

Perfis conceituais de entropia e espontaneidade de processos físicos e químicos: uma abordagem voltada para a sala de aula

Perfils conceptuals d'entropia i d'espontaneïtat de processos físics i químics: una aproximació a l'aula

Conceptual profiles of entropy and spontaneity of physical and chemical processes: a classroom approach

Edenia M. R. do Amaral / Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brazil

Eduardo F. Mortimer / Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil



resumo

O artigo tem por objetivo apresentar diferentes modos de pensar e falar sobre espontaneidade de processos físicos e químicos e entropia, estruturados em zonas de um perfil conceitual, a partir de situações e fenômenos que podem ser discutidos por professores em sala de aula. A discussão sobre a heterogeneidade do pensamento e da linguagem desses dois conceitos será usada como suporte para a proposição de recursos epistemológicos, pedagógicos e didáticos que podem possibilitar uma abordagem contextualizada e plural para o conceito de entropia e de espontaneidade dos processos físicos e químicos, buscando facilitar a ação docente em aulas de química.

palavras-chave

perfis conceituais, entropia e espontaneidade, heterogeneidade do pensamento e da linguagem, abordagens para o ensino.

resum

L'article té com a objectiu presentar diferents maneres de pensar i parlar sobre l'espontaneïtat dels processos físics i químics i l'entropia, estructurades en zones d'un perfil conceptual basat en situacions i fenòmens que els docents poden discutir a l'aula. La discussió sobre l'heterogeneïtat de pensament i llenguatge d'aquests dos conceptes serà utilitzada com a suport per a la proposició d'aspectes epistemològics, pedagògics i didàctics que puguin possibilitar un abordatge contextualitzat i plural del concepte d'entropia i d'espontaneïtat dels processos físics i químics, buscant facilitar l'acció docent a les classes de química.

paraules clau

perfils conceptuals, entropia i espontaneïtat, heterogeneïtat de pensament i llenguatge, enfocaments per a l'ensenyament.

abstract

The article aims to present different ways of thinking and talking about spontaneity of physical and chemical processes and entropy, structured in zones of a conceptual profile, based on situations and phenomena that can be discussed by teachers in the classroom. The discussion about the heterogeneity of thought and language of these two concepts will be used as support for the proposition of epistemological and pedagogical resources that can enable a contextualized and plural approach to the concept of entropy and spontaneity of physical and chemical processes, seeking facilitate the teaching action in chemistry classes.

keywords

conceptual profiles, entropy and spontaneity, heterogeneity of thought and language, approaches to teaching.

1. Introdução

Neste artigo, temos o objetivo de apresentar diferentes modos de pensar e falar sobre entropia e espontaneidade de processos físicos e químicos, estruturados em zonas de um perfil conceitual (Mortimer & El-Hani, 2014), a partir de situações e fenômenos que podem ser abordados por professores em sala de aula. Para isso, optamos por discutir a polissemia que emerge em aulas de química quando esses conceitos são estudados, fazendo uso de zonas de um perfil conceitual proposto na literatura (Amaral, 2005; Amaral & Mortimer, 2004; Amaral, Mortimer & Scott, 2014). Com este trabalho queremos contribuir para que professores possam adotar novas abordagens didáticas para o ensino da entropia em química.

O conceito de entropia tem sido utilizado por várias áreas do conhecimento, da economia às artes e, no entanto, a despeito de ter suas origens nas ciências físicas, pesquisas apontam para dificuldades e resistência nos estudos sobre esse conceito. Uma das razões para esse fato pode estar relacionada a uma abordagem clássica de ensino que não tem possibilitado um enfoque conceitual e contextualizado para a entropia, em aulas de ciências. Investigações sobre como os estudantes compreendem transformações físicas e químicas, de uma forma geral, descrevem concepções relacionadas a importantes questões, tais como: qual a diferença entre fenômenos físicos e químicos? O que é uma reação química? Em que extensão elas acontecem? A que velocidade? Elas absorvem ou liberam energia? No entanto, o questionamento sobre as razões pelas quais transformações físicas ou químicas ocorrem não recebe a mesma atenção. Refletir sobre essas razões nos leva a outra questão:

em que condições transformações físicas ou químicas podem ou não podem ocorrer? Aqui, defendemos que a compreensão de aspectos energéticos envolvidos nessas transformações pode ser construída com estudos sobre os conceitos de entropia e espontaneidade e as implicações que a segunda lei da termodinâmica traz para a ocorrência (ou não) de processos físicos e químicos. E esses conceitos podem ser abordados no contexto de ensino e aprendizagem da química com o propósito de aprofundar a compreensão sobre as transformações físicas e químicas.

