

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA QUÍMICA ANALÍTICA QUALITATIVA

Daniela Gonçalves de Abreu, Carla Regina Costa, Marilda das Dores Assis e Yassuko Iamamoto*

Departamento de Química, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Av. Bandeirantes, 3900, 14049-901 Ribeirão Preto - SP, Brasil

Recebido em 3/5/05; aceito em 5/1/06; publicado na web em 11/8/06

A PROPOSAL FOR THE TEACHING OF QUALITATIVE ANALYTICAL CHEMISTRY. In recent years, because of the need for a more flexible curriculum established by the Curriculum Guidelines of the National Brazilian Education (law 9394/96), the pedagogical project of the Chemistry course of FFCLRP/USP has undergone alterations, amongst them the gradual reduction of the hours devoted to the discipline Qualitative Analytical Chemistry. In this context, this discipline has been carefully analyzed and reorganized in order to allow the elimination of redundancies and the introduction of activities considered important for the professional formation of both chemists and chemistry teachers. In this work, we will discuss the main strategies adopted in this reorganization with the objective of making the teaching/learning process more dynamic and efficient.

Keywords: Qualitative Analytical Chemistry; curriculum; apprenticeship.

INTRODUÇÃO

A Química Analítica Qualitativa nos cursos de Química: um breve histórico

Historicamente, o desenvolvimento da análise qualitativa, como disciplina nos cursos de graduação em Química, esteve relacionado à ênfase que era dada à análise de minerais e à determinação de suas composições. A Química Analítica no Brasil teve suas raízes nos ensinamentos da chamada Escola de Rheinboldt¹. Heinrich Rheinboldt (1891-1955) era docente da Universidade de Bonn e veio para o Brasil quando o nazismo foi implantado na Alemanha. Ele chegou na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras em 1935 tendo como principais objetivos organizar a subseção de Química nos moldes da tradição universitária alemã e formar professores de Química para as escolas secundárias. Rheinboldt trouxe para o Brasil a experiência universitária alemã de ensino e pesquisa em Química. Nessa área a Alemanha estava muito à frente dos outros países europeus e dos Estados Unidos, pois sua indústria química era a mais desenvolvida do mundo².

Rheinboldt priorizava as aulas de laboratório por acreditar que a base do ensino de Química era a intuição e que o aluno, para aprender a pensar, deveria vivenciar os fenômenos muitas vezes até se familiarizar com eles³. Esse pensamento justifica, os amplos cursos práticos realizados pelos alunos que estudavam Química naquela época. Foi também nesse contexto que momentos de discussões, denominados colóquios, foram instituídos. Os colóquios tinham como objetivo possibilitar a conexão entre os fenômenos, as leis que lhes serviam de base e as aulas experimentais. Eles eram divididos em etapas que envolviam: preparo individual, explicação, perguntas, respostas e discussão crítica. A experiência mostrou que certas disciplinas, como a Química Analítica, eram ensinadas mais eficientemente sob a forma de colóquios que sob a forma de aulas tradicionais⁴.

Em 1951, um dos primeiros discípulos de Rheinboldt, Paschoal Senise, iniciou suas pesquisas em Química Analítica estudando as reações que se passavam no sistema azoteto-iodo-tiocianato¹. Em 1982 ele publicou um artigo⁵ defendendo a importância da Química Analítica na formação do químico, dando seguimento às idéias de

Rheinboldt. Dentre os alunos do Prof. Senise cabe destacar Oswaldo Espírito Santo Godinho que, posteriormente, passou a ser docente no Instituto de Química da Unicamp, publicando então, juntamente com outros docentes dessa instituição, o livro "Introdução à Semimicroanálise Qualitativa"⁶, bastante utilizado no país para o ensino de Química Analítica Qualitativa. Além desse, outros livros bastante utilizados são os dos autores A. I. Vogel⁷ e V. N. Alexéiev⁸.

Nos anos 40, a disciplina Química Analítica Qualitativa chegou a ser suprimida de alguns currículos de Química nos Estados Unidos com a justificativa de que, com o desenvolvimento da instrumentação, a análise química passaria a constituir uma tarefa rotineira e técnica sem a necessidade de formação e treinamento específicos nessa área⁵. Essa exclusão foi posteriormente considerada um grande erro e cabe aqui mencionar as declarações do prêmio Nobel de Química de 1983, Henry Taube⁹: "Acho que um dos maiores enganos foi cometido quando a análise qualitativa foi suprimida do currículo. Este era um modo de introduzir a química descritiva que, se olharmos mais a fundo, pode despertar o interesse dos estudantes por reações. Eu considero as reações como sendo o coração da química."

Nos cursos de graduação busca-se um ensino verdadeiramente formativo, onde o estudante seja estimulado a pensar, a raciocinar com base nos conhecimentos que vai adquirindo e a desenvolver sua capacidade criativa. A Química Analítica Qualitativa, embora tenha sido muitas vezes relegada a segundo plano, pode desempenhar um grande papel na perseguição desse objetivo⁵.

