

TITULAÇÃO DE SOLUÇÕES ÁCIDO-BASE: PROPOSTA E ANÁLISE DE UM MATERIAL INSTRUCIONAL NA AUSÊNCIA DE FÓRMULAS MATEMÁTICAS

Dácio Rodney Hartwig e Romeu C. Rocha Filho

Universidade Federal de São Carlos - Cx.P. 676 - 13560 - São Carlos - SP

Recebido em 9/10/91; cópia revisada em 21/9/92

Problem solving involving the *titration of solutions* is traditionally taught through the introduction of mathematical formulas. In this paper the development and test of an alternative instructional text for the teaching of this subject with no use of mathematical formulas are described. The analysis of the resolution processes used by the students to solve the problems proposed in this text shows that their reasoning flows freely, without the imposition of any formula. Furthermore, a high incidence of correct answers was found for the majority of the proposed problems.

Keywords: acid-base titration; alternative instructional material; absence of mathematical formulas.

INTRODUÇÃO

A grande maioria das fórmulas matemáticas no ensino de Química do 2º Grau envolve, essencialmente, raciocínio proporcional. A aquisição deste é descrita na obra de Inhelder e Piaget¹, através de diversas passagens lógicas, desde os níveis cognitivos anteriores até o formal. De acordo com esses autores, o processo aí envolvido é natural e espontâneo no raciocínio, independente de qualquer fórmula matemática.

Em todos os capítulos dessa obra observa-se que nenhum sujeito utiliza qualquer fórmula para raciocinar e/ou resolver os problemas apresentados. Assim, por exemplo, no capítulo 11 (O equilíbrio da balança), nenhum sujeito submetido ao experimento, utiliza a equação $W_1 L_1 = W_2 L_2$ que relaciona os pesos (W) e distâncias (L) nos dois braços da balança (1) e (2).

Mais especificamente, na área de Educação em Química, alguns educadores propõem que esforços sejam desenvolvidos para os alunos atingirem a compreensão da estrutura lógica subjacente aos cálculos ao invés da aplicação de fórmulas matemáticas²⁻⁴. Esses esforços podem propiciar o abandono da "concepção errônea de que todos os cálculos devem ser realizados através das fórmulas"⁵.

Essa concepção, entretanto, ainda persiste no processo tradicional de ensino. É o caso, por exemplo, de titulação ácido-base (assim como inúmeros outros assuntos - leis da eletrólise, leis das propriedades coligativas, leis dos gases ideais etc.), cujo ensino prioriza as fórmulas $V_1 N_1 = V_2 N_2$ e $N = n_E/V$, onde N é a normalidade da solução, V seu volume e n_E o número de equivalentes grama. Essa priorização ocorre tanto durante o desenvolvimento teórico como durante a resolução dos problemas.

Parte-se do pressuposto que os alunos ao iniciarem a resolução dos problemas devem conhecer, obrigatoriamente, tais fórmulas, pois, durante o desenvolvimento teórico do assunto, já são prematuramente apresentadas. Isso propicia a memorização de procedimentos algébricos com pouca ou nenhuma atribuição do significado correspondente⁶⁻⁸.

O objetivo principal do presente trabalho é verificar se o material instrucional elaborado propicia a correta resolução de questões referentes à neutralização mútua de soluções ácido-base, na ausência das fórmulas como $V_1 N_1 = V_2 N_2$ e $N = n_E/V$.

Para isso foi elaborado um texto teórico e uma sequência de questões supostamente hierarquizadas. Tanto o texto como as questões são originadas a partir de um paralelo com o equilíbrio da balança.

Diante do exposto, propõe-se neste trabalho, que os cálculos referentes aos problemas de titulação ácido-base sejam desenvolvidos, em uma primeira fase de ensino, na completa ausência das mencionadas fórmulas, tanto durante o desenvolvimento teórico como durante a resolução dos problemas. Como proceder para isso? Uma alternativa é descrita a seguir.

O desenvolvimento teórico

Esse desenvolvimento foi iniciado a partir de uma listagem das passagens lógicas envolvidas no equilíbrio da balança¹. A seguir foi estabelecida uma correlação entre estas e o assunto titulação ácido-base. O Quadro 1 apresenta uma listagem inicial contendo tal correlação.

