



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



A Evolução do Conceito de Calor: Fogo, Flogístico, Calórico e Forma de Movimento.

Segundo a Mitologia Grega, Prometeu criou o *Homo* (“Homem”) do limo da terra e animou-o com o “**fogo do céu**” roubado aos Deuses. Em vista disso, ele foi punido por esses Deuses colocando-o preso em um alto penhasco, no monte Cáucaso, onde uma águia, filha de Tifon e de Equidna devia devorar-lhe lentamente o fígado. Registre-se que Prometeu (significa, em grego, **previdente** – o **Deus do Fogo**) era filho do titã Japeto e da oceânida Climene (ou da Nereida Ásia, ou ainda de Temis, irmã mais velha de Saturno) e irmão de Atlas. [Pierre Commelin, **Mitologia Grega e Romana** (Ediouro, s/d).] Esse mesmo *Homo*, agora *Homo erectus*, depois de haver descoberto o “**fogo terrestre**”, há cerca de quatrocentos mil anos, dominou-o para esquentá-lo quando sentia frio; para construir suas armas, para caçar e se defender de seus inimigos; e para cozer seus alimentos. Por fim, agora como *Homo Sapiens Sapiens* tentou entendê-lo. [Jacob Bronowski, **A Escalada do Homem** (Martins Fontes/EDUnB, 1979).] Vejamos como isso aconteceu, cujos maiores detalhes podem ser vistos em: A. Kistner, **Historia de la Física** (Editorial Labor, 1934); Sir Edmund Taylor Whittaker, **A History of the Theories of Aether and Electricity: The Classical Theories** (Thomas Nelson and Sons Ltd., 1951); Isaac Asimov, **Gênios da Humanidade** (Bloch, 1974); Roberto de Andrade Martins, **Mayer e a Conservação de Energia** (*Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **6**, p. 63, 1984); P. M. Harman, **Energy, Force, and Matter** (Cambridge University Press, 1985); Madison Smartt Bell, **Lavoisier no Ano Um** (Companhia das Letras, 2007); e José Maria Filardo Bassalo, **IN: Partículas Elementares: 100 Anos de Descobertas** [F. Caruso, V. Oguri & A. Santoro (Editores) (EDUA, 2005)].

Na busca de um elemento essencial (**arché**) da Natureza, os filósofos gregos pré-socráticos tinham opiniões diferentes. Assim, Tales de Mileto (624-546) acreditava que esse elemento seria a **água**, enquanto Anaxímenes de Mileto (c.570-c.500) considerava ser o **ar**. Por outro lado, Xenófanes de Colofonte (c.570-c.460) achava ser a **terra**, diferentemente de Heráclito de Éfeso (c.540-c.480), que afirmava ser o **fogo** a essência da Natureza. No entanto, para Empédocles de Agragas (atual Agrigento) (c.490-c.430), esses **quatro elementos** é que seriam os elementos naturais, uma vez que a combinação adequada deles é que formaria todas as coisas da Natureza. Para Platão (c.428-c.348), defensor da concepção quaternária da Natureza, o **fogo** se relacionava com o tetraedro, um dos cinco poliedros regulares propostos por Pitágoras de Samos (c.560-c.480). Por sua vez, para os atomistas Demócrito de Abdera (c.470-c.380) e Leucipo de Mileto (c.460-c.370), o **fogo** era constituído de átomos esféricos.

Assim como os gregos antigos, os chineses e os hindus também procuraram explicar o **fogo**. Com efeito, para o filósofo chinês Zou Yan (360-c.260), o **fogo**, juntamente com a **água**, a **terra**, a **madeira** e o **metal**, se constituíam nos elementos fundamentais do Universo. No entanto, esses elementos não eram considerados como meras substâncias, já que eram governados pelo dualismo básico dos princípios cósmicos do **yin** (terra, fêmea, passivo, absorvente) e do **yang** (céu, macho, ativo, penetrante). Por outro lado, os filósofos hindus acreditavam que os elementos primordiais do Universo eram manifestações da alma (**atman**) ou essência desse mesmo Universo. Assim é que,

para esses filósofos, o **fogo** era um dos cinco **elementos-manifestações** que se ligavam aos sentidos da seguinte maneira: **éter**-audição, **ar**-tato, **água**-paladar, **terra**-olfato e **fogo**-visão.