Classificação analítica dos cátions

Na disciplina Química Analítica Qualitativa estuda-se um conjunto de reações e métodos de separação e identificação de cátions e ânions.

Os cátions encontram-se divididos em cinco grupos analíticos de acordo com suas similaridades. Cada grupo, com exceção daquele constituído pelos íons Na⁺, K⁺ e NH₄⁺, possui um reagente precipitante que forma compostos insolúveis com todos os cátions do grupo e que por esse motivo recebe o nome de reagente de grupo. Alguns autores, como N. Baccan *et al.*⁶ e V. N. Alexéiev⁸, adotam a classificação apresentada na Tabela 1. Essa classificação foi proposta inicialmente pelo alemão K. R. Fresenius¹⁰ (1818-1897), considerado o pai da análise qualitativa. Ele publicou vários métodos

*e-mail: iamamoto@ffclrp.usp.br

de análise que resultaram na separação sistemática dos cátions e que constituem a base dos esquemas de separação usados nos cursos de Química Analítica Qualitativa. A seqüência de classificação dos cátions proposta por Fresenius foi adotada no Brasil por Rheinboldt e baseia-se na complexidade crescente das reações à medida que os grupos de cátions são estudados, iniciando-se pelos metais alcalinos e finalizando com o grupo da prata.

Autores como Vogel⁷, Moeller e O'Connor¹¹ e Curtman¹² adotaram a mesma classificação, porém, com uma seqüência inversa à proposta por Fresenius: grupo I, Ag⁺, Pb²⁺ e Hg₂²⁺; grupo IIA, Hg²⁺, Pb²⁺, Bi(III), Cu²⁺ e Cd²⁺; grupo IIB, As(III), As(V), Sb(III), Sb(V), Sn²⁺ e Sn⁴⁺; grupo III, Fe³⁺, Al³⁺, Cr³⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Zn²⁺ e Mn²⁺; grupo IV, Mg²⁺, Ba²⁺, Ca²⁺ e Sr²⁺; grupo V, Na⁺, K⁺ e NH₄⁺. É nessa seqüência que se baseia a separação dos cátions de uma amostra que contém em sua composição elementos de todos os grupos.

Os ânions também podem ser classificados em grupos. No entanto, isso não é tão usual porque, ao contrário dos cátions, não há uma separação sistemática para eles⁶. A classificação dos ânions é baseada em reações que ocorrem em meio ácido diluído na presença ou ausência de Ag⁺. Essa classificação é apresentada na Tabela 2.

Os ânions do grupo I são aqueles que se decompõem em solução ácida diluída, originando gases. Nessa condição, CO₃²⁻ gera CO₂, NO₂⁻ se decompõe em NO e NO₂, S²⁻ forma H₂S e SO₃⁻ e S₂O₃²⁻ dão origem a SO₂. Os ânions do grupo II são aqueles que precipitam com Ag⁺ em meio ácido, enquanto que os do grupo III precipitam com Ag⁺ em meio neutro. O grupo IV não possui um reagente de grupo. Como pode ser observado na Tabela 2, alguns ânions pertencem a mais de um grupo. Em uma análise de ânions, o grupo no qual cada um desses aparecerá vai depender da seqüência adotada para a realização dos testes de identificação. Se, por ex., uma amostra contendo todos os ânions apresentados na Tabela 2 for primeiramente acidificada, todos os ânions pertencentes ao grupo I serão eliminados e na seqüência, obviamente, eles não precipitarão com Ag⁺. Por outro lado, se o meio não for acidificado, esses ânions não serão eliminados e precipitarão como sais de prata. Os ânions C₂H₃O₂⁻, NO₂⁻ e SO₄²⁻ são classificados como pertencentes ao grupo III. No entanto, esses ânions só precipitarão como sais de Ag⁺ se a concentração dos mesmos em solução exceder 5 mg mL⁻¹, concentração relativamente alta. Por esse motivo, C₂H₃O₂⁻ e SO₄²⁻ também são classificados no grupo IV¹¹.

Atualmente, os principais ânions geralmente estudados nos cursos de Química Analítica Qualitativa são: F⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, CO₃²⁻, PO₄³⁻, C₂H₃O₂⁻ e S²⁻.

A Química Analítica Qualitativa dentro de um contexto pedagógico

No Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP (DQ-FFCLRP/USP), a disciplina Química Analítica Qualitativa é oferecida no 3.º semestre aos alunos do curso de Bacharelado e Licenciatura em Química. Nesse momento o aluno já cursou a disciplina Química Geral, de caráter teórico, na qual o tema equilíbrio químico é ministrado. Na disciplina Química Analítica Qualitativa são realizadas reações consideradas essenciais para a fundamentação dos conceitos teóricos de equilíbrio ácido-base, precipitação, complexação e óxido-redução. Em seguida são oferecidas disciplinas como Química Analítica Quantitativa, Análise Instrumental, Química Inorgânica, Química Ambiental e Tratamento de Resíduos Químicos de Laboratórios de Ensino e Pesquisa, nas quais os conteúdos estudados em Química Analítica Qualitativa são utilizados.

