

EQUILIBRAÇÃO ENTRE OS ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS NO ENSINO DE QUÍMICA

Dácio Rodney Hartwig

Departamento de Tecnologia Educacional

Sérvulo Folgueras Domingues

Departamento de Química

*Universidade Federal de São Carlos
13560 – São Carlos - SP*

Recebido em: 06/02/84

INTRODUÇÃO

No ensino da Química, tanto no Colégio quanto na Universidade, é bastante freqüente a transmissão de conceitos e princípios com maior ênfase nas expressões matemáticas associadas a eles, em detrimento do significado lógico e da interpretação química e físico-química dos fenômenos correspondentes.

A aquisição de conhecimentos na aprendizagem em Química exige a formação de conceitos e o estabelecimento de princípios que obedeçam a uma seqüência do qualitativo (ou conceitual) para o quantitativo (que pode ser identificado com resultados numéricos). Esta seqüência se cumpre qualquer que seja a forma em que os conhecimentos são atingidos: pela realização de experiências ou através de estudo teórico. A expressão matemática dos conceitos e princípios e a correspondente interpretação quantitativa devem fundamentar-se no comportamento do sistema material estudado, que sempre tem aspectos qualitativos a ser levados em consideração. Se este enfoque for respeitado, o estudante encontrará um significado à formalização matemática de conceitos e princípios. Aliás, desde as fases iniciais da abordagem de cada tópico, ele deverá ter suficiente conhecimento de todos os aspectos qualitativos que o ajudarão a fundamentar abstrações posteriores exigidas para um tratamento matemático adequado.

Nossa atenção para este problema foi despertada através do ensino de Química no 2º e 3º graus e reforçada pela análise do processo ensino-aprendizagem que habitualmente se faz na disciplina Prática de Ensino da Química, integrante do Curso de Licenciatura. Numa primeira fase desta análise, realizada informalmente, consideramos como são tratados em aulas e textos alguns tópicos bastante significativos no ensino da Química, detectando falhas no equilíbrio que deveria existir entre os aspectos qualitativos e quantitativos de cada tópico abordado. Uma aplicação mais sistemática, onde se analisou a diferença entre a abordagem usual e a contida neste trabalho, foi realizada por Hartwig, envolvendo 64 alunos de 3º ano colegial¹. Baseados nesta aplicação

e nas experiências informais anteriores, procuramos lançar uma hipótese de trabalho servindo de base a uma pesquisa atualmente executada pelo primeiro dos autores.

Escolhemos assuntos que podem estar presentes no ensino dos níveis colegial e universitário procurando, quando possível, considerar a sua gradação contínua do 2º ao 3º graus. Neste sentido observamos que quase sempre é possível estabelecer uma continuidade entre os conteúdos abordados no colégio e, pelo menos, nos primeiros semestres da universidade facilitando a aprendizagem pela superposição de elementos novos sobre conhecimentos anteriores corretamente adquiridos.

A ANÁLISE DOS TÓPICOS ESCOLHIDOS

Pelo próprio caráter desta análise, a maioria dos tópicos estudados está relacionada com Físico-Química por ser a área em que a formalização matemática é mais freqüente e rigorosa. Os assuntos porém, não são estritamente de Físico-Química, possuindo um aspecto menos específico e podendo ser colocados no contexto de um programa de Química Geral, entre outras disciplinas.

Um primeiro tópico pode ser a energia livre. O conceito é apresentado no colégio e na universidade centrado na expressão

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

relacionada com reações químicas em que há trocas de calor e alterações, por exemplo, no número de moles de gases de reagentes e produtos da reação. Um caso típico é a reação de oxidação de elementos e a consideração de quando o óxido começa a se decompor por aumento da temperatura. Com certa freqüência é colocada em primeiro lugar a expressão matemática e, depois, analisado seu significado de forma mais ou menos laboriosa em termos, principalmente, de variação de entropia no sistema, ancorando-se sobre tudo no fato matemático de $\Delta G < 0$ para definir a espontaneidade

de da reação num ou noutro sentido. A rigor, é falha a relação entre a apreciação do significado *no sistema e na fórmula* das relações entre ΔG , ΔH , T e ΔS , sendo freqüente que o aluno não estabeleça de forma clara as relações expressas matematicamente na fórmula com as relações que se verificam experimentalmente no comportamento do sistema.