Na Termodinâmica Química e na Termoquímica, entropia e espontaneidade são conceitos estudados de forma interligada, ou seja, o estudo da entropia leva à discussão sobre a espontaneidade, reversibilidade e irreversibilidade de processos físico-químicos e, da mesma forma, a abordagem sobre processos físicos e químicos envolve aspectos tais como, evidências, equilíbrio, velocidade e direção e fatores energéticos que são determinantes na ocorrência (ou não) desses processos. No ensino de química, é muito frequente que sejam determinadas as variações de entropia para um sistema e, a partir desse parâmetro, sejam definidas a ocorrência ou não do processo e as condições nas quais ele seria espontâneo, do ponto de vista científico. A concepção de espontaneidade implicada nessa forma de pensar é diferente daquela encontrada no contexto cotidiano, no qual as pessoas normalmente consideram como espontâneos os fenômenos que ocorrem sem qualquer interferência, ou ainda, ocorrem naturalmente (Amaral, 2004; Amaral e Mortimer, 2004). Do ponto de vista científico, os processos espontâneos não ocorrem necessariamente de forma natural, sendo

possível estabelecer condições particulares para a sua ocorrência. Essas diferentes formas de compreensão dificilmente são explicitadas no ensino e não são feitas correlações entre visão científica e cotidiana, o que pode limitar a compreensão dos estudantes sobre esses conceitos.

No caso específico da abordagem ao conceito de entropia, em aulas e livros de química, é comum o uso de expressões matemáticas para a variação da entropia como parâmetro para definir a espontaneidade de processos, e isso muitas vezes não possibilita uma articulação significativa desse conceito com os fenômenos estudados. Geralmente, as expressões matemáticas são aplicadas sem que o significado dos parâmetros envolvidos – entropia, entalpia, energia livre de Gibbs – seja discutido. Pouca ou nenhuma relação conceitual é estabelecida, por exemplo, com estudos sobre reações químicas conduzidos em outras unidades de ensino. Considerando essas fracas correlações, o estudo sobre entropia e espontaneidade de processos físico-químicos parece ficar restrito ao campo formal, adquirindo um modesto estatuto no ensino de química, principalmente na educação básica. A introdução desses conceitos parece não encontrar ressonância nas expressões cotidianas dos estudantes e nem contribuir para uma compreensão mais ampla dos fenômenos. Consideramos que uma abordagem conceitual e contextualizada pode ajudar os estudantes a compreenderem melhor a entropia e o significado que esse conceito imprime às expressões matemáticas e convenções geralmente utilizadas. Entre outros fatores, isso implica em considerar, nas discussões em sala de aula, diferentes sentidos e significados atribuídos a esse

conceito nos seus diversos contextos de aplicação.

Indo nessa direção, propomos estruturar a heterogeneidade de modos de pensar sobre entropia e espontaneidade em zonas de um perfil conceitual (Amaral, 2004; Amaral e Mortimer, 2004) reunindo ideias e concepções que emergiram no desenvolvimento histórico-cultural desses conceitos e que circulam em aulas de química. As transformações da matéria são objeto de especulações e de estudos desde o tempo dos filósofos naturais. Tanto no contexto histórico quanto nas situações de ensino, podemos verificar a expressão de ideias ingênuas ou intuitivas e um movimento nos quais foram/são significados conceitos formalizados por modelos científicos. Por exemplo, é muito comum que estudantes associem entropia exclusivamente a uma ideia de maior desordem dos sistemas sem questionamentos sobre o que essa desordem representa. Por outro lado, estudantes fazem uso de convenções – variação de entropia positiva, negativa ou nula – para definir condições de ocorrência dos processos químicos, sem um entendimento sobre o que essas convenções significam. Acreditamos que abordagens conceituais para entropia poderão ser propostas por professores suportados por uma discussão ampliada de aspectos históricos e didáticos relacionados com as transformações da matéria ou reações químicas, e com a proposição do conceito de entropia.

