

James Prescott Joule e o Equivalente Mecânico do Calor: a contextualização histórica e as contribuições para um ensino por relações conceituais em física

James Prescott Joule and the Mechanical Equivalent of Heat: the contributions of historical context to an teaching for conceptual relations in physics

CHRISTÓFALO¹, A.A.C.

CALUZI², J. J.

¹ Faculdade de Ciências Unesp campus de Bauru Mestrando – Programa. de Pós Graduação em Educação para a Ciência
FC/Unesp e-mail. airton@fc.unesp.br

² Faculdade de Ciências Unesp campus de Bauru Prof. Dr. Assistente dep. Física; dep. Pós-Graduação. e-mail:
caluzi@fc.unesp.br

RESUMO:

O presente trabalho tem por finalidade uma breve análise das possibilidades de investigação qualitativa em história da ciência, para isso, realizou-se um estudo do artigo original de James Prescott Joule: *On the Mechanical Equivalent of Heat*, sobre o equivalente mecânico do calor publicado na revista: *Philosophical Translaction*, na edição de 1850. Ao ensino de ciências conseqüentemente, pode se contribuir para uma avaliação dos textos de divulgação científica que se apropriam de assuntos de história da ciência.

Palavras Chave: História da Ciência, Equivalente Mecânico, Joule.

ABSTRACT:

In this paper to realize a qualitative investigation in history of science, with this finality, to use the original publication of James Prescott Joule: *On the Mechanical Equivalent of Heat*, in *Philosophical Translaction* 1850. The present study it can contribute for better evaluation of the scientific texts in the questions and problems the history of sciences.

KEYWORDS: History of Science, Mechanical Equivalent, Joule

1. INTRODUÇÃO

Ter acesso a livros e textos que tratam da História da Ciência não é difícil, basta fazer uma pesquisa na Internet, ir a qualquer biblioteca ou livraria que certamente será encontrado um vasto material no assunto. Pode-se perguntar então como é possível uma análise qualitativa desse material: quais os critérios necessários se identificar bons textos em meio a grande diversidade de materiais de divulgação científica.

Diferentemente de certas profissões e áreas do conhecimento, não existem pré-requisitos para se escrever um texto sobre algum período da ciência, ou sobre algum cientista em particular. Do contrário,

pode-se imaginar, por exemplo, se não houvesse restrições para se abrir uma clínica de odontologia, ou mesmo em contratar um engenheiro ou um médico que não tenha a formação específica. A consequência de um engano médico é, entretanto mais visível que um mau trabalho de divulgação científica.

A identificação de um bom texto em história da ciência, segundo Martins (1998) não se vincula necessariamente a autores de livros consagrados, neste caso, muitas vezes acabam por apresentar uma visão distorcida sobre a ciência e a produção científica, em erros de natureza diversa. Enganos sobre a vida dos cientistas e mais seriamente dos reais trabalhos desenvolvidos. Convém afirmar, no entanto que existem alguns critérios para identificar e evitar alguns erros comuns em história da ciência. Finalmente tem-se a considerar a importância de se estabelecer critérios de seleção dos textos de ciências utilizados no trabalho pedagógico em ensino de ciências. O referencial de divulgação da história da ciência no âmbito pedagógico formal e não formal, deve ser fundamentado nas pesquisas em história da ciência, portanto este tratamento não é arbitrário. Deste modo, se insere nesta análise, o uso de elementos de análise de textos em história da ciência, para a especificidade dos textos de pesquisa e das fontes de estudo de um texto original (*escrito pelo autor a ser analisado*).

A partir de tais considerações, o presente trabalho tem por finalidade uma breve análise das possibilidades de investigação qualitativa em história da ciência, com o estudo do artigo original de *James Friscott Joule: On the Mechanical Equivalent of Heat*, sobre o equivalente mecânico do calor publicado na revista: *Philosophical Transactions*, na edição de 1850. Destacando algumas possíveis contribuições aos propósitos didáticos em ciências.

1. JAMES PRESCOTT JOULE E O EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR.

Inicialmente o artigo apresenta um esboço sobre o progresso da doutrina mecanicista, com a identificação de algumas pesquisas sobre o efeito calórico produzido por atrito, estas pesquisas são consideradas de importante valia para a compreensão dos fenômenos de radiação e transmissão de calor. Entretanto não é possível incluir os detalhes no presente escopo de análise.

O experimento sobre o equivalente mecânico está inserido no contexto do desenvolvimento da termodinâmica clássica. Este paradigma vinha se configurando até o final do século XIX. Nesta caracterização, focaliza-se os referenciais teóricos e as hipóteses da época relacionadas a uma série de experimentos utilizando a fricção de sólidos e de líquidos.

