

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

JULIANA GRACIELA GIOVANNINI DE OLIVEIRA

**Programa de gerenciamento de resíduos químicos do CENA/USP:
avaliação, ações de aperfeiçoamento e de extensão**

**PIRACICABA
2010**

JULIANA GRACIELA GIOVANNINI DE OLIVEIRA

**Programa de gerenciamento de resíduos químicos do CENA/USP:
avaliação, ações de aperfeiçoamento e de extensão**

**Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear
na Agricultura da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em Ciências**

**Área de concentração: Química na Agricultura e no
Ambiente**

Orientador: Prof. Dr. José Albertino Bendassolli

**PIRACICABA
2010**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Oliveira, Juliana Graciela Giovannini de

Programa de gerenciamento de resíduos químicos do CENA/USP: avaliação, ações de aperfeiçoamento e de extensão / Juliana Graciela Giovannini de Oliveira; orientador José Albertino Bendassolli. - - Piracicaba, 2010.

94 f.: il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Cromo 2. Educação ambiental 3. Efluentes 4. Monitoramento ambiental 5. Nitrilas I. Título

CDU 542.1:351.777.61

DEDICATÓRIA

A Deus, por estar sempre presente na minha vida e por tornar tudo possível, principalmente a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Roberto dos Santos Giovannini e Maria das Graças Soares Giovannini, por todo esforço em proporcionar meus estudos, todo amor e carinho. Amo muito vocês!

À minha irmã Michele Giovannini, pela amizade e compreensão. Obrigada por você existir perto de mim e cuidar da minha casa!

Ao meu esposo Áureo Santana de Oliveira, pelo amor, paciência e companheirismo em todos os momentos. Graças a sua presença e auxílio, foi mais fácil transpor os dias difíceis. Amo você demais!

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, em especial ao Laboratório de Isótopos Estáveis por proporcionar excelente condição de pesquisa;

À Comissão de Pós - graduação na pessoa da Prof. Dra. Adriana Pinheiros Martinelli pela dedicação e respeito aos alunos;

Ao Departamento de Física - IGCE - UNESP, Campus de Rio Claro; ao Núcleo de Apoio a Pesquisa/Microscopia Eletrônica Aplicada à Pesquisa Agropecuária - NAP/MEPA – ESALQ e às Escolas Estadual-Prof. Dr. João Chiarini e Particular-São Dimas, pela infra-estrutura concedida para a realização do Trabalho;

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro.

Ao Prof. Dr. José Albertino Bendassolli, pela orientação, paciência, dedicação ao meu aprendizado, amizade e principalmente por permitir que sua funcionária fizesse mestrado e lutar para realização do mesmo; e pelo exemplo de profissional competente, dedicado, que realiza tudo com muito amor e respeito;

À equipe do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP): Professores Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, Helder de Oliveira e Jefferson Mortatti; aos funcionários José A. Bonasssi (Pingin), Hugo H. Batagello e Cleuber V. Prestes; e aos alunos Alexssandra L. M. R. Rossette, Josiane Carneiro, Felipe R. Nolasco, Diego Vendramini, Henrique C. J. Franco e Michele X. Vieira, pelo auxílio constante e convivência agradável. Em especial:

Ao Dr. Glauco Arnald Tavares, pela grande contribuição na realização deste trabalho, por confiar e compartilhar parte do projeto sob sua coordenação junto a FAPESP, na execução dessa dissertação, pelo convívio diário e amizade;

Ao Miguel L. Baldesin, pela grande ajuda nas análises e à Suzi E. Gouveia por ser sempre tão prestativa em todas as necessidades;

Ao Bento M. M. Neto e Carlos R. Sant'ana Filho, pelas coletas e análises finais dos efluentes, no entanto essenciais e urgentes, pelo convívio e amizade;

À Magda M. G. Bartolamei, pelo carinho, preocupação e por cuidar das questões administrativas reservadas ao trabalho, e pela amizade que me dispensou, a qual foi fundamental para superação de momentos difíceis;

Ao Emidio C. A. de Oliveira e Eduardo Mariano por ajudarem na Análise Estatística deste trabalho;

Aos estagiários: Thalles, Laila, Cynthia, André, Larissa e Tati pelo ambiente amigável e auxílio nas realizações das atividades de laboratório. Em especial às queridas estagiárias Tatiana M. R. Xavier e Nadia V. Possignolo, pela eficiência, dedicação, amizade e infinitas risadas;

Aos colaboradores do trabalho realizado na Escola João Chiarine: Ana Maria de Meira, José A. Bonassi, Carlos R. Sant'ana Filho, Tatiana M. R. Xavier e Nadia V. Possignolo, Glauco A. Tavares pelas palestras proferidas e à Prof. Claudinéia R. O. Tavares pelas aulas cedidas para a realização do trabalho;

À secretaria de Pós-Graduação: Cláudia M. F. Corrêa, Neuda F. Oliveira, Sônia Campos.

Ao João Geraldo Brancalion, Silvana Pousa Maziero, Iolanda Aparecida Rufini, Aparecida de Fátima Patreze pelo apoio técnico dedicado.

Aos técnicos de laboratório do CENA/USP, agentes multiplicadores do Programa de Gerenciamento de Resíduos químicos, que contribuem para o cenário dos efluentes da Instituição, apresentado nesta dissertação.

À Marília R. G. Henyei, pela atenção e profissionalismo na realização da normatização das referências bibliográficas.

Aos professores que fizeram parte da banca de defesa e suplentes por se prontificarem a apreciar este trabalho, bem como pelas sugestões e críticas que contribuíram para o enriquecimento do conteúdo científico desta dissertação.

Gostaria também de agradecer às minhas amigas, quais eu posso contar em todos os momentos da minha caminhada: Silvana Guarniere, Michele A. Sartori e Renata B. Cruz.

A todas as pessoas que indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA.

RESUMO

OLIVEIRA, J. G. G. **Programa de gerenciamento de resíduos químicos do CENA/USP: avaliação, ações de aperfeiçoamento e de extensão.** 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

A geração de resíduos químicos em indústrias ocorre em quantidades expressivas, portanto o lançamento desses efluentes vem sendo monitorado por órgão de fiscalização ambiental com maior intensidade, de maneira a evitar contaminações no ambiente. Nas Universidades, o volume da geração é muito pequeno, porém a diversidade de resíduos é muito grande, o que dificulta o tratamento dos mesmos. Ainda assim é crescente o número de universidades preocupadas em estabelecer programas de gerenciamento dos seus resíduos. Essas iniciativas surgem por cuidado com o meio ambiente e pela preocupação em dar bons exemplos aos profissionais por elas formados. Porém outra ação não menos importante, mas complementar ao tratamento e gerenciamento de resíduo é a avaliação constante desses procedimentos em rotina. O Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos (PGRQ) implementado no CENA/USP a partir de 2001, é permanente e carece de inovações e aperfeiçoamento, também porque a cada ano novos projetos passam a ser executados, resultando na geração de resíduos que até então não eram motivo de preocupação. No entanto, iniciativas de tratamento de resíduos químicos no Laboratório de Isótopos Estáveis da Instituição tiveram início em 1999. Neste contexto, objetivou-se com esta dissertação: 1 – quantificar e qualificar as condições dos efluentes laboratoriais e o comportamento da população responsável pela geração de resíduos do CENA/USP, após 10 anos de implantação do Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos (PGRQ); 2 – solucionar problemas do PGRQ ainda não equacionados para o tratamento de alguns resíduos, desenvolvendo métodos de tratamento para cromo, para acetonitrila e propor adequações aos problemas levantados a partir da avaliação do programa; 3 – estender os conhecimentos químicos utilizados em rotina no PGRQ, de maneira prática e didática a alunos do ensino médio-público de Piracicaba-SP, tais como: identificação de substâncias químicas, segurança em química, reciclagem e reaproveitamento. De modo geral a comunidade que faz uso rotineiro de produtos químicos com conseqüente geração de resíduos, se mostrou informada e em prol aos princípios do programa, mas alertou à necessidade de ampliar, ainda mais, a divulgação das ações do programa. No entanto, duas não conformidades foram encontradas no lançamento dos efluentes, as quais foram devidamente solucionadas. Foram estabelecidos métodos para precipitação química e inertização de cromo e tratamento por degradação alcalina da acetonitrila. Os trabalhos de extensão contribuíram tanto para o ensino de química aos alunos do primeiro ano do ensino médio de uma Escola Estadual de Piracicaba-SP, quanto para equipe envolvida no projeto, a qual foi composta em sua maioria por alunos de pós-graduação que puderam vivenciar essas atividades.

Palavras-chave: Ensino médio. Química. Aprendizado.

ABSTRACT

OLIVEIRA, J. G. G. **Chemical waste management program of CENA/USP: assessment, improvement and extension actions.** 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

The generation of chemical waste in industry is very high, therefore the effluent discharge has been monitored by environmental inspections with greater intensity, to avoid environment contamination. The volume of waste generation is very small in universities, but the diversity is too large, what makes the treatment more difficult. Nevertheless, there are a growing number of universities concerned to establish management programs for their wastes. These initiatives include environmental care, concerning to give a good example for their graduated professionals and a continuous quality control program. The Chemical Waste Management Program (CWMP) implemented at CENA/USP from 2001, is permanent and requires constant innovation and improvement, as each year new projects are being implemented, resulting in the generation of wastes that weren't cause for concern. However, chemical wastes treatment initiatives in the Isótopos Estáveis Laboratory started in 1999. In this context, this dissertation aimed to: 1 - quantify and qualify the laboratory waste conditions and the behavior of the population responsible for the waste generation at CENA/USP, 10 years after the CWMP implementation; 2 – solve CWMP's problems that are not still resolved for the treatment of some wastes, developing treatment methods for chrome, acetonitrile and to propose adjustments to the problems from the program evaluation; 3 - extend the chemicals knowledge used in the CWMP routine, in a practical and didactic way to a State High School students from Piracicaba-SP, such as: chemicals identification, chemistry safety, recycling and reuse. In general, the waste generators were well-informed and willing to promote the program principles, but showed the need for greater disclosure of program actions. However, two non-conformities were found in the effluent discharge, in which were taken the appropriate actions. Methods for chemical precipitation, chromium inertization and treatment through acetonitrile alkaline degradation were established. The extension works contributed to teach chemistry to first-year students of a State High School in Piracicaba-SP and for the staff involved in the project, which was composed mostly of post-graduation students who tried this experience as well.

Keywords: High school. Chemistry. Learning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 AVALIAÇÃO DO PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS DO CENA/USP	17
Resumo	17
Abstract	18
2.1 Introdução	19
2.2 Material e Métodos	22
2.3 Resultados e Discussão	25
2.4 Conclusões	37
Referências	38
3 DEGRADAÇÃO ALCALINA DA ACETONITRILA E RECUPERAÇÃO DO NITROGÊNIO NA FORMA DE SAL DE AMÔNIO	41
Resumo	41
Abstract	42
3.1 Introdução	43
3.2 Material e Métodos	45
3.3 Resultados e Discussão	48
3.4 Conclusões	53
Referências	54
4 AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PRECIPITAÇÃO QUÍMICA E ENCAPSULAMENTO NO TRATAMENTO E DESTINAÇÃO CONJUNTA DE RESÍDUOS LÍQUIDOS CONTENDO CROMO E VIDRARIAS DE LABORATÓRIO	55
Resumo	55
Abstract	56
4.1 Introdução	57
4.2 Material e Métodos	59
4.3 Resultados e Discussão	62
4.4 Conclusões	67
Referências	68
5 A QUÍMICA EXPERIMENTAL: UM TRABALHO DE EXTENSÃO VOLTADO AO ENSINO MÉDIO	71

Resumo	71
Abstract.....	72
5.1 Introdução.....	73
5.2 Material e Métodos	76
5.3 Resultados e Discussão	78
5.4 Conclusões	81
Referências.....	82
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
REFERÊNCIAS	86
Anexos.....	89

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos sólidos industriais, domésticos e de serviços de saúde, é um dos principais problemas vivenciados nos dias atuais, contudo vários estudos com objetivo de contornar a problemática vêm sendo realizados (WEI; WEBER, 1996; ZAMONER, 2008; KOLLIKATHARA; FENG; STERN, 2009; MINGHUA et al., 2009; VILLENEUVE et al., 2009). Segundo a Cetesb, somente no estado de São Paulo são geradas anualmente 535 mil toneladas de resíduos perigosos Classe I e 25 milhões de toneladas de resíduos Classe II, que são menos problemáticos em termos de potencial poluidor (BRITO, 2004).

Além das indústrias, as universidades e centros de pesquisa também acabam por gerar resíduos químicos que embora gerados em pequenas quantidades, podem representar 1% do total de resíduos perigosos produzidos em um país desenvolvido (ASHBROOH; REINHARDT, 1985), sendo encarados como um problema devido à diversidade com que são gerados. Dentre eles, encontram-se vários tipos de solventes orgânicos, metais pesados, soluções ácidas e alcalinas, entre outros, muitas vezes misturados, o que dificulta o gerenciamento e tratamento (JARDIM 1998; TAVARES, 2004).

Essa constatação tem levado a efeito que a questão do gerenciamento de resíduos químicos, frutos de atividades de ensino e pesquisa, seja um tema de pesquisas e discussões que vem cada vez mais ocupando espaço no meio acadêmico (VIEBAN, 2002; TAVARES; BENDASSOLLI, 2005; GERBASE; GREGÓRIO; CALVETE, 2006; IMBROISI et al., 2006, NOLASCO; ESPINOSA et al., 2008; LEITE; ALCANTARA; AFONSO, 2008). Essa importância, também, é motivada pelo expressivo papel que as instituições de ensino e pesquisa exercem na formação de recursos humanos acostumados às práticas de gestão ambiental (JARDIM, 1998; AMARAL et al., 2001; CUNHA, 2001; COELHO et al., 2002; DI VITTA et al., 2002; ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2003; TAVARES, 2004; TAVARES; BENDASSOLLI, 2005).

No Brasil a preocupação em gerenciar resíduos químicos nas universidades se deu ao final dos anos 90, iniciada principalmente por instituições públicas, podendo destacar: Universidade de Campinas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná, Instituto de Química da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Instituto de Química da

Universidade de São Paulo (IQ-USP), Instituto de Química de São Carlos (IQSC), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), EMBRAPA Pecuária Sudeste (São Carlos); entre outras.

No Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP), a fim de evitar riscos e poluição ao ambiente, trabalhos objetivando gerenciar os resíduos da instituição tiveram início através de uma dissertação de mestrado (TUONO, 1999), desenvolvida sob orientação do Prof. Dr. José Albertino Bendassolli. Na pesquisa em questão, desenvolveu-se um estudo de caracterização da emissão de resíduos no CENA/USP e estabelecimento de procedimentos para o tratamento de alguns dos principais resíduos gerados pelos laboratórios de ensino e pesquisa da Instituição. No trabalho foi possível constatar um passivo extremamente problemático gerado desde o início das atividades de ensino e pesquisa da Instituição.

Em 2001, com apoio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP Processo 01/01202-9- INFRA V), iniciou-se um amplo Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos e Águas Servidas (PGRQ) do CENA/USP. Os conhecimentos adquiridos durante a implantação do referido programa de gerenciamento de resíduos químicos permitiu a transferência desse conteúdo a alunos secundaristas de escolas da rede pública de ensino, através de visitas realizadas no CENA/USP, prática que foi conduzida na forma de um trabalho de iniciação científica, que também recebeu apoio da FAPESP (Processo 02/01089-0).

O programa, desde sua implantação desenvolve suas atividades de rotina, fundamentadas na seguinte hierarquia de gestão (TAVARES, 2004):

- Prevenção da geração de resíduos (deve-se evitar, sempre que possível, a geração);
- Minimizar ao máximo os volumes gerados;
- Reaproveitar os resíduos gerados;
- Tratar os resíduos (processos físico, químico, biológico ou térmico);
- Dispor (aterros ou armazéns adequados).

A relação de resíduos gerados no CENA/USP é bastante diversificada, incluindo solventes (etanol, metanol, hexano, acetonitrila, tolueno, fenol, acetona, entre outros) soluções inorgânicas diversas (NH_3aq , SO_2aq , ácidos, bases, soluções

contendo metais, entre outras) e resíduos sólidos (óxido de cobre, perclorato de magnésio, géis de agarose ou poliacrilamida, etc). Nessa listagem, destacam-se soluções residuais contendo cromo: soluções de sulfocromica; soluções de dicromato de potássio; soluções residuais geradas em metodologia de determinação de biomassa C em material vegetal (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987) e soluções residuais contendo acetonitrila, para as quais o presente trabalho, estudou métodos de tratamentos.

O PGRQ é permanente e atualmente conta, com um especialista de laboratório (nível superior), um técnico de nível médio e um estagiário na execução de suas atividades. No entanto, desde sua implementação esse programa ainda é carente de monitoramento e avaliação mais constantes, que permita levantar pontos falhos a serem corrigidos e positivos a serem ressaltados, objetivando a melhoria contínua do programa.

Neste contexto o objetivo deste trabalho foi a realização de estudos que possibilitem avaliar o recém implementado PGRQ no que se refere às práticas adotadas em rotina, assim como à disseminação e adequação aos conceitos de gestão pelos geradores de resíduos. As proposições para esse objetivo são as seguintes:

- a) Monitoramento das emissões de resíduos líquidos provenientes dos laboratórios de ensino e pesquisa;
- b) Avaliação das ações locais de gestão de resíduos e água e energia;
- c) Desenvolvimento de práticas corretivas, em função dos possíveis problemas verificados durante a avaliação do PGRQ;
- d) Desenvolvimento de novas alternativas para tratamento e/ou reaproveitamento de resíduos líquidos tais como soluções contendo cromo e soluções contendo mistura acetonitrila:água;
- e) Realização concomitante de trabalho experimental de educação ambiental com ênfase em resíduos e meio ambiente junto a alunos secundaristas de uma escola pública estadual, localizada no município de Piracicaba-SP, voltada a contribuir na disciplina de Química.

Neste trabalho, os resultados serão dispostos em quatro capítulos e as considerações gerais ao final, a saber:

- **Avaliação do Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos (PGRQ) do CENA/USP;**
- **Degradação alcalina da acetonitrila e recuperação do nitrogênio na forma de sal de amônio;**
- **Avaliação das técnicas de precipitação química e encapsulamento no tratamento e destinação conjunta de resíduos líquidos contendo cromo e vidrarias de laboratório;**

(trabalho publicado na revista Química Nova, v.31 n.3 p.676-679, 2008)

- **A química experimental: um trabalho de extensão voltado ao ensino médio.**

2 AVALIAÇÃO DO PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS DO CENA/USP

Resumo

As Universidades e Centros de Pesquisas são caracterizados pela geração de reduzidos volumes de resíduos químicos, quando comparado com as indústrias, mas apresentam elevada diversidade, dificultando o processo de tratamento e/ou disposição final. No entanto é crescente o número de universidades empenhadas em estabelecer programas de gerenciamento de resíduos. Dentre os motivos que preocupam esses centros de ensino e pesquisa, destacam-se: o cuidado com o meio ambiente e a importância em dar bons exemplos aos profissionais por elas formados. Porém outra ação não menos importante, mas complementar ao tratamento e gerenciamento de resíduo é a avaliação constante desses procedimentos em rotina. Em 2001 deu-se início à implantação do Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos do CENA/USP (PGRQ) com envolvimento de todos os laboratórios geradores. Neste contexto o trabalho teve como objetivo monitorar e avaliar as condições dos efluentes laboratoriais e o comportamento da população responsável pela geração de resíduos, após 6 anos de implantação do PGRQ. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos diretos (concentração de: metais pesados, orgânico e nitrogênio amoniacal) e gerais (condutividade e pH) nos efluentes laboratoriais. A população alvo foi dividida de acordo com a função ocupacional (professor, funcionário, aluno ou estagiário), tendo-se selecionado ao acaso 5% da população total, a qual foi convidada a responder um roteiro com questões dissertativas e de múltipla escolha sobre questões ambientais e/ou atreladas às atividades desenvolvidas pelo PGRQ. Alguns parâmetros químicos foram encontrados acima do limite permitido pela resolução 357 do CONAMA, no entanto ações corretivas foram realizadas. De um modo geral, os entrevistados se julgam bem informados em relação às questões ambientais. Entretanto, quando estimulados, tiveram dificuldade em enumerar problemas ambientais que poderiam ser solucionados ou minimizados com sua participação.

Palavras-chave: Ensino médio. Química. Aprendizado.

Evaluation of the chemical waste management program of CENA/USP

Abstract

Universities and Research Institutes are characterized for the reduced chemical waste generation when compared to industry, but the diversity is too large, what makes the treatment more difficult. However, there are a growing number of universities committed to establish waste management programs. Among the reasons that concern these education and research centers are: environment care, importance of giving good example for graduated professionals and a continuous quality control program. In 2001, the CENA's Chemical Waste Management Program (CWMP) implementation was begun with all the generator laboratories involvement. In this context, the study aimed to monitor and evaluate the laboratory effluents conditions and the population behavior responsible for wastes generation after 6 years of CWMP implementation. Direct physical and chemical parameters (heavy metals, organic and ammoniacal nitrogen concentration) and general parameters (conductivity and pH) were evaluated. The target population was divided according to the occupational role (teacher, employee, student or trainee) and 5% of the total population was randomly selected, which was requested to answer a script with essay and multiple choice questions about environment and/or activities developed by CWMP. Some chemical parameters were above legal acceptable limits (CONAMA 357/2005 Resolution), however corrective actions were taken. In general, interviewees consider themselves well informed about environmental issues. Yet, when stimulated, they had difficulty in enumerating environmental problems that could be solved or minimized with their participation.

Keywords: High school. Chemistry. Learning.

2.1 Introdução

Poluição pode ser definida como qualquer alteração física, química ou biológica que produz modificação no ciclo natural, interferindo na composição da fauna e da flora do meio. A poluição aquática, uma das mais importantes e sérias, provoca mudanças nas características das águas, as quais interferem na sua qualidade, impossibilitando sua aplicação ou consumo humano (FELLENBERG, 1980).

Nos últimos anos a sociedade começou a se deparar às ameaças a que estaria sujeita se não mudasse de comportamento quanto ao mau uso dos recursos hídricos. A maioria das internações hospitalares tem origem no consumo de água contaminada, ocasionando diarreias, hepatites, entre outras doenças.

Pode-se ainda mencionar que há muitos compostos orgânicos encontrados em água de rio com atividade carcinogênica (GOBATO; LANÇAS, 2001).

Mesmo sabendo que o volume de esgoto doméstico é superior ao de efluentes industriais, sobretudo laboratórios, esses últimos também podem trazer sérios problemas se lançados sem tratamento.

Desta forma o monitoramento de efluentes, entre os quais se enquadram aqueles gerados em laboratórios de ensino, pesquisa e extensão, é de grande importância no sentido de verificar a eficiência dos processos de tratamento, propor adequações e atender à legislação.

Atualmente têm-se falado com certa frequência sobre resíduos, seu descarte, acúmulo e destino final, no Brasil e no mundo (JARDIM, 1998; BAHADIR; BOLLMEIER, 2002; NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006). Esse tópico, que integra a gestão ambiental vem conquistando um espaço cada vez mais crescente no meio empresarial. O desenvolvimento dessa consciência ecológica em diferentes camadas e setores da sociedade mundial acaba por envolver também o setor da educação, a exemplo das Instituições de Ensino Superior (TAUCHEN; BRANDLI, 2006).

Em instituições de ensino e de pesquisa no Brasil, a gestão de resíduos químicos é na maioria das vezes, inexistente, talvez pela ausência de um órgão fiscalizador atuante. Todavia, com a preocupação da sociedade em relação à questão ambiental, as universidades não podem ignorar sua posição de geradoras de resíduos (JARDIM, 1998). Vale ressaltar que, apesar da química ser uma das

ciências básicas mais presente no nosso cotidiano (indústria alimentícia, farmacêutica, têxtil, etc.), ainda é vista de maneira muito negativa pela sociedade em geral (COELHO, 2000). Uma das razões é justamente esta, a de ser geradora de poluição.

De acordo com o código de conduta da ACS (American Chemical Society), “os químicos têm a responsabilidade profissional de servir ao interesse público e ao bem estar, através dos seus conhecimentos científicos. Os químicos deverão ter cuidados com a saúde e o bem-estar dos companheiros de trabalho, consumidores e da comunidade; deverão compreender e antecipar as conseqüências ambientais do seu trabalho. Os químicos têm a responsabilidade de evitar a poluição e proteger o meio ambiente” (PRADO, 2003).

Mesmo na ausência de fiscalização, muitas Universidades e Centros de pesquisa se preocupam com a geração de resíduos e procuram contornar a situação, desenvolvendo métodos de tratamento e, em alguns casos, implantando programas de gerenciamento de resíduos (CUNHA, 2001; VEGA; VIEBAHN, 2002; OJEDA-BENITEZ; RAMÍREZ-BARRETO, 2003; ALBERGUINI; SILVA; REZENDE, 2003; TAVARES; BENDASSOLLI, 2005; GILONI-LIMA; LIMA, 2008).

No entanto, toda ação de gerenciamento, seja ela organizacional ou institucional, consta em estabelecer a manutenção nas melhorias dos padrões previamente montados, que servem como referências para o próprio gerenciamento. Introduzir esse conceito significa implementar o gerenciamento repetitivo via PDCA.

O ciclo PDCA é um conjunto de ações que visam o controle de processo ou atividade, podendo ser usado de forma contínua para o gerenciamento das atividades de uma organização ou instituição, representando uma ótima alternativa para auxiliar na gestão da qualidade (DEMING, 1992). Este ciclo é composto de quatro fases básicas: P (*plan*: planejar), D (*do*: implementar), C (*check*: avaliar) e A (*act*: corrigir).

O ciclo PDCA inicia-se com a etapa de planejamento, que envolve o estabelecimento dos objetivos e processos necessários para atingir os resultados, de acordo com a política ambiental da organização. A fase de implementação envolve a coleta dados, educação e treinamento. Avaliar significa verificar os resultados da tarefa executada, e por fim, corrigir significa atuar corretivamente, melhorar o sistema de trabalho, investigando as causas dos problemas e tomando ações de prevenção e correção.

Algumas ferramentas podem ser utilizadas nessa etapa de avaliação, entre elas a realização das chamadas ações de monitoramento ou controle ambiental. Ao contrário das práticas de prevenção, essas últimas ocupam-se da avaliação das emissões produzidas pelo gerador. Nesse caso, a pergunta que se almeja responder é: será que as emissões de efluentes líquidos atendem realmente aos parâmetros estabelecidos pela legislação vigente?

Em termos de monitoramento vários são os parâmetros que pode ser empregados com o objetivo de avaliar a qualidade de um efluente, como temperatura, pH, condutância, parâmetros orgânicos (clorofórmio, fenóis tetracloreto de carbono, tricloroetano, entre outros), parâmetros inorgânicos (Ni, Cr, Fe, Zn, N-amoniaco, entre outros), entre outros. Esses parâmetros são divididos em três grupos (CECILE, 1998) a saber: diretos (aplicados em regulamentações destacando a concentração); indiretos (DBO - demanda biológica de oxigênio ou DQO – demanda química de oxigênio em substituição ao COT – carbono orgânico total); globais (indicadores sem correlação com os parâmetros prévios que dão informações qualitativas das variações ocorridas – exemplo: pH, ORP e condutância).

Os efluentes de laboratórios de Universidades e Instituições de Pesquisa são de composição complexa, notadamente os de pesquisa, devido ao uso diário de diferentes reagentes, o que dificulta a determinação da concentração de diferentes reagentes quando descartados ao mesmo tempo (SILVA, 2005).

Sistema de monitoração contínuo (*on – line*) é caracterizado por determinar em tempo real os parâmetros escolhidos. Essas medidas foram utilizadas e descritas na literatura (OIW, 2001; AUBRUN et al., 2001; HACK; LORENZ, 2002; SPERANDIO; QUEINNEC, 2004; SILVA, 2005).

De forma a estudar as reais condições da emissão de efluentes nos laboratórios da UNICAMP, realizaram-se avaliações da qualidade dos efluentes de laboratórios de ensino e pesquisa de química analítica e de química orgânica, estabelecendo uma metodologia de monitoração dos efluentes através da utilização de três parâmetros indicadores da qualidade do efluente: pH, ORP (do inglês *oxidation reduction potential*, potencial de óxi-redução) e condutância (SILVA, 2005). Esse estudo permitiu correlacionar os parâmetros medidos com os reagentes descartados na pia.

No CENA/USP, essa preocupação já existia anteriormente à efetiva implementação do PGRQ, ocasião em que Tuono (1999) realizou monitoramento, durante o período de um mês, dos efluentes dos laboratórios da instituição, restringindo-se a alguns íons inorgânicos. Naquela oportunidade, foi possível verificar que as emissões de efluentes líquidos atendiam aos padrões estabelecidos na resolução CONAMA 20 (CONAMA, 1986).