Nessa perspectiva, apresentamos uma síntese das dificuldades dos estudantes nos estudos sobre entropia e algumas ideias históricas que marcam a gênese dos conceitos de entropia e espontaneidade dos processos físicos e químicos, buscando demonstrar como a gênese histórica e cultural pode ser colocada em diálogo com

a ontogênese desses conceitos para que sejam propostas as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade. A proposição de zonas de um perfil conceitual usa a gênese do conceito em foco em no mínimo três domínios genéticos diferentes (Wertsch, 1985): a ontogênese, que corresponde à gênese do conceito em indivíduos, recorrendo para isso à ampla gama de estudos sobre concepções alternativas existentes na literatura; a gênese histórica e cultural, que pode lançar mão de um ampla gama de estudos históricos sobre um conceito determinado; e a microgênese, que recorre aos dados sobre estudos longitudinais de curto prazo em indivíduos relacionados à pesquisa (Mortimer & El-Hani, 2014).

2. Os perfis conceituais de entropia e espontaneidade

Concepções de estudantes sobre entropia e espontaneidade – a ontogênese

Na literatura em Educação em Ciências, pesquisas apontam para dificuldades que os estudantes têm com relação à aprendizagem do conceito de energia e seus correlatos (Duit, 1984; Gilbert & Pope, 1986; Ogborn, 1990 apud Boo, 1998), calor, energia, temperatura e energia de ligação (Cohen e Ben-Zvi, 1992). Segundo Boo (1998), tais dificuldades justificam o fato de os estudantes não aprenderem o porquê e como as reações químicas acontecem. Poucos trabalhos tratam das dificuldades de aprendizagem do conceito de entropia e destacamos alguns a seguir.

Ribeiro e colaboradores (1990) investigaram a forma como estudantes de um curso superior de química (quarto ano) classificavam reações químicas em termos de espontaneidade. Palavras com significados diferentes na ciência e no senso comum foram utilizadas. Os autores entrevistaram os estudantes a partir da demonstra-

ção de quatro reações químicas que ocorrem espontaneamente (ver quadro 1). Os estudantes deveriam explicar a ocorrência ou não das reações químicas observadas usando os termos “reação” e “espontâneo” e fazendo o cálculo da variação da energia livre (G) para os sistemas (reação espontânea se $\Delta G < 0$).

Os autores concluíram que: a maioria dos estudantes utilizou noções cotidianas de espontaneidade nos seus argumentos e demonstraram não compreender o valor negativo da variação da energia livre ($\Delta G < 0$) como indicador; menos de 50% dos estudantes mudaram a sua opção inicial sobre a espontaneidade das reações após o cálculo da energia livre, e alguns deles expressaram ideias confusas; dois estudantes demonstraram que as reações 3 e 4 eram espontâneas em termos científicos, mas não em termos do cotidiano; a maioria dos estudantes foi capaz de calcular o valor de ΔG , distinguir entre ΔG e ΔH e identificar $\Delta G < 0$ como um critério para decidir se a reação era espontânea, mas não conseguiam explicar os significados das expressões utilizadas. Quatro estudantes afirmaram que a variação de entalpia ΔH compensa o valor de $-T\Delta S$ na expressão da energia livre ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$); os estudantes pareceram se sair bem nas estratégias de resolução de problemas mas têm dificuldades em relacionar teoria e fenômeno real.

Amaral (2004) encontrou resultados semelhantes quanto à predominância do uso do formalismo matemático na resolução de problemas, sem que haja uma compreensão conceitual de fórmulas e convenções, quando alguns estudantes tiveram dúvidas quanto à espontaneidade do enferrujamento de um prego quando encontraram um resultado negativo para a variação da entropia do sistema ($\Delta S_s < 0$),

REAÇÕES/ASPECTOS VISÍVEIS	RESULTADOS OBSERVADOS
1. Dissolução do Magnésio metálico em Ácido Clorídrico diluído - vigorosa e de fácil percepção	Maior parte dos estudantes considerou a ocorrência espontânea da reação (sem interferência), justificada por mudanças visíveis. Alguns mencionaram a variação negativa da energia de Gibbs.
2. Dissolução de cloreto de amônio em água - reação exotérmica que aquece o recipiente utilizado	Maior parte dos estudantes considerou a ocorrência espontânea da reação (sem interferência), justificada por mudanças visíveis. Alguns mencionaram a variação negativa da energia de Gibbs
3. Oxidação do papel – amarelamento lento do papel	50% dos estudantes afirmaram que a reação não era espontânea, mesmo depois de calcular a variação da energia livre
4. Oxidação de filamentos de ferro em presença de enxofre – ocorre lentamente	50% dos estudantes afirmaram que a reação não era espontânea, mesmo depois de calcular a variação da energia livre