Esta falha não pode ser resolvida de forma parcial em uma ou outra disciplina em que surge a necessidade de interpretar os fenômenos representados pela equação¹. É necessário partir de um tratamento inicial correto que deve ser conservado ao longo de todo o processo de ensino-aprendizagem. O tratamento correto exige a formação adequada dos conceitos e o seu relacionamento, baseando-se nos fenômenos estudados e na conseqüente formalização matemática, numa associação e numa seqüência que não podem ser desfeitas nem alteradas, conservando-se ao longo dos sucessivos níveis de aprendizagem e aplicação.

Isto significa que antes de se apresentar a equação¹, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, devem ser bem conceituados todos os termos da mesma do ponto de vista de seu significado físico-químico e da sua influência no comportamento de sistemas. A análise conjunta da influência das variáveis levaria à formulação da equação. A reação de oxidação dos elementos pode ser um bom exemplo para desenvolver essa conceitualização e a formalização matemática correspondente.

Um tratamento diferente do proposto pode levar o aluno a uma dificuldade sistemática em lidar com os conceitos de energia livre, entalpia e entropia, o que conduz à simples memorização das fórmulas usadas mais tarde como um critério matemático desligado de qualquer realidade físico-química. O significado das expressões é essencial para uma aplicação de toda a estrutura da Físico-Química às demais áreas da Química, quer a nível científico quer a nível tecnológico. Observa-se uma extrema dificuldade dos alunos em resolver problemas específicos relacionados com situações experimentais pela ausência da visão qualitativa envolvida, que serviria de elo entre as indispensáveis estruturas matemáticas e a realidade experimental dos fenômenos estudados. Através de um estudo piloto, objeto de outro trabalho em andamento, procuramos detectar e esclarecer as dificuldades encontradas por 59 alunos do 3º grau de vários estabelecimentos universitários. Para isso introduzimos questões relativas à resolução de problemas numéricos e conceituais. As questões e suas respostas foram: 1) Você consegue resolver problemas numéricos relacionados com a disciplina? Responderam Sim 81,3% dos alunos consultados, Não 8,6% e ficaram Indecisos 10,2%. 2) Você sabe interpretar o significado teórico e o experimental dos resultados numéricos dos problemas? Responderam Sim 64,1%, Não 21,1%, estando Indecisos 14,8%. Existe, portanto, entre os alunos consultados, uma parcela significativa de 17,2% que declara saber resolver problemas numéricos mas não interpretá-los conceitualmente. Uma turma de 22 alunos no início do 2º semestre da Universidade respondeu a uma prova escrita obtendo a média de 4,45 pontos numa escala de 0 a 10. Escolhendo as duas questões que exigiam de forma mais incisiva a interpretação dos resultados numéricos, as médias da turma nessas duas questões, foram 2,59 e 2,87 respectivamente, inferiores ambas a mé-

dia total da prova. A primeira dessas questões constava de 4 itens. O primeiro exigia a aplicação imediata de fórmula, o segundo e o terceiro a transformação da fórmula original para novas aplicações e o quarto, a interpretação física dos resultados. As médias do grupo, na escala de 0 a 10 foram 7,25; 1,95; 0,70 e 0,45 respectivamente nos quatro itens.

A mesma equação⁽¹⁾ poderia ser analisada no que se refere a estabilidade de complexos, encontrando-se um ou outro texto que apresentam tratamento mais adequado para o aluno preocupando-se explicitamente com aspectos qualitativos necessários a sua interpretação. Isso ocorre especialmente no que se refere aos quelatos, onde a variação da entropia é relacionada com o número de ligantes substituídos durante a sua formação, conforme descrito no texto de Cotton e Wilkinson².

Quando são derivadas da equação¹ outras expressões, observa-se que o aluno perde definitivamente o contato com o significado físico-químico das mesmas.

Assim, as expressões

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S \quad e \quad (2)$$

$$T = \frac{\Delta H - \Delta G}{\Delta S}, \quad (3)$$

por exemplo, é difícil encontrar alunos capazes de relacionar os termos das mesmas com aspectos qualitativos de fenômenos que têm lugar em sistemas materiais. Para o aluno cada termo representa uma variável que se relaciona de forma matematicamente válida com os restantes termos ou variáveis.

