

AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM DISCIPLINAS DE QUÍMICA ORGÂNICA E INORGÂNICA E PROPOSTAS DE REDUÇÃO

ASSESSMENT OF WASTE GENERATION IN ORGANIC AND INORGANIC CHEMISTRY DISCIPLINES AND REDUCTION PROPOSALS

Ricardo Barbosa

Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba (PR), Brasil.

Valma Martins Barbosa

Doutora em Química (Físico-Química) pela Universidade de São Paulo (USP). Professora da UTFPR – Curitiba (PR), Brasil.

Erika Pereira Felix

Doutora em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Professora Adjunta II da UTFPR – Curitiba (PR), Brasil.

Endereço para correspondência:

Ricardo Barbosa – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – 81280-340 – Curitiba (PR), Brasil – E-mail: ricardobarbosa@yahoo.com

RESUMO

Foi realizada pesquisa sobre a atual situação da geração de resíduos nos laboratórios do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Inicialmente, foram selecionados para realização do estudo os laboratórios de ensino nos quais se realizavam as aulas práticas das disciplinas do curso de Química. Observou-se maior geração de resíduos nos laboratórios de Química Orgânica e Inorgânica. Os roteiros de aulas práticas dessas disciplinas foram analisados, sendo posteriormente propostas alterações para eliminar a geração de resíduos contendo chumbo, bário, acetato de etila e clorofórmio. Roteiros modificados contendo as alterações propostas foram elaborados e analisados pelos docentes das disciplinas, testados em laboratório e aplicados em uma aula prática. Os resultados obtidos, a avaliação dos docentes e a percepção dos alunos apontaram para a possibilidade da efetiva aplicação dos novos roteiros, sem causar prejuízo didático às aulas e ao aprendizado dos alunos.

Palavras-chave: prevenção à poluição; resíduos; química verde; gerenciamento de resíduos de laboratório.

ABSTRACT

This research was about the current situation of residue generation at the laboratories of the Academic Department of Chemistry and Biology, Federal Technological University of Paraná, Brazil. At first, we selected the teaching laboratories in which the Chemistry's practical classes were taken. The results showed that the Organic and Inorganic Chemistry laboratories were responsible for most of the residue generation. An analysis of practical methods of these particularly subjects was done, and then, changes on how to eliminate residue generation containing lead, barium, ethyl acetate and chloroform were proposed. New methods with all the proposed changes were designed, analyzed by the teachers, tested in laboratories, and then applied in practical class. The results, teacher's evaluation and student's perception lead to the possibility of an effective implementation of the proposed amendments, without causing any harm to didactic teaching and learning.

Keywords: pollution prevention; waste; green chemistry; laboratory waste management.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um dos maiores desafios da humanidade. Promover o desenvolvimento social e econômico, respeitando os limites da preservação e da conservação ambiental, tornou-se ponto central a ser considerado para a maioria das atividades antrópicas, que em maior ou menor grau sejam potencialmente poluidoras, havendo a necessidade premente de mecanismos e instrumentos de controle e prevenção à poluição.

No Brasil, existe uma tendência em se considerar como impactantes os resíduos gerados em grandes quantidades, estando esses sujeitos a maior rigor e frequência de fiscalização por parte dos órgãos competentes, enquanto os pequenos geradores, como laboratórios, clínicas, estabelecimentos comerciais, instituições de ensino e áreas de lazer são considerados menos impactantes e raramente são fiscalizados (SASSIOTO, 2005).

Historicamente, a legislação ambiental brasileira vem sendo aprimorada a partir da criação da Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938 (BRASIL, 1981), e a consciência sobre as ações de gestão, gerenciamento e planejamento é fruto de uma evolução da postura dos cidadãos sobre os danos causados ao ambiente (SANTOS *et al.*, 2012). Pelo princípio da responsabilidade objetiva, o gerador do resíduo é responsável por ele; e para que um potencial poluidor seja penalizado, basta que exista o nexo entre a causa

e o efeito, entre a atividade e o dano (MARQUES; LEAL, 2008). Desse modo, as instituições de ensino, cujas práticas realizadas nos laboratórios contribuem para o lançamento, no ambiente, de uma grande quantidade de resíduos, podem ser responsáveis por possíveis danos ambientais (DEMAMAN *et al.*, 2004). No Brasil, em 2010, foi instituída a Lei nº 12.305, que introduziu o conceito da responsabilidade compartilhada dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e cidadãos sobre os resíduos gerados, e reitera a necessidade da prevenção e da redução na geração de resíduos; além disso, propõe hábitos de consumo sustentável, reciclagem, reutilização dos resíduos e destinação adequada para rejeitos (BRASIL, 2010; COLARES; MATIAS, 2013).

Instituições de ensino em química são geradoras de resíduos devido à manipulação de produtos químicos variados em laboratórios didáticos e de pesquisa, sendo que devem ter comprometimento sobre o gerenciamento adequado dos mesmos, cabendo a elas não negligenciar essa responsabilidade e, sim, propor soluções que contemplem suas particularidades e aplicá-las de acordo com sua realidade. É papel da universidade, além de desenvolver tecnologias inovadoras, também formar cidadãos e profissionais conscientes e responsáveis, visando às boas práticas na condução de processos químicos (MICARONI, 2002).

Química Verde como prática de ensino da Química

A preocupação com o ambiente promoveu, no início dos anos 1990, o surgimento dos princípios reunidos sob o termo “Química Verde”, que apontam para uma prática sustentável da Química Tecnológica. Dentre seus aspectos fundamentais estão o consumo mínimo de materiais e energia, bem como o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a consequente geração de substâncias perigosas. Esses aspectos vêm reforçar a necessidade de incluir novos conceitos na formação acadêmica dos cursos de química, visando a práticas menos poluentes. Dentre os 12 princípios básicos da Química Verde, destaca-se o primeiro, que visa à prevenção da poluição na fonte, enquanto os princípios de dois a cinco enfocam a importância do planejamento dos métodos, objetivando o máximo da eficiência

das reações químicas, com economia de reagentes e de substâncias auxiliares, como solventes e agentes de separação. O último princípio enfoca a importância de minimizar os riscos e o potencial de acidentes químicos (MANAHAM, 2013). Aplicar na realidade dos cursos de química os conceitos da Química Verde exige esforços que devem ser criativos, pois a grande diversidade de resíduos gerados faz com que soluções tradicionais dificilmente obtenham sucesso (MICARONI, 2002).