Quadro 1. Alguns paralelos entre a titulação de soluções ácido-base e o equilíbrio da balança.

Equilíbrio da balança*	Titulação ácido/base
"pesos iguais, B1 e B2 situados a distâncias iguais Lx, chegam a equilíbrio".	Volumes iguais e normalidades iguais promovem neutralização completa
"Um peso W a uma distância L produz a mesma inclinação ... que um peso W' = nw a uma distância L = L/n"	Um volume V de uma solução ácida (básica) de normalidade N, neutraliza completamente uma solução básica (ácida) de volume V', n vezes maior que V, e normalidade N', n vezes menor que N. $V' = nV$ e $N' = \frac{N}{n}$
"Um peso pequeno, unido a uma grande distância equivale a um peso grande unido a uma pequena distância".	Um volume pequeno de uma solução ácida (básica) combinado com um valor grande de normalidade do ácido (base) equivale, em termos de neutralização completa, a um volume grande de base (ácido) combinado a um pequeno valor da normalidade da base (ácido).

* Transcrito da ref. 1.

Além desses paralelos muitos outros podem ser estabelecidos. É necessário, portanto, uma seleção cujo critério tenha finalidades instrucionais. Para isso propõe-se uma hierarquia de paralelos, isto é, de situações supostamente mais simples para as mais complexas. Essa suposta hierarquia é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Hierarquia proposta entre a titulação de soluções ácido-base e o equilíbrio da balança para a ocorrência da neutralização completa.

Características correspondentes ao equilíbrio da balança	Características referentes a titulação ácido/base
Pesos iguais e distâncias iguais	Volumes iguais e normalidades iguais
Pesos iguais e distâncias diferentes	Volumes iguais e normalidades diferentes
Pesos diferentes e distâncias iguais	Volumes diferentes e normalidades iguais
Pesos diferentes e distâncias diferentes por correspondências qualitativas e na relação 1:2	Volumes diferentes e normalidades diferentes por correspondências qualitativas e na relação 1:2
Valores numéricos dos pesos para se inferir a relação entre distâncias	Valores numéricos dos volumes do ácido e base para se inferir relação entre as normalidades
Relações numéricas proporcionais entre os pesos e respectivas distâncias	Relações numéricas proporcionais entre volumes e respectivas normalidades

A partir desse quadro, iniciou-se a elaboração do texto teórico*, considerando-se pares específicos de ácidos e bases fortes de Arrhenius. Desse modo, desde a primeira característica, no alto do Quadro 2, até a última em baixo, há a explicação correspondente, cujo desenvolvimento não apresenta em momento algum quaisquer daquelas fórmulas.

Ao invés destas, enfatiza-se um constante relacionamento entre os fatores determinantes na neutralização completa ácido-base, a saber: volume, concentração molar** e número de íons H^+/OH^- por molécula/fórmula unitária.

Os paralelos entre titulação de soluções ácido-base e o equilíbrio da balança só são válidos estritamente quando se utiliza a unidade normalidade. Entretanto, visando facilitar a aprendizagem no texto a normalidade é substituída pela concentração molar. Tal substituição tem duas finalidades: uma delas é evidenciar a influência do fator número de íons H^+/OH^- gerados em solução por molécula/fórmula unitária. A outra, é evitar o uso da fórmula correspondente ($N = n_E/V$).

O desenvolvimento do texto é apresentado conforme a seguinte seqüência:

- A. Introdução
- B. Volumes iguais e concentrações iguais
- C. Volumes iguais e concentrações diferentes
- D. Volumes diferentes e concentrações iguais
- E. Volumes diferentes e concentrações diferentes
- F. Número de íons H^+/OH^- que pode ser liberado por molécula/fórmula unitária.