Quadro 1 – Reações químicas e espontaneidade analisadas pelos estudantes na pesquisa.

confundida com a variação de entropia do Universo ($\Delta S = \Delta S_s + \Delta S_v$) que deveria ter sido usada como indicador. Outros trabalhos da literatura apontam dificuldades na compreensão da entropia: apenas 10% dos estudantes de um curso superior de química apresentaram a ideia de que o decréscimo da energia livre do sistema ou o aumento da entropia do universo impulsiona as reações químicas (Boo, 1988), tendo a grande maioria mencionado a necessidade de um agente externo ativo ou de um mecanismo interno (reatividade) para que a reação ocorra; estudantes consideraram que reações endotérmicas não podem ser espontâneas; e que todas as reações que ocorrem naturalmente são exotérmicas (Johnstone et al, 1977); frequentemente os estudantes se confundem quanto ao uso das entropias do sistema, das vizinhanças e do Universo, e cometem o equívoco de considerar a espontaneidade dos processos quando $\Delta G < 0$, em quaisquer condições, e não apenas à pressão e temperatura constantes (Granville, 1985).

Algumas ideias históricas sobre transformações da matéria, espontaneidade e entropia – a gênese histórico-cultural

Estudos sobre as transformações da matéria e a proposição do conceito de entropia possuem

origens em diferentes períodos da história da ciência, e em diferentes campos de investigação. Ideias relativas à espontaneidade dos fenômenos podem ser associadas às primeiras concepções sobre transformações da matéria, ainda que o termo espontaneidade não fosse usado em períodos remotos do desenvolvimento da ciência. Durante um tempo relativamente longo, as transformações da matéria eram explicadas de forma subjetiva, intuitiva ou religiosa, o que sugere concepções de espontaneidade dos processos vinculadas a uma ocorrência natural ou mística, por exemplo, a ideia Aristoteliana sobre a existência de um motor primordial que animava a matéria para a mudança e para a evolução (Vidal, 1986; Hudson, 1992). Essas concepções persistiram por longo tempo e concepções similares surgiram em diferentes momentos históricos, principalmente na alquimia, e eram atribuídas razões diversas para as transformações, tais como: atribuição de vida para a matéria inerte, ação de forças místicas, atribuição de poderes ou propriedade intrínseca ao material; a teoria do flogístico, entre outras (Amaral, 2004). Um longo caminho foi percorrido até que fosse dado um estatuto de reações química a um conjunto de transformações, a partir da compreensão sobre composição dos materiais, identifi-

cação de substâncias, afinidade entre substâncias, proporção para elas reagirem e formarem produtos, entre outros. No ensino de química, comumente são trabalhadas reações químicas cuja ocorrência já foi previamente estabelecida, e os estudantes não são levados a refletir sobre as condições que possibilitaram tal ocorrência.

Aspectos energéticos relacionados à ocorrência de reações químicas foram compreendidos em momento histórico posterior, no campo da Termodinâmica, e aqui enfatizamos a proposição do conceito de entropia que foi feita no início do século XIX, a partir de estudos sobre o calor e o trabalho envolvidos em máquinas térmicas. Em artigo de 1865, Clausius (1822-1888) propôs uma interpretação para a segunda lei da termodinâmica, considerando que o calor não pode fluir, de forma espontânea, de um corpo de temperatura menor para outro corpo de temperatura mais alta. E, nos estudos sobre rendimento de máquinas térmicas, verificou uma relação entre calor e temperatura e sugeriu a palavra entropia para designar uma nova propriedade da matéria (Laidler, 1993). Segundo Prigogine e Stengers (1997), com o conceito de entropia, Clausius realizou uma passagem entre a tecnologia e a cosmologia ao estabelecer que o crescimento da entropia indica

uma evolução espontânea do sistema, tornando esse conceito um “indicador de evolução” (aspas dos autores).