Devido à geração de produtos perigosos, uma aula experimental de química é uma atividade potencialmente poluidora e cabe às instituições de ensino conhecer os riscos envolvidos e planejar suas aulas de modo a minimizar esse potencial poluidor. No passado, a maior parte dos profissionais da química não foi prepara-

da para lidar com o problema de geração de resíduos (BENDASSOLLI *et al.*, 2003). Nesse sentido, o momento da aula é fundamental para o exercício da educação ambiental e para refletir sobre postura e responsabilidade profissional (LAUDEANO *et al.*, 2011). A partir da promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Básica (Lei nº 9.394; BRASIL, 1996), das Diretrizes Curriculares Nacionais elaboradas pela Secretaria da Educação Superior do Ministério da Educação (BRASIL, 2001), e da Lei da Educação Ambiental (Lei nº 9.795; BRASIL, 1999), diversas universidades incorporaram disciplinas relacionadas com a temática em seus cursos de bacharelado e licenciatura em química (PEREIRA

et al., 2009). Atualmente, muitos cursos de química nas diversas universidades brasileiras apresentam em seus currículos a disciplina de química ambiental, bem como outras dentro da mesma temática (PRADO, 2003). Podem ser citados, como exemplos, os cursos de química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), que apresentam em seus currículos disciplinas sobre o referido tema e de caráter obrigatório, como: Química Ambiental; Tratamento de Resíduos Industriais; Poluição Ambiental; e Tratamento de Águas Residuárias.

Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de instituições de ensino

A implantação de programas de gerenciamento de resíduos em universidades públicas enfrenta dificuldades devido a vários problemas, a começar pela aquisição de materiais de laboratório, que é comumente feita pelos

departamentos administrativos por meio de procedimentos de licitação, o que frequentemente dificulta o planejamento das compras, influenciando na flexibilização quanto à qualidade e à quantidade dos produtos, implicando, por vezes, em reagentes que ficam por anos armazenados devido a alterações de suas propriedades físico-químicas e acabam, assim, tornando-se resíduos (MICARONI, 2002). Concomitantemente, faltam interesse, conhecimento, consciência e a cultura de uma gestão responsável pelos resíduos, por parte dos professores, funcionários e, conseqüentemente, dos alunos (SASSIOTO, 2005). Falta também um planejamento estratégico bem direcionado, metas estipuladas e ferramentas de execução capazes de atingir os objetivos esperados: “a implementação de um programa de gerenciamento de resíduos, é fundamentalmente uma mudança de atitude perante as práticas tradicionalmente utilizadas” (JARDIM, 1998, p. 671).

Laboratórios de ensino e pesquisa geram resíduos em pequenas quantidades quando comparados às indústrias, mas de grande diversidade, complexidade e com vários níveis de toxicidade, necessitando tratamentos específicos (MISTURA *et al.*, 2010). Dentro desse contexto, pesquisas vêm sendo feitas visando instituir sistemas de gerenciamento de resíduos em laboratórios, de modo a minimizar sua geração, bem como tratá-los adequadamente antes de seu lançamento no meio.

No entanto, são necessários mais esforços no tocante às mudanças nos procedimentos experimentais e metodologias, com vistas à não geração de resíduos (MICARONI, 2002).

Para este trabalho, foi realizado um estudo de caso no qual, a princípio, fez-se um levantamento sobre a geração de resíduos no Departamento Acadêmico de Química e Biologia da UTFPR (DAQBi/UTFPR), *campus* Curitiba. O estudo foi de caráter qualitativo e descritivo, no qual algumas aulas práticas foram acompanhadas e tiveram a geração de resíduos detalhadamente registrada, de forma a contribuir para um melhor conhecimento das fontes geradoras. A partir de então foi possível propor e aplicar medidas de caráter simples no tocante à redução da geração de resíduos, por meio de alterações nos roteiros dos procedimentos experimentais, que foram avaliadas pelos docentes das disciplinas e, depois, testadas.

Embora medidas de prevenção da poluição em aulas práticas de laboratório sejam relativamente simples de serem realizadas e conhecidas, tradicionalmente não são efetivamente aplicadas. No entanto, o sucesso de qualquer programa de gerenciamento de resíduos de laboratório em instituições de ensino depende fundamentalmente da redução da geração da poluição. Ainda que tais medidas possam parecer pequenas em um primeiro momento, ao longo do tempo podem ter grandes efeitos sobre os resultados desses programas.

Espera-se que esta pesquisa possa contribuir para estudos que busquem soluções para a aplicação dos princípios da Química Verde nas aulas práticas, fortalecendo e realimentando o gerenciamento de resíduos laboratoriais, visando à melhoria contínua.

OBJETIVOS

Avaliar a geração de resíduos nas aulas práticas das disciplinas de Química Orgânica e Inorgânica, do DAQBi/UTFPR, *campus* Curitiba, e propor medidas para sua redução.

Identificar os resíduos prioritários nos laboratórios selecionados e cuja geração necessite ser reduzida.

Elaborar e avaliar os roteiros para os procedimentos experimentais modificados e verificar comparativamente os efeitos das modificações sobre a geração de resíduos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Levantamento dos resíduos gerados nos laboratórios

No DAQBi/UTFPR, durante as aulas nos laboratórios de ensino, os professores orientam os alunos sobre o descarte e o armazenamento dos resíduos, porém não há um padrão de recipientes e o sistema de rotulagem existente nem sempre é utilizado, o que dificulta o levantamento preciso dos dados. Os resíduos são encaminhados para o almoxarifado, que é responsável pela destinação final, cujo recolhimento é feito por empresa terceirizada. Sendo assim, o trabalho teve início no levantamento de dados junto ao almoxarifado, verificando a tipologia e a quantidade dos resíduos gerados nos laboratórios, no período compreendido entre outubro de 2012 e agosto de 2014. Na sequência, foram verificadas as situações de instalação e uso dos laboratórios e as atividades exercidas em cada um (ensino ou pesquisa). Além disso, foram feitas entrevistas com professores e funcionários, e junto ao sistema acadêmico foram avaliados os planos de ensino das disciplinas que contemplavam aulas práticas. Com base nesse levantamento, verificou-se que os laboratórios que geravam resíduos em maior quantidade e periculosidade estavam vinculados a disciplinas com maior número de alunos e aulas práticas. Com base na carga horária de aulas práticas, média de alunos matriculados por semestre e quantidade de resíduos enviados ao almoxarifado, as

disciplinas Química Inorgânica e Práticas de Química Orgânica foram selecionadas para acompanhamento *in loco* das aulas.

