

A Energia e a Química

Energia

Calor

Renato José de Oliveira
Joana Mara Santos

Esta seção tem procurado apresentar artigos que analisem conceitos científicos de interesse direto dos químicos de forma crítica e atualizada.

Neste artigo, os autores têm por objetivo focalizar a utilização do conceito de energia na química, especialmente no que se refere aos processos de troca de calor. Assim, questionam como vem sendo utilizada a expressão 'energia química', o que contribui para analisarmos como, de forma geral, lidamos acriticamente com as definições da ciência.

► energia química, calor, energia ◀

Desde que o ser humano surgiu na face da Terra, deparou com estranhos fenômenos que hoje dizemos estar ligados ao conceito de energia. Dentre eles, possivelmente o fogo foi o mais impressionante. Dominá-lo significava dar um grande passo para lidar com a escuridão, o frio e outras situações pouco confortáveis impostas pela natureza.

A importância do fogo para os seres humanos foi tal que diferentes mitologias fizeram relatos dele. Os antigos gregos, por exemplo, consideravam-no propriedade dos deuses. Quando o titã Prometeu¹ roubou o fogo sagrado de Zeus para ofertá-lo aos seres humanos, sofreu na carne o peso da ira divina: condenado a viver acorrentado a um rochedo, tinha seu fígado devorado por um abutre todos os dias². Uma vez comido pela ave, o órgão se regenerava durante a noite para novamente lhe servir de alimento ao amanhecer.

Tendo aprendido a fazer a queima (cujo princípio só seria estabelecido muitos séculos mais tarde por Lavoisier), será que o ser humano teria começado a fazer química? À primeira vista somos tentados a dizer que sim, uma vez que o domínio das técnicas de combustão permitiu o desenvolvimento da cerâmica e da metalurgia,

entre outras realizações. Todavia, se entendermos por química não um conjunto de técnicas de manipulação e produção de materiais e sim uma ciência que articula planos de investigação empírica a modelos explicativos racionais, é preciso responder que o começo só se dá efetivamente com Boyle, no século XVII.

Por que razão com ele e não com outros? Toda demarcação tem seus critérios (que inclusive podem ser questionados), mas, em função do que foi dito, as palavras do próprio Boyle são esclarecedoras:

“Os químicos se têm deixado guiar até agora por princípios estreitos e sem nenhum alcance elevado. A preparação de medicamentos, a extração e a transmutação de metais era seu terreno. Eu trato de partir de um ponto de vista completamente distinto, pois considero a química não como um médico ou um alquimista, mas como deve considerá-la um filósofo. Tracei um plano de filosofia química que espero completar com minhas próprias experiências e observações.” (*apud* Papp e Prelat, 1950, p. 56-57).

Buscando uma definição para o calor

Tanto a física quanto a química interessam-se pelo estudo das trocas térmicas entre os corpos. Francis Bacon (1561-1626), um dos fundadores da ciência experimental moderna, buscou reunir elementos que pudessem explicar a natureza e melhor colocar o calor a serviço da humanidade. Investigador metucioso, Bacon propôs que fossem listados todos os fenômenos em que ele estivesse presente e também aqueles em que estivesse ausente. Depois, passou à elaboração de uma terceira lista (ou tábua, conforme sua própria denominação), com o objetivo de distinguir os graus de manifestação mais ou menos intensa.

Se entendermos por química não um conjunto de técnicas de manipulação e produção de materiais e sim uma ciência que articula planos de investigação empírica a modelos explicativos racionais, é preciso responder que o seu começo só se dá efetivamente com Boyle, no século XVII

As tábuas baconianas pretendiam arrolar observações isentas de qualquer teorização prévia. Assim, tocar em um recipiente contendo cal virgem (óxido de cálcio) logo após a adição de água ou manusear o esterco recente de um cavalo eram experiências que acusavam a presença do calor. Por outro lado, perceber que certos metais (ouro, por exemplo) não produziam calor sensível quando dissolvidos pela

água-régia era um indicativo da ausência do fenômeno. Examinando o comportamento de diferentes materiais, tornava-se possível compará-los (terceira tábua) e concluir que o tijolo, a pedra e o ferro, depois de aquecidos ao rubro, conservavam calor por muito tempo.