Buscando atender à Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) promulgada em 1996 (Lei 9394/96) e ao Edital n.º 04/97 da Secretaria de Educação Superior do MEC, que estabelecem a flexibilização curricular através da inserção de atividades que possibilitem correlações entre áreas¹³, disciplinas como Química Ambiental e Tratamento de Resíduos, mencionadas anteriormente, foram instituídas no curso de Química do DQ-FFCLRP/USP nos últimos anos, levando à redução da carga horária de disciplinas do núcleo básico como Química Analítica Qualitativa. Assim, a carga horária dessa disciplina foi sendo gradativamente reduzida: enquanto em 1990 a carga horária era de 11 h semanais, em 1992 passou para 10, em 1998 para 8 e a partir de 2001, passou a ser de apenas 6 h semanais.

Apesar da progressiva diminuição da carga horária da disciplina, em um primeiro momento o extenso conteúdo foi mantido. Na tentativa de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais eficiente e possibilitar aos alunos uma aprendizagem que não se caracterizasse somente pela simples memorização de reações e reprodução de procedimentos experimentais, várias modificações foram introduzidas na disciplina após muitas discussões e reflexões. Apro-

Tabela 1. Classificação dos cátions adotada por Baccan *et al.*⁶

Grupos	Reagente precipitante de grupo	Cátions constituintes
I	Não possui reagente de grupo	Na ⁺ , K ⁺ e NH ₄ ⁺
II	CO ₃ ²⁻	Mg ²⁺ , Ba ²⁺ , Ca ²⁺ e Sr ²⁺
III	S ²⁻ em meio amoniacal	Fe ³⁺ , Al ³⁺ , Cr ³⁺ , Ni ²⁺ , Co ²⁺ , Zn ²⁺ e Mn ²⁺
IVA ^a	S ²⁻ em meio ácido diluído	Hg ²⁺ , Pb ²⁺ , Bi(III) ^c , Cu ²⁺ e Cd ²⁺
IVB ^b	S ²⁻ em meio ácido diluído	As(III) ^c , As(V) ^c , Sb(III) ^c , Sb(V) ^c , Sn ²⁺ e Sn ⁴⁺
V	Cl ⁻	Ag ⁺ , Pb ²⁺ e Hg ₂ ²⁺

^a Os sulfetos dos cátions deste subgrupo são insolúveis em solução de NaOH. ^b Os sulfetos dos cátions deste subgrupo são solúveis em solução de NaOH. ^c Os íons Bi(III), As(III), As(V), Sb(III) e Sb(V) quando em solução aquosa neutra ou alcalina são encontrados nas respectivas formas: BiO⁺, AsO₃³⁻, AsO₄³⁻, SbO₃³⁻ e SbO₄³⁻. Por esse motivo, considerou-se a notação adotada mais apropriada para esses íons.

Tabela 2. Classificação dos ânions adotada por Moeller e O'Connor¹¹

Grupos	Reagente de grupo	Ânions constituintes
I	HClO ₄ diluído (6 mol L ⁻¹)	CO ₃ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , SO ₃ ⁻ e S ₂ O ₃ ²⁻
II	HClO ₄ diluído (6 mol L ⁻¹) e AgNO ₃	Br ⁻ , Cl ⁻ , I ⁻ , S ²⁻ e S ₂ O ₃ ²⁻
III	Solução neutra e AgNO ₃	C ₂ H ₃ O ₂ ⁻ , AsO ₄ ³⁻ , CO ₃ ²⁻ , CrO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , C ₂ O ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , BO ₃ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , SO ₃ ⁻ e S ₂ O ₃ ²⁻
IV	Não possui reagente de grupo	C ₂ H ₃ O ₂ ⁻ , F ⁻ , NO ₃ ⁻ , MnO ₄ ⁻ e SO ₄ ²⁻

Obs.: Os ânions em negrito são classificados em mais de um grupo.

veitou-se esse momento para inserir atividades consideradas importantes para a formação profissional, como o tratamento de resíduos e a discussão de temas que possibilitassem a contextualização, no Ensino Médio, de conteúdos relacionados à disciplina Química Analítica Qualitativa.

Analisando a grade curricular dos cursos de Química das principais universidades públicas brasileiras, observa-se que grande parte ainda oferece a disciplina Química Analítica Qualitativa. Além disso, verificou-se, por meio das ementas dessa disciplina em diversos cursos, que ela ainda é ensinada da maneira tradicional, com abordagem de cátions e ânions em uma carga horária inadequada para a mesma. Acreditamos que isso torna os cursos de análise qualitativa extensos, maçantes e não leva o aluno a uma aprendizagem verdadeiramente significativa.