Amaral (1994) sugere que a aproximação da Química com a Termodinâmica tem um marco histórico nas experiências de medidas calorimétricas feitas por Lavoisier no século XVIII. Nos séculos XVIII e XIX, estudiosos de alguns campos da química buscavam compreender como aconteciam as transformações químicas a partir da ideia de afinidade química (Lèvere, 1991). No entanto, a aplicação dos princípios termodinâmicos à química, ocorrida por volta de 1870, propiciou a reconsideração de conceitos químicos, entre eles, o de afinidade química (Laidler, 1993). Segundo o autor, quando questões relativas à interconversão de calor e trabalho começaram a ser mais compreendidas, foi percebida a importância que a termodinâmica poderia ter para identificar fatores que determinam a direção de uma reação química. Somente depois de alguns anos, estudos sobre entropia foram usados para uma melhor compreensão das reações químicas, estando relacionados com a espontaneidade dos processos físicos e químicos. Entre outros, é destacado o trabalho de Gibbs (1839-1903) que propôs a expressão para a energia livre, na qual são consideradas as relações entre calor (entalpia), entropia e temperatura de um sistema (Laidler, 1993; Hudson, 1992). Gibbs propôs a variação da energia livre de um sistema como parâmetro para determinar em que direção ou que condições são necessárias para que uma transformação poderá ocorrer espontaneamente numa determinada direção, tornando a entropia como uma propriedade tão importante quanto a energia, a temperatura, a pressão e o volume.

Proposta de um perfil conceitual para entropia e espontaneidade

Considerando os diferentes modos de compreender a entropia e espontaneidade que foram apresentados anteriormente, um perfil conceitual foi proposto na literatura (Amaral, 2004; Amaral e Mortimer, 2004; Amaral, Mortimer e Scott, 2014) buscando estruturar a heterogeneidade de pensamento que pode estar presente em aulas sobre esses conceitos. Para isso, foi feito um levantamento de ideias que emergem no contexto histórico e sociocultural, além da ontogênese do conceito revelado pelos estudos sobre concepções alternativas. A partir desses estudos foram estruturadas zonas que compõem esse perfil, considerando compromissos epistemológicos e ontológicos que estão implicados nessas ideias. Foram propostas três zonas para o perfil conceitual de entropia e espontaneidade de processos físicos e químicos (Amaral, Mortimer e Scott, 2014): zona perceptiva/intuitiva, zona empírica, e zona racionalista, que serão apresentadas a seguir.

Zona perceptiva/intuitiva: Nesta zona foram consideradas ideias de espontaneidade que correspondem a impressões, sensações e intuições imediatas, resultantes de reflexões subjetivas e pessoais baseadas em experiências empíricas relacionadas a um fenômeno particular. A percepção e a intuição imediatas orientam o indivíduo na construção de suas noções, de acordo com o contexto social e histórico em que se encontra ou com o qual interage. A ideia de espontaneidade está relacionada à observação de fenômenos que ocorrem naturalmente, sendo considerados espontâneos aqueles processos que ocorrem sozinhos, sem interferência externa.

Zona empírica: Nesta zona foram agrupadas ideias levam em conta as condições necessárias para que um processo ocorra espontanea-

mente e aquelas que estão pautadas no uso de algoritmos e fórmulas matemáticas para a análise de processos a partir de dados empíricos, ainda que não sejam compreendidas as relações conceituais envolvidas. Em outras palavras, os modos de pensar sobre a entropia e transformações químicas consideram parâmetros como temperatura, pressão e outras para avaliar a ocorrência espontânea de reações químicas, e/ou usam a expressão da variação da entropia do Universo (ΔS), ou ainda, a expressão da variação da energia livre (ΔG) para verificar se um processo é espontâneo ($\Delta S > 0$ e $\Delta G < 0$). Aqui, persiste a tendência de os estudantes considerarem os valores da variação da entropia como medida do aumento ou diminuição da desordem. Tanto para a entropia quanto para a energia livre, a variação é calculada a partir de valores determinados empiricamente (T e ΔH) e pouco se discute sobre os significados desses parâmetros nas equações matemáticas.

Zona racionalista: Esta zona representa ideias sobre entropia e espontaneidade de processos envolvendo a compreensão da aleatoriedade espacial nos sistemas e da distribuição de energia em nível atômico-molecular, superando o uso irrefletido do formalismo matemático. A entropia é compreendida como uma propriedade da matéria associada à distribuição de energia que faz parte de relações complexas relacionadas com a energia livre de um sistema. O uso do formalismo matemático pode levar a um debate conceitual sobre os significados para os conceitos de entropia e energia livre, sendo suas variações e relações discutidas para explicar a ocorrência dos processos físicos e químicos. Por exemplo, em geral, uma reação química ocorre de forma espontânea quando há uma diminuição da energia interna

e um aumento da entropia do universo, o que leva à compreensão de que, no Universo, sistemas isolados tendem à mínima energia interna e à máxima entropia.

