

O protagonismo dos íons nas transformações químicas em solução por livros didáticos e estudantes de química

The protagonist role of ions in chemical transformations in solution according to textbooks and chemistry students

Resumo

Neste trabalho apresentamos uma análise de livros didáticos de química voltados para o Ensino Médio e Ensino Superior focando no papel atribuído aos íons nas transformações químicas em solução aquosa nos capítulos pertinentes. Apresentamos também resultados obtidos com estudantes do primeiro ano de um curso de química ao realizarem uma atividade de sala de aula integrando conceitos e representações das reações de ácido-base e óxido-redução. A partir da análise dos livros e da análise das principais dificuldades apresentadas pelos alunos na resolução da atividade, observamos um ponto preocupante em comum: o papel dos íons nas transformações químicas em solução não é enfatizado de maneira adequada nos livros, e revelou não ser compreendido pelo grupo de estudantes investigados.

Palavras-chave: Íons; Transformações químicas; Soluções; Livros didáticos.

Abstract

This work reports an analysis of high school and university chemistry textbooks focusing on the role assigned to ions in aqueous solutions during chemical reactions in relevant chapters. Results obtained with freshmen undergraduate chemistry students undertaking an activity integrating concepts and representations of acid-base and oxidation-reduction reactions are also presented. Based upon the joint analysis of chemistry textbooks and students' difficulties, we emphasize what we consider to be a fundamental problem: the role of the ions in chemical transformations in solution is not appropriately emphasized in the textbooks, and has revealed not being properly understood by the investigated group of students.

Key words: Ions; Chemical transformations; Solutions; Chemistry textbooks.

Introdução

O estudo das soluções aquosas, bem como o das transformações químicas em soluções aquosas, constitui parte fundamental do currículo de química para o Ensino Médio. Entretanto, se observa muitas dificuldades de aprendizagem em relação a esses assuntos, seja em termos da compreensão dos fenômenos, seja das representações utilizadas. O presente trabalho se baseia em dois momentos de pesquisa. No primeiro foram analisados diversos livros didáticos voltados ao Ensino Médio e Superior, buscando compreender como o papel dos íons é reportado no tratamento das transformações químicas em solução aquosa. No segundo, analisamos uma atividade desenvolvida por alunos ingressantes num curso de química na qual o papel dos íons era problematizado. Por fim, traçamos paralelos entre os resultados encontrados na análise dos livros e nas respostas dos alunos à atividade. Em ambos os casos, o papel dos íons nas transformações químicas não é o de protagonista.

Metodologia

Nosso trabalho esteve estruturado em duas frentes, a saber: a) um primeiro momento de análise de livros didáticos; e b) um segundo momento, no qual uma atividade problematizadora envolvendo os tópicos analisados nos livros foi desenvolvida com alunos do primeiro ano de um curso de química, seguida da análise das respostas dos estudantes. Por fim, esses dois passos da pesquisa foram confrontados, na busca de seus possíveis entrecruzamentos.

a) Análise dos livros didáticos

A análise dos livros didáticos de química teve por foco o papel dos íons nas transformações químicas, tratado de diversas formas e em diferentes partes dos livros. Após uma análise prévia dos livros, concentramo-nos nos capítulos sobre ácido-base, óxido redução, equilíbrios aquosos, reações inorgânicas e funções inorgânicas, nos quais o papel dos íons precisa necessariamente ser considerado. Tendo isso em mente, foram analisados: *i*) livros didáticos de química para o Ensino Médio “tradicionais” mais adotados (tabela 1); *ii*) livros didáticos para Ensino Médio produzidos por grupos de pesquisa da área de Ensino de Química (tabela 2); e *iii*) livros didáticos de química para o Ensino Superior (tabela 3).

Tabela 1 – Relação dos livros didáticos para o Ensino Médio analisados.

Autor(es)	Título	Editora	Ano
Feltre	<i>Química</i>	Moderna	2008
Lisboa (org.)	<i>Ser protagonista – Química</i> (versão PNLD 2012-2014)	SM	2010
Nóbrega et al.	<i>Química: conceitos básicos</i>	Ática	2001
Nóbrega et al.	<i>Química</i> , volume único	Ática	2007
Peruzzo; Canto	<i>Química na abordagem do cotidiano</i> (versão mercado)	Moderna	2003 ^a
Peruzzo; Canto	<i>Química na abordagem do cotidiano</i> (versão PNLD 2009-2011)	Moderna	2003b
Peruzzo; Canto	<i>Química na abordagem do cotidiano</i> (versão PNLD 2012-2014)	Moderna	2010
Reis	<i>Completamente química</i>	FTD	2001
Reis	<i>Química: meio ambiente...</i> (versão PNLD 2012-2014)	FTD	2010
Usberco; Salvador	<i>Química 1: química geral</i>	Saraiva	2009
Usberco; Salvador	<i>Química 2: físico-química</i>	Saraiva	2009

Tabela 2 – Relação dos livros didáticos “não convencionais” para o Ensino Médio analisados (livros produzidos por grupos de pesquisa na área de Ensino de Química).