Para os professores dessas disciplinas, foi apresentado o escopo da pesquisa e a metodologia de execução, dando início à fase de acompanhamento das aulas. O professor enviava por correio eletrônico o roteiro do procedimento experimental e, dessa forma, fazia-se o levantamento das reações químicas envolvidas e avaliava-se os possíveis resíduos gerados em cada etapa da aula. Para o recolhimento dos resíduos, recipientes identificados foram utilizados e colocados em local onde não houvesse interferência no uso do laboratório, de modo a causar o mínimo impacto na aula.

No início da aula, com permissão do professor, foram explicados aos alunos o escopo e os objetivos da pesquisa, sendo solicitado aos mesmos que não descartassem nenhum resíduo antes que fosse feito seu recolhimento e quantificação. Na sequência, os resíduos recolhidos ao final da aula eram entregues ao professor, para que fosse feito o encaminhamento ao almoxarifado. Os dados obtidos foram compilados em planilhas eletrônicas para posterior análise.

Classificação dos resíduos gerados e seleção das prioridades de modificação

Os resíduos químicos foram classificados como perigosos ou não perigosos de acordo com os critérios da norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), anexos C (substâncias que conferem periculosidade aos resíduos), D (substâncias agudamente tóxicas) e E (substâncias tóxicas). Foram identificados os resíduos químicos cujo lançamento está previsto nos padrões de lançamento de efluentes, de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio

Ambiente (CONAMA) nº 430 (BRASIL, 2011). Em seguida, foram considerados os riscos potenciais relacionados em função das suas periculosidade e toxicidade, tendo sido também analisada a viabilidade de alteração nos procedimentos experimentais que os originam. Assim, foram propostos métodos experimentais alternativos que possibilitassem a redução da geração de resíduos, porém sem prejuízo ao caráter didático da aula.

Elaboração dos novos roteiros visando à minimização de resíduos

Para auxiliar na elaboração dos novos roteiros, os procedimentos adotados foram comparados com experimentos semelhantes das mesmas disciplinas lecionadas em cursos de química de outras universidades, que não fizessem uso de substâncias perigosas ou tóxicas e nas quais já tivessem sido aplicadas propostas de redução da geração de resíduos perigosos. Foram utilizadas apostilas de aulas práticas da Universidade Federal de Minas Gerais (AYALA; BELLIS, 2003), Universidade Federal de São Carlos (SCHALCH *et al.*, 2005), Universidade Federal de Santa Maria (SILVEIRA; MENDES, 2008) e UFPR (LORDELO; OLIVEIRA, 2009). Os roteiros das disciplinas selecionadas foram analisados e modificados, sendo mantidos o título, os objetivos, o conteúdo abor-

dado e a fundamentação teórica, de modo a preservar a sua estrutura.

As mudanças propostas foram feitas com foco na prevenção e na redução, ao mínimo possível, da quantidade e diversidade de reagentes utilizados, na redução do volume e quantidade de vidrarias necessárias. Foram acrescentados dois novos itens: responsabilidade ambiental e tratamento dos resíduos gerados. O primeiro item foi apresentado em forma de um pequeno texto, no qual foram abordadas medidas de educação ambiental direcionadas para a não geração de resíduos. O segundo item, acrescentado como mais uma etapa da metodologia de análise, foi baseado no Programa de Gerenciamento de Resíduos Laboratoriais iniciado em 2004 no DAQBi (BARBOSA *et al.*, 2009).

Realização dos testes experimentais e aplicação em aula

Primeiramente foram realizados testes executando o roteiro tradicional e em paralelo, o roteiro modificado; assim, verificava-se a eficácia da intervenção e se o objetivo da aula prática era atingido ou não. Após testados os roteiros, os resultados foram apresentados e discutidos com os docentes responsáveis pelas disciplinas, assim como a possibilidade

de aplicação em aula. Para isso, foram explicados os objetivos da pesquisa também aos alunos que realizaram o roteiro tradicional. Ao final da execução dos dois procedimentos, os alunos apresentaram suas impressões, questionamentos e o que esta pesquisa acrescentou ao seu aprendizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levantamento dos resíduos gerados nos laboratórios

Durante o período estudado, o almoxarifado registrou quatro recolhimentos de resíduos, com frequência irregular, sendo possível observar um aumento nas suas quantidades. Em outubro de 2012, foi registrado o recolhimento de 92,5 kg de resíduos acumulados desde janeiro, sendo importante informar que nesse ano, no período compreendido entre maio e setembro, as aulas estavam suspensas devido à greve dos professores das universidades federais. Nesse ano, o almoxarifado do DAQBi recebeu também resíduos dos laboratórios do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC). Em março de 2013, foram recolhidos 105 kg de resíduos; em outubro do mesmo ano, 299,5 kg. Em agosto de 2014, o setor de almoxarifado registrou o recebimento de 888,6 kg de resíduos, que foram encaminhados à destinação final. Esse aumento foi atribuído ao recebimento de amostras de efluentes indus-

triais a serem usados para pesquisa e aulas práticas da disciplina Tratamento de Águas Residuárias, no laboratório de Tratamento de Águas Residuárias.

O laboratório de Química Inorgânica enviou ao almoxarifado, em 2012, 15,0 kg de resíduos e, em agosto de 2014, 49,0 kg. O de Química Orgânica, por sua vez, enviou 15,0 kg em 2012 e não há registro de envio em agosto de 2014. Percebeu-se, pela análise dos documentos, uma inconsistência de dados, provavelmente causada pela falta de um sistema oficial de registro com critérios precisos. Há registro de envio de resíduos por determinados laboratórios em um período, mas não em outros. Em alguns casos, o resíduo enviado é identificado pelo nome do professor — e até mesmo do estagiário — que o enviou. Em outros, é identificado pela atividade gera-

dora, sem referenciar em que laboratório a mesma foi executada, o que ressalta a necessidade de estudos mais detalhados visando ajustes nesse gerenciamento. A Tabela 1 apresenta as quantidades de resíduos gerados pelos laboratórios no início e no

final do período de coleta de dados, respectivamente, outubro de 2012 e agosto de 2014. A análise dos dados permite verificar não apenas um grande aumento nas quantidades geradas, mas também uma grande diversificação das fontes geradoras.