Haviam duas hipóteses sobre a constituição física do calor relativamente na sua época. De início, em considerar o calor como uma propriedade ou substância inerente aos objetos. Esta hipótese segundo Joule contraria alguns resultados experimentais. Na contraposição desta hipótese identifica-se em Rumford, o primeiro experimento a favor da hipótese defendida por Joule. Rumford, por meio de experimentos bastante simples, entendia que uma quantidade considerável de calor produzida quando uma bala de canhão atinge um alvo, não poderia ser explicada como uma mudança da capacidade calorífica do metal, mas pela hipótese de que o calor é produzido pela excitação das partículas que se propagam com maior intensidade. Estas partículas, segundo Joule são imponderáveis (não poderiam ser observadas), visto que era um modelo teórico e não havia experimentos que identificassem moléculas ou partículas atômicas. A perturbação das partículas produzida, por um agente externo, por exemplo, uma força mecânica implica na variação da temperatura (agitação das partículas).

Conseqüentemente, o propósito do artigo de Joule é apresentar uma análise quantitativa sobre o equivalente mecânico do calor produzindo na fricção de sólidos e líquidos. Uma das motivações deste trabalho encontra-se num experimento realizado em 1840. Tratava-se do estudo sobre o calor envolvido na eletricidade voltaica, neste experimento, foi identificado que a intensidade da força eletromotriz é proporcional ao efeito calórico, o que permite estabelecer relações entre o calor e as propriedades químicas e elétricas. No ano de 1843 acrescenta-se a pesquisa de Faraday sobre as identidades químicas relacionadas com a eletrólise, o calor envolvido no fenômeno de magneto eletricidade apresenta uma proporcionalidade direta com a força elétrica. Esta força motriz origina-se das propriedades químicas, tais como de uma bateria.

Um artigo subsequente, em 1844, tinha por objetivo a confirmação de que o calor envolvido no processo de expansão ou compressão do ar é proporcional a força envolvida na realização destes processos. A relação quantitativa entre o calor a força deduzida nestes experimentos de compressão de ar, apresentam uma relação de proporcionalidade entre o calor liberado e absorvido. Pode-se acrescentar neste caso uma referencia ao trabalho de M. Seguin, sobre dilatação volumétrica do vapor de água.

Novamente em referencia a Count Rumford, fora citado que a produção de calor na fricção de atrito, fundava a hipótese de que a matéria no estado líquido e gasoso, também gera calor no processo de fricção. A exemplo, o atrito produzido entre pedras de gelo num ambiente fechado e adiabático ocasiona o derretimento nas regiões de contato, muito embora a temperatura medida neste ambiente se mantivesse abaixo do ponto de fusão do gelo. A princípio estes experimentos podem sugerir a hipótese da variação da capacidade calórica dos objetos, na aceitação de que o calor é de fato uma substância, pois a capacidade calórica do gelo é menor do que da água. Mas também não invalidam a hipótese mecanicista, de que as leis de propagação de calor, devem ser precisamente as mesmas leis que regem os movimentos mecânicos.

Uma variação volumétrica (dilatando ou comprimindo uma mesma fração de um material) implica na liberação ou absorção de calor, sendo possível estabelecer uma relação fundamental para o desenvolvimento de uma teoria mecânica do calor, visto que a demonstração do efeito do calórico é sempre dado proporcional a aplicação de uma força expendida nos diversos casos supra citados. Significa que a força de compressão ou de expansão volumétrica está associada ao efeito calórico.

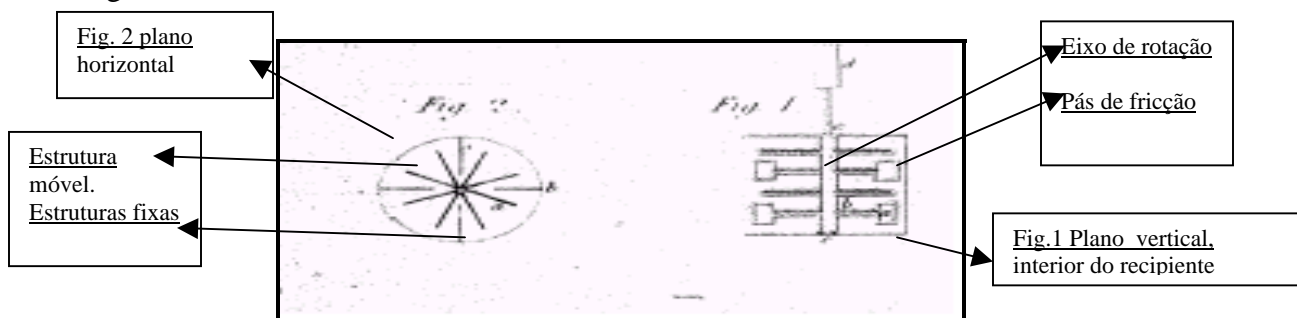
Estes resultados, segundo Joule, não deixam dúvidas a respeito da existência da relação de equivalência entre a força mecânica e o calor. Entretanto o propósito do presente artigo a ser analisado é obter um resultado mais acurado desta proporção, deste modo, trabalhando com dados experimentais quantitativos. Uma unidade de energia utilizada no texto original de Joule está representada por pés-libras, representa a unidade para o equivalente mecânico do calor.