É evidente que o tratamento matemático é uma ferramenta indispensável sem a qual resulta inimaginável qualquer trabalho de pesquisa e dele depende o desenvolvimento de novas teorias ou de novas aplicações. Entretanto, a consideração a ser feita é que, no processo de ensino-aprendizagem, o uso desta ferramenta, em forma correta, depende da coexistência de aspectos conceituais ou qualitativos que lhe confirmam um significado físico-químico aplicável a sistemas reais. A preocupação é a de evitar a aplicação de modelos matemáticos que em alguns casos poderiam, inclusive, levar o aluno a deduzir fatos bastante afastados da realidade experimental.

A mesma energia livre é apresentada em muitos textos partindo de outra expressão matemática:

$$\Delta G \doteq - nF\Delta E \quad (4)$$

sem estar novamente acompanhada do significado físico-químico de cada um dos elementos que a compõem. O aluno usa de fato a expressão com habilidade para determinar os valores envolvidos; estes valores estão desprovidos para ele, na maioria dos casos, de qualquer significado físico-químico. É fácil detectar este fato pelo erro freqüente dos alunos em multiplicar, ao balancear equações, o valor de E^0 pelo mesmo coeficiente usado nas fórmulas integrantes da equação química. Nos casos em que, ao relacionar duas reações, uma de oxidação e outra de redução, o valor de n da fórmula (4) é 1 nas duas equações químicas, a

confusão do aluno aumenta ao obter os mesmos resultados considerando os valores numéricos de ΔE e de ΔG . Se o aluno trabalhar posteriormente em área específica relacionada com o assunto, possivelmente venha um dia a corrigir seu erro mas a um custo em tempo e esforço desproporcionado com a simplicidade da falha conceitual. Para sua correção bastaria a aquisição clara dos conceitos que levam à apreensão do significado qualitativo das grandezas envolvidas na equação (4).

Considerando as dificuldades relacionadas com as equações (1) e (4) podemos inferir que, para o aluno, o ΔG de (1) não tem uma relação clara com o ΔG da (4), a não ser pelo fato de que ele, numa reação química, poderá igualar numericamente ambas. O aluno poderá resolver problemas com proficiência mas, quando eles envolverem aspectos conceituais poderá acontecer que os resultados sejam corretos numericamente mas não do ponto de vista físico-químico, podendo levar a conclusões conceitualmente erradas.

Na mesma linha encontram-se os problemas relacionados com outros conceitos dependentes da energia livre, quase sempre apresentados e relacionados apenas com o seu significado matemático. Podemos citar o potencial químico que geralmente é apresentado em situações diversas que levam a diferentes expressões matemáticas sem a diferenciação da situação físico-química correspondente.

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_j} \quad (5)$$

$$\mu = \mu^0(T) + RT \ln P \quad (6)$$

$$\mu_i = \mu_i(T, P) + RT \ln X_i \quad (7)$$

$$\bar{\mu} = \mu_i + z_i F \nu \quad (8)$$

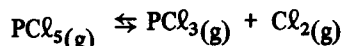
Embora uma considerável parcela de alunos não adquira o significado dessas expressões, serão capazes de utilizá-las em exercícios cujo único objetivo parece ser a obtenção de resultados numéricos.

Uma situação freqüente nas explicações dadas ao aluno em textos é a previsão ou a explicação do comportamento de sistemas a partir, exclusivamente, de uma relação matemática, exemplificada a seguir:

"São conhecidos alguns sais para os quais o processo de solução é exotérmico e, de acordo com as fórmulas termodinâmicas a solubilidade diminui quando a temperatura se eleva"³. Tal explicação acaba por ocultar o fato muito simples de que a variação da solubilidade com a temperatura depende, em última análise, da interação entre o solvente e o soluto e — como consequência — haverá uma expressão matemática que traduza em que casos a solubilidade aumenta e em quais diminui ao elevar a temperatura do siste-

ma. A expressão matemática correspondente porém, deverá ser encarada como uma consequência do comportamento do sistema que deverá, tanto quanto for possível, ser explicado e justificado. Não se pode inverter este enfoque e passar a considerar a relação matemática como causa do comportamento experimental do sistema. Esta observação é procedente se considerarmos que, na prática e de forma bastante freqüente, o aluno acaba encarando assim, de forma flagrantemente invertida, a relação entre o aspecto quantitativo e a conceituação envolvida no estudo de fenômenos. O potencial de criatividade e de pesquisa do aluno fica prejudicado por faltar uma visão qualitativa mais ampla. A consequência imediata é o uso das fórmulas da mesma forma que se encontram nos textos e da existência de "modelos" de problemas que o aluno usa como um estoque de regras de aplicação imediata.