O desenvolvimento do item C é dado a seguir, como exemplo:

"Considerando ainda HCl e NaOH, suponha que um dado volume de uma solução da base é adicionado a um mesmo volume da do ácido de concentração igual ao dobro da base. Neste caso, ocorre ou não neutralização total? Como você já sabe, a neutralização total só ocorre quando o número de íons OH^- é igual ao de H^+ . Isto acontece neste caso? Vamos ver. Os volumes de soluções misturadas são iguais, mas a concentração do ácido é o dobro da base. Conseqüentemente, a neutralização será parcial, pois há um excesso de íons H^+ em re-

lação aos OH^- , ou seja, existe o dobro de íons H^+ comparados aos OH^- ."

Durante o desenvolvimento dos itens A até F é considerado o princípio mais geral para a ocorrência da neutralização completa, ou seja, a necessidade de igual número de íons H^+ e OH^- em solução. Essa igualdade ou não, é enfatizada a partir de um constante relacionamento entre seus três fatores determinantes. Tal relacionamento substitui, assim, as duas fórmulas pertinentes, que não são em momento algum apresentadas.

A elaboração dos problemas

As seis características contidas no Quadro 2, na mesma ordem como se apresentam de cima para baixo, serviram de base para a elaboração dos respectivos problemas. Seis destes são propostos, subdivididos em a e b. O item a abarca ácidos e bases fortes que em solução fornecem o mesmo número de íons H^+ e OH^- por molécula ou fórmula unitária, enquanto no item b tal relação difere.

A seguir, à guisa de exemplo, apresenta-se o enunciado dos problemas 5 e 6.

"5. Uma solução de HCl tem volume de 300 ml, enquanto uma de NaOH 900 ml. Misturando-se as duas soluções pergunta-se:

- a) quantas vezes a concentração do ácido deve ser maior que a da base para haver neutralização completa?
- b) responda o item a considerando que, ao invés de NaOH, tivéssemos a base $Ca(OH)_2$.

Explique suas respostas.

6. Sabe-se que misturando-se 20 ml de uma solução de HNO_3 com 80 ml de uma solução de NaOH de concentração 0,1 mol/l, ocorre neutralização completa. Pergunta-se:

- a) qual é a concentração do ácido?
- b) responda o item a considerando que ao invés de HNO_3 , tivéssemos H_2SO_4 .

Explique suas respostas".

As relações numéricas são propositalmente simples, a fim de melhor evidenciar o relacionamento entre os fatores envolvidos.

Após essas seis questões propõe-se uma sétima, cujo enunciado é:

"7. Sabe-se que 200 ml de uma solução de H_3PO_4 têm concentração igual a 0,01 mol/l. Qual deve ser o volume de uma solução de $Ca(OH)_2$ de concentração 0,02 mol/l para que ocorra neutralização completa ao se misturar estas soluções?

Explique sua resposta".

Deve-se notar que as características desta questão não têm um paralelo com o equilíbrio da balança na mesma intensidade como ocorre no caso das questões anteriores.

Entretanto, sua introdução decorre do fato de envolver um maior grau de generalização, já que contém a variação da neutralização mútua de soluções ácido/base.

Em resumo, tanto o desenvolvimento teórico quanto os problemas possuem, como característica comum, partir de variações em um só fator (mantendo os outros constantes), seguida de variações em dois fatores (mantendo o terceiro constante). Finalmente, são feitas variações simultâneas dos três fatores estabelecendo, assim, a relação mais geral entre eles. Esse procedimento é amplamente fundamentado na obra de Inhelder e Piaget¹, além de atender o direcionamento proposto por educadores em Química²⁻⁴.

O material assim elaborado, o qual encontra-se disponível aos interessados, foi aplicado em 117 alunos do 3º ano do 2º Grau, no horário de aula regular da escola (50 minutos), tendo sido consumidas no máximo duas aulas. A aplicação ocorreu

* Encontra-se disponível aos interessados.

** Atualmente a IUPAC recomenda o uso do termo "concentração em quantidade de matéria" ou "concentração", se não houver risco de confusão⁵. Aqui ainda se utiliza a expressão concentração molar, pois esta foi aquela originalmente utilizada no texto quando foi impresso.

antes dos alunos serem expostos ao assunto como parte do programa escolar.

