compreenda quais as resistências e dificuldades dos alunos, como visto anteriormente. Dessa forma, “[...] as construções dos estudantes deixam de ser encaradas como absurdas e passam a ser aceitas como legítimas num processo cuja sofisticação e complexidade passam a ser consideradas com o devido cuidado” (CASTRO, 2009, p. 107).

Segundo Castro (2009, p. 109), “[...] o professor de Ciências precisa ter referências na ciência, se se quer que seu discurso seja marcado pelas características da ciência [...]” e o domínio dessas referências dar-se-á pelo estudo da história da ciência. Isso é de grande importância, visto que:

[...] as visões que professores possuem sobre o trabalho científico conduzem sua prática educativa, refletindo implícita ou explicitamente suas concepções sobre a NDC [*natureza da ciência*] que serão difundidas no Ensino de Ciências (OLIVEIRA; SILVA, 2012, p. 47).

Ou seja, “[...] as representações do professor acerca de um assunto de Física são as que ele construiu a partir das fontes de informação a que recorreu, as quais nem sempre são cientificamente muito corretas [...]” (VALADARES, 2012, p. 94). De fato, embora “[...] os significados que o professor pretende que os alunos assimilem sejam os significados partilhados pelos físicos das comunidades que investigam os assuntos, nem sempre tal sucede [...]” (VALADARES, 2012, p. 94).

Portanto, de acordo com Castro (2009, p. 109), esta é uma justificativa para a “[...] necessidade da disciplina história das ciências num curso de formação de professores [...]”, pois um conhecimento da história da ciência permite uma melhor compreensão tanto do conhecimento científico, como da natureza da ciência (OLIVEIRA; SILVA, 2012). Assim, se o professor conhecer os obstáculos que impediram o desenvolvimento da ciência e como esta se desenvolveu, compreenderá qual a estrutura do conhecimento que leciona e estará mais apto a propor estratégias adequadas, de modo a elaborar atividades que tenham uma função desequilibradora, a fim de tornar a aprendizagem mais significativa (CASTRO, 2009).

É preciso ficar claro que “[...] não estamos afirmando que o enfoque histórico tem o condão de vulgarizar a abordagem científica, no sentido de torná-la uma construção natural [...]” (CASTRO, 2009, p. 106), pois uma mera reprodução de narrativas anacrônicas da história da ciência no ensino reforça nos alunos uma visão equivocada da natureza da ciência, não contribuindo na formação do aluno, como foi proposto até então (OLIVEIRA; SILVA, 2012). Segundo Forato, Pietrocola e Martins (2011, p. 39), quando se utiliza narrativas históricas anacrônicas:

[...] são ignorados todos os fatores conceituais da ciência e os elementos contextuais de cada cultura que estiveram envolvidos no desenvolvimento de um determinado conhecimento científico. Inúmeros fatores, como, por exemplo, o papel dos erros e das controvérsias, a contribuição do debate entre diferentes teorias, os diversos pensadores que trabalharam no assunto, a influência de fatores sociais, políticos, econômicos, ou quaisquer outros que possam ter contribuído para o desenvolvimento da ciência, são simplesmente ignorados [...].

Dessa forma, devemos encarar o uso da História da Ciência como uma possibilidade a mais de trabalhar os diversos conceitos em sala de aula, “[...] oferecendo ao mesmo tempo, a oportunidade de desenvolver entre os estudantes visões e compreensões mais adequadas do que seja a atividade científica” (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 127).

3.2 CRÍTICAS À UTILIZAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Existem diversas barreiras para que a utilização adequada da História da Ciência possa desempenhar um papel que pode e deve ter no ensino (MARTINS, 2006). Para Martins (2006, p. xxvii), as três principais barreiras são:

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

Apesar de haver pessoas que são capazes de aprender história da ciência sozinhos, utilizando-se de bons livros, estes são exceção. Assim, “[...] normalmente, estuda-se e aprende-se um novo conhecimento com a orientação de professores que já possuem o domínio sobre aquele campo [...]” (MARTINS, 2006, p. xxvii). Para isso, seria de grande valia se existissem professores-pesquisadores de história das ciências ministrando essa disciplina, de modo a propiciar uma visão adequada sobre a história das ciências (MARTINS, 2006). Porém, segundo Martins (2006, p. xxvii), “[...] é importante enfatizar um ponto: estamos falando sobre professores-pesquisadores, ou seja, pessoas capazes de fazer pesquisa (em nível internacional) sobre história da ciência e não professores improvisados de história da ciência [...]”. Essa é umas das principais barreiras encontradas: poucos professores brasileiros buscaram uma formação no exterior nesta área e, no Brasil, existem poucas pós-graduações dedicadas à história das ciências (MARTINS, 2006). Conseqüentemente:

[...] há, sim, um certo número de pessoas que dão aulas de história da ciência sem ter uma formação adequada e que, por isso, podem nem saber distinguir um bom livro de um péssimo livro de história da ciência – e que podem, por esse motivo, **transmitir uma visão totalmente equivocada da história da ciência** [...] (MARTINS, 2006, p. xxvii, grifo nosso).

Desta forma, boa parte desses professores improvisados presta um grande desserviço a este campo do conhecimento, pois transmitem uma visão distorcida da história da ciência (MARTINS, 2006), visto que estes normalmente apresentam uma concepção empírica indutivista da ciência, destacando “[...] o papel “neutro” da observação e da experimentação [...], esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo” (GIL PÉREZ et al., 2001, p. 129). Essa visão dos professores (reforçadas pelos livros didáticos) são socialmente difundidas e aceitas, formando uma imagem “ingênua” da ciência (GIL PÉREZ et al., 2001).

A segunda barreira encontrada é a “[...] falta de material didático adequado que possa ser utilizado no ensino (textos sobre história da ciência, em português, de bom nível) [...]” (MARTINS, 2006, p. xxviii). O problema não reside na falta de livros em português sobre história das ciências – na verdade, existem muitos livros científicos e didáticos, diversas enciclopédias e até mesmo a Internet, que nos possibilita o contato com uma enorme quantidade de informações sobre a história das ciências (MARTINS, 2006). Porém, o problema é a qualidade desses materiais e não a quantidade. De fato:

[...] assim como existem os professores improvisados de história da ciência, que não têm formação adequada, há os escritores improvisados de história da ciência. São pessoas sem um treino na área, que se baseiam em obras não especializadas (livros escritos por outros autores improvisados), juntam com informações que obtiveram em jornais, enciclopédias e na Internet, misturam tudo no liquidificador (ou no computador) e servem ao leitor desavisado [...] (MARTINS, 2006, p. xxviii).

Deste modo, essas obras “improvisadas” tendem a transmitir “[...] não apenas informações históricas erradas, mas deturpam totalmente a própria natureza da ciência [...]” (MARTINS, 2006, p. xxviii). Logo, ao invés de contribuir para uma visão mais adequada e bem fundamentada sobre o desenvolvimento científico, esses livros e artigos contribuem para manter uma visão equivocada da natureza científica, reforçando a ideia de que existem “grandes gênios”, de que a ciência é algo linear, atemporal (MARTINS, 2006), entre outros aspectos que deveriam ser desconstruídos ao trabalhar adequadamente com a história da ciência.³

Essas visões equivocadas são propagadas através de revistas científicas populares, de jornais, televisão, Internet e acabam sendo transpostas nas salas de aula, onde são aprendidas e repetidas por outras pessoas, perpetuando essas visões (MARTINS, 2006). Corroborando com essa prática, “[...] os autores de livros científicos didáticos, geralmente com a melhor das intenções, introduzem em suas obras uma série de informações sobre história da ciência – em geral, também, completamente errôneas” (MARTINS, 2006, p. xxviii), ou seja, reforçam as distorções e os equívocos já existentes.

Assim, surge-nos a questão: “[...] quem *deveria poder* escrever sobre história da Física?” (MARTINS, 2001, p. 113). Levando em consideração o fato de que não é possível uma escrita

³ Como visto na seção anterior.

neutra, pois dependerá de quem o interpreta, analisa e emite opiniões, parece-nos óbvio que, “[...] em princípio, os livros e artigos sobre história da ciência deveriam ser escritos por quem entende do assunto [...]” (MARTINS, 2006, p. xxviii), ou seja, “[...] somente uma pessoa com um conhecimento e treino adequado nas técnicas de trabalho de história da ciência deveria poder escrever sobre história da ciência [...]” (MARTINS, 2001, p. 114), pois não basta apenas dominar os conteúdos da Física para ser capaz de escrever sobre a história da Física (GOMES, 2012). Portanto, recomenda-se que:

[...] um bom livro de história da ciência, além de ser escrito por quem entende do assunto, deve ser o resultado de um trabalho de pesquisa, do estudo dos melhores estudos já feitos sobre o tema e da leitura das obras originais (literatura primária) que estão sendo descritas [...] (MARTINS, 2006, p. xxviii).

Assim, evitar-se-á a repetição dos mesmos equívocos das fontes secundárias de pesquisa. Além disso, para poder utilizar nas salas de aula, um bom texto sobre história da ciência deve ser adequado aos alunos, sendo escrito em linguagem apropriada e simples, de modo a explicar da forma mais clara possível, “[...] sem pedantismos acadêmicos mas sem tentar simplificar e transformar em “água com açúcar” a complexidade histórica real” (MARTINS, 2006, p. xxviii).

Porém, deparamo-nos desta forma, com a terceira barreira, visto que “[...] há, infelizmente, muitos equívocos a respeito da própria natureza da ciência e seu uso na educação [...]” (MARTINS, 2006, p. xxix). Assim, ao se utilizar a história da ciência de forma inadequada, esta pode se tornar um obstáculo ao bom ensino de ciências. Segundo Martins (2006), alguns exemplos desses empecilhos à utilização da história da ciência são: (a) redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas; (b) concepções errôneas sobre o método científico e (c) uso de argumentos de autoridade. Na sequência, buscaremos explicar no que consiste cada um desses exemplos.

Há algum tempo, os livros didáticos eram criticados por não apresentarem uma abordagem histórica, porém, atualmente, “[...] a crítica recai sobre a forma como tem se dado a introdução desse enfoque” (CASTRO, 2009, p. 110), pois se tornou comum utilizar a história da ciência de forma banal, em afirmações isoladas, que corroboram com uma falsa concepção, constituindo o primeiro empecilho acima citado, baseado em ideias tais como: “[...] a ciência

é feita por grandes personagens [...]” (MARTINS, 2006, p. xxix), quando se ressalta apenas os nomes daqueles considerados gênios, como Newton, Galileu, Einstein, entre outros; “[...] a ciência é constituída a partir de eventos ou episódios marcantes, que são as “descobertas” realizadas pelos cientistas [...]” (MARTINS, 2006, p. xxix), ou seja, evidencia-se apenas um determinado acontecimento, e leva-se a crer que a partir deste, descobriu-se uma teoria científica:

[...] são encontradas descrições da contribuição de Newton como sendo o resultado de um *insight*, quando uma maçã caiu em sua cabeça – sem considerar o que ele havia estudado, o que existe em termos científicos na época e os argumentos utilizados por ele [...] (MARTINS, 2005, p. 314).

Assim, esse tipo de história da ciência “[...] apresenta, muitas vezes, alguns indivíduos como gênios que tiraram suas idéias e contribuições do nada e outros como verdadeiros imbecis que faziam tudo errado [...]” (MARTINS, 2005, p. 314). Ainda quanto às ideias que reforçam uma concepção errônea, tem-se que: “[...] cada alteração da ciência ocorre em uma data determinada [...]” (MARTINS, 2006, p. xxix), o que reforça a ideia de que a ciência é uma construção linear e sequencial; e por fim, a ideia de que “[...] cada fato independe dos demais e pode ser estudado isoladamente [...]” (MARTINS, 2006, p. xxix), ou seja, não depende do seu contexto histórico e de um trabalho coletivo, lento e gradual. Dessa forma, transmite-se uma visão totalmente distorcida do processo de construção do conhecimento (MARTINS, 2005), pois:

[...] é difícil ou impossível caracterizar em uma só frase ou em poucas palavras o que foi uma determinada mudança científica; e há estreita correlação entre acontecimentos de muitos tipos diferentes, o que torna difícil isolar uma “descoberta” e descrevê-la fora de seu contexto (MARTINS, 2006, p. xxix).

Além disso, o segundo obstáculo está relacionado com a compreensão que os professores de disciplinas científicas (inclusive os de nível universitário) têm sobre a natureza da ciência. A maioria destes ainda acreditam no método indutivista da investigação científica, baseados no positivismo, atribuindo grande importância à experiência (MARTINS, 2006). Deste modo, “[...] geralmente, professores que não têm interesse e competência suficientes em história e filosofia da ciência transmitem uma visão distorcida do funcionamento da ciência para seus estudantes [...]” (MARTINS, 2006, p. xxx), pois tentam mostrar que é possível se obter uma teoria a partir da observação e do experimento, “[...] ou como se pode *provar* uma teoria –

apesar da impossibilidade filosófica de tais tentativas” (MARTINS, 2006, p. xxx). Buscam de tal forma, reafirmar sua posição indutivista, estando muitas vezes, inconscientes de sua falta de compreensão e pretendendo utilizar a história da ciência para aperfeiçoar seu ensino (MARTINS, 2006).

Desta forma, acabam utilizando uma história da ciência simplificada e distorcida, além de se utilizarem da “Historiografia Whig” (MARTINS, 2005). Neste caso, procura-se no passado somente o que é aceito atualmente pela comunidade científica, ignorando completamente o contexto da época (MARTINS, 2005). Isso deve ser evitado, pois não se pode cair na tentação de “[...] interpretar feitos do passado à luz das teorias presentes e que seriam **impensáveis no passado** [...]” (BASTOS FILHO, 2012, p. 68, grifo nosso). Para Martins (2005, p. 314), “[...] o ideal seria que o historiador da ciência procurasse se familiarizar com a atmosfera da época que está estudando sem perder de vista o que veio depois [...]”. De modo que, uma utilização adequada da história da ciência só ocorrerá “[...] se forem utilizados exemplos históricos *reais* e não as lendas sem fundamento que são repetidas por quem nunca fez pesquisa histórica” (MARTINS, 2006, p. xxx), como ocorre atualmente.

O terceiro obstáculo para a utilização da história da ciência no ensino é o seu “[...] uso para tentar obrigar a aceitação dos conhecimentos científicos, através de argumentos de autoridade [...]” (MARTINS, 2006, p. xxx). Ou seja, a fim de impor as crenças científicas e menosprezar os aspectos fundamentais da própria natureza da ciência, invoca-se uma suposta certeza científica fundamentada em um nome famoso (MARTINS, 2006). Essa *crença científica* “[...] corresponde ao conhecimento apenas dos resultados científicos e sua aceitação baseada na crença na *autoridade* do professor ou do ‘cientista’ [...]” (MARTINS, 2006, p. xxx), diferentemente do *conhecimento científico*, que diz respeito a “[...] conhecer os resultados científicos, aceitar esse conhecimento e *ter o direito* de aceitá-lo, conhecendo de fato (não através de invenções pseudo-históricas) como esse conhecimento é justificado e fundamentado [...]” (MARTINS, 2006, p. xxx).

Deste modo, um dos principais meios para se adquirir conhecimento científico é através da história da ciência: estudando o contexto científico, as bases experimentais, as diversas alternativas existentes na época, e a dinâmica do processo de descoberta (ou invenção), a justificação, a discussão e a propagação das ideias torna-se possível compreender como uma teoria foi justificada e porque é a mais aceita em um determinado período e ainda aprender

sobre a natureza da ciência (MARTINS, 2006). Porém, conforme Martins (2006, p. xxxi), “[...] isso [...] não pode ser feito recorrendo-se apenas a livros populares sobre história da ciência. É preciso estar informado sobre as melhores pesquisas historiográficas, para poder conhecer os inúmeros detalhes relevantes”. Assim, a utilização da história da ciência no ensino não é algo simples e fácil. Existem muitas armadilhas, pois,

[...] exige-se o uso de conhecimento epistemológico e historiográfico especializado para evitar alguns erros que poderiam levar o professor a empregar erroneamente a história da ciência para transmitir uma ideia totalmente inadequada, como ocorre muitas vezes. É necessário, por isso, um trabalho de *pesquisa* para fundamentar um adequado uso da história da ciência no processo educacional (MARTINS, 2006, p. xxxi).

Devido a existências dessas inúmeras barreiras na utilização da história da ciência, alguns pesquisadores são contra sua utilização no ensino. Martin Klein (1972 apud MATTHEWS, 1995, p. 173) defendia que “[...] a única história possível nos cursos de ciência era a pseudo-história [...]”, pois acreditava que os professores de ciência utilizam os materiais históricos de forma não histórica, para atingir outros objetivos, argumentando, dessa forma que, “[...] se o ensino de ciências de qualidade alimenta-se da história, esta só pode ser de má qualidade [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 173). Portanto, acreditava que “[...] era melhor não se usar história do que usar-se história de má qualidade” (MATTHEWS, 1995, p. 173).

Para Whitaker (1979), no ensino de ciências, “[...] a ficção histórica prevalecia a fim de satisfazer-se não apenas aos fins pedagógicos, mas aos fins da ideologia científica ou a visão de ciência que tinha o autor [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 173). Ou seja, o que se ensina é uma quasi-história, uma história simplificada em que os erros podem estar relacionados às omissões, ou considerados como a “verdade pura”, sendo esta:

[...] resultado de muitos e muitos livros cujos autores sentiram a necessidade de dar vida aos registros desses episódios usando um pouco de história, mas que, de fato, acabavam re-escrevendo [sic] a história de tal forma que ela segue lado a lado com a física (WHITAKER, 1979 apud MATTHEWS, 1995, p. 174).

Esse assunto é de certa forma complexo, visto que, “[...] toda narração histórica é uma seleção ou ‘recorte’ da história [...]” (MARTINS, 2005, p. 315). Portanto, ao fazer esse recorte, “[...] o historiador pode selecionar e descrever apenas os fatos que corroborem seu ponto de vista e

ocultar os fatos que entrem em conflito [...]” (MARTINS, 2005, p. 315). Dessa forma, ele torna sua narrativa tendenciosa, pois não apresenta as ideias daquele estudioso de forma fiel já que estará omitindo aspectos importantes da obra e pode estar, além disso, “[...] fazendo uma narração falsa se as descrições entrarem em conflito com os fatos” (MARTINS, 2005, p. 315). Por isso, “[...] a 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), de modo que “[...] sofrem influência das visões sociais, nacionais, psicológicas e religiosas do historiador [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 174). Essa visão da abordagem histórica se parece com a ideia da reconstrução racional, descrita por Lakatos (1978 apud CASTRO, 2009, p. 104) “[...] como criada para sustentar uma versão da metodologia científica e na qual as figuras históricas são retratadas à luz da metodologia ortodoxa atual”.

A segunda questão levantada contra a utilização da história genuína da ciência nos cursos de ciências, defendida por Thomas Kuhn (1962) entre outros, era que “[...] a exposição à história das ciências enfraquecia as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 173).

Stephen Brush (1974) sugere que “[...] a história da ciência poderia ser uma influência negativa sobre os estudantes porque ela ceifa as certezas do dogma científico; certezas essas que são tão úteis para se manter o entusiasmo do principiante [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 177), sugerindo dessa forma que deveria ter acesso a história apenas um público científico maduro.

Assim como Matthews (1995), Gardelli (2004) e outros, não concordamos com esses pontos de vista, pois, “[...] as acusações lançadas por Klein, Brush e Kuhn são sérias, mas seus pontos principais podem ser acomodados sem que seja necessário excluir a história dos cursos de ciências [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 177). É necessário que a ciência seja vista do modo como foi sendo elaborada, “[...] como um organismo vivo, impregnado de condição humana, com as suas forças e as suas fraquezas e subordinados às grandes necessidades do homem na sua luta pelo entendimento e pela libertação” (CARAÇA, 1970 apud GARDELLI, 2004, p. 1). Portanto, conforme Castro (2009, p. 114):

[...] a história é sempre reconstruída, assim como também é permanente reconstrução a visão que temos dela. Não há uma história, há versões. Cada versão carrega uma visão dos fatos, da realidade. Dessa forma, cada versão da história da ciência revela não apenas uma postura historiográfica, mas também a concepção que se tem de ciência.

Deste modo, “[...] não podemos, por idealizarmos por demasia, por buscarmos uma abordagem perfeita, completa e, portanto, impossível, privar os nossos cursos e nossos textos didáticos de Ciências da abordagem histórica que nos for possível fazer [...]” (CASTRO, 2009, p. 116), visto que o objetivo principal desta inserção é a melhoria no ensino-aprendizagem da própria Física, ou seja, “[...] a melhoria tanto da compreensão dessa disciplina científica, como um todo, quanto da formação de atitudes e valores necessários ao desempenho, a pleno título, do cidadão” (BASTOS FILHO, 2012, p. 66).

Durante nossa análise histórica dos trabalhos de Joule, estivemos conscientes, pois, das dificuldades descritas ao longo desta seção, visto que não somos especialistas em história da ciência. Buscamos amenizá-los, utilizando os textos originais de Joule e fontes secundárias, “[...] ou seja, aquilo que outros historiadores da ciência já fizeram antes [...]” (MARTINS, 2001, p. 116). Ao longo do capítulo 5, buscamos examinar os originais de Joule, a fim de realçar o que é mais discutido e comentado pelos pesquisadores, entretanto, sem esgotar o assunto, visto que temos um tempo limitado.

Antes de iniciarmos nossa análise, vamos descrever quais são as concepções alternativas acerca do calor. Isso nos auxiliará quando formos examinar como os livros didáticos apresentam as ideias de Joule, de modo a compreender se estes contribuem ou não para reforçar as concepções já tidas pelos estudantes.

4 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

4.1 UMA VISÃO GERAL

O estudo das concepções que os alunos trazem para as salas de aula foi reforçado, nas décadas de 1970 e 1980, pelo estudo da teoria piagetiana (GOMES, 2012). Dentre as primeiras pesquisas, segundo Nardi e Gatti (2005), encontram-se os trabalhos de Doran (1972), Driver e Easley (1978), Viennot (1979), Watts e Zylbersztajn (1981), Mc Dermott (1984) e Driver (1989). Esses trabalhos “[...] foram realizados na área de mecânica e mostraram que existem padrões de respostas a várias situações Físicas em contradição com o conhecimento científico, tornando-se um obstáculo à sua assimilação [...]” (GOMES, 2008, p. 15).

No início, essas concepções receberam diversas denominações como “representações prévias” ou “*misconceptions*”, mas essas expressões “[...] remetem à idéia de um conhecimento incompleto e errôneo que precisa a todo custo ser modificado [...]” (GOMES, 2008, p. 15). Assim, após as críticas de Driver e Easley (1978 apud GOMES, 2008) a essas denominações, o termo concepções alternativas passou a ser utilizado, pois sugere “[...] que estas têm toda uma estrutura lógica e são úteis para interpretar os fenômenos tanto quanto as concepções científicas” (GOMES, 2008, p. 15).

Diversas pesquisas já foram realizadas nesta área e hoje conhecemos uma gama enorme de concepções alternativas. As conclusões provenientes dessas pesquisas nos mostram que essas concepções “[...] têm um caráter universal para cada conceito analisado, estando presentes em diversas idades, gêneros e culturas, sendo o ensino tradicional incapaz de modificá-las [...]” (GOMES, 2012, p. 13). Dessa forma, “[...] não somente precedem o ensino, o que é perfeitamente aceitável, mas acompanham-no, não cedendo com facilidade... e muitas vezes [...] sobrevivem-lhe na cabeça dos alunos no termo da escolaridade, inclusive na universidade [...]” (ASTOLFI; PETERFALVI; VÉRIN, 1998, p. 53). Dessa forma, de acordo com Villani et al. (1982 apud RAFAEL, 2007, p. 12-13):

[...] não é produtivo ignorar a bagagem cultural do aluno e todo o conjunto de noções espontâneas que ele carrega ao se deparar com o ensino formal na escola. Se não cuidar adequadamente da física espontânea dos alunos sobrarão duas estruturas superpostas, entre as quais os alunos escolherão

uma dependendo do contexto; em geral quando o problema envolver elementos do dia-a-dia e com características bem figurativas ou capazes de estimular a percepção, usarão o esquema espontâneo [...].

Ou seja, ao ignorar essa bagagem conceitual trazida pelo aluno para a sala de aula, o aluno pode demonstrar aparentemente que compreendeu o conteúdo, obtendo soluções corretas para problemas que apenas exijam aplicação direta de fórmulas (PEDUZZI, 1988 apud RAFAEL, 2007). Entretanto, ao deparar-se com as situações conceituais, envolvendo fenômenos do dia-a-dia, nas quais não é necessária a aplicação de fórmulas, o aluno recorre aos seus esquemas alternativos (RAFAEL, 2007).

Portanto, para que seja possível superar tais concepções, é necessário que o professor tenha conhecimento destas e elabore estratégias de ensino a fim de criar situações em que as concepções dos alunos entrem em conflito cognitivo, ou seja, situações que possibilitem aos alunos perceber que não é possível explicar todos os fenômenos utilizando apenas seu modelo conceitual (RAFAEL, 2007). Assim, o professor deve buscar ouvir o aluno, pois as concepções alternativas destes “[...] revelam-se justamente através de outras respostas, expressas à margem, que o professor ignora apontando rapidamente para outra mão levantada [...]” (ASTOLFI; PETERFALVI; VÉRIN, 1998, p. 89), pois, ao questionar os alunos, o professor espera ouvir apenas respostas prontas e não leva em consideração as respostas nas quais estes tentam explicar utilizando suas concepções. Além disso, o professor deve entender que, trabalhar as representações dos alunos consiste em substituir o método tradicional pelo debate das ideias e o confronto de opiniões, visto que, “[...] a explicitação de suas ideias permite aos alunos uma elaboração mais adequada das mesmas, colocando-os em melhores condições para examinarem as suas implicações e as compararem com as ideias dos outros [...]” (ASTOLFI; PETERFALVI; VÉRIN, 1998, p. 101).

Deste modo, conforme sugere Rafael (2007), pode-se utilizar de diversas metodologias para criar um conflito cognitivo, entre elas a utilização da História da Ciência, “[...] como forma de estabelecer um paralelismo entre algumas concepções alternativas dos alunos e importantes idéias mantidas no passado [...]” (RAFAEL, 2007, p. 10), visto que, muitas dessas concepções se relacionam com as ideias que fizeram parte da história da ciência e foram consideradas corretas por cientistas durante décadas (MARTINS, 2006). Como visto no capítulo anterior, fazer um estudo adequado da história da ciência, possibilita ao aluno compreender como ocorreu o desenvolvimento das ideias científicas, perceber que alguns cientistas já

acreditaram em ideias próximas àquela que ele próprio tem e, principalmente, entender a razão pela qual estas não são atualmente aceitas, pois foram substituídas por outras mais adequadas para explicar os fenômenos (MARTINS, 2006).

Entretanto, apesar das inúmeras pesquisas sobre concepções alternativas no ensino de Física, “[...] os seus resultados pouco têm chegado efetivamente à sala de aula, principalmente no Ensino Médio [...]” (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002, p. 25). Assim, essas concepções ainda constituem um dos principais fatores para as dificuldades apresentadas pelos alunos durante a aquisição do conhecimento científico (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002), visto que:

Embora o objetivo principal da escola seja o ensino do conhecimento científico, compreendemos que nem sempre é fácil fazer com que os alunos adotem a concepção científica vigente e abandonem suas concepções alternativas, pois essas concepções são produto de aprendizagem significativa, ou seja, são as idéias que têm significado para o aluno, mas talvez o importante fosse que o estudante adquirisse consciência de que tais significados são errôneos no contexto científico [...] (RAFAEL, 2007, p. 13).

Sabemos que a superação total não será possível. Alguns autores defendem que, algumas concepções estão enraizadas na linguagem cotidiana, “[...] dada a existência de um grande número de situações em que essas concepções são aplicadas com sucesso [...]” (RAFAEL, 2007, p. 13). Ou seja, “[...] dependemos das nossas concepções, expressas na linguagem cotidiana para comunicar e sobreviver no nosso dia-a-dia [...]” (MORTIMER; AMARAL, 1998 apud RAFAEL, 2007, p. 13). Portanto, ao invés de “[...] tentar suprimi-las, seria melhor oferecer aos alunos condições para tomar consciência de sua existência e saber diferenciá-las dos conceitos científicos” (MORTIMER; AMARAL, 1998 apud RAFAEL, 2007, p. 13), sendo este um dos papéis do professor: descobrir as concepções dos alunos sobre determinado conteúdo e basear nestes seus argumentos, de modo a auxiliar os alunos na construção da aprendizagem de um determinado conceito (GOMES, 2012). Por conseguinte, a aprendizagem será mais eficaz “[...] com o envolvimento ativo do aprendiz na construção do conhecimento [...]” (GOMES, 2012, p. 18) levando em consideração que, “[...] só é possível aprender com base no que já é conhecido [...]” (GOMES, 2012, p. 18).

4.2 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE O CALOR

Ainda hoje, existe uma grande dificuldade em distinguir os conceitos de calor e temperatura. Comumente, são utilizados como sinônimos. Essas dificuldades “[...] são de difícil superação devido ao fato de que muitos estudantes, mesmo após terminarem o bacharelado (em Física) persistem nas concepções espontâneas sobre calor [...]” (DIAZ apud SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008, p. 384). Dessa forma, segundo Silva, Laburú e Nardi (2008), o calor é, possivelmente, um dos conceitos mais difíceis tanto de aprender como também de ensinar, pois grande parte dos alunos ao descrever e explicar os diversos fenômenos utilizam suas representações, ou seja, empregam o calor como sendo algo que está contido nos corpos (sistema), de modo que, quanto maior sua quantidade, mais quente o corpo se encontra (DIAZ, 1987 apud KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002). Deste modo, “[...] há uma tendência de considerar o calor como uma substância, uma espécie de fluido, como propriedade dos corpos quentes, e o frio como propriedade contrária, ou seja, como ausência de calor” (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002, p. 26).