A evidência desse fato pode ser mostrada no seguinte problema*. "3,00g de pentacloreto de fósforo são aquecidos num cilindro fechado de 1dm³ a 30°C. Na equação



o grau de dissociação é 0,300. Encontrar a densidade da mistura no equilíbrio".

Segundo o relato do professor Frazer, inúmeros participantes dos cursos que tem ministrado, tentam a resolução

desse problema através da fórmula $K = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}$ sem refletirem que tal não é necessário, uma vez que a resposta é direta e igual a 0,3g/dm³.

O exemplo mostra, quão longe da realidade experimental nos coloca às vezes o tratamento matemático desvinculado dos aspectos qualitativos. Na realidade o enunciado do problema já tem as principais respostas que poderiam ser dadas a nível de aluno de Química Geral sobre o fenômeno apontado. Mas o condicionamento sobre a necessidade de usar fórmulas e resolver equações conduziu a um tratamento inadequado.

A resolução de problemas em Físico-Química deveria, ao menos na aprendizagem inicial, ser acompanhada dos aspectos qualitativos. Poderíamos dar como exemplo a seguinte situação: Um eletrodo de níquel é colocado numa solução de íons Ni²⁺. Qual deveria ser a mudança na concentração dos íons para conseguir

a) um aumento no potencial de oxidação?

b) uma diminuição no potencial de oxidação?

O problema tal como proposto aceita dois enfoques para a sua resolução: o sentido da variação das variáveis de uma equação; outro, conceitual, procurando entender a natureza do fenômeno que tem lugar no sistema Ni/Ni²⁺ ao variar concentrações e potenciais.

Teríamos assim o seguinte esquema de resolução indicando com setas, nas equações, o sentido da variação da E e C. Algebricamente

$$a) \uparrow E = E^0 - \frac{0,059}{n} \log C \downarrow$$

Qualitativamente

a) Se E é maior, é porque menos elétrons são removidos do eletrodo devido a um menor número de colisões, o que implica em menor concentração.

* Proposto durante o Primeiro Encontro Nacional de Ensino de Química no Curso "Topics in Chemical Education" realizado em julho de 1982 em Campinas e ministrado pelo Professor Dr. Malcolm Frazer.

Algebricamente

$$b) \downarrow E = E^0 - \frac{0,059}{n} \log C \uparrow$$

Qualitativamente

b) Se E é menor é porque havendo maior número de colisões são retirados mais elétrons do eletrodo. Isto acontece para uma concentração maior de Ni^{2+} .

O tratamento algébrico é muito comum entre estudantes e mesmo em livros-texto. A análise é puramente matemática e desvinculada da realidade última do fenômeno "quando C aumenta E diminui" e vice-versa. A análise qualitativa tenta mostrar porque isso acontece. A explicação dada como exemplo não pretende ser completa e deve ser uma porta aberta a uma explicação mais minuciosa. Dentro de sua simplicidade dá um sentido significativo à análise algébrica. Justamente por ser apresentada como não completa leva o aluno a uma atitude de expectativa sobre novos aspectos a descobrir na natureza do fenômeno. Esta atitude é o germe da pesquisa autêntica na formação do estudante.

Preparamos dois testes, entre outros⁴, que foram aplicados a estudantes de nível colegial em São Carlos-SP. O primeiro texto teve um desenvolvimento teórico referente à equação de Nernst em eletroquímica usando um tratamento baseado em aspectos qualitativos. A principal característica foi a omissão da equação, enfatizando conceitos e relações de forma lógica e significativa. Mais tarde, usando o mesmo enfoque, foi apresentado outro texto sobre a diferença de potencial de uma pilha. Foram apresentadas aos estudantes séries de exercícios para verificar se a metodologia usada tinha sido válida. Observou-se que as respostas dadas pelos alunos aos exercícios mostraram a preocupação de analisar os assuntos (equação de Nernst e ddp da pilha) com uma certa minúcia em termos da relação entre concentração iônica e o potencial, com intenso uso dos conceitos envolvidos.