Isso posto, o problema geral a ser estudado na presente pesquisa pode ser assim formulado:

O processo aqui utilizado propiciará a correta resolução das questões na ausência da fórmula $V_1N_1 = V_2N_2$ e $N = nE/V$

O trabalho aqui relatado foi desenvolvido em caráter exploratório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de acerto apresentados pelos alunos nas diferentes questões (vide Tabela 1) indicam que as mesmas estão, praticamente, em ordem hierárquica, pois, em geral, decrescem monotonicamente a medida que a complexidade das questões aumenta (da 1ª para a 6ª questão). Também observou-se, excetuando-se na questão 1, um menor índice de acerto no item b de cada questão. Esta diferença, embora não muito marcante, indica que o fato do ácido e da base em solução fornecerem diferentes números de íons H^+ e OH^- , aumenta o grau de dificuldade para alguns alunos.

A questão 7, conforme mostrado na Tabela 1, é aquela na qual os alunos apresentaram o menor índice de acerto. Tal resultado evidencia a dificuldade sentida pelos alunos para compreender a ação simultânea dos três fatores na neutralização mútua de soluções de ácido/base.

Uma análise dos processos de resolução usados pelos alunos mostra uma grande variedade, onde o raciocínio flui livremente, sem a imposição de nenhuma fórmula matemática previamente determinada. (Uma versão mais detalhada deste artigo contendo exemplos destas resoluções pode ser solicitada aos autores).

Tabela 1. Índice percentual de acerto nas questões (computados 117 alunos)

Questão		Índice de certo (%)
1	a	100
	b	100
2	a	100
	b	77,0
3	a	94,8
	b	81,2
4	a	75,2
	b	70,0
5	a	95,7
	b	79,4
6	a	76,0
	b	70,0
7	a	53,0

No caso da questão 7, deve-se destacar que a sua resolução, tradicionalmente, é desenvolvida pela maioria dos alunos através de duas fórmulas, a saber:

$V_1N_1 = V_2N_2$ e daquela relacionando a normalidade (N) com a molaridade (M), isto é, $N = M.n$, onde n é o número de íons H^+ ou OH^- ionizáveis por molécula/fórmula unitária. Desse modo, de posse dessas fórmulas, a operação algébrica imediata é transformar a molaridade dada no problema, em normalidade e, a seguir, aplicar $V_1N_1 = V_2N_2$, determinando-se assim o volume pedido.

Tal procedimento impõe à maioria dos alunos uma restrição no raciocínio, cuja característica é oposta à anterior, isto é, o raciocínio não flui livremente pois já está predeterminado pelo conhecimento e utilização antecipada das duas fórmulas.

As resoluções incorretas referentes à questão 7, tal como apresentadas pelos alunos, oferecem subsídios importantes de discussão. A análise dessas resoluções revela o estabelecimento de relações expúrias, conforme abaixo exemplificado:

ALUNO A:

$$0,03 - 200 \text{ ml}$$

$$X = 266,6 \text{ ml}''$$

$$0,04 - X$$

ALUNO B:

"O volume de base seria 100 ml se o número de OH^- fosse igual ao número de H^+ , mas como não é:

$$3 \cdot \frac{2}{3} = 2 \rightarrow \frac{100 \cdot 2}{3} = 66,6 \text{ ml}''$$

ALUNO C:

"O volume de $Ca(OH)_2$ será 100 ml pois a sua concentração é o dobro de H_3PO_4 , portanto, o volume deverá ser a metade de H_3PO_4 ."

Este último exemplo foi um tipo de resolução mais frequentemente encontrado (cerca de 37%). Nesse caso, nota-se claramente que não foi considerado o fator número de íons H^+/OH^- gerados em solução por molécula/fórmula unitária.

Ora, se tais alunos tivessem a posse antecipada das duas fórmulas mencionadas, a aplicação imediata das mesmas não deixaria transparecer os relacionamentos falsos acima mostrados.

Nesse caso, então, os alunos encontrariam a resposta numérica correta, sem, entretanto, ter consciência do relacionamento entre os fatores, tal como ocorre no último exemplo.