Em uma breve revisão sobre as concepções alternativas sobre calor e temperatura, encontramos que, além dessa, outras concepções mais utilizadas frequentemente são, de acordo com Cervantes (1987 apud KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002, p. 26):

- Segundo Macedo e Soussan (1986), “*o calor é geralmente associado a uma fonte ou a um estado; utiliza-se tanto o calor como a temperatura para designar um estado quente*”.
- Segundo Erickson (1979), “*interpreta-se também a temperatura como a medida da mistura de calor e de frio dentro de um objeto*”. [...]
- Segundo Tiberghien (1980), “*uma das dificuldades que apresentam os alunos a respeito do conceito de calor é a diferenciação deste como processo frente a uma propriedade interna da matéria como muitas vezes se associa*”.
- Segundo Erikson (1979 e 1980), “*a transmissão de calor através de uma barra metálica explica-se como a acumulação deste em uma parte da barra que vai propagando-se como um fluido ao outro extremo da mesma*”.

De maneira agravante, essas concepções são reforçadas pelos livros didáticos visto que, a maioria destes empregam “expressões infelizes”, como por exemplo, “Quando dois ou mais corpos **cedem** ou **absorvem quantidades iguais de calor** [...]” (GASPAR, 2000, p. 310, grifo nosso), como se o calor fosse uma propriedade intrínseca do corpo. Ou ainda, “[...] empregam

termos como ‘energia térmica’, por meio de um conceito indefinido, muitas vezes obscuro e ambíguo” (CINDRA; TEIXEIRA, 2004a, p. 180), estando mais coerentes com a teoria do calórico do que com a atual. Dessa forma, é preciso rever a forma como estes conceitos estão sendo ensinados, pois, não devemos ensinar os conceitos de calor e temperatura de modo *tradicional* (RAFAEL, 2007). Como visto, é necessário elaborar estratégias didáticas que tornem o aluno um sujeito ativo do processo, a fim de que elabore hipóteses e, a partir de um conflito cognitivo, possa compreender as limitações das suas concepções.

Ao longo da análise dos livros didáticos, buscaremos verificar se a forma como é abordado o conceito de equivalente mecânico de calor contribui ou não para reforçar as concepções alternativas dos alunos a respeito do calor.

5 O EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR

5.1 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O CONCEITO DE CALOR

Com o emprego do vapor em meados do século XVIII, inicia-se a produção moderna de energia (HOGBEN, 1952 apud PASSOS, 2009). A partir disso, as máquinas térmicas “[...] passaram a ser desenvolvidas e utilizadas inicialmente para bombear água das minas de carvão [...]” (PASSOS, 2009, p. 2), substituindo, gradualmente, as rodas d’água e os rotores eólicos em várias atividades industriais. O advento da máquina a vapor e a consequente revolução técnica deram início à Revolução Industrial, a partir da segunda metade do século XVIII até a primeira metade do século XIX (PASSOS, 2009). Neste período, conseqüentemente, ocorreu um grande avanço das indústrias, resultando no aumento da produção e da qualidade dos produtos industrializados (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010).

Paralelamente a esse processo de avanço tecnológico houve “[...] um avanço das ciências, principalmente da física e da química, pano de fundo de tal evolução [...]” (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010, p. 4). Assim, com o desenvolvimento das máquinas ocorreu, necessariamente, o desenvolvimento das ciências, pois, para “[...] tal desenvolvimento era primordial a melhoria do funcionamento das diversas máquinas, ao aumento dos seus rendimentos de trabalho [...]” (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010, p. 4). Deste modo, “[...] a revolução industrial constituiu-se, sem dúvida, num dos principais fatores externalistas para o desenvolvimento da física e, em particular, da termodinâmica nos séculos XVIII e XIX [...]” (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010, p. 4).

Porém, vale lembrar que, na época que foram construídas as primeiras máquinas a vapor, a teoria vigente era a teoria do calórico. Acreditava-se, portanto, que “[...] o calor era uma substância fluida, que permeava os corpos e que era indestrutível e que não podia ser criada [...]” (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010, p. 5). Assim, “[...] o trânsito do calor entre dois corpos era explicado em termos do fluxo desta substância entre eles [...]” (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010, p. 5).

Até então, “[...] parecia não ter existido uma preocupação em estabelecer uma diferenciação entre os conceitos de calor e temperatura [...]” (CINDRA; TEIXEIRA, 2004b, p. 242). O aperfeiçoamento dos termômetros contribuiu para o estabelecimento desta diferenciação, já no século XVIII, pelo médico e químico escocês Joseph Black (1728-1797) (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010; CINDRA; TEIXEIRA, 2004b; GOMES, 2012).

Conde Rumford (1753-1814), “[...] observando a fabricação de canhões quando era diretor do arsenal de Munique concluiu que o aquecimento provocado pelo atrito entre a broca e o tubo de canhão podia gerar calor, indefinidamente [...]” (PASSOS, 2009, p. 3). Inicialmente adepto da teoria substancialista, seus trabalhos provocaram o surgimento de hipóteses de que o calor deveria ser uma forma de movimento (GOMES, 2012). Ao longo de suas pesquisas, observou que um corpo, ao ser aquecido, não adquire um *peso adicional* (THOMPSON, 1799 apud GOMES, 2012). Buscando contestar a teoria do calórico, Rumford apresenta a seguinte conclusão:

É desnecessário acrescentar que qualquer coisa que qualquer corpo *isolado*, ou sistema de corpos, pode continuar a fornecer *sem limitação*, não pode possivelmente ser *uma substância material*, parece-me ser extremamente difícil, se não impossível, formar qualquer ideia distinta de qualquer coisa capaz de ser excitada e comunicada na forma em que o calor foi excitado e comunicado nessas experiências, a não ser o MOVIMENTO (THOMPSON, 1798 apud GOMES, 2012, p. 121).

As refutações de Rumford não foram suficientes para por fim à teoria do calórico (GOMES, 2012), pois, apesar de terem sido registradas as tentativas para estabelecer uma teoria cinética do calor, estas não foram aceitas pela comunidade científica por acreditarem ser mais plausível a teoria do calórico (CARDWELL, 1989 apud VALENTE, 1993), visto que os trabalhos de Black e Lavoisier proporcionaram uma quantificação de diversos parâmetros importantes para a compreensão dos fenômenos térmicos (VALENTE, 1993). Segundo Fox (1971 apud GOMES, 2012, p. 122):

Na década de 1800-1810, a teoria do calórico foi provavelmente mais amplamente aceita do que em qualquer outro momento de sua história. O questionamento da materialidade do calor, que tinha sido realizado na virada do século, não só por Rumford, mas também, [...] por Humphry Davy e Thomas Young, teve resultado extremamente pequeno, e a visão de que ‘[calor] é quase universalmente considerado o efeito de um fluido’ foi a que a maioria dos homens de ciência considerou aceitável em 1800, em 1810, ou mesmo em 1815, tanto quanto tinha sido em 1797, quando apareceu na

terceira edição da *Encyclopaedia Britannica*, pouco antes de Rumford, Davy, e Young exporem as suas críticas [...].

Apesar de não haver uma resposta satisfatória quanto às principais causas que levaram ao abandono da teoria do calórico, há uma unanimidade quanto a alguns fatores que a abalaram (GOMES, 2012). De acordo com Gomes (2012, p. 123-124):

[...] os pesquisadores concordam que o advento da conservação da energia, substituindo a conservação do calórico, deu o golpe final. Principalmente o cálculo do equivalente mecânico do calor realizado por Mayer e Joule [...]. O conceito de energia finalmente havia se firmado como elemento de ligação entre a mecânica e a termodinâmica [...].

O princípio da conservação da energia foi estabelecido por volta da metade do século XIX (PASSOS, 2009), visto que, entre os anos de 1830 e 1850, diversos pesquisadores descreveram conceitos e experimentos para uma completa enunciação da conservação da energia (GOMES, 2012), entre eles: Julius Robert von Mayer (1814-1878, Alemanha); Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894, Alemanha); James Prescott Joule (1818-1889, Inglaterra); Michael Faraday (1791-1867, Inglaterra) e Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832, França), entre outros que, segundo Kuhn (2011 apud GOMES, 2012, p. 52), “[...] compreenderam sozinhos partes essenciais do conceito de energia e de sua conservação [...]”.

Para Kuhn (1977), existem diversos fatores significativos e específicos do período, que desencadearam a descoberta “simultânea” do princípio da conservação da energia, entre eles: a disponibilidade dos processos de conversão, o interesse pelas máquinas, e o movimento da *Naturphilosophie*⁴ (GOMES, 2012; QUEIRÓS; CAMARGO; NARDI, 2009; VALENTE, 1993). Assim “[...] o primeiro fator retrata uma época marcada pela descoberta de vários processos de conversão entre as diferentes formas de energia [...]” (QUEIRÓS; CAMARGO; NARDI, 2009, p. 3), visto que “[...] já existia um conjunto de diferentes processos de conversão devido à proliferação de inúmeros fenômenos descobertos ao longo do século XIX, como a pilha de Volta, em 1800, que permitiu obter eletricidade por meio de reações químicas

⁴ Segundo Oliveira (2006 apud GOMES, 2012, p. 54): “[...] A palavra *Naturphilosophie* é proveniente do romantismo alemão [...]. Os historiadores preferem a utilização do termo original de forma que possa designar uma maneira específica de especulação no plano cultural onde ele conheceu um desenvolvimento rápido e fecundo. O período de seu surgimento é o final do século XVIII e nas décadas de 30 e 40 do século XIX este tipo de pensamento era bastante forte nas universidades alemãs”.

[...]” (PASSOS, 2009, p. 2). O segundo fator, de acordo com Kuhn, é um produto secundário da revolução industrial, sendo importante na determinação quantitativa da conservação da energia (QUEIRÓS; CAMARGO; NARDI, 2009). O terceiro fator é, para Kuhn, o responsável pela consolidação do princípio da conservação de energia (GOMES, 2012). Para ele, “[...] muitos dos descobridores da conservação da energia estavam consideravelmente predispostos a perceber uma única e indestrutível força na raiz de todos os fenômenos naturais [...]” (GOMES, 2012, p. 57).

O princípio da conservação da energia teve como ponto de partida “[...] encontrar ‘equivalência quantitativa uniforme entre cada um dos pares de poderes’ [...]” (GOMES, 2012, p. 59), sendo esta “[...] a relação numérica entre o trabalho feito sobre um corpo e o calor produzido [...]” (GOMES, 2012, p. 59), atualmente conhecido como “equivalente mecânico do calor”. De acordo com Passos (2009, p. 2):

[...] a necessidade de se determinar com precisão o custo da energia produzida fez com que a determinação de fatores de conversão, como o equivalente mecânico do calor, passasse a ser uma exigência dos novos tempos em que a máquina a vapor passou a ter um importante papel na economia [...].

Assim, uma vez estabelecida esse ponto de partida, “[...] não era difícil aplicar a mesma ideia a outras conversões energéticas [...]” (MARTINS, 1984, p. 78). Entretanto, segundo Gomes (2012, p. 59), “[...] houve, na ocasião, uma polêmica entre Joule e Mayer sobre quem fez isso pela primeira vez, de modo satisfatório [...]”. Deste modo:

[...] o estudo mostra que no final do século XIX já se considerava difícil afirmar quem teria descoberto o princípio da equivalência entre calor e trabalho, já que diversos estudiosos haviam abordado o tema, e como as meticulosas pesquisas experimentais de Joule permitiram a demonstração da equivalência de diferentes tipos de energia e contribuíram de forma definitiva para a elaboração da primeira lei da termodinâmica (PASSOS, 2009, 1).

Atualmente, através da “[...] análise dos textos históricos, se aceita que o mérito deva ser dado a Mayer [...]” (GOMES, 2012, p. 59). Dessa forma, buscaremos analisar algumas contribuições de Mayer, para na sequência, compreender melhor os argumentos presentes na construção do equivalente mecânico do calor, dado por Joule.

5.2 MAYER E O EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR

Julius Robert von Mayer (1814-1878), nasceu em Hielbronn, na Alemanha e formou-se em medicina em 1838, por influência do pai, que era farmacêutico (GOMES, 2012). Desde criança desejava conhecer a Índia, e “[...] o meio encontrado foi o de viajar num navio holandês, para as colônias holandesas, como médico [...]” (VALENTE, 1999, p. 201), em setembro de 1840, até fevereiro de 1841 (GOMES, 2012). Durante a viagem, na ilha de Java, Mayer observou que “[...] o sangue de seus pacientes, no clima mais quente, era mais escuro do que no clima mais frio da Europa, e associou esta diferença da cor à maior quantidade de oxigênio no sangue [...]” (PASSOS, 2009, p. 2), pois, devido às condições tropicais da ilha, era preciso uma menor quantidade de combustão dos alimentos para manter o calor do corpo (PASSOS, 2009). A partir disso, “[...] Mayer concluiu que a energia mecânica dos músculos provinha da energia química dos alimentos, sendo intercambiáveis a energia mecânica, o calor e a energia química [...]” (MASON, 2001 apud PASSOS, 2009, p. 2). Conforme Kuhn (1996 apud PASSOS, 2009, p.2), “[...] Mayer considerou que a oxidação interna deve balancear-se com respeito à perda de calor pelo corpo bem como com respeito à atividade física que o corpo desempenha [...]”. Por conseguinte, “[...] todo o processo de construção conceitual do princípio da conservação da energia de Mayer começa com a análise desse fenômeno biológico: a cor do sangue nos países quentes [...]” (GOMES, 2012, p. 69).

Dessa forma, alguns meses após retornar dessa viagem, ele envia seu primeiro artigo para publicação nos *Annalen der Physik und Chemie*, porém, este não é publicado e nem retorna a seu autor (GOMES, 2012; MELO, 2010; VALENTE, 1999). Neste artigo, com o título em alemão “*Über die quantitative und qualitative bestimmung der kräfte*” (“Sobre a determinação quantitativa e qualitativa das forças”), “[...] Mayer ainda não dispunha de um valor para o equivalente mecânico do calor [...]” (GOMES, 2012, p. 60), fazendo apenas considerações filosóficas e qualitativas sobre assunto.

Na sequência, em 1842, escreve uma nova versão do artigo, após ter aprofundado seus conhecimentos físicos, enviando-o para a revista *Annalen der Chemie und Pharmacie*, revista de Liebig, com o título “*Bemerkungen über die kräfte der unbelebten natur*” (“Observações sobre as forças da natureza inanimada”) (GOMES, 2012; MELO, 2010; VALENTE, 1999). Em seu artigo, busca “[...] encontrar respostas para o que devemos entender por “forças” e como elas se relacionam entre si [...]” (GOMES, 2012, p. 60), definindo “força” como a causa

das mudanças observadas, visto que, usando a lógica, nenhuma mudança acontece sem uma causa (GOMES, 2012). Analisando alguns exemplos práticos, Mayer consegue colocar o calor na categoria de um tipo de “força” (GOMES, 2012). Consequentemente, admite que “[...] é preferível supor que o calor surge do movimento, do que supor uma causa sem efeito ou um efeito sem causa [...]” (MAYER, 1842 apud MARTINS, 1984, p. 92). Para ele a “força de queda” (energia potencial), o “movimento” (energia cinética) e o “calor”, “[...] são diferentes formas de uma mesma coisa, mas que essa coisa – a “força”, em abstrato – não é propriamente nenhuma dessas três coisas ⁵ [...]” (MARTINS, 1984, p. 67). Dando prosseguimento, Mayer (1842 apud MARTINS, 1984, p.93) levanta a seguinte questão:

[...] de quão grande seja a quantidade de calor correspondente a uma determinada quantidade de força de queda de movimento. Por exemplo, podemos determinar a que altura devemos erguer um determinado peso acima do solo da Terra para que seu poder de queda seja equivalente ao aquecimento de um igual peso de água de 0° a 1°C [...].

Para responder tal questão, Mayer (1842 apud MARTINS, 1984, p. 93-94, grifo nosso) utiliza o seguinte raciocínio:

Pela aplicação das leis estabelecidas às relações de calor e volume dos gases encontra-se que o abaixamento do mercúrio que comprime um gás iguala-se à quantidade de calor liberada pela compressão e segue-se daí – sendo o índice de proporcionalidade das capacidades [térmicas] do ar atmosférico sob pressão constante e sob volume constante = 1,421, que **o abaixamento de um peso de uma altura de aproximadamente 365 m corresponde ao aquecimento de um igual peso de água, de 0° a 1°**. Compara-se com estes resultados as realizações de nossas melhores máquinas a vapor, e ver-se-á que apenas uma parte medíocre do calor aplicado sob a caldeira se transformou realmente em movimento ou erguimento de carga; e isto pode servir como justificação para a procura de outra forma vantajosa de produção de movimento, ao invés do desperdício da diferença química entre C e O, a saber: pela transformação da eletricidade, produzida por meios químicos, em movimento.

Assim, “[...] Mayer conclui que o calor produzido através de uma ação mecânica qualquer é proporcional ao trabalho empregado” (MARTINS, 1984, p. 66). Segundo Gomes (2012, p. 64), este “[...] foi extremamente conciso em sua resposta, deixando para explicar com mais detalhes a metodologia empregada, para encontrar esses valores, em seu próximo trabalho

⁵ Segundo Martins (1984, p. 67), “[...] esta é uma concepção muito semelhante ao nosso conceito moderno de energia [...]”.

publicado em 1845 [...]”. Este artigo, com o título “*Die organische bewegung in ihrem zusammenhang mit dem stoffwechsel, ein beitrag zur Naturkund*” (“O movimento orgânico e sua conexão com o metabolismo, uma contribuição para a História Natural”), foi publicado por conta própria, sob a forma de um livreto, após ter sido recusado até mesmo pela revista que publicou seu artigo de 1842, a *Annalen der Chemie und Pharmacie* (GOMES, 2012). Neste trabalho, Mayer fornece os detalhes dos cálculos feitos para encontrar o valor do equivalente mecânico do calor (GOMES, 2012; VALENTE, 1999) e explica que “[...] para fazer essa demonstração é necessário examinar o comportamento dos fluidos elásticos – gases – com o calor e o efeito mecânico [...]” (GOMES, 2012, p. 64). Para isso, ele utiliza os resultados encontrados por Gay-Lussac, que “[...] provaram, por meio de experimentos, que um fluido elástico ao se expandir no vácuo não sofre nenhuma alteração de temperatura. Ao contrário do que ocorre quando um gás se expande contra uma pressão em que a temperatura decresce [...]” (GOMES, 2012, p. 64). Dessa forma, Mayer está explicando, sutilmente, que durante a expansão de um gás há uma relação entre o calor e o efeito mecânico que é produzido (GOMES, 2012). Ao encontrar o valor do equivalente mecânico do calor, ele utiliza em seus cálculos teóricos o “[...] valor do calor específico do ar, a pressão constante, e o resultado da razão entre os calores específicos a volume constante e a pressão constante, ambos encontrados na época por Gay-Lussac [...]” (GOMES, 2012, p. 67). Dessa forma, de acordo com Martins (1984, p. 94), “[...] a diferença entre o equivalente mecânico do calor obtido – 3,6 J/cal – e o aceito atualmente – 4,186 J/cal – não é devida a um erro de cálculo ou de princípio, e sim aos dados inexatos utilizados por Mayer, mas os únicos disponíveis na época [...]”. Ou seja, se utilizássemos os valores numéricos atuais e realizássemos o mesmo procedimento de cálculo, obteríamos o valor correto para o equivalente mecânico do calor (GOMES, 2012). Segundo Gomes (2012, p. 67), “[...] os resultados de Gay-Lussac não eram conhecidos por boa parte da comunidade científica de seu tempo [...]”, sendo este um dos motivos dos ataques de Joule à teoria de Mayer (GOMES, 2012; VALENTE, 1999).

Deste modo, apesar de os argumentos utilizados por Mayer serem, conforme Cardwell (1989 apud VALENTE, 1993, p. 83), “[...] brilhantes, originais e com potencial interesse, os seus contemporâneos não deram muita importância às suas teorias por considerarem que os seus trabalhos tinham uma forte componente metafísica [...]”. Este é um dos fatores pelos quais explica a dificuldade tida por ele em publicar seus artigos (GOMES, 2012). Além disso, “[...] ele era de fora da academia, faltando-lhe um defensor do meio acadêmico, alguém que tivesse compreendido, corrigido e dado publicidade as suas ideias [...]” (GOMES, 2012, p. 69). Por

fim, “[...] a linguagem que ele utilizava para expressar as suas concepções não era a da Física de seu tempo [...]” (GOMES, 2012, p. 69), outro fator negativo durante a aceitação de suas ideias. Assim, segundo Maury (1986 apud PASSOS, 2009, p. 4), “Mayer foi o mais ‘azarado’ dos pesquisadores pois, embora tenha publicado os seus resultados sobre o equivalente mecânico do calor, em maio de 1842, foi Joule quem teve o próprio nome imortalizado como unidade de energia do SI [...]”.

5.3 JOULE E O EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR

James Prescott Joule (1818-1889) nasceu em Salford, na Inglaterra, próximo a Manchester, numa época de grandes transformações técnicas e sociais (VALENTE, 1999). Filho de um importante cervejeiro teve sua educação assegurada por tutores, pois, devido a uma ligeira deformidade espinhal e uma saúde frágil, não pode frequentar a escola. Sua educação científica, entre 1834 e 1837, foi assegurada por John Dalton (1766-1844), conhecido pelo seu extenso trabalho sobre a teoria atômica (GOMES, 2012). Conforme Crowther (1962 apud VALENTE, 1999, p. 299, tradução nossa):

[...] quando o pai de Joule decidiu enviar Joule e seu irmão a John Dalton para lições de química duas vezes por semana, ele provavelmente pensou mais em prover seus filhos com conhecimento científico de valor industrial, do que educar o espírito deles para o estudo da ciência.⁶

Entretanto, Dalton exerceu grande influência sobre o espírito de Joule. Segundo Valente (1999, p. 300):

Esta influência de Dalton poderá explicar algumas das diferenças essenciais entre Joule e Mayer e, nomeadamente, no que diz respeito à interpretação do calor. Enquanto este último não especulou sobre a natureza do "calor", disso não sentindo qualquer necessidade, Joule vai interpretar o "calor" sensível como a *vis viva* dos átomos, numa altura em que os átomos ainda não existiam no campo da filosofia natural. Sendo estas duas personalidades muito diferentes e vivendo em locais muito diferentes há alguns paralelismos interessantes no que diz respeito ao desenvolvimento das suas ideias.

⁶ Versão original: [...] when Joule's father decided to send Joule and his brother to John Dalton for lessons in chemistry twice a week, he probably thought more of providing his sons with scientific knowledge of industrial value, than of educating their spirits through the study of science (CROWTHER, 1962 apud VALENTE, 1999, p. 299).

Joule foi um cientista amador, pois não teve acesso à educação universitária. Entretanto, desde cedo, manifestava um interesse pelos fenômenos naturais (VALENTE, 1999). Devido à aposentadoria do pai por motivos de saúde, ele assumiu a cervejaria em 1833, aos 15 anos de idade. Sempre que possível, nas horas que lhe restavam, realizava experiências de química e física num laboratório construído em casa pelo pai (GOMES, 2012). Suas habilidades de experimentalista foram sendo desenvolvidas durante os anos de convivência científica com Dalton e continuaram, depois, a evoluir e a refinar-se (VALENTE, 1999). De acordo com Valente (1999, p. 303, grifo nosso):

[...] o seu campo preferido de estudo (ou de entretenimento, como sugere Cardwell) começou por ser o domínio das experiências com electricidade, o que reflecte o ar dos tempos, pois com Faraday desenvolve-se toda uma "euforia eléctrica". Daí o primeiro interesse científico de Joule: **motores eléctricos** [...].

Assim, “[...] dentro desse contexto de “euforia elétrica”, Joule interessou-se, particularmente, pela melhoria da eficiência do motor elétrico. O que pode ser explicado pela ligação de sua família à indústria [...]” (GOMES, 2012, p. 70). Inicialmente, se interessa por problemas práticos, de modo que, segundo Cardwell (1989 apud VALENTE, 1999, p. 310, tradução nossa), “Joule não gastou tempo refletindo sobre a natureza da eletricidade, ou em qualquer outra especulação. Seu procedimento era o de um engenheiro [...]”⁷.

Deste modo, em seu primeiro artigo, “*Description of an Electro-magnetic Engine*” (1838)⁸, ele procura analisar máquinas eletromagnéticas e dando sequência a este, outros artigos buscam descrever investigações por ele realizadas sobre o eletromagnetismo. Entretanto:

Embora o procedimento de Joule, nesta fase, possa ser caracterizado como o de um engenheiro, o seu interesse pelo motor eléctrico não é um problema que esteja a atrair as atenções dos engenheiros. Estes continuam a melhorar os motores térmicos que se tornam cada vez mais potentes, mais económicos e mais versáteis [...] (CARDWELL, 1989 apud VALENTE, 1999, p. 310-311).

⁷ Versão original: “Joule spent no time pondering the nature of electricity, or indeed on any other speculation. His procedure was that of the engineer [...]” (CARDWELL, 1989 apud VALENTE, 1999, p. 310).

⁸ Todos os artigos de Joule utilizados neste trabalho foram encontrados na coletânea: “*The scientific papers of James Prescott Joule*”, publicada pela “*The Physical Society of London*”, em Londres, no ano de 1884. Este arquivo encontra-se disponível em: <http://www.archive.org/details/scientificpapers01joul>. Deste modo, o ano e as páginas indicadas ao longo deste trabalho referem-se a esta fonte.

Durante seus estudos, “[...] não demorou muito para ele perceber, que a sua pesquisa em busca do desempenho dos motores elétricos teria que envolver também o estudo da produção de calor nos circuitos elétricos [...]” (GOMES, 2012, p. 70). Assim, ao se preocupar com a “economia” dos motores elétricos, ou seja, o “[...] trabalho realizado dividido pela quantidade de “fuel” consumido no mesmo intervalo de tempo [...]” (VALENTE, 1999, p. 314), Joule encontrou problemas relacionados ao controle da produção de calor nesses motores (VALENTE, 1999), visto que:

Uma das variáveis associadas ao funcionamento de um motor eletromagnético é o aparecimento de calor. Em todas as máquinas o aparecimento de calor devido ao atrito tinha sido reconhecido por muitos anos como indicando o desperdício de potência, por essa razão, a prática há muito estabelecida de utilizar lubrificantes para reduzir o atrito. O aquecimento elétrico de motores e circuitos associados podem muito bem indicar outra fonte de desperdício. O comportamento prescrito deve ser investigado mesmo que a conexão entre esse calor e um desperdício de potência seja obscura. Se a bateria e o circuito são usados para gerar calor apenas, e nenhum trabalho foi feito, zinco ainda seria consumido na bateria o que seria certamente um desperdício (CARDWELL, 1989 apud GOMES, 2012, p. 70-71, grifo nosso).

Ao longo desta investigação na quantificação do calor nos circuitos elétricos é que o trabalho de Joule, segundo Cardwell, passa de uma questão prática para uma certa curiosidade científica (VALENTE, 1999).

Em dezembro de 1840, Joule enviou um artigo intitulado “*On the Production of Heat by Voltaic Electricity*” para a *Royal Society of London*. Porém a publicação do artigo na íntegra no *Philosophical Transactions*, um periódico da instituição, foi recusada, aparecendo apenas no *Proceedings of the Royal Society*, especializada em resumos (GOMES, 2012; VALENTE, 1999). Neste artigo, Joule dirige seus questionamentos “[...] à investigação da causa dos diferentes graus de facilidade com que vários tipos de metal, de tamanhos diferentes, são aquecidos pela passagem de eletricidade voltaica [...]” (JOULE, 1884, p. 59, tradução nossa)⁹. Dessa forma, a conclusão que ele tira dos resultados de suas experiências consiste que, os “efeitos caloríficos” produzidos pela passagem de certa quantidade de eletricidade são proporcionais à resistência do fio (contrária à passagem da eletricidade), qualquer que seja o

⁹ Versão original: “[...] investigation of the cause of the different degrees of facility with which various kinds of metal, of different sizes, are heated by the passage of voltaic electricity [...]” (JOULE, 1884, p. 59).

comprimento, espessura e formato do metal que fecha o circuito. Segundo Gomes (2012, p. 71, grifo nosso):

[...] Joule mostrou que o "efeito calorífico" produzido pela passagem da corrente em um fio é proporcional ao quadrado da magnitude da corrente multiplicado pela resistência do fio, qualquer que seja o comprimento, espessura, forma ou tipo de metal. O que é conhecido hoje em dia por "efeito Joule" [...].

O resumo termina com a observação de que “[...] o calor produzido pela combustão do zinco em oxigênio é também em consequência da resistência à condutividade elétrica” (Joule, 1884, p. 60, tradução nossa)¹⁰. Assim, para Cardwell (1989 apud VALENTE, 1999, p. 315, tradução nossa, sublinhado do autor), “[...] esta observação final sugere que além da preocupação com a melhoria prática, outro motivo estava presente: a curiosidade científica [...]”¹¹.

Depois da publicação deste resumo, Joule continuou realizando pesquisas práticas, embora sendo menos notório. Escreve, portanto, “[...] um pequeno artigo sobre pilhas voltaicas, mas o mais importante de tudo, ele terminou seu trabalho sobre o calor gerado por uma corrente elétrica [...]” (CARDWELL, 1989 apud GOMES, 2012, p. 71). Esse trabalho, cujo título é “*On the Heat evolved by Metallic Conductors of Electricity, and in the Cells of a Battery during Electrolysis*”, foi publicado em 1841 na *Philosophical Magazine*. Neste artigo, Joule mostra-se convencido de que:

[...] Há poucos fatos na ciência mais interessantes que aqueles que estabelecem uma conexão entre o calor e a eletricidade. Realmente, o valor deles não pode ser estimado corretamente, até que obtenhamos um completo conhecimento dos principais agentes sobre os quais eles lançam tanta luz. Eu espero, então, que os resultados de minha cuidadosa investigação sobre o calor produzido pela ação voltaica sejam de interesse suficiente para eu justificar a apresentação deles diante da Sociedade Real. (Joule, 1884, p. 60, tradução nossa).¹²

¹⁰ Versão original: “[...] the heat produced by the combustion of zinc in oxygen is likewise the consequence of resistance to electric conduction” (Joule, 1840, p. 60).