A decadência do Império Romano do Ocidente, com sede em Roma, ocorrida em 476, da era cristã (d.C.), com a queda do imperador Rômulo Augusto (f.c. último quarto do Século V), após a invasão germânica, e a invasão da Espanha, pelos mouros, em 711, fizeram crescer o Império Islâmico que havia sido construído pelo profeta Maomé (571-632) e seus seguidores. Para a construção desse Império, que se tornou o centro cultural do mundo a partir do Século VIII, foi importante, inicialmente, a tradução de textos gregos e hindus, seguida do desenvolvimento de uma Ciência Árabe que, por exemplo, introduziu uma idéia nova sobre o **fogo** na concepção quaternária grega da Natureza. Assim, para o alquimista árabe Abu Musa Jabir Ibn Hayyan (Geber) (c.721-c.815), o **fogo** era a base do **Princípio da Combustão**, e se relacionava ao **enxofre**, um dos dois elementos fundamentais da Natureza. O outro elemento era o **mercúrio**. Note-se que, para Geber, os quatro elementos Empedoclianos combinavam-se para dar lugar apenas aos dois elementos referidos acima. Aliás, é oportuno registrar que foi Geber quem observou que a “**cal**” (hoje denominada **óxido**) que se forma na queima de um metal [chumbo (Pb), por exemplo] pesa mais do que o próprio metal antes de ser queimado. A razão disso só seria explicada a partir do final do Século XVII, como veremos mais adiante.

A idéia de que o **fogo** se relacionava com um princípio fundamental da Natureza e responsável pela combustão dos corpos foi reforçada pelo químico alemão Johann Joachim Becher (1635-1682) em seu livro intitulado **Física Subterrânea**, publicado em 1669, no qual afirmou que a combustão era devida à “**terra combustível**” (“*pinguis*”), uma vez que era esse tipo de “*terra*” que se liberava quando uma substância se calcinava (hoje, oxidava). Observe-se que, para Becher, os sólidos eram classificados em três tipos de “*terras*”: *pinguis*, *lapida* ou *vitrificável* e *mercurialis*.

Uma teoria mais geral das *terras combustíveis* foi formulada pelo médico e químico alemão Georg Ernst Stahl (1660-1734) no livro publicado em 1697, e intitulado **Experimenta, observationes, animadvertiones Chymical et Physical**, no qual chamou-as de **flogístico** (do grego *phlogiston*, que significa consumido pelo **fogo**). Portanto, para Stahl, a extração de um metal de sua *cal metálica* queimando-a com carvão de madeira se devia ao fato de que a cal retirava flogístico do carvão. Por outro lado, quando o metal era calcinado (hoje, oxidado) pela queima do carvão, ele perdia o seu flogístico. Por outro lado, para explicar por que os metais aumentavam de peso quando se calcinavam, isto é, quando perdiam flogístico, Stahl admitiu que este possuía a propriedade de leveza por ter peso negativo. Apesar de suas contradições, o *flogístico Stahliano* dominou o pensamento científico por todo o Século XVIII, principalmente na Química, uma vez que os gases descobertos neste século tinham seu nome ligado ao flogístico. Assim, o hoje nitrogênio (N), descoberto pelo químico escocês Daniel Rutherford (1749-1819), em 1772, foi por ele denominado de *ar flogisticado*; e o hoje oxigênio (O), descoberto independentemente, pelo farmacêutico e químico sueco Karl Wilhelm Scheele (1742-1786), em 1772 (anunciado somente em 1777) e pelo químico inglês Joseph Priestley (1733-1804), em 1774, era conhecido como *ar deflogisticado*.

Uma outra questão também explicada pelo flogístico era a relacionada com a composição da água. Com efeito, em 1781, ao explodir com uma centelha elétrica uma mistura de *ar inflamável* [hoje, hidrogênio (H)] e o *ar deflogisticado* (O), Priestley observou que uma espécie de “orvalho” cobria a face interna da garrafa que continha essa mistura. No entanto, não deu muita atenção a esse fato dizendo apenas que o ar comum deposita sua mistura quando flogisticado. Ainda em 1781, o físico e químico inglês Henry Cavendish (1731-1810), ao repetir essa experiência de Priestley, percebeu que o “orvalho” era água pura. Contudo, partidário do *flogístico Stahliano* e crente na concepção quaternária grega da Natureza, Cavendish não admitiu a idéia natural de que a água era uma substância composta formada pelo *ar deflogisticado* (O) e pelo *ar inflamável* (H), e sim que tais ares eram, respectivamente, o elemento água sem e com flogístico, segundo afirmou em 1784.