3-DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO:

Na figura 1¹ tem-se a ilustração do aparato mecânico na qual estão fixadas um número de oito pás em um eixo de rotação e quatro braceletes fixos. Este aparato mecânico produz 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. Na figura 2 está representado o plano horizontal do aparato, e no centro deste plano está

¹ As ilustrações estão em anexo no final da revista disponíveis no site: <http://gallica.bnf.fr/>

localizado o eixo de rotação do conjunto de oito pás. As pás metálicas circulam livremente no interior do recipiente que está envolvido em um material isolante, a princípio parece ser madeira, envolve a parte externa do recipiente metálico de água, não permitindo a liberação de calor em nenhuma direção conforme o quadro a seguir:



Figuras 1(direita) e 2 (esquerda)

Na figura 3, identifica-se a ilustração do reservatório utilizado no experimento de fricção da água. No seu interior estão localizados a engrenagem descrita nas figuras 1 e 2, e o líquido para a fricção envolvendo o interior do cilindro. Há também duas aberturas representados por *a* e *b*, estas aberturas permitem a movimentação da engrenagem no eixo vertical, além da inserção do termômetro no interior do compartimento.

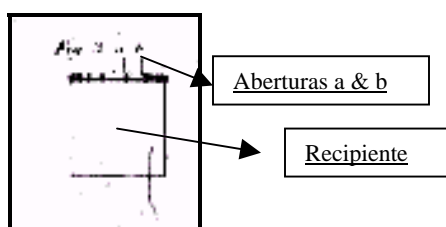
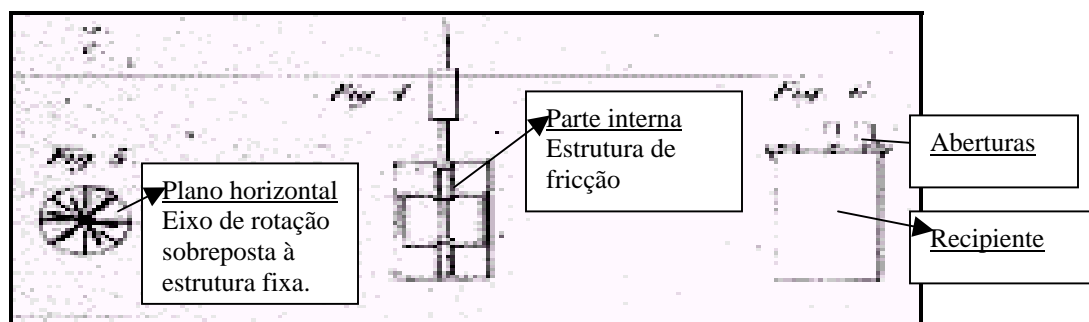


Figura 3

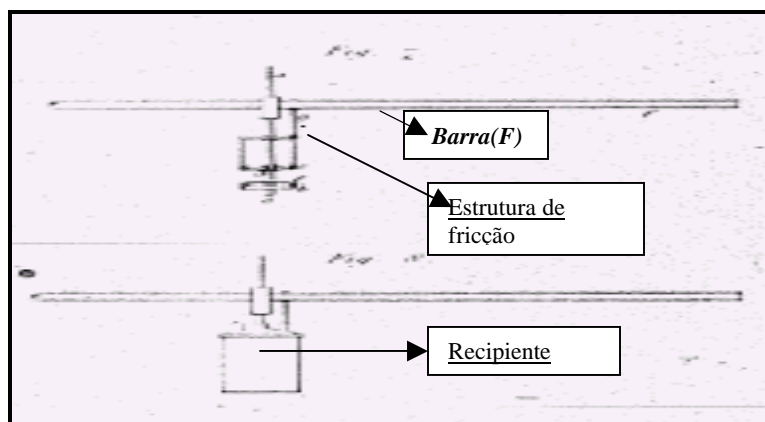
O aparato utilizado de fricção do mercúrio é similar a este experimento de fricção da água, conforme representado nas ilustrações 4, 5 e 6. Porém existem diferenças na estrutura deste aparato, pode-se verificar que as pás de fricção foram substituídas por uma armação retangular, segundo a análise do texto e na ilustração da figura 5, a estrutura é composta por uma quantidade de 6 braceletes no eixo de rotação e 8 mantidas estacionárias, totalizando 14 braceletes de fricção. As ilustrações apresentam-se no quadro abaixo.