A realização de uma entrevista estruturada também visa auxiliar na avaliação, verificando a efetividade de suas ações através de um questionário composto de questões gerais e de conhecimento específico, com o intuito de produzir um retrato da situação, comparando o previsto com o realizado para identificar as causas dos eventuais desvios.

Nesse sentido o PGRQ do CENA/USP que teve início em 2001 contando com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), encontra-se atualmente em fase de monitoramento e avaliação das práticas ambientais desenvolvidas ao longo de nove anos de sua implantação, objetivando a melhoria contínua de suas atividades. Essa busca pela melhoria contínua deve existir também nas práticas que são consideradas satisfatórias, pois, elas também são passíveis de melhorias.

Vale a pena ressaltar que o objetivo proposto está fundamentado principalmente na etapa de avaliação do ciclo PDCA, envolvendo a avaliação dos avanços obtidos com a implementação de um PGRQ no CENA/USP e fornecendo subsídios para o contínuo aprimoramento desse programa.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Aplicação de questionário aos usuários dos laboratórios do CENA/USP

A avaliação do PGRQ teve início com a formulação de um roteiro para entrevista, através de um questionário (Anexo I) aplicado na população envolvida com a manipulação de produtos químicos e geração de resíduos na Instituição.

Esse questionário foi composto por questões dissertativas e de múltipla escolha, divididas em:

- 1ª parte: Identificação pessoal do entrevistado (nome, sexo, idade, função e seção) foi facultativa, de modo que os participantes não se sentissem constrangidos em responder com sinceridade as perguntas e nível de formação (analfabeto até pós-graduação);
- 2ª parte: Proposição de 34 questões alternativas (sim ou não) ou dissertativas, dispostas em contextos gerais de meio ambiente, gerenciamento de resíduos no CENA/USP, segurança em química e gestão de águas servidas, conectadas as atividades desenvolvidas pelo PGRQ/CENA-USP.

Em seguida foi feita uma triagem da população alvo, a ser entrevistada, na qual toda população da Instituição foi dividida em grupos, de acordo com a função ocupacional (professor, funcionário, aluno ou estagiário). Desses grupos, foram excluídas as pessoas as quais não trabalhavam diretamente com produtos químicos e geração de resíduos químicos. Realizada essa divisão selecionou-se ao acaso, por meio de um sorteio, 5% da população o que totalizou 18 entrevistados.

Com o roteiro elaborado e com a população a ser entrevistada definida, deu-se início a entrevista, a qual foi conduzida por um estagiário para que o mesmo pudesse orientar a condução do trabalho, fornecendo as instruções necessárias sem, contudo, influenciar nas respostas.

De posse das respostas fornecidas pelos entrevistados, apresentadas na forma de figuras e tabelas, puderam ser levantadas e discutidas várias questões pertinentes à temática.

2.2.2 Monitoramento dos efluentes gerados pelos laboratórios do CENA/USP

Tendo como base o trabalho realizado por Tuono, 1999, os efluentes provenientes dos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP foram monitorados, com a finalidade de avaliar a composição desses efluentes após seis anos de implantação do Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP (BENDASSOLLI et al., 2003; TAVARES; BENDASSOLLI, 2005). A partir dos resultados do monitoramento, foi possível gerar subsídios que enfatizem a importância de uma política de sensibilização quanto ao descarte de resíduos químicos e propor ações corretivas se necessário.

Considerando-se que os efluentes líquidos do CENA/USP (apenas aqueles gerados nos laboratórios) são despejados na rede coletora de águas fluviais do Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba (e desta enviada diretamente ao rio Piracicaba), realizou-se amostragem de água do rio Piracicaba em dois pontos amostrais, situados a cerca de 4 Km a montante e a 1 km a jusante do local de lançamento. Concomitantemente, foram monitorados 4 pontos de amostragem (A, B, C e D) dos efluentes laboratoriais existentes na instituição, discriminados na Figura 2.1.

Durante a semana de 10 a 14/09/2007 foram realizadas coletas no rio Piracicaba entre 9 e 10h da manhã. Com relação ao monitoramento dos efluentes da instituição as amostras foram coletadas no mesmo período (10 a 14/09/2007), porém de hora em hora durante o expediente de trabalho da instituição (8:00h as 17:30h), incluindo a hora de almoço. Nas atividades de coleta dos efluentes tomou-se o cuidado de não divulgar os dias em que ocorreriam as campanhas, para evitar que os usuários dos laboratórios estivessem prevenidos sobre a realização do acompanhamento.

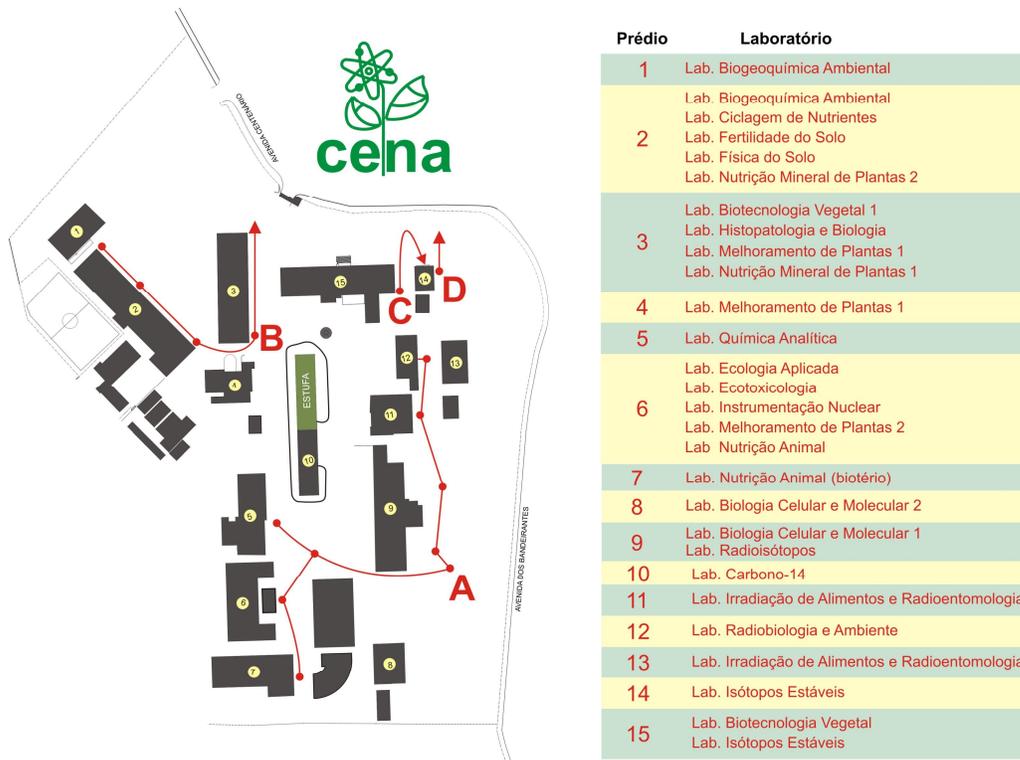


Figura 2.1 - Esquema referente às emissões de efluentes do CENA, onde são estabelecidos os pontos de coleta A, B, C e D, que envolvem os laboratórios

As coletas foram realizadas em baldes plásticos de 2 L devidamente lavados com água desionizada. Após a coleta e perfeita homogeneização da amostra, alíquotas de 100 mL obtidas em cada amostragem, nos pontos de coletas, foram transferidas para provetas de 1 L. A soma de parcelas individuais do efluente a ser avaliada, obtidas em instantes diferentes, através dos processos de amostragem, resulta em uma amostra composta representativa do dia de coleta (ABNT NBR 10007). Em cada dia de coleta foi possível obter dez parcelas (100 mL) individuais do efluente em cada ponto de amostragem, totalizando cinco amostras compostas, por ponto de coleta, no período avaliado. Das amostras compostas, alíquotas de 50 mL foram filtradas em membrana de éster de celulose 0,45 μm para a realização das análises de interesse, as quais foram armazenadas em frascos de vidro, sob refrigeração constante (4 °C), preservadas em pH 2-3 (HNO_3) em tempo não superior a 48h. Amostras para análise de compostos orgânicos não foram preservadas, sendo apenas armazenadas em frascos apropriados de 100 mL (disponibilizados pela empresa responsável pelas análises).

Os primeiros parâmetros avaliados no instante da coleta para as amostras dos efluentes laboratoriais do CENA/USP e de água do rio Piracicaba foram pH, condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), temperatura (°C) e vazão ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$). Outras quantificações foram realizadas (CONAMA 2005), dentre elas: a concentração de nitrogênio amoniacal por sistema de análise em fluxo (FARIA; PASQUINI, 1987), teores totais de alguns elementos inorgânicos como Ba, Cd, Cu, Pb, Cr, Fe, Mn, Ni, Co, Mo, Mg, Al, Si e Zn em equipamento de ICP-AES e compostos orgânicos voláteis como teores de clorofórmio, dicloroetano, tetracloreto de carbono e tricloroetano através da técnica de cromatografia (GC-MS).

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Aplicação de questionário aos usuários dos laboratórios do CENA/USP

Como proposto na metodologia, antes do início do questionário, o entrevistado poderia optar por se identificar (nome, sexo, idade, função e seção), sendo que 72% decidiram por fazê-lo. Posteriormente, a Questão 1 (Q1 - Anexo I) também permitia que o entrevistado mencionasse ou não o seu nível de formação e,

então, 33% não responderam esta questão, o que não permitiu que se traçasse um perfil relacionando a formação do entrevistado e seu conhecimento. Dos que responderam, 33% apresentavam pós-graduação, 28% superior incompleto e 6% possuíam 2º grau completo.

Terminada a fase de enquadramento social, buscou-se avaliar o conhecimento do entrevistado no que se refere a questões ambientais de um modo geral (Questões de 2 à 7). Na Q2, perguntou-se ao entrevistado como ele se considerava a respeito de questões relacionadas ao meio ambiente. Verificou-se, então, que 72% se consideram bem informados e 28% muito bem informados sendo destes, 60% possuem formação completa em nível superior.

Em seguida, foi perguntado às pessoas se existem problemas ambientais que poderiam ser resolvidos ou minimizados com a participação dos mesmos (Q3) e quais seriam esses problemas (Q4). Todos responderam que tem a consciência de que podem resolver ou minimizar (Q3), porém houve dificuldade em apontar exatamente quais seriam esses problemas (Q4), sendo que os comentários se restringiram a apenas quatro blocos: resíduos sólidos, escassez de água, contaminação ambiental e poluição atmosférica (Figura 2.2). Tal dificuldade leva ao questionamento do real nível de “conhecimento ambiental” das pessoas, que se dizem muito bem informadas e que possuem grau de formação elevado, mas tem uma visão restrita sobre os problemas ambientais em que se inserem.

Nesse mesmo contexto, questionou-se sobre os problemas ambientais existentes no CENA/USP (Q5). O descarte de resíduos sem prévio tratamento foi apontado como o principal problema ambiental (58%), seguido da composição vegetal da instituição (33%) e do desperdício de água (8%). Contudo, comparando-se que 58% dos entrevistados apontaram o descarte de resíduos sem prévio tratamento (Q5), com os 72% dos entrevistados que responderam não observar descarte de resíduo químico ou outro material perigoso no CENA/USP (Q13) tem-se um cenário no mínimo duvidoso: afinal, há ou não o descarte indevido na instituição?

Porém, há de se considerar que as respostas da Q5 não são “descarte de resíduos químicos sem tratamento” e sim “descarte de resíduos sem tratamento”, o que não nos permite ter certeza de que os resíduos mencionados pelos entrevistados sejam exatamente os químicos. Podem ser resíduos sólidos, resíduo doméstico (orgânico e de banheiro), dentre outros.



Figura 2.2 - Comentários dos entrevistados a cerca dos problemas ambientais que podem ser resolvidos ou minimizados com a participação dos mesmos

É importante se ressaltar que o CENA/USP integra o campus “Luiz de Queiroz”, e que se localiza rente às margens do Rio Piracicaba, sendo que não é respeitada a Área de Preservação Permanente (APP) definida pelo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1965), cuja largura mínima é definida de acordo com a largura do corpo hídrico (BRASIL, 1989). Devido a este fato o Campus “Luiz de Queiroz” assinou junto ao Ministério Público do Estado de São Paulo um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), para recuperação da APP em toda a área do Campus. A questão do desperdício de água será melhor discutida mais adiante.

Na Q6, perguntou-se se há utilização de algum tipo de material reciclado na seção de trabalho do entrevistado. As respostas obtidas foram 50% sim, 39% não e 11% não tenho certeza. Em seguida (Figura 2.3), busca-se saber que tipo de material reciclado é esse. A resposta dos entrevistados nos leva a crer que uma parte pode ter se confundido ou não tem total conhecimento ambiental, pois os vidros, sacos plásticos, ponteiros e tubos utilizados devem estar sendo reutilizados e não reciclados. Já o papel reciclado e os reagentes reciclados no PGRQ/CENA tem sido empregados com crescente aceitação por parte da comunidade do CENA/USP. Ressalta-se que esse tipo de procedimento é uma das principais premissas adotadas pelo Programa.

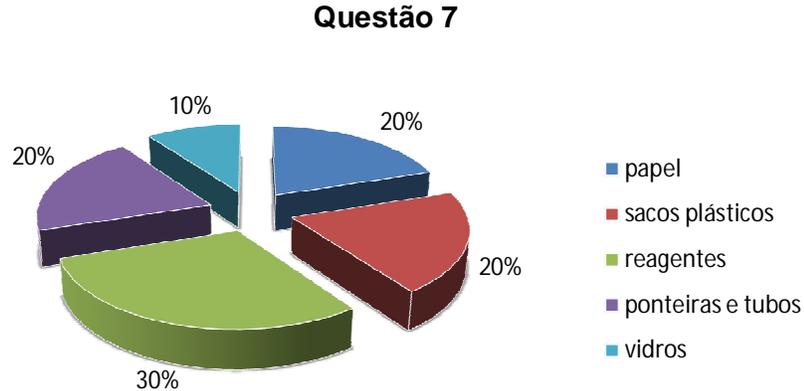


Figura 2.3 - Declaração dos entrevistados sobre qual tipo de material reciclado é consumido em sua seção

Especificamente quanto ao gerenciamento de resíduos no CENA/USP, 83% dos entrevistados afirmaram que há um programa específico dessa natureza implementado na instituição (Q8), o que reflete um problema de maior divulgação.