¹¹ Versão original: “[...] this final remark suggest that in addition to concern for practical improvement another motive was present: scientific curiosity [...]” (CARDWELL, 1989 apud VALENTE, 1999, p. 315).

¹² Versão original: “[...] There are few facts in science more interesting than those which establish a connexion between heat and electricity. Their value, indeed, cannot be estimated rightly, until we obtain a complete knowledge of the grand agents upon which they shed so much light. I hope, therefore, that the results of my

Deste modo, neste trabalho ele procurou ser mais abrangente do que na breve nota publicada na revista *Proceedings*:

[...] Dessa vez, ele deu detalhes dos três conjuntos de experimentos em que uma corrente elétrica passou, sucessivamente, por duas bobinas diferentes de fio de cobre, uma bobina de fio de cobre e uma bobina de fio de ferro e, por último, uma bobina de fio de cobre e uma coluna de mercúrio em um tubo de vidro [...] (CARDWELL, 1989 apud GOMES, 2012, p. 71-72).

Outros experimentos além destes foram feitos, entretanto, todos apresentaram os resultados por ele esperados. Porém, “[...] nestas experiências, Joule não está preocupado com as quantidades absolutas de calor, pretende, sim comparar os efeitos caloríficos da corrente em diferentes circuitos, para assim poder fixar os parâmetros de que estes efeitos dependem [...]” (VALENTE, 1999, p. 316). De acordo com Joule (1884, p. 64, tradução nossa), todos os resultados obtidos:

[...] conspiram para confirmar o fato que *quando uma determinada quantidade de eletricidade voltaica passa por um condutor metálico por um determinado tempo, a quantidade de calor produzida por este é sempre proporcional à resistência que ele apresenta, qualquer que seja o comprimento, espessura, forma ou tipo deste condutor metálico.*¹³

Em consequência desses e outros experimentos, percebe-se que Joule “[...] está mergulhado na problemática da produção de calor em diversas situações, nomeadamente, nos circuitos elétricos, com origem nas pilhas voltaicas, ou numa máquina electromagnética [...]” (VALENTE, 1999, p. 317). Consequentemente, começa ser seu objeto de especulações a natureza e a origem do calor (GOMES, 2012; VALENTE, 1999). Dessa forma:

[...] Ele verificou que a oxidação do zinco aquece menos a bateria quando há corrente elétrica, do que a mesma quantidade de zinco dissolvido sem gerar uma corrente. Era como se uma parte do calor desenvolvido na bateria fosse transportada pela corrente para aos fios. Mas, ao analisar a corrente elétrica produzida pela rotação de uma bobina de fio de cobre entre os pólos de um ímã, ou seja, por uma máquina magneto-elétrica – precursor do dínamo moderno –, sem qualquer ligação com uma bateria, também observa-se o

careful investigation on the heat produced by voltaic action are of sufficient interest to justify me in laying them before the Royal Society. (JOULE, 1841, p. 60).

¹³ Versão original: [...] conspire to confirm the fact, that *when a given quantity of voltaic electricity is passed through a metallic conductor for a given length of time, the quantity of heat evolved by it is always proportional to the resistance which it presents, whatever may be the length, thickness, shape, or kind of that metallic conductor* (JOULE, 1884, p. 64).

aparecimento de calor nos fios. Joule concluiu, então, que **o calor não era transportado de um lugar para outro, e sim criado pela passagem da corrente elétrica** (GOMES, 2012, p. 72, grifo nosso).

Em 1843, um ano após Mayer publicar seu primeiro artigo, “*Über die quantitative und qualitative bestimmung der kräfte*” (“Sobre a determinação quantitativa e qualitativa das forças”), Joule apresenta seu primeiro trabalho sobre o assunto, no qual começa a utilizar a expressão de convertibilidade entre calor e trabalho e a realiza alguns experimentos quantitativos para encontrar o valor mecânico do calor (GOMES, 2012; VALENTE, 1999). Sob o título de “*On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat*”, foi publicado na *Philosophical Magazine*. Neste trabalho, Joule faz um estudo do calor que surge nos fenômenos eletromagnéticos (MARTINS, 1984). Dessa forma, ele realiza diversos experimentos visando solucionar a incerteza a respeito da natureza do calor eletromagnético, pois nas experiências realizadas até então:

[...] todas se referiram apenas a uma parte particular do circuito, deixando em dúvida essa questão sobre se o calor observado foi *gerado* ou foi somente *transferido das bobinas* na qual a magneto-eletricidade era induzida, as próprias bobinas tornando-se frias [...] (JOULE, 1884, p. 123, tradução nossa).¹⁴

Na primeira parte do artigo, ele busca então, trabalhar com os “efeitos caloríficos” da magneto-eletricidade e a partir dos resultados experimentais encontrados, procura descobrir as leis que regem a produção do calor. Obtém, dessa forma, que “[...] *o calor produzido por uma barra de ferro girando entre dois polos de um ímã é proporcional ao quadrado da força induzida [...]*” (JOULE, 1884, p. 136, tradução nossa)¹⁵. Além disso, conclui que o calor produzido na bobina de uma máquina eletromagnética é proporcional ao quadrado da corrente elétrica que a atravessa, constituindo este, de acordo com Martins (1984, p. 70), “[...] o primeiro estudo quantitativo do ‘efeito Joule’ [...]”. Buscando comparar com as conclusões já obtidas anteriormente para o calor produzido por um aparato voltaico, Joule (1884, p. 138, tradução nossa), certifica-se que:

¹⁴ Versão original: [...] for all of them refer to a particular part of the circuit only, leaving it a matter of doubt whether the heat observed was *generated*, or merely *transferred from the coils* in which the magneto-electricity was induced, the coils themselves becoming cold [...] (JOULE, 1884, p. 123).

¹⁵ Versão original: “[...] *the heat evolved by a bar of iron revolving between the poles of a magnet is proportional to the square of the inductive force [...]*” (JOULE, 1884, p. 136).

[...] as experiências fornecem evidências decisivas de que *o calor produzido pela bobina de uma máquina magneto-elétrica é governado pelas mesmas leis que regulam o calor produzido por um aparato voltaico, existindo também sob a mesma quantidade de circunstâncias comparáveis*.¹⁶

Na sequência, ao analisar os “efeitos caloríficos” no magneto com a eletricidade voltaica, Joule descreve, a partir dos dados experimentais obtidos, que:

[...] o aumento ou a diminuição dos efeitos químicos que acontecem na bateria durante um determinado tempo é proporcional ao efeito magneto-elétrico e o calor produzido sempre é proporcional ao quadrado da corrente; então o calor devido a uma determinada ação química é sujeita a um aumento ou uma diminuição diretamente proporcional à intensidade da magneto-eletricidade auxiliando ou se opondo à corrente voltaica (JOULE, 1884, p. 145-146, tradução nossa).¹⁷

Consequentemente, temos que a magneto-eletricidade é um agente capaz de destruir ou gerar calor, por meios mecânicos simples. Neste momento, Joule já prediz que tentará encontrar um valor absoluto numérico para a relação entre calor e força mecânica. Entretanto, antes de realizar os experimentos para encontrar esse equivalente, ele analisa experimentalmente o calor produzido por uma barra de ferro girando sob a influência magnética, concluindo, por fim, que “[...] *o calor produzido por uma barra de ferro girando é proporcional ao quadrado da influência magnética ao qual está exposto*” (JOULE, 1884, p. 149, tradução nossa)¹⁸.

Na segunda parte do artigo, que se concentra na busca pelo equivalente mecânico do calor, Joule explica que buscará refazer algumas experiências, visto que:

Tendo provado que o *calor é gerado* por uma máquina magneto-elétrica e que por meio da força magnética indutiva nós podemos *diminuir* ou *aumentar* à vontade o *calor* devido às transformações químicas, isto se tornou um objeto de grande interesse ao indagar se existe uma relação

¹⁶ Versão original: [...] the experiments afford decisive evidence that *the heat evolved by the coil of the magneto-electrical machine is governed by the same laws as those which regulate the heat evolved by the voltaic apparatus, and exists also in the same quantity under comparable circumstances* (JOULE, 1884, p. 138).

¹⁷ Versão original: [...] the increase or diminution of the chemical effects occurring in the battery during a given time is proportional to the magneto-electrical effect, and the heat evolved is always proportional to the square of the current; therefore the heat due to a given chemical action is subject to an increase or to a diminution directly proportional to the intensity of the magneto-electricity assisting or opposing the voltaic current (JOULE, 1884, p. 145-143).

¹⁸ Versão original: “[...] *the heat evolved by a revolving bar of iron is proportional to the square of the magnetic influence in (sic) which it is exposed*” (JOULE, 1884, p. 149).

constante entre isto e a força mecânica ganha ou perdida [...] (JOULE, 1884, p. 149, tradução nossa).¹⁹

Dessa forma, chega-se “[...] ao ponto que dará origem ao problema central da sua actividade científica: a determinação do equivalente mecânico do calor [...]” (VALENTE, 1999, p. 319). Ele descreve um conjunto de experimentos e apresenta diversas tabelas com os resultados obtidos, porém, encontra diferentes valores para cada série de experimentos realizados e conclui que, apesar de haver uma diferença considerável entre alguns resultados, acredita que estes estão relacionados a erros experimentais. Convencido de que há uma relação:

[...] Eu pretendo repetir as experiências com um aparato mais poderoso e mais delicado. No momento nós adotaremos a média do resultado das treze experiências apresentadas neste artigo e formulamos que geralmente,

A quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de uma libra de água em um grau na escala Fahrenheit é igual a, e pode ser convertido em, uma força mecânica capaz de elevar 838 libras a uma altura perpendicular de um pé (JOULE, 1884, p. 156, tradução nossa).²⁰

Entretanto, “[...] como observa muito bem Meyerson, resultados tão incertos não eram muito adequados como provas empíricas da existência de uma relação *constante* entre trabalho e calor” (MARTINS, 1984, p. 70), como atestava Joule. Para ele, o problema consistia nos erros experimentais, tanto que, ao longo do artigo já explicita tal preocupação, ao deixar claro que “[...] como as experiências anteriores são um pouco complicadas, e portanto estão sujeitas à acumulação de pequenos erros de observação, pensei que seria desejável executar algumas de caráter mais simples [...]” (JOULE, 1884, p. 153-154, tradução nossa)²¹.

Joule procura relacionar os resultados obtidos com as implicações práticas de suas conclusões, que podem ser tiradas da conversibilidade do calor em força mecânica e vice-versa, utilizando

¹⁹ Versão original: Having proved that *heat is generated* by the magneto-electrical machine, and that by means of the inductive power of magnetism we can *diminish* or *increase* at pleasure the *heat* due to chemical changes, it became an object of great interest to inquire whether a constant ratio existed between it and the mechanical power gained or lost [...] (JOULE, 1884, p. 149).

²⁰ Versão original: [...] I intend to repeat the experiments with a more powerful and more delicate apparatus. At present we shall adopt the mean result of the thirteen experiments given in this paper, and state generally that, *The quantity of heat capable of increasing the temperature of a pound of water by one degree of Fahrenheits scale is equal to, and may be converted into, a mechanical force capable of raising 838 lb. to the perpendicular height of one foot.* (JOULE, 1884, p. 156).

²¹ Versão original: “[...] as the preceding experiments are somewhat complicated, and therefore subject to the accumulation of small errors of observation, I thought it would be desirable to execute some of a more simple character [...]” (JOULE, 1884, p. 153-154).

a relação numérica obtida (VALENTE, 1999). Nesse sentido, sabendo que uma libra de zinco consumida na pilha de Daniell produz uma corrente desenvolvendo aproximadamente 1320°F e na bateria de Grove, aproximadamente 2200°F por libra de água, têm-se que, as forças mecânicas das afinidades químicas que produzem as correntes voltaicas nestes arranjos são, por libra de zinco, respectivamente iguais a 1.106.160 libras e 1.843.600 libras levantadas à altura de uma fonte. Porém:

[...] como será praticamente impossível converter mais que aproximadamente a metade do calor do circuito voltaico em potência mecânica útil, é evidente que a máquina eletromagnética, que funcionou devido às baterias voltaicas no momento empregadas, nunca substituirá o vapor do ponto de vista econômico (JOULE, 1884, p. 157, tradução nossa).²²

Ao analisar a eficiência dos motores, ele considera apenas o aspecto da equivalência entre calor e trabalho, sem levar em consideração a segunda lei da termodinâmica (VALENTE, 1999). No final desse artigo, Joule insere uma observação (P.S.)²³, na qual traz novas considerações. A princípio, “[...] começa por ligar o seu trabalho às conclusões de Rumford para colocar em evidência o desenvolvimento de calor a partir da fricção [...], especulando, depois sobre a indestrutibilidade das forças [...]” (VALENTE, 1999, p. 320). Quanto a isso, escreve:

[...] Eu não perderei tempo repetindo e estendendo estas experiências, estando satisfeito com o fato de que os agentes principais de natureza serem, pela ordem do Criador, *indestrutíveis*; e que onde quer que a força mecânica seja gasta, um exato equivalente de calor *sempre* será obtido (JOULE, 1884, p. 157-158, tradução nossa).²⁴

Dessa forma, evidencia que existe uma correspondência entre eletricidade e calor, sendo esta fundamentada na conservação dos “agentes da natureza”, de tal modo que essas formas de energia são equivalentes: “[...] a energia elétrica **converteu-se integralmente** em calor ou a

²² Versão original: [...] since it will be practically impossible to convert more than about one half of the heat of the voltaic circuit into useful mechanical power, it is evident that the electro-magnetic engine, worked by the voltaic batteries at present used, will never supersede steam in an economical point of view (JOULE, 1884, p. 157).

²³ Apesar de este artigo ter sido escrito em julho de 1843, essa observação (P.S.) foi inserida apenas em agosto desse mesmo ano.

²⁴ Versão original: [...] I shall lose no time in repeating and extending these experiments, being satisfied that the grand agents of nature are, by the Creator's fiat, *indestructible*; and that wherever mechanical force is expended, an exact equivalent of heat is *always* obtained (JOULE, 1884, p. 157-158).

energia mecânica converteu-se integralmente em calor [...]” (SILVA; MORADILLO, 2005, p. 4, grifo do autor).

Na sequência, busca interpretar a origem do calor animal, a partir da fricção do sangue nas veias e artérias e, por conseguinte, sente a necessidade de modificar sua visão com respeito à origem elétrica do “calor químico”, argumentando que a força mecânica gasta pelos átomos é que determina a intensidade da corrente e conseqüentemente, o calor produzido. Dessa forma, é possível explicar porque o calor é produzido na combinação dos gases e porque podemos considerar o “calor latente” como um poder mecânico – chegando, portanto, a uma significação física para o “calor latente”. Joule conclui dizendo que, apesar da hipótese ser incipiente, acredita “[...] que no final das contas nós poderemos representar todos os fenômenos da química através de expressões numéricas exatas, sendo possível predizer a existência e as propriedades de novas combinações” (JOULE, 1884, p. 159, tradução nossa)²⁵.

Em 1845, é publicado no *Philosophical Transactions* o artigo “*On the Changes of Temperature produced by the Rarefaction and Condensation of Air*”, após ser recusada sua publicação no *Philosophical Magazine* (VALENTE, 1999). Neste trabalho, sua intenção é desenvolver experiências “mais simples” a fim de obter valores mais exatos para o equivalente mecânico do calor (GOMES, 2012; VALENTE, 1999). Dessa forma, inicia o artigo deixando claro quais são seus objetivos:

[...] Naquele artigo [refere-se ao artigo “*On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat*”] foi demonstrado experimentalmente que a potência mecânica exercida ao girar uma máquina eletromagnética é *convertida no calor* produzido pela passagem de corrente induzida pelas bobinas; por outro lado, a força motriz da máquina eletromagnética é obtida às custas do calor devido às reações químicas da bateria pela qual ele trabalha. Eu espero, num período futuro, ser capaz de comunicar alguns experimentos, novos e muito delicados, para averiguar o equivalente mecânico do calor com a precisão que a sua importância para a ciência física demanda. Meu presente objetivo é relacionar uma investigação na qual acredito ter conseguido aplicar com sucesso os princípios antes afirmados para as mudanças de temperatura que surgem da alteração da densidade de corpos gasosos [...] (JOULE, 1884, p. 172, tradução nossa).²⁶

²⁵ Versão original: “[...] that ultimately we shall be able to represent the whole phenomena of chemistry by exact numerical expressions, so as to be enabled to predict the existence and properties of new compounds” (JOULE, 1884, p. 159).

²⁶ Versão original: [...] In that paper it was demonstrated experimentally that the mechanical power exerted in turning a magneto-electrical machine is *converted into the heat* evolved by the passage of the currents of induction through its coils; and, on the other hand, that the motive power of the electro-magnetic engine is

Por conseguinte, Joule começa a argumentar a partir dos resultados obtidos por Dalton, que “[...] averiguou que são produzidos aproximadamente 50° de calor quando o ar é comprimido à metade do seu tamanho original, e que, por outro lado, são absorvidos 50° por uma rarefação correspondente” (JOULE, 1884, p. 173, tradução nossa)²⁷, considerando tais resultados próximos da verdade. A partir disso, realiza experiências com o intuito de estudar “[...] as variações de temperatura produzidas na compressão e dilatação dos gases, estabelecendo que todo trabalho utilizado na compressão de um gás é convertido em calor [...]” (GOMES, 2012, p. 73).

Analisando os resultados obtidos experimentalmente, conclui que não há mudança de temperatura quando o ar se expande sem realizar trabalho, ou seja, quando não há a aplicação de uma força mecânica. Desta forma, “[...] desconhecia, portanto, os resultados das experiências de Gay-Lussac, que Mayer tão inteligentemente utilizou [...]” (VALENTE, 1999, p. 322)²⁸. No entanto, tinha conhecimento da descoberta de Dulong, na qual volumes iguais de fluidos elásticos, estando à mesma temperatura e pressão, quando são repentinamente comprimidos ou expandidos à mesma fração de volume, absorvem a mesma quantidade de calor, o que está de acordo com seus princípios.

Os resultados determinados para o equivalente mecânico neste artigo, em consequência da série de experimentos realizados são 823, 795, 820, 814 e 760 libras levantadas à altura de um pé. Apesar de obter melhores valores para o equivalente mecânico do calor do que no artigo anterior, Joule ainda não encontra resultados precisos.

Sendo ele um atomista, devido à influência de Dalton, ao examinar os dados experimentais obtidos, pressupõe que estes resultados não podem ser explicados se considerarmos o calor

obtained at the expense of the heat due to the chemical reactions of the battery by which it is worked. I hope, at a future period, to be able to communicate some new and very delicate experiments, in order to ascertain the mechanical equivalent of heat with the accuracy which its importance to physical science demands. My present object is to relate an investigation in which I believe I have succeeded in successfully applying the principles before maintained to the changes of temperature arising from the alteration of the density of gaseous bodies [...] (JOULE, 1884, p. 172).

²⁷ Versão original: “[...] ascertained that about 50° of heat are evolved when air is compressed to one half of its original bulk, and that, on the other hand, 50° are absorbed by a corresponding rarefaction” (JOULE, 1884, p. 173).

²⁸ Segundo Valente (1999, p. 323), “[...] esta é a base de discórdia entre Joule e Mayer, pois o primeiro considera que Mayer não teria legitimidade para fazer a hipótese que utiliza nos seus cálculos”.

como uma *substância*, mas podem ser deduzidos se utilizarmos a teoria na qual “[...] o calor é considerado como um **estado de movimento entre as partículas constituintes dos corpos** [...]” (JOULE, 1884, p. 186, grifo nosso, tradução nossa)²⁹, ou seja, “[...] os átomos dos gases não podem, então, estar estáticos; eles devem, de alguma maneira, estar associados ao movimento” (CARDWELL, 1989 apud VALENTE, 1999, p. 323, tradução nossa)³⁰. Assim, segundo ele, é possível compreender como a força mecânica gasta na rarefação do ar aumenta a velocidade do movimento das partículas e ocasiona um aumento na temperatura. Deste modo, acredita que suas experiências constituem um novo argumento “[...] em favor da teoria dinâmica do calor, que se originou com Bacon, Newton e Boyle, e em um período posterior, foi tão bem apoiada pelas experiências de Rumford, Davy e Forbes [...]” (JOULE, 1884, p. 187, tradução nossa)³¹. Sugere ainda que a maioria dos fenômenos pode ser explicado pela adaptação da descoberta eletroquímica de Faraday.

Entretanto, ao analisar o trabalho de Clapeyron e outros filósofos que sustentam a ideia na qual “[...] a força mecânica da máquina a vapor simplesmente surge da passagem de calor de um corpo quente para um frio, sem necessariamente haver perda de calor durante a transferência [...]” (JOULE, 1884, p. 188, tradução nossa)³², e também de Carnot, que está de acordo com estas proposições, Joule defende que esta teoria se opõe aos princípios filosóficos “[...] porque leva à conclusão de que a *vis viva* pode ser destruída por uma disposição inadequada do aparelho [...]” (JOULE, 1884, p. 188, tradução nossa)³³. Segundo Valente (1999, p. 324), “[...] os princípios da filosofia a que Joule se refere são aqueles que não põem em causa a ideia de indestrutibilidade da força, como é o “princípio” da convertibilidade das ‘forças’”. Dessa forma, argumenta:

**Acreditando que o poder de destruir pertence somente ao Criador,
concordo inteiramente com Roget e Faraday na opinião de que qualquer**

²⁹ Versão original: “[...] heat is regarded as a state of motion among the constituent particles of bodies [...]” (JOULE, 1884, p. 186).

³⁰ Versão original: “[...] The atoms of gases could not, therefore, be static; they must, somehow, be associated with motion” (CARDWELL, 1989 apud VALENTE, 1999, p. 323).

³¹ Versão original: “[...] powerful argument in favour of the dynamical theory of heat which originated with Bacon, Newton, and Boyle, and has been at a later period so well supported by the experiments of Rumford, Davy, and Forbes [...]” (JOULE, 1884, p. 187).

³² Versão original: “[...] the mechanical power of the steam-engine arises simply from the passage of heat from a hot to a cold body, no heat being necessarily lost during the transfer [...]” (JOULE, 1884, p. 188).

³³ Versão original: “[...] because it leads to the conclusion that *vis viva* may be destroyed by an improper disposition of the apparatus [...]” (JOULE, 1884, p. 188).

teoria que, quando realizada, exige a aniquilação da força, é necessariamente errônea. Porém, os princípios que eu tenho desenvolvido neste artigo estão isentos desta dificuldade. Deles nós podemos deduzir que **o vapor, enquanto expande no cilindro, perde calor em quantidade exatamente proporcional à força mecânica comunicada por meio do pistão; e que, na condensação do vapor, o calor assim convertido em potência não pode retornar de novo.** Supondo nenhuma perda de calor através de radiação, etc., a teoria aqui desenvolvida demanda que o calor emitido para fora no condensador seja menor do que o comunicado pela caldeira do forno, na proporção exata para o equivalente mecânico de potência desenvolvido (JOULE, 1884, p. 189, grifo nosso, tradução nossa).³⁴

Na conferência da *British Association*, realizada em Cambridge, ainda em 1845, Joule exhibe uma nova determinação para o equivalente mecânico, descrevendo sua experiência mais conhecida, a de agitação da água por meio de pás (GOMES, 2012)³⁵. Relatando o que apresentou nesta conferência, ele enviou uma carta para os editores da *Philosophical Magazine* com o título “*On the Existence of an Equivalent Relation between Heat and the ordinary Forms of Mechanical Power*”. Joule inicia a carta explicando que almeja fazer alterações no aparato experimental utilizado, a fim de obter uma maior precisão nos resultados, antes de enviar um artigo para ser publicado sobre tal experiência. Ainda assim, apesar de não ter feito nenhum desenho do dispositivo utilizado³⁶, ele o descreve e explica a metodologia empregada e os resultados alcançados (GOMES, 2012):

O aparato exibido antes na Associação consiste em uma roda de pás de bronze trabalhando *horizontalmente* em uma lata de água. O movimento poderia ser comunicado às pás por meio de pesos, polias, etc., [...].

As pás se moviam com grande resistência na lata de água, de forma que os pesos (cada um de quatro libras) desciam a uma taxa lenta de cerca de um pé por segundo. A altura das polias, a partir do chão, era de doze jardas e, por conseguinte, quando os pesos tinham descido por esta distância, eles tiveram que ser enguidos novamente, de modo a renovar o movimento das

³⁴ Versão original: Believing that the power to destroy belongs to the Creator alone, I entirely coincide with Roget and Faraday in the opinion that any theory which, when carried out, demands the annihilation of force, is necessarily erroneous. The principles, however, which I have advanced in this paper are free from this difficulty. From them we may infer that the steam, while expanding in the cylinder, loses heat in quantity exactly proportional to the mechanical force which it communicates by means of the piston, and that on the condensation of the steam the heat thus converted into power is *not* given back. Supposing no loss of heat by radiation &c., the theory here advanced demands that the heat given out in the condenser shall be less than that communicated to the boiler from the furnace, in exact proportion to the equivalent of mechanical power developed (JOULE, 1884, p. 189).

³⁵ De acordo com Mach (1986 apud GOMES, 2012, p. 74), “[...] essa experiência foi repetida várias vezes por Joule até o ano de 1849 quando ele deu-se por satisfeito com os resultados alcançados”.

³⁶ Apenas em seu último artigo sobre o assunto, publicado na *Philosophical Transactions*, em 1850, sob o título “*On the Mechanical Equivalent of Heat*”, é que Joule publica o desenho detalhado dos dispositivos utilizados.

pás. Depois de repetir esta operação por dezesseis vezes, o aumento da temperatura da água foi averiguado por meio de um termômetro muito sensível e preciso.

Uma série de nove experimentos foi executada da mesma forma anterior, e nove experiências foram feitas para eliminar os efeitos de esfriamento ou aquecimento da atmosfera. Depois de reduzir o resultado à capacidade de calor para uma libra de água, verificou-se que para cada grau de calor produzido pela fricção de água uma força mecânica igual ao que é necessário para elevar um peso de 890 libras à altura de um pé tinha sido gasta (JOULE, 1884, p. 203, tradução nossa).³⁷

Na sequência, Joule retoma os valores médios já obtidos para o equivalente mecânico do calor, como se segue: 823 lb derivado de experiências com máquinas magneto-elétricas; 795 lb deduzido a partir do frio produzido pela rarefação do ar; e 774 lb obtido a partir de experimentos, até então não publicados, sobre o movimento da água através de tubos estreitos. Conclui então que está *provado* que existe uma relação equivalente entre o calor e as formas comuns de energia mecânica, assumindo esse valor como sendo a média dos resultados obtidos até então - no caso 817 lb, até ser possível fornecer resultados mais precisos. Fazendo um convite, sugere:

Quaisquer dos senhores leitores que são tão afortunados por residirem na paisagem romântica do País de Gales ou da Escócia podem, não duvido, confirmar minhas experiências testando a temperatura da água no topo e no fundo de uma cachoeira. Se minhas visões estão corretas, **uma queda de 817 pés deverá, com certeza, gerar um grau de calor**, e a temperatura do rio de Niágara será elevada aproximadamente um quinto de um grau por sua queda de 160 pés (JOULE, 1884, p. 204, grifo nosso, tradução nossa).³⁸

³⁷ Versão original: The apparatus exhibited before the Association consisted of a brass paddle-wheel working *horizontally* in a can of water. Motion could be communicated to this paddle by means of weights, pulleys, &c., [...]. The paddle moved with great resistance in the can of water, so that the weights (each of four pounds) descended at the slow rate of about one foot per second. The height of the pulleys from the ground was twelve yards, and consequently, when the weights had descended through that distance, they had to be wound up again in order to renew the motion of the paddle. After this operation had been repeated sixteen times, the increase of the temperature of the water was ascertained by means of a very sensible and accurate thermometer. A series of nine experiments was performed in the above manner, and nine experiments were made in order to eliminate the cooling or heating effects of the atmosphere. After reducing the result to the capacity for heat of a pound of water, it appeared that for each degree of heat evolved by the friction of water a mechanical power equal to that which can raise a weight of 890 lb. to the height of one foot had been expended (JOULE, 1884, p. 203).

³⁸ Versão original: Any of your readers who are so fortunate as to reside amid the romantic scenery of Wales or Scotland could, I doubt not, confirm my experiments by trying the temperature of the water at the top and at the bottom of a cascade. If my views be correct, a fall of 817 feet will of course generate one degree of heat, and the temperature of the river Niagara will be raised about one fifth of a degree by its fall of 160 feet (JOULE, 1884, p. 204).

Deste modo, Joule sugere que em uma cachoeira também haverá uma variação na temperatura da água, devido à transformação da energia mecânica. Utilizando o valor estimado para o equivalente mecânico é possível encontrar qual será essa variação na temperatura (GOMES, 2012).

Apesar do método da agitação das pás ter fornecido os resultados médios menos precisos adquiridos, Joule adotou tal método para dar prosseguimento na busca por melhores valores, visto que este era o mais simples (motivo já desejado por ele anteriormente, pois buscava a perfeição, mas queria uma simplicidade teórica para determinar a relação entre calor e movimento); estava menos aberto às objeções do que os outros métodos empregados e, além disso, poderia ser facilmente reproduzido utilizando outros líquidos, além da água, ampliando a variedade de resultados (CARDWELL, 1989 apud VALENTE, 1999).