Figuras 5, 4 e 6

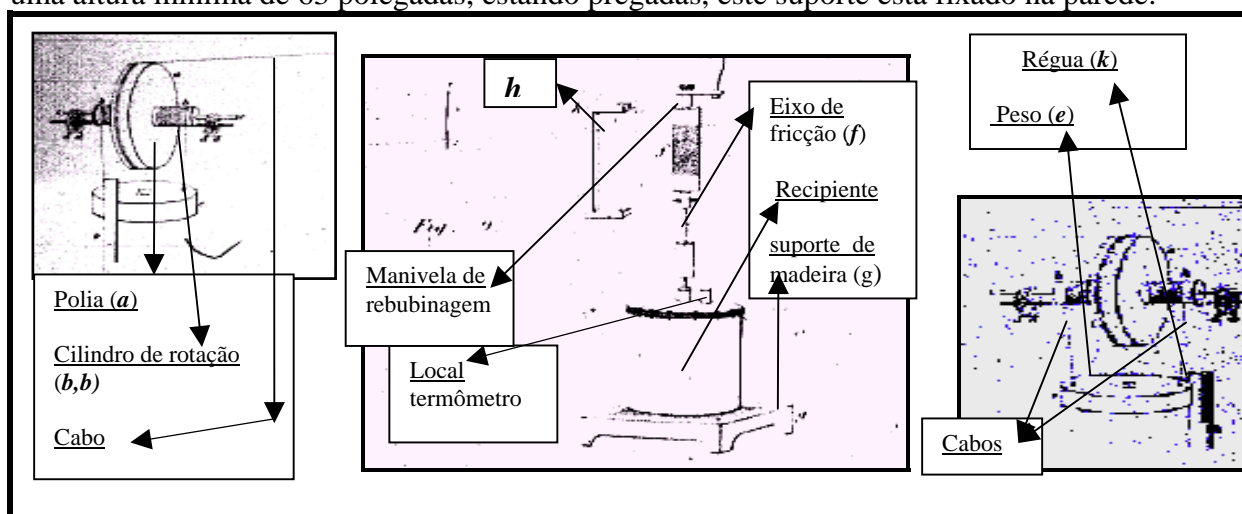
Os experimentos de fricção de sólidos constam nas figuras 7 e 8, consistindo em um eixo de rotação que impulsiona uma roda constituída de liga metálica, representada em *b*. A estrutura retangular produz o movimento do conteúdo do recipiente.

A estrutura de fricção está fixada no eixo central, por meio de dois furos. Neste caso, o recipiente é fixado no plano horizontal, por meio de uma barra de madeira *f*. Com a figura 8 a engrenagem de fricção está no interior do recipiente, a medida em que se abaixa a barra *f*, realiza-se a fricção do metal na estrutura interna ao recipiente, representado na figura 7.



Figuras 7 e 8 (respectivamente)

Na figura 9 apresenta-se uma descrição do suporte dos pesos, cuja tração impulsiona as pás de fricção. Os pontos indicados por *a* & *a* representam as duas polias de madeira responsáveis pelo movimento do eixo vertical de fricção, cada roldana apresenta diâmetro de 30,48 cm e 2 polegadas (6,08 cm) de espessura. Cada polia está acoplada em rolos de madeira, cujo comprimento é indicado em (*bb*) & (*bb*), com diâmetro de 2 polegadas. O eixo de rotação destas polias está representado pela barra de aço horizontal, indicado em *c* e *c*, este eixo é perpendicular ao eixo de rotação das pás de fricção e possui cerca de um quarto de polegada, ou 0,6 cm de diâmetro. As polias podem girar perfeitamente sendo suportadas em cada lado por dois pequenos discos de latão indicadas por (*dd,dd*) & (*dd,dd*) estando fixados firmemente. Há um suporte de madeira, não representado nas ilustrações, mantém este sistema a uma altura mínima de 63 polegadas, estando pregadas, este suporte está fixado na parede.



Os pesos constituídos de chumbo, representados por **e & e**, neste caso, cada par possui uma massa estimada em 29 libras; 13,154Kg, e 10 libras; 4,536 Kg. De modo que há duas cordas de sustentação em cada lado dos pesos, equilibrando o centro de massa e assim, estão dispostas no cilindro ilustrado em **(bb)** & **(bb)**. Entretanto, o movimento de fricção no interior do recipiente térmico depende de um cordão fino, e que está conectando na polia de madeira **a**, de modo idêntico para cada lado. Como os pesos estão dispostos para movimentar o eixo central, o cordão está enrolado em forma de espiral, transmitindo a força de queda livre para a tração de fricção, representado pelo eixo **f**. Para travar ou acionar este sistema, utiliza-se pinos de ferro, controlando a descida dos pesos, travando o cilindro do eixo **f**, este cilindro conecta os cordões nas polias laterais **a,a**.