Definição das disciplinas para realização do trabalho

O estudo centrou-se nos laboratórios de ensino por serem frequentados por um número maior de alunos e as aulas serem executadas rotineiramente em todos os semestres, uma ou duas vezes por semana, sendo que apenas alunos e professores envolvidos em projetos fazem uso dos laboratórios de pesquisa. Essa escolha está de acordo com pesquisas que apontam que um programa de gerenciamento de resíduos deve começar enfocando primeiramente os resíduos gerados nas atividades de ensino, pois podem ser mais facilmente

caracterizados, inventariados e gerenciados (JARDIM, 1998). Além disso, o ensino tem um efeito multiplicador na divulgação das propostas adotadas e contribui para a formação de profissionais mais conscientes com relação ao tratamento e à disposição de resíduos tóxicos (MICARONI, 2002). Dentre os laboratórios de ensino, os de química analítica, química básica, físico-química, química inorgânica e química orgânica se destacaram, pois, além de atenderem disciplinas que consolidam áreas de conhecimento fundamentais do curso

Tabela 1 – Quantidade de resíduos gerados (em kg) pelos laboratórios, em outubro de 2012 e agosto de 2014.

Laboratório	Quantidade de resíduos gerados (kg)	
	Outubro 2012	Agosto 2014
Química Orgânica	15,0	Sem registro
Química Inorgânica 1	2,0	18,0
Química Inorgânica 2	15,0	49,0
Ecotoxicologia	11,0	Sem registro
Limnologia	11,0	21,5
Biotecnologia	10,0	Sem registro
Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC)	10,0	Sem registro
Química Analítica	6,5	25,0
Almoxarifado	12,0	28,3
Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias	Fora de atividade	520,0
Laboratório de Químico/Biotecnologia de Biomassar	Fora de atividade	60,0
Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa em Tecnologia Ambiental	Fora de atividade	10,0
Laboratório de Estudos Avançados em Química Ambiental	Fora de atividade	10,0
Grupo de Pesquisa em Tecnologia	Fora de atividade	140,0
Laboratório de Tratamento e Potabilização da Água	Fora de atividade	6,8
Total	92,5	888,6

Fonte: Almoxarifado do DAQBi/UTFPR.

de química, são aqueles nos quais foram ministradas aulas práticas com maior frequência. Esses laboratórios fundamentalmente existem para atender às aulas específicas dessas disciplinas, cujas atividades práticas constam como itens obrigatórios curriculares. Desse modo, há um constante número de alunos fazendo uso dos mesmos e as informações levantadas apresentam maior uniformidade e consistência. A Tabela 2 apresenta o número médio de alunos matriculados nos quatro semestres de 2013 e 2014, e a carga horária de aulas práticas nessas disciplinas.

A disciplina Química Básica, na qual há a maior média de alunos matriculados, tem suas aulas práticas realizadas no laboratório de química geral, que atende também a outros cursos, como os de engenharia. Essa é uma disciplina do início de curso, cujas práticas comumente envolvem soluções diluídas e substâncias de baixa toxicidade. Em relação ao laboratório de físico-química, segundo informações dos professores, há poucos resíduos gerados e, além disso, as soluções diluídas comumente utilizadas nas práticas são reutilizadas em experimentos da Química Básica. No laboratório de química analítica, tradicionalmente grande gerador de resíduos (MICARONI, 2002), foram aplicadas pelos professores técnicas de trabalho em semimicro escala, o que reduziu a geração, quando comparada ao que seria gerado em macroescala. Adicionalmente, procedimentos envolvendo cátions mercúrio, cádmio, dentre outros, comuns nas práticas dessa disciplina, já foram retirados por causa da toxicidade dos resíduos perigosos gerados. As disciplinas Química Inorgânica e Práticas de Química Orgânica, por sua média de alunos matriculados, carga horária de aulas práticas, quanti-

dade e tipos de resíduos gerados, mostraram-se fontes importantes de resíduos. Outro fator decisivo para a seleção dessas disciplinas está relacionado à possibilidade de aplicar, com maior sucesso, modificações simples e imediatas nos procedimentos experimentais (GERBASE *et al.*, 2006; ALECRIM *et al.*, 2007). Nesse sentido, foi feito o acompanhamento das aulas práticas de ambas as disciplinas.

Nas aulas de química inorgânica eram feitos ensaios para verificar as propriedades e características dos elementos de uma família da tabela periódica, por meio da realização de reações químicas com substâncias contendo esses elementos. Durante o acompanhamento das aulas, observou-se o uso de um número muito grande de reagentes e soluções, pois os experimentos são efetuados em várias etapas, nas quais são executadas muitas reações químicas, às vezes repetidas, para se observar o mesmo fenômeno, variando-se os reagentes.

As aulas de química orgânica têm como objetivo geral realizar sínteses orgânicas, observar e estudar as propriedades físico-químicas dos compostos, seguidas de técnicas de destilação e filtração. As reações aconteciam de forma relativamente rápida, sendo dedicada grande parte do tempo às etapas de separação e purificação dos componentes. Assim sendo, observou-se uma menor diversidade de resíduos gerados. Além disso, era necessário que a substância a ser sintetizada fosse gerada em quantidade suficiente para as etapas posteriores de purificação e testes de identificação, o que tornava mais difícil reduzir as quantidades de reagentes utilizados. Isso foi confirmado pelos rendimentos

Tabela 2 – Média de alunos matriculados e carga horária de aulas práticas das disciplinas listadas nos semestres de 2013/1 a 2014/2.