Todavia, até então, as pesquisas realizadas por Joule não despertaram muito interesse da comunidade científica britânica, sendo um dos motivos o fato de suas experiências não serem “[...] muito simples de ser interpretadas, e os efeitos observados eram muito pequenos – às vezes, apenas centésimos de grau – e variáveis” (MARTINS, 1984, p. 71). Além disso, não integrar o meio acadêmico, também influenciou negativamente (GOMES, 2012). Segundo Cardwell (1989 apud GOMES, 2012, p. 76):

Joule apresentou o seu trabalho e ideias para as reuniões da Associação Britânica, em 1843, 1844 e 1845 e por meio das páginas da *Philosophical Magazine*. O mundo científico parecia indiferente. Homens da ciência estavam pensando em outras coisas e os artigos de Joule despertaram pouco interesse. A cruzada magnética estava em curso; Whewell e outros estavam profundamente interessados na teoria das marés; Couch Adams e Leverrier tinham descoberto um novo planeta (Netuno). Não menos intrigante foi a descoberta de Armstrong de que um jato de vapor era eletrificado. O que ele anunciava cientificamente? Estávamos à beira de uma invenção comparável ou de importância ainda maior do que a bateria voltaica ou o motor magneto-elétrico? O que isso significava para o homem prático? Todo mundo estava familiarizado com o imenso poder do vapor; se vapor de alta pressão podia gerar eletricidade diretamente, simplesmente havia novas e excitantes perspectivas de fontes de energia revolucionárias e novas aplicações [...].

Dessa forma, em 1846, apesar de participar da Conferência anual da *British Association*, realizada em Southampton, não realiza nenhuma intervenção (VALENTE, 1999). Entretanto, na Conferência anual de 1847, realizada em Oxford, a sorte de Joule começa a mudar (GOMES, 2012). Na quinta-feira, 24 de junho, preparou-se para apresentar suas novas ideias

e seus resultados, numa preleção com o título “*On the mechanical equivalent of heat, as determined by the heat evolved by the agitation of liquids*”³⁹. Porém, “[...] como era a última palestra do dia, o presidente da seção solicitou que ele fizesse apenas um resumo com os principais pontos do artigo [...]” (GOMES, 2012, p. 77). Buscou então, explicar sucintamente o experimento das pás e os resultados para o equivalente mecânico do calor por ele obtido a partir deste aparato. Deste modo, mostrou que “[...] o calor é invariavelmente produzido pela fricção dos fluidos na mesma proporção que a força é gasta [...]” (JOULE, 1884, p. 277, tradução nossa)⁴⁰. Além disso, após fazer algumas experiências com a compressão de molas de aço, não encontrando nenhum calor gerado, conclui que “[...] toda a força viva usada para comprimir as molas tinha sido convertida em atração ao longo do espaço. Era, ele acreditava, análogo ao calor latente [...]” (CARDWELL, 1989 apud GOMES, 2012, p. 77). Assim como das outras vezes, Joule imaginou que suas ideias passariam despercebidas e que sua exposição seguiria sem comentários, contudo:

[...] um jovem levantou-se na sessão e, pelas suas observações inteligentes, criou um vivo interesse na nova teoria. O jovem era William Thomson, que há dois anos passou na Universidade de Cambridge com a maior honra, e agora é, provavelmente, a maior autoridade científica da época [...] (JOULE, 1887, p. 215).⁴¹

William Thomson (1824-1907) – posteriormente conhecido como Lorde Kelvin – sentiu-se estimulado pelas ideias de Joule, pois, tendo estudado o ciclo de Carnot, o que acabara de ser comunicado diferia das ideias que lhe eram familiares (VALENTE, 1999). Conforme este relata durante a inauguração de uma estátua em homenagem a Joule, em 1893, em Manchester:

Nunca poderei me esquecer da Associação Britânica em Oxford, no ano de 1847, quando em uma das sessões eu ouvi um artigo lido por um jovem, muito modesto, que revelou de modo consciente que ele tinha uma grande ideia a ser desenvolvida. Eu estava tremendamente impressionado com o

³⁹ Depois deste resumo, no mesmo ano Joule publicou na *Philosophical Magazine* o que havia preparado inicialmente, de forma mais detalhada, sob o título “*On the Mechanical Equivalent of Heat, as determined by the Heat evolved by the Friction of Fluids*”.

⁴⁰ Versão original: “[...] heat is invariably produced by the friction of fluids in exact proportion to the force expended [...]” (JOULE, 1884, p. 277).

⁴¹ Versão original: “[...] a young man had not risen in the section, and by his intelligent observations created a lively interest in the new theory. The young man was William Thomson, who had two years previously passed the University of Cambridge with the highest honour, and is now probably the foremost scientific authority of the age [...]” (JOULE, 1887, p. 215).

artigo. A princípio pensei que não poderia ser verdade, porque era diferente da teoria de Carnot, imediatamente após a sua leitura, conversei um pouco com o autor James Joule, esse foi o início de nossos 40 anos de amizade [...] (KELVIN, 1893 apud GOMES, 2012, p. 77).

Para Crowther, as ideias de Joule são tão revolucionárias quanto às de Darwin, porém, culpa Thomson pelo fato de suas ideias não terem obtido tanto sucesso como as deste (VALENTE, 1999). Segundo Valente (1999, p. 328), “[...] com efeito, hoje Joule aparece, na escola, apenas associado a algumas medidas: não lhe é dado qualquer relevo, isto é, ninguém desconfia que ele foi protagonista de uma revolução científica”. Entretanto, a relação com Thomson será de grande importância para o reconhecimento científico dos trabalhos de Joule pelos cientistas ingleses, visto que este é influente no meio acadêmico (GOMES, 2012; VALENTE, 1999).

Ainda em 1847, Joule descreve de forma mais ampla e coerente o princípio geral da conservação da energia, em uma palestra popular proferida no *St. Ann's Church Reading Room*, no dia 28 de abril, em Manchester. Até então, apesar de estar interessado em generalizar suas ideias, na maioria dos seus artigos ele se referia a problemas específicos. Esta palestra foi publicada em maio do mesmo ano, em um jornal local, o *Manchester Courier*, sob o título “*On Matter, Living Force, and Heat*” (GOMES, 2012). Este artigo apresenta o embasamento teórico utilizado por Joule, que o motivou a continuar realizando as experiências sobre o equivalente mecânico do calor (GOMES, 2012).

Joule inicia afirmando que a *impenetrabilidade* e a *extensão* são propriedades da matéria, onde “[...] por extensão da matéria entende-se o espaço que ela ocupa, e por sua impenetrabilidade queremos dizer que dois corpos não podem existir ao mesmo tempo e no mesmo local [...]” (JOULE, 1884, p. 265, tradução nossa)⁴². Porém, essas deveriam ser aceitas como definições, visto que nada que não possui essas duas qualidades pode ser chamado de matéria. Para ele, a matéria é dotada de inúmeras propriedades, as quais algumas são comuns a todas as matérias, como é o caso da atração gravitacional, enquanto que outras estão presentes apenas em algumas matérias, de modo a constituir as diferenças entre os organismos. Ao discutir a atração gravitacional, Joule explica que:

⁴² Versão original: “[...] By the extension of matter we mean the space which it occupies; by its impenetrability we mean that two bodies cannot exist at the same time in the same place [...]” (JOULE, 1884, p. 265).

[...] Se nós quebrarmos um corpo em pedaços, e remover os pedaços separados a uma distância um do outro, eles ainda serão encontrados para atrair um ao outro, entretanto em um grau ligeiramente menor, devido à existência de uma força que diminui muito rapidamente à medida que os corpos são mais afastados um do outro [...] (JOULE, 1884, p. 265, tradução nossa).⁴³

Segundo ele, “[...] essa atração dos corpos para a Terra constitui o que chamamos de *peso* ou *gravidade*, e é sempre exatamente proporcional à quantidade de matéria [...]” (JOULE, 1884, p. 265-266, tradução nossa)⁴⁴. Assim, explica que, se um corpo pesar 2 libras e outro apenas 1 libra, o primeiro conterà exatamente o dobro da matéria que o segundo. Percebe-se então que Joule sabia qual a diferença entre “peso” e “massa”, definida por alguns, naquela época, como “quantidade de matéria” (GOMES, 2012).

Além da atração gravitacional, Joule enfatiza que a matéria pode ser dotada de outros tipos de atração, como é o caso da força de repulsão, na qual as partículas tendem a se afastar mais ainda uma das outras. Por conseguinte:

Além da força da gravidade, há uma outra propriedade muito notável apresentada em igual grau por todo o tipo de matéria – a perseverança em qualquer condição, seja de repouso ou de movimento, na qual pode ser colocada. Esta faculdade recebeu o nome de *inércia*, significando passividade, ou a incapacidade de qualquer coisa mudar seu próprio estado. É em consequência dessa propriedade que **um corpo em repouso não pode ser posto em movimento, sem a aplicação de uma certa quantidade de força nele, e também que uma vez que o corpo foi colocado em movimento ele nunca vai parar por si mesmo, mas continua a avançar em linha reta, com uma velocidade uniforme, até ser influenciado por outra força, que, se aplicada na direção contrária do movimento, irá retardá-lo, se na mesma direção vai acelerá-lo, e se lateralmente fará com que ele se mova em uma direção curva.** No caso em que a força é aplicada na direção contrária, mas em grau igual ao que colocou o primeiro corpo em movimento, será totalmente privado de qualquer movimento, pode ter decorrido qualquer tempo desde o primeiro impulso, e qualquer que seja a distância que o corpo possa ter viajado (JOULE, 1884, p. 266, grifo nosso, tradução nossa).⁴⁵

⁴³ Versão original: [...] If we break the body in pieces, and remove the separate pieces to a distance from each other, they will still be found to attract each other, though in a very slight degree, owing to the force being one which diminishes very rapidly as the bodies are removed further from one another [...] (JOULE, 1884, p. 265).

⁴⁴ Versão original: “[...] This attraction of bodies towards the earth constitutes what is called their *weight* or *gravity*, and is always exactly proportional to the quantity of matter [...]” (JOULE, 1884, p. 265-266).

⁴⁵ Versão original: Besides the force of gravitation, there is another very remarkable property displayed in an equal degree by every kind of matter - its perseverance in any condition, whether of rest or motion, in which it may have been placed. This faculty has received the name of inertia, signifying passiveness, or the inability of any thing to change its own state. It is in consequence of this property that a body at rest cannot be set in

No final dessa citação, segundo Gomes (2012, p. 79), “[...] Joule dá a entender que uma força de mesma intensidade que fez um corpo se movimentar é suficiente para colocá-lo em repouso novamente [...]”. Se analisarmos de acordo com a mecânica newtoniana, desprezando o atrito, isto de fato está correto. Assim, para esse caso, “[...] o mesmo tempo utilizado para tirar o corpo do repouso até atingir uma velocidade v será gasto para fazer o inverso. Ou seja, tem que ter a mesma aceleração em módulo [...]” (GOMES, 2012, p. 79). Entretanto, dando sequência ao artigo, Joule mostra que não era este seu raciocínio. Com efeito:

A partir destes fatos, é evidente que a força empregada para colocar um corpo em movimento é carregada pelo próprio corpo, e existe com ele e nele, ao longo de todo o percurso de seu movimento. **Esta força possuída pelos corpos em movimento é denominada pelos filósofos mecânicos de *vis viva* ou *força viva*.** O termo pode ser considerado por alguns inadequado, já que não há vida, propriamente falando, mas é *útil*, a fim de distinguir a força motriz da que é estacionária em sua natureza, tal como a força da gravidade. Quando, portanto, nas partes subsequentes desta conferência eu empregar o termo *força viva*, vocês entenderão que eu simplesmente quero dizer a força dos corpos em movimento. A força viva dos corpos é regulada pelo seu peso e pela velocidade de seu movimento. Vocês facilmente entenderão que, se um corpo de certo peso possui certa quantidade de força viva, duas vezes mais força viva será possuída por um corpo com o dobro do peso, desde que ambos os corpos se movam com a mesma velocidade [...] (JOULE, 1884, p. 266-267, grifo nosso, tradução nossa)⁴⁶.

Ao iniciar afirmando que a força utilizada para colocar um corpo em movimento permanece com ele durante todo seu movimento, poderíamos ser levados a crer que Joule estava defendendo a teoria do ímpetus medieval, “[...] justamente quando a teoria de Newton, seu ilustre contrerrâneo, já estava consolidada [...]” (GOMES, 2012, p. 80). Porém, ao longo de

motion without the application of a certain amount of force to it, and also that when once the body has been set in motion it will never stop of itself, but continue to move straight forwards with a uniform velocity until acted upon by another force, which, if applied contrary to the direction of motion, will retard it, if in the same direction will accelerate it, and if sideways will cause it to move in a curved direction. In the case in which the force is applied contrary in direction, but equal in degree to that which set the body first in motion, it will be entirely deprived of motion whatever time may have elapsed since the first impulse, and to whatever distance the body may have travelled (JOULE, 1884, p. 266).

⁴⁶ Versão original: From these facts it is obvious that the force expended in setting a body in motion is carried by the body itself, and exists with it and in it, throughout the whole course of its motion. This force possessed by moving bodies is termed by mechanical philosophers *vis viva*, or *living force*. The term may be deemed by some inappropriate, inasmuch as there is no life, properly speaking, in question; but it is *useful*, in order to distinguish the moving force from that which is stationary in its character, as the force of gravity. When, therefore, in the subsequent parts of this lecture I employ the term *living force*, you will understand that I simply mean the force of bodies in motion. The living force of bodies is regulated by their weight and by the velocity of their motion. You will readily understand that if a body of a certain weight possess a certain quantity of living force, twice as much living force will be possessed by a body of twice the weight, provided both bodies move with equal velocity [...] (JOULE, 1884, p. 266-267).

sua explicação, Joule esclarece que está se referindo à conservação da “*vis viva*”, ou seja, ele afirma que ao exercer um esforço físico sobre um corpo é necessário gastar uma “força”. Porém, essa “força” não deixa de existir, ela é simplesmente transformada em “*força viva*” e permanece com o corpo enquanto este se mantiver em movimento (GOMES, 2012). Segundo Gomes (2012, p. 80), ele foi audacioso ao buscar interpretar “[...] os fenômenos físicos seguindo a ótica [sic] da mecânica escalar-analítica-lagrangiana, em vez da mecânica vetorial-newtoniana, no próprio país em que essa última surgiu [...]” e isso provavelmente dificultou ainda mais na aceitação de suas ideias. No final desta citação, Joule ainda explica que “força viva” depende tanto do “peso”, quanto da velocidade do corpo. Entretanto, seria mais correto dizer que depende da “quantidade de matéria” e não do “peso”. Uma justificativa se deve ao fato de que, por ser uma palestra pública, ele procurou simplificar a ideia para ser compreendido, visto que é mais simples dizer que um corpo é mais “pesado” do que dizer que tem maior massa (GOMES, 2012). Dando continuidade, Joule explica que, apesar de ser simples compreender que a “força viva” é diretamente proporcional ao “peso”, sendo este o dobro da “força viva”, têm-se que:

[...] a lei pela qual a *velocidade* de um corpo regula sua força viva não é tão óbvia. À primeira vista poderia se imaginar que a força viva pode ser simplesmente proporcional à velocidade, de modo que se um corpo se movesse duas vezes mais rápido que o outro, ele teria duas vezes o ímpeto ou a força viva. Porém, esse não é o caso, pois se três corpos de igual peso se movem com as respectivas velocidades de 1, 2 e 3 milhas por hora as forças vivas encontradas serão proporcionais a esses números multiplicados por eles mesmos, a saber, 1x1, 2x2, 3x3, ou 1, 4, e 9, os quadrados de 1, 2, e 3. Essa notável lei pode ser provada de várias maneiras. Uma bala disparada de uma arma com uma certa velocidade perfurará um bloco de madeira por apenas um quarto da profundidade que seria impelida se a velocidade fosse duas vezes maior. Novamente, se uma bola de canhão se encontrasse voando a certa velocidade, quando impelida por uma determinada carga de pólvora, e for necessário carregar o canhão de modo a impelir a bola o dobro da velocidade, seria necessário empregar quatro vezes o peso do pó previamente usado. Assim, também, será encontrado que uma ida de trem na estrada de ferro a 70 milhas por hora possui 100 vezes o ímpeto, ou força viva, que ele tem quando viaja a 7 milhas por hora (Joule, 1884, p. 267, tradução nossa).⁴⁷

⁴⁷ Versão original: [...] the law by which the *velocity* of a body regulates its living force is not so obvious. At first sight one would imagine that the living force could be simply proportional to the velocity, so that if a body moved twice as fast as another, it would have twice the impetus or living force. Such, however, is not the case; for if three bodies of equal weight move with the respective velocities of 1, 2, and 3 miles per hour, their living forces will be found to be proportional to those numbers multiplied by themselves, viz. to 1x1, 2x2, 3x3, or 1, 4, and 9, the squares of 1, 2, and 3. This remarkable law may be proved in several ways. A bullet fired from a gun at a certain velocity will pierce a block of wood to only one quarter of the depth it would if propelled at twice the velocity. Again, if a cannon-ball were found to fly at a certain velocity when propelled by a given

Joule não quis entrar na polêmica de qual é a verdadeira medida de força, tendo por objetivo neste momento apenas mostrar as diversas situações nas quais ocorre a conservação da “*vis viva*” (GOMES, 2012). Assim, “[...] a opção foi por evidenciar a relação que existe entre a força exercida sobre um corpo, durante certo espaço percorrido, com o quadrado de sua velocidade [...]” (GOMES, 2012, p.81). Desse modo, sequencia o artigo dizendo que “[...] um corpo pode ser dotado de força viva de várias maneiras [...]” (JOULE, 1884, p. 267, tradução nossa)⁴⁸. Segundo ele, a “força viva” pode ser facilmente transferida entre os corpos durante uma colisão perfeitamente elástica, ou ainda, essa “força viva” pode ser produzida por intermédio da ação gravitacional, quando, por exemplo, uma bola é solta de uma certa altura, adquire uma “força viva” proporcional à seu peso e à altura que caiu, da mesma forma, quando se comprime uma mola, para ela é comunicado uma certa quantidade equivalente de “força viva”. A partir destes exemplos, Joule (1884, p. 268, grifo nosso, tradução nossa) conclui que:

Vocês logo perceberão que a força viva que estamos falando é uma das qualidades mais importantes com que a matéria pode ser dotada, e, como tal, **seria um absurdo supor que ela pode ser destruída, ou mesmo diminuída, sem produzir o equivalente de atração ao longo de uma determinada distância da qual temos falado.** Vocês, portanto, serão surpreendidos ao saber que até muito recentemente, a opinião universal tem sido de que a força viva pode ser absolutamente e irrevogavelmente destruída por opção de qualquer um. Deste modo, quando um peso cai para o chão, foi geralmente suposto que sua força viva foi absolutamente aniquilada, e que o trabalho que pode ter sido gasto para elevá-lo até a altura que caiu foi completamente jogado fora e perdido, sem a produção de qualquer efeito permanente. **Nós poderíamos argumentar, a priori, que tal destruição absoluta da força viva não pode eventualmente ocorrer, porque é manifestamente absurdo supor que os poderes com que Deus dotou a matéria possam ser destruídos ou criados pela ação do homem;** mas não ficamos apenas com este argumento isolado, claro como deve ser a mente sem preconceitos. **A experiência comum de cada um ensina que a força viva não é destruída pelo atrito ou colisão dos corpos [...]**⁴⁹.

charge of gunpowder, and it were required to load the cannon so as to propel the ball with twice that velocity, it would be found necessary to employ four times the weight of powder previously used. Thus, also, it will be found that a railway train going at 70 miles per hour possesses 100 times the impetus, or living force, that it does when travelling at 7 miles per hour (JOULE, 1884, p. 267).

⁴⁸ Versão original: “[...] a body may be endowed with living force in several ways [...]” (JOULE, 1884, p. 267).

⁴⁹ Versão original: You will at once perceive that the living force of which we have been speaking is one of the most important qualities with which matter can be endowed, and, as such, that it would be absurd to suppose that it can be destroyed, or even lessened, without producing the equivalent of attraction through a given distance of which we have been speaking. You will therefore be surprised to hear that until very recently the universal opinion has been that living force could be absolutely and irrevocably destroyed at any one's option.

De acordo com Gomes (2012), ao analisar a conservação da “*vis viva*”, Joule não se distanciou muito das ideias de Leibniz. Entretanto, “[...] ao analisar a aparente perda da “força viva” por meio do atrito, a diferença entre os dois torna-se evidente [...]” (GOMES, 2012, p. 82), pois, conforme Iltis (1971, p. 27), apesar de Leibniz apresentar “[...] importantes argumentos matemáticos que mv^2 e não m/v era uma *medida* correta de algo que se conserva na natureza [...]”⁵⁰, ele não exhibe argumentos convincentes de que “[...] sua medida de força também era *conservada* nos exemplos físicos que ele alegou, com exceção das colisões elásticas [...]” (ILTIS, 1971, p. 27)⁵¹. Ou seja, Leibniz não especifica de modo adequado se seu sistema é fechado e conservativo, visto que não são especificados quais os mecanismos de transferência da “força” entre as partes do sistema. Enquanto isso, assim como Mayer, Joule introduz “[...] a conservação da “*vis viva*” [por meio da sua transformação] em calor para explicar a sua crença de que não há aniquilamento da ‘força’ [...]” (GOMES, 2012, p. 82), diferenciando-se assim, de Leibniz.

Deste modo, Joule segue concluindo que não é possível haver a aniquilação da força viva e questiona o leitor sobre como é possível que em quase todos os fenômenos naturais ocorra a aparente destruição da “força viva”, se na verdade descobrimos que não ocorreu nenhum desperdício ou perda desta. Segundo ele:

[...] Experiências permitiram-nos responder a estas perguntas de forma satisfatória, pois tem mostrado que, **onde quer que a força viva seja aparentemente destruída, um equivalente é produzido**, que no decorrer do tempo pode ser reconvertido em força viva. **Este equivalente é o calor** [...] (JOULE, 1884, p. 269, grifo nosso, tradução nossa).⁵²

Thus, when a weight falls to the ground, it has been generally supposed that its living force is absolutely annihilated, and that the labour which may have been expended in raising it to the elevation from which it fell has been entirely thrown away and wasted, without the production of any permanent effect whatever. We might reason, *à priori*, that such absolute destruction of living force cannot possibly take place, because it is manifestly absurd to suppose that the powers with which God has endowed matter can be destroyed any more than that they can be created by man's agency; but we are not left with this argument alone, decisive as it must be to every unprejudiced mind. The common experience of every one teaches him that living force is not *destroyed* by the friction or collision of bodies [...] (JOULE, 1884, p. 268-269).

⁵⁰ Versão original: “[...] important mathematical arguments that mv^2 and not m/v was a correct measure of something conserved in nature [...]” (ILTIS, 1971, p. 27).

⁵¹ Versão original: “[...] his measure of force was *conserved* in the physical instances he claimed for it, with the exception of elastic collisions [...]” (ILTIS, 1971, p. 27).

⁵² Versão original: [...] Experiment has enabled us to answer these questions in a satisfactory manner; for it has shown that, wherever living force is *apparently* destroyed, an equivalent is produced which in process of time may be reconverted into living force. This equivalent is *heat* [...] (JOULE, 1884, p. 269).

Assim, conforme os resultados das experiências, onde a “força viva” parece ser destruída ou absorvida, calor é produzido. Logo, “[...] a forma mais frequente em que a força viva é então convertida em calor é por meio do atrito [...]” (JOULE, 1884, p. 269, tradução nossa)⁵³.

Portanto:

A regra geral, então, é que, onde quer que a força viva seja aparentemente destruída, seja por percussão, atrito, ou qualquer outro meio similar, um exato equivalente de calor é devolvido. O inverso desta proposição também é verdadeiro, ou seja, que o calor não pode ser diminuído ou absorvido sem a produção de força viva, ou seu equivalente de atração através do espaço. Assim, por exemplo, na máquina a vapor, verifica-se que a força adquirida é às custas do calor do fogo, – isto é, que o calor provocado pela combustão do carvão é maior, pois uma parte deste não foi absorvida na produção e manutenção da força viva da máquina. É certo, todavia, salientar que isso ainda não tem sido demonstrado pela experiência [...] **Todos três, portanto – a saber, calor, força viva e atração pelo espaço (ao qual também poderia adicionar luz, que era consistente com o escopo da presente palestra) – são mutuamente conversíveis um no outro.** Nessas conversões nada se perde. A mesma quantidade de calor será sempre convertida na mesma quantidade de força viva. Podemos, portanto, expressar a equivalência em linguagem clara, aplicável em todos os momentos e em todas as circunstâncias. Assim, a atração de 817 libras pelo espaço de um pé é equivalente a, e convertível em, à força viva possuída por um corpo com o mesmo peso de 817 libras quando se desloca com a velocidade de oito pés por segundo, e essa força viva é novamente convertida em quantidade de calor que pode aumentar a temperatura de uma libra de água de um grau Fahrenheit [...] (JOULE, 1884, p. 270-271, grifo nosso, tradução nossa).⁵⁴

À luz da ciência atual, não há muita novidade no que foi escrito. Entretanto, essas afirmações provocaram uma estranheza naquele tempo, até mesmo para Kelvin, o maior defensor das

⁵³ Versão original: “[...] The most frequent way in which living force is thus converted into heat is by means of friction [...]” (JOULE, 1884, p. 269).

⁵⁴ Versão original: The general rule, then, is, that wherever living force is *apparently* destroyed, whether by percussion, friction, or any similar means, an exact equivalent of heat is restored. The converse of this proposition is also true, namely, that heat cannot be lessened or absorbed without the production of living force, or its equivalent attraction through space. Thus, for instance, in the steam-engine it will be found that the power gained is at the expense of the heat of the fire,—that is, that the heat occasioned by the combustion of the coal would have been greater had a part of it not been absorbed in producing and maintaining the living force of the machinery. It is right, however, to observe that this has not as yet been demonstrated by experiment [...] All, three, therefore – namely, heat, living force, and attraction through space [to which I might also add *light*, were it consistent with the scope of the present lecture] – are mutually convertible into one another. In these conversions nothing is ever lost. The same quantity of heat will always be converted into the same quantity of living force. We can therefore express the equivalency in definite language applicable at all times and under all circumstances. Thus the attraction of 817 lb. through the space of one foot is equivalent to, and convertible into, the living force possessed by a body of the same weight of 817 lb. when moving with the velocity of eight feet per second, and this living force is again convertible into the quantity of heat which can increase the temperature of one pound of water by one degree Fahrenheit [...] (JOULE, 1884, p. 270-271).

ideias de Joule (GOMES, 2012), que se mostra convencido de que o conhecimento do valor do equivalente mecânico do calor para a energia mecânica auxiliará na resolução de um grande número de questões interessantes e importantes.

Por conseguinte, Joule volta a investigar sobre a natureza do calor. Segundo ele, uma substância, como já dito anteriormente, possui como propriedades a extensão e a impenetrabilidade. Contudo, mostrou também que o calor pode ser convertido em “força viva” e na atração através do espaço. Assim, a menos que a matéria possa ser convertida em atração através do espaço, o que para ele é uma ideia absurda, a hipótese de o calor ser uma substância deve ser derrubada. Dessa forma:

[...] **Calor deve consistir numa força viva ou atração através do espaço.** No primeiro caso, podemos conceber as partículas constituintes do corpo a ser aquecido, no todo ou em parte, num estado de movimento. Neste último podemos supor as partículas sendo separadas pelo processo de aquecimento, de modo a exercer atração em um espaço maior [...] (JOULE, 1884, p. 273-274, grifo nosso, tradução nossa).⁵⁵

Como resultado, define calor sensível como sendo o calor que consiste na “força viva” das partículas, aumentando, por conseguinte, o estado de movimento das partículas e o calor latente como sendo produzido pela separação das partículas, provocando uma mudança no estado físico da matéria. Joule (1884, p. 275, grifo nosso, tradução nossa), segue analisando o seguinte exemplo:

[...] um bloco de gelo arrefeceu-se até zero; ao aplicar calor a ele, este irá gradualmente chegar até 32°, que é o número convencionalmente empregado para representar a temperatura na qual o gelo começa a derreter. Se, quando o gelo chegar a esta temperatura, você continuar a aplicar calor nele, ele será derretido; mas sua temperatura não aumentará além de 32° até ser totalmente convertido em água. A explicação destes fatos está clara em nossas hipóteses. **Até o gelo chegar à temperatura de 32° a aplicação de calor aumenta a velocidade de rotação das partículas constituintes; mas, no instante em que chega a esse ponto, a velocidade produz um certo aumento na força centrífuga das partículas que as obriga a separar-se uma das outras.** [...] Contudo, logo que a separação foi efetuada, e foi produzida água fluida, uma nova aplicação de calor causará um novo

⁵⁵ Versão original: [...] Heat must therefore consist of either living force or of attraction through space. In the former case we can conceive the constituent particles of heated bodies to be, either in whole or in part, in a state of motion. In the latter we may suppose the particles to be removed by the process of heating, so as to exert attraction through greater space [...] (JOULE, 1884, p. 273-274).

aumento na velocidade das partículas, o que constitui um aumento da temperatura, na qual o termômetro subirá imediatamente acima de 32° [...].⁵⁶

Ou seja, “[...] a transferência de calor, de acordo com Joule, será sempre transferência de força viva que dando origem a um aumento da força centrífuga poderá iniciar uma certa separação das partículas constituintes dos corpos, utilizando, para isso, alguma força viva” (VALENTE, 1999, p. 345). Com essas hipóteses, encerra o artigo aplicando-as em outros fenômenos, como a fusão e a combustão.