Autor(es)	Título	Editora	Ano
GEPEQ	<i>Interações e transformações I</i>	Edusp	2005
GEPEQ	<i>Interações e transformações III</i>	Edusp	2000
GEPEQ	<i>Interações e transformações IV</i>	Edusp	2005
Mortimer; Machado	<i>Química para o Ensino Médio</i>	Scipione	2003
Mortimer; Machado	<i>Química</i> (versão PNLD 2012-2014)	Scipione	2010
Santos; Mól (coord.)	<i>Química & sociedade</i> , módulos 3e 4	Nova Geração	2004
Santos; Mól (coord.)	<i>Química & sociedade</i> (versão PNLD 2009-2011)	Nova Geração	2008
Santos; Mól (coord.)	<i>Química cidadã</i> (versão PNLD 2012-2014)	Nova Geração	2010

Tabela 3 – Relação dos livros didáticos para o Ensino Superior analisados.

Autor(es)	Título	Editora	Ano
Alexeyev	<i>Qualitative analysis</i>	Mir	1967
Atkins; Jones	<i>Princípios de química</i>	Bookman	2006
Brown <i>et al.</i>	<i>Química – A ciência central</i>	Prentice Hall	2005
Chang	<i>Química geral: conceitos essenciais</i>	McGraw-Hill	2006
Joesten; Wood	<i>World of chemistry</i>	Saunders	1996
Kotz; Treichel Jr.	<i>Química geral e reações químicas, volume 1</i>	Thomson	2005
Snyder	<i>The extraordinary chemistry of ordinary things</i>	Wiley	2003
Vogel	<i>Química analítica qualitativa</i>	Mestre Jou	1981

A análise dos livros para o Ensino Médio (tabelas 1 e 2) baseou-se na organização dos conteúdos *ácido-base* e *óxido-redução*. Buscamos identificar em que parte (ou volume) dos livros tais conteúdos aparecem e se são tratados mais de uma vez, com diferentes graus de sofisticação, por exemplo. Nessa primeira análise (mostrada na tabela 4, para os livros da tabela 1), a ênfase recaiu sobre a classificação das reações químicas, buscando responder onde e como ela é trabalhada nos livros. Em seguida, procuramos estabelecer relações entre os modos de classificar as reações químicas apresentados nos livros e a sua conseqüente dificuldade em tratar dos íons em solução e do seu papel protagonista nas transformações químicas em fase aquosa, em especial através da representação das reações na forma de equações iônicas. Também comparamos os livros das tabelas 1 e 2, investigando se as suas diferenças na apresentação dos conteúdos se refletem em um tratamento diferenciado do papel dos íons nas transformações químicas.

Foram também analisados diversos livros de química utilizados no Ensino Superior (tabela 3). Nesse caso, as categorias de análise foram diferentes, visto que tais materiais não propõem os mesmos esquemas de classificação das reações químicas encontrados nos livros para o Ensino Médio e, portanto, não separam as reações ácido-base e redox em capítulos específicos (os casos em que isso acontece serão devidamente apontados). Diante disso, esses livros foram analisados segundo a presença e tratamento dos temas *classificação das reações* e *protagonismo dos íons*, este último analisado sob a ótica da representação das reações em fase aquosa – se na forma iônica ou com as espécies na forma neutra, incluindo os íons espectadores na forma não dissociada (tabela 5).

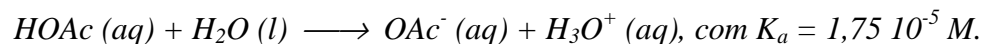
b) Análise das dificuldades dos alunos

Nosso contexto de análise surgiu de um conjunto de atividades oferecidas aos alunos ingressantes nos cursos de Bacharelado, Licenciatura e Química Ambiental, diurno e noturno, do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP), no primeiro semestre dos anos de 2008 e 2009. Os encontros pretendiam tratar dos conteúdos das disciplinas de Química Geral com um aspecto integrativo, concentrando esforços em problematizar os modelos utilizados na explicação dos fenômenos químicos – seus usos e limites, sua validade e a existência de exceções às regras.

A escolha dos conteúdos para as atividades baseou-se na análise da prova de *Verificação de Conhecimentos*, aplicada aos alunos ingressantes no IQ-USP desde 2003 como meio diagnóstico das principais dificuldades dos calouros (FERNANDEZ *et al.*, 2008). A partir da leitura das provas de 2007 e 2008, planejamos sete atividades contemplando: ligação química, reações químicas, equilíbrio químico, ácido-base, óxido-redução, termoquímica e cinética química; estas duas últimas foram acrescentadas no ano de 2009. Apesar dessa divisão aparentemente rígida, por tópicos de conteúdo, buscamos a proposição de situações que fomentassem a discussão coletiva de temas amplos. As atividades foram oferecidas nos sábados pela manhã, com participação voluntária dos alunos interessados, variando entre 10 e 25 alunos por encontro.

Delineado o contexto da pesquisa, foram analisadas as respostas (escritas) dadas por 20 alunos ao seguinte problema (MANAHAN, 2001, p. 106), contido em uma das atividades (óxido-redução):

A reação ácido-base para a dissociação do ácido acético é



Decomponha essa reação em duas semirreações envolvendo o íon H^+ . Faça o mesmo com a reação redox $\text{Fe}^{2+} \text{ (aq)} + \text{H}^+ \text{ (aq)} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} \text{ (aq)} + \frac{1}{2} \text{H}_2 \text{ (g)}$, decompondo-a em duas semirreações envolvendo os elétrons. Discuta as analogias entre os processos redox e ácido-base.