Segundo Bachelard (1996, p. 74), a qual conclusão chegou finalmente Bacon? “O infeliz calor, premido pelo juiz [no caso, o próprio Bacon], é forçado a con-

fessar que é um ser ansioso, agitado e fatal para a existência civil de todos os corpos”.

Embora a conclusão possa ser hoje risível, cabe salientar duas coisas, a primeira em defesa de Bacon: o mais importante era a proposição de um método para instruir o intelecto na investigação da natureza. A segunda crítica o autor: nenhuma pesquisa científica pode prescindir de hipóteses ou mesmo de teorias prévias, já que a observação e a experiência, por si sós, não levam a razão muito longe.

Os estudos sobre a natureza do calor estiveram sempre na ordem do dia para os químicos e físicos dos séculos XVIII e XIX. Lavoisier apoiava a chamada ‘hipótese calórica’, segundo a qual o calor se devia à transmissão de um fluido (calórico) dos corpos mais quentes para os mais frios. Uma discussão interessante a esse respeito é apresentada no artigo “Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termoquímica”, em *Química Nova na Escola* nº 7 (Mortimer & Amaral, 1998).

No campo industrial, as aplicações do calor foram se tornando progressivamente mais importantes. O escocês James Watt patenteou, em 1769, a primeira máquina a vapor, desencadeando a procura por engenhos com eficiência cada vez maior, isto é, com maior rendimento na conversão de calor em trabalho mecânico. Tal corrida resultou na criação de uma área de conhecimento para o estudo dos fenômenos térmicos: a termodinâmica, que estabeleceu os princípios da conservação da energia (primeiro princípio) e do au-

mento da entropia do universo (segundo princípio).

A termodinâmica promoveu uma abertura de pensamento que levou os(as) cientistas a se tornarem mais exigentes com respeito às teorias que formulavam. Em vista disso, em fins do século XIX, a ‘hipótese calórica’ perdia prestígio e novos meios de explicação eram buscados. Uma ferramenta importante nessa busca foi a teoria atômico-molecular, que serviu de apoio a

Ludwig Boltzmann para a formulação da teoria cinética dos gases³. Reconhecida somente após sua morte, a teoria de Boltzmann levou os físicos do século XX a estabelecer os atuais conceitos de temperatura (medida do grau de agitação molecular médio de um corpo) e calor (fluxo de energia entre corpos mantidos a diferentes temperaturas).

Associando química e energia

Com o primeiro princípio da termodinâmica, o termo energia passou a ser bastante utilizado no vocabulário científico. Diz-se, sem maiores problemas, que a corda de um arco — quando esticada — armazena energia potencial elástica, que é convertida na energia cinética do movimento descrito pela flecha. Dentre muitas outras transformações energéticas de amplo domínio, destaca-se a produção de energia elétrica a partir das quedas d’água: a energia potencial da água é transformada em energia cinética e esta é convertida em energia elétrica. Não há dúvida de que o princípio de conservação

de energia é um modelo explicativo bem-sucedido, mas é preciso ter cuidado com alguns de seus usos, como acontece quando se fala na conversão da chamada energia química

em outras formas de energia e vice-versa. Marcelo Gleiser (1997, p. 217), por exemplo, afirma que:

“A quantidade total de energia deve ser a mesma, antes e depois: a energia química armazenada no óleo da lamparina é igual à energia usada para aquecer o ar à sua volta e no interior do cilindro mais a energia potencial gravitacional do pistão na posição elevada⁴.”

Na verdade, o que é convertido em calor (energia térmica) e em trabalho mecânico não é a energia química armazenada no óleo e sim o saldo energético do processo de queima. Na reação de combustão, dentre os diversos fatores que contribuem para a produção de energia, os mais significativos são os referentes à quebra e à formação de ligações químicas intra e intermoleculares: o processo de quebra das ligações da(s) substância(s) combustível(eis) e do comburente é endotérmico, enquanto o processo de formação de novas ligações nos produtos é exotérmico. A energia térmica resultante (a energia liberada é maior que a absorvida) da combustão — e não simplesmente a energia química contida no óleo — é que permite aquecer o ar, mover o pistão etc.