Neste trabalho serão apresentadas e discutidas as principais estratégias e modificações que vêm sendo adotadas na disciplina Química Analítica Qualitativa no DQ-FFCLRP/USP.

REESTRUTURAÇÃO DA DISCIPLINA QUÍMICA ANALÍTICA QUALITATIVA NO DQ-FFCLRP/USP

Após a redução da carga horária para 6 h semanais, alguns questionamentos foram levantados pelos responsáveis e colaboradores da disciplina: (a) Seu extenso conteúdo estaria adequado para a nova carga horária? (b) Durante a realização dos experimentos o aluno estaria sendo estimulado a refletir sobre os fundamentos químicos envolvidos? (c) Determinadas reações poderiam ser suprimidas sem prejuízo de conteúdo importante?

Depois de várias discussões e na tentativa de tornar o processo de aprendizagem mais eficaz, algumas estratégias, descritas a seguir, foram adotadas.

Após a reestruturação da disciplina os seguintes íons foram eliminados do estudo prático: Sr^{2+} do grupo II; Cr^{3+} , Co^{2+} e Zn^{2+} do grupo III; Hg^{2+} , Pb^{2+} , Bi(III) e Cd^{2+} do grupo IV A e, Sb(III) e Sb(V) do grupo IV B. Embora esses cátions não tenham sido estudados experimentalmente, nas aulas teóricas suas propriedades foram abordadas e as semelhanças com os cátions do grupo ao qual pertencem foram enfatizadas.

No grupo II, Sr^{2+} foi eliminado do estudo prático por apresentar propriedades semelhantes ao íon Ca^{2+} . Ambos são separados do íon Ba^{2+} pela precipitação deste último como BaCrO_4 , utilizando $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ como agente precipitante em meio tamponado com ácido acético. Ainda no grupo II inseriu-se uma etapa de tratamento do resíduo gerado contendo Cr(VI) , metal que nesse estado de oxidação é potencialmente tóxico, sendo inclusive carcinogênico¹⁴. No final da execução da marcha analítica do grupo II, o resíduo contendo BaCrO_4 sólido e $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ em solução foi tratado de acordo com o procedimento indicado na Figura 1.

O tratamento do resíduo contendo Cr(VI) possibilitou estudar no grupo II o caráter anfotérico do Cr(OH)_3 , o que permitiu antecipar o estudo do Cr^{3+} que deixou de ser abordado no grupo III.

Além do Cr^{3+} , Co^{2+} e Zn^{2+} também deixaram de ser estudados no grupo III. Algumas propriedades do Co^{2+} foram enfocadas duran-

te o estudo do grupo I, quando se utilizou o reagente $\text{Na}_3[\text{Co(NO}_2)_6]$ para identificação do íon K^+ . O Zn^{2+} foi eliminado por apresentar, na separação analítica dos cátions do grupo III, um comportamento semelhante ao do Mn^{2+} . Além disso, as propriedades do Zn^{2+} , em especial o caráter anfotérico do Zn(OH)_2 , puderam ser abordadas no teste de identificação dos íons nitrito e nitrato onde se utiliza Zn metálico como agente redutor em meio alcalino.

No grupo IV, Cd^{2+} foi eliminado porque este íon pôde ser estudado no teste para identificação de sulfeto como H_2S . Este, ao entrar em contato com papel de filtro umedecido com uma solução de Cd^{2+} , dá origem a uma mancha amarela devido à formação do CdS . O Hg^{2+} foi eliminado pois suas propriedades foram exploradas no teste de identificação de Sn^{2+} , onde se utiliza HgCl_2 que é reduzido a Hg_2Cl_2 e posteriormente a Hg metálico. O Pb^{2+} também foi eliminado desse grupo, uma vez que seria estudado no grupo V. Bi(III) e Sb(III)/Sb(V) foram eliminados por apresentarem, na separação analítica dos cátions do grupo IV, comportamento semelhante ao Cu^{2+} e As(III)/As(V) , respectivamente.

Os ânions selecionados para o estudo prático foram: Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , S^{2-} , NO_3^- e NO_2^- . Dentre esses, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} e NO_3^- foram escolhidos por serem constituintes dos sais mais comumente utilizados e encontrados na natureza. O S^{2-} foi selecionado por precipitar com metais pesados, podendo assim ser utilizado na passivação de resíduos contendo esses metais. O NO_2^- foi escolhido com o objetivo de comparar seu comportamento com NO_3^- . Quando NO_2^- é tratado com ácido sulfúrico diluído forma-se HNO_2 , um ácido fraco que se decompõe liberando o gás marrom NO_2 . Nessa condição nada acontece com o NO_3^- ; no entanto, quando se utiliza ácido sulfúrico concentrado e aquecimento observa-se a formação do NO_2 . Essa diferença de comportamento deve-se ao fato do NO_2^- ser uma base conjugada mais forte que NO_3^- .