A teoria do *flogístico Stahliano* começou a ser questionada pelo químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), em experiências realizadas sobre a combustão, a partir de 1772. Nessas experiências, formulou a hipótese de que as substâncias ganham peso ao serem queimadas, porque absorvem o *ar deflogisticado*, denominado por ele de **oxigênio** (gerador de ácido), em 1777. Nessa ocasião, ele atribuiu a causa do calor a um "fluido imponderável" e o denominou de **matière du feu** ("matéria de fogo") que, dependendo de sua quantidade, formava um dos três estados da matéria: sólido, líquido e gasoso. Destaque-se que a *matéria de fogo Lavoisieriana* só recebeu o nome de **calórico** no livro intitulado **Método da Nomenclatura Química**, publicado em 1787, por Lavoisier e pelos químicos franceses Conde Antoine François Fourcroy (1755-1809), Conde Claude Louis Berthollet (1748-1822) e Barão Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1816).

A teoria do *calórico Lavoisieriano*, este considerado como um fluido imponderável que era capaz de penetrar em todo o espaço e fluir através das substâncias, foi bastante desenvolvida por Lavoisier em seu famoso livro **Tratado Elementar de Química**, publicado em 1789. Aliás, nesse livro, Lavoisier utiliza a idéia que tivera, em 1783, de que a água era composta de hidrogênio e oxigênio, bem como formulou de maneira clara e precisa a sua famosa Lei da Conservação da Matéria: *Na Natureza nada se perde e nada se cria, há somente alterações e modificações*, lei essa que é a base de sua Teoria da Combustão. Observe-se que, embora Lavoisier haja mostrado que a água não era um dos elementos gregos primordiais da Natureza, sua estrutura química atual, qual seja, H₂O, só ficou evidenciada com a hipótese apresentada, em 1811 (*Journal de Physique* **73**, p. 58), pelo físico italiano Conde Amedeo Avogadro (1776-1856), sobre a distinção entre **átomo** e **molécula**. Portanto, hoje sabe-se que a *água Taleseana* é formada pela molécula diatômica do hidrogênio (H₂) e pela molécula monoatômica de oxigênio (O). Aliás, a primeira idéia sobre essa distinção foi apresentada pelo matemático e filósofo francês Pierre Gassendi (1592-1655), no livro que publicou em 1647, Gassendi afirmou que em cada corpo os **átomos** se reúnem em pequenos grupos, as **moléculas**, isto é, em "massas pequenas", uma vez que, **moles** (que significa "massas", em latim). É oportuno esclarecer que foi o médico e físico inglês William Gilbert (1544-1603) quem fez a distinção entre **massa** ("moles") de um corpo e o seu **peso** ("pondus", em latim). Este foi finalmente conceituado pela Teoria da Gravitação Newtoniana (1687).

A idéia de perda ou de ganho de uma "partícula ígnea", muito utilizada pelos defensores do *flogístico Stahliano*, também foi a base dos defensores do calórico, uma vez que os cientistas do final do século XVIII e das primeiras décadas do século XIX achavam que a adição e a subtração do *calórico Lavoisieriano* explicava, respectivamente, a expansão e a contração térmicas, isto é, o aumento e a diminuição da temperatura dos corpos. Contudo, uma observação experimental realizada pelo físico francês Jean André Deluc (1727-1817), em 1776, sobre a dilatação irregular da água, não se enquadrava naquela explicação, uma vez que, quando a temperatura da água diminui a partir de 4°C, seu volume aumenta ao invés de diminuir. Além do mais, não se conseguia "pesar" o "fluido calórico".

Além da idéia de um fluido imponderável como sendo responsável pelos fenômenos caloríficos, uma outra idéia, tão antiga quanto aquela, foi ainda apresentada para explicar esses mesmos fenômenos. Com efeito, em 1620, o filósofo inglês Francis Bacon (Lord Verulam) (1561-1626) publicou o livro intitulado **De Forma Calidi**, no qual afirmou ser o calor uma forma de movimento. Essa afirmativa foi defendida pelos também ingleses, os físicos Robert Boyle (1627-1691) e Robert Hooke (1635-1703), em 1665, e o filósofo John Locke (1632-1704), em 1722. Mais tarde, em 1740, o cientista russo Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711-1765) afirmou: *A causa do calor e do frio era devida ao movimento mútuo de diminutas e imperceptíveis partículas*. Essa idéia seria retomada pelo físico anglo-norte-americano Sir Benjamin Thompson, Conde Rumford (1753-1814) (o fundador do *Royal Institution of Great Britain*, em 1799), conforme veremos em continuação.