As respostas elaboradas pelos estudantes foram objeto de análise qualitativa, na qual buscamos identificar as dificuldades dos estudantes a respeito dos íons e do seu protagonismo nas reações em fase aquosa.

Resultados e Discussão

a) Análise dos livros didáticos

Começamos nos aproximando dos livros didáticos do Ensino Médio, buscando esclarecer em que momentos e de que forma os conteúdos de *ácido-base* e *óxido-redução* aparecem nos diferentes livros. Na tabela 4 apresentamos essa sistematização para livros considerados tradicionais.

Tabela 4 – Análise dos livros didáticos ditos “tradicionais” para o Ensino Médio: como os conteúdos *ácido-base* e *óxido-redução* se encontram organizados nos diferentes capítulos?

CONTEÚDO	ORGANIZAÇÃO	LIVRO DIDÁTICO
ÁCIDO-BASE	Teoria de Arrhenius dentro de capítulo sobre funções inorgânicas (v. 1) e teoria de Brønsted-Lowry dentro de capítulo sobre equilíbrios aquosos (v. 2, em geral).	LISBOA, 2010 NÓBREGA <i>et al.</i> , 2001 REIS, 2001; 2010 ^a USBERCO; SALVADOR, 2009 ^b
	Teorias de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis dentro de capítulo sobre funções inorgânicas (v. 1).	FELTRE, 2008
	Teoria de Arrhenius dentro de capítulo sobre funções inorgânicas (v. 1).	NÓBREGA <i>et al.</i> , 2007 PERUZZO; CANTO, 2003a; 2003b; 2010 ^c
ÓXIDO-REDUÇÃO	Reações redox tratadas em capítulos específicos (v. 2, em geral).	FELTRE, 2008 NÓBREGA <i>et al.</i> , 2001; 2007 PERUZZO; CANTO, 2003a; 2003b; 2010 REIS, 2010 ^e USBERCO; SALVADOR, 2009
	Reações redox apresentadas como <i>categoria</i> no esquema clássico ^d de classificação das reações (v. 1) e tratadas posteriormente, em capítulos	LISBOA, 2010 REIS, 2001 ^e

^a A nova edição, aprovada pelo PNLD 2012-2014 (REIS, 2010), não faz menção aos nomes “Arrhenius” e “Brønsted-Lowry”, mas faz uso de vários de seus elementos. Além disso, o capítulo sobre reações de óxido-redução, diferentemente dos demais livros desta categoria, aparece no volume 1.

^b As teorias de Brønsted-Lowry e Lewis aparecem como textos complementares ao capítulo sobre equilíbrios iônicos (v. 2).

^c A teoria ácido-base de Brønsted-Lowry é apresentada como *tópico avançado* na forma de textos complementares ou sob o epíteto “para saber mais” somente na versão para o mercado (PERUZZO; CANTO, 2003a, v. 2).

^d Chamamos *esquema clássico*, a classificação das reações químicas baseada no rearranjo das partículas (STAINS; TALANQUER, 2008): síntese, análise (decomposição), simples troca (deslocamento) e dupla troca.

^e A classificação das reações pelo esquema clássico foi abolida na nova edição, aprovada pelo PNLD 2012-2014 (REIS, 2010, v. 1; em comparação a REIS, 2001, v. 1).

Em todos os livros analisados, as reações de ácido-base e de óxido-redução são apresentadas separadamente. Em geral, as reações ácido-base aparecem junto da classificação das funções inorgânicas, nos livros destinados ao primeiro ano do Ensino Médio. Predominam as abordagens derivadas da teoria de Arrhenius – ácidos fornecedores de prótons como única espécie catiônica. Ocasionalmente, outras teorias aparecem nos volumes dedicados ao segundo ano, junto aos equilíbrios em fase aquosa, que conduzem à teoria protônica de Brønsted-Lowry – frequentemente na forma de *leituras complementares*.

As reações de óxido-redução, por outro lado, sempre são associadas ao esquema de classificação de reações mais comum – *síntese, análise, simples troca e dupla troca* (por exemplo, em LISBOA, 2010). Convém salientar que as reações de simples troca incluem frequentemente as reações de óxido-redução (deslocamentos por metais).

Os livros de Peruzzo e Canto (2003a; 2003b; 2010) apresentam algumas reações de óxido-redução, sem nomeá-las, em seção denominada *outras reações de importância* – que inclui, por exemplo, a oxidação de metais alcalinos com água e bases. Lembremos que as reações denominadas síntese e análise, por sua vez, também são quase sempre reações de óxido-redução que resultam na ou decompõem uma mesma espécie química – processos de desproporcionamento. Face a isto, qualquer esforço classificatório coerente se dissolve. Saliente-se que os autores mencionam as equações na forma iônica em uma única página no final do capítulo, acompanhada por seis exercícios de fixação. Nesta nova edição, aprovada pelo PNLD, enfatiza-se que para “reações químicas que envolvam íons em solução aquosa, a equação iônica é a *melhor maneira* de representar o processo” (2010, p. 273, grifo dos autores). Todavia, a taxonomia das reações químicas ocupa as 20 páginas restantes do capítulo, diminuindo a importância daquela que seria a “melhor maneira” de representar as reações. Além disso, as equações iônicas não aparecem em nenhum dos 40 exercícios do final do capítulo, que deveriam contemplar todo o conteúdo do mesmo.