Nos últimos anos, tem-se procurado introduzir na disciplina o tema "tratamento de resíduos", com objetivo de alertar os alunos sobre a responsabilidade do químico quanto ao destino final dos resíduos gerados em suas atividades¹⁵. O experimento proposto para reduzir Cr(VI) a Cr^{3+} mostrou aos alunos que procedimentos experimentais simples podem ser adotados para passivar um resíduo potencialmente tóxico. Além disso, outras ações vêm sendo tomadas com objetivo de apresentar aos alunos possíveis destinos para os resíduos gerados:

- resíduos contendo metais pesados, como Hg^{2+} e Pb^{2+} , são precipitados na forma de seus respectivos sulfetos: metais pesados são indestrutíveis e não podem ser decompostos como os contaminantes orgânicos. Assim, uma alternativa para esses resíduos é torná-los inertes, convertendo-os em formas menos reativas e menos tóxicas.
- Resíduos de tioacetamida são segregados para serem usados em passivações posteriores: tioacetamida hidrolisa em meio básico e ácido originando S^{2-} , que precipita com os cátions dos grupos III e IV. Por esse motivo, resíduos de tioacetamida podem ser utilizados para passivar resíduos contendo metais desses grupos, como Hg^{2+} e Pb^{2+} citados anteriormente.
- Soluções de ácidos e bases são neutralizadas e descartadas: o pH dessas soluções deve ser ajustado entre 6 e 8 antes de serem descartadas. É comum utilizar carbonato de sódio comercial (barrilha) para neutralizar soluções ácidas.

Com essas ações o aluno começa a refletir sobre a toxicidade do resíduo que gerou e sobre a alternativa mais viável para o seu destino. É claro que, quando um resíduo não apresenta implicações ambientais pode ser descartado para evitar acúmulo. Assim, resíduos contendo metais do grupo I e II, por ex., em pH adequado, podem ser seguramente descartados na pia, sem precisarem de qualquer tratamento prévio.

Com a reestruturação da disciplina sentiu-se também a necessidade de elaborar material didático adequado ao novo contexto e que

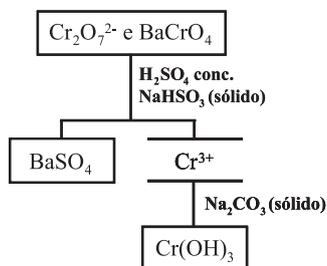


Figura 1. Procedimento para tratamento do resíduo contendo Cr(VI)

contemplasse a parte prática e a respectiva fundamentação teórica. Esse material apresenta um diferencial em relação aos livros-textos geralmente utilizados para ensino de análise qualitativa: informações relevantes e questões foram inseridas no decorrer dos experimentos e não em notas de rodapé ou no final do capítulo. Isso permitiu que o aluno refletisse sobre o procedimento experimental e entendesse as reações e condições reacionais no momento da sua execução. Por ex., no teste de identificação do íon K^+ com $[Co(NO_2)_6]^{3-}$, o íon NH_4^+ , que é um interferente, é eliminado pela adição de excesso de base forte e aquecimento. Em seguida, o excesso de base é neutralizado com ácido acético até pH 5, resultando em uma solução tampão. No material desenvolvido, logo após a descrição desse procedimento, foram colocadas as seguintes questões: Quais as espécies presentes na solução após a neutralização? Por que essa solução é um tampão? Se o meio estiver muito ácido o que pode acontecer com o reagente $[Co(NO_2)_6]^{3-}$? E se o meio estiver alcalino?

Outra modificação introduzida foi em relação ao momento de discussão dos experimentos. Em anos anteriores à reestruturação da disciplina, toda a teoria e os procedimentos referentes às aulas práticas eram apresentados antes dos alunos irem para o laboratório. Percebeu-se que essa não era a estratégia mais adequada, uma vez que os alunos se mostravam desinteressados e quase sempre era necessário repetir no laboratório as informações e instruções já dadas anteriormente. Para modificar esse comportamento dos alunos, uma nova estratégia foi adotada. Em um primeiro momento eram apresentados, rapidamente, o esquema de separação dos cátions do grupo em estudo e os cuidados experimentais básicos que deveriam ser tomados. Em seguida, os alunos realizavam o experimento no laboratório. A discussão acontecia somente após a realização das reações, quando a fundamentação teórica era apresentada e as principais propriedades dos constituintes do grupo estudado eram enfatizadas. Percebeu-se que isso foi muito produtivo porque o aluno, vivenciando primeiro a situação experimental, ficou mais motivado a discutir os problemas que surgiram no decorrer das aulas práticas. Observou-se ainda que as questões inseridas no roteiro experimental contribuíram para tornar os alunos pró-ativos, por meio da reflexão sobre os fenômenos observados na prática e pela proposição de hipóteses à medida que os experimentos eram realizados.