Como já visto anteriormente, o apoio de Kelvin aos trabalhos de Joule foi decisivo para seu reconhecimento científico (GOMES, 2012). Todavia, no início, apesar de perceber a importância de suas ideias e entrar em contato com alguns de seus artigos, Kelvin não estava seguro quanto aos seus resultados, de modo que escreve a seu pai dizendo: “Joule está, tenho certeza, errado em muitas das ideias dele, mas ele parece ter descoberto alguns fatos de extrema importância, como por exemplo, que o calor é produzido pela fricção dos fluidos” (THOMSON, 1847 apud VALENTE, 1999, p. 329, tradução nossa)⁵⁷. Joule segue se correspondendo com Kelvin, explicando melhor suas conclusões e chega a sugerir que este realize uma experiência simples:

Com respeito à experiência da cachoeira não penso eu que você teria dificuldade e estou ansioso para que você realize este experimento. Acredito que você teria sucesso com um sensato termômetro de Regnault e uma corda e balde para coletar a água. [...]. Espero ouvir falar de seu sucesso nesta experiência que é realmente muito interessante (JOULE, 1847 apud VALENTE, 1999, p. 329-330, tradução nossa).⁵⁸

⁵⁶ Versão original: [...] a block of ice cooled down to zero; apply heat to it, and it will gradually arrive at 32°, which is the number conventionally employed to represent the temperature at which ice begins to melt. If, when the ice has arrived at this temperature, you continue to apply heat to it, it will become melted; but its temperature will not increase beyond 32° until the whole has been converted into water. The explanation of these facts is clear on our hypothesis. Until the ice has arrived at the temperature of 32° the application of heat increases the velocity of rotation of its constituent particles; but the instant it arrives at that point, the velocity produces such an increase of the centrifugal force of the particles that they are compelled to separate from each other. [...] As soon, however, as the separation has been effected, and the fluid water produced, a further application of heat will cause a further increase of the velocity of the particles, constituting an increase of temperature, on which the thermometer will immediately rise above 32° [...](JOULE, 1884, p. 275).

⁵⁷ Versão original: “Joule is, I am sure, wrong in many of his ideas, but he seems to have discovered some facts of extreme important, as for instance, that heat is developed by the friction of fluids” (THOMSON, 1847 apud VALENTE, 1999, p. 329).

⁵⁸ Versão original: With regard to the waterfall experiments I don't think you would find much difficulty and I am anxious that you should make the experiment. I think you might succeed with a sensible thermometer of Regnault's and a rope and bucket for collecting the water. [...]. I do hope to hear of your success in this experiment which is really a very interesting one (JOULE, 1847 apud VALENTE, 1999, p. 329-330).

Com relação a isso, conforme relata Kelvin, estando de férias nos Alpes da Suíça ainda em 1847, encontra Joule por acaso, perto de Chamonix, e escreve a seu pai dizendo:

Antes de deixar a estrada de St. Martin eu encontrei, caminhando, Mr. Joule, com quem eu recentemente tinha me familiarizado em Oxford. Quando antes de o ver, ele não tinha nenhuma ideia de estar dentro da Suíça (ele até mesmo queria que eu fizesse alguns experimentos sobre a temperatura nas cachoeiras), mas desde aquela vez ele casou-se e estava agora em sua lua de mel. [...] Como nós íamos em direções diferentes, nós tivemos, claro, apenas alguns minutos para falar. Eu fiquei mais surpreendido por este encontro acidental do que o último [Joule] (THOMSON apud VALENTE, 1999, p. 330, tradução nossa)⁵⁹.

É interessante analisar esse acontecimento, pois, trinta e cinco anos mais tarde, Kelvin descreve essa história de modo diferente. Em 1882, escreve:

[...] Ele não me falou que casaria em uma semana ou isso, mas cerca de uma quinzena depois, eu estava caminhando por Chamonix para começar um passeio a Mont Blanc e eu encontro caminhando, Joule, com um longo termômetro em mãos e uma carruagem com sua senhora dentro. Ele me contou que havia se casado desde que nós partimos de Oxford! E ia tentar encontrar a elevação da temperatura nas cachoeiras. Nós tentamos nos encontrar alguns dias depois em Martigny e examinamos a Cascata de Sallanches, para ver se conseguiríamos responder. (THOMSON apud VALENTE, 1999, p. 330-331, tradução nossa)⁶⁰.

Dessa forma, Kelvin cria uma anedota da verdadeira história, visando mostrar a obsessão tida por Joule em dar visibilidade fenomenológica para seus resultados obtidos experimentalmente⁶¹ (VALENTE, 1999).

⁵⁹ Versão original: Before leaving the St. Martin road I met, walking, Mr Joule, with whom I recently become acquainted at Oxford. When I saw him before he had no ideas of being in Switzerland (he had even wished me to make some experiments on the temperature of waterfalls) but since that time he had been married and was now on his wedding tour. [...] As we were going different ways we had of course only a few minutes to speak. I was even more surprised by this accidental meeting than the last (THOMSON apud VALENTE, 1999, p. 330).

⁶⁰ Versão original: [...] He did not tell me he was to be married in a week or so, but about a fortnight later, I was walking down from Chamonix to commence the tour of Mont Blanc, and whom should I meet walking up, but Joule, with a long thermometer in his hand, and a carriage with a lady in it not far off. He told me that he had been married since we parted at Oxford! And he was going to try for elevation of temperature in waterfalls. We trysted to meet a few days later at Martigny, and look at the Cascade de Sallanches, to see if it might answer. We found it too much broken into spray (THOMSON apud VALENTE, 1999, p. 330-331).

⁶¹ Essa história continua sendo distorcida até hoje pelos livros didáticos. Esse será o assunto do próximo capítulo.

Apesar desta aproximação entre eles, as experiências de Joule não modificaram imediatamente as concepções tidas por Kelvin, que era influenciado pelas ideias de Fourier e Carnot acerca do funcionamento das máquinas térmicas (CARDWELL, 1989 apud VALENTE, 1999). Segundo Gomes (2012, p. 84), o engenheiro francês Sadi Carnot:

[...] ao refletir sobre quais circunstâncias o fluxo de calórico de um corpo quente para um corpo frio daria origem ao máximo rendimento possível nessas máquinas, fez uma comparação com a potência desenvolvida em uma roda hidráulica. Do mesmo modo que em uma roda hidráulica a potência depende da quantidade e da altura da queda d'água, na máquina térmica a potência motriz depende da quantidade de calórico e da diferença entre as temperaturas dos reservatórios térmicos [...].

Assim, chega à conclusão de que nos dois casos tanto a água como o calórico se conservam, contradizendo as ideias de Joule, que defende que “[...] a quantidade de trabalho gerado em um motor térmico corresponde a uma quantidade de calor consumido proporcional ao efeito mecânico produzido [...]” (GOMES, 2012, p. 84). Essa diferença fazia com que Kelvin discordasse dos resultados de Joule, pois ele acreditava que o valor mecânico do calor deveria ser proporcional ao quadrado da quantidade de calor e não da quantidade de calor (VALENTE, 1999).

Comprometido com a teoria dinâmica do calor, Joule critica a produção de trabalho sem a perda de calor enquanto Kelvin, não estando restrito a nenhuma teoria sobre a natureza do calor, acreditava que o calor deveria se conservar. Conforme Cropper (2001 apud GOMES, 2012, p. 85):

Era a afirmação de Joule da conversão de calor em trabalho, em uma máquina térmica, que incomodava Thomson. Em 1847, Thomson não tinha mais fé na doutrina do calórico, de que o calor era um fluido, mas ele não viu nenhuma razão para descartar outro axioma da teoria do calórico, de que o calor se conserva. Para Thomson, e seus antecessores, incluindo Carnot, isso significava que um sistema, em um determinado estado, tinha uma quantidade fixa de calor. Se o estado for determinado por certo volume V e temperatura t , o calor Q contido no sistema é dependente apenas de V e t . Matematicamente, o calor é uma função de estado, o que poderia ser escrito $Q(V, t)$, mostrando a dependência rigorosa das duas variáveis determinantes do estado, V e t . Para Thomson, em 1847, esse princípio era uma parte essencial da teoria de Carnot, e "para negá-lo, teria que derrubar toda a teoria do calor, em que é o princípio fundamental".

Joule tenta, por meio de experiências, convencer Kelvin de sua teoria, mas não obtém resultados. Kelvin argumenta que está tentando conciliar as duas perspectivas, porém:

[...] uma séria dificuldade permanece, isto é, Joule não tem provado nenhuma resolução do que acontece com o trabalho perdido durante a condução. Até que alguma resposta possa ser encontrada, ele não pode aceitar totalmente a visão de Joule e rejeitar a teoria de Carnot [...] (SMITH; WISE, 1989 apud VALENTE, 1999, p. 333, tradução nossa)⁶².

Assim sendo, para aceitar a conversão de calor em um efeito mecânico, era necessário entender antes o que acontecia com o calor que não era aproveitado nos fenômenos térmicos (GOMES, 2012). Aos poucos Kelvin começa a perceber que seria necessário “[...] manter a parte mais importante do trabalho de Carnot e introduzir a noção de interconvertibilidade entre trabalho e calor [...]” (VALENTE, 1999, p. 334) e progressivamente, após debates com outros membros da comunidade científica, como Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888) e William John Macquorn Rankine (1820-1872), que também trabalhavam com esse tema, Kelvin começa a trabalhar com a teoria dinâmica do calor⁶³ (GOMES, 2012; VALENTE, 1999).

Após ter estabelecido essa relação com Kelvin, Joule continua a aperfeiçoar seu experimento das pás e, em 1850, publica o artigo “*On the Mechanical Equivalent of Heat*”, na revista *Philosophical Transactions*. Neste trabalho, busca melhor descrever o aparato experimental já visto no artigo “*On the Existence of an Equivalent Relation between Heat and the ordinary Forms of Mechanical Power*” e apresenta os registros das medidas até então efetuadas, além da análise dos resultados obtidos (ALVES, 2008). Este artigo inicia com duas frases em epígrafe, sendo uma de Locke, que defende o calor como movimento, explicando que:

Calor é uma agitação muito viva das partes insensíveis do objeto, que produz em nós uma sensação que denominamos de objeto quente; assim o que em nossa sensação é o *calor*, no objeto nada mais é que o *movimento* (JOULE, 1884, p. 298, grifo nosso, tradução nossa).⁶⁴

⁶² Versão original: “[...] the serious difficulty that remained, namely that Joule had not provided any resolution of what happens to work lost during conduction. Until some answer could be found he could not totally accept Joule's views and reject the Carnot theory [...]” (SMITH; WISE, 1989 apud VALENTE, 1999, p. 333).

⁶³ Como esse não é nosso objetivo, não iremos nos aprofundar mais nas conclusões dadas por Kelvin a partir de então e seguiremos com a análise dos artigos de Joule.

⁶⁴ Versão original: Heat is a very brisk agitation of the insensible parts of the object, which produces in us that sensation from whence we denominate the object hot; so what in our sensation is *heat*, in the object is nothing but *motion* (JOULE, 1884, p. 298).

E uma frase de Leibniz, afirmando que “[...] a *força* de um corpo em movimento é proporcional ao quadrado da sua velocidade, ou à altura que atingiria contra a gravidade [...]” (VALENTE, 1999, p. 326). Essas frases são os dois pilares dos conhecimentos desenvolvidos por Joule, que defende a teoria dinâmica do calor, visto que, considerar o calor como um fluido inerente aos materiais não é capaz de explicar os resultados experimentais por ele obtidos (VALENTE, 1999).

Na sequência, explica o objetivo deste artigo, que é o de apresentar novos resultados para os experimentos realizados, a fim de determinar o equivalente mecânico com exatidão, conforme prometido à *Royal Society* anteriormente e segue fazendo um ligeiro esboço da evolução da doutrina mecanicista, identificando algumas pesquisas sobre o efeito calórico produzido por atrito que são importantes para a compreensão dos fenômenos de radiação e transmissão de calor.

Segundo Joule, o primeiro a realizar experiências a favor da teoria dinâmica foi Conde Rumford que demonstrou, por meio de experimentos simples, que a grande quantidade de calor excitado pela perfuração de um canhão não pode ser atribuída a mudanças na capacidade calorífica do metal, mas “[...] pela hipótese de que o calor é produzido pela excitação das partículas que se propagam com maior intensidade [...]” (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005, p. 2). Assim, Rumford conclui que é extremamente difícil, senão impossível acreditar que isso seja outra coisa a não ser o *movimento*. Além disso, procura estimar “[...] a quantidade de força mecânica necessária para produzir uma determinada quantidade de calor [...]” (Joule, 1884, p. 299, tradução nossa)⁶⁵, encontrando que “[...] o calor necessário para elevar 1° uma libra de água é equivalente à força representada por 1034 pés-libras [...]” (Joule, 1884, p. 299, tradução nossa).⁶⁶

Joule prossegue explicando que este valor não é muito diferente do obtido até então por ele (772 pés-libras) e justifica que o elevado valor encontrado por Rumford é, conforme o próprio menciona em seus trabalhos, devido a não ter estimado o calor acumulado na caixa de madeira e nem a dispersão ocorrida durante a experiência.

⁶⁵ Versão original: “[...] the quantity of mechanical force required to produce a certain amount of heat [...]” (Joule, 1884, p. 299).

⁶⁶ Versão original: “[...] the heat required to raise a lb. of water 1° will be equivalent to the force represented by 1034 foot pounds [...]” (Joule, 1884, p. 299).

Confirmando as experiências de Rumford, Humphry Davy demonstra experimentalmente que se atritarmos dois pedaços de gelo numa bomba de vácuo, estas irão derreter, concluindo que o calor é movimento. Na sequência, analisando o trabalho de Dulong sobre o calor específico dos fluidos elásticos, tem-se que “[...] o efeito calorífico é, sob determinadas condições, proporcional à força despendida” (JOULE, 1884, p. 300, tradução nossa)⁶⁷, visto que volumes iguais de fluidos elásticos sob a mesma temperatura e pressão, ao serem comprimidos ou dilatados para a mesma fração de volume, absorvem ou liberam a mesma quantidade de calor. Segundo Joule, é a lei de maior importância para o desenvolvimento da teoria do calor. Por fim, explica as contribuições dadas por Faraday, acerca das identidades químicas relacionadas com a eletrólise, na qual o calor produzido no fenômeno de magneto-eletricidade apresenta uma proporcionalidade direta com a força elétrica (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005).

Segue citando que Mr. Grove e Mayer defendem pontos de vista semelhantes aos supracitados e escreve: “Minhas próprias experiências referentes ao assunto foram iniciadas em 1840, ano no qual eu comuniquei à Royal Society minha descoberta da lei do calor produzido pela eletricidade voltaica, lei da qual foram retiradas deduções imediatas [...]” (JOULE, 1884, p. 300-301, tradução nossa)⁶⁸. A partir de então, Joule relembra as relações por ele já estabelecidas para o calor e afinidade química, assim como entre o calor liberado por uma máquina eletromagnética e a força absorvida, entre outras que contribuíram para chegar ao seguinte enunciado: “[...] a quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de uma libra de água em um grau da escala Fahrenheit é igual a, e pode ser convertida em, uma força mecânica capaz de elevar 838 libras perpendicular a altura de um pé” (JOULE, 1884, p. 301, tradução nossa)⁶⁹. Por conseguinte, continua lembrando as principais conclusões retiradas dos artigos por nós já discutidos anteriormente.

⁶⁷ Versão original: “[...] the calorific effect is, under certain conditions, proportional to the force expended” (JOULE, 1884, p. 300).

⁶⁸ Versão original: “My own experiments in reference to the subject were commenced in 1840, in which year I communicated to the Royal Society my discovery of the law of the heat evolved by voltaic electricity, a law from which the immediate deductions were drawn [...]” (JOULE, 1884, p. 301).

⁶⁹ Versão original: “[...] the quantity of heat capable of increasing the temperature of a lb. of water by one degree of Fahrenheit's scale is equal to, and may be converted into, a mechanical force capable of raising 838 lb. to the perpendicular height of one foot” (JOULE, 1884, p. 301).

É interesse notar que Joule demonstra conhecer os resultados obtidos por Mayer. Com efeito, Joule questiona tais resultados, alegando estar incompleto o trabalho de Mayer:

[...] A primeira menção, que estou ciente, de experiências nas quais há produção de calor pelo atrito de fluido é afirmada desde 1842 por M. Mayer, que afirma que elevou a temperatura da água de 12°C a 13°C pela agitação desta, sem, contudo, indicar a quantidade de força empregada, ou as precauções tomadas para garantir um resultado correto [...] (JOULE, 1884, p. 302, tradução nossa).⁷⁰

Aproveita, conseqüentemente, para enunciar os valores obtidos para o equivalente mecânico nos experimentos por ele realizado, e relata que, através do experimento das pás para produzir o atrito com fluido, obteve os seguintes resultados: 781,5, 782,1 e 787,6, respectivamente, a partir da agitação da água, azeite e mercúrio. Com efeito:

[...] Resultados que coincidem tão perto um do outro, e com aqueles previamente obtidos a partir de experimentos com fluidos elásticos e a máquina eletromagnética, não deixam nenhuma dúvida em minha mente quanto à **existência de uma relação equivalente entre força e calor**, mas ainda assim parece de grande importância obter essa relação com maior precisão. Isso que tentei no presente trabalho (JOULE, 1884, p. 302, grifo nosso, tradução nossa).⁷¹

Portanto, o propósito deste artigo é obter um resultado mais acurado dessa relação, trabalhando com dados experimentais quantitativos (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005). Inicia deste modo, fazendo uma descrição detalhada do aparato experimental utilizado, sendo o primeiro trabalho no qual ele insere o desenho do dispositivo. Todos os valores obtidos são representados em tabelas.

Na sequência, Joule explica os termômetros utilizados e as demais partes que constituem o aparato. A figura 1 à esquerda, representa o experimento visto na vertical e à direita, mostra o plano horizontal do aparelho, consistindo de uma roda de pás de bronze, equipada com oito

⁷⁰ Versão original: [...] The first mention, so far as I am aware, of experiments in which the evolution of heat from fluid friction is asserted was in 1842 by M. Mayer, who states that he has raised the temperature of water from 12° C. to 13° C. by agitating it, without, however, indicating the quantity of force employed, or the precautions taken to secure a correct result [...] (JOULE, 1884, p. 302).

⁷¹ Versão original: [...] Results so closely coinciding with one another, and with those previously derived from experiments with elastic fluids and the electro-magnetic machine, left no doubt on my mind as to the existence of an equivalent relation between force and heat; but still it appeared of the highest importance to obtain that relation with still greater accuracy. This I have attempted in the present paper. (JOULE, 1884, p. 302).

pás em um eixo de rotação trabalhando entre quatro braceletes fixos. As pás móveis estavam conectadas “[...] a um eixo que girava a partir da queda de dois corpos de mesma massa [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 2), enquanto as pás fixas estavam conectadas às paredes do calorímetro. Este aparato era utilizado para produzir a fricção da água, “[...] de modo que as pás metálicas produzem o atrito mecânico pelo contato direto com a água e durante o movimento giratório [...]” (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005, p. 3). Essas pás metálicas trabalham livremente no interior do recipiente, que está envolvido com um pedaço de madeira, protegendo a parte externa do recipiente metálico que contém a água, a fim de impedir a condução de calor nesta direção (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005).

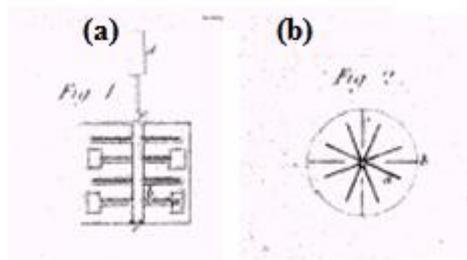


Figura 1 – A figura (a) ilustra o aparato mecânico no qual estão fixas as oito pás em um eixo de rotação e quatro braceletes fixos. Na figura (b), encontramos uma representação do plano horizontal do aparato. No centro deste localiza-se o eixo de rotação do conjunto de oito pás

Fonte: adaptado de JOULE (1884, p. 299)

A figura 2 representa o recipiente de cobre utilizado no experimento de fricção da água, na qual foi montado o aparelho rotativo, descrito na figura 1. Na sua tampa há também duas aberturas (a e b), sendo a primeira para permitir a movimentação da engrenagem no eixo vertical e a outra para inserir o termômetro no interior do compartimento (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005).

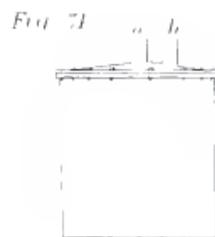


Figura 2 – Ilustração do reservatório utilizado no experimento de fricção da água

Fonte: JOULE (1884, p. 299)

Para as experiências de atrito com mercúrio, utilizou-se um aparato semelhante ao utilizado na fricção da água, conforme a figura 3. Entretanto, “[...] este se difere do aparato já descrito em seu tamanho, número de pás (dos quais seis eram rotativos e oito conjuntos estacionários) e material, o qual foi feito de ferro forjado as rodas das pás e ferro fundido o recipiente e as tampas” (JOULE, 1884, p. 304, tradução nossa)⁷².

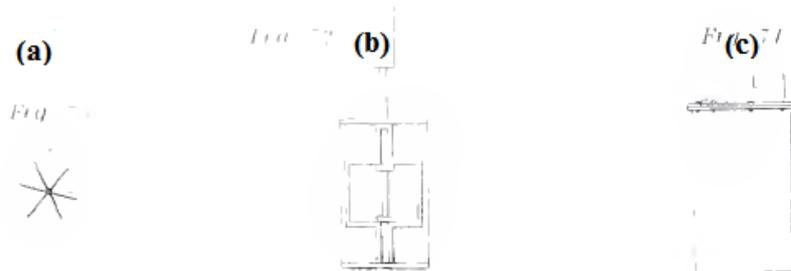


Figura 3 – Aparato utilizado na fricção de mercúrio. A figura (a) mostra o plano horizontal, com o eixo de rotação sobreposto à estrutura fixa. A figura (b) mostra a parte interna do aparato e a figura (c) ilustra o reservatório utilizado no experimento
Fonte: Adaptado de JOULE (1884, p. 299)

Joule procurou estender suas experiências para o atrito dos sólidos, e para isso, adquiriu o aparato representado nas figuras 4 e 5. Este consiste num eixo de rotação que impulsiona uma roda constituída de liga metálica, representada na figura 4 pela letra *b*. O movimento do recipiente é produzido pela estrutura retangular (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005).

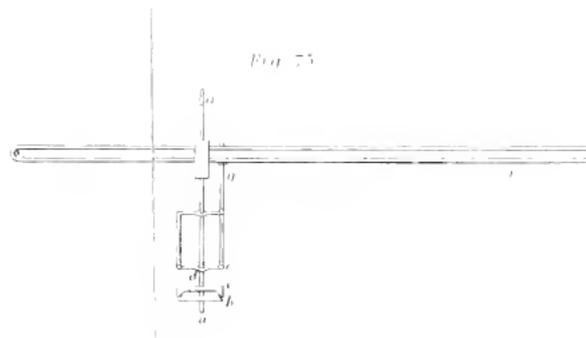


Figura 4 – Aparato utilizado no experimento de fricção dos sólidos. A figura mostra a estrutura de fricção e a barra horizontal *f*
Fonte: JOULE (1884, p. 299)

A estrutura de fricção está fixada no eixo central, por meio de dois furos. O recipiente encontra-se fixo no plano horizontal, por meio de uma barra de madeira (*f*) (CHRISTÓFALO;

⁷² Versão original: “[...] It differed from the apparatus already described in its size, number of vanes (of which six were rotary and eight sets stationary), and material, which was wrought iron in the paddle-wheel, and cast iron in the vessel and lid” (JOULE, 1884, p. 304).

CALUZI, 2005). Na figura 5 a engrenagem de fricção está no interior do recipiente, e conforme a alavanca f é abaixada, realiza-se uma fricção do metal encontrado na estrutura interna ao recipiente.

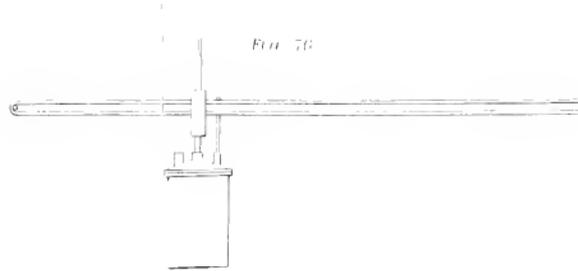


Figura 5 – Aparato em seu recipiente de ferro fundido, utilizado no experimento de fricção dos sólidos

Fonte: JOULE (1884, p. 299)

A figura 6 apresenta uma perspectiva das máquinas empregadas no aparato experimental de fricção. A parte (a) da figura 6 representa as polias de madeira, que possuem um pé de diâmetro e 2 polegadas de largura, e são responsáveis pelo movimento do eixo vertical de fricção. Cada polia está acoplada em rolos de madeira, cada um com diâmetro de 2 centímetros. O eixo de rotação dessas polias é dado por eixos de aço horizontal, com diâmetro de um quarto de polegada, estando colocado perpendicular ao eixo de rotação das pás de fricção. As polias foram fixadas firmemente nas paredes e estão apoiadas em pequenos discos de latão (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005).

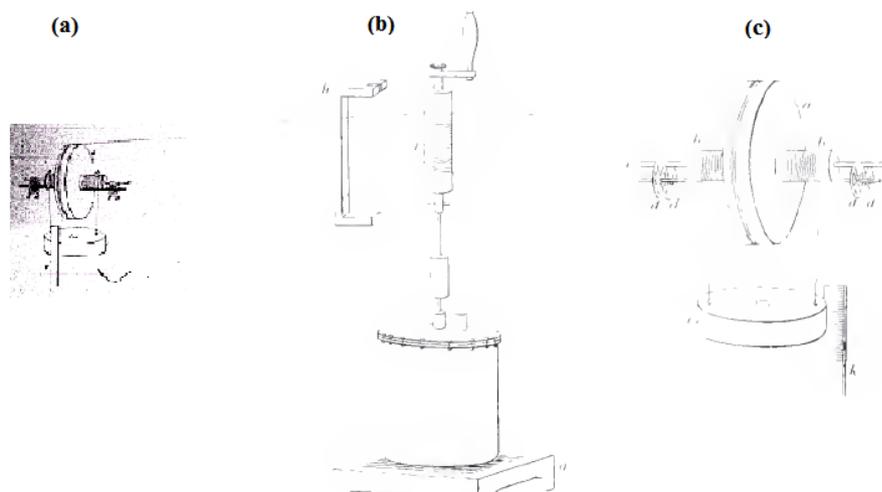


Figura 6 – Máquinas empregadas no experimento de fricção dos sólidos. Descrição do suporte dos pesos, cuja tração impulsiona as pás

Fonte: JOULE (1884, p. 299)

Os pesos, que eram constituídos de chumbo, em algumas experiências pesavam cerca de 29 libras e outros cerca de 10 libras. Estes foram suspensos pelas cordas de sustentação em cada lado dos pesos, de modo a equilibrar o centro de massa. Um cordão fino, ligado às polias, auxilia o movimento de fricção no interior do recipiente térmico. Para ser possível movimentar os pesos através do eixo central, este cordão é enrolado em forma de espiral a fim de transmitir a força de queda livre para a tração de fricção. Para travar ou acionar esse sistema com facilidade, utilizam-se pinos de ferro, possibilitando controlar a descida dos pesos, além de travar o cilindro do eixo, o qual conecta os cordões nas polias laterais.

A plataforma de madeira que sustenta o aparato apresenta diversas aberturas, feitas com o intuito de diminuir o contato da madeira com o metal e possibilitar um maior contato com o ar em todas as partes. Desta forma, evitou-se a condução de calor da plataforma para a substância analisada. Além disso, apesar de não representado nas figuras, Joule utiliza um biombo grande entre o experimentador e o aparato, a fim de isolar a região do experimento, evitando que a substância absorva o calor irradiado pela pessoa do experimentador.

O método de experimentação para fricção da água é, conforme a descrição de Joule (1884, p. 305-306, grifo nosso, tradução nossa), dada por:

[...] a temperatura de fricção do aparato foi averiguada e os pesos movidos para cima com a ajuda do suporte h , e o rolo era colocado no eixo. A altura precisa dos pesos acima do solo foi então determinada por meio de folhas de madeira graduadas k, k , o cilindro foi colocado em liberdade e permitiu girar os pesos até alcançarem o piso marcado do laboratório, depois de realizar uma queda de cerca de 63 polegadas. O rolo foi então removido do suporte, os pesos giraram novamente e a fricção se renovou. **Após isso ter sido repetido por vinte vezes**, a experiência foi concluída com outra observação da temperatura do aparato. A temperatura média do laboratório foi determinada por observações feitas no início, meio e término de cada experimento.

Anteriormente a, ou imediatamente depois de cada um dos experimentos, fiz um teste do efeito da radiação e condução de calor para a ou da atmosfera, diminuindo ou aumentando a temperatura do dispositivo de fricção. Nestas tentativas, a posição do aparato, a quantidade de água nele contida, o tempo gasto, o método de observar os termômetros, a posição do experimentador, em resumo, todas as coisas, com exceção do aparato que está em repouso, foi o mesmo que nas experiências em que foi observado o efeito do atrito [...].⁷³

⁷³ Versão original: [...] The temperature of the frictional apparatus having been ascertained and the weights wound up with the assistance of the stand h , the roller was refixed to the axis. The precise height of the weights above the ground having then been determined by means of the graduated slips of wood k, k , the roller was set

Em outras palavras, “[...] os corpos eram suspensos por fios que, após passarem por um sistema de roldanas, eram enrolados no eixo das pás móveis” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 2). Colocava-se no interior do calorímetro água, e esta era agitada pela rotação das pás. A energia de queda dos corpos era em grande parte transformada em calor dentro do calorímetro. Com o termômetro era averiguado a elevação da temperatura dentro do recipiente e partir disso era possível “[...] determinar a relação existente entre a parcela de energia mecânica resultante da queda dos corpos, convertida em calor, e o valor deste calor produzido [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 2) no interior do calorímetro.