Alguns livros didáticos, atuais e antigos, também empregam o termo energia química em discussões ligadas a processos eletroquímicos. Feltre (2 ed., 1996: 390) e Nabuco e Barros (1989: 164), por exemplo, se reportam à conversão de energia química em elétrica a partir das reações espontâneas que têm lugar nas pilhas. Novais (1982: 251) afirma que “por outro lado, na niquelação de uma peça metálica, teremos o processo contrário: energia elétrica está se transformando em energia química”.

Nos casos citados, observa-se que os autores atribuem à noção de energia química estatuto de algo cuja natureza é facilmente compreensível, bastando vinculá-la à ocorrência de algum tipo de reação química. Mas será que tal facilidade de compreensão realmente

Os estudos sobre a natureza do calor estiveram sempre na ordem do dia para os químicos e físicos dos séculos XVIII e XIX

O conceito de energia química, assim empobrecido, antes de facilitar, dificulta a aprendizagem porque retém o pensamento no patamar de uma simplicidade apenas aparente

existe? Antes de responder, cabe examinar outra questão que naturalmente pode surgir: de onde vem a energia química?

Alguns livros de nível universitário buscam explicar como as substâncias armazenam energia. Kotz e Treichel (1995, p. 258-259) e também Brady (1990, p. 171) referem-se à energia química como sendo a energia potencial que as substâncias possuem devido às atrações e repulsões entre suas partículas subatômicas. Tais conteúdos energéticos podem ser alterados por meio de reações químicas: “quando as substâncias reagem, ocorrem mudanças na natureza das atrações (ligações químicas) entre seus átomos, portanto há mudanças na energia química (energia potencial) que observamos sob a forma de energia liberada ou absorvida no curso da reação” (Brady, op.cit.).

Já o trabalho de Denial e colaboradores (1985, p. 472-475), voltado para o ensino secundário, ao discutir o conteúdo energético das substâncias químicas, coloca o verbo *to contain* (armazenar) e seus correlatos entre aspas. Isso denota a preocupação em conferir à idéia de ‘estocagem’ de energia mais o sentido de uma licença de linguagem do que propriamente o sentido utilizado na vida cotidiana. Ademais, os autores explicam o conceito de energia química tendo em vista todo um conjunto de interações no nível atômico e molecular. Para tanto, recorrem às noções de energia potencial eletrostática (ligações químicas) e de energia cinética (rotacional, vibracional e translacional). Isso se dá possivelmente com o objetivo de evitar que o termo energia química adquira um significado vazio. Esse esvaziamento da definição traz como conseqüência o risco de permitir

que ela sirva tão somente para ocultar um amplo desconhecimento dos vários fatores que intervêm quando as substâncias reagem.

Em vista disso, cabe perguntar: por que não falar em *energias envolvidas nos processos químicos*? A vantagem de usar essa terminologia é, sem dúvida, permitir que se faça referência às energias potencial, eletrostática e cinética sem que seja preciso reuni-las em um conceito específico: o de energia química. Este, a princípio tido como esclarecedor, na verdade se torna obscuro

As perguntas embaraçosas nos mostram que, ao trabalharmos com definições, não devemos tomar estas últimas como ‘peixes de aquário’, que criamos e nunca nos cansamos de admirar

quando isolado de um contexto explicativo mais amplo, o qual não é acessório e sim essencial para sua fundamentação. Tanto no caso do óleo da lamparina quanto no dos processos eletroquímicos (pilhas e eletrólise), mencionou-se a energia química com omissão do referido contexto explicativo. O conceito, assim empobrecido, em vez de facilitar, dificulta a aprendizagem, porque retém o pensamento no patamar de uma simplicidade apenas aparente.