O novo livro de Lisboa (2010, v. 1), recentemente aprovado pelo PNLD 2012-2014, apresenta as equações iônicas no início do capítulo sobre reações químicas para, logo em seguida, introduzir o esquema de classificação de reações, começando pelas reações de dupla troca, que denomina *metátese*. As equações iônicas, contudo, não desaparecem por completo dos capítulos subsequentes, sendo utilizadas esporadicamente como “representações alternativas” das equações químicas na forma neutra.

Lopes (1995) colocou a questão da classificação das reações químicas inorgânicas dos livros didáticos como secundária frente aos conceitos associados à reatividade das espécies. Nery *et al.* (2006) também trata deste assunto com extensão, apresentando abordagem problematizadora para previsão e equacionamento de reações químicas assistida por tabelas de solubilidade. Cabe lembrar ainda que a impropriedade do tópico *funções inorgânicas* já foi levantada e debatida por Campos e Silva (1999).

Apesar de entendermos que a classificação das reações químicas traz no seu bojo uma tentativa de facilitar a apropriação dos conceitos por parte dos estudantes, não podemos deixar de apontar os problemas decorrentes dessa conduta. É contraditório conceituar íon espectador quando se trabalha com uma classificação de reações baseada em eletroneutralidade. A falta da noção de *sistema* químico também cria a ilusão de que é factualmente possível misturar nitrato de potássio e cloreto de sódio para obter nitrato de sódio e cloreto de potássio. A notação (*aq*), que representa o estado de agregação das espécies numa equação química, só cumpre a sua função quando o estudante já sabe que ela designa que as mesmas se encontram na forma de íons. Esta percepção, contudo, pressupõe noções sobre o papel do solvente na dissolução, e aqui chegamos aqui ao ponto fulcral da discussão – *o protagonismo dos íons nas transformações químicas*.

Em geral, os íons são introduzidos aos estudantes após a discussão sobre distribuição eletrônica, onde lhes são atribuídas suas características definidoras: possuir elétrons a mais ou a menos que os átomos (neutros) que os originam. Retoma-se a sua importância na apresentação das ligações químicas – onde a presença de íons é colocada como condição necessária para a formação de ligações ditas *iônicas*.

A partir de então, no primeiro ano, os íons só são vistos como produtos da ionização de ácidos fortes e da dissociação de bases fortes e sais, sempre acessórios às transformações químicas. No mais, é frequente o reforço da ideia de eletroneutralidade das espécies químicas *úteis* nas reações, espécies neutras transformando-se em espécies neutras. No contexto das reações de dupla troca, boa parte dos livros analisados faz menção às *equações iônicas*, que representam as *reações iônicas* e devem ser balanceadas de modo que haja o mesmo número de cargas dos dois lados da equação. E só nesse momento, já sido convencionalizadas a classificação e a representação das reações químicas com as espécies na forma neutra, o íon toma lugar – “afinal quem reage são os íons, e não as espécies neutras” (PERUZZO; CANTO, 2003a, v. 1).

Na sequência, os íons só vêm tomar o protagonismo das discussões nos conteúdos de equilíbrios iônicos, oxido-redução e eletroquímica, em geral apresentados aos alunos do segundo ano do Ensino Médio (ver tabela 4). O papel do íon como agente efetivo das transformações químicas fica, então, soterrado por tópicos como funções inorgânicas, classificação de reações químicas e diversos outros tipos de informações tabeladas. Há assim um predomínio da “classificação pela classificação” na abordagem das reações químicas *versus* uma ênfase em conceitos. Outrossim, não causa surpresa que a teoria ácido-base de Brønsted-Lowry seja apresentada como leitura de apoio nos livros para a segunda série. O papel dos íons e do solvente nas transformações químicas, mesmo nos capítulos sobre equilíbrios em fase aquosa, encontra-se subvalorizado.

Não pretendemos aqui recuperar a discussão sobre a inadequação e extemporaneidade da classificação das reações químicas, comuns à maioria dos livros didáticos. Basta aqui lembrar, ecoando Lopes (1995) e Nery *et al.* (2006), que tais conceitos provêm de um tempo no qual o solvente não existia nos sistemas químicos – Berzelius desenvolveu suas teorias cerca de 70 anos antes de Arrhenius dar os primeiros passos da teoria da dissolução eletrolítica que influenciou boa parte das teorias sobre interações soluto-solvente hoje aceitas. Isso já nos dá matéria suficiente para refletir.

Também analisamos livros produzidos por autores ligados a grupos de pesquisa da área de Ensino de Ciências, considerados “alternativos”. Estas obras, ao contrário daquelas mais utilizadas nas

escolas brasileiras (tabela 4), não apresentam esquemas classificatórios para as reações químicas, trazendo tais conteúdos de forma pulverizada, acompanhados por textos contextualizantes.