Joule procurava evitar os erros cometidos anteriormente. Com efeito, realiza as precauções necessárias, como por exemplo, aferir a temperatura do laboratório antes, durante e depois do experimento, buscando determinar se o aumento da temperatura da substância deve-se apenas à fricção ou também à radiação proveniente da atmosfera (ALVES, 2008). O problema era como realizar uma “[...] estimativa precisa do valor da parcela de energia mecânica que efetivamente era convertida em calor [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 2). Para isso, era necessário conhecer os pesos dos corpos e a altura de queda a fim de determinar a energia potencial. Entretanto, durante a queda, essas massas adquiriam uma velocidade e, por conseguinte, uma energia cinética (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000). Assim, “[...] para que essa energia cinética pudesse ser medida, a velocidade adquirida deveria ser constante. Este problema foi minimizado por Joule com a utilização das pás fixas [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 2). Estas aumentavam o atrito com a água, o que ocasionava uma diminuição da velocidade de queda dos corpos. Essa velocidade, “[...] que era inicialmente variável, atingia, deste modo, mais rapidamente um valor limite constante que possibilitava o cálculo da energia cinética adquirida, na queda, pelos corpos [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 2). Era necessário subtrair essa energia da energia potencial inicial destes corpos, para ser possível calcular qual a parcela que seria transformada em calor (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000).

at liberty and allowed to revolve until the weights reached the flagged floor of the laboratory, after accomplishing a fall of about 63 inches. The roller was then removed to the stand, the weights wound up again, and the friction renewed. After this had been repeated twenty times, the experiment was concluded with another observation of the temperature of the apparatus. The mean temperature of the laboratory was determined by observations made at the commencement, middle, and termination of each experiment. Previously to, or immediately after, each of the experiments I made trial of the effect of radiation and conduction of heat to or from the atmosphere in depressing or raising the temperature of the frictional apparatus [...] (JOULE, 1884, p. 305-306).

Não obstante, era necessário considerar que não havia apenas perdas de energia através de sua transformação em energia cinética. Dessa forma, era necessário considerar as demais formas de dissipação de energia a fim de reduzir ao máximo as perdas, na impossibilidade de calculá-las. Portanto, “[...] as pás fixas serviam para reduzir a energia cinética de rotação adquirida pelo líquido no interior do vaso calorimétrico [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 2). Ao fazer isso, conseqüentemente aumentava o atrito ocasionado pelas pás fixas com a água e aumentava a agitação turbulenta da água, provocando uma maior elevação na temperatura da água. Procurando otimizar o experimento, Joule utilizou duas massas, dispostas simetricamente, de modo a manter o eixo das pás móveis estável. Era necessário utilizar um eixo metálico bastante resistente, devido à turbulência ocasionada na água. Entretanto, como era feito de metal, sendo um bom condutor, provocava perdas de calor do recipiente para o meio exterior. Para reduzir tais perdas, ele seccionou o eixo colocando uma espécie de luva resistente, feita com um material isolante, de modo a impedir a perda de calor ocasionada e unir as duas partes seccionadas do eixo (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000). Por fim:

O atrito no eixo das roldanas constituía-se num outro fator que auxiliaria nas perdas indesejáveis. Este problema foi reduzido por Joule substituindo uma única roldana por um arranjo no qual o eixo da roldana principal era apoiado em duas outras roldanas auxiliares. Esse arranjo experimental é visto nas figuras originais do mecanismo externo.

O experimento, contudo, produzia pequenas variações de temperatura, o que acarretava ganhos menores de calor pelo recipiente. Reduzindo-se o tempo de realização do experimento, a troca de calor com o meio exterior poderia ser também reduzida. Por outro lado, no entanto, reduzindo-se o tempo do experimento introduzia-se uma dificuldade maior na leitura das pequenas variações da temperatura (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 3).

Para conseguir aferir tais variações, Joule precisou utilizar um termômetro muito acurado, dotado com um grande número de subdivisões. Conforme este especifica, os termômetros empregados eram muito sensíveis, de modo que detectavam diferenças de aproximadamente 1/100 °F. Essa precisão é duvidosa, mesmo para os dias de hoje, visto as condições nas quais fora realizada a experiência (ALVES, 2008; PASSOS, 2009). Entretanto, ao longo do artigo, a calibração dos termômetros é descrita minuciosamente, explicando como estes foram graduados.

Percebe-se que Joule enfrentou diversas complicações ao longo de seu trabalho, as quais “[...] teve de tentar, astuciosamente, contornar com rara habilidade experimental [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.3). Assim, após um grande número de tentativas, Joule chegou à melhor situação possível: para tornar-se possível aferir as pequenas variações na temperatura, as duas massas caíam diversas vezes para provocar um aumento de temperatura. Para isso, através de uma manivela erguiam-se as duas massas, desconectadas do eixo das pás móveis, retirando-se um pino. Essa operação “[...] era estritamente necessária, caso contrário a energia gasta para elevar os pesos teria que ser considerada [...]”(CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 3). Deste modo, Joule conseguiu determinar o valor do equivalente mecânico do calor, levando em consideração a teoria dinâmica do calor. As figuras 7 e 8 apresentam alguns dos principais aspectos do experimento do calorímetro das pás.

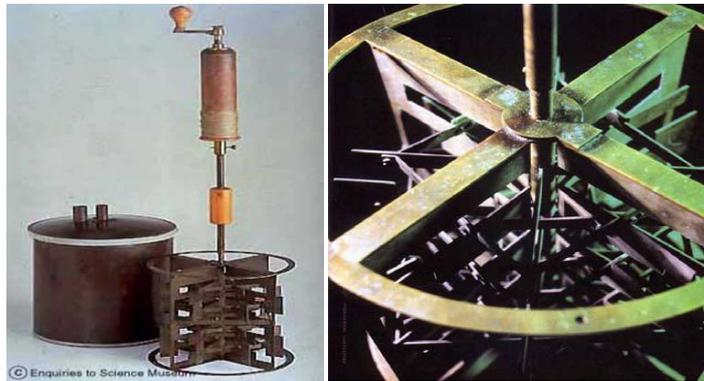


Figura 7 – À esquerda, calorímetro de Joule que se encontra no Science Museum de Londres. À direita, a figura mostra a estrutura interna do calorímetro, com as pás móveis e fixas
Fonte: CARMO; CARMO; MEDEIROS (2000, p. 3-4)

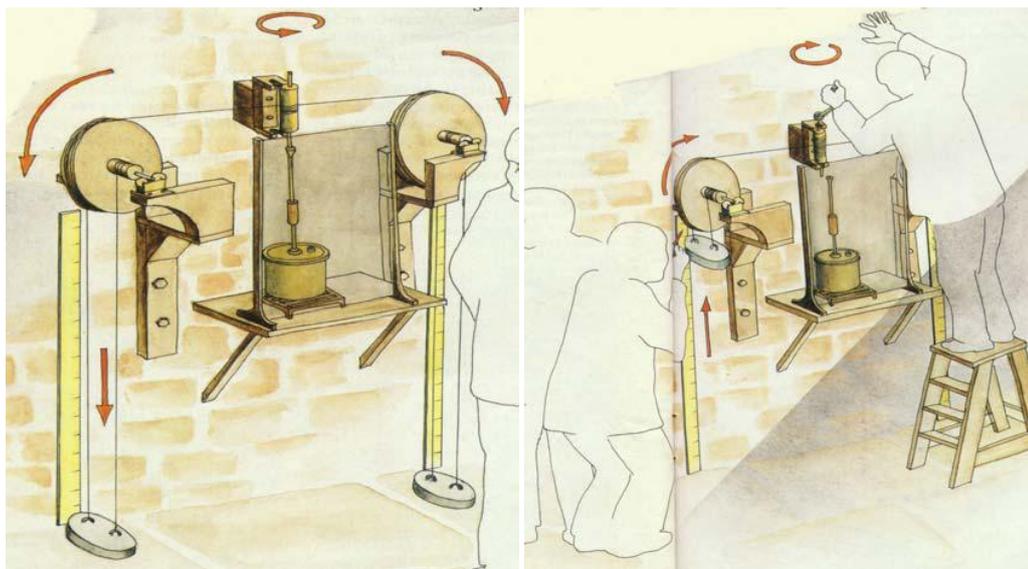


Figura 8 – À esquerda, visão externa do calorímetro, numa situação onde as duas massas estão em queda. À direita, visão externa do calorímetro numa situação em que as duas massas estão sendo erguidas
Fonte: CARMO; CARMO; MEDEIROS (2000, p. 4)

A primeira série de experimentos descrita no artigo é com o atrito da água. Neste, os pesos de chumbo atingiram, em média, a velocidade de 2,42 polegadas por segundo. Para realizar todo o procedimento já descrito foram gastos cerca de 35 minutos. O valor da temperatura de acréscimo da água pela fricção mecânica encontrada foi de $0,57525^{\circ}\text{F}$. Levando em consideração os efeitos da radiação observados através da variação da temperatura do ar, entre outros desvios experimentais advindos de outras fontes, obteve-se que o aquecimento imediato devido à fricção é dado por $0,563107^{\circ}\text{F}$ (CHRISTÓFALO; CALUZI, 2005). Porém, conforme alerta Joule (1884, p. 309, tradução nossa):

[...] para esta quantidade uma pequena correção deve ser aplicada em função da média das temperaturas do aparato no início e no término de cada experiência de fricção ter sido realizada para a temperatura média real, o que não era estritamente o caso, devido ser um pouco menos rápido o aumento de temperatura no final da experiência, quando a água se torna mais quente [...].⁷⁴

Portanto, o gradiente da temperatura ambiente apresenta um decréscimo de $0,000102^{\circ}\text{F}$. Isto, adicionado a $0,563107^{\circ}\text{F}$ nos fornece o real valor da temperatura que é $0,563209^{\circ}\text{F}$, obtido a partir das correções. A fim de determinar a quantidade de calor liberada, Joule descreve como encontrou a capacidade térmica do recipiente de cobre e das pás de metal, utilizando o método de Regnault. Assim, obteve que “[...] a quantidade total de calor produzido foi de $0,563209^{\circ}$ em 97.470,2 gramas de água, ou, em outras palavras, 1°F em 7,842299 libras de água” (JOULE, 1884, p. 311, tradução nossa)⁷⁵.

Na sequência descreve os procedimentos realizados para estimar a força aplicada para gerar esse calor. Obteve que a força total de fricção gasta é de 6067,114 pés-libras. Então, temos que a razão entre a força total e a quantidade de calor para elevar a temperatura em 1°F fornece o valor do equivalente mecânico do calor para a fricção da água, ou seja:

⁷⁴ Versão original: [...] to this quantity a small correction must be applied on account of the mean of the temperatures of the apparatus at the commencement and termination of each friction experiment having been taken for the true mean temperature, which was not strictly the case, owing to the somewhat less rapid increase of temperature towards the termination of the experiment when the water had become warmer [...] (JOULE, 1884, p. 309).

⁷⁵ Versão original: “[...] the total quantity of heat evolved was $0,563209$ in 97470,2 grs. of water, or, in other words, 1° Fahr. in 7,842299 lb. of water” (JOULE, 1884, p. 311).

$$\frac{6067,114}{7,842299} = 773,64 \text{ pés libras }^{76}$$

Por conseguinte, Joule realiza uma segunda série de experimentos para o equivalente mecânico da fricção de mercúrio, nas quais a velocidade dos pesos era de 2,43 polegadas por segundo. O tempo ocupado na experiência foi de 30 minutos (próximo do necessário para o atrito da água). O valor aproximado encontrado na elevação da temperatura do laboratório é de 2,491218°F, obtida através da soma dos acréscimos de temperatura de cada componente do equipamento.

Novamente, a fim de determinar a quantidade de calor absoluta de calor liberado, foi necessário encontrar a capacidade térmica do aparato. O valor médio obtido para a quantidade de calor liberado pelo atrito com mercúrio foi de 7,85505 libras para a capacidade equivalente a 1°F. Além disso, a força média utilizada na experiência foi de 6077,939 pés-libras. Desta forma, o valor do equivalente mecânico encontrado pela fricção de mercúrio é dado por:

$$\frac{6067,939}{7,85505} = 773,62 \text{ pés libras}$$

Na terceira série de experimentos Joule utiliza o mesmo aparelho relativo ao atrito do mercúrio, porém utilizando pesos mais leves. Para este, a velocidade dos pesos era menor, conseqüentemente, sendo dada por 1,4 polegadas por segundo. O tempo utilizado foi de 35 minutos. A temperatura média do mercúrio obtida nas experiências de fricção, fazendo as devidas correções advindas de outras fontes de calor, foi de 0,85804°F. Por conseguinte, a quantidade de calor liberado foi de 2,70548 libras para 1°F. O valor estimado para a força é de 2100,272 pés-libras e conseqüentemente, o equivalente mecânico do calor é dado por:

$$\frac{2100,272}{2,70548} = 776,303 \text{ pés libras}$$

⁷⁶ Pés libras é a tradução por nós dada para o termo original *foot Pound*.

A diferença entre o valor obtido anteriormente para a fricção de mercúrio deve-se ao fato de que, segundo Joule (1884, p. 321), “[...] a quantidade de atrito do mercúrio foi atenuada pelo uso de pesos mais leves”.⁷⁷

Dando sequência, a quarta série de experimentos é realizada para a fricção de ferro fundido. A velocidade média com que os pesos caíram foi de 3,12 polegadas por segundo. O tempo ocupado em cada experiência foi de 38 minutos. O aumento da temperatura após as devidas correções foi dada por 4,56785°F, apresentando a maior variação de temperatura encontrada até então, se comparado com os demais experimentos. A capacidade do aparato foi obtida da mesma forma que para o caso do atrito de mercúrio. Dessa forma, a quantidade de calor absoluta encontrada em 1°F foi de 7,69753 libras, valor próximo aos valores anteriores. A força resultante utilizada no movimento de fricção foi de 5980,955 pés-libras, após as correções, visto que a força realizada não foi totalmente utilizada na geração de calor – considerou-se que a fricção de um corpo sólido, como o ferro fundido, produz uma vibração considerável da estrutura, além de produzir um ruído alto. Portanto, o equivalente mecânico é dado por:

$$\frac{5980,955}{7,69753} = 776,997 \text{ pés libras}$$

A última série de experiências foi realizada com o mesmo aparelho, utilizando, entretanto, pesos mais leves. Para estes, a velocidade de queda foi de 1,9 polegadas por segundo e o tempo gasto em cada experiência foi de 30 minutos. A temperatura média do aparelho nas experiências de atrito é dada por 1,57555°F e a quantidade de calor equivalente a 1°F é 2,65504 libras. A quantidade de força convertida em calor no aparelho foi de 2057,336 pés-libras e como resultado, o valor obtido para o equivalente mecânico é dado por:

$$\frac{2057,336}{2,65504} = 774,88 \text{ pés libras}$$

É provável que o equivalente mecânico encontrado para o ferro fundido tenha sido ligeiramente maior devido à “[...] abrasão das partículas de metal durante o atrito, que não

⁷⁷ Versão original: “[...] the amount of friction of the mercury was moderated by the use of lighter weights” (Joule, 1884, p. 321).

poderiam ocorrer sem a absorção de uma determinada quantidade de força para vencer a atração de coesão [...]” (JOULE, 1884, p. 328, tradução nossa).⁷⁸

Após realizar essas novas experiências a fim de encontrar valores mais precisos para o equivalente mecânico do calor, Joule determina que o valor derivado da água seja o mais correto, em função das inúmeras experiências já realizadas e a grande capacidade térmica do aparato utilizado nesta experiência, sendo este dado por 772,692⁷⁹. Conclui o artigo enunciando duas proposições, que segundo ele, já foram demonstradas experimentalmente:

1° *Que a quantidade de calor produzida pela fricção dos corpos, no estado sólido ou líquido, é sempre proporcional à quantidade de força despendida.*
E,

2° *A quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de uma libra de água (pesadas no vácuo entre 55° e 60°) em 1°F necessita para sua evolução o gasto de uma força mecânica representada pela queda de 772 libras pelo espaço de um pé* (JOULE, 1884, p. 328, tradução nossa).⁸⁰

Em nota, Joule (1844, p. 328, tradução nossa) explica que: “A terceira proposição, suprimida conforme o desejo do Comitê para quem este artigo se refere, declara que a fricção consiste na conversão de força mecânica em calor”⁸¹. Assim, embora não haja nenhuma novidade neste artigo, ele foi censurado, sendo concebível apenas a conclusão obtida experimentalmente, ou seja, que existe um exato valor numérico entre a quantidade de calor e a quantidade de trabalho realizado (SMITH; WISE, 1989 apud VALENTE, 1999).

Em 1878, Joule publica outro artigo na *Philosophical Transactions*, com o título “*New Determination of the Mechanical Equivalent of Heat*” no qual descreve uma nova série de experimentos buscando aprimorar os resultados obtidos até então, trabalhando juntamente com Thomson e obtendo resultados próximos aos supracitados. Decorre dessas reflexões que:

⁷⁸ Versão original: “[...] the abrasion of particles of the metal during friction, which could not occur without the absorption of a certain quantity of force in overcoming the attraction of cohesion [...]” (JOULE, 1884, p. 328).

⁷⁹ O valor aceito atualmente é equivalente de 778,16 lb.ft, em *British Thermal Unit* (BThU) (PASSOS, 2009).

⁸⁰ Versão original: 1st. *That the quantity of heat produced by the friction of bodies, whether solid or liquid, is always proportional to the quantity of force expended.* And, 2nd. *That the quantity of heat capable of increasing the temperature of a pound of water (weighed in vacuo, and taken at between 55° and 60°) by 1° Fahr. requires for its evolution the expenditure of a mechanical force represented by the fall of 772 lb. through the space of one foot.* (JOULE, 1884, p. 328).

⁸¹ Versão original: “A third proposition, suppressed in accordance with the wish of the Committee to whom the paper was referred, stated that friction consisted in the conversion of mechanical power into heat” (JOULE, 1884, p. 328).

A formulação geral do princípio de conservação da energia exigiu um longo processo de amadurecimento até ter sido demonstrado, de forma experimental, não apenas que a energia se conserva mas que os diversos tipos de energia são equivalentes [...] (PASSOS, 2009, p. 6).

Assim, vários pesquisadores buscaram, de forma mais ou menos independente, solucionar o problema do equivalente mecânico do calor (PASSOS, 2009). Apesar do ilustre trabalho de Mayer, este obteve menor reconhecimento que Joule, o qual, apesar de ter publicado seus resultados sobre o princípio do equivalente mecânico somente em 1843 (um ano e meio após Mayer), “[...] realizou um meticuloso e criativo trabalho experimental que levou a comunidade científica a imortalizá-lo ao associar o seu nome à unidade de energia, no sistema internacional de unidades [...]” (PASSOS, 2009, p. 6). O apoio de William Thomson, o famoso Lorde Kelvin, também contribuiu fortemente para tornar pública as ideias de Joule.

Tendo como premissas os trabalhos originais de Joule, e a análise feita ao longo deste trabalho, buscaremos verificar como suas ideias estão sendo organizadas nos livros didáticos utilizados no Ensino Médio.

6 ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

6.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os livros didáticos estabelecem, de forma detalhada, o currículo já prescrito, influenciando a prática escolar, visto que servem como um suporte para a relação de ensino aprendizagem, sendo muitas vezes, um agente determinante do currículo (BUCUSSI, 2005; PAGLIARINI, 2007). Assim, devido à formação deficiente recebida pela grande maioria dos professores, estes passam a depender desse “auxílio” para cumprir o programa proposto, fazendo com que os livros didáticos se tornem determinantes da prática pedagógica em sala de aula e não apenas recursos auxiliares (SILVA, 2012).

Em virtude dessa intensa utilização, “[...] o professor torna-se um repetidor de atividades pré-elaboradas por outros, as quais incorporam propósitos que são alheios, tanto aos professores, quanto aos estudantes [...]” (MONTEIRO, 2010, p. 44), reforçando ainda mais as práticas tradicionais de ensino, as quais possuem diversas críticas⁸² por não serem suficientes para que ocorra uma verdadeira aprendizagem.

Dessa forma, ainda hoje, percebe-se que os livros didáticos influenciam o currículo não apenas quando são adotados como base para a sala de aula, como também ao serem empregados como “[...] fonte de pesquisa pelos professores no momento de realizarem seus planejamentos curriculares, prepararem alguma atividade de aula, selecionarem questões e problemas para uma avaliação [...]” (BUCUSSI, 2005, p. 28).

Surge, pois, um problema, haja vista que sua utilização ainda ocorre de forma ingênua, sendo empregado como fonte da verdade, influenciando as concepções de ciência tanto dos professores como dos alunos, ou seja, de um lado “[...] os alunos são fortemente influenciados pela visão de ciência dos professores, de outro, tanto os alunos quanto os próprios professores, têm suas visões de ciência influenciadas pelos livros didáticos [...]” (MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 1999, p. 2). Deste modo, muitas vezes reforçam as concepções alternativas dos alunos ao apresentarem concepções errôneas, fatos distorcidos,

⁸² Ver no capítulo 2 a seção 2.2, página 20.

uma ciência atemporal que não leva em consideração o que o aluno já sabe, apenas impõe uma “verdade científica”. Assim, os conceitos apresentados nos livros configuram:

[...] erroneamente o conhecimento científico como um produto acabado, elaborado por mentes privilegiadas, desprovidas de interesses político-econômicos e ideológicos, ou seja, que apresenta o conhecimento sempre como verdade absoluta, desvinculado do contexto histórico e sociocultural. Aliás, usualmente os livros escolares utilizam quase exclusivamente o presente atemporal (presente do indicativo) para veicular os conteúdos. Desse modo, apresenta-os como verdades que, uma vez estabelecidas, serão sempre verdades [...] (MEGID NETO; FRACALANZA, 2003, p. 151).

Por conseguinte, estes reforçam a concepção de que há um “[...] único processo de produção científica – o método empírico-indutivo – em detrimento da apresentação da diversidade de métodos e ocorrências na construção histórica do conhecimento científico [...]” (MEGID NETO; FRACALANZA, 2003, p. 154). Isso faz com que o aluno se torne passivo ao acreditar que a ciência é uma verdade absoluta, inquestionável e a ele cabe apenas memorizar isso temporariamente para uma possível avaliação do conteúdo.

Deste modo, tendo em vista as distorções e omissões normalmente encontradas nos livros didáticos, buscaremos examinar como estes, no caso específico, os de Física do Ensino Médio, abordam o conceito de equivalente mecânico do calor proposto por Joule, no sentido de identificarmos se este está sendo abordado de forma adequada.

6.1.1 OS LIVROS DIDÁTICOS ESCOLHIDOS

Como nosso propósito é subsidiar uma possível aplicação didático-pedagógica em sala de aula pelos professores, procuramos escolher livros didáticos de fácil acesso a todos os docentes. Desta forma, utilizamos livros didáticos conhecidos, a saber:

1. **Título:** Física – v. 2
Autor(es): Luz, A. M. R.; Álvares, B. A.
Editora: Scipione
Edição: 1^a
Ano: 2005

2. **Título:** Física – volume único
Autor(es): Sampaio, J. L.; Calçada, C, S.
Editora: Atual
Edição: 2^a

Ano: 2005

3. **Título:** Os fundamentos da Física – v. 2
Autor(es): Ramalho Junior, F.; Ferraro, N. G.; Soares, P. A. T.
Editora: Moderna
Edição: 8^a
Ano: 2003

4. **Título:** Física em contextos: pessoal, social e histórico – v. 2
Autor(es): Oliveira, M. P. P.; Pogibin, A.; Oliveira, R. C. A.; Romero, T. R. L.
Editora: FTD
Edição: 1^a
Ano: 2010

5. **Título:** Física – Ciência e Tecnologia: v. 2
Autor(es): Torres, C. M. A.; Ferraro, N. G.; Soares P. A. T.
Editora: Moderna
Edição: 2^a
Ano: 2010

6. **Título:** Física e Realidade – v. 2
Autor(es): Gonçalves Filho, A.; Toscano, C.
Editora: Scipione
Edição: 1^a
Ano: 2010

7. **Título:** Física – v. 2
Autor(es): Gaspar, A.
Editora: Ática
Edição: 1^a
Ano: 2000

8. **Título:** Temas de Física – v. 2
Autor(es): Bonjorno, J. R.; Bonjorno, R. A.; Bonjorno, V.; Ramos, C. M.
Editora: FTD
Edição: 1^a
Ano: 1998

Ao todo, examinamos oito coleções do Ensino Médio. No primeiro momento, realizamos uma rápida pesquisa nos livros selecionados a fim de verificar se havia ou não uma abordagem histórica sobre o equivalente mecânico do calor. Na sequência, examinamos como esta vem sendo abordada, se corrobora ou não com as concepções já tidas pelos alunos e quais são as distorções ocorridas com relação a essa descrição histórica.

6.2 RESULTADOS OBTIDOS, INTERPRETAÇÃO E INFERÊNCIA

Buscamos examinar a abordagem histórica realizada pelos livros, comparando as afirmações contidas nos livros com os artigos originais de Joule, a fim de analisar os textos escritos, assim como as figuras do experimento das pás, as quais apresentam inúmeras simplificações que “[...] distorcem por completo a complexidade do experimento de Joule [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 6). Para analisar as figuras, adotamos as oito categorias apresentadas por Carmo, Medeiros e Medeiros (2000) que são:

- a) presença de uma única massa na figura;
- b) ausência das pás fixas;
- c) ausência de um termômetro;
- d) termômetro muito curto;
- e) falta de uma manivela;
- f) ausência de um pino de conexão no eixo de metal das pás móveis;
- g) inexistência de um isolante no eixo das pás e;
- h) existência de uma única roldana sustentada por um eixo simples.

Dessa forma, seguiremos os exemplos apresentados pelos autores supracitados para analisar as distorções apresentadas pelos livros didáticos e aperfeiçoar nossa análise dos textos encontrados.

1. **Título:** Física – v. 2 / **Autor(es):** Luz, A. M. R.; Álvares, B. A. / **Editora:** Scipione / **Edição:** 1^a / **Ano:** 2005

Este livro apresenta uma pequena abordagem histórica intitulada: “Calor e energia mecânica – A experiência de Joule”, no capítulo 12, denominado “Primeira Lei da Termodinâmica”, o qual pertence à unidade 6, de título “Calor”. Entretanto, logo no início desse capítulo, ao fazer uma breve abordagem histórica, citando a teoria do calórico e fazendo a passagem para a ideia de calor como energia, os autores escrevem que alguns cientistas confirmaram as suposições de Rumford sobre o calor ser *movimento*, sendo um deles James P. Joule, “[...] cujas célebres experiências acabaram por **estabelecer, definitivamente, que o calor é uma forma de energia**” (LUZ; ÁLVARES, 2005, p. 105, grifo nosso). Como visto em nossa análise histórica, esse advento é uma das prováveis causas do estabelecimento de que calor é energia,

mas não a única. Seria interessante deixar claro isso, a fim de que os leitores compreendam que a ciência não é linear, sistematizada, pelo contrário, constitui-se por meio de disputas e contradições. Assim, além de explicar as prováveis causas que estabeleceram o calor como forma de energia, é necessário abordar a polêmica em torno de Mayer e Joule sobre quem havia estabelecido o valor do equivalente mecânico do calor de modo satisfatório. Entretanto, neste livro, nenhum mérito é dado a Mayer, que nem chega a ser citado pelos autores. Outro equívoco é dizer que suas experiências estabeleceram *definitivamente* que calor é energia, reforçando a visão empírica de que apenas por meio de um experimento é possível “provar” uma teoria, distorcendo o trabalho científico.

Na sequência, ao trabalhar com as unidades de calor, os autores escrevem: “[...] uma vez estabelecido que o calor é uma forma de energia, é evidente que uma certa quantidade de calor deve ser medida em unidades de energia [...]” (LUZ; ÁLVARES, 2005, p. 106). Percebe-se que essa é uma explicação simplista, visto que anteriormente haviam definido calor como sendo “[...] **a energia transferida de um corpo para outro** em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles” (LUZ; ÁLVARES, 2005, p. 106, grifo nosso), não explicando como foi estabelecida uma relação entre calor e energia e reforçando, segundo Gomes (2012), as concepções de que o calor é um fluido sutil e, como calor é energia, esta também é uma substância – um fluido sutil – que “[...] pode ser contida em um corpo e ser transferida de um local para outro [...]” (GOMES, 2012, p. 164, sublinhado do autor). Assim, sem explicar como foi estabelecido esse valor de conversão de calorias para joules, escreve: “[...] em suas experiências já mencionadas [referindo-se ao estabelecimento de que o calor é uma energia], Joule estabeleceu a relação entre estas duas unidades [...]” (LUZ; ÁLVARES, 2005, p. 106) e descreve que $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$. Percebe-se que não faz “sentido” essa conversão, pois, em nenhum momento é questionado que esse calor pode ser transformado em energia mecânica, ou vice-versa, sendo apenas uma constatação trivial. Isto é um tipo de informação inútil, pois em nada acrescenta ao conteúdo, não possibilitando aos alunos compreender a importância desta relação.

Essa explicação só é encontrada no final do capítulo, em um quadro que traz uma breve descrição histórica sobre o experimento de Joule. Esta inicia dizendo que, uma vez aceito que o calor é uma forma de energia, “[...] tornava-se necessário determinar a relação entre uma certa quantidade de calor e a quantidade equivalente de outra forma de energia [...]” (LUZ; ÁLVARES, 2005, p. 123). Neste ponto, vale lembrar que quando Joule iniciou seus estudos a

fim de determinar tal relação, havia duas teorias vigentes: a teoria do calórico e a teoria dinâmica e, portanto, pressupunha, ao tentar estabelecer o valor do equivalente mecânico, que o calor deveria ser *movimento*. Assim, para evitar tal confusão, os autores deveriam reorganizar a frase, alertando que essa relação foi obtida antes que houvesse uma concordância entre os dois pontos de vista.