Antes da reestruturação da disciplina, todas as reações, tanto as de identificação quanto as de precipitação, eram realizadas. Em um primeiro momento, isoladamente para cada cátion e, em seguida, durante a execução da marcha analítica, para uma mistura de cátions. Com a reestruturação, para poupar tempo e evitar repetições, partiu-se diretamente para o estudo de uma amostra em solução de composição conhecida, preparada pelos próprios alunos de acordo com instruções apresentadas no material didático. No entanto, algumas reações, para serem melhor visualizadas e exploradas, foram realizadas separadamente para cada íon. No grupo III, por ex., reações com NaOH, NH_3 e tioacetamida em meio alcalino foram realizadas isoladamente antes de iniciar a separação dos cátions desse grupo em uma amostra em solução. Isso permitiu explorar de forma mais adequada o comportamento dos cátions desse grupo frente a cada um dos reagentes, facilitando a compreensão do anfoterismo de alguns hidróxidos, da formação de complexos e da precipitação de sulfetos.

Após o estudo dos cátions dos grupos I, II, III e dos ânions, foi realizada uma discussão baseada em uma amostra teórica proposta em sala de aula pelos alunos. Por se tratar de uma amostra simulada contendo ânions e cátions de diferentes grupos, conteúdos já estudados anteriormente foram resgatados, como solubilização da amostra em água, em ácido clorídrico e em ácido nítrico; hidrólise; precipitação; etc. Além disso, nesse momento foi possível abordar a interação entre íons presentes na amostra, como a reação redox entre S^{2-} e NO_3^- em meio ácido.

Posteriormente à discussão da amostra simulada, uma amostra

sólida real de composição desconhecida foi analisada pelos alunos. Essa amostra foi preparada por meio da mistura de dois ou três sais constituídos pelos cátions e ânions até então estudados. Ao final dessa atividade, os resultados obtidos foram apresentados e confrontados com a composição original da amostra. Um relatório foi solicitado e deveria conter o procedimento utilizado e a justificativa para eventuais erros na identificação. Na avaliação do relatório considerou-se o índice de acerto nas análises e, principalmente, a argumentação do aluno sobre possíveis causas que levaram a uma interpretação equivocada do resultado.

A partir de 2004, a análise de liga odontológica como amostra desconhecida passou a constituir uma atividade da disciplina. A liga utilizada continha Ag, Hg, Sn, Cu e Zn e foi obtida na Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto (FORP/USP). Por possuir em sua composição metais dos grupos IV e V, foi possível substituir o estudo sistemático desses grupos pela análise dessa liga. Essa atividade, além de ser mais motivadora para os alunos, permitiu abordar a solubilização de uma liga metálica, bem como a separação de cátions dos grupos III, IV e V. Como os alunos desconheciam a composição da liga metálica, a separação sistemática dos cátions de cada um desses grupos foi realizada para que os pudessem ser identificados. O esquema para a análise dessa liga é apresentado na Figura 2.

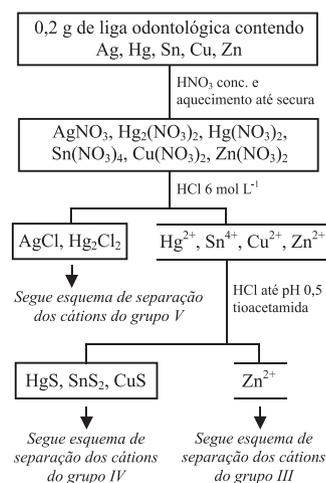


Figura 2. Procedimento para a análise da liga odontológica constituída por Ag, Hg, Sn, Cu e Zn

Com a reestruturação da disciplina, procurou-se também monitorar continuamente o processo de ensino-aprendizagem por meio de avaliações periódicas curtas. Assim, após a discussão dos experimentos era aplicada prova contendo uma ou duas questões sobre o assunto discutido. Essas avaliações permitiram acompanhar o desempenho dos alunos, possibilitando dar maior atenção aos assuntos em que eles apresentaram maior dificuldade de compreensão.

Modificações introduzidas na disciplina Química Analítica Qualitativa quando oferecida aos alunos do curso de Licenciatura em Química

O Conselho Nacional de Educação (CNE) instituiu as diretrizes curriculares para formação de professores, as quais estabelecem que os cursos de licenciatura devem garantir em seus projetos pedagógicos os seguintes componentes e suas respectivas durações mínimas: prática como componente curricular (400 h), estágio curricular supervisionado (400 h), conteúdos curriculares de natureza científico-cultural (1800 h) e atividades acadêmico-científico-culturais

(200 h). As atividades relacionadas à “prática como componente curricular” (PC) devem ser entendidas como aquelas ligadas à formação profissional, inclusive as de natureza acadêmica, que se voltam para a compreensão das práticas educativas e de aspectos variados da cultura das instituições educacionais e suas relações com a sociedade e com as áreas de conhecimento específico¹⁶.