A primeira edição da coleção PEQUIS, de Santos e Mól (2004), ricamente ilustrada e com vasto conteúdo de textos, trata dos íons em apenas dois momentos: na definição, partindo da regra do octeto, e a pretexto da condutividade de sais dissolvidos em água. A edição de 2008 (v. único) traz os conteúdos de ácido-base e óxido-redução em capítulos separados, mas apresenta um panorama das principais teorias ácido-base no capítulo sobre equilíbrios aquosos. Novamente, as equações na forma iônica não são trabalhadas, e aparecem raramente ao longo do livro. A edição mais recente, aprovada pelo PNLD 2012-2014 (SANTOS; MÓL, 2010), que foi dividida em três volumes, antecipa a teoria de Arrhenius no volume 1, trabalhada no capítulo sobre interações por meio de equações químicas na forma iônica, ainda que timidamente. Isso é retomado no volume 2 que, a exemplo da edição de 2008, trata das teorias ácido-base no capítulo sobre equilíbrios iônicos. Este capítulo faz um uso adequado das equações químicas na forma iônica, que, a partir de então, tornam-se recorrentes no texto e nos exercícios. Diferentemente dos outros livros analisados, o capítulo sobre reações de óxido-redução só aparece no volume 3.

Mortimer e Machado (2003, v. único; 2010, v. 1) definem as equações químicas sem utilizar espécies na forma iônica – essas, a exemplo de alguns dos livros da tabela 4, aparecem pela primeira vez no capítulo dedicado aos equilíbrios aquosos. É importante ressaltar a preocupação desta coleção com a representação das reações químicas e com o modo como o aluno entende símbolos como “ \rightarrow ” e “+”, que são claramente definidos pelos autores (2010, v. 1, p. 221).

Na coleção *Interações e transformações*, do Grupo de Pesquisa em Educação Química (GEPEQ, 2000; 2005a; 2005b), as equações iônicas são apresentadas apenas pontualmente, em capítulos específicos. Sobre esta última coleção, com abordagem claramente diferente das demais, notamos uma tendência inversa à da classificação excessiva: utiliza-se minimamente a representação das transformações químicas na forma de equações. Os outros tipos de representações – pictóricas, por exemplo – não dão conta de enfatizar a efetividade dos íons na química das reações. A despeito da sua originalidade na abordagem, o papel dos íons também parece subestimado nestes materiais curriculares.

Na tabela 5 apresentamos as abordagens de alguns livros didáticos utilizados no Ensino Superior – livros de Química Geral, de Química Analítica Qualitativa e livros de Química Geral que abordam problemas do cotidiano (JOESTEN; WOODS, 1996; SNYDER, 2003).

Tabela 5 – Análise dos livros didáticos para o Ensino Superior com relação à presença dos temas *classificação das reações* químicas em solução e *protagonismo dos íons* nas mesmas (na realidade, a explicitação desse protagonismo por meio das representações).

TEMA	ABORDAGEM	LIVRO DIDÁTICO
CLASSIFICAÇÃO DAS REAÇÕES	Reações ácido-base e redox distribuídas em capítulos específicos, sem classificação.	JOESTEN; WOOD, 1996 SNYDER, 2003
	Reações ácido-base, redox, precipitação e complexação, dispersas em vários capítulos.	ALEXEYEV, 1967 VOGEL, 1981
	Reações de ácido-base, redox e precipitação, num mesmo capítulo sobre “reações em solução aquosa”, iniciado por discussão sobre dissociação iônica.	ATKINS; JONES, 2006 CHANG, 2006 KOTZ; TREICHEL JR., 2005

	Reações químicas representadas com as espécies na forma neutra seguida pela notação (<i>aq</i>).	CHANG, 2006 KOTZ; TREICHEL JR., 2005 SNYDER, 2003
PROTAGONISMO DOS ÍONS	Reações químicas sempre (ou na maioria das vezes) representadas na forma iônica simplificada (sem íons espectadores), mostrando as espécies que reagem <i>de fato</i> .	ALEXEYEV, 1967 ATKINS; JONES, 2006 JOESTEN; WOOD, 1996 VOGEL, 1981

Na análise dos livros utilizados no Ensino Superior observamos que os mesmos enfatizam o papel preponderante dos íons no estudo das reações químicas.

Note-se que o livro *Química Analítica Qualitativa* (VOGEL, 1981), obra com mais de trinta anos, sistematiza as reações químicas em quatro grupos: ácido-base, óxido-redução, precipitação e complexação. A partir daí, ao longo de todo o livro, as espécies *sempre* são representadas na forma iônica. Tal tendência é seguida em diversos livros de Química Geral que, mesmo sem apresentar uma classificação formal das reações, contêm capítulos específicos intitulados “reações em fase aquosa”, sempre introduzidos por discussões sobre soluções, eletrólitos e o papel do solvente. Ressalvamos que somente uma das obras consultadas (CHANG, 2006), apesar de seguir caminho similar, enuncia que a reação de precipitação de iodeto de chumbo é também chamada de reação de dupla troca.

Ressaltemos que, a exemplo dos livros com abordagens alternativas já citados, a obra de Nóbrega *et al.* (2001; 2007) também não se ocupa de esquemas classificatórios para as reações químicas, e apresenta as reações de ácido-base e óxido-redução ao longo de diversos capítulos, além de um capítulo introdutório sobre “reações em fase aquosa” – precedido por um capítulo sobre propriedades da água, dissociação iônica e condutividade de soluções – em franco diálogo com as tendências observadas nos livros para o Ensino Superior.