Em relação à qualidade dos serviços de gerenciamento de resíduos químicos executados, 93% das pessoas consideraram como muito bom ou bom (Q9), porém somente 40% souberam apontar as principais deficiências ou limitações do PGRQ (Q10), como: maior divulgação (33%) e equipe pequena, coleta e procedimentos deficientes (17%). Os entrevistados ainda disseram que o apoio de pesquisadores e alunos (33%) e a ampliação da divulgação (20%) poderiam contribuir para que o PGRQ tivesse melhores resultados (Questões 11 e 12).

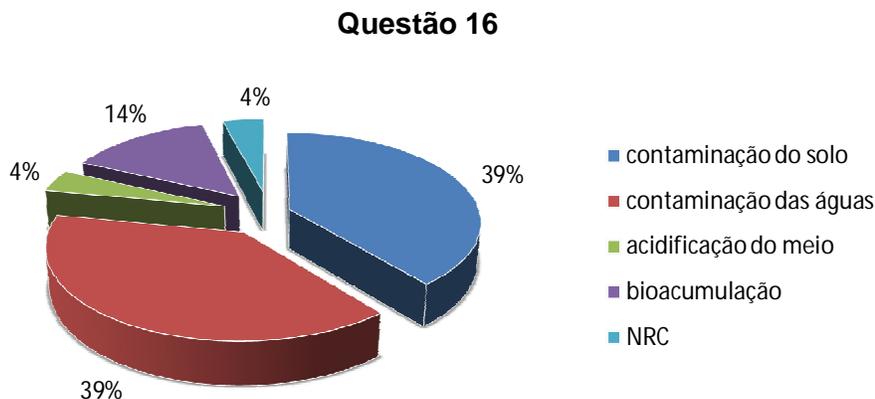


Figura 2.4 - Explicação dos entrevistados aos principais problemas ambientais que podem ser causados ao descartar pilhas e baterias no lixo comum

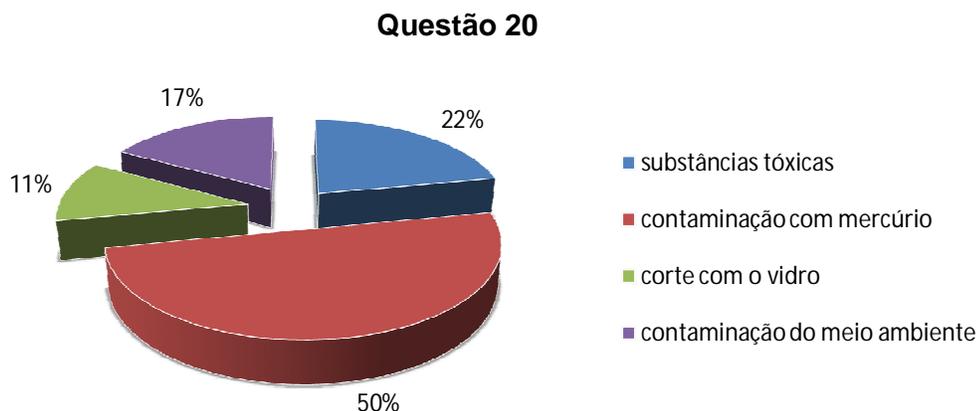


Figura 2.5 - Opinião dos entrevistados a respeito dos riscos associados ao descarte de lâmpadas frias no lixo comum

Também foi notado que no que diz respeito a pilhas, baterias e lâmpadas frias nem todos os entrevistados conheciam os riscos de descartar estes materiais no lixo comum (17% e 28%, respectivamente) (Questões 15 e 19) e dos possíveis problemas ambientais advindos dessa prática (Figura 2.4 e 2.5).

A seguir, perguntou-se ao entrevistado se ele sabia qual a destinação dada às pilhas e baterias e lâmpadas frias após o uso em sua seção (Questões 17 e 21). Dos 11% que responderam saber sobre o destino das pilhas e baterias, 50% citou como resposta o lixo comum e os outros 50% a reciclagem (Q18). Já em relação às lâmpadas queimadas, dos 28% que afirmam saber o destino deste material, 40% mencionou o depósito do CENA/USP, 40% mencionou a reciclagem e os 20% restantes o descarte de vidros (Q22).

O gerenciamento de pilhas, baterias e lâmpadas frias, inicialmente, não integrava o escopo de atividades do PGRQ, porém mais tarde essa responsabilidade foi incorporada. Uma possível medida para melhorar a divulgação do PGRQ e dos riscos associados às pilhas, baterias e lâmpadas frias seria a implantação de um ciclo periódico de palestras ou reuniões visando à divulgação do programa para os recém-chegados à Instituição e também, o esclarecimento de eventuais dúvidas que surgem no decorrer do ano pelos alunos e funcionários que já estão familiarizados com o programa através de reuniões semestrais. Contudo, sabe-se que esse tipo de iniciativa só terá bons resultados se for apoiada pela diretoria da Instituição e pelos responsáveis de cada seção de trabalho.

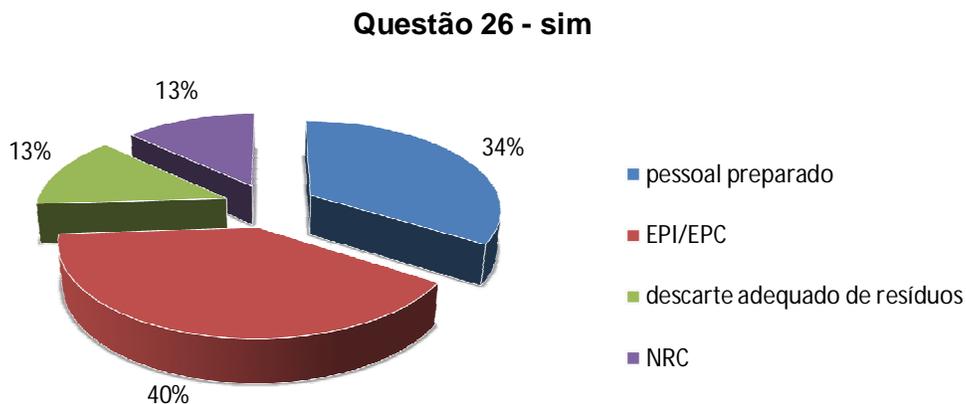


Figura 2.6 - Justificativa dos entrevistados, quanto a segurança no seu local de trabalho em manipular produtos químicos perigosos

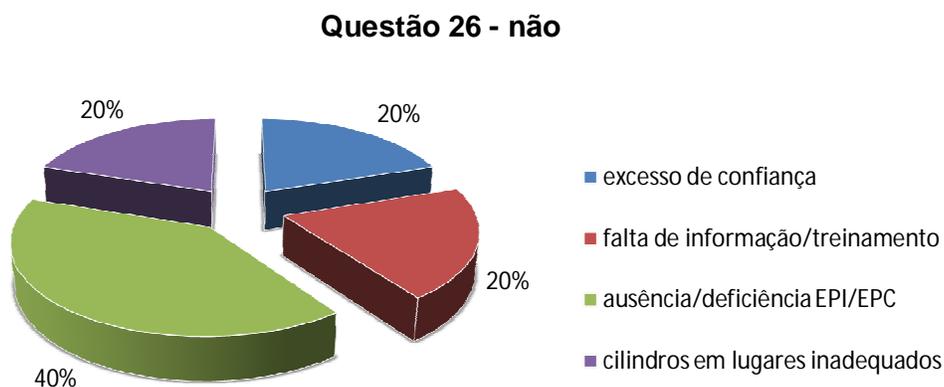


Figura 2.7 - Justificativa dos entrevistados, quanto à insegurança no seu local de trabalho em manipular produtos químicos perigosos

Outro assunto abordado no questionário foi à segurança em química. Segundo os entrevistados, apesar de manipularem ou entrarem em contato com produtos químicos perigosos, como ácidos, bases e solventes orgânicos (Q23), estes consideram o seu ambiente de trabalho totalmente seguro devido principalmente ao uso de EPIs e EPCs (Q25). Dentre estes, a maioria faz uso de EPIs e EPCs (Q26) e 56% acham que não possuem treinamento suficiente para manusear produtos químicos perigosos (Q29). Porém, dos 33% que não o consideram totalmente seguro, 40% cita a ausência ou deficiência dos EPIs e EPCs, o que mostra uma incongruência (Q26) (Figuras 2.6 e 2.7).

Essa incoerência demonstrada pelos entrevistados se dá ao fato de que materiais e equipamentos de segurança estão ao alcance dessas pessoas, porém elas não recebem treinamento suficiente para manusear produtos perigosos e para ter o conhecimento de qual EPI é o mais adequado para o uso de um determinado produto. A grande diversidade de produtos químicos manipulados no dia-a-dia também justifica essa realidade. Deve-se destacar que a partir do 2º semestre de 2009 o grupo gestor de resíduos químicos também vem contribuindo com a distribuição e valorização no uso correto de EPIs.

A questão da gestão de águas servidas no CENA/USP também foi incluída no questionário. Dentre os entrevistados, 44% afirmam saber de onde é proveniente a água que abastece as instalações do CENA/USP (Q30), porém a maioria (56%) não tem esse conhecimento. Entretanto, boa parte dos entrevistados que afirmaram saber a origem do abastecimento equivocaram-se na discriminação do local (Q31). Ocorre que o campus “Luiz de Queiroz” possui uma estação de tratamento de água que atende à ESALQ/USP, mas no CENA/USP o fornecimento fica a cargo do serviço municipal de abastecimento de água e esgoto (SEMAE), o que deu margem à confusão.

Quanto à necessidade de tratamento visando o uso de água purificada para fins analíticos, 94% dos entrevistados responderam que há tratamento (Q32). Quando estimulados a mencionar a técnica de purificação empregada (Q33), apenas 38% responderam que o processo era baseado na desionização em resinas de troca iônica, a técnica implementada para substituir o uso em rotina de equipamentos de destilação e osmose reversa nos laboratórios (TAVARES et al., 2004), que obtiveram 38% e 13% respectivamente das respostas.

Os resultados acima explicitados permitem o entendimento de que esforços devem ser direcionados no sentido de viabilizar uma maior incorporação do uso da água desionizada, produzida na Central de Produção do CENA/USP, uma vez que uma parte dos laboratórios, embora reduzida, ainda produz água em suas instalações por outras técnicas (destilação, osmose reversa). Foi possível avaliar também que a justificativa para o uso da água desionizada deve ser alicerçada na economia de água e energia que se obtém com o uso da técnica de troca iônica, e não no aspecto da qualidade da água, uma vez que esta é considerada satisfatória pelos entrevistados (Q35).

2.3.2 Monitoramento dos efluentes gerados pelos laboratórios do CENA/USP

As avaliações realizadas segundo os critérios para lançamento de efluentes estabelecidos pela Resolução 357 (CONAMA, 2005), com a finalidade de avaliar as condições dos efluentes químicos lançados pelos laboratórios do CENA/USP, estão contidas na Tabela 2.1. Alguns dados relacionados com a concentração química de elementos e compostos orgânicos, bem como propriedades físicas e químicas da água do rio Piracicaba, nos dois pontos amostrados, podem ser observados na Tabela 2.2.

Com relação aos efluentes da instituição algumas inconformidades são encontradas nos Pontos C (pH e teores de Cu, Cr e Fe) e D (concentração elevada de N-NH₃).

Assim pode-se observar que das concentrações totais encontradas para vários elementos químicos, na maioria dos pontos amostrais, apresentou-se abaixo do limite para descarte em consonância com o CONAMA (2005), porém os valores de Cu, Cr e Fe no Ponto C de amostragem, ultrapassaram o limite de descarte (Tabela 2.1). A explicação mais provável para esses valores é o fato do descarte no Ponto C ter origem de efluentes do prédio mais antigo da instituição (prédio 1) no qual toda tubulação é metálica, antiga e encontra-se bastante desgastada. Outra não conformidade também encontrada no Ponto C, foi o pH abaixo de 3, uma vez que a resolução permite descarte dos efluentes com pH entre 5 e 9. Essa acidez é resultado da lavagem das vidrarias do laboratório com solução de ácido clorídrico 10% (v/v) o que também colabora para uma maior corrosão das tubulações metálicas e assim justificando os valores elevados de Cu, Cr e Fe.

Por outro lado, a avaliação foi pontual e se levado em consideração que o Ponto C interliga ao Ponto D e que essas vazões foram respectivamente na ordem de 100 mL.min⁻¹ e 1 L.min⁻¹ a mistura final desses efluentes apresentaram um efluente dentro das condições aconselhadas pelo CONAMA (2005).

Tabela 2.1 - Dados médios (n=5) dos efluentes nos Pontos A, B, C, D do CENA/USP

Parâmetro	Limite de Emissão ⁽¹⁾	Amostra			
		Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D
Bário ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	5.000	53±4	100±11	48±6	17±3
Cádmio ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	200	2±0	12±2	9±3	3±0
Chumbo ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	500	15±2	26±5	113±30	13±2
Cobre ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1.000	13±2	209±90	4.420±1.490	360±150
Cromo ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	500	2±0	4±0	735±364	83±35
Ferro ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	15.000	71±7	490±70	17.740±8.380	1.850±830
Manganês ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1.000	15±2	68±10	260±110	30±10
Níquel ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2.000	27±3	39±5	1.670±810	200±80
Zinco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	5.000	86±13	410±80	1.860±640	170±70
N-amoniaco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	20.000	15.900±2.300	5.200±2.100	12.400±3.900	739.800±196.400
pH	5,0-9,0	6,8±0,1	5,2±0,2	2,8±0,2	7,9±0,1
Condutância (mS.cm^{-1})	-	0,570±0,05	0,534±0,07	3,24±1,31	33,59±2,91
Vazão (L.min^{-1})	-	4,22±2,04	2,10±1,30	0,11±0,10	1,06±0,27

⁽¹⁾Resolução Conama 357; cor vermelha: acima dos padrões de emissão estabelecidos na Resolução Conama 357.

Tabela 2.2 - Dados médios (n=5) das coletas no rio Piracicaba; montante e jusante do CENA/USP

Parâmetro	Limite de Emissão ⁽¹⁾	Rio Montante	Rio Jusante
Bário ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	5.000	61±1	66±4
Cádmio ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	200	2±0	2±0
Chumbo ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	500	12±1	10±5
Cobre ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1.000	7±1	84±1
Cromo ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	500	3±0	3±0
Ferro ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	15.000	590±10	180±10
Manganês ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1.000	290±30	86±5
Níquel ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2.000	29±1	31±1
Zinco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	5.000	16±3	70±16
N-amoniaco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	20.000	4.000±1.500	2.200±1.300
pH	5,0-9,0	7,1±0,2	6,9±0,2
Condutância (mS.cm^{-1})	-	0,499±0,275	0,445±0,263

⁽¹⁾Resolução Conama 357.