Por conseguinte, os autores trazem que, “[...] realizando medidas muito cuidadosas e repetindo-as inúmeras vezes, **Joule conseguiu obter, com sucesso, a relação procurada [...]**” (LUZ; ÁLVARES, 2005, p. 123, grifo nosso). Na parte grifada, o autor resume todo o trabalho feito anteriormente por Joule em busca do valor deste equivalente, ignorando todo o processo de construção ocorrido até então, transmitindo uma visão distorcida da ciência, não levando em conta seu problema inicial, que era a melhoria da eficiência dos motores elétricos. É a partir deste obstáculo que surge toda uma construção teórica e experimental realizada por ele para se determinar a relação entre calor e movimento, influenciado pelos fatores sociais, políticos e econômicos. Deste modo, ao enfatizar que Joule obteve com sucesso a relação desejada, dá-se a impressão que essa preocupação surgiu do nada e que, com grande facilidade – assim como todos os outros “gênios” da ciência – conseguiu “provar” sua inicial especulação. Isso corrobora para reafirmar as concepções ingênuas tidas pelos alunos⁸³, de que a ciência é feita de forma linear, sem erros e distorções, em que apenas alguns são capazes de formular coisas novas, o que desestimula este a aprender, visto que já é algo “pronto e acabado”.

Dando continuidade ao item anterior, os autores explicam que Joule conseguiu obter “[...] quantos **joules de energia mecânica** seriam necessários transformar para se obter **1 caloria de energia térmica**” (LUZ; ÁLVARES, 2005, p. 123, grifo nosso). É importante ressaltar que na época em que foi estabelecida essa relação, as unidades de medida eram muito diferentes e, provavelmente para simplificar, os autores utilizaram as unidades atuais. Esse seria um momento interessante para explicar o contexto original: “a quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de *uma libra* de água em *um grau na escala Fahrenheit* é igual a, e pode ser convertido em, *uma força mecânica capaz de elevar 778,16 libras a uma altura perpendicular de um pé*” (JOULE, 1884), ensinando como realizar as devidas conversões e

⁸³ Conforme visto na seção 3.2 sobre os problemas enfrentados pela má utilização da história da ciência.

questionando porque essas eram as unidades utilizadas na época. Se isso não for explicado, torna-se quase impossível trabalhar com trechos originais do trabalho de Joule.

Dando continuação ao quadro, os autores iniciam uma descrição da experiência mais conhecida de Joule: o experimento das pás. Visivelmente já há inúmeras distorções na figura por eles apresentada (Figura 9). Joule utiliza dois pesos, a fim de conferir um maior equilíbrio ao sistema, diferentemente do que nos apresenta o livro, com apenas um peso. Além disso, a figura não deixa explícita a existência das pás fixas, necessárias para ocasionar uma maior turbulência na água, provocando um aumento na temperatura e conseqüentemente, uma maior produção de calor. Outro fator por nós percebido é a presença de um termômetro muito curto, incapaz de aferir as pequenas variações ocorridas de temperatura com a precisão requerida por Joule. Outras distorções são: a falta de uma manivela, necessária para girar o conjunto de pás; ausência de um pino de conexão no eixo de metal das pás móveis, necessário para que este seja desconectado a fim de impedir o giro das pás na elevação das massas, evitando que seja necessário considerar a energia desprendida para a referida operação; não apresenta o isolante no eixo das pás, necessário para diminuir a propagação de calor e, por último, a utilização de uma roldana sustentada por apenas um eixo simples, negligenciando a complexidade do sistema de suspensão destas. Percebe-se então que a figura mostrada no livro contém inúmeras simplificações o que não permite ao aluno compreender corretamente os procedimentos adotados por Joule, mantendo apenas a visão simplista de que basta o peso cair que a temperatura da água já irá ter um pequeno acréscimo.

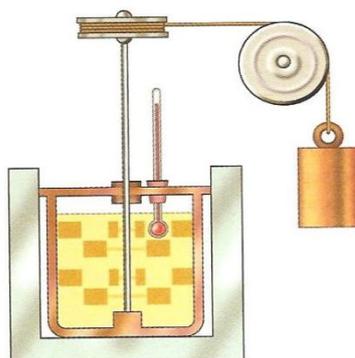


Figura 9 – Esquema do dispositivo apresentado no livro didático
Fonte: LUZ; ÁLVARES (2005, p. 124)

Ao descrever o procedimento adotado por Joule, simplifica sua explicação de acordo com a figura, ignorando os mesmos aspectos já supracitados para a imagem: não se preocupa com os

detalhes, fundamentais para que Joule conseguisse obter o valor do equivalente mecânico do calor. Em nenhum momento cita que, para produzir variações significativas na temperatura, era necessário repetir o experimento por vinte vezes, e para evitar cálculos complicados, era preciso rebobinar com o eixo desconectado das pás. Os autores encerram com um exemplo numérico da experiência, a fim de obter um valor hipotético fazendo uma alusão ao trabalho de Joule de modo ingênuo o que reforça, como já dito aqui, uma visão incorreta do trabalho científico.

2. **Título:** Física – volume único / **Autor(es):** Sampaio, J. L.; Calçada, C. S. / **Editora:** Atual / **Edição:** 2ª / **Ano:** 2005

No início do capítulo 33, de título “Calorimetria” que está inserido na unidade 2, denominada “Termologia”, os autores iniciam descrevendo que “[...] **uma caloria** é a quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura de 1 grama de água” (SAMPAIO; CALÇADA, 2005, p. 174) e a partir dessa definição estes explicam que depois que foi estabelecido que o calor é uma forma de energia, a unidade utilizada passou a ser joule (J) e escreve que com base nas experiências de Joule, definiu-se que 1 cal equivale a 4,186 J (exatamente), advertindo que no final deste capítulo encontra-se um texto sobre o cientista. Nota-se que, não explicando neste momento a definição de calor, estes evitam cometer uma série de erros quanto à descrição histórica. Entretanto, fica vago o que vem a ser o calor, o que reforça ainda mais as concepções dos alunos, pois estes, sempre que necessário, recorrerão às suas próprias explicações.

No final do capítulo encontramos um quadro denominado “História”, que traz como título “O experimento de Joule”. Os autores começam explicando que “[...] no início do século XIX já era grande o número de cientistas que acreditavam ser o calor uma forma de energia e não uma substância. **Faltava porém um trabalho experimental que comprovasse tal opinião [...]**” (SAMPAIO; CALÇADA, 2005, p. 179, grifo nosso). Dessa forma, os autores citam brevemente que há ainda uma controvérsia entre as duas teorias sobre o calor, sem, entretanto melhor explicitá-las. Ainda assim, a parte grifada deixa-nos dúvida sobre sua validade, visto que corrobora com a ideia de que toda teoria deve ser *provada experimentalmente*, reforçando uma visão empirista da ciência.

Apesar de não se aprofundarem nos trabalhos de Joule, os autores chegam a citar que “[...] Joule realizou um grande número de experimentos, tentando demonstrar a equivalência entre o calor e outras formas de energia, como a energia mecânica e a energia elétrica [...]” (SAMPAIO; CALÇADA, 2005, p. 179) e esclarecem que irão apresentar o experimento da transformação de energia mecânica em calor. Na sequência, os autores inserem uma figura da réplica do dispositivo utilizado por Joule na experiência das pás, que está exibida em Oldenburg, na Alemanha (figura 10), e um esquema ilustrativo desse aparelho.



Figura 10 – Réplica do dispositivo utilizado por Joule, em exposição em Oldenburg, na Alemanha
Fonte: SAMPAIO; CALÇADA (2005, p. 180)

No esquema ilustrativo (figura 11), apesar de conter duas massas, as pás fixas (que são de grande importância) estão omitidas e o termômetro indicado é muito curto, mostrando-se incapaz de aferir com precisão as variações na temperatura. Além disso, apresenta uma manivela fixa, ou seja, não há o pino de conexão do eixo das pás móveis, utilizado para rebobinar o fio desconectando-se das pás. Por fim, não deixa clara a existência de um isolante no eixo de metal das pás fixas e apresenta as roldanas sustentadas em apenas um ponto.

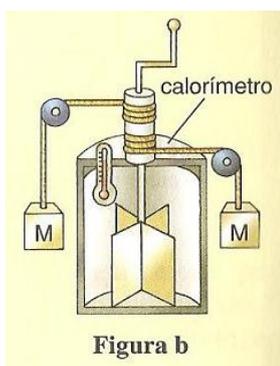


Figura 11 – Esquema do dispositivo apresentado no livro didático
Fonte: SAMPAIO; CALÇADA (2005, p. 180)

Novamente, nenhuma dessas preocupações aparece na descrição feita do experimento deixando a ideia de que este é um procedimento simples de ser executado e é assim que, indiretamente, resumem os autores: “[...] dentro de um calorímetro foi colocada certa quantidade de água. Do lado de fora, dois corpos suspensos, ao serem libertos, caíam, fazendo girar um conjunto de pás dentro do calorímetro, agitando a água e fazendo sua temperatura subir [...]” (SAMPAIO; CALÇADA, 2005, p. 180). Deste modo, não apresentam nenhuma preocupação em expressar as dificuldades tidas por Joule até conseguir realizá-lo com grande precisão e ignora os detalhes cabíveis para que fosse possível encontrar tal relação. Vale ressaltar que essas visões empiristas só reforçam as concepções dos estudantes de que a ciência brota pronta na cabeça de “grandes gênios”: em nenhum momento estes se questionam de como obter um aparato mais eficiente, quais foram os problemas enfrentados e muito menos as motivações tidas por Joule.

3. **Título: Os fundamentos da Física – v. 2 / Autor(es): Ramalho Junior, F.; Ferraro, N. G.; Soares, P. A. T. / Editora: Moderna / Edição: 8ª / Ano: 2003**

Neste livro, na abertura da parte 1, de título “Introdução à Termologia”, encontramos uma imagem de Joule, com a seguinte descrição: “James Prescott Joule (1818-1889), notável físico autodidata inglês” (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2003, p. 1). Entretanto, na sequência, ao longo do capítulo 1, intitulado de “Conceitos Iniciais”, este é pouco referenciado – o que torna sem sentido a descrição inicial. Os autores, após definirem que “[...] a energia térmica pode transferir-se de um corpo para outro quando entre eles houver uma **diferença de temperatura** [...]” (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2003, p. 3) tentam fazer uma breve abordagem histórica, descrevendo que “[...] a idéia de que o calor é uma forma de energia só foi **estabelecida definitivamente** na Física a partir do século XIX, pelo físico inglês Joule [...]” (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2003, p. 3, grifo nosso). Essa afirmação reforça as concepções empiristas, onde é possível “provar”, “estabelecer definitivamente”, ou seja, é algo definitivo, pronto. Além disso, uma das prováveis causas do abandono definitivo da teoria do calórico é o advento do princípio de conservação da energia, entretanto, esta não foi estabelecida somente por Joule. Seria importante abordar as disputas entre Mayer e Joule sobre quem trabalhou com isso primeiro e levar em consideração o contexto econômico, político e social que os motivaram na busca por essa relação entre calor e energia mecânica. Este livro reduz todo o trabalho de Joule há uma simples relação: 1 caloria = 4,1868 joules. Podemos nos questionar: que sentido tem essa

relação? Abordada deste modo, a resposta é simplesmente nenhuma. Em nenhum momento cria-se a possibilidade de pensar sobre o significado desse valor de conversão entre a unidade de quantidade de calor (caloria) e a unidade de energia (joule). Dessa forma, esta se torna uma relação inútil, sem significado, o que não é verdade, pois a compreensão deste fator auxiliaria na compreensão de que calor é uma forma de energia.

Mais a frente, na parte 3, denominada “Calor – Energia térmica em trânsito”, no capítulo 4, “A medida do calor – Calorimetria”, os autores voltam colocar a relação, afirmando que a unidade de quantidade de calor é a mesma que a unidade de energia. Entretanto, ao colocar anteriormente que “[...] o corpo A cede calor ao corpo B, até as temperaturas se igualarem” (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2003, p. 47), reforçam as concepções dos alunos de que calor é fluido, levando-os a crer que como calor é energia, esta também é um fluido. Uma ideia seria trabalhar como Joule concluiu que o calor não poderia ser outra coisa senão *movimento*.

Ainda neste capítulo, os autores trazem um quadro sobre “História da Física”, com o título “A evolução do conceito de calor” onde resumem em uma página a história desde a utilização do fogo pelo homem das cavernas, citando alguns nomes mais famosos como o de Aristóteles, Boyle, Lavoisier, Black, Thompson, Joule e Mayer, mostrando uma ciência linear, sem conflitos e sem citar o contexto em que cada um destes cientistas estava inserido. A impressão é que cada um deu sua contribuição e que o próximo apenas complementou o trabalho do anterior, progressivamente, de modo sistemático. Seguindo essa ordem, “[...] a equivalência entre calor e energia mecânica foi determinada por JULIUS ROBERT MAYER (1814-1878) em 1842 e, **com mais precisão, por JAMES PRESCOTT JOULE (1818-1889) em 1843 [...]**” (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2003, p. 64, grifo nosso). Desta forma, os autores resumem todo o trabalho por estes realizado, simplificando todas as discussões, além de novamente, dar o mérito a Joule. Em nenhum momento foi citado como Joule obteve a relação entre a quantidade de calor e a energia mecânica, sugerindo ao aluno que este valor “brotou” instantaneamente em sua cabeça – como ocorre com os “grandes gênios”.

4. **Título:** Física em contextos: pessoal, social e histórico – v. 2 / **Autor(es):** Oliveira, M. P. P.; Pogibin, A.; Oliveira, R. C. A.; Romero, T. R. L./ **Editora:** FTD / **Edição:** 1ª / **Ano:** 2010

Na unidade 2, de título “Calor”, os autores buscam trabalhar com a história da natureza do calor, citando Joule no final do capítulo 6, intitulado “Calor como energia”, num quadro sobre “o debate da natureza do calor”, onde após discutirem o trabalho de Bacon, Boyle, Stahl e Lavoisier, procuram abordar o trabalho de Benjamin Thompson sobre a perfuração dos canhões e citam que este constatou, experimentalmente, que “[...] para cada 1 caloria seria necessário produzir cerca de 5,5 J de trabalho [...]” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 194). Mas, ressaltam que foi Joule que conseguiu encontrar, por meio de experimentos cuidados, o valor para o equivalente mecânico do calor, fortalecendo a teoria do calor como forma de energia.

Os autores voltam a trabalhar com esse conceito apenas no capítulo 8, denominado “Trocadas de Calor”, onde estabelecem a relação entre caloria e joule, após já terem discutido que “[...] calor é uma forma de energia ligada à agitação de moléculas ou átomos que constituem a matéria e que a temperatura é a medida dessa agitação” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 216). Dessa forma, explicam que a unidade de calor é a mesma que a de energia, ou seja, é medido em joule (J). Entretanto, buscam justificar porque existem essas duas unidades: “[...] no passado, quando o calor ainda era considerado uma substância, era medido numa unidade chamada caloria (cal). Por tradição, as duas unidades foram mantidas, ambas servindo como unidade de medida para o calor [...]” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 216). E finalizam argumentando que: “[...] o joule é mais usado para máquinas e outros tipos de equipamento, já a caloria é usada em questões ligadas à alimentação [...]” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 216) e na sequência, colocam que a equivalência entre essas duas unidades é dado por $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$. Apesar de ainda não explicarem o contexto histórico, compreendemos que essa é uma alternativa em que não se omite totalmente a importância dessa relação, pois os autores ao menos tentam situá-la dentro do contexto da quantidade de calor. Houve uma preocupação por parte dos autores em explicar o porquê da equivalência entre essas duas unidades.

Todavia, a explicação de como foi obtido essa equivalência está contida num quadro sobre “O cientista no tempo e na história”, no final deste capítulo, intitulado de “James Joule”. Este inicia explicando que “[...] no início da Revolução Industrial, o tema do calor despertava o interesse de muitos setores da Física [...]” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 220) e que, ao longo do processo de desenvolvimento da teoria relacionando calor e energia, Joule foi um físico de destaque. Dessa forma, os autores procuram contextualizar o momento em que surge a preocupação com o desenvolvimento da teoria, explicando que esta é uma época em que a Ciência passou por diversas modificações, onde “[...] deixava de ser percebida como apenas

uma forma de organização do conhecimento e ampliava o domínio das fontes de energia da natureza [...]” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 220). Segundo estes, “[...] Joule contribuiu para a percepção de que a energia pode ser extraída e transformada. Por exemplo, foi o primeiro a estabelecer o princípio da interconvertibilidade das diversas formas de energia” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 220). Esse início é importante para que o aluno compreenda que a ciência sofre mudanças ao longo do tempo, dependendo do contexto em que está inserido. Neste caso, a Revolução Industrial modificou toda a estrutura econômica e social, influenciando a percepção de natureza e de ciência.

Na sequência, os autores fazem uma breve biografia de Joule, enfatizando que este era “fascinado pela eletricidade” e descrevendo que em seu primeiro trabalho, “[...] estudou as relações entre a eletricidade e o calor, que resultaram no conhecido Efeito Joule descrito na obra *Sobre a produção de calor por meio da eletricidade voltaica*, de 1841” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 220). Apesar de ser sintetizada a explicação dos trabalhos de Joule, é importante para que o aluno perceba que a relação de equivalência entre calor e energia não foi algo espontâneo a este, pelo contrário, faz parte de um processo de construção, com erros e acertos, sendo necessário realizar “[...] longas séries de experiências para determinar as relações entre trabalho e as diferentes formas de energia [...]” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 221).

Citando um trecho dos artigos originais de Joule, os autores procuram explicar os motivos que o instigaram a investir nessa ideia durante 40 anos. Segundo eles, a razão que o levou a acreditar é, em parte, a mesma de todos aqueles que haviam proposto uma lei de conservação. Assim, para Joule, “[...] é manifestamente absurdo supor que, dada a potencialidade com a qual Deus dotou a matéria, esta possa ser destruída [...]” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 221). Explicando as razões que levaram o cientista a investigar tal ideia, torna-se possível ao aluno compreendê-lo como um ser humano, que procura explicações as mais diversas coisas e não um ser iluminado, que obtêm as respostas prontas.

Dando continuação, explicam resumidamente o experimento das pás, dizendo que este “[...] consiste em agitar certa massa de água dentro de um recipiente por meio de um sistema mecânico com pás [...]” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 221), verificando um aumento da temperatura. Deste modo, apresentam apenas uma figura do aparato original, descrevendo melhor na nota abaixo da figura o funcionamento do experimento. Os autores portanto, apresentaram as dificuldades tidas por Joule em busca de melhorar o aparato experimental até

conseguir valores com grande precisão. Isso é importante para que os alunos compreendam porque foram necessários 40 anos de estudo.

A conclusão obtida por Joule é tal que “[...] o trabalho se converte em calor com valor constante e mensurável” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 221) e expõe que os resultados por ele encontrados não foram aceitos, num primeiro momento, pelos membros da *Royal Society*, por confrontarem a teoria do calórico. Procuram mostrar brevemente as dificuldades tidas pro Joule, e argumentam que “[...] foi necessário o incentivo e a publicação em 1847 do trabalho de Helmholtz sobre a conservação da energia para que Joule se encorajasse a apresentar um novo relatório” (OLIVEIRA et al., 2010, p. 221). Segundo nossa descrição histórica, o maior incentivo a Joule foi dado por Thomson (conhecido como Lorde Kelvin) que na época em que conheceu Joule já era influente no meio acadêmico e não encontramos nos documentos por nós pesquisados (GOMES, 2012; JOULE, 1884; VALENTE, 1993; VALENTE, 1999), esse incentivo de Helmholtz citado pelos autores do livro didático.

Os autores seguem argumentando que a proposta de Joule não foi prontamente aceita, pois “[...] requeria conceitos ainda não desenvolvidos na época e que acarretavam questões para as quais ele ainda não tinha resposta [...]” (OLIVEIRA, 2010, p. 221) para a correta conceituação da teoria vibracional das partículas. Estes encerram explicando que a utilização da nomenclatura joule como unidade de energia só foi empregada após a morte de Joule, em 11 de outubro de 1889.

Uma tabela explicita os experimentos realizados por Joule, o ano e os valores encontrados para o equivalente mecânico do calor. Entretanto, utilizam como unidade J/cal e apresentam os últimos valores fornecidos e o valor atualmente aceito, de 4,18 J/cal. Apesar de esta tabela subsidiar possíveis discussões sobre como Joule obteve valores tão dispersos e ainda assim, acreditar que existia uma relação exata, da forma como foi apresentado mostrou-se como informações inúteis, pois não houve em nenhum momento uma discussão sobre como foi estabelecido tais valores ou qual a relação entre o valor obtido para o experimento utilizando água com, por exemplo, o estudo de atrito em fluidos. Essas questões precisariam ser levantadas em um trabalho em sala. Percebe-se que em nenhum momento Mayer é citado, atribuindo o mérito da formulação do princípio de equivalência apenas a Joule, não indicando as controvérsias e disputas ocorridas entre eles.

5. **Título:** Física – Ciência e Tecnologia: v. 2/ **Autor(es):** Torres, C. M. A.; Ferraro, N. G.; Soares, P. A. T. / **Editora:** Moderna / **Edição:** 2^a / **Ano:** 2010

Nesta obra, encontramos no capítulo 1, de título “Energia térmica e calor”, apenas uma imagem de Joule, na seção 7, “A energia térmica em trânsito: o calor”. Nenhuma descrição histórica é realizada e, sem dar importância ao princípio de equivalência, os autores escrevem que “[...] embora para os cálculos das quantidades de calor não se costume usar a unidade oficial de energia, o joule (J), é importante conhecer a relação entre caloria e joule [...]” (TORRES; FERRARO; SOARES, 2010, p. 57) e fornecem que $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$. Qual o significado desses valores? Como foi estabelecida essa relação? Abordado desta maneira, cabe ao aluno apenas memorizar números, o que não desperta sua curiosidade, pois para ele, a Ciência é algo distante de sua realidade, não cabendo a ele compreendê-la. Os conflitos entre as teorias, o trabalho experimental e a maneira como a ciência se desenvolve não são, ao menos citados.

No início do segundo capítulo, “Termodinâmica – Conversão entre calor e trabalho”, encontramos um quadro intitulado “Atividade em grupo” no qual os autores explicam que “Joule realizou uma experiência clássica, na qual fez com que a energia mecânica da queda de um corpo se transformasse em energia térmica que aqueceu certa quantidade de água [...]” (TORRES; FERRARO; SOARES, 2010, p. 84) e sugerem que os alunos se organizem em grupos para pesquisar sobre essa experiência e na sequência, o apresentem para o professor e para a sala. Nossa preocupação com esse tipo de atividade é devido às distorções encontradas em sites de pesquisa, corroborando com as concepções dos alunos. Além disso, uma pesquisa organizada deste modo dificilmente possibilitará uma real aprendizagem por parte dos alunos, visto que a maioria dos alunos apenas copiarão as informações da internet, sem analisá-las de forma crítica. Por isso, sugerimos que o professor elabore uma atividade com textos originais, propondo um conflito cognitivo para que os alunos compreendam o princípio de equivalência entre calor e energia.

6. **Título:** Física e Realidade – v. 2 / **Autor(es):** Gonçalves Filho, A.; Toscano, C. / **Editora:** Scipione / **Edição:** 1^a / **Ano:** 2010

Antes de iniciar os capítulos, os autores deste livro procuram, em uma seção denominada “O que você vai estudar neste livro...”, cujo título é “Uma ciência em transformação”, explicar

quais são os objetos de estudo da Física e como esta foi (e está sendo) construída, enfatizando que “[...] em todas as épocas, seres humanos empregaram grandes esforços para atingir um objetivo impossível: encontrar a verdade absoluta” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 11). Ao buscar conscientizar o leitor que, assim como as revoluções históricas, existem as revoluções científicas, os autores abordam que estas acabam sendo vinculadas apenas ao seu autor principal o que sugere a falsa impressão de que “[...] um homem consegue, sozinho, sustentar a ideia fundamental que põe em xeque todas as outras [...]” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 12), o que não é verdade.

Por conseguinte, explica o contexto histórico em que se insere uma das principais revoluções históricas e científicas: a Revolução Industrial. Entre as principais características desta revolução, encontram-se as máquinas a vapor, onde se aproveitava da intensidade e periculosidade do calor. Neste contexto é que se insere Joule, que já “[...] havia compreendido que as energias relativas ao movimento dos corpos não poderiam simplesmente desaparecer, mas que deveriam se transformar em calor [...]” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 13). Ao invés dos autores continuarem nesta linha e explicarem as motivações que levaram Joule a pesquisar sobre isso, estes preferem citar a história sobre Joule medir a diferença de temperatura em uma cachoeira no Mont Blanc. Deve-se ficar atento a esse tipo de informação, pois, conforme visto em nossa análise histórica, o próprio Lord Kelvin descreve este acontecimento de modos diferentes, ou seja, provoca uma distorção para tornar a história narrável⁸⁴.

Além deste episódio, os autores explicam o experimento das pás, “[...] que consistia em fazer rodar, num recipiente cheio de água, pás metálicas movidas pela queda de um peso [...]” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 213), sendo este o responsável por estabelecer uma relação entre os equivalentes mecânico e térmico. Seguem explicando que esta revolução não foi feita somente por cientistas ou pessoas ligadas ao saber erudito, citando que Joule era cervejeiro e Thomson trabalhava na fabricação de canhões. Enceram abordando brevemente as contribuições dadas por este último.

Nota-se que, apesar de ao longo do texto enfatizar que a ciência é uma construção, que não pode ser vinculada apenas ao seu autor principal, nesta pequena descrição sobre a Revolução

⁸⁴ Ver: capítulo 5, seção 5.3, p. 88-89.

Industrial e sobre o estabelecimento do equivalente mecânico, em nenhum momento é citado às dificuldades encontradas por Joule para publicar seus trabalhos, a disputa entre ele e Mayer para ganhar o mérito de “descobridor” deste equivalente, entre outros personagens que também fazem parte dessa construção.

No capítulo 2, “Efeitos da transferência de energia”, logo no começo do item 1, de título “Variação da temperatura”, os autores brevemente citam que “[...] a unidade **caloria** (cal), apesar de muito utilizada, não pertence ao Sistema Internacional de Unidades (SI) [...]” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 41) e, portanto, “[...] podemos converter calorias em joules (que é a unidade de energia no SI), estabelecendo a seguinte relação: **1,0 cal ~ 4,2 J**” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 41). Assim, restringem o significado dessa relação a uma mera conversão de unidades, sem se importar com a bagagem teórica que ela implica. Até então isso é comum em todos os livros analisados.

Os autores voltam a mencionar o trabalho de Joule no item 4, sobre “O primeiro princípio da Termodinâmica”, inserido no capítulo 3, intitulado “Máquinas Térmicas”. Num boxe de leitura, de título “Algo a +”, encontramos um resumo sobre “A experiência de Joule”. Este inicia explicando que Joule “[...] realizou algumas pesquisas que **contribuíram** para a elaboração conceitual do princípio da conservação da energia [...]” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 83, grifo nosso). A palavra em destaque é importante, pois devemos lembrar que não foi Joule sozinho que elaborou esse princípio, ele apenas colaborou ao montar diversas experiências “[...] com o intuito de demonstrar que uma diminuição da energia mecânica provocaria a transferência de uma quantidade de energia, na forma de calor, em igual valor [...]” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 83). Ao resumir o trabalho de Joule desta forma, dá-se a impressão que ele só se interessou por esse problema, ignorando suas motivações iniciais e os outros trabalhos por ele realizados.

Na sequência, os autores explicam seu dispositivo mais famoso “[...] no qual duas massas eram presas por um fio passavam por duas roldanas [...] à medida que as massas desciam, o sistema de aletas girava, aumentando a temperatura da água no interior do recipiente [...]” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 83). A figura que segue (figura 12) apresenta inúmeras distorções, o que dificulta a compreensão do fenômeno por parte dos alunos. Apesar de utilizarem duas massas, o desenho não apresenta as pás fixas, importantes para aumentar a produção de calor. O termômetro representado é extremamente curto, sendo impossível aferir

de modo preciso à temperatura. Além disso, não apresenta o pino de conexão do eixo com as pás móveis e utilizam as roldanas fixadas em apenas um ponto, negligenciando a complexidade do sistema destas.

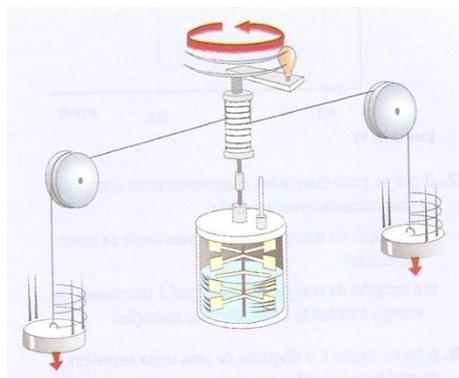


Figura 12 – Esquema do dispositivo apresentado no livro didático
 Fonte: GONÇALVES FILHO; TOSCANO (2010, p. 83)

Ao longo do texto, a explicação simplificada reforça todos esses aspectos distorcidos na imagem. Em nenhum momento é levantado às dificuldades encontradas por Joule para encontrar um valor mais preciso. Outro fator é que os autores utilizam termos como “energia potencial gravitacional” e “energia cinética”, não utilizados em nenhum momento por Joule em seus artigos, visto que estes ainda não estavam definidos na época. Deste modo, explicam que “[...] Joule observou que a temperatura aumentava, e isso correspondia a um aumento de sua energia interna [...]” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 83). Procurando nos originais de Joule, não encontramos em nenhum momento tal afirmação. Em um de seus artigos, este descreve que “[...] verificou-se que para cada grau de calor produzido pela fricção de água uma força mecânica igual ao que é necessário para elevar um peso de 890 libras à altura de um pé tinha sido gasto” (JOULE, 1884, p. 203, tradução nossa)⁸⁵, não utilizando o termo energia. Dessa forma, os autores apresentam uma “historiografia Whig”, ou seja, apresentam apenas o que é aceito atualmente, ignorando o contexto da época (MARTINS, 2005). No final do texto ocorre outro equívoco, pois os autores escrevem “[...] ele [Joule] estabeleceu que 4180 J de energia correspondem a 1000 cal, ou seja, 1,0 cal equivale a 4,18 J” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2010, p. 83). Além de utilizar unidades diferentes das originalmente utilizadas por Joule, afirmam que este encontrou o valor de 4,18 J (778 lb.ft) o que não é verdade, ele obteve um valor aproximado a este (772

⁸⁵ Versão original: “[...] it appeared that for each degree of heat evolved by the friction of water a mechanical power equal to that which can raise a weight of 890 lb. to the height of one foot had been expended” (JOULE, 1884, p. 203).

lb.ft). Isso acarreta na compreensão da história por parte do aluno, que reafirma sua concepção de que a ciência é provada e possui verdades absolutas.