Uma pequena plataforma de madeira sustenta o tanque de fricção, representada por **g**, esta plataforma de madeira apresenta várias aberturas, minimizando o contato entre o tanque e a madeira, e maximizando o contato com o ar ambiente em todas as direções. Deve-se considerar também a presença de um biombo grande de madeira, isolando a região do experimento do laboratório.

Os procedimentos experimentais para a coleta de dados são descritos da seguinte forma: -a obtenção das temperaturas de fricção são atualizadas à medida que os pesos são liberados de uma altura **h** no eixo central **f**, que apresenta uma equivalência na altura de queda dos pesos. Esta altura apresenta-se graduada por duas régua de madeira e representadas na figura acima escritas por **k & k**, atingem o ponto mínimo próximo ao assoalho do laboratório. A velocidade de queda dos pesos foi estimada em cerca de 2,42 pés por segundo e a altura total de queda dos pesos, em 63 polegadas. O experimento foi repetido vinte vezes para cada medida. As medidas da temperatura do aparato e da temperatura do ar no laboratório foram obtidas no começo, no meio e ao término de cada lançamento. Incluindo assim a verificação do efeito de radiação e da condução de calor liberado do experimento para a atmosfera e da atmosfera para o experimento, verificando tanto o acréscimo quanto o decréscimo de temperatura do aparelho de fricção.

5-SÉRIES DE EXPERIMENTOS:

Os dados obtidos nos experimentos, foram tabelados, constando o calor gerado (ganho) ou liberado durante o experimento. Na segunda coluna, tem-se a altura de queda dos pesos de fricção, e nas demais tabelas, as medidas da temperatura durante cada lançamento dos pesos, nota-se que a coluna 7 apresenta o valor médio do calor envolvido em cada caso, e na coluna 4, tem-se as médias entre a temperatura final e inicial, estes dados apresentam-se da seguinte forma:

No. of experiment and cause of change of temperature.	Total fall of weights in inches.	Mean temperature of air.	Difference between mean of column 5 and 6 and column 3.	Temperature of apparatus.		Gain or loss of heat during experiment.	
				Commencement of experiment.	Termination of experiment.		
35 Friction	1262-99	56-790	0-413 +	56-929	57-477	0-548	gain
35 Radiation ...	0	56-772	0-687 +	57-477	57-442	0-035	loss
36 Radiation ...	0	55-839	0-304 -	55-527	55-543	0-016	gain
36 Friction	1262-99	56-114	0-281 -	55-543	56-124	0-581	gain
37 Radiation ...	0	56-257	0-127 -	56-124	56-137	0-013	gain
37 Friction	1262-99	56-399	0-024 +	56-137	56-709	0-572	gain
38 Radiation ...	0	55-826	0-965 -	55-759	55-764	0-005	gain
38 Friction	1262-99	55-951	0-093 +	55-764	56-325	0-561	gain
39 Radiation ...	0	56-101	0-220 +	56-325	56-317	0-008	loss
39 Friction	1262-99	56-182	0-409 +	56-317	56-865	0-548	gain
40 Friction	1262-99	56-108	0-100 +	55-929	56-488	0-559	gain
40 Radiation ...	0	56-454	0-036 +	56-488	56-492	0-004	gain
Mean Friction...	1260-248	.....	0-305075-	.....	.....	0-575250	gain
Mean Radiation...	0	.....	0-322950-	.....	.....	0-012975	gain
1	2	3	4	5	6	7	

O valor experimental de Fricção e Radiação, constam no último quadro da linha 7, o valor da temperatura de acréscimo a água pela fricção mecânica foi de $0^{\circ},57525$, com as considerações experimentais advindas de outras fontes, obteve-se um ajuste desta temperatura para $0^{\circ},563107$, deste valor, soma-se com o gradiente da temperatura ambiente, que apresentou um decréscimo, em torno de $0^{\circ},00102$, de modo que o aumento da temperatura produzido na fricção da água obtido a partir das correções é de $0^{\circ},563209$. Este aumento da temperatura depende do modo em que é produzida a fricção da água e dos pesos indicados na figura 1 por c, c .