Estimulado pelas experiências do médico inglês George Fordyce (1736-1802), realizadas em 1785, com o objetivo de saber se havia qualquer mudança de peso quando a água é congelada, Rumford realizou experiências semelhantes a partir de 1787. Assim, em uma dessas experiências, tomou dois frascos idênticos e colocou neles água e mercúrio (Hg), respectivamente, depois de lacrá-los, pesou-os com cuidado nas temperaturas de 61°F e 30°F. Ora, como esses dois líquidos têm calores específicos bastante diferentes, se o calórico tivesse peso, Rumford esperava encontrar diferença nas duas medidas; porém não encontrou nenhuma diferença.

Com o objetivo de testar a teoria do calórico, Rumford continuou a realizar experiências. Uma primeira desconfiança dessa teoria ele teve quando era Ministro da Guerra, na Baviera. Ao inspecionar a fabricação de canhões de bronze, observou que os blocos desse metal tornavam-se incandescentes à medida que a broca os perfurava; e mais ainda, que o bronze continuava a esquentar mesmo que a broca estivesse cega. Ora, segundo aquela teoria, o bronze esquentava-se ao receber o calórico da broca, uma vez que esta, quando afiada, não tinha capacidade de retê-lo, transferindo-o, portanto, ao canhão. Assim, como explicar que o canhão se esquentava mesmo quando a broca não apresentava mais fio? Convencido de que o calor era gerado devido à fricção, Rumford realizou a seguinte experiência. Mergulhou na água um canhão a ser perfurado, a fim de que o calor produzido pela broca passasse a esse líquido. Em seguida, atrelou uma parelha de cavalos ao eixo da broca, fazendo-a girar. Depois de mais de duas horas e meia girando com a broca, o movimento dos cavalos havia fervido a água da mesma maneira que a broca fizera ao perfurar o canhão. Em vista disso, em trabalhos publicados em 1798 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **88**, p. 80) e 1799 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **89**, p. 179), Rumford escreveu, em resumo, que: *O calor é uma forma de movimento, e não tem peso*. Conclusão semelhante a essa foi obtida pelo químico inglês Sir Humphry Davy (1778-1829) ao realizar, ainda em 1799 (*Nicholson's Journal* **4**, p. 395), experiências sobre a produção de calor por atrito.

Por fim, aceita a idéia de que o calor é uma forma de movimento, surgia então a seguinte pergunta: *Qual o Equivalente Mecânico do Calor?* Vejamos como foi respondida essa pergunta. Uma das primeiras tentativas para determinar o **equivalente mecânico do calor** (J) foi proposta pelo físico francês Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) (defensor do *calórico Lavoisieriano*), em uma série de notas escritas, em 1832 (e publicadas muito tempo após sua morte ocorrida nesse mesmo ano), nas quais mostrava que J poderia ser obtida relacionando o calor necessário para aquecer uma certa quantidade de ar, e a “força” necessária para expandi-lo isobaricamente. Esse mesmo argumento de Carnot seria utilizado, em 1837 (*Annalen der Chemie und Pharmacie* **24**, p. 141), pelo físico-químico franco-alemão Carl Friedrich Mohr (1806-1879). A determinação de J também foi objeto de pesquisa por parte do médico e físico alemão Julius Robert Mayer (1814-1878) por ocasião de suas observações fisiológicas, realizadas em 1840, sobre a diferença entre a cor do sangue arterial (vermelho vivo) e do venoso (vermelho escuro) entre as pessoas nascidas nos trópicos e as nascidas nas zonas temperadas. Para Mayer, essa diferença se devia ao fato de haver uma certa relação quantitativa entre o calor desenvolvido internamente pelo corpo e o perdido para o exterior, sendo que este, no entanto, depende da temperatura externa. Ainda para Mayer, o calor produzido por um ser vivo era composto de duas parcelas: um calor corporal e um calor produzido mecanicamente pelo atrito entre os órgãos internos.

A idéia de que o calor poderia ser produzido mecanicamente levou Mayer, em 1842, a propor o cálculo de J baseado em uma observação que fizera em uma fábrica de papel, na qual a polpa de papel contida em um certo caldeirão era agitada por um mecanismo movido por um cavalo que se deslocava em círculos em torno do caldeirão. Desse modo, Mayer indicou que J seria determinado comparando a “força” executada pelo cavalo com o aumento de temperatura da polpa de papel. Essa mesma idéia de comparar “força” com elevação de temperatura para determinar J, foi apresentada por ele, em 16 de junho de 1842, em um trabalho que ele à Revista *Annalen der Physik um Chemie*, intitulado **Über quantitative und qualitative Bestimmung der Kräfte**