Em outro experimento, também no nível colegial, procuramos elaborar as leis dos gases partindo dos efeitos observados em sistemas gasosos ao alterar as condições de pressão, volume e temperatura isoladamente e combinadas de todas as formas possíveis. Não foram usadas equações inicialmente mas apenas as alterações experimentadas por um gás ao modificar as suas condições. Observou-se que os alunos estabeleceram as equações por si mesmos chegando facilmente a um tratamento quantitativo através de um enfoque inicial qualitativo. Além disso, as equações obtidas estavam lastreadas, para eles, por um significado físico-químico claro e preciso, permitindo o estudo da equação de Van der Waals de forma espontânea e, principalmente, significativa.⁵

Se considerarmos a gênese do conhecimento científico pode-se observar que o ponto de partida de grande maioria das hipóteses mais tarde comprovadas foi um cuidadoso tratamento qualitativo. O exemplo mais marcante é o trabalho de Michel Faraday⁶ que, através de tratamento qualitativo, elaborou conceitos e princípios com rigorosa precisão científica mais tarde comprovada quantitativamente e expressa em linguagem matemática por Maxwell.⁷

Também na área de ensino-aprendizagem e processo na formação do raciocínio, outros trabalhos podem ser citados. Para o primeiro caso, Bruner, demonstra "que crianças do 5º ano primário podem praticar jogos matemáticos com regras extraídas da mais avançada matemática. Contudo, ficarão confusas se alguém tentar impingir-lhes uma descrição matemática formal do que estavam fazendo. . ."⁸. Uma aplicação no ensino da matemática com crianças do curso primário é mostrado no trabalho de Aebli⁹. Para Piaget, muitos fracassos escolares se devem a uma passagem muito rápida do qualitativo para o quantitativo¹⁰. Uma passagem mais lenta foi realizada por Hartwig no ensino de Química, obtendo-se êxito nos assuntos envolvidos¹¹. Para o segundo caso, Inhelder e Piaget desenvolveram uma série de experimentos mostrando que o raciocínio qualitativo precede o quantitativo¹².

Do nosso trabalho, tal como exposto, e da vivência diária em segundo e terceiro graus, parece desprender-se a necessidade de enfatizar os aspectos qualitativos no processo de ensino-aprendizagem em disciplinas científicas, particularmente em Química.

Mesmo em níveis avançados em que o tratamento quantitativo se impõe de forma indispensável e preferencial, parece que os aspectos qualitativos devem estar presentes para lastrear os resultados como uma interpretação lógica e concordante com a realidade experimental.

Referências:

- 1 HARTWIG, Dácio R. — *Componentes metodológicos como estratégia para a aprendizagem significativa no ensino da Química*. Dissertação de Mestrado. Campinas, UNICAMP, 1981.
- 2 COTTON, F. Albert e WILKINSON. *Química Inorgânica*. México, Ed. Limusa, 1978, p. 172.
- 3 DANIELS, Farrington e ALBERTY, Robert A. *Physical Chemistry*. New York, John Wiley & Sons, 1955, p. 282.
- 4 Ref. 1, pp. 89-254.
- 5 FOLGUERAS DOMINGUES, Sérvulo. *Química atualizada*. 1º v. Edição experimental, Seção de Publicações do Instituto Eletrotécnico de Itajubá, MG, 1968.
- 6 FARADAY, M. — *Experimental researches in electricity*. Londres, Richard e John E. Taylor, 1839. 3v. (Reprinted from the Philosophical Transactions of 1831-1838).
- 7 MAXWELL, J.C. — *A treatise on electricity and magnetism*. 3. ed. Dover, Dover Publ., 1954. 2v. (Reimpressão da 3ª edição de 1891).
- 8 BRUNER, Jerome S. — *O processo da educação*. São Paulo, Ed. Nacional, 1968, pp. 35-36.
- 9 AEBLI, Hans — *Didática psicológica*. São Paulo, Ed. Nacional, 2. ed., 1974.
- 10 PIAGET, Jean — *Para onde vai a educação?* Rio de Janeiro, Ed. José Olympio, 6ª ed., 1978, p. 14.
- 11 Ref. 1, pp. 48-51.
- 12 INHELDER, B. e PIAGET, J. — *Da lógica da criança a lógica do adolescente*. São Paulo. Ed. Pioneira, 1976.