Em 2004, o projeto pedagógico do curso de licenciatura em Química da FFCLRP/USP foi reformulado de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo CNE¹⁶. Nesse projeto, as horas de PCC foram alocadas nas disciplinas específicas de química e nas disciplinas pedagógicas. Essa distribuição foi feita com intuito de propiciar uma articulação entre os conteúdos específicos e sua relevância na formação de professores.

Visando introduzir a PC na disciplina Química Analítica Qualitativa, em 2004, foi proposta uma atividade intitulada “A Química do Celobar[®]”. O Celobar[®] era um medicamento produzido pelo laboratório ENILA, utilizado como contraste radiológico e que tinha como princípio ativo BaSO_4 . Em 2003, esse medicamento provocou a morte de dezenas de pessoas. As mortes ocorreram porque o laboratório responsável por sua fabricação tentou produzir BaSO_4 a partir do BaCO_3 . Este é solúvel em meio ácido como o do estômago e, quando ingerido, disponibiliza o íon Ba^{2+} no organismo. Esse íon é potencialmente tóxico por competir pelos canais de K^+ e provocar hipocalcemia¹⁷ (deficiência de K^+). Provavelmente, a conversão de BaCO_3 em BaSO_4 não foi completa e a purificação do produto obtido foi inadequada, fazendo com que a quantidade de BaCO_3 no contraste fosse suficiente para provocar mortes. Diante desse contexto, as atividades desenvolvidas com os alunos foram:

- Leitura e discussão de textos - foram formados grupos de alunos. Cada grupo recebeu um texto pré-selecionado sobre o Celobar[®] para ler, discutir e posteriormente apresentar aos demais alunos. Esses textos foram retirados de jornais¹⁸ e da internet¹⁹.
- Formulação de hipóteses - após as apresentações, os grupos se reuniram novamente para formular uma hipótese que explicasse, do ponto de vista químico, a causa dos problemas relacionados ao Celobar[®]. As respostas foram esquematizadas em cartazes.
- Levantamento de conteúdos relacionados à química do Celobar[®]: Atualmente, na área de educação, fala-se muito em mapas conceituais. Estes são diagramas que indicam relações entre conceitos e podem seguir um modelo hierárquico partindo-se de conceitos mais abrangentes a conceitos mais específicos^{20,21}. Essa distribuição é uma ferramenta importante, principalmente para o professor do Ensino Médio, pois possibilita que os alunos obtenham o conhecimento em uma seqüência adequada, que resulte em uma aprendizagem significativa. Acreditando que, nos cursos de licenciatura, as disciplinas devam propiciar, além de atividades relacionadas à formação específica, atividades que contribuam para a formação docente, foi realizado, juntamente com os alunos, um levantamento de assuntos relacionados à química do Celobar[®] e que poderiam ser trabalhados no Ensino Médio a partir desse contexto. Na Figura 3 é apresentado o diagrama elaborado. Nesse momento não foi dada muita ênfase à relação e à seqüência dos conteúdos, deixando para outras disciplinas, em especial da área pedagógica, retomar esse assunto.
- Discussão - nessa etapa foram discutidas questões relacionadas à química do Celobar[®] e sobre a abordagem de temas do cotidiano no Ensino Médio;
- Avaliação da atividade e proposição de situações problemas associadas aos conteúdos de Química Analítica Qualitativa - individualmente, cada aluno fez uma avaliação da atividade, por escrito, enfatizando o que pensava sobre o desenvolvi-

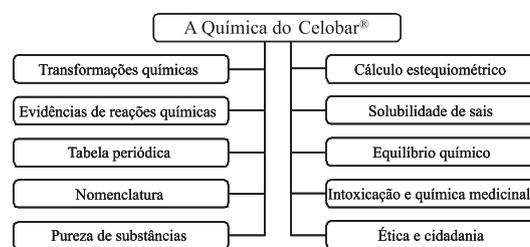


Figura 3. Conteúdos de Química que poderiam ser abordados no Ensino Médio a partir do tema “Celobar[®]”

to de atividades similares no Ensino Superior e Médio. Os conteúdos químicos abordados na disciplina foram associados a situações cotidianas, que poderiam constituir pontos de partida para contextualização da Química no Ensino Médio.

Essa atividade permitiu abordar conteúdos químicos como a solubilidade de carbonatos em solução aquosa e em solução ácida, a resolução de problemas por balanceamento de carga e massa, a toxicidade do Ba^{2+} , entre outros. Além disso, foi possível promover discussões sobre ética, qualidade de vida e sobre as aplicações e implicações do conhecimento científico na sociedade.

CONCLUSÕES

A redução da carga horária da disciplina Química Analítica Qualitativa no DQ-FFCLRP/USP, inicialmente considerada um problema, mostrou-se positiva por ter propiciado reflexões e discussões que levaram a sua reestruturação, contemplando a formação de um profissional mais responsável e crítico. No curso de Licenciatura em Química, ainda foi possível inserir uma atividade relacionada à PC, como recomendado pelas diretrizes estabelecidas no CNE para os cursos de formação de professores.