3. Articulando zonas do perfil conceitual para abordagem ao conceito de entropia

Ao discutir possíveis abordagens ao ensino, é importante destacar que o êxito ou insucesso de propostas didáticas dependem de vários fatores, entre outros, têm estreita relação com o domínio conceitual e o planejamento que professores adotam em suas aulas. Neste trabalho, visando contribuir para a ação docente no ensino de entropia e espontaneidade dos processos físicos e químicos, apontamos para a possibilidade de uma abordagem conceitual da entropia para a compreensão de reações químicas, a partir das zonas do perfil conceitual apresentadas anteriormente. As zonas podem contribuir para que professores articulem as principais ideias que circulam sobre entropia e espontaneidade nas discussões em aula e considerem possibilidades de abordar esses conceitos.

Abaixo, apresentamos possibilidades de ampliar as discussões sobre entropia e espontaneidade a partir das zonas do perfil conceitual para entropia, dialogando com algumas abordagens encontradas na literatura (ver Ben-Zvi e colaboradores, 1993; Barrow, 1988; Stylianidou e Ogborn, 1999; Lowe, 1988; Bickford, 1982; Baron, 1989 e Atkins, 1994).

Considerações Finais

Acreditamos que essas propostas de abordagem da entropia organizadas a partir das zonas do perfil conceitual promovem uma compreensão gradualmente mais complexa do conceito de entropia, e podem ajudar o professor no planejamento de aulas.

ABORDAGEM INICIAL: Estudo de fenômenos naturais e mudanças ao nosso redor

PROPOSTA: Promover discussões sobre diferentes modos de pensar espontaneidade e entropia estruturados nas diferentes zonas do perfil conceitual, partindo da zona perceptiva/intuitiva até a zona racionalista. O foco do ensino é conceitual. O estudo de fenômenos naturais e mudanças/transformações que ocorrem ao nosso redor provavelmente fará emergir a ideia comum de que seriam espontâneos apenas processos que ocorrem sem interferência externa, naturalmente, e o professor poderá levantar questões e convidar os estudantes a aprofundarem a compreensão sobre a ocorrência dos processos a partir do conceito de entropia.

POSSIBILIDADES: Analisar a seguinte situação: objetos quentes esfriam espontaneamente (zona perceptiva/intuitiva), mas objetos frios não se tornam quentes naturalmente, mostrando que existem condições nas quais os processos ocorrem, por exemplo, o objeto considerado frio poderia esquentar se fosse colocado em uma temperatura ambiente maior do que a sua. Apontar que existe uma propriedade do sistema responsável pela distribuição de energia, ainda que a quantidade total de energia seja conservada em qualquer processo, ressaltando que a distribuição da energia muda de maneira irreversível. Resgatar o significado físico da entropia como uma propriedade da matéria, discutindo sobre o formalismo matemático que a ela está associado (zona empírica). E, finalmente, mostrar que a entropia aponta uma direção natural dos processos considerando a distribuição da energia em nível atômico-molecular (zona racionalista), no entanto, por meio de processos naturais é possível realizar outros processos que não ocorrem naturalmente.

EXEMPLOS

1. Promover a compreensão sobre transformações naturais que ocorrem em pares e são o inverso uma da outra, por exemplo, a evaporação e condensação da água são igualmente válidas e não há preferência de direção para a ocorrência, mas existem condições nas quais elas irão ocorrer. É evidente que ambas as transformações parecem ser igualmente espontâneas no mundo natural. Nos dois casos, o calor flui de uma fonte ou corpo quente para o frio, no entanto, não está explícito na observação dos processos que fontes de calor (naturais) estão na origem dos fenômenos, e nem é evidenciado que fontes frias aparecem como consequência. Esse tipo de abordagem pode levar à discussão sobre “valor de transformação do calor ou da energia”, o que Clausius chamou de capacidade para transformar ou para fluir (Baron, 1989).
2. Outra situação: o resfriamento de alimentos proporcionado por um aparelho de refrigeração, que pode operar graças a uma variedade de fontes de energia – queima de carvão, queda de água ou explosão controlada de um núcleo atômico. Isso possibilita apresentar a entropia como uma propriedade dos sistemas, sendo um indicador das mudanças espontâneas ou naturais, ou seja, mudanças que ocorrem sem a necessidade de que a tecnologia intervenha ou controle o sistema. Mas deve-se salientar que outras mudanças ocorrem em condições específicas que podem ou não corresponder ao ambiente natural, como é o caso da refrigeração (Atkins, 1994).