A quantidade de calor produzida por 7,84442299 libras, produz um aumento de $1^{\circ} F_{AHR}$ uma quantidade de 1 libra de água (aprox. 453,6 gramas). A Força total de fricção expendida no experimento pela distância de queda livre resultou em 6067,114 pés - Pound. Logo a razão entre a força total e o coeficiente calórico para $1^{\circ} F_{HAR}$ é o resultado experimental do equivalente mecânico do calor para a fricção da água:

$$E_{quív} = \frac{6067,114}{7,842299} = 773,64 \text{ pés - Pound}^2$$

Por conseguinte, realizou-se dois experimentos para o equivalente mecânico na fricção de Mercúrio (1) e (2), sendo obtido no primeiro experimento uma força de fricção resultante de 6077,939 pés – libras, este é o valor experimental para a força total do aparato sobre o mercúrio. Considerando que a variação de temperatura de $2^{\circ},491218$ (obtida pela somatória dos acréscimos de temperatura das componentes individuais do equipamento), considerando este valor sobre a capacidade de 1° tem-se 7,85505 libras. Por conseguinte é obtido o cálculo do Equivalente mecânico de fricção do mercúrio:

$$(1) E_{quív} = \frac{6077,939}{7,85505} = 773,62 \text{ pés - Pound}$$

Este é o valor experimental do equivalente mecânico de fricção do mercúrio no experimento (1).

Na segunda verificação experimental do equivalente calórico de fricção de mercúrio, sendo a temperatura acrescida, inicialmente a $0^{\circ},85804$ e a capacidade calórica em 1° , tem-se 2,70548 libras. A força foi estimada em 2100,272 pés-libras, deste modo o cálculo do equivalente mecânico:

$$(2) E_{quív} = \frac{2100,272}{2,70548} = 776,303 \text{ pés – Pound (pesos grandes)}$$

Este é o resultado obtido para o equivalente, utilizando pesos mais leves para estabelecer quadro comparativo.

Os experimentos de fricção de liga metálica, apresentam maior variação de temperatura, cerca de $4^{\circ}, 56785$, entretanto mantém um resultado próximo aos anteriores na proporção de 7,69753 libras em 1° , que corresponde ao valor absoluto do calor envolvido na fricção da liga metálica. A força resultante ao movimento de fricção foi de 5980,955 pés-libras, representa o valor efetivo da força convertida em calor.

² A unidade Pound pode ser identificada em apêndice de fatores de conversão nas unidades de força, sendo 1 poundial equivalente a uma força newtoniana de 0,1383 N.

$$(1) E_{quív} = \frac{5980,955}{7,69753} = 776,997 \text{ pés – Pound (pesos menores)}$$

O último experimento da serie, para a liga metálica, apresenta variação de temperatura total de 1°57555, e o equivalente para 1° F de 2,65504 libras, por conseguinte, com uma força total de fricção de 2057,336 pés-libras, corresponde ao valor absoluto da força utilizada na produção de calor, por meio do movimento de fricção. Conseqüentemente obteve-se o valor do equivalente mecânico:

$$(2) E_{quív} = \frac{2057,336}{2,65504} = 774,88 \text{ pés – Pound}$$

Estes resultados são apresentados na tabela abaixo:

No. of series.	Material employed.	Equivalent in air.	Equivalent in vacuo.	Mean.
1	Water	773-640	772-692	772-692
2	Mercury	773-762	772-814	
3	Mercury	776-303	775-352	774-083
4	Cast iron	776-997	776-045	
5	Cast iron	774-880	773-930	774-987

Esta tabela representa a verificação experimental (quantitativa) do Equivalente mecânico do calor, sendo identificadas as proporções entre a força expendida no movimento de atrito mecânico de líquidos e sólidos, em calor, sendo identificado pela variação da temperatura.

Tem-se as seguintes afirmações apresentadas no texto 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 lbs. through the space of one foot.*

Confirmam-se os trabalhos anteriores supra citados, em que pode ser quantificada a proporção entre a força mecânica de atrito em diferentes amostras e com diferentes estados, havendo uma proporção direta com o aumento da temperatura, neste caso, a identificar também a produção de calor. Esta produção de calor, não altera a capacidade calórica de cada material da amostragem, no caso, apresenta-se forte argumento em favor das hipóteses defendidas por Joule, de que o aumento da temperatura está associado ao estado de agitação de partículas microscópicas, a princípio consideradas como hipótese.

Na primeira frase, uma quantidade de calor, produzida no atrito, tanto sólidos quanto de matéria em estado líquido é sempre proporcional à força expendida. Conseqüentemente, a quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura da água em 1° FAHR., implica necessariamente em uma força mecânica de 772 libras a uma distância de 1 pé ou seja, 30,48 cm.