Apesar dos benefícios alcançados com as modificações introduzidas, a disciplina vem sendo constantemente revisada e reflexões apontam novos problemas e desafios. Nos últimos anos, percebeu-se que é necessário destinar mais tempo para a discussão dos resultados das amostras e dos relatórios. As avaliações periódicas permitiram identificar as deficiências dos alunos e tornaram-se uma ferramenta importante, tanto para o aluno quanto para o professor. No entanto, é necessário encontrar estratégias para que essas avaliações possam ser realizadas e corrigidas em um período menor, a tempo de sanar falhas e tornar o processo de aprendizagem mais eficaz.

A Química Analítica Qualitativa é uma disciplina tradicionalmente presente em grande parte dos currículos no Brasil, provavelmente pelo fato de demandar pouco recurso econômico. Possui um papel pedagógico relevante na formação do químico e, quando explorada de forma adequada, possibilita ao aluno adquirir uma noção global qualitativa de como e porque os íons interagem, tornando-o capaz de analisar, compreender e até mesmo intervir, caso necessário, nas transformações químicas.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP e ao CNPq pelas bolsas concedidas e ao Prof. Dr. O. A. Serra por ter disponibilizado a bibliografia referente à escola de Rheinboldt.

REFERÊNCIAS

- Mathias, S.; “Cem anos de Química no Brasil”, texto publicado no Suplemento do Centenário, n. 6, do jornal “O Estado de São Paulo”, em 8 de fevereiro de 1975.

2. Entrevista do Prof. Ernesto Giesbrecht à Revista *Estudos Avançados* **1994**, 22, 115.
3. Rheinboldt, H.; "Orientação do Ensino da Química", Separata do Anuário da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 1934-1935.
4. Rheinboldt, H.; *Ciência e Cultura* **1951**, III, 125.
5. Senise, P. E. A.; *Quím. Nova* **1982**, 5, 137.
6. Baccan, N.; Aleixo, L. M.; Stein, E.; Godinho, O. E. S.; *Introdução à Semimicroanálise Qualitativa*, 7ª ed., Ed. UNICAMP: Campinas, 1997.
7. Vogel, A. I.; *Química Analítica Qualitativa*, 5ª ed., Mestre Jou: São Paulo, 1981; Svehla, G.; *Vogel's Qualitative Inorganic Analysis*, 7th ed., Longman: England, 1996.
8. Alexéiev, V. N.; *Semimicroanálisis Químico Cualitativo*, Editorial Mir Moscú: URSS, 1975.
9. Taube, H.; *Chem. Eng. News* **1984**, 62, 32.
10. Fresenius, K. R.; *Traité d'Analyse Chimique Qualitative*, 6^{me} ed., Ed. Françoise: Paris, 1879.
11. Moeller, T.; O'Connor, R.; *Ions in Aqueous Systems: An Introduction to Chemical Equilibrium and Solution Chemistry*, McGraw-Hill: USA, 1972.
12. Curtman, L. J.; *Análisis Químico Cualitativo*, Manuel Marin y Cía: Espanha, 1959.
13. Zucco, C.; Pessine, F. B. T.; Andrade, J. B.; *Quím. Nova* **1999**, 22, 454; Andrade, J. B.; Cadore, S.; Vieira, P. C.; Zucco, C.; Pinto, A. C.; *Quím. Nova* **2004**, 27, 358.
14. Ferreira, A. D. Q.; *Quím. Nova* **2002**, 25, 572.
15. Jardim, W. F.; *Quím. Nova* **1998**, 21, 671; de Abreu, D. G.; Iamamoto, Y.; *Quím. Nova* **2003**, 26, 582.
16. Conselho Nacional de Educação (CNE). Resoluções CNE/CP 1/2002 e CNE/CP 2/2002. *Diário Oficial da União*, Brasília, 4/03/2002, Seção 1, p. 8-9.
17. Bradberry, S. M.; Vale, J. A.; *J. Toxicol. - Clinical Toxicology* **1995**, 33, 295.
18. *Folha de São Paulo*, Caderno Folha Ribeirão do Jornal 10/6/2003.
19. http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/boletim_eletronico_03_ano03.pdf; http://www.terra.com.br/istoedinheiro/303/negocios/303_ele_envenenou_industria.htm; <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u76538.shtml>; <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u77730.shtml>, acessadas em Junho 2004.
20. Tavares, R.; Luna, G.; *I Colóquio Internacional de Políticas Curriculares*, João Pessoa, Brasil, 2003 (<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/CIPC-I.pdf>, acessada em Agosto 2005).
21. <http://penta2.ufrgs.br/edutools/mapasconceituais/>, acessada em Agosto 2005.