Das cinco coleções de livros aprovadas pelo novo PNLD (2012-2014), três delas – Mortimer e Machado (2010), Santos e Mól (2010) e Reis (2010) – não apresentam nenhum esquema classificatório para as reações químicas, o que sugere um avanço em relação às demais coleções disponíveis no mercado para a química do Ensino Médio, que ainda possuem extensos capítulos sobre a classificação dos compostos e reações inorgânicas; alheias à importância dos íons em solução para uma compreensão mais adequada das transformações químicas.

b) Análise das dificuldades dos alunos

Na atividade proposta aos estudantes, esperávamos uma analogia entre os processos de transferência de elétrons (redox) e de prótons (ácido-base), aparentemente distintos do ponto de vista conceitual e, por essa razão, tão afastados do ponto de vista curricular (ou seria o contrário?).

A atividade apresentou-se difícil para os alunos, que então cursavam o primeiro semestre do curso de graduação em Química – um quarto deles deixou a folha em branco. Os problemas que encontramos foram principalmente de dois tipos:

1. Perceber que próton e elétron se equiparam como “moeda de troca” nos dois processos:

Aluno 1: “O ácido é o agente redutor nesse processo”.

Aluno 2: “ $\text{HOAc} \longrightarrow \text{OAc}^- + \text{e}^-$ ”.

A resposta do **aluno 1** (semelhante às de outros) denota que ele não percebeu a analogia entre próton e elétron como unidades de transferência nos processos ácido-base e redox, respectivamente.

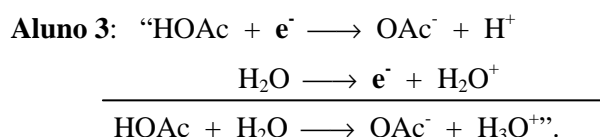
Assim, *fazer uma analogia*, que deveria passar por uma atribuição de *similaridade funcional* entre o papel do ácido (doador de prótons) e do agente redutor (doador de elétrons), se transforma em *identidade funcional*, o que implica em novas equivalências, de ordem *conceitual* e até *semântica*, já que “ácido é agente redutor”, ou ainda, “próton e elétron são a mesma coisa”, consequência lógica da equação química escrita pelo **aluno 2**, que evidentemente conhecia a equação que representa corretamente a desprotonação do ácido acético: $\text{HOAc} \longrightarrow \text{OAc}^- + \text{H}^+$.

Inicialmente, na atividade proposta, o uso da analogia entre as representações das equações químicas foi pensado como estímulo à reflexão sobre as transformações químicas em fase aquosa como processos protagonizados por íons e que, afinal, podem ser todos representados na forma de equações iônicas. Segundo Gentner e Holyoak (1997), as analogias são ferramentas poderosas para uma grande variedade de propósitos, incluindo resolução de problemas, construção de explicações e de argumentos – mecanismos para organizar objetos e eventos em categorias familiares. Eles definem o mecanismo da analogia como o processo de entender uma situação nova em termos de uma que já é familiar. Assim, a situação familiar (denominada *fonte* análoga) fornece um tipo de modelo para fazer inferências sobre a situação não-familiar (denominada *alvo* análogo). Durante o processo de raciocínio por analogias, o alvo passa a ser visto como um outro exemplo “do mesmo tipo de coisa” que o análogo familiar. A analogia entre as duas situações específicas pode funcionar como “semente” para a aprendizagem de uma categoria mais geral ou um esquema que engloba ambas as situações.

Contudo, observa-se nos trechos citados que os alunos entendem *analogia* como sendo *identidade*, ainda que, sejam capazes de definir cada uma dessas operações cognitivas com alguma precisão – eis a força da compartimentalização do conhecimento químico, celebrada na maioria dos livros didáticos analisados. Mesmo sabendo o que significa “fazer uma analogia”, os estudantes não a estabelecem, já que não concebem uma ideia geral de “reações em fase aquosa”, para além dos temas “reação ácido-base” e “reação redox”, sistematizados separadamente na maioria dos materiais instrucionais disponíveis para o Ensino Médio.

Além dos problemas de natureza conceitual, ligados aos modelos de reações em fase aquosa, a compartimentalização de temas também causa problemas de natureza procedimental, relacionados ao uso das representações das reações químicas na forma de equações e à sua manipulação algébrica, como veremos a seguir.

2. Contiguidade do termo *semirreação* com o tópico curricular *reações redox*:

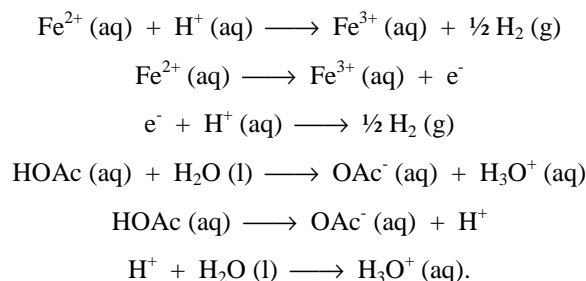


O **aluno 3** faz uma associação automática do termo “semirreação” com o assunto “reações de transferência de elétrons” e, ignorando o fato de que qualquer reação que componha algum mecanismo (redox ou não) é uma *semirreação*, representa uma semirreação “ácido-base” por uma equação que envolve o elétron – ainda que isso não lhe faça muito sentido. A equação escrita pelo **aluno 2** é mais um exemplo dessa prática, que ilustra que, para os estudantes, as reações de oxidação-redução são sistematicamente diferentes das reações de ácido-base.