6- RELEVÂNCIA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA AOS FINS DIDÁTICOS PRETENDIDOS:

Considerando o problema da distinção entre o conhecimento científico em suas vias de elaboração em pesquisa, do conhecimento diluído na forma curricular de ensino de ciências em suas diversas modalidades, identifica-se o processo de *Transposição Didática* definido por Chevallard (1991, p. 18): “El saber que produce la transposición didática será por lo tanto un saber exiliado de sus orígenes y separado de su producción histórica en la esfera de saber sábio[...]” Ocorre uma sistemática modificação do conhecimento, caracterizada na passagem do conhecimento elaborado pelos cientistas para o conhecimento transformado em objeto de aprendizagem em ciências. Esta transposição do saber produzido para o saber escolar, é marcada por um distanciamento contextual das condições históricas e sociais envolvidas no conhecimento científico denominado *saber sábio*, para um processo de recontextualização dos conteúdos numa nova versão a ser ensinada, segundo Marandino (2004, p.98):

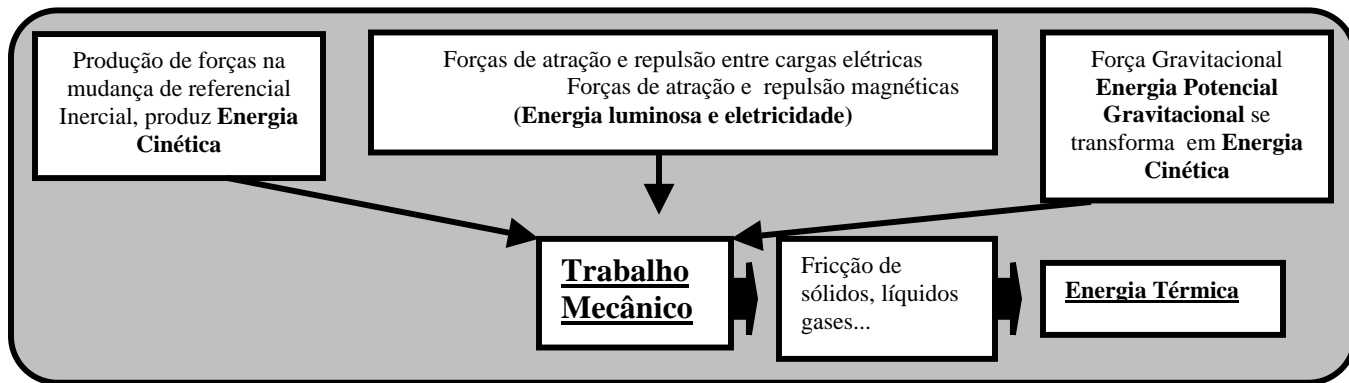
- O saber ensinado é exilado de sua origem e separado de sua produção histórica
- Existe algo invariante (significante) e algo variável no elemento do saber sábio (significado), nos elementos do saber ensinado, e nesse sentido, procede-se através de uma descontextualização dos significantes[...]

Considera-se que este distanciamento entre o conhecimento ensinado do conhecimento historicamente produzido, torna-se limitante, pois não permite o acesso ao conteúdo (semântico) associado ao (signo), de forma que o trabalho pedagógico centrado apenas na identificação dos (signos), numa recontextualização, compromete a compreensão do engendramento lógico desses significantes, num significado estanque a realidade da ciência. O ensino deve tornar identificáveis os elementos do saber sábio, entretanto nem todos os elementos desse saber podem ser aproveitados, mas é necessário identificar os elementos essenciais para esta compreensão da lógica do conhecimento, para o acesso a este conhecimento sábio. Assim, a retratação formal e não formal da Física no âmbito do ensino, fica refém desta reconstrução ou recontextualização dos conteúdos. Entretanto tem-se consciente o fato de que não é possível reproduzir no âmbito do ensino todos os elementos presentes na ciência produzida, cabe ao trabalho pedagógico, destacar os elementos essenciais presentes no saber sábio, e a História da Ciência possui subsídios para esta análise.

Acrescenta-se a este cenário, a apresentação do Equivalente Mecânico, nos livros de Física básica, tais como Halliday (1965) e Nussenzweig(1990), realizam uma razoável retratação do contexto histórico, entretanto, este apresenta-se numa mera descrição e desvinculada de um compromisso didático, de facilitar aos estudantes de Física uma identificação dos conceitos de Física Clássica por relações. Em outra análise, de como estes conhecimentos produzidos pelos cientistas são vistos pelos alunos e como deveriam ser.

A função pedagógica em ciências do uso da História da Ciência, pode ser reconhecida segundo Alfonso-Goldfarb (1994,p.88, 89) “ [...] a História da Ciência oferece em suas pesquisas discussões interessantes sobre os vários modelos de conhecimento[...] também ajuda a que se entenda melhor seus processos e convenções, evitando a velha técnica escolar de aprender de cor ”. Uma desmistificação da realidade e da produção científica, na idéia de cientista gênio ou de uma ciência neutra e cumulativa.