(“Sobre a determinação quantitativa e qualitativa das Forças”), no qual descreveu uma experiência sobre o cálculo de J . Nessa experiência, Mayer observou que a diferença y entre a quantidade de calor necessária para aquecer de 1°C um grama (1g) de ar, mantidos constantes a pressão e o volume, é igual à “força” realizada por esse gás em sua expansão isobárica (pressão constante). Para calcular essa “força”, Mayer usou o seguinte artifício. Se P é o peso que comprime isobaricamente o gás, e se esse peso é erguido de uma altura h pela dilatação desse mesmo gás, então a “força” realizada nessa expansão será dada por Ph . Portanto, concluiu Mayer, $J = P h/y$. Registre-se que esse artigo foi rejeitado pelo Editor da *Annalen*, o físico alemão Johann Christian Poggendorf (1796-1877), por conter uma série de erros conceituais básicos de Mecânica. Após a morte de Poggendorf, e entre seus papéis, foi encontrado esse artigo e posteriormente editado sob a forma de fac-símile, pelo astrônomo e físico alemão J. K. F. Köllner.

Apesar da recusa desse seu trabalho por parte de Poggendorf, Mayer continuou suas pesquisas no sentido de encontrar J . Assim, também em 1842, ele preparou um novo trabalho intitulado **Bemerkungen über die Kräfte der Unbelebten Natur** (“Observações sobre as Forças da Natureza Inanimada”) e submeteu à publicação na Revista *Annalen der Chemie und Pharmacie*, havendo sido aceito por seu editor, o químico alemão Justus Liebig (1803-1873) que o publicou no volume **42**, p. 233, ainda em 1842. Nesse trabalho, Mayer calculou J relacionando a “quantidade de força” de um peso que cai de uma altura aproximada de 365 m e a quantidade de calor necessária para aquecer um igual peso de água de 0°C a 1°C . Desse modo Mayer encontrou, em unidades atuais, o valor $J = 3,65$ joules/caloria.

É oportuno destacar que, independentemente de Mayer, o físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) também realizou experiências objetivando determinar J , cujos resultados foram por ele apresentados na Reunião da *British Association for the Advancement of Science*, em 21 de agosto de 1843. Segundo esses resultados, o valor de J foi por ele calculado comparando o calor produzido por corrente elétrica gerado por indução eletromagnética e o excesso de “força” gasta pela máquina produtora dessa corrente. Contudo, esse valor de J apresentava uma ampla oscilação, entre , em unidades atuais. Registre-se que os resultados dessas experiências de Joule foram publicados, ainda em 1843, no *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* **23**, pgs. 263; 347 e 435.

Ao concluir este verbete, é oportuno fazer algumas observações. A primeira delas relaciona-se com o fato de que, apesar de a determinação de J vista acima represente um aspecto do **Princípio da Conservação de Energia**, este só foi matematicamente formalizado pelo fisiologista e físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) no célebre artigo intitulado **Über die Erhaltung der Kräfte** (“Sobre a Conservação da Força”) apresentado à *Sociedade de Física de Berlim*, em 23 de julho de 1847. Uma segunda observação diz respeito ao duplo sentido da palavra “força” (*Kraft*, em alemão; *Force*, em inglês) utilizada por esses físicos: força propriamente dita e trabalho, apesar de o físico e médico inglês Thomas Young (1773-1829), em 1807, no livro intitulado **Lectures on Natural Philosophy**, haver feito essa distinção quando usou o termo **energia** em seu sentido atual: *a capacidade de realizar trabalho*. A terceira observação está ligada a grande polêmica sobre a autoria da determinação de J . Para os físicos, o inglês Peter Guthrie Tait (1831-1901) e o escocês William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907) consideravam a autoria de Joule, enquanto o físico inglês John Tyndall (1820-1893), à de Mayer. Aliás, é oportuno ressaltar que essa polêmica amargurou muito a vida de Mayer. Em 1849, tentou o suicídio ao pular do terceiro andar de um prédio; quebrou apenas as pernas, porém ficou completamente paralisado. Em 1851, foi internado em um hospital de doentes mentais. Mais uma outra observação refere-se a determinação de um novo valor de J , o mais próximo do valor atual ($J = 4,186$ joules/caloria), que foi apresentado pelo físico norte-americano Henry Augustus Rowland (1848-1901), em 1879: $J = 4,188$ joules/caloria. Uma observação final é a de que hoje o **calor** é considerado como uma **radiação térmica Larmoriana (radiação infravermelha)** decorrente da aceleração das cargas elétricas próximas da superfície de um corpo em processo de agitação térmica. Registre-se que, em

1897 (*Philosophical Magazine* **44**, p. 503), o físico e matemático inglês Sir Joseph J. Larmor (1857-1942) demonstrou que uma carga elétrica acelerada irradiava ondas eletromagnéticas.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)