O processo aqui proposto, porém, proporciona não só que esses falsos relacionamentos possam aflorar, como também que possam ser sanados mais eficientemente. Para isso contribui tanto a metodologia do texto teórico como a das questões. Esse material introduz fatores gradativamente, isto é, um dado fator deve ser relacionado com outros já anteriormente considerados. Desse modo o aluno vai tomando consciência tanto dos fatores isolados como relacionados até culminar com a situação mais genérica, isto é, a variação simultânea dos três fatores, tal como se apresenta na questão 7. Não há dúvida, porém, que mesmo com essa abordagem uma parcela de alunos, embora a menor, tem ainda dificuldades em operar, simultaneamente, com os três fatores que determinam a ocorrência da neutralização completa.

Por outro lado, o processo costumeiro de se introduzir esses fatores compactamente, através de fórmulas matemáticas, apresenta, com maior razão, dificuldades ainda mais expressivas.

Diante do menor índice de acerto da questão 7, novas abordagens devem ser estudadas para elevá-lo. Uma possível abordagem seria, por exemplo, intercalar entre as questões 6 e 7 pelo menos mais uma questão intermediária, que serviria de apoio para a última. Isso, entretanto, faz parte de pesquisa posterior.

Por outro lado, o elevado e significativo índice de acerto nas questões de número 1 a 6 evidencia que o paralelo com o equilíbrio da balança ofereceu um importante subsídio para o ensino de titulação de soluções ácido-base. Consequentemente, outros paralelos devem ser estudados, pois, embora a obra de Inhelder e Piaget¹ trate essencialmente de Epistemologia Genética, ela possui implicações instrucionais das mais relevantes, não encontradas, inclusive, em obras com finalidades didático-pedagógicas. Esses outros paralelos, entretanto, impõem a exigência de pesquisas posteriores.

CONCLUSÕES

A avaliação do material após a aplicação em 117 alunos do 3º ano do 2º Grau, em situação regular de sala de aula, conduz às seguintes conclusões:

- as questões de 1 a 6 estão basicamente em uma sequência hierárquica, atingindo um índice de acerto significativamente elevado. Tal aspecto evidencia que as passagens lógicas, sugeridas a partir do paralelo titulação/equilíbrio da balança são adequadas, servindo portanto de fundamento para o ensino do assunto titulação de soluções.

- o índice de acerto na questão 7 é moderado, demonstrando que os alunos têm dificuldade em operar com os três fatores que determinam a neutralização mútua de soluções ácido-base, especialmente quando estes sofrem variação simultânea.

- o processo de resolução apresentado pelos alunos indica que o raciocínio flui livremente no estabelecimento de relações conceituais, encontrando-se corretamente o resultado numérico, sem a utilização de qualquer fórmula matemática. Tal processo mostra que o material elaborado, realmente, cumpre a finalidade proposta.

Diante dessas conclusões, uma possível pesquisa imediata pode daí se originar: averiguar se os próprios alunos conse-

guem propor a fórmula matemática, e/ou em que condições isso pode ocorrer. Os resultados aqui obtidos podem ser, então, utilizados como referencial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à professora Ana Maria Passoni da Escola Estadual Dr. Álvaro Guião, pelo inestimável apoio, colaboração e atenção durante a aplicação do material.

REFERÊNCIAS

1. Inhelder, B.; J. Piaget; "Da lógica da criança à lógica do adolescente". Pioneira, São Paulo, (1976).
2. Cardulla, F.; *J. Chem. Ed.*, (1984), **61**, 151.
3. Goodstein, M. P.; *J. Chem. Ed.*, (1983), **60** 665.
4. Genyea, J.; *J. Chem. Ed.*, (1983), **60**, 478.
5. Arons, A.B.; *The Physics Teacher*, (1984), **2**, 88.
6. Herron, J. D.; *J. Chem. Ed.*, (1975), **52**, 146.
7. Kramers-Pals, H.; Fambrechts, J.; Wolff, P. J.; *J. Chem. Ed.*, (1982), **59**, 509.
8. Hartwig, D.R.; *Ciência e Cultura*, (1990), **42**, 815.
9. Mills, I.; Cvitas, T.; Homann, K.; Kallay, N.; Kuchitsu, K.; "IUPAC - Quantities, Units, and Symbols in Physical Chemistry", Blackwell; Oxford (1988), p. 38.

Publicação financiada pela FAPESP