Além disso, em se tratando da álgebra das reações químicas, quase nenhum aluno conseguiu equacionar corretamente os sistemas (a exemplo do sistema equacionado pelo **aluno 3**) e outros nem mesmo tentaram esboçar uma resolução – alguns o fizeram com as semirreações redox, e somente um equacionou corretamente a ionização do ácido acético a partir das duas semirreações.

O desmembramento de equações químicas em duas ou mais equações só é apresentado aos alunos durante os tópicos de eletroquímica (onde surge o conceito de semirreação) e termoquímica (lei de

Hess) na segunda série do Ensino Médio; e é visto com desconfiança por alguns alunos – por que é possível calcular entalpia de uma reação X a partir das entalpias das reações Y, Z e W, que nada têm a ver com a reação em estudo? Isso decorre do conceito de função de estado, que pode ser aplicado a qualquer sistema químico, que possui potenciais termodinâmicos. Malgrado estes argumentos, pode-se fazer esse desmembramento porque as equações químicas possuem álgebra análoga àquela das equações lineares – o que ressalta o seu papel representacional, ou seja, mera soma de equações. Podemos assim *representar* um elétron como se existisse em solução, tal qual qualquer reagente. E também um próton:



A contiguidade do *termo* semirreação com o *conteúdo* reações redox nos mostra que a dificuldade dos estudantes em desmembrar equações químicas em semirreações vai além do problema da álgebra. Considerando-se a análise dos livros didáticos apresentada anteriormente e as dificuldades apresentadas pelos estudantes em operar com a analogia proposta no exercício, nos parece oportuno salientar que a dificuldade dos estudantes está em livrar-se da classificação das reações, que separa curricularmente – em capítulos, ou até volumes (anos letivos) diferentes – as reações de oxidação-redução e ácido-base. O estudante enxerga essa separação sob o prisma dos conceitos/modelos e, portanto, dos procedimentos/representações – “reações ácido-base não têm nada a ver com transformações redox” e “semirreação tem a ver com reação redox” são algumas das frases que ouvimos dos alunos durante esta atividade.

Um problema como este aponta para a necessidade de outro tipo de classificação para as reações químicas, diverso daquele que predomina nos livros didáticos para o Ensino Médio. A abordagem dos livros didáticos mais tradicionais do Ensino Médio, em geral classificatória e contraditória, só apresenta os íons em seu papel protagonista quando conveniente, relegando-lhes um papel secundário ou inexistente quando as classificações e memorizações assumem a dianteira, ao facilitarem a composição de exercícios e avaliações. Não fossem os íons tão importantes no entendimento das transformações químicas, poderíamos ignorar os problemas acarretados neste processo de transposição didática. Entretanto, a considerar a importância do protagonismo dos íons nas transformações químicas, tais mecanismos passam a ser, no mínimo, problemáticos em um programa de ensino que se proponha a desenvolver a química no Ensino Médio.

Considerações finais

Observa-se que, no Ensino Médio, existe um predomínio do estudo de transformações químicas em fase aquosa – nas quais os íons são as espécies que efetivamente participam dos processos, sejam eles reações ácido-base, redox, de precipitação ou complexação. Paradoxalmente, porém, os livros didáticos para o Ensino Médio não destacam esse aspecto. Aparentemente, há uma tentativa, por parte dos autores de livros didáticos, de realizar uma transposição didática cuja finalidade seria tornar mais simples o aprendizado tanto das reações quanto das equações que as representam. De fato, porém, sua abordagem tem resultado em uma supersimplificação desses conceitos, ou na simples memorização de algoritmos para a escrita de equações químicas (“simples troca”, “dupla troca”, “metátese”). Observa-se assim, na abordagem do tema “reações químicas”, uma preocupação de grande parte dos autores com o aspecto classificatório (“classificação pela

classificação”), em oposição a uma ênfase em conceitos, que reforçaria aquilo que é mais caro à Química: as ideias de processo e transformação.

Devemos dizer, primeiramente, que as dificuldades exibidas pelos estudantes podem, de fato, ser relacionadas com os conteúdos de livros didáticos. Uma análise dos livros didáticos mais adotados, em relação ao desenvolvimento dos conceitos de ácido-base e óxido-redução (tabela 4), revela nas edições mais recentes a mesma estrutura de trinta anos atrás. Salvo as adições relacionadas com as chaves química/cotidiano ou química/atualidades científicas, ainda é possível encontrar longos capítulos sobre funções inorgânicas e classificações de reações químicas.

Nesse sentido, os livros empregados nos primeiros anos do Ensino Superior mostram maior coerência, e conferem aos íons em solução o protagonismo devido durante as transformações químicas em solução. Apesar de reconhecermos que, no Ensino Médio, é necessária certa simplificação, não acreditamos que isso deva ocorrer subestimando a importância dos íons nos processos químicos em fase aquosa. O professor de química do Ensino Médio tem diante de si uma opção clara: buscar que seus alunos entendam os fenômenos por meio da aprendizagem significativa dos conceitos e representações da química atual, ou buscar que seus alunos memorizem algoritmos que serão reproduzidos nas provas.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos estudantes que participaram da presente investigação, bem como ao apoio financeiro da Fapesp, CNPq, Capes, Dow Química e Pró-Reitorias de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade de São Paulo.

