

Calor é uma forma de energia!

calor | calórico | joule | história da ciência

Prof. Emiliano Chemello ¹
echemell@ucs.br



Joseph Black (1728-1799)

A frase que dá nome a este artigo é um óbvio ululante para os que estão no meio científico, mas a concepção de calor nem sempre foi esta. O experimento realizado em 1845 por James Prescott Joule é um dos clássicos da termodinâmica, o qual demonstrou que o calor, antes visto como uma substância, era na verdade uma forma de energia e também equivalente ao trabalho. O presente artigo pretende fazer uma análise da evolução do conceito de calor ao longo da história da ciência.

A matéria e a energia podem apresentar-se sob as mais diversas formas: um corpo em movimento é possuidor de energia cinética, enquanto uma mola comprimida tem energia potencial; a dinamite possui energia química, já um corpo eletricamente carregado armazena energia elétrica. Estas formas de energia, contudo, podem se transformar umas nas outras: uma mola, uma vez comprimida, ao ser distendida, ganha movimento, o que significa que sua energia potencial se converte em energia cinética. Analogamente, a energia química contida na gasolina pode ser transformada, através da combustão, em energia cinética, aproveitada pelo motor do automóvel. Já a produção de energia elétrica nas usinas hidrelétricas aproveita a energia das quedas de água.



Conde Rumford (1753-1814)

Na época da experiência de Joule a natureza do calor ainda não era bem compreendida, pois a termodinâmica da época baseava-se na teoria do calórico, formulada em 1770 por **Joseph Black**. O calórico, segundo Black, era um fluido que seria composto de partículas minúsculas que se repeliriam umas às outras, mas seriam atraídas pela matéria. A teoria do calórico propunha-se a explicar um conjunto de fenômenos ligados ao calor. A contração e a expansão observadas com o resfriamento e aquecimento, respectivamente, eram exemplos de observações ligadas ao calórico. Para Black, a expansão e a contração eram resultado do acúmulo e liberação de calórico. Já a geração de calor por fricção era explicada devido ao fato do atrito reduzir a atração entre o calórico e a matéria. A idéia de calor como substância é uma constante na teoria de Black. Teve tanta influência que o químico francês Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) listava na época em seus escritos o calórico como uma das substâncias elementares.



Julius Robert von Mayer
(1814-1878)

No fim do século XVIII, Benjamin Thompson, engenheiro americano exilado na Inglaterra (país onde recebeu o título de Conde Rumford), realizou os primeiros experimentos convincentes sobre a natureza do calor, mas estes só seriam levados a sério em meados do século XIX. Rumford sugeria na época que o calor liberado pelo desbastamento interno do cano dos canhões estava ligado não a uma perda de calórico, mas ao trabalho efetuados sobre os canos. De fato, como mostrou uma série de experiências às quais ele se dedicou, o desbastamento não modificava a capacidade calorífica do metal, enquanto que, segundo a teoria do calórico, as aparas de ferro produzidas pelo desbastamento ganhavam capacidade calorífica.

Em consequência principalmente da experiência do Conde Rumford, a teoria mecânica do calor foi enunciada pela primeira vez em 1842, por **Julius R. von Mayer**. Para ele, calor e trabalho eram equivalentes. Sua inspiração a essa suposição de equivalência veio da observação de um cavalo suando enquanto puxava uma carga morro acima. Ele deduziu que o cavalo estava com calor não porque estivesse se movendo, mas por causa do trabalho físico que tinha que executar para gerar o movimento.

Mayer tentou provar sua tese montando um experimento em uma fábrica de papel, na qual a polpa era mexida num enorme caldeirão por um cavalo girando em círculo. Medindo o aumento na temperatura da polpa, ele obteve um

¹ Professor de química do ensino médio e pré-vestibular em Caxias do Sul. Para maiores informações, visite seu website:
www.quimica.net/emiliano

número para a quantidade de calor produzido por uma dada quantidade de trabalho mecânico executado pelo cavalo. Com seus experimentos primitivos, Mayer recebeu pouco crédito nos livros de ensino e na própria história da ciência, apesar de ter sido o primeiro a conceber esta idéia original sobre calor. A comunidade científica da época desdenhou os experimentos e hipóteses de Mayer a respeito da relação entre calor e trabalho ². Em vez disso, os créditos foram para um cervejeiro inglês chamado **James Prescott Joule**.