7. **Título: Física – v. 2 / Autor(es): Gaspar, A. / Editora: Ática / Edição: 1ª / Ano: 2000**

No capítulo 14, denominado “Calor”, encontramos um quadro de “História”, de título “A evolução do conceito de calor”, onde o autor sintetiza brevemente as hipóteses contraditórias sobre o que é o calor, explicando que “[...] como na polêmica a respeito da natureza da luz, **enquanto não surgiram evidências experimentais conclusivas, cada hipótese teve seus adeptos**, movidos tanto pela convicção científica como por convicções filosóficas e até por razões políticas ou patrióticas” (GASPAR, 2000, p. 310, grifo nosso). Ao enfatizar que é necessário evidências experimentais conclusivas, o autor reforça as concepções de que a ciência precisa sempre ser provada, a fim de obter a verdade. Essa prática empirista faz com que todos os nomes por ele citado (Bacon, Kepler, Boyle, Galileu, Newton, Lavoisier, entre outros) tornem-se sem importância, visto que somente com um experimento é que será possível provar uma teoria, sendo desnecessários esses embates teóricos. Assim, ele conclui dizendo que “[...] só em 1840 com as experiências de Joule, a ideia do fluido calórico caiu **definitivamente** por terra” (GASPAR, 2000, p. 310, grifo nosso), ou seja, a experiência “provou” que a teoria do calor como movimento era a correta. Sabemos que essa é uma visão distorcida da ciência e por isso, seria necessário explicar que o trabalho de Joule auxiliou no processo de modificação, entretanto, não foi algo imediato, pois esta demorou a ser aceita, devido a grande influência da teoria do calórico. Além deste fato, seria interessante apontar o conflito existente entre Mayer e Joule, ao invés de dar mérito somente ao trabalho de Joule.

Em outro quadro, denominado “Joule x caloria”, o autor explica que “[...] existem três calorias: uma chamada *caloria a 15 °C* [...]; outra chamada *caloria IT (Internacional Table)* [...]; e finalmente a *caloria termoquímica* [...]” (GASPAR, 2000, p. 314), colocando os valores referentes a cada uma. Para que servem esses valores? Em nossa opinião, essa informação, vaga como foi apresentada, não auxilia os alunos em absolutamente nada, sendo possível até confundi-los com tanta informação inútil.

Esta relação é novamente dada ao longo da explicação sobre “Caloria e calor específico da água”, onde o autor se expressa da seguinte forma: “[...] embora haja recomendação expressa para o abandono da caloria em favor do joule, unidade de energia do SI, a caloria é usada

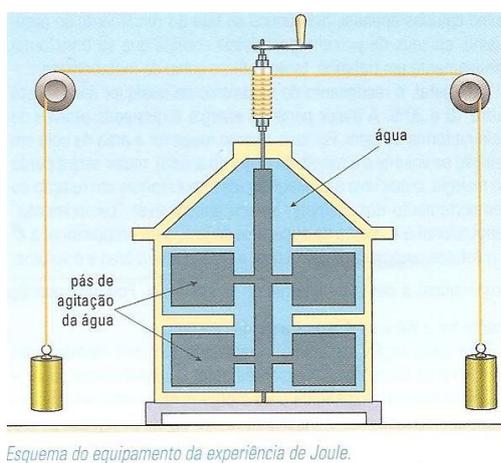
diariamente, sobretudo em relação à alimentação [...]” (GASPAR, 2000, p. 314) e na sequência, explica que “[...] **a relação entre caloria e joule foi determinada por Joule** numa das experiências mais importantes da história da física. Essa experiência tornou evidente que o calor é energia e estabeleceu o *equivalente mecânico do calor* [...]” (GASPAR, 2000, p. 315, grifo nosso), colocando a respectiva relação ($1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$). Ao se referir ao trabalho de Joule dessa forma, a impressão transmitida ao leitor é que Joule procurava obter apenas essa relação entre caloria e joule, sendo que nem havia esta última unidade quando estava realizando suas pesquisas.

Entretanto, num quadro seguinte, sobre “História”, o autor procura melhor explicar “A experiência de Joule” e inicia dizendo que este “[...] realizou uma série de experiências para provar que o calor não era um fluido, mas uma forma de energia [...]” (GASPAR, 2000, p. 315). O intuito de Joule era encontrar uma relação equivalente entre força e calor e, como consequência disso, partia do pressuposto de que o calor não poderia ser outra coisa senão movimento e não o contrário, como sugere o autor. Este descreve na sequência, que o objetivo de Joule era demonstrar que “[...] à medida que a energia mecânica de um sistema diminuía, seria gerada certa quantidade de calor e que essa quantidade de calor era sempre a mesma para a mesma quantidade de energia mecânica perdida” (GASPAR, 2000, p. 315). Seria interessante neste momento, utilizar um trecho dos artigos de Joule, como o que se segue: “[...] **onde quer que a força viva seja aparentemente destruída, seja por percussão, atrito, ou qualquer outro meio similar, um exato equivalente de calor é devolvido.** [...]” (JOULE, 1884, p. 270, grifo nosso, tradução nossa)⁸⁶, a fim de que o aluno compreenda como ele pensou, pois em nenhum momento Joule utiliza o termo energia mecânica, por exemplo.

Por conseguinte, o autor explica a primeira experiência de Joule, onde “[...] a corrente elétrica gerada percorria uma resistência elétrica que aquecia certa quantidade de água, onde a resistência estava imersa” (GASPAR, 2000, p. 316) e a experiência realizada por Joule sobre a compressão de um gás. Porém, argumenta que “[...] as suas experiências mais famosas foram realizadas com um dispositivo em que pesos, descendo lentamente, faziam girar uma roda de pás num recipiente com água [...]” (GASPAR, 2000, p. 316). Dessa forma, o atrito das pás com a água produzia calor.

⁸⁶ Versão original: “[...] that wherever living force is *apparently* destroyed, whether by percussion, friction, or any similar means, an exact equivalent of heat is restored [...]” (JOULE, 1884, p. 270).

Ao inserir uma foto do dispositivo (figura 13), a mesma simplificação encontrada textualmente, se concretiza na imagem. Apesar de apresentar duas massas, como é possível aferir a temperatura sem um termômetro? Essa é uma negligência gritante, pois como saber se a temperatura da água ali contida sofreu aumento? Além disso, não há o pino de conexão do eixo das pás móveis e, muito menos, o material isolante no eixo de metal das pás fixas. Para finalizar, assim como nas outras figuras já encontradas, as roldanas estão sustentadas em apenas um ponto.



Esquema do equipamento da experiência de Joule.

Figura 13 – Esquema do dispositivo apresentado no livro didático
Fonte: GASPAS (2000, p. 316)

Apesar de não se preocupar com a descrição experimental realizada por Joule, o autor utiliza as afirmações contidas no final do artigo mais importante de Joule sobre o equivalente mecânico do calor, publicado em 1850:

1. A quantidade de calor produzida pelo atrito entre os corpos, líquidos ou sólidos, é sempre proporcional à quantidade de **energia** despendida.
2. A quantidade de calor capaz de elevar 1 °F a temperatura de uma libra de água requer o consumo de **energia mecânica** equivalente à queda de um corpo de 772 libras de uma altura de 1 pé (GASPAS, 2000, p. 316, grifo nosso).

Entretanto, não faz uma tradução literal do artigo original, empregando o termo energia, o qual não havia sido definido no contexto presente. Ao invés de energia, Joule utiliza a palavra “força” para inferir suas conclusões. É importante tomar certos cuidados a fim de evitar abordagens descontextualizadas dos conceitos, ocasionando a chamada “Historiografia Whig”.

8. Título: Temas de Física – v. 2 / Autor(es): Bonjorno, J. R.; Bonjorno, R. A.; Bonjorno, V.; Ramos, C. M. / Editora: FTD / Edição: 1ª / Ano: 1998

Encontramos na introdução do capítulo 3, de título “Calorimetria”, uma breve descrição sobre as duas teorias a cerca da natureza do calor. Sabemos que houve uma descoberta simultânea da conservação da energia, de acordo com Kuhn, por diversos pesquisadores, entre eles Mayer, Helmholtz, Joule, Carnot. Entretanto, ignorando este fator, os autores descrevem que “[...] foi o físico alemão Hermann von Helmholtz que, em 1847, estabeleceu a definição de calor como energia mecânica, afirmando que todas as formas de energia equivalem a calor [...]” (BONJORNO et al., 1998, p. 40), cabendo a Joule “provar” isso. Há alguns equívocos nessa descrição, pois a motivação de Joule não surgiu a partir do trabalho de Helmholtz e dizer que uma teoria foi provada a partir de um experimento reforça a concepção de que a ciência é exata, sem distorções, sem disputas, além de ser totalmente empirista. Essa visão dos autores é reforçada ao longo da explicação sobre o funcionamento do experimento das pás realizado por Joule, onde este “[...] mediu a quantidade de energia mecânica necessária para elevar por agitação a temperatura de uma certa quantidade de água. Estava **demonstrada quantitativamente** a equivalência mecânica do calor” (BONJORNO et al., 1998, p. 40, grifo nosso).

Na sequência, ao explicar as unidades de quantidade de calor, apenas apresentam que “[...] a relação entre caloria e o joule é: $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ ” (BONJORNO et al., 1998, p. 41), sem explicar o sentido destes valores, como se isto fosse uma constatação trivial. O aluno sequer compreende porque é necessário transformar de uma unidade para outra, pois não vê sentido nisso. Dessa forma, compreende que não é importante, pois se torna uma informação inutilizável.

A explicação para essa relação só foi encontrada no capítulo 7, denominado “Termodinâmica”, onde os autores, após a explicação sobre o primeiro princípio da Termodinâmica, argumentam que para aplicá-lo, “[...] é necessário compatibilizar as unidades das grandezas envolvidas. Isto porque o trabalho e a energia interna podem ser medidos na mesma unidade, enquanto o calor é normalmente medido em calorias” (BONJORNO et al., 1998, p. 117). A partir dessa necessidade, os autores buscam aprofundar um pouco mais nos trabalhos de Joule, visto que esse “[...] realizou experiências que permitiram estabelecer uma relação entre a energia mecânica e a energia térmica” (BONJORNO et al., 1998, p. 117).

Resumidamente, eles descrevem o funcionamento do aparato mostrado na figura 14 e simplificam todo o trabalho de Joule, explicando por fim que “[...] o fator de conversão entre joule e caloria é chamado *equivalente mecânico da caloria*” (BONJORNO et al., 1998, p. 117).

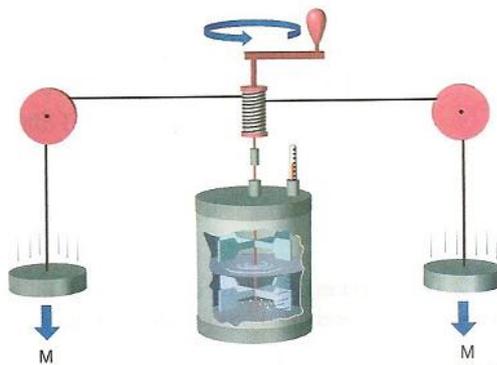


Figura 14 – Esquema do dispositivo apresentado no livro didático
Fonte: BONJORNO et al. (1998, p. 117)

A figura por eles apresentada, possui as mesmas simplificações verificadas nas outras imagens já analisadas: existem dois pesos, conferindo maior equilíbrio ao sistema, mas não deixam claro a existência das pás fixas e o termômetro exibido é muito curto para que seja possível aferir com grande precisão a temperatura do sistema. Além disso, não há o pino de conexão do eixo das pás móveis e a roldana apresentada está sustentada por apenas um ponto, assim como nas outras figuras já analisadas.

Ademais, os autores finalizam dizendo que, com essa experiência, Joule mostrou que $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$, sendo que este é o valor atualmente aceito, não o obtido por ele e inserem um quadro no qual explicam, resumidamente, os trabalhos mais conhecidos de Joule, como o “[...] calor produzido por uma corrente elétrica num condutor [...]” (BONJORNO et al., 1998, p. 118). Em nenhum momento Mayer é citado, desconsiderando todo o trabalho por ele realizado, e exaltando apenas a pesquisa de Joule.

6.2.1 COMENTÁRIOS ADICIONAIS

Após a análise desses oito volumes, podemos concluir que há uma série de distorções e simplificações sobre o trabalho de Joule. Segundo Gallagher (1991 apud CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 1), “[...] os livros didáticos têm dedicado quase todo o

espaço impresso, à apresentação dos conceitos e princípios da ciência, dando pouca atenção à natureza do conhecimento científico ou como ele tenha sido desenvolvido [...]”. Assim, os livros textos que utilizam de uma abordagem histórica o fazem de forma reduzida, apresentando-os em apêndices e em sua grande maioria, atribuem o mérito da formulação do princípio da conservação da energia apenas a Joule.

Além disso, as diversas distorções encontradas nas figuras expressam uma desvalorização das representações visuais, não levando em conta que a importância destas “[...] não se deve apenas à possibilidade de comunicação das idéias, mas também porque a compreensão de certos conceitos, em alguns casos, depende de suas visualizações [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p. 1). No nosso exemplo, para compreender como Joule obteve sua famosa relação é preciso analisar como foi organizado o experimento e para isso, é necessário uma boa imagem, para auxiliar nessa visualização do funcionamento do aparato. Entretanto, o que encontramos nos livros analisados foram figuras com diversas modificações que distorcem a interpretação por parte dos alunos, além de transmitir a ideia de que este era um aparato simples de ser obtido. Dessa forma, as imagens fornecidas por estes não abrangem as complexidades do experimento em questão, o que dificulta a compreensão dos conceitos envolvidos.

Deste modo, os resultados por nós obtidos se aproximam dos encontrados por Carmo, Medeiros e Medeiros (2000) visto que foi observado um grande número de distorções nas apresentações de tais textos, desde a atribuição de um papel crucial à experiência de Joule, argumentando erroneamente que este “provou” que a teoria do calórico estava equivocada, ignorando dessa forma, toda a discussão travada ao longo de anos sobre a natureza do calor, até a redução deste mesmo experimento ao mero cálculo do valor numérico do equivalente mecânico do calor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas críticas têm sido feitas ao ensino tradicional (CARVALHO, 2009; CARVALHO, 2010; MATTHEWS, 1995). Entretanto, modificar essa concepção de ensino que em nós está arraigada não é uma tarefa fácil. Essa prática é reforçada pelos livros didáticos, visto que estes “[...] ‘põe sob os olhos’ os conhecimentos considerados válidos, ocultando as polêmicas que os geraram e geram, dando a impressão de que se está frente a algo definitivo e inquestionável [...]” (MAZZOTTI, 2005, p. 4). Essa atitude afasta o exercício da razão, uma vez que não torna possível questionar esses conhecimentos compendiados, tornando o saber escolarizado “[...] uma expressão de lições fechadas ou dogmas, [...] o oposto da atitude científica” (MAZZOTTI, 2005, p. 4).

Essas críticas ficaram evidentes em nossa análise de como os livros didáticos abordam o conceito de equivalente mecânico do calor. Os autores apresentam inúmeras distorções e simplificações, uma vez que reduzem a história da ciência a nomes e datas ou episódios, como no caso de Joule, ao resumir todo seu trabalho à busca do valor de conversão entre energia e calor, ignorando toda a construção por este realizada para chegar ao experimento das pás. Além disso, os autores apresentam a história da ciência utilizando posições indutivistas (MARTINS, 2006), alegando, por exemplo, que este estabeleceu *definitivamente* que calor é energia. Dessa forma, reforçam:

[...] a imagem de um cientista neutro e objetivo, que conduz sua pesquisa alheio à interferência de qualquer gênero; a visão da ciência como um conhecimento cumulativo e linear; a idéia de que existem ‘fatos’ independentes de pressupostos teóricos; a crença em um procedimento fixo que leva o cientista à realidade fiel do mundo natural, demarcando assim as intransponíveis fronteiras entre a ciência e a não-ciência (MELO, 2005, p. 155).

Deste modo, apresentam apenas alguns indivíduos como gênios, que tiraram suas ideias do nada e ignoram o trabalho conjunto da construção científica, enfatizando as concepções ingênuas sobre o trabalho científico, ao atribuir grande importância ao trabalho experimental (MARTINS, 2005; MARTINS, 2006).

Além das distorções apresentadas pelos livros didáticos, estamos conscientes de que, infelizmente, a grande maioria dos professores não apresenta interesse ou competência suficiente em história da ciência e transmitem, conseqüentemente, uma visão distorcida do trabalho científico para seus estudantes ao mostrar que é possível obter uma teoria a partir de uma observação experimental, ou ainda, que é possível “provar” uma teoria, apesar de isso ser filosoficamente impossível. Isso ocorre, pois, ao tentar inserir a história da ciência em sala de aula, a grande maioria dos professores utiliza como subsídio teórico os livros didáticos, o que os faz reafirmar posições indutivistas, estando, muitas vezes, inconscientes de sua falta de compreensão e almejando utilizar a história da ciência como instrumento para aperfeiçoar seu ensino (MARTINS, 2006).

Compreende-se, portanto, que “[...] o uso da história da ciência no ensino não é algo simples [...]” (MARTINS, 2006, p. xxxi), pois não existem bons materiais disponíveis e há poucos professores com formação adequada. Vale também lembrar que nem sempre é possível utilizar textos históricos originais, pois em alguns casos, estes trazem informações muito específicas, ou utilizam de uma linguagem muito rebuscada. No caso de utilizar os artigos originais de Joule, seria interessante selecionar alguns trechos que abordem seu trabalho, mas evitando entrar nos detalhes experimentais por ele utilizados, enfatizando a problemática de porque este acredita que o calor deve ser movimento e como iniciou sua busca do equivalente entre força mecânica e calor.

Esperamos com este trabalho ter fornecido novos elementos para a discussão sobre a importância de inserir a história da ciência e, ao mesmo tempo, desejamos que os resultados dessa pesquisa sirvam de alerta para aqueles professores que utilizam como referencial teórico os textos apresentados nos livros didáticos de Física para abordarem o conceito do equivalente mecânico do calor. Deste modo, “[...] se não é possível, em curto prazo, modificar os livros didáticos, faz-se necessário que os professores se posicionem de modo crítico a eles, não os considerando como uma partitura que deve ser seguida à risca [...]” (GOMES, 2012, p. 179), visto que não é suficiente apresentar as teorias do passado apenas como curiosidades históricas, é preciso ir além, para possibilitar uma compreensão mais significativa e uma visão mais crítica da construção do conceito de equivalente mecânico do calor.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. P. **A Experiência de Joule Revisitada**. 2008. 95f. Dissertação (Mestrado em Física Laboratorial, Ensino e História da Física) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

ASTOLFI, J. P.; PETERFALVI, B.; VÉRIN, A. **Como as crianças aprendem ciências**. Tradução: Maria José Figueiredo. Lisboa: Instituto Piaget, 1998.

AZEVEDO, M. C. P. S. de. Ensino por investigação: Problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. de (Org). **Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. p. 19-33.

BALDOW, R.; MONTEIRO JUNIOR, F. N. Os Livros Didáticos de Física e Suas Omissões e Distorções na História do Desenvolvimento da Termodinâmica. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 3-19, mai. 2010.

BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. de. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Revista Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 83-94, 1998.

BECKER, F. O que é construtivismo? In: ALVES, M. L.; DURAN, M. C. G.; BORJA, A. de; TOLEDO, C. de; MATTOS, M. G. (Org.). **Idéias: Construtivismo em revista**. São Paulo, SP: FDE, 1993, p. 87-93.

BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. **Temas de Física: termologia, óptica geométrica, ondulatória**. 1. ed., v. 2. São Paulo: FTD, 1998.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.

BRANSFORD, J. D.; BROWN, A. L.; COCKING, R. R. (Orgs.). **Como as pessoas aprendem: cérebro, mente, experiência e escola**. Tradução: Carlos David Szlak. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC, 2002.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2000.

BUCUSSI, A. A. **Projetos curriculares interdisciplinares e a temática energia**. 2005. 267f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

CAPES. **PIBID – Programa Institucional de Iniciação à Docência**. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/educacao-basica/capespibid>>. Acesso em: 14 abr. 2013.

CARMO, L. A.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. de. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro das pás. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 7., 2000, Florianópolis. **Atas...** Florianópolis: EPEF, 2000.

CARVALHO, A. M. P. de. **Física: proposta para um ensino construtivista**. São Paulo: EPU, 1989.

CARVALHO, A. M. P. de; SASSERON, L. H. Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas. In: CARVALHO, A. M. P. de (Coord.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 107-139.

CASTRO, R. S. de. Uma e outras histórias. In: CARVALHO, A. M. P. de (Org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. p. 101-117.

CASTRO, R. S. de; CARVALHO, A. M. P. de. História da Ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 225-237, 1992.

CHRISTÓFALO, A. A. C.; CALUZI, J. J. James Prescott Joule e o Equivalente Mecânico do Calor: a contextualização histórica e as contribuições para um ensino por relações conceituais em física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, Bauru. **Painéis...** Bauru: ABRAPEC, 2005. p. 1-11.

CINDRA, J. L.; TEIXEIRA, O. P. B. Discussão conceitual para o equilíbrio térmico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Guaratinguetá, v. 21, p. 176-193, ago. 2004a.

_____. Calor e temperatura e suas explicações por intermédio de um enfoque histórico. In: MARTINS, R. A. et al. (eds.). **Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro**. Campinas: AFHIC, 2004b. p. 240-248.

COLOMBO JUNIOR, P. D. Enfim Professor. E agora? **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 27-44, mar. 2009.

COSTA J. C.; FIGUEIREDO, J. B. A. O conceito de Pedagogia e Teologia em Comenius. In: FÓRUM MUNDIAL DE TECNOLOGIA E LIBERTAÇÃO, 3., 2009, Belém. **Anais...** Belém: 2009, p. 308-317.

ESPÍNDOLA, K.; MOREIRA, M. A. **A estratégia dos projetos didáticos no ensino de física na educação de jovens e adultos (EJA)**. Textos de Apoio ao Professor de Física, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, v. 17, n. 2, 2006.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

GARCIA, T. M. F. B.; HIGA, I; GARCIA, N. M. D. “Uma boa aula” na perspectiva de futuros professores de Física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17.,

2007, São Luis. **Atas...** São Luis: Sociedade Brasileira de Física, 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0311-2.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

GARDELLI, D. **Concepções de Interação Física: Subsídios para uma Abordagem Histórica do Assunto no Ensino Médio.** 2004. 127f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GASPAR, A. **Física: Ondas, Óptica, Termodinâmica.** 1. ed., v. 2. São Paulo: Ática, 2000.

GASPARIN, J. L. **Comenius ou a arte de ensinar tudo a todos.** São Paulo: Papyrus, 1994.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GOMES, L. C. **Concepções alternativas e divulgação: análise da relação entre força e movimento em uma revista de popularização científica.** 2008. 126f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

_____. **Representação social dos autores dos livros didáticos de física sobre o conceito de calor.** 2012. 199f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física e realidade.** 1. ed., v. 2. São Paulo: Scipione, 2010.

HOSOUME, Y.; KAWAMURA, M. R. D. A Contribuição da Física para um Novo Ensino Médio. **Física na Escola**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 22-27, 2003.

ILTIS, C. Leibniz and the *Vis Viva* Controversy. **Isis**, v. 62, n. 1, p. 21-35, 1971.

JOULE, J. P. **The scientific papers of James Prescott Joule.** London: The Physical Society of London, 1884.

_____. **Joint Scientific Papers.** Londres: The Physical Society of London, 1887.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, S. S. Um estudo a respeito das concepções alternativas sobre calor e temperatura. **Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 25-35, 2002.

LEÃO, D. M. M. Paradigmas contemporâneos de educação: escola tradicional e escola construtivista. **Cadernos de pesquisa**, n. 107, p. 187-206, jul. 1999.

LIBÂNEO, J. C. **Democratização da escola pública: a pedagogia crítico-social dos conteúdos.** São Paulo: Loyola, 1992.

_____. **Didática.** São Paulo: Cortez, 1994.

- LIMA, Lauro de Oliveira. **Piaget para principiantes**. São Paulo: Summus, 1980.
- LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. **Física**. 1. ed., v. 2. São Paulo: Scipione, 2005.
- MARTINS, L. A. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.
- MARTINS, R. A. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 6, p. 63-95, 1984.
- _____. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 113-129, mar. 2001.
- _____. Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (ed.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. xxi-xxxiv.
- MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a Tendência Atual de Reaproximação. Tradução: Claudia Mesquita de Andrade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.
- MAZZOTTI, T. B. **Didacografia, a arte de ensinar tudo a todos**. Comunicação on-line <tmazzotti@mac.com> em 26 set. 2005.
- MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.
- MELO, A. C. S. de. **Contribuições da epistemologia histórica de Bachelard no estudo da evolução dos conceitos da óptica**. 2005. 197f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- MELO, M. T. R. R. H. de. **Energia e Medicina em Robert Mayer**. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Educação) - Faculdade de Ciências - Secção Autónoma de História e Filosofia das Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.
- MONÇÃO, M. A. G. Comenius e os desafios da educação contemporânea: em foco, a gestão escolar democrática. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO E CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE POLÍTICA E ADMINISTRAÇÃO DA EDUCAÇÃO, 15., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANPAE, 2011. CD-ROM. Disponível em: <<http://www.anpae.org.br/simposio2011/cdrom2011/PDFs/trabalhosCompleto/comunicacoesRelatos/0337.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2013
- MONTEIRO, M. A. **Discursos de professores e livros didáticos de física do nível médio em abordagens sobre o ensino da física moderna e contemporânea: algumas implicações educacionais**. 2010. 440f. Tese (Doutorado em Educação para as Ciências) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.
- MONTEIRO JUNIOR, F. N.; MEDEIROS, A. J. G. Síntese ou distorção: como os livros didáticos apresentam o conceito de timbre? In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA

EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos. **Atas...** Valinhos: ABRAPEC, 1999. p. 1-15.

NARDI, R.; GATTI, S. R. T. Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências. **Ensaio**, v. 6, n. 2, p. 145-166, 2005.

OLIVEIRA, M. P. P.; POGIBIN, A.; OLIVEIRA, R. C. A.; ROMERO, T. R. L. **Física em contextos: pessoal, social e histórico: energia calor, imagem e som**. 1. ed., v. 2. São Paulo: FTD, 2010.

PAGLIARINI, C. R. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio**. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Física Básica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 1-8, 2009.

PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFURN, 2012.

PIAGET, J. **Desenvolvimento e aprendizagem**. Tradução: Paulo Francisco Slomp. In: *Desenvolvimento e Aprendizagem sob o Enfoque da Psicologia II*, UFRGS – PEAD, 2009.

QUEIRÓS, W. P. de; CAMARGO, E. P. de; NARDI, R. Uma reflexão histórico-filosófica sobre o ensino do conceito de energia para alunos videntes e com deficiência visual. In: INTER-AMERICAN CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION, 10., 2009, Medelin. **Atas...** Medelin: 2009. p. 1-10.

RAFAEL, F. J. **Elaboração e aplicação de uma estratégia de ensino sobre os conceitos de calor e temperatura**. 2007. 70f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da Física**. 8. ed., v. 2. São Paulo: Moderna, 2003.

RODRIGUES, C. R.; COELHO, S. M.; AQUINO, A. S. Ensino de Física nas séries iniciais: um estudo de caso sobre formação docente. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 26, n. 3, p. 575-608, dez. 2009.

ROSA C. W. da; ROSA, A. B. da. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. **Revista Ibero-americana de Educação**, n. 58/2, p. 1-24, 2012.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Física**. 2. ed., Volume Único. São Paulo: Atual, 2005.

SANTOS, A. P. O pensamento pedagógico de Rousseau e a educação na infância. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO, 6., 2007, Concórdia. **Anais...** Concórdia: 2007. p. 1-13. Disponível em:

<http://www.pesquisa.uncnet.br/pdf/educacaoInfantil/PENSAMENTO_PEDAGÓGICO_ROUSSEAU_EDUCACAO_%INFANCIA.pdf> Acesso em: 29 mar. 2013.

SANTOS, F. M. dos. **Significações de Construtivismo na perspectiva de professores "construtivistas" e sua relação com práticas avaliativas.** 2007. 136f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2007.

SAVIANI, D. **Escola e democracia.** 24 ed. São Paulo: Cortez, 1991.

SILVA, J. L. P. B.; MORADILLO, E. F. Sobre o Ensino da Conservação da Energia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, Bauru. **Atas...** Bauru: ABRAPEC, 2005. p. 1-8.

SILVA, O. H. M. da; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 383-396, dez. 2008.

SILVA, D. P. G. da. **O ensino de energia e o livro didático de física: um olhar através do construtivismo humano.** 2012. 223f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Física – ciência e tecnologia.** 2. ed., v. 2. São Paulo: Moderna, 2010.

VALENTE, M. J. P. **A pedagogia do conceito de energia: contributo para a utilização formativa do conceito de energia.** 1993. 289f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Educação) - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Secção de Ciências da Educação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1993.

_____. **Uma leitura pedagógica da construção histórica do conceito de energia: contributo para uma didáctica crítica.** 1999. 603f. Tese (Doutorado em Ciências da Educação) - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Secção de Ciências da Educação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1999.

ZANATTA, B. A. O legado de Pestalozzi, Herbart e Dewey para as práticas pedagógicas escolares. **Revista Teoria e Prática da Educação**, v. 15, n. 1, p. 105-112, jan./abr. 2012. Disponível em: <<http://www.dtp.uem.br/rtp/volumes/v15n1/09.pdf>>. Acesso em: 5 de abr. 2013.