Referências bibliográficas

ALEXEYEV, V. N. *Qualitative analysis*, 1st Ed. Moscow: Mir Publishers, 1967.

ATKINS, P. W.; JONES, L. *Princípios de química – Questionando a vida moderna e o meio ambiente*, 3^a Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CAMPOS, R. C.; SILVA, R. C. Funções da química inorgânica... funcionam? *Química Nova na Escola*, v. 9, p. 18-22, 1999.

CHANG, R. *Química geral: conceitos essenciais*, 4^a Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

FELTRE, R. *Química*, 7^a Ed. São Paulo: Moderna, 2008. v. 1 e 2

FERNANDEZ, C.; BALDINATO, J. O.; TIEDEMANN, P. W.; BERTOTTI, M. Conceitos de química dos ingressantes nos cursos de graduação do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. *Química Nova*, v. 31, p. 1582-1590, 2008.

GENTNER, D.; HOLYOAK, K. J. Reasoning and learning by analogy: introduction. *American Psychologist*, v. 52, p. 32-34, 1997.

GEPEQ (PITOMBO, L. R. M.; MARCONDES, M. E. R., coord.) *Interações e transformações I – Elaborando conceitos sobre transformações químicas*, 9^a Ed. rev. e ampl. São Paulo: Edusp, 2005a.

GEPEQ (PITOMBO, L. R. M.; MARCONDES, M. E. R., coord.) *Interações e transformações III – A química e a sobrevivência – Atmosfera: Fonte de Materiais*, 2^a Ed. São Paulo: Edusp, 2000.

GEPEQ (PITOMBO, L. R. M.; MARCONDES, M. E. R., coord.) *Interações e transformações IV – Química e a sobrevivência – Hidrosfera: fonte de materiais*, 1^a Ed. São Paulo: Edusp, 2005b.

JOESTEN, M. D.; WOOD, J. L. *World of chemistry*, 2nd Ed. Orlando: Saunders College Publishers, 1996.

- KOTZ, J. C.; TREICHEL JR., P. M. *Química geral e reações químicas*, 5ª Ed. São Paulo: Thomson, 2005. v. 1.
- LISBOA, J. C. F. (Org.) *Ser protagonista – Química*, 1ª Ed. São Paulo: Edições SM, 2010. v. 1 e 2.
- LOPES, A. R. C. Reações químicas: fenômenos, transformação e representação. *Química Nova na Escola*, v. 2, p. 7-9, 1995.
- MANAHAN, S. E. *Fundamentals of environmental chemistry*, 8th Ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. *Química para o Ensino Médio (Série Parâmetros)*, 1ª Ed. São Paulo: Scipione, 2003.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. *Química*, 1ª Ed. São Paulo: Scipione, 2010. v. 1 e 2.
- NERY, A. L. P., LIEGEL, R. M.; FERNANDEZ, C. Reações envolvendo íons em solução aquosa: uma abordagem problematizadora para a previsão e equacionamento de alguns tipos de reações inorgânicas. *Química Nova na Escola*, v. 23, p. 14-18, 2006.
- NÓBREGA, O. S., SILVA, E. R.; SILVA, R. H. *Química: conceitos básicos*, 1ª Ed. São Paulo: Ática, 2001. v. 1 e 2.
- NÓBREGA, O. S., SILVA, E. R.; SILVA, R. H. *Química*, 1ª Ed. São Paulo: Ática, 2007. v. único.
- PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. *Química na abordagem do cotidiano*, 3ª Ed. São Paulo: Moderna, 2003a. v. 1 e 2.
- PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. *Química na abordagem do cotidiano*, 3ª Ed. São Paulo: Moderna, 2003b. v. 1 e 2.
- PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. *Química na abordagem do cotidiano*, 4ª Ed. São Paulo: Moderna, 2010. v. 1 e 2.
- REIS, M. *Completamente química*, 1ª Ed. São Paulo: FTD, 2001. v. 1 e 2.
- REIS, M. *Química: meio ambiente, cidadania, tecnologia*, 1ª Ed. São Paulo: FTD, 2010. v. 1 e 2.
- SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S. (Coord.) *Química & sociedade – Elementos, interações e agricultura*. São Paulo: Nova Geração, 2004. Módulo 3.
- SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S. (Coord.) *Química & sociedade – Cálculos, soluções e estética*. São Paulo: Nova Geração, 2004. Módulo 4.
- SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S. (Coord.) *Química & sociedade*, 1ª Ed. São Paulo: Nova Geração, 2008. v. único.
- SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S. (Coord.) *Química cidadã*, 1ª Ed. São Paulo: Nova Geração, 2010. v. 1 e 2.
- SNYDER, C. H. *The Extraordinary chemistry of ordinary things*, 4th Ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.
- STAINS, M.; TALANQUER, V. Classification of chemical reactions: stages of expertise. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 45, n. 7, p. 771-793, 2008.
- USBERCO, J.; SALVADOR, E. *Química 1: química geral*, 14ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2009.
- USBERCO, J.; SALVADOR, E. *Química 2: físico-química*, 14ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2009.
- VOGEL, A. I. *Química analítica qualitativa*, 5ª Ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981.