ABORDAGEM EMPÍRICA: Energia e entropia como propriedades mensuráveis

PROPOSTA: Evidenciar a zona empírica do perfil apresentando a entropia como propriedade mensurável contrapondo a ideia comum de que uma maior desordem indica o aumento de entropia (zona perceptiva/intuitiva). Abordar questões, tais como: variação da entropia como propulsora das transformações; o uso compreensivo das equações matemáticas (entropia como função de estado), quanto ao significado das variáveis envolvidas; e relações entre entropia e distribuição de energia em nível atômico-molecular (zona racionalista). Apontar energia e entropia como propriedades mensuráveis do sistema, tais como massa, densidade ou viscosidade, não sendo identificadas exclusivamente por meio de expressões matemáticas (Barrow, 1988).

POSSIBILIDADES: Apresentar a entropia como propriedade que pode ser medida, é uma função de estado e está associada com a distribuição de energia no nível atômico-molecular da matéria. Podem ser usados gráficos, tabelas, imagens e simuladores, evidenciando que as diferenças entre os níveis de energia impulsionam a ocorrência das reações químicas.

EXEMPLOS

1. Analisar reações químicas quanto à ocorrência espontânea ou não, associando a observação ao uso das expressões que medem as variações da entropia e da energia livre de Gibbs. Ver pesquisa descrita anteriormente (Ribeiro e colaboradores, 1990).

A proposição de um perfil conceitual de entropia e espontaneidade de processos físicos e químicos foi fundamental para aumentar a compreensão sobre esses conceitos e facilitar a proposição de abordagens a esses conceitos que facilitem essa compreensão pelos estudantes.

Referências

- AMARAL, E. M. R. (2004). *Perfil conceitual para a segunda lei da termodinâmica aplicada às transformações físico-químicas: a dinâmica discursiva em uma sala de aula de química do ensino médio*. Tese de Doutorado – UFMG.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. (2004). «Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de Química». *Educación Química*, nº 15, págs. 218-233.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. (2014). «A conceptual profile of entropy and spontaneity: Characterising modes of thinking and ways of speaking in the classroom». In Mortimer, E. F.; El-Hani, C. N. (Eds.). *Conceptual profiles: A theory of teaching and learning scientific concepts*, págs. 201-234. Dordrecht: Springer.
- AMARAL, L. O. F. (1994). *Aquecendo a revolução química: Lavoisier e a termoquímica*. Texto não publicado disponibilizado pelo autor.
- ATKINS, P. W. (1989). *The Second Law*. Scientific American Library: New York. 1984/1994.
- BARON, M. (1989). «With Clausius from energy to entropy». *Journal of Chemical Education*, Vol. 66, nº 12, págs. 1001-1004.
- BARROW, G. M. (1988). «Thermodynamics should be built on energy – not on heat and work». *Journal of Chemical Education*, Vol. 65, nº 2, págs. 122-125.
- BEN-ZVI, R.; SILBERSTEIN, J.; MAMIOK, R. (1993) «A model of thermal equilibrium». *Journal of Chemical Education*, Vol. 70, nº 1, págs. 31-34.
- BICKFORD, F. R. (1982). «Entropy and its role in introductory chemistry». *Journal of Chemical Education*, Vol. 59, nº 4, págs. 317-318.
- BOO, H. K. (1998). «Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions». *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 35, nº 5, págs. 569-581.
- COHEN, I.; BEN-ZVI, R. (1992). «Improving student achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials and strategies». *International Journal of Science Education*, Vol. 14, págs. 147-156.
- GRANVILLE, M. F. (1985). «Student misconceptions in thermodynamics». *Journal of Chemical Education*, Vol. 62, nº 10, págs. 847-848.
- HUDSON, J. (1992). *The history of Chemistry*. The Macmillan Press.
- JOHNSTONE, A. H.; MACDONALD, J. J.; WEBB, G. (1977). «Misconceptions in school thermodynamics». *Physics Education*, Vol. 12, págs. 248-251.
- LAIDLER, K. J. (1993). *The World of Physical Chemistry*. New York: Oxford University Press Inc.
- LEVERE, T. H. (1971). *Affinity and matter: elements of chemical philosophy, 1800-1865*. Oxford: Clarendon.
- LOWE, J. P. (1988). «Entropy: conceptual disorder». *Journal of Chemical Education*, Vol. 65, nº 5, págs. 403-406.
- MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. (Eds.). *Conceptual profiles: A theory of teaching and learning scientific concepts* (págs. 201-234). Dordrecht: Springer.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. (1997). *A nova aliança*. Tradução de