Considerações finais

Mas o que é, afinal, a energia? O termo é de origem grega (*energéia*) e significa força ou trabalho. Em 1807, o físico inglês Thomas Young propôs que a energia fosse definida como capacidade para realizar trabalho, conceito que é até hoje amplamente utilizado. Contudo, essa definição nada diz sobre a natureza mais específica da energia. Isso não nos deve deixar constrangidos, pois outras questões igualmente desafiadoras podem ser colocadas: qual é a origem da carga do elétron? A partir do que ela é gerada? O que são os neutrinos, cujas massa de repouso e carga elétrica são nulas? Perguntas embaraçosas não faltam e formulá-las é próprio do pensamento científico. Elas nos

mostram que, ao trabalharmos com definições, não devemos tomá-las como ‘peixes de aquário’, que criamos e nunca nos cansamos de admirar. A química, a exemplo das demais ciências, deve ser encarada como fonte de abertura do pensamento, a qual se dá por meio da retificação de antigos conceitos, de profundas desilusões intelectuais com respeito ao que a razão tomava por expressão final de verdade. Como dizia o filósofo Bachelard (1970, p. 90), que aliás também era professor de química, o espírito humano desperta intelectualmente na “derrocada do que foi uma primeira certeza, na doce amargura de uma ilusão perdida”.

Renato José de Oliveira, licenciado em química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), mestre em educação pelo Instituto de Estudos Avançados em Educação da Fundação Getúlio Vargas - RJ, doutor em ciências humanas: educação pela PUC-RJ, é professor do Departamento de Fundamentos da Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). **Joana Mara Santos**, licenciada em química pela UERJ, doutora em ciências químicas pelo Instituto de Química da UFRJ, é professora do Departamento de Química Geral e Inorgânica do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e professora de físico-química da Escola Técnica Federal de Química do Rio de Janeiro.

Notas

1. Na mitologia grega, os titãs eram considerados semideuses, por serem mais fortes e perfeitos que os seres humanos. Da palavra titã deriva o nome dado ao elemento titânio, assim chamado por sua grande resistência mecânica.
2. Há outras versões que mencionam diferentes intervalos de tempo: a cada ano, a cada cem anos etc.
3. A despeito dos trabalhos anteriores desenvolvidos por físicos como J.J. Waterson (1845) e J.C. Maxwell (1860), consideramos Boltzmann o principal formulador da teoria cinética dos gases por ter chegado às leis da termodinâmica aplicando métodos estatísticos à descrição do movimento das moléculas gasosas.
4. O autor está se referindo a um sistema simples, composto por um cilindro provido de êmbolo móvel, aquecido por meio de uma lamparina. O ar no interior do cilindro se expande e eleva o êmbolo.

Referências bibliográficas

BACHELARD, Gaston. *Études*. Paris: J. Vrin, 1970.

_____. *A formação do espírito científico*. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACON, Francis. *Novo organon*. In: *Bacon*, coleção Os Pensadores. São Paulo: Abril Cultural, 1973.

DENIAL, M.J., DAVIES, L., LOCKE, A.W., REAVY, M.E. *Investigating chemistry*. 2. ed. Londres: Heineman Educational Books, 1985.

GLEISER, Marcelo. *A dança do universo: dos mitos de criação ao Big Bang*. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

KOTZ, John C. e TREICHEL, Paul Jr. *Chemistry & chemical reactivity*. 3. ed., EUA: Saunders College Publishing, 1995.

MORTIMER, Eduardo F. e AMARAL, Luiz Otávio F. Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termoquímica. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 30-34, mai. 1998.

PAPP, Desiderio e PRELAT, Carlos. E. *Historia de los principios fundamentales de la química*. Buenos Aires: Espasa, 1950.

Livros didáticos citados

BRADY, James E. *General chemistry: principles and structure*. 5. ed. Nova York: John Wiley & Sons, 1990.

FELTRE, Ricardo. *Fundamentos da química*. 2. ed., São Paulo: Moderna, 1996.

NABUCO, João R. da Paciência e BARROS, Roberto Viseu de. *Físico-química*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1989.

NOVAIS, Vera L. Duarte de. *Físico-química*. São Paulo: Atual, 1982.

Para saber mais

ROSMORDUC, Jean. *Uma história da física e da química: de Tales a Einstein*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1988.

Esse livro é uma importante fonte de consulta para quem deseja conhecer com mais detalhes a história da termodinâmica.