Deve-se ainda destacar que a partir dos dados obtidos no Ponto C o Laboratório e o PGRQ disponibilizaram bombonas de polipropileno para armazenar o ácido de lavagem que está sendo utilizado na neutralização de resíduos alcalinos. A partir de então o pH no referido efluente mostrou valores médios de 6,6±0,1.

Com relação aos valores obtidos no Ponto D, pode-se destacar que o processo de separação dos isótopos de nitrogênio, bandas de íons NH_4^+ são deslocadas nos sistemas de colunas de enriquecimento isotópico, pela admissão de solução $0,8 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH , ficando a resina na forma R-Na^+ e solução da base entre as perolas da resina (volume intersticial). A base é removida por lavagem com 30 litros de água desionizada, sendo totalmente recuperada. Na frente de deslocamento tem-se um efluente contendo solução $0,8 \text{ mol.L}^{-1}$ de NH_3 que é recuperada por neutralização com solução 5% (m/v) de ácido sulfúrico, obtendo sulfato de amônio que é reutilizado.

No entanto para que a coluna de resina pudesse ser novamente reutilizada, como fase estacionária no sistema cromatográfico de enriquecimento, no deslocamento da banda (permitindo a continuidade do enriquecimento isotópico), fazia-se necessário a regeneração dos seus sítios ativos sulfônicos, ao estado iônico R-NH_4^+ . A regeneração ao estado iônico R-NH_4^+ constituiu na lavagem da resina com solução $0,75 \text{ mol.L}^{-1}$ de sulfato de amônio, onde os íons Na^+ absorvidos são deslocados por ação de massa pelo íon NH_4^+ , até a saturação dos sítios ativos com amônio. As colunas de resina catiônica (sete colunas com diâmetro de 15 cm e 200 cm de comprimento), após serem regeneradas ao estado iônico R-NH_4^+ , apresentam no volume intersticial (entre pérolas de resina) solução regenerante remanescente. A eliminação desta solução foi realizada com água desionizada.

Os valores de N-amoniaco encontrados no efluente D ($740 \pm 196 \text{ mg.L}^{-1}$ de N) referem-se ao lançamento da fase final da etapa de regeneração da resina catiônica Dawex 50 W-X8 da forma sódio (R-Na^+) à forma amônio (R-NH_4^+), incluindo a lavagem da resina contendo excesso de sulfato no processo de cromatografia, troca iônica (MAXIMO et al., 2000).

A partir do monitoramento realizado foi possível estabelecer novos parâmetros para descarte de efluentes na linha de separação dos isótopos estáveis de N. Para tanto procederam-se coletas dos efluentes nas etapas de regeneração compreendidas pela carga dos sítios ativos à forma R-NH_4^+ e lavagem da resina com água desionizada. Os dados referentes a regeneração e eliminação de sulfato de amônio intersticial podem ser observados nas Figuras 2.8 e 2.9. No processo de carga (Figura 2.8) pode-se observar que o volume de sulfato de amônio necessário para completa eliminação dos íons Na^+ , dos sítios ativos da resina catiônica, foi de aproximadamente 58 L, quando a concentração de Na^+ foi inferior a 5 mmol.L^{-1} .

Nesse ponto (passagem de 58 L de solução de sulfato de amônio) a concentração de NH_4^+ no efluente e solução alimentadora ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ afluente) são praticamente iguais ($0,75 \text{ mol.L}^{-1}$ de NH_4^+). A Figura 2.9 que apresenta a curva de lavagem do sulfato de amônio do volume de resina catiônica indica que a partir do 12º litro de efluente inicia-se o decréscimo da concentração de sulfato de amônio e que após a passagem de 18 litros de água a concentração do sal de amônio praticamente é nula.

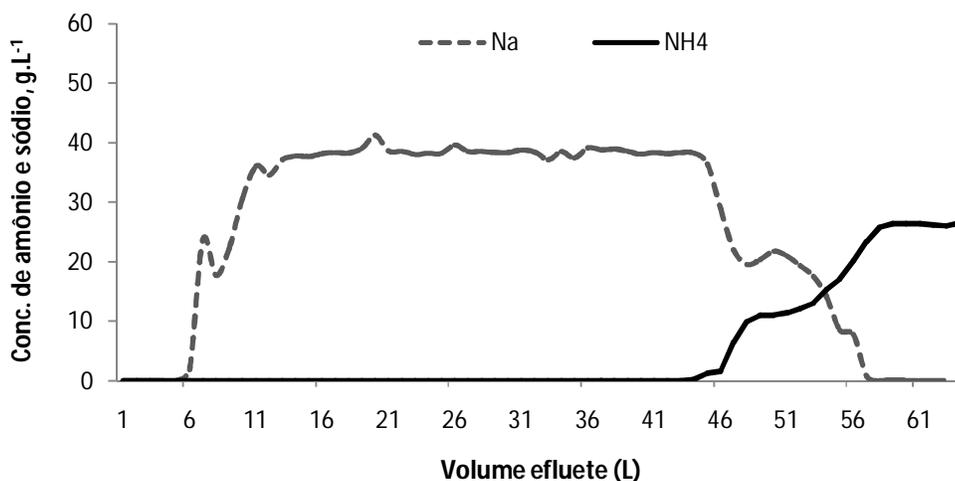


Figura 2.8 – Etapa de regeneração da resina catiônica da forma sódio (R-Na^+) à forma amônio (R-NH_4^+)

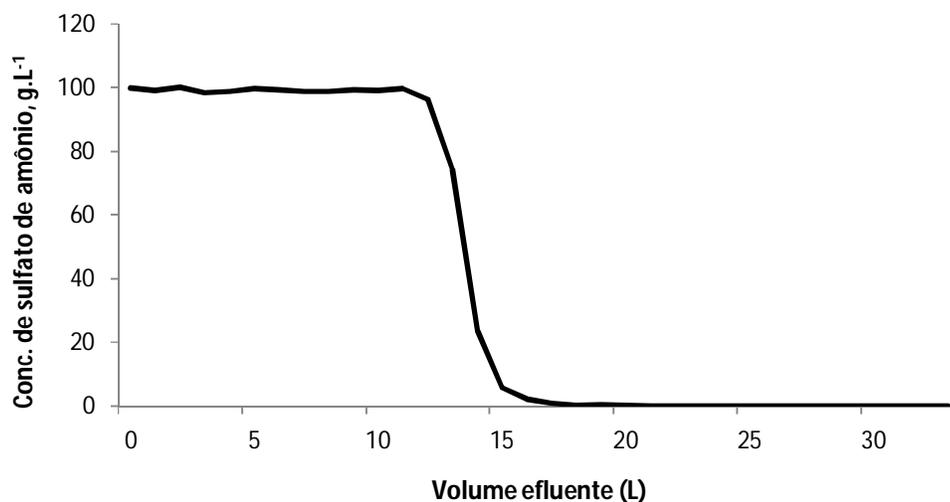


Figura 2.9 – Lavagem do sulfato de amônio residual entre o volume intersticial das colunas, após a regeneração com sulfato de amônio

Anteriormente ao trabalho de monitoramento do efluente do laboratório (ponto D), procedia-se a recuperação (reator de sulfato de amônio) do sulfato de amônio nos 10 minutos finais da etapa de carga, totalizando cerca de 5 L de solução. Atualmente a recuperação do efluente contendo sulfato de amônio é realizada a partir do volume 48 litros mesmo com a presença de íons Na^+ no efluente ($19,6 \text{ g.L}^{-1}$). A quantidade de Na^+ nessa etapa (152,1 g) foi diluída consideravelmente no tanque de recuperação (2000 L) que também recebe solução de NH_3 (neutralizada com H_2SO_4) e água de lavagem da banda cromatográfica na fase de recuperação do sulfato de amônio do volume intersticial da coluna.

Desta forma a concentração de Na^+ no tanque de recuperação foi de $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$, não interferindo nas futuras etapas de regeneração das resinas catiônicas a forma amônio (R-NH_4^+). Levando-se em consideração que a concentração do NH_4^+ , no mesmo tanque, foi de $0,75 \text{ mol.L}^{-1}$. Nessa etapa foi possível recuperação adicional de 495 kg de sulfato de amônio, anualmente. Na etapa de lavagem do volume intersticial da resina, objetivando a recuperação da solução residual de sulfato de amônio, procedeu-se importante mudança com a finalidade de eliminar o descarte de efluente. Nesse sentido foi recuperado (tanque 2000 L) os oito litros iniciais (cerca de 15 minutos), quando concluiu-se a etapa de lavagem. A solução de sulfato de amônio ainda remanescente na coluna e que anteriormente era descartado no esgoto, foi eluída com a banda cromatográfica (solução de $\text{NH}_3 \text{ aq}$) na frente de deslocamento (fração empobrecida) e recuperada no tanque de sulfato de amônio, não interferindo no processo de separação isotópica. Com o procedimento foi possível a recuperação anual adicional de 433 kg de sulfato de amônio e evitar o descarte de N-NH_4^+ no efluente do ponto D. Dessa forma, com o aperfeiçoamento do processo de regeneração, foi possível reciclar anualmente, cerca de 925 kg de sulfato de amônio, correspondendo a economia mensal na ordem de R\$ 200,00.

Pôde-se observar que os efluentes lançados pela instituição não interferiram nas características da água do rio Piracicaba, pois os resultados das análises químicas realizadas nas amostras do rio foram semelhantes nos pontos amostrais, montante e jusante da canalização de descarte dos efluentes do CENA/USP.

No que se refere a parâmetros como condutividade, não há limites estabelecidos por órgãos fiscalizadores, no entanto a temperatura das amostras de efluentes coletadas oscilou entre 18 e 29°C , o pH médio dos efluentes foi próximo a 5, respeitando o limite de 40°C e pH entre 5 - 9 previsto na Resolução Conama 357.

Em relação aos parâmetros orgânicos (benzeno, tolueno, clorobenzeno, tricloroetano, entre outros), as concentrações foram abaixo do limite de quantificação do método analítico empregado ($2,0 \mu\text{g.L}^{-1}$), exceto para o clorofórmio nos Pontos A, B, C e D, porém os valores detectados foram 100 vezes inferiores ao limite estabelecido pela Resolução 357 de 1 mg.L^{-1} (CONAMA, 2005).

2.4 Conclusões

A pesquisa executada junto aos usuários do PGRQ permite contemplar um cenário bastante positivo no que tange aos aspectos ambientais de uma forma geral. Fica evidente que a temática faz parte do dia-a-dia do público alvo, ainda que algumas respostas tenham sido confusas, permitindo o questionamento da efetividade do domínio do conhecimento pelos entrevistados.

Ainda que a avaliação do PGRQ tenha sido positiva, o trabalho permite identificar alguns pontos a serem aprimorados, tais como a necessidade de maior colaboração por parte dos usuários e uma maior divulgação das ações e premissas do programa, sendo uma possível solução um ciclo periódico de palestras, visando à divulgação do programa para os recém-chegados e para o esclarecimento de eventuais dúvidas de colaboradores.

O acompanhamento dos efluentes possibilita uma análise mais detalhada que a realizada anteriormente na Instituição por Tuono (1999). De maneira geral, é possível observar que o descarte de resíduos provenientes dos laboratórios mostrou ser ambientalmente correto no período analisado, pois atendem quase sempre aos limites de emissão estabelecidos na legislação vigente. Nos laboratórios responsáveis pelo lançamento de efluentes no Ponto C de amostragem, o problema foi solucionado com a coleta das soluções ácidas (lavagem de vidrarias) que está sendo empregadas na neutralização de efluentes alcalinos. Com relação ao ponto D de descarte, a adequação dos procedimentos foi concluída com sucesso, além do retorno financeiro, com a recuperação completa dos efluentes amoniacais, um importante ganho ambiental foi obtido.

Referências

AUBRUN, C.; THEILLIOL, D.; HARMAND, J.; STEYER, J.P. Software sensor design for COD estimation in an anaerobic fluidized bed reactor. **Water Science & Technology**, London, v.43, p.115-120, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

BAHADIR, M.; BOLLMEIER, M. Waste origin, its management and its disposal at the Technical University of Braunschweig. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RESIDUE MANAGEMENT IN UNIVERSITIES, 1., 2002, Braunschweig. **Proceedings...** Braunschweig: Technical University of Braunschweig, Department of Waste Management, 2002. p.23-24.

BENDASSOLLI, J.A.; MAXIMO, E.; IGNOTO, R.F.; TAVARES, G.A. Gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP. **Química Nova**, São Paulo, v.26, n.4, p.612-617, 2003.

BRASIL. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Lei Federal nº 7.803**, de 15 de agosto de 1989. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga Climatologia e Estudos da Paisagem Rio Claro – Vol.4 – n.2 – julho / dezembro/2009, p. 26 as Leis nº 6.535, de 15 de julho de 1978 e 7.511, de 7 de julho de 1986. 1996. Disponível em:

http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/federal/leis/1989_Lei_Fed_7803.pdf. Acesso: 11 jan. 2010.

BRASIL. **Lei Federal n 4771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo código florestal brasileiro. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm. Acesso em: 05 jan. 2010.

CECILE, J.L. Needs and use of continuous monitoring equipment for wastewater treatment. Standardization y/n? In: COLIN, F.; QUEVAUVILLER, P. (Ed.). **Monitoring of water quality**. Oxford: Elsevier Science, 1998. p.237–244.

COELHO, F. Segurança em química. In: ENCONTRO NACIONAL DE SEGURANÇA EM QUÍMICA, 1., 2000, Campinas. **Livro de resumos...** Campinas: UNICAMP, 2000.1 CD-ROM.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Legislação Federal, **Resolução Conama 20**, de 18/06/1986, Brasil.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Legislação Federal, **Resolução Conama 357**, de 17/03/2005, Brasil.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 357**, de 17 de março de 2005. Capítulo III das condições e padrões de qualidade das águas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, março de 2005.

CUNHA, C.J. O programa de gerenciamento dos resíduos laboratoriais do Depto de Química da UFPR. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n.3, p.424-427, 2001.

DEMING, W.E. **Qualidade**: a revolução da administração. São Paulo: Editora Saraiva, 1992.

PASQUINI, C.; FARIA, L.C.; Flow injection determination of ammonia in kjeldahl digest by diffusion and conductometry. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v.193, p.19-27, 1987.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição**. Tradução de Juergen Heinrich Maar. São Paulo: EDUSP, 1980.

GILONI-LIMA, P.C.; LIMA, V.A. Gestão integrada de resíduos químicos em instituições de ensino superior. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.6, p.1595-1598, 2008.