Joule demonstrou, experimentalmente, entre 1843 e 1850, que a hipótese de Mayer era coerente. “Joule”, escreveu o seu biógrafo Donald Cardwell, “conseguiu estabelecer que calor e trabalho são intercambiáveis, que a relação entre ambos é fixa e é inteiramente independente dos materiais ou dos processos empregados.”

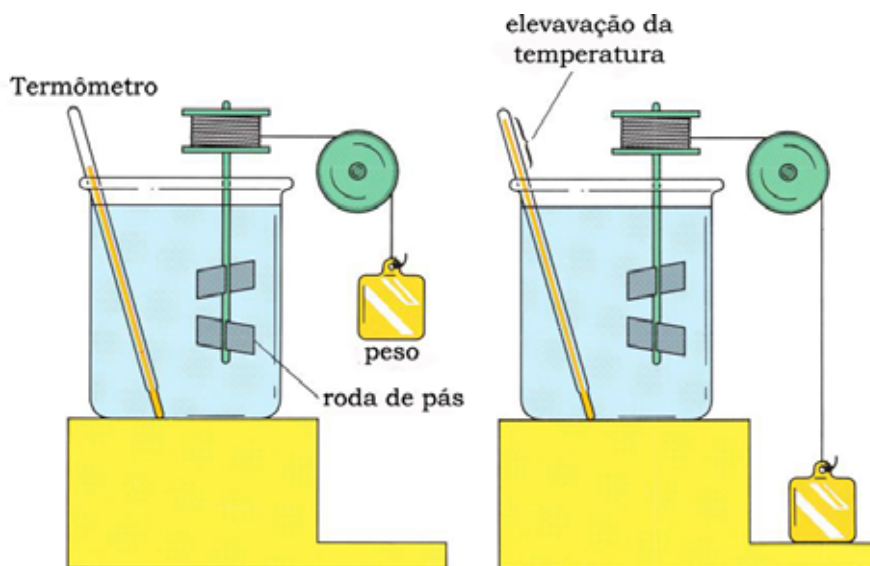


Figura 1 – Esquema didático que representa o experimento de Joule. Com a queda do peso, ocorre o movimento da roda de pás e o aquecimento da água através da fricção. A energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética, que por sua vez é convertida em calor.

A principal experiência do físico inglês, apresentada em 1845 em uma monografia à Royal Society inglesa, consistiu em dispor uma roda de pás em uma cuba de água (veja **Figura 1**). O movimento das palhetas da roda lhes era comunicado por um molinete que, quando girava, promovia a queda de dois pesos, de quatro libras ³ cada. Estes caíam de uma altura de cerca de doze jardas⁴, a uma velocidade de um pé ⁵ por segundo – uma velocidade de queda relativamente lenta, visto que havia uma grande resistência da água às palhetas da roda.

A queda dos dois pesos arrastava então as palhetas, por meio do molinete, e a fricção gerada pelo movimento das palhetas na água da cuba deveria aquecer a água (a temperatura se elevaria, pois a água efetuava um trabalho ao resistir ao movimento das palhetas). A operação foi repetida dezesseis vezes; depois a temperatura da água foi determinada com auxílio de um termômetro muito sensível, capaz de detectar diferenças de temperatura de 1/100 de grau Fahrenheit ⁶.

O próprio Joule descreveu seus resultados:

“Uma série de nove experiências [com o dispositivo da roda de pás] foi efetuada, [...] a fim de eliminar os efeitos devidos ao resfriamento da atmosfera [sobre as duas massas]. [...] Posso concluir que a existência de uma relação de equivalência entre o calor e as formas comuns de energia mecânica está de-

² Segundo alguns historiadores, sua falta de habilidade se manifestou, inclusive, quando tentou suicídio, devido à depressão causada pelas zombarias ao seu trabalho, jogando-se de uma janela de nove metros de altura e sobrevivendo à tentativa.

³ Uma libra (lb) equivale a 453,6 g. Logo, 4 lb correspondem a 1,8144 kg.

⁴ Uma jarda (yd) equivale a 91,40 cm. Logo, 12 yd correspondem a 10,97 m.