Na análise do Equivalente Mecânico, pode-se verificar o engendramento lógico dos conteúdos, pelo envolvimento com as demais modalidades de Energia:



A relação entre a energia térmica na dissipação de calor produzido por meio de atrito mecânico, pode ser identificada em termos didáticos, com as formas de Energia; eletromagnética, gravitacional e produção de impulso cinético. A relação entre as modalidades de energia partem da compreensão sistemática das séries de experimentos sobre o Equivalente Mecânico, além de outras análises da produção científica. Neste período histórico, realizava-se uma série de investigações sobre diferentes formas de produção de calor nas várias leis naturais, envolvendo as pesquisas de Faraday previamente aos fundamentos do eletromagnetismo, além da elaboração conceitual da **Energia Térmica** e do **Trabalho Mecânico** para a constituição da Termodinâmica e suas relações com as teorias da Física Clássica.

7-CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A leitura do artigo de Joule impõem-se necessariamente a realizar um levantamento bibliográfico referentes ao desenvolvimento da termodinâmica e os fundamentos da Física do século XIX, também em procurar identificar os trabalhos citados no próprio texto, estas leituras complementares auxiliam a compreensão do contexto em que se desenvolviam as pesquisas do autor em questão.

O aumento da pressão por uma força mecânica utilizada para a produção de calor implica na variação volumétrica e na mudança do estado da matéria. Entretanto, o calor produzido pela fricção não altera as propriedades físicas de cada material analisado, apesar do calor estar associado a mudança de estado.

O conceito do calórico como uma substância transmitida de um objeto a outro estava sendo substituída pelo conceito hoje denominado de “energia”, cuja unidade pode ser representada em joule. Em 1849 ainda não havia o sistema BTU ou a caloria como sistemas de medida para o calor, tais com são representadas nos livros e compêndios de Física, sabemos na notação atual que uma caloria equivale a 4,48 Joules. Os valores obtidos neste experimento não correspondem ao valor atual para o equivalente do joule. No entanto, a relação obtida para o equivalente mecânico corresponde à variação da temperatura lida nos termômetros construídos para a série de experimentos.

As pesquisas que vinham se desenvolvendo de no século XIX tratavam também de algumas relações entre os fenômenos elétricos e a presença do calor, identificada em experimentos envolvendo passagem de corrente elétrica, entre elas na eletrólise química e a produção de calor. Fora media a variação da temperatura de fricção durante os lançamentos dos pesos, cuja distância foi multiplicada por

20, para melhor identificar esta variação de temperatura. A temperatura de radiação foi obtida antes e depois dos lançamentos, Joule considerava que a transferência de calor produzida pela fricção no interior do recipiente devia produzir um aumento na temperatura do ar. Os ajustes necessários para uma notação moderna do equivalente mecânica fora adquirido a partir de outros experimentos.

Em outras séries de experimentos, entre outros posteriores, permitiram uma compreensão sobre a proporcionalidade entre calor em diferentes modalidades de energia, por exemplo, a partir da relação entre o trabalho mecânico produzido por uma força de natureza qualquer “W”, é equivalente ao produto da variação de calor pela constante de Joule “J”, cuja notação atual representada em sendo identificado a produção de calor envolvido com diferentes modalidades de força mecânica. A compreensão da caloria como uma forma de energia, envolve grande parte dos fenômenos da física.

7-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AFONSO-GOUDFARB, A.M. *O Que é História da Ciência*. Ed. Brasiliense. São Paulo ,1994. ISBN: 85-11-01286-9

CHEVALARD, Y La transposición didáctica: del saber sábio al saber enseñado. Buenos Aires ed. Aique 1991.

JOULE, J. P. *On the Mechanical Equivalent of Heat : Communicated by Michael Faraday D.C.L, F.R.S Foreign Associaey of the Academy of Science Paris &c &c &c*. Philosophical Transaction 61-82. Royal Society of London. 1850

MARANDINO, M. *Transposição ou Recontextualização? sobre a produção dos saberes na educação em museus de ciências*. Revista Brasileira de Educação Mai-Ago n. 26. pp. 95-108 São Paulo 2004 ISSN: 1413-2478

MARTINS, Roberto de Andrade. *Manual de Análise de textos metacientíficos* (versão 2.1) Disponível em: <http://ghc.ifi.unicamp.br/download/manual-meta.pdf> 05/01/2005

_____ *Como Distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica*. 1-Física Clássica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 15 (3): 243-64,1998.

HALLIDAY, Resnick . *FÍSICA: Mecânica - Acústica – Calor*. Parte 1. Livros Técnicos e Científicos S.A. Rio de Janeiro 1965.

NUSSENZVEIG, H.M. *Curso de Física Básica*, 2a ed., vol 2. - Fluidos, Oscilações Ondas, Calor. Edgard Blücher, São Paulo, 1990.