GOBATO, E.A.A.F.; LANÇAS, F.M. Comparação entre injeção na coluna (*on-column*) e *headspace* dinâmico na determinação de benzeno, tolueno e xilenos (BTX) em amostras de água. **Química Nova**, São Paulo, v.24, p.176-179, 2001.

HACK, M.; LORENZ, U. Online load measurement in combined sewer systems - Possibilities of an integrated management of waste water transportation and treatment. **Water Science & Technology**, London, v.45, p.421-428, 2002.

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

MAXIMO, E.; BENDASSOLLI, J.A.; TRIVELIN, P.C.O. Enrichment of ^{15}N by Coupling Three Systems of Ion-Exchange Chromatography Columns. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ISOTOPE, 3., 2000, Vancouver. **Isotope production and applications in the 21st century**. Singapore : World Scientific Printers, 2000. p.137-139.

NOLASCO, F.R.; TAVARES, G.A.; BENDASSOLLI, J.A. Implantação de programas de gerenciamento de resíduos químicos laboratoriais em universidades: Análise crítica e recomendações. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.11, n.2, p.118-124, 2006.

PRADO, A.G.S. Química verde, os desafios da química do novo milênio. **Química Nova**, São Paulo, v.26, p.738-744, 2003.

SILVA, J. **Metodologia de monitoração de efluentes de laboratórios: aplicação no Instituto de Química da UNICAMP**. 2005. 156 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SPERANDIO, M.; QUEINNEC, I. Online estimation of wastewater nitrifiable nitrogen, nitrification dynamics and denitrification rates, using ORP and DO dynamics. **Water Science & Technology**, London, v.49, p.31-38, 2004.

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L.L. A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.13, n.3, p.503-515, 2006.

TAVARES, G.A.; BENDASSOLLI, J.A. Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.4, p.732-738, 2005.

TUONO, V. **Avaliação dos principais resíduos químicos gerados nos laboratórios do CENA/USP**. 1999. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

VEGA, C.A.; OJEDA-BENITEZ, S.; RAMÍREZ-BARRETO, Ma.E. Mexican educational institutions and waste management programmes: a University case study. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v.39, p.283-296, 2003.

VIEBAHN, P. An environmental management model for universities: from environmental guidelines to staff involvement. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.10, p.3-12, 2002.

3 DEGRADAÇÃO ALCALINA DA ACETONITRILA E RECUPERAÇÃO DO NITROGÊNIO na forma de SAL DE AMÔNIO

Resumo

O emprego da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em alguns laboratórios do CENA/USP bem como em diversos laboratórios de ensino, pesquisa e prestação de serviços, proporciona a geração de quantidades significativas de resíduos contendo mistura acetonitrila e água. O objetivo do trabalho foi desenvolver um método simples e economicamente viável, para o tratamento desses resíduos, utilizando degradação alcalina (NaOH) e ao mesmo tempo reaproveitar a amônia gerada. No trabalho foi estudado a possibilidade de tratamento da acetonitrila em diferentes concentrações (1,7, 5 e 10% v/v), variando as razões molares, entre acetonitrila e hidróxido de sódio (1:2, 1:4 e 1:8), nos tempos de 3, 6 e 9 horas de reação, em meio aquoso e em meio etanólico, a temperatura ambiente e a 80°C. A amônia liberada foi retida em solução de ácido sulfúrico, suficiente para promover a neutralização, formando sulfato de amônio, o qual foi reaproveitado na própria instituição. Com o objetivo de obter melhores condições experimentais no tratamento do solvente, utilizou-se acetonitrila grau analítico. Os resultados indicaram que a eficiência máxima alcançada foi de 88% para degradação de acetonitrila residual e 96% para degradação de acetonitrila p.a. O método proposto apresenta vantagens, quando comparado a decomposição física e biológica, por ser de fácil manuseio e baixo custo, o que contribui, para o uso em rotina no laboratório.

Palavras-chave: Resíduos. Acetonitrila. Decomposição.

Acetonitrile alkaline degradation and nitrogen recovery in ammonium salt form

Abstract

The use of high performance liquid chromatography (HPLC) in some laboratories at CENA/USP as well as in many teaching, research and service laboratories generates substantial quantities of wastes containing a mixture of acetonitrile and water. This work aimed to develop a simple and economically viable waste treatment method using alkaline degradation (NaOH) and at the same time promote ammonia reuse. It was studied the acetonitrile treatment at different concentrations (1,7, 5 and 10% v/v), varying the molar ratios between acetonitrile and sodium hydroxide (1:2, 1:4 and 1:8), in 3, 6 and 9 hours of reaction, in aqueous and ethanoic means, at environment temperature and 80°C. The ammonia released was trapped in sulfuric acid solution, sufficient to promote the neutralization, forming ammonium sulfate, which was reused within the institution. The best experimental conditions were obtained using acetonitrile p.a. The results showed that the maximum efficiency achieved was 88% for residual acetonitrile degradation and 96% for acetonitrile p.a. degradation. The proposed method has advantages when compared to physical and biological decomposition, because it is easy to handle and low cost, which contributes to the routine use in the laboratory.

Keywords: Wastes. Acetonitrile. Decomposition.

3.1 Introdução

A substância química acetonitrila ou cianeto de metila, também denominada pela sigla ACN, é um produto orgânico que ocorre na forma líquida, praticamente incolor, produz vapores irritantes e de odor aromático. Esse composto químico é a mais simples nitrila orgânica que em contato com oxidantes, ácidos e aquecimento forte, pode se decompor e formar misturas explosivas.

A acetonitrila é amplamente utilizada nos processos de extração de hidrocarbonetos especialmente para butadienos, depuração de ácidos graxos de óleos vegetais, fabricação de produtos farmacêuticos, como um solvente polar aprótico em química sintética e como um solvente de polaridade média em Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) (FERREIRA; DA SILVA; COELHO, 2000; TARAS; HÅKANSSON; GUIEYSSE, 2004; FENG; LEE, 2008).

Por ser um formador de nitrila, a acetonitrila é controlada pela polícia federal, pois sua decomposição em meio ácido pode causar a liberação de ácido cianídrico considerado um gás letal por inalação. Possui efeito tóxico aos humanos e ao meio ambiente no geral, portanto o tratamento desse solvente é essencial para evitar a contaminação das vias aquáticas.

Embora o tratamento de acetonitrila é viável por métodos físicos, químicos e biológicos, os métodos físicos exemplificados por destilação e decomposição térmica, não são aconselháveis, pois sob altas temperaturas sua decomposição pode formar produtos indesejáveis, como compostos explosivos e misturas azeotrópicas para o método de destilação. Processos biológicos são mais atraentes devido a custos mais baixos, porém trabalhos encontrados na literatura com taxas de degradação entre 90 - 100% são viáveis para concentrações de acetonitrila, próximas a 1% e limitadas a altas concentrações (TARAS; HÅKANSSON; GUIEYSSE, 2004; FENG; LEE, 2008).

A degradação de acetonitrila 6M por microorganismos, atingindo taxas de 90% de conversão do solvente a ácido acético, foi possível em 10h de reação. No entanto, o processo ocorre a partir da combinação entre dois microorganismos diferentes, o primeiro (*Rhodococcus pyridinivorans* S85-2) com a capacidade de realizar a degradação da molécula de acetonitrila em molécula de acetamida e o segundo microorganismo (*Brevundimonas diminuta* AM10-C-1), capaz de degradar a molécula de acetamida em ácido acético (KOHYAMA et al., 2006).

Os processos oxidativos avançados (POAs), caracterizados pela geração do radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) de alto poder oxidante, constituem os mais promissores sistemas para tratamento de inúmeros compostos químicos. O emprego desses processos na degradação de resíduos aquosos contendo até 20% (m/v) de acetonitrila mostraram elevada eficiência possibilitando atingir até 100% de degradação da molécula. Porém esse sistema oxidativo ainda requer estudos objetivando avaliar possível formação de compostos voláteis tóxicos durante a decomposição (MICARONI; BUENO; JARDIM, 2004).

A partir do tratamento químico da molécula de acetonitrila (ACN) com solução etanólica de hidróxido de sódio (20% m/v) e hipoclorito de cálcio, em sistema estático por uma semana e fazendo-se uso de bombona de 50L, foi possível obter a completa degradação da ACN (FERREIRA; DA SILVA; COELHO, 2000). O mecanismo de degradação química completa da acetonitrila fazendo-se uso da degradação alcalina, produzindo o ânion carboxilato pode ser representado pela Figura 3.1.

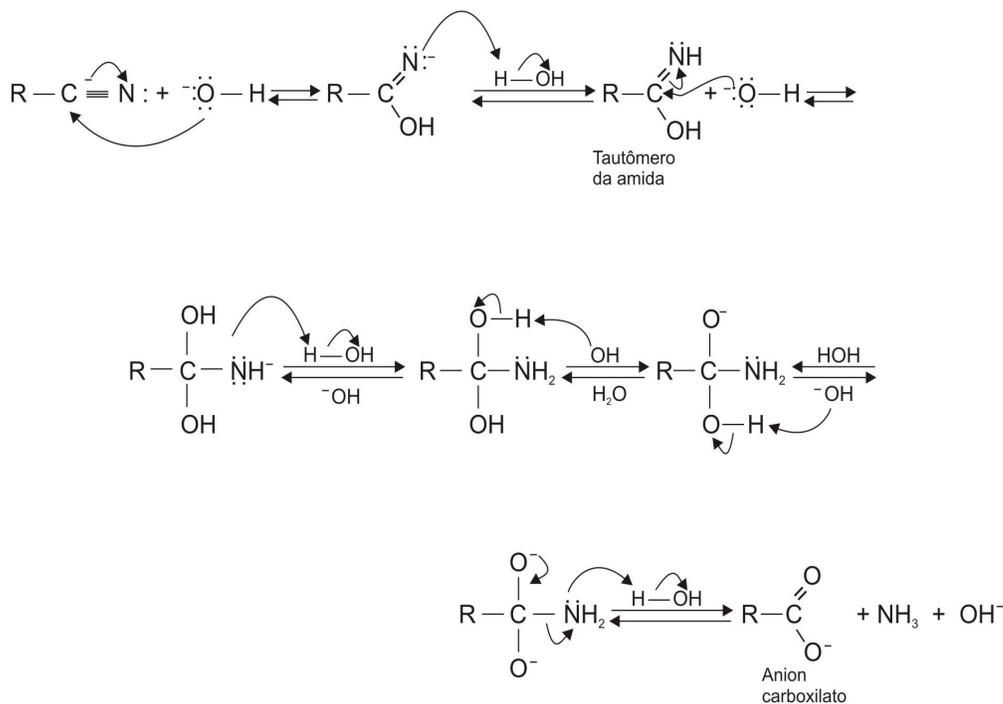


Figura 3.1 - Hidrólise básica de uma nitrila

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de método para tratamento de acetonitrila fazendo-se uso da degradação alcalina e ao mesmo tempo reaproveitar a amônia gerada no processo.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Material

Os reagentes empregados para degradação alcalina da acetonitrila e nas análises química foram: hidróxido de sódio; ácido sulfúrico; etanol; acetonitrila p.a. com prazo de validade expirado; solução residual de acetonitrila; gás nitrogênio; gelo; água desionizada e vidrarias convencionais de laboratório (béqueres, pipetas, provetas, balões volumétricos, micropipetas, etc.). A partir da acetonitrila p.a. preparou-se uma solução 60% (v/v) com adição de água desionizada, como objetivo de simular as condições de geração do resíduo nos laboratórios do CENA/USP.

Os equipamentos utilizados foram: agitador magnético Marconi MA-085; balança eletrônica digital marca And, modelo ER-182A (escala 0,0001 g); unidade de refrigeração e recirculação de água marca Biotech; medidor de pH marca Texto, modelo 252; espectrômetro de massas, modelo ANCA-GSL 20-20 da PDZ Europa, Krewe, UK.

3.2.2 Tratamento químico

Para viabilizar o experimento, foi dimensionado e construído um sistema especial, apresentado na Figura 3.2, composto por: controlador de vazão do gás (N_2) de arraste na vazão $0,2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$; manta aquecedora mantida a 80°C ; balão de reação com capacidade para 3 L; condensador de refluxo mantido a 15°C ; armadilha para retenção da amônia, contendo solução de ácido sulfúrico. O tratamento foi baseado na reação de decomposição da acetonitrila em meio alcalino conforme a eq. (3.1).

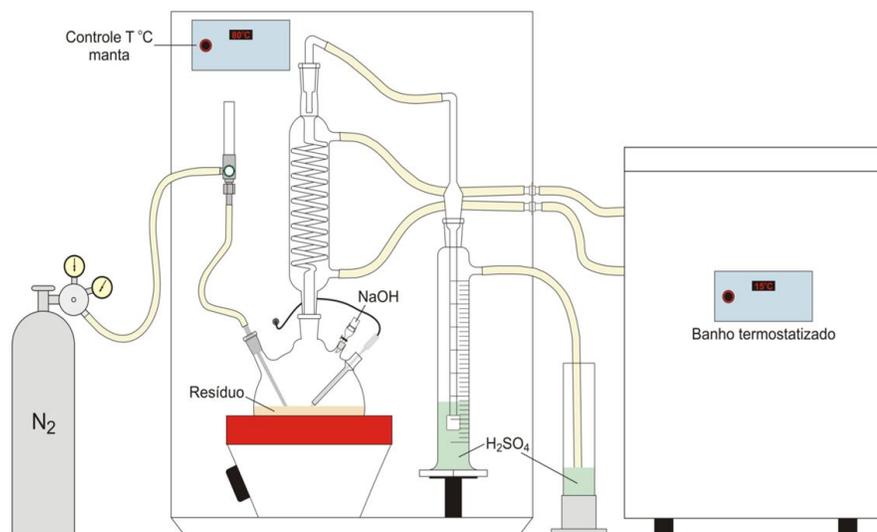


Figura 3.2 - Esquema do sistema empregado no tratamento de acetonitrila



O condensador (Figura 3.2) foi projetado na vertical com a intenção de favorecer o refluxo de vapor d'água e acetonitrila, permitindo assim a passagem do gás de arraste (N_2), com a amônia formada na decomposição. A amônia obtida a partir da eq. (3.1) foi retida em uma armadilha (Figura 3.2) contendo solução 5 mol.L^{-1} de ácido sulfúrico, promovendo a neutralização da base e formação de sulfato de amônio (eq. (3.2)), o qual foi reaproveitado no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP (LIE-CENA/USP) na linha de produção de compostos enriquecidos em ^{15}N (BENDASSOLLI et al., 2003).