⁵ Um pé (ft) equivale a 30,48 cm.

⁶ A relação entre °C e °F é: $T_{°C} = 5/9 \times (T_{°F} - 32)$

monstrada; e deduzir o valor de 817 libras, média das três classes de experiências, como equivalente [mecânico do calor], até que experiências mais precisas sejam feitas.

Os leitores que têm a felicidade de residir no cenário romântico do País de Gales ou da Escócia poderão, sem dúvida alguma, verificar as minhas experiências, observando a temperatura da água na parte alta e na parte baixa de uma cascata. Se meus cálculos estão corretos, uma queda de 817 pés gerará naturalmente um grau [Fahrenheit] de calor; e a temperatura das águas do rio Niágara será aumentada de cerca de um quinto de grau pela sua queda de 160 pés.” Evidentemente, uma elevação tão pequena de temperatura não é detectável, mas a conclusão de Joule é correta.



James Prescott Joule
(1818-1889)

Cinco anos depois, em 1850, Joule apresentou aos membros da Royal Society uma nova monografia. Nela, foi relatada uma série de experimentos semelhantes em todos os pontos ao de 1845, mas para os quais ele utilizou jogos diferentes de palhetas para a roda de pás: um primeiro jogo de latão, um segundo de ferro forjado e um terceiro de uma liga de ferro e carbono. Além disso, os dois últimos jogos foram imersos em mercúrio e não em água. Graças a essa experiência, Joule pôde demonstrar, agora mais veementemente, que a relação entre calor e trabalho era fixa e inteiramente independente dos materiais e processos empregados.

Joule obteve três séries de resultados nessa experiência: 772,692; 774,083 e 774,987 pés-libras. Escolheu finalmente o valor de 772 pés-libras como equivalente mecânico da caloria – uma cifra notavelmente próxima do valor moderno, que é de 778 pés-libras (ou seja, com as unidades utilizadas hoje, cerca de 1.054 J). É importante salientar também que a experiência de Joule forneceu a primeira ilustração convincente do princípio de conservação de energia, uma das leis fundamentais da física moderna.

Após os experimentos, Joule casou-se e levou sua esposa para uma lua-de-mel nas famosas cachoeiras de Chamonix, nos Alpes Suíços. Pode-se imaginar o dissabor da moça ao descobrir que Joule tinha escondido um termômetro na bagagem, com a intenção de medir a temperatura da cachoeira à medida que a água caía a diferentes distâncias – comparável apenas ao dissabor do próprio Joule ao descobrir que qualquer aumento na temperatura era compensado pelos efeitos do ar frio, que levava embora o calor.

Após a morte de Joule, em 1889, em sua homenagem, o SI (Sistema Internacional de Unidades) dá seu nome à unidade relacionada à energia (trabalho ou quantidade de calor), que tem como símbolo a letra “J” em maiúsculo. Por definição, um joule é equivalente ao trabalho exercido quando o ponto de aplicação de uma força de intensidade 1 N (um newton) se desloca de uma distância igual a 1 m (um metro) na mesma direção da força.

Bibliografia Utilizada

- > ATKINS, P., JONES, L. *Princípios de Química* – Porto Alegre: Bookman, 2001.
- > FISHER, L. *A ciência no cotidiano* – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2004.
- > INMETRO. *Sistema Internacional de Unidades - SI*. 7. ed. Rio de Janeiro, 2003.
- > KRAUSKOPF, B. K., BEISER, A. *The Physical Universe*, 11th Edition - McGraw-Hill, 2006.
- > MAAR, J. H. *Pequena História da Química* – Florianópolis: Papa-Livro, 1999.
- > MORTIMER, E. F., AMARAL, F. Quantos mais quente melhor. *Revista QNEsc*. n° 7, maio 1998.
- > RIVAL, M. *Os Grandes Experimentos Científicos* – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1997.
- > *Wikipédia - the free encyclopedia*. Internet: <http://www.wikipedia.org> – acesso em 28/09/2006.

[Este artigo pode ser reproduzido total ou parcialmente desde que seja devidamente referenciado]

[Disponível on-line em: www.quimica.net/emiliano]

Profº Emiliano Chemello
www.quimica.net/emiliano