ABORDAGEM TEÓRICA: Diferentes formas de existir de um sistema

PROPOSTA: Foco na zona racionalista, discutindo o conceito de entropia como propriedade associada à distribuição de energia em dimensão atômico-molecular, que possibilita diferentes formas nas quais um sistema pode existir. Evitar a associação da aleatoriedade espacial com a aleatoriedade de distribuição de energia, como ocorre em alguns livros de química geral, que leva a associação da entropia apenas como medida de aleatoriedade espacial (desordem) de um sistema para explicar a ocorrência de determinados processos (Lowe, 1988).

POSSIBILIDADES: Discutir e, se possível, representar a distribuição de energia em nível molecular de forma a promover a compreensão de sistemas que podem se organizar de forma diferente dependendo da distribuição de energia das partículas. Com isso, levantar questões sobre relações entre aleatoriedade espacial (desordem) e aleatoriedade de distribuição de energia. O ponto de partida poderia ser a discussão sobre o que representa a ideia de desordem (zona perceptiva/intuitiva). Não é simples dissociar esses dois tipos de aleatoriedade e uma sugestão seria trabalhar com exemplos de processos nos quais a aleatoriedade espacial não necessariamente está associada a um processo espontâneo (Lowe, 1988).

EXEMPLOS

1. Estudo da situação: um cilindro de néon é considerado como um reservatório isolado de calor, exceto por uma das paredes na qual há um filme de água. Se o cilindro for bastante resfriado (200K), a água irá congelar espontaneamente, formando cristais de gelo, o que diminui a aleatoriedade de posição da água (diminui a desordem no âmbito molecular). Um fluxo de calor vai da água para o cilindro, aumentando a entropia do mesmo sem modificar a sua aleatoriedade de posição. O resultado líquido do sistema é um processo espontâneo ($\Delta S_{\text{univ}} > 0$) e um decréscimo de aleatoriedade de posição. Este é um processo a partir do qual pode ser feita uma discussão sobre um processo espontâneo que apresenta decréscimo ou nenhuma variação da aleatoriedade de posição, ou seja, há aumento de entropia sem aumento da desordem (Lowe, 1988).
2. Esclarecer sobre limitações na abordagem da entropia apenas como medida de desordem (aleatoriedade espacial), apresentando o conceito em termos de probabilidade, ou seja, um estado de desordem é mais provável do que um estado de ordem. Isso pode ser feito por evidenciar a aleatoriedade da energia, na sua natureza quântica, buscando explicar a entropia pela desordem de *quanta* discretos de energia. Se forem considerados diferentes tipos de energia: eletrônica, translacional, vibracional e rotacional, diferentes moléculas podem apresentar diferenças no número de formas com as quais distribuem essa energia e, dessa forma, diferem quanto à entropia. Com isso, pode-se evidenciar duas razões pelas quais as reações químicas ocorrem: uma é a tendência de encontrar um mínimo de energia, e a outra é a tendência de encontrar um máximo de aleatoriedade.

Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira). Brasília: Editora da UnB.

RIBEIRO, M. G. T. C.; PEREIRA, D. J. V. C.; MASKILL, R. (1990). «Reaction and spontaneity: the influence of meaning from everyday language on fourth year undergraduates' interpretations of some simple chemical phenomena». *International Journal of Science Education*, Vol. 12, nº 4, págs. 391-401.

VIDAL, B. (1986). *História da Química*. Lisboa: Edições 70.

WERTSCH, J. (1985). *Vygotsky and the social formation of mind*. [S.l.]: Harvard university press.



Edenia M R do Amaral

Professora Titular Sênior da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Graduada em Engenharia Química, mestre em Ciências Nucleares (UFPE) e doutora em Educação (UFMG). Desenvolve pesquisas sobre perfis conceituais, linguagem, cognição e cultura na aprendizagem de conceitos científicos, e abordagens didático-pedagógicas para promover uma educação científica crítica e transformadora. E-mail: edenia.amaral@ufrpe.br



Eduardo F Mortimer

Professor Emérito da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É bacharel e licenciado em Química, pela UFMG e doutor em Educação pela USP. Suas publicações incluem "Conceptual Profiles: a theory of teaching and learning scientific concepts", em parceria com Charbel El-Hani, publicado pela Springer. E-mail: mortimer@ufmg.br