Para a realização dos experimentos foram ajustadas as condições de vazão do gás (N_2), volume e temperatura de trabalho e os testes realizados em triplicata. Inicialmente adicionaram-se, ao balão de reação, a mistura 60% v/v (acetonitrila e água) e solução de hidróxido de sódio 10 mol.L^{-1} em meio aquoso ou em meio etanólico, apenas nas condições mínimas de tempo e razão molar estudadas. Após a adição da mistura contendo acetonitrila/água/NaOH com ou sem etanol, conectou-se o condensador ao balão de reação, iniciando a passagem do gás (N_2) de arraste na vazão $0,2 \text{ L.min}^{-1}$, mantendo a temperatura de reação a 80°C e variando os parâmetros de acordo com o apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Tratamentos estudados na degradação de acetonitrila (ACN), nas concentrações 1,7; 5 e 10% (v/v) de ACN

Tratamento	Tempo (h)	Razão molar (ACN:NaOH)
1	3	1:2
2	6	1:2
3	9	1:2
4	6	1:4
5	6	1:8
6	3	1:4
7*	3	1:2
8*	3	1:4

* Meio Etanólico 50% (v/v)

Com objetivo de verificar a influência da temperatura de reação na eficiência do tratamento proposto, foi realizado em período de 30 dias, dois ensaios (semi-estático e estático) à temperatura ambiente, utilizando-se em ambos da razão molar entre acetonitrila e hidróxido de sódio de 1:4, diferindo porem na passagem do gás de arraste. Na situação semi-estática a amônia gerada foi deslocada diariamente com fluxo gasoso $0,2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ de N_2 para a solução de ácido sulfúrico $5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ por um período de 3 horas. A solução ácida de retenção da amônia foi substituída, nesses ensaios, no 15º e 30º dia, quando procedeu-se a quantificação do volume e determinação do teor de N. O estudo em processo estático, diferiu no deslocamento da amônia gerada, que ocorreu apenas no 15º e 30º dia, mantendo as mesmas condições de vazão, tempo e troca da solução ácida.

Após a condução e avaliação dos tratamentos (Tabela 3.1), utilizando acetonitrila p.a., foi possível estabelecer as melhores condições experimentais para avaliar o tratamento dos resíduos de acetonitrila gerados nos laboratórios do CENA/USP, notadamente nas análises por cromatografia líquida de alta eficiência. Vale lembrar que a correta separação no instante da geração, é muito importante para viabilizar o tratamento do resíduo de interesse. Para tanto foram disponibilizados aos laboratórios geradores frascos de vidro com capacidade de 4 L, devidamente identificados, bem como treinamento para o pessoal responsável pela geração do resíduo.

3.2.3 Determinação de nitrogênio e eficiência de conversão

A eficiência do tratamento proposto foi estudada em função da conversão do N-ACN, do balão de reação, a N-NH₄⁺ das amostras recuperadas (sulfato de amônio). Esse balanço de N foi possível fazendo-se uso das determinações realizadas por espectrometria de massas, contendo analisador automático de N, modelo ANCA-GSL, 20-20 da PDZ Europa, Krewé, UK (BARRIE; PROSSER, 1996). Com a finalidade de verificar possíveis perdas de N no sistema de tratamento de acetonitrila, foram também analisadas a solução ácida contida na segunda armadilha do sistema e também na solução ácida utilizada para lavagem das paredes do condensador e mangueiras de silicone e recolhida em recipiente apropriado.

A eficiência do processo de tratamento da acetonitrila foi obtida a partir do balanço de N, conforme a eq. (3.3).

$$\text{Ef}(\%) = \frac{M^{N-SA}}{M^{N-ACN}} \times 10^2 \quad (3.3)$$

Onde:

Ef(%): Eficiência da conversão de N-ACN à N-NH₄⁺ (sulfato de amônio);

M^{N-SA} = massa de N (sulfato de amônio) na solução de retenção de NH₃;

M^{N-ACN} = massa de N (ACN) na solução residual inicial.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Estudo do método de degradação alcalina

Com a linha desenvolvida, foi possível avaliar a degradação alcalina da molécula de acetonitrila, permitindo alcançar boas eficiências calculadas a partir do percentual (%) de conversão do N-ACN à N-NH₄⁺, expressos em gramas de N-NH₄⁺ recuperadas (Tabela 3.2). A eficiência do sistema de tratamento foi obtida a partir da eq. (3.3). Deve-se, porém ressaltar que a dimensão do equipamento limitou os ensaios, não sendo possível a realização do tratamento 5 (razão ACN:NaOH de 1:8) na concentração 10% (v/v) de acetonitrila.

A eficiência (%) média (Tabela 3.2) obtida nos ensaios para degradação de acetonitrila p.a., com aquecimento, em função da variação de tempo, razão molar entre acetonitrila e hidróxido de sódio, meio reacional aquoso e etanólico, para as concentrações 1,7, 5 e 10% (v/v) de acetonitrila, foi de 69, 86 e 88%, respectivamente. Os resultados da Tabela 3.2 mostram que a eficiência (%) do tratamento da acetonitrila é diretamente proporcional a concentração do soluto no resíduo.

Na Tabela 3.2, observam-se os resultados da análise estatística para a massa (g) de N-NH_4^+ obtida a partir do N-ACN, para as três concentrações de ACN e tratamentos realizados. Com relação a concentração 1,7% de acetonitrila pode-se verificar que os melhores resultados foram obtidos para os tratamentos 5 e 8, não ocorrendo diferença significativa ($p < 0,01$) entre eles, no entanto diferem dos demais ensaios. Mesmo considerando que o tempo e a razão molar (ACN:NaOH) no tratamento 5 (6 horas; razão molar 1:8) foi duas vezes superior aquele observado no tratamento 8 (3 horas; razão molar 1:4), pode-se recomendar o primeiro em função do mesmo empregar somente hidróxido de sódio na reação. Porém, a adição de etanol no sistema de reação possibilitou um significativo aumento na velocidade de reação, quando comparado com o tratamento 6 (3 horas, razão molar 1:4), sem o emprego do solvente. A análise estatística mostrou influência da razão molar (ACN:NaOH) na conversão de N-ACN à N-NH_4^+ , evidenciado pelos tratamentos 2, 4 e 5 para a concentração de 1,7% de acetonitrila.

Com relação às amostras contendo 5% (v/v) de acetonitrila os resultados da Tabela 3.2 indicaram que as melhores condições de degradação do solvente foram obtidas com 6 horas de tratamento e razão molar (ACN:NaOH) de 1:4, com eficiência máxima de conversão do N-ACN à N-NH_4^+ de 95,3%. Para o fator etanol não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 1% de significância ($p < 0,01$), evidenciado pelos tratamentos 1 e 7 (3 horas; razão molar 1:2) e 6 e 8 (3 horas; razão molar 1:4). Com os dados relativo aos tratamentos 2 (6 horas; razão molar 1:2) e 4 (6 horas; razão molar 1:4) pode-se observar a influência da razão molar ACN e NaOH na eficiência do tratamento, variando de 86,3% (tratamento 2) para 95,3% (tratamento 4).

Tabela 3.2 - Degradação da acetonitrila p.a. com aquecimento, em função da concentração, tempo de reação e razão molar entre ACN:NaOH

Tratamento*	Concentração ACN (v/v)					
	1,70 %		5 %		10 %	
	N-NH ₄ ⁺ (g)	Ef. (%)	N-NH ₄ ⁺ (g)	Ef. (%)	N-NH ₄ ⁺ (g)	Ef. (%)
1	3,5 e	52,7	15,0 d	74,7	37,1 ab	92,3
2	3,9 de	58,0	17,3 bc	86,3	35,9 ab	89,3
3	4,2 cd	62,5	17,4 bc	86,4	34,7 bc	86,3
4	4,1 b	74,5	19,2 a	95,3	32,4 c	80,5
5	6,2 a	92,7	16,6 c	82,5	- - -	- - -
6	4,6 c	68,1	17,4 bc	86,6	33,9 bc	84,3
7	3,6 e	53,5	17,9 b	89,0	35,5 abc	88,4
8	6,0 a	90,0	18,0 b	89,4	38,6 a	96,0
F**	163,9		27,0		9,5	
CV%	3,1		2,3		3,3	
DMS	0,4		1,1		3,2	

- - - Problemas operacionais não permitiram realizar o tratamento.

* De acordo com a Tabela 3.1.

** ($p < 0,01$).

Os estudos com emprego de solução contendo 10% (v/v) de acetonitrila mostraram eficiência de conversão (N-ACN à N-NH₄⁺) superior a 80% para todos os tratamentos. Os resultados da Tabela 3.2 indicaram que não há diferença estatística ($p < 0,01$) entre os tratamentos 1, 2, 7 e 8. Com relação ao tratamento 5 (razão ACN:NaOH de 1:8) não foi possível sua realização devido as características do sistema (capacidade do volume). Os melhores resultados (eficiência de 96%) foram obtidos com emprego de etanol (tratamento 8), embora estatisticamente este não apresenta diferença ($p < 0,01$) em relação ao tratamento 1 (3 horas; razão molar 1:2) com 92,3% de conversão.

Os resultados obtidos nos ensaios de degradação da acetonitrila a temperatura ambiente permitem observar (Tabela 3.3) que a eficiência de conversão foi de 48,4 (360 horas) e 34,1% (720 horas) superior para o tratamento semi-estático, quando comparado ao tratamento estático. A difusão da amônia entre a fase líquida e a fase gasosa, pode ser a melhor explicação para diferença positiva encontrada na taxa de conversão da acetonitrila no tratamento semi-estático, no qual a amônia da fase gasosa foi arrastada diariamente, favorecendo a difusão e a neutralização da amônia com o ácido sulfúrico. Esse procedimento foi menos significativo para o teste estático, pois o arraste de amônia da fase gasosa foi realizado apenas no 15^o e 30^o dia de reação.

Tabela 3.3 - Degradação da acetonitrila p.a. 5% (v/v) em função do tempo de reação, a temperatura ambiente

Tratamento	Tempo (h)	Razão (ACN:NaOH)	N-total (g)	CoVar	Eficiência (%)
4 - 5% ACN	360*	1:4	2,3±0,37	16,2	34,1±5,5
	720*		4,2±0,29	7,0	59,3±4,2
4 - 5% ACN	360**	1:4	3,4±0,49	14,5	50,6±7,3
	720**		5,5±0,44	7,9	82,5±6,5

* Arraste gasoso da amônia por 3h na 360^ah e na 720^ah de reação (estático).

** Arraste gasoso da amônia por 3h, todos os dias (semi-estático).

Assim, os dados da Tabela 3.3 mostraram que após 30 dias (720h) de tratamento em sistema semi-estático, a eficiência média para a melhor condição de degradação foi 82,5±6,5.

3.3.2 Degradação do resíduo

A partir dos resultados obtidos com a solução de acetonitrila p.a. foi possível realizar estudos de degradação do resíduo nitrílico proveniente dos laboratórios do CENA/USP. No trabalho avaliou-se a eficiência de degradação do resíduo contendo 5 e 10% (v/v) de acetonitrila nas mesmas condições dos tratamentos 4 e 8 respectivamente. Nesses processos as condições experimentais foram aquelas apresentadas na Tabela 3.1. Os dados de conversão do N-ACN à N-NH₄⁺ foram de 14,3 g de N, representando uma eficiência de 85% para o tratamento 4 – 5% (v/v) ACN e 29,6 g de N representando uma eficiência de 88% para o tratamento 8 – 10% (v/v) ACN. Dessa forma, observa-se uma redução de aproximadamente 10% na eficiência de conversão nos estudos empregando a degradação da acetonitrila utilizando o resíduo, se comparado com os estudos realizados com acetonitrila p.a. (Figura 3.2). Essa redução pode ser atribuída a possíveis impurezas contidas no resíduo, principalmente na forma nítrica ou outra forma nitrogenada que não reage em meio alcalino, que possa estar superestimando a concentração de N-ACN no resíduo a ser tratado.

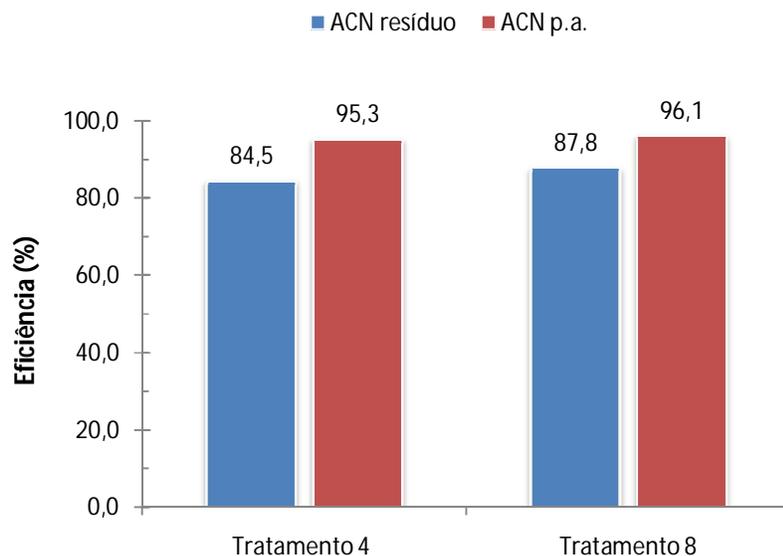


Figura 3.2 - Recuperação (%) do N-ACN, nos tratamentos 4 – 5% (v/v) ACN e 8 – 10% (v/v) ACN

A eficiência de conversão de acetonitrila não difere estatisticamente ($p < 0,01$) quando comparados os tratamentos 4 e 8, porém analisando as condições experimentais e principalmente custo do tratamento (Tabela 3.4), observa-se diferenças consideráveis. Sendo assim, o custo necessário para degradação da acetonitrila no tratamento 4 foi 21% (R\$ 0,85 por litro de resíduo) inferior em relação ao tratamento 8, essa diferença ocorre principalmente pelo fato do tratamento 4 não consumir etanol. Além do mais o custo com o tratamento 4 apresenta uma economia próxima a 66% quando se comparado com o processo térmico (média R\$6,00 por kg). Vale também destacar que, a opção por tratamentos térmicos implica em inúmeras dificuldades, entre elas o reduzido número de incineradores licenciados e sua localização, a questão burocrática para se obter o CADRI, transporte e até mesmo restrições existentes em incinerar produtos geradores de nitrilas.