Disciplina	Carga horária de aulas práticas (hora-aula)	Média de alunos matriculados por semestre
Química Básica	34	54,5
Química Inorgânica	34	42,7
Química Analítica I	34	40,5
Práticas de Físico-química	68	26,5
Química Analítica II	68	25,8
Práticas de Química Orgânica	68	23,3

Fonte: Secretaria do DAQBi/UTFPR.

calculados das reações, apresentados nos relatórios dos alunos, que em média atingem 50%. Esses baixos rendimentos resultam em quantidades significativas de reagentes (que não reagem) e produtos indesejados, que não podem ser reutilizados de maneira direta.

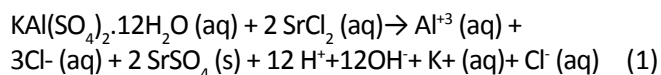
Com base na NBR 10.004 (ABNT, 2004), identificaram-se como resíduos perigosos gerados pelas au-

las da disciplina Química Inorgânica, as soluções contendo cátions bário — provenientes das aulas práticas 1, 2 e 3 — e chumbo — aulas práticas 3 e 4A —; pela disciplina Práticas de Química Orgânica, as soluções contendo acetato de etila — aula 2 — e clorofórmio e naftaleno — aula 3. Esses resíduos foram considerados prioritários para redução ou eliminação da sua geração.

Modificações propostas para os procedimentos experimentais geradores de resíduos perigosos

Eliminação da solução residual contendo Ba^{+2}

Na prática referente ao estudo dos metais alcalinos e alcalino terrosos, cujo objetivo era observar a formação de precipitados insolúveis, propôs-se a substituição do cloreto de bário por cloreto de estrôncio, pois em ambas as situações ocorre a formação dos respectivos precipitados de sulfato de bário e estrôncio ($K_{ps} = 1,1 \times 10^{-10}$ e $3,2 \times 10^{-7}$) e, embora o último tenha solubilidade maior, será possível a visualização do precipitado. A Equação 1 apresenta a reação entre o cloreto de estrôncio e o sulfato de alumínio hidratado, com formação de um precipitado branco (VOGEL, 1981):



Observou-se que a reação desse sal com o sulfato hidratado de alumínio e potássio ocorreu de forma semelhante, tendo sido observadas as mesmas evidências de reação, pela formação rápida de um precipitado branco e comprovando, assim, a possibilidade de substituir o cloreto de bário pelo de estrôncio. Desse modo, entende-se que a substituição pode ser feita sem causar nenhum prejuízo ao aprendizado do aluno, pois as evidências da reação foram muito semelhantes e indicaram a ocorrência da reação química esperada.

Para constatar a presença de dióxido de carbono expirado pela respiração e consequente formação de um precipitado insolúvel, usa-se uma solução de $Ba(OH)_2$ $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ em um tubo de ensaio, no qual o aluno sopra ar com o auxílio de uma pipeta. Nesse sentido, foi proposta uma solução de hidróxido de cálcio 1 mol.L^{-1} em substituição ao de bário, ($K_{ps} 4,5 \times 10^{-9}$ e 5×10^{-9} , respectivamente) que, de forma análoga, formaria o carbonato de cálcio, possibilitando assim a visualização

do precipitado e evitando o uso de solução contendo Ba^{+2} , conforme Equação 2 (VOGEL, 1981):



Houve formação de precipitado branco, evidenciando visualmente a ocorrência da reação em intervalo de tempo semelhante. Desse modo, mostrou-se que é possível deixar de gerar as soluções residuais contendo bário, evitando a formação desse resíduo perigoso.

Nas duas situações, a substituição do bário pelo estrôncio e pelo cálcio justificam-se no sentido de contribuir para a minimização da periculosidade dos reagentes e produtos, pois o bário e seus compostos são classificados como substâncias que conferem periculosidade aos resíduos pela norma brasileira de classificação de resíduos, NBR 10.004 (ABNT, 2004), enquanto os outros elementos, não. Adicionalmente, essa substituição vai ao encontro dos princípios 1, 3 e 12 da Química Verde (MANAHAM, 2013), que preconizam prevenção, sínteses menos perigosas e minimização dos riscos. O estrôncio (Sr) é um elemento químico do grupo dos metais alcalinos terrosos, que substitui o cálcio, de forma restrita, em minerais como plagioclásio, apatita e carbonato de cálcio. Apresenta quatro isótopos estáveis que ocorrem naturalmente — ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr , ^{88}Sr —, sendo que suas formas estáveis não são tóxicas para o ser humano. Está presente em águas naturais em quantidades variáveis (BORDALO *et al.*, 2007). Não são estabelecidos padrões de lançamento de compostos desse elemento pela resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), enquanto para o bário total, a mesma resolução estabelece o padrão de lançamento $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

Redução da geração das soluções residuais contendo cátions Pb^{+2}

As soluções residuais contendo íons chumbo Pb^{+2} são gerados nas aulas que visam determinar as propriedades dos compostos formados por elementos do grupo 14. Sua substituição justifica-se devido ao chumbo ser um dos mais preocupantes metais potencialmente tóxicos, pois é uma das espécies mais amplamente difundidas no ambiente. Não é degradável, embora possa ser transformado em formas insolúveis, sendo seu destino final normalmente os solos e sedimentos. Muitos organismos aquáticos são capazes de bioconcentrar metais pesados como o chumbo (BAIRD; CANN, 2011). Os seus compostos são classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como perigosos; e o acetato de chumbo, como tóxico.

Um dos objetivos da aula prática é o estudo da reatividade do chumbo e do estanho em relação ao zinco e ao cobre, em reações de oxidação-redução. Sugeriu-se que o uso do chumbo fosse eliminado e que apenas a reatividade do estanho fosse testada, uma vez que os potenciais padrão de redução são -0,13 e -0,14 V, respectivamente, não interferindo no objetivo a ser alcançado. Os resultados foram satisfatórios, mostrando ser possível a eliminação do uso do chumbo sem causar prejuízo ao aprendizado dos alunos. O teste foi realizado colocando-se pedaços dos três metais em cavidades de uma forma plástica, semelhantes a uma placa de toque. Em cada metal, foi gotejada separadamente a solução contendo o cátion bivalente para reação: cloreto de estanho II, sulfato de cobre e cloreto de zinco. Foi realizado o procedimento tradicional com o metal chumbo e as soluções de acetato de chumbo, cloreto de zinco e cloreto de estanho II. Em função do potencial de redução dos metais, em alguns casos foram observadas reações e em outros não, conforme apresentado na Tabela 3.

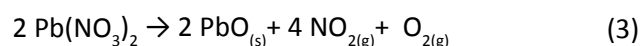
A segunda proposta de alteração foi em relação ao estudo da formação de hidróxidos insolúveis de estanho e chumbo, por meio da adição de hidróxido de sódio aos sais desses metais. Entendeu-se como possível a retirada da formação do hidróxido de chumbo, pois o fenômeno estudado — formação de hidróxidos insolúveis — já pôde ser observado em relação ao estanho. Pode -se inferir apenas citando em aula que com o chumbo, metal da mesma família, o processo ocorre-

rá de forma similar, pois o estanho apresenta muitas semelhanças químicas com o chumbo. São metais da mesma família, apresentam a mesma eletronegatividade, energias de ionização próximas e estabelecem, na maioria dos casos, os mesmos tipos de ligações químicas com outros átomos (LEE, 1999).

No estudo da formação de sais pouco solúveis, o acetato de chumbo é testado em relação aos ácidos clorídrico e sulfúrico, ao cromato de potássio, iodeto de potássio e fluoreto de sódio, com o objetivo de se observar a precipitação dos sais de chumbo formados. Mais uma vez, propôs-se que o estudo fosse feito com o estanho e não com chumbo, partindo-se de um sal de estanho. Adicionalmente, propôs-se que o teste fosse feito apenas com um dos ácidos e com um dos sais em que haja formação de sais insolúveis e outro em que não haja. Cabe ressaltar o primeiro e mais importante princípio da Química Verde: “prevenção: evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou limpá-lo após sua geração”.

No experimento em que é testada a formação de sais insolúveis, a formação de sais de estanho em substituição aos de chumbo se mostrou satisfatória, no entanto, requer modificações e estudos adicionais. A Tabela 4 apresenta as formações de precipitados observadas.

Para a verificação da reação de decomposição térmica de nitrato, 0,5 g de nitrato de potássio era colocado em um tubo de ensaio, que era posteriormente aquecido com o objetivo de que o aluno observasse a formação do óxido. O procedimento era então repetido para o nitrato de chumbo, ocorrendo a reação descrita na Equação 3 (ORIAKHI, 2009).



Uma vez que o fenômeno já foi observado com o primeiro sal, entendeu-se que a repetição com o nitrato de chumbo é desnecessária, sendo possível evitar a formação do óxido de chumbo e economizar o reagente. Ressaltando-se que o objetivo dessa etapa é observar a formação de óxidos, isso pode ser feito pelo aquecimento de outros nitratos, como o de cálcio. Há também a possibilidade de usar o nitrato de estanho

substituindo o de chumbo, pois o estanho é menos tóxico do que o chumbo e não consta na listagem de substâncias perigosas da NBR 10.004 (ABNT, 2004). O padrão de lançamento do estanho, de acordo com a Resolução CONAMA nº 430/11 é 4,0 mg.L⁻¹ enquanto o do chumbo é 0,5 mg.L⁻¹, indicativo de que seu efeito poluidor nos corpos aquáticos vem a ser menos danoso do que o do chumbo. Por outro lado, a substituição do chumbo por estanho põe em prática o terceiro princípio da Química Verde, que trata da geração de resíduos

Reutilização de acetato de etila, clorofórmio e naftaleno

O acetato de etila foi utilizado na aula cujo objetivo era testar a solubilidade dos compostos orgânicos. Como um éster, o acetato de etila (C₄H₈O₂) pertence à classe de solubilidade onde estão os álcoois, aldeídos, cetonas, nitrilas e amidas monofuncionais com cinco átomos de carbono ou menos (SILVEIRA; MENDES, 2008). Apesar de existirem muitos compostos orgânicos de mesma classe de solubilidade, não é possível que o mesmo seja facilmente substituído, pois, dentre os ésteres, o acetato de etila é o que apresenta menor toxicidade.

Enfatizando o princípio da prevenção, propôs-se que o acetato de etila fosse substituído por butanol, um álcool de mesma classe de solubilidade, menor toxicidade e não classificado como perigoso pela NBR 10.004 (ABNT, 2004). Os resultados alcançados seriam dife-

rentes, pois não seriam observadas as propriedades de solubilidade dos ésteres e sim dos álcoois. No entanto, ressalta-se que o objetivo da aula era observar a solubilidade de compostos orgânicos, o que seria possível. Considerando os ganhos em termos de prevenção à poluição e diminuição da exposição dos alunos a uma substância perigosa e o exemplo a ser dado, o objetivo da aula teria sido enriquecido, ainda que atingido parcialmente. Cabe, ainda, ressaltar novamente o primeiro princípio da Química Verde, que coloca a prevenção da geração de poluição como a mais importante prática a ser adotada.

Na aula de extração líquido-líquido, o clorofórmio era utilizado como solvente e o naftaleno como soluto, e esse seria recuperado nas etapas finais após evaporação do clorofórmio em capela. Mais uma vez, objetivando

Tabela 3 – Resultados dos testes de reatividade dos metais.

Metal/ Cátion	Sn ⁺² (aq)	Cu ⁺² (aq)	Zn ⁺² (aq)	Pb ⁺² (aq)
Sn	Não reage	Reage	Não reage	Não realizado
Zn	Reage	Reage	Não reage	Não realizado
Cu	Não reage	Não reage	Não reage	Não realizado

Tabela 4 – Formação de precipitado observada nos testes de comparação dos sais acetato de chumbo II e cloreto de estanho II, com os reagentes citados.

	Acetato de chumbo	Cloreto de estanho II
Dicromato de potássio	Precipitado amarelo intenso	Precipitado marrom
Iodeto de potássio	Precipitado amarelo	Não forma precipitado
Fluoreto de sódio	Forma precipitado branco	Forma precipitado branco

a prevenção da geração de resíduos e a eliminação do uso de substâncias tóxicas, sugeriu-se substituir o clorofórmio por hexano, um solvente que possibilita executar a prática atingindo os mesmos resultados, conforme consta no procedimento de extração simples da apostila experimental de química orgânica básica, do Departamento de Química da UFPR (LORDELO; OLIVEIRA, 2009). Quando comparados os dados toxicológicos das duas substâncias, ficam evidentes as vantagens da substituição em relação à diminuição da exposição aos riscos e à saúde humana (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012). No entanto, as modificações apresentadas não foram aprovadas pelo professor da disciplina, que entendeu que haveria prejuízo ao caráter didático da aula. Foram, então, sugeridas medidas de reutilização das substâncias. Inicialmente, foi proposto que a solu-

ção de clorofórmio e naftaleno não seja mais evaporada em capela e, sim, em aparelho evaporador rotativo, recuperando as duas substâncias, sendo o naftaleno guardado para uso nessa mesma aula a ser repetida com outra turma.

Sugeriu-se que o acetato de etila e o clorofórmio recuperados nas aulas sejam misturados, e a solução resultante seja utilizada na aula referente à destilação fracionada de compostos orgânicos, e que fosse modificada a sequência das aulas, de modo que a destilação ocorresse logo após as aulas que geraram os resíduos. O professor da disciplina aprovou essas medidas de reutilização. A Tabela 5 apresenta uma análise do alcance das modificações aos princípios da Química Verde (MANAHAM, 2013) pertinentes.

Aplicação em aula prática de química inorgânica

No dia 08 de dezembro de 2014, o roteiro modificado da prática em que eram estudadas as propriedades dos elementos do grupo 14, da disciplina Química Inorgânica, foi aplicado em aula prática com autorização e acompanhamento da professora responsável. Foi executado o roteiro tradicional conforme previsto no planejamento da disciplina e, em sequência, o roteiro modificado, e comparados seus resultados. Durante a execução, procurou-se ouvir os comentários espontâneos que os alunos fizeram, no intuito de registrar as percepções sobre as diferenças nos procedimentos e como as mesmas afetariam seu aprendizado. Não foram aplicados questionários aos alunos, de modo a não

influenciar sua percepção nem estimular respostas. Ao final da prática, os alunos foram indagados sobre as observações realizadas por meio dos experimentos e os mesmos afirmaram que não sentiriam prejuízos em relação ao aprendizado caso apenas o roteiro modificado tivesse sido executado. Os alunos afirmaram que as reações de precipitação envolvendo o chumbo são mais evidentes e proporcionam melhores observações, contudo, perante a questão da periculosidade dos resíduos — que até então era desconhecida para eles — consideraram a substituição válida devido à não geração de resíduos perigosos, e que essa preocupação deve ser preponderante no ensino da química.

CONCLUSÃO

Laboratórios de ensino e pesquisa em química apresentam geração de resíduos diversificada em termos de frequência, tipologia e quantidade. No estudo de caso, foi observado um aumento no uso dos laboratórios de ensino, o que contribuiu para um aumento na geração de resíduos (92,5 kg em 2012 e 888,6 kg em 2014). A variedade das fontes geradoras e dos próprios resíduos gerados deixam clara a importância das ações de prevenção e redução da sua geração e a dificuldade em se implantar um sistema de tratamento unificado.

Soluções para redução da geração de resíduos devem ser aplicadas a cada laboratório e a cada disciplina de forma particular, considerando suas peculiaridades.

Com base no levantamento realizado, concluiu-se que um estudo de minimização de geração de resíduos deveria começar pelas disciplinas Química Inorgânica e Práticas de Química Orgânica. O inventário realizado com base nos dados coletados durante as aulas práticas dessas disciplinas deixou claro o uso desnecessário de substâncias perigosas e tóxicas. Enquanto muitas universidades baniram o uso de componentes potencialmente tóxicos, como chumbo, bário, acetato de etila, clorofórmio, dentre outras, nos laboratórios avaliados esses reagentes ainda são utilizados sem ser feita nenhuma menção aos riscos à saúde e ao ambiente, perpetuando nos alunos a postura de despreocupação com as consequências e o potencial poluidor da aula.

Tabela 5 – Resumo dos resultados alcançados e princípios da Química Verde relacionados.

Resíduo	Fonte	Modificação proposta	Resultados alcançados pela modificação	Princípios da Química Verde relacionados
Soluções contendo cátions Ba ⁺²	Prática 1 Inorgânica	Retirado o uso do Bário na etapa 1	Satisfatório	1 - Prevenção 3 - Sínteses menos perigosas 12 - Minimização dos riscos
	Práticas 2 Inorgânica	Substituição do BaCl ₂ por CaCl ₂	Satisfatório	1 - Prevenção 3 - Sínteses menos perigosas 12 - Minimização dos riscos
	Prática 3 Inorgânica	Substituição do Ba(OH) ₂ por Ca(OH) ₂	Satisfatório	1 - Prevenção 3 - Sínteses menos perigosas 12 - Minimização dos riscos
Soluções contendo cátions Pb ⁺²	Práticas 3 Inorgânica	Substituição dos sais e hidróxido de chumbo pelos de estanho	Satisfatório	1 - Prevenção 3 - Sínteses menos perigosas 12 - Minimização dos riscos
	Prática 4A Inorgânica	Retirada a reação de decomposição do Pb(NO ₃) ₂	Satisfatório	1 - Prevenção 3 - Sínteses menos perigosas
	Prática 4A Inorgânica	Substituição do acetato de chumbo por cloreto de estanho para verificação de formação de sais insolúveis	Necessita de ajustes	1 - Prevenção 3 - Sínteses menos perigosas 12 - Minimização dos riscos

Satisfatório: a modificação permite fazer observações de forma similar à tradicional, não existindo prejuízo ao caráter didático da aula, gerando menos ou nenhum resíduo. Necessita de ajustes: pode ser alcançado resultado satisfatório por meio de estudos e testes adicionais.

Assim, soluções para modificações simples, de baixo custo, com menor risco e minimização de resíduos e sem alteração do objetivo da aula prática foram propostas, de forma que os mesmos fenômenos — reações, precipitações, solubilizações — puderam ser observados. Testes experimentais utilizando novos roteiros elaborados comprovaram que medidas de prevenção e redução na geração de resíduos são possíveis de serem aplicadas de imediato, sem grandes esforços.

Enfatiza-se que esse estudo é possível ser feito e aplicado para todas as disciplinas vinculadas às aulas práticas, no sentido de subir na hierarquia de gerenciamento de resíduos de acordo com os princípios da Química Verde. Além disso, estudantes formados em cursos que promovam a utilização desses princípios se tornarão profissionais mais conscientes de sua responsabilidade ambiental e do seu papel como cidadãos.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: resíduos sólidos – classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ALECRIM, G. F.; MAGNO, K. S.; MENDONÇA, R. B. S.; VALLE, C. M. Gerenciamento dos resíduos gerados nas disciplinas de química geral e química inorgânica dos cursos da área de química no CEFET-AM. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., João Pessoa, 2007. *Anais...* 2007.
- AYALA, J. D.; BELLIS, V. M. *Química inorgânica experimental*. 65 f. Departamento de Química. Universidade Federal de Minas Gerais. 2003. (Apostila.)
- BAIRD, C.; CANN, M. *Química ambiental*. 4ª ed. Tradução de Marco Tadeu Grassi. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BARBOSA, V. M.; CASAGRANDE JÚNIOR, E. F.; LOHMANN, G. O programa de gerenciamento de resíduos da UTFPR – *Campus Curitiba* e a contribuição de trabalhos acadêmicos no DAQBi. *Educação e Tecnologia*, Curitiba, n. 9, p. 66-76, 2009.
- BENDASSOLLI, J. A.; MÁXIMO, E.; TAVARES, G. A.; IGNOTO, R. F. Gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas no laboratório de isótopos estáveis do CENA/USP. *Química Nova*, v. 26, n. 4, p. 612-617, 2003.
- BORDALO, A. O.; MOURA, C. A. V.; SCHELLER, T. Determinação da composição isotópica de estrôncio em águas naturais: exemplos de dua aplicação em águas subsuperficiais da zona costeira na região bragantina - PA. *Química Nova*, v. 30, n. 4, p. 821-827, 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011*. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, 2011. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 2 fev. 2014.
- _____. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 17 mar. 2014.
- _____. *Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996*. Brasília, 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 20 out. 2016.
- _____. *Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999*. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, 1999. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm>. Acesso em: 20 out. 2016.
- _____. *Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 4 mar. 2014.
- _____. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CES nº 1.303, de 06 de novembro de 2001. Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 25.
- COLARES, A. C. V.; MATIAS, M. A. Procedimentos de gerenciamento de resíduos de empresas sob a ótica da institucionalização dessas práticas. *Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*, v. 3, n. 1, p. 80-102, jan/abr. 2013.
- DEMAMAN, A. S.; FUNK, S.; HEPP, L. U.; ADÁRIO, A. M. S.; PERGHER, S. B. C. Programa de gerenciamento de resíduos dos laboratórios de graduação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim. *Química Nova*, v. 27, n. 4, p. 674-677, 2004.
- GERBASE, A. E.; GREGÓRIO, J. R.; CALVETE, T. Gerenciamento dos resíduos da disciplina Química Inorgânica II no curso de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Química Nova*, v. 29, n. 2, p. 397-403, 2006.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Ficha de informação de produto químico*. 2012. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/produto_consulta_completa.asp?qualpagina=4&sqlQuery=sp_TBPRODIDENTIFICACAO_sel>. Acesso em: 10 dez. 2014.

JARDIM, W. F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 21, n. 5, p. 671-673, 1998.

LAUDEANO, A. C. G.; BOSCO, T. C. D.; PRATES, K. V. M. C. Proposta de gerenciamento de resíduos químicos para laboratórios de ensino médio e técnico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2., Londrina, 2011. *Anais...* 2011.

LEE, J. D. *Química inorgânica não tão concisa*. Edgard Blucher: São Paulo, 1999.

LORDELO, A. L. L.; OLIVEIRA, A. R. M. *Disciplina de Química Orgânica Básica – CQ410 Prática*. 27 f. Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, 2009. (Apostila.)

MANAHAN, S. E. *Environmental chemistry*. 9ª ed. Estados Unidos: CRC Press Book, 2013.

MARQUES, C. A.; LEAL, A. L. O conhecimento químico e a questão ambiental na formação docente. *Química Nova na Escola*, n. 29, p. 30-33, ago. 2008.

MICARONI, R. C. C. M. *Gestão de resíduos em laboratórios do Instituto de Química da Unicamp*. 120p. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MISTURA, C. M.; VANIEL, A. P. H.; LINCK, M. R. Gerenciamento de resíduos dos laboratórios de ensino de química da Universidade de Passo Fundo, RS. *CIATEC – UPF*, Passo Fundo, v. 2, n. 1, p. 54-64, 2010.

ORIAKHI, C. O. *Chemistry in quantitative language: fundamentals of general chemistry calculations*. Estados Unidos: Oxford University Press, 2009.

PEREIRA, J. B., CAMPOS, M. L. A. M.; NUNES, S. M. T.; ABREU, D. G. Um panorama sobre a abordagem ambiental no currículo de cursos de formação de professores de Química da região sudeste. *Química Nova*, v. 32, n. 2, p. 511-517, 2009.

PRADO, A. G. S. Química Verde, os desafios do novo milênio. *Química Nova*, v. 26, n. 5, p. 738-744, 2003.

SANTOS, V. M. L.; MEDRADO, L. S.; SANTOS JÚNIOR, J. E. S.; SILVA, J. A. B. Proposta para disposição final dos resíduos químicos identificados nos laboratórios do *Campus* da Fazenda Experimental/UNIVASF. *Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, ano 7, n. 2, p. 65-79, abr./jun. 2012.

SASSIOTO, M. L. P. *Manejo de resíduos de laboratórios químicos em universidades: estudo de caso do Departamento de Química da UFSCar*. 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. A.; FERNANDES JÚNIOR, J. L.; CASTRO, M. C. A. A. *Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos*. 97 f. USP: São Carlos, 2005. (Apostila.)

SILVEIRA, C. C.; MENDES, S. R. *Química Orgânica Experimental I*. 34 f. Departamento de Química. Universidade Federal de Santa Maria. 2008. (Apostila.)

SOUZA, K. E. *Estudo de um método de priorização de resíduos industriais para subsidio à minimização de resíduos químicos de laboratórios de universidades*. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

VOGEL, A. I. *Análise inorgânica quantitativa*. São Paulo: Mestre Jou, 1981.