A adição de etanol ao meio reacional para o tratamento 8, eleva o custo de tratamento e implica em dificuldades operacionais, pois o ponto de ebulição do etanol (78°C) é menor que a temperatura proposta ao estudo em questão (80°C), favorecendo refluxos no condensador e contribuindo para possíveis perda de acetonitrila por arraste de vapor. Outro agravante está na combinação do etanol em meio alcalino com aquecimento da temperatura, favorecendo a reação de

saponificação onde meio reacional passa de líquido a gel, dificultando a reação e a limpeza do sistema. Portanto o método mais viável tecnicamente e economicamente para degradação alcalina da molécula de acetonitrila é o tratamento 4 utilizando-se de solução 5% (v/v) do solvente nitrílico.

Tabela 3.4 - Custo do tratamento de solução residual contendo acetonitrila.

Especificação	Custo ou receita do item	Custo ou receita mensal	
		Tratamento 4 ⁽⁴⁾	Tratamento 8 ⁽⁵⁾
Destilador ⁽¹⁾	5000	42	42
Unidade de refrigeração ⁽¹⁾	3000	25	25
Demais despesas ⁽²⁾	28	83	378
Receitas ⁽³⁾	7	19	127
Total		131	318
Volume tratamento (L)		33	66
Total / litro de resíduo		4	5

⁽¹⁾ Amortização do equipamento foi realizada considerando-se 10 anos de vida útil; ⁽²⁾ reagentes utilizados e energia elétrica; ⁽³⁾ (NH₄)₂SO₄ produzido e resíduo alcalino; ⁽⁴⁾ 5% (v/v) ACN.; ⁽⁵⁾ 10% (v/v) ACN; * valores em reais (R\$), sendo 1 US\$ = R\$ 1,75

3.4 Conclusões

A análise dos resultados apresentados permite concluir que o sistema de tratamento desenvolvido e o método proposto para o tratamento oferecem alta eficiência na degradação alcalina da acetonitrila, com fácil e prático manuseio o que permite adoção dessa prática em rotina no Laboratório de Tratamento de Resíduos Químicos do CENA/USP.

O método proposto é alternativo à convencional incineração, com a vantagem de permitir o tratamento de resíduos com baixa concentração de acetonitrila (muito diluído em água), apresentando menor custo, além da recuperação da amônia gerada e sua reutilização na forma de sulfato de amônio.

Referências

BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.

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**, São Paulo, v.26, n.4, p.612-617, 2003.

FENG, Y.-S.; LEE, C.-M. The potential of the acetonitrile biodegradation by *Mesorhizobium* sp. F28. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.164, n.2, p.646-665, 2008.

FERREIRA, E.F.; DA SILVA, A.A.V.; COELHO, F.A.S. Tratamento e descarte de solventes gerados na rotina dos equipamentos de cromatografia líquida de alta eficiência. In: ENCONTRO NACIONAL DE SEGURANÇA EM QUÍMICA, 1., 2000, Campinas. **Livro de resumos...** Campinas: UNICAMP, 2000. p.22.

KOHYAMA, E.; YOSHIMURA, A.; AOSHIMA, D.; YOSHIDA, T.; KAWAMOTO, H.; NAGASAWA, T. Convenient treatment of acetonitrile-containing wastes using the tandem combination of nitrile hydratase and amidase-producing microorganisms, **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v.72, n.3, p.600–606, 2006.

MICARONI, R.C.C.M.; BUENO, M.I.M.S.; JARDIM, W.F. Degradation of acetonitrile residues using oxidation processes. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v.15, n.4, p.509-513, 2004.

TARAS, M.; HÅKANSSON, K.; GUIEYSSE, H. Continuous acetonitrile degradation in a packed-bed bioreactor. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v.66, n.5, p.567-574, 2004.

4 AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PRECIPITAÇÃO QUÍMICA E ENCAPSULAMENTO NO TRATAMENTO E DESTINAÇÃO CONJUNTA DE RESÍDUOS LÍQUIDOS CONTENDO CROMO E VIDRARIAS DE LABORATÓRIO

Resumo

No presente trabalho são discriminados os procedimentos para tratamento e disposição final de soluções residuais contendo cromo. Foram avaliadas as condições de precipitação química do metal e a potencialidade do uso da técnica de encapsulamento em vidro, destinando conjuntamente resíduos sólidos contendo cromo e vidrarias quebradas de laboratório. Os resultados evidenciaram que o melhor intervalo de pH para a precipitação química situa-se entre 10 - 11. Com relação ao encapsulamento do $\text{Cr}(\text{OH})_3$, os testes de lixiviação e solubilização realizados no material encapsulado permitiram classificá-lo como resíduo não-perigoso e não-inerte. Reforça-se, por fim, que a adoção das práticas de gestão de resíduos nas universidades deve ser estimulada, uma vez que ajuda a treinar profissionais hábeis em boas práticas de laboratório.

Palavras-chave: Resíduos. Cromo. Encapsulamento.

Evaluation of chemical precipitation and encapsulation techniques in the treatment and joint disposal of liquid wastes containing chromium and laboratory glassware

Abstract

In this paper, procedures for the treatment and final disposal of residual solutions containing chromium are presented, in order to evaluate the metal chemical precipitation effectiveness and the potential use of the glass encapsulation technique, using broken laboratory glassware. The results showed that convenient pH values for chemical precipitation were between 10 - 11. Leaching and solubilization tests performed after $\text{Cr}(\text{OH})_3$ encapsulation allowed to classify the waste as non-dangerous and non-inert. Finally, it is pointed out that the adoption of waste management practices in universities should be encouraged, helping to train professionals in good laboratory practices.

Keywords: Wastes, Chromium, Encapsulation.

4.1 Introdução

O cromo também conhecido como crômio, assim como outros metais pesados, é essencial para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano. Cromo trivalente é reconhecido como um elemento essencial no metabolismo de carboidratos e lipídeos, sendo sua função relacionada com o mecanismo de ação da insulina (FERREIRA, 2002). A quantidade diária recomendada de cromo para o consumo humano é da ordem de 50 – 200 µg e a falta desse elemento, na alimentação, pode causar complicações na saúde, como diabetes e problemas cardiovasculares (ANDERSON, 1995). Entretanto, o íon hexavalente do elemento cromo é considerado como mutagênico e carcinogênico em animais (IARC, 1997). Os principais efeitos que o cromo causa ao homem são: irritações epiteliais, efeitos bronco-pulmonares e efeitos sistemáticos envolvendo o sistema circulatório, trato gastro-intestinal, fígado e rins. Dentre os diversos elementos químicos, o cromo é considerado o segundo maior causador de alergia na pele, atrás apenas do níquel (NRIAGU; NIEBOER, 1988).

Dicromato e o óxido ou o ácido crômico estão entre os compostos de cromo economicamente mais importantes. Assim, o cromo apresenta diversas aplicações industriais incluindo seu emprego no processo de curtimento de couros, na preservação de madeira, pigmentos em tintas, inibidor de corrosão, composição de ligas metálicas, entre outros. As principais indústrias que utilizam esse metal são das áreas de metalurgia, cerâmica e pigmentos. No entanto, aumento na incidência de câncer no pulmão em trabalhadores de indústrias produtoras de cromato nos EUA e Europa são relatados na literatura (ENTERLINE, 1974).

Nos laboratórios de ensino, pesquisa e extensão do CENA/USP, pode-se destacar o uso de compostos de cromo na determinação espectrofotométrica de matéria orgânica em amostras de solo (ISO 14235, 1998) e determinação de biomassa microbiana empregando o método titulométrico (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). Ainda pode-se destacar na rotina dos laboratórios o emprego de soluções de sulfocrômica e soluções de dicromato de potássio (TAVARES, 2004).

Assim, devido a importância dos compostos de cromo e suas aplicações, há registros de casos documentados que mostram contaminação ambiental por cromo em água já na metade do século XX. Semelhante ao que ocorre com outros metais pesados e demais poluentes em geral, o acentuado e desenfreado desenvolvimento

industrial contribuiu sobremaneira para que tais eventos de contaminação fossem verificados. (MILLER-IHLI, 1992; MATOS et al., 2008).

De forma a evitar que resíduos contendo esse metal sejam descartados no meio ambiente, algumas formas de tratamento foram desenvolvidas e relatadas. Na literatura, encontram-se várias técnicas de tratamento de cromo presente em resíduos líquidos, dentre as quais destacam-se a precipitação química (LUNN; SANSONE, 1989), a retenção em resinas de troca iônica (TENÓRIO; ESPINOSA, 2001), a absorção em carvão ativado (LANDRIGAN; HALLOWELL, 1975), a biossorção do cromo em cascas de arroz (GUIMARÃES et al., 2005), a adsorção de cromo VI utilizando fibras de côco (MIRANDA et al., 2005) e vários outros, como redução eletroquímica, osmose reversa e extração por solventes. O grande número de técnicas citadas, longe de englobar todas as possibilidades, reforça a atual relevância dos procedimentos de tratamentos de resíduos.

Ao mesmo tempo, um outro resíduo freqüente dos laboratórios são restos de vidrarias originárias da quebra destes materiais. Ressalta-se que não há uma destinação especial para esses materiais, sendo comum o envio para reciclagem.

Recentemente, surgiram trabalhos que preconizam a imobilização de metais em material vítreo, o que possivelmente permitiria a destinação concomitante de ambos os resíduos (resíduos químicos e vidros). A vitrificação é uma das melhores opções tecnológicas para imobilização de resíduos, visando a obtenção de um produto que não ofereça qualquer risco (DELBIANCO FILHO, 2003). A técnica consiste em agregar aos vidros e cerâmicas, resíduos sólidos (como o cromo) que possam conferir colorações a esses materiais. Assemelha-se, portanto, ao método de encapsulamento em matriz de cimento, bastante eficiente para metais pesados, como extensamente relatado na literatura (HANNA, 1990; OLIVEIRA, 1992; CHAMIE, 1994; CRUZ, 1998.).

Neste trabalho, considerando a necessidade de encontrar um destino para os resíduos sólidos gerados no CENA/USP, investigou-se a eficiência das técnicas de precipitação química e encapsulamento com vistas a estabelecer uma possível destinação conjunta de resíduos contendo cromo e vidros gerados em atividades de ensino e pesquisa.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Equipamentos e materiais utilizados

Os equipamentos necessários ao desenvolvimento da pesquisa foram: medidor de pH modelo digital marca ORION modelo 4260-C15; capela exaustora Walk-in; agitador e aquecedor magnético (Marconi, mod 085); balança eletrônica digital modelo ER-182A, range 0.0001 g, marca And; estufa ventilada; moinho de bola (Marconi, mod MR350); de posse do laboratório tratamento de resíduos do CENA/USP. Os ensaios de vitrificação realizaram-se no Departamento de Física - IGCE - UNESP, Campus de Rio Claro, contando com apoio e instrução do Dr Ervino Carlos Ziemath, dispondo de forno mufla, temperatura até 1300°C; forno Maitec, mod. FET – 1600 vertical; cadinho de platina pura; forno Maitec, mod. FL – 1300/7. As determinações químicas do material vitrificado foram realizadas nos laboratórios: Química Analítica do CENA/USP, por espectrômetro de absorção atômica (AAS), espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES), e no NAP/MEPA – ESALQ/USP, onde foram realizadas análises de microscopia no vidro produzido por metalizador MED 010 da Balzers, Link-Oxford EXL acoplado ao microscópio eletrônico de varedura ZEISS DSM 940A.

Com relação aos reagentes e resíduos utilizados, destacam-se: ácido sulfúrico, hidróxido de sódio, tiosulfato de sódio, borato de sódio, ouro, solução de sulfocrômica residual, carbonato de sódio com prazo de validade vencido (resíduo sólido passivo) e vidrarias convencionais de laboratório (proveta, béquer, cápsulas de porcelana, bastões de vidro, entre outras).

4.2.2 Tratamento químico

Considerando-se as soluções residuais contendo cromo, geradas nos laboratórios da instituição, optou-se pela realização dos ensaios iniciais utilizando-se alíquotas de 50 mL de uma solução residual de sulfocrômica com concentração de cromo total da ordem de 9,5 g.L⁻¹. Vale ressaltar que o resíduo em questão foi devidamente segregado na fonte geradora e armazenado no entreposto de resíduos do CENA/USP em recipientes de polipropileno de 50 L de capacidade, em consonância com os procedimentos de gerenciamento de resíduos adotados nessa Instituição (TAVARES, 2004).

O tratamento foi baseado na redução de Cr(VI) à Cr(III) em meio ácido, utilizando tiosulfato de sódio, conforme a eq. (4.1). A eq. (4.2) refere-se ao processo de precipitação química do cromo, realizado após a etapa de redução, estudando-se a elevação do pH da solução em valores variando entre 7 - 13. Após a precipitação, efetivada empregando-se solução 6 mol.L⁻¹ de NaOH, o lodo formado passou por um processo de filtração e o volume filtrado foi neutralizado e encaminhado para determinação de cromo total fazendo-se uso da técnica de espectrometria de absorção atômica, previamente ao descarte.



Na seqüência, após determinar as condições ideais de precipitação, objetivando averiguar se a velocidade na adição da solução de hidróxido de sódio influenciaria na eficiência do processo, variou-se o tempo total de adição do precipitante (0, 5, 10 e 20min), sob agitação constante.

4.2.3 Etapa de encapsulamento

As vidrarias inutilizadas, resíduo classe II B conforme ABNT NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a) dos laboratórios são o principal insumo empregado na etapa de encapsulamento. Previamente a sua utilização, os materiais coletados junto aos laboratórios sofreram lavagens sucessivas com solução de ácido clorídrico 1 mol.L⁻¹ e água desionizada, seguidas de secagem e moagem. Ao vidro moído, juntou-se o resíduo classe I de hidróxido de cromo (ABNT, 2004a) e o tetraborato de sódio (reagente auxiliar), em diferentes concentrações (Tabela 4.1). Essas misturas foram homogeneizadas e fundidas em forno mufla, utilizando cadinho de platina, à temperatura de 1450°C, durante cerca de 1h. Após isso, o material fundido foi vertido em moldes de aço e resfriado lentamente em forno pré-aquecido a 600°C, para que as peças esfriassem lentamente em seu interior, evitando assim choque térmico na estrutura do vidro.

Tabela 4.1 - Composição das amostras preparadas para os testes de vitrificação

Testes	Composição
T1	0,5% Cr ³⁺ + Na ₂ B ₄ O ₇ + vidro
T2	0,5% Cr ³⁺
T3	1% Cr ³⁺
T4	1,5% Cr ³⁺
T5	Na ₂ B ₄ O ₇ + vidro
T6	Na ₂ CO ₃ + vidro

A determinação da composição centesimal do material fundido (fragmentos das amostras com 0,1 cm²) recobertos com película de ouro (10 a 20 nm) empregando metalizador MED 010 da Balzers, foi realizada por Microanálise de Raio X por Espectrometria de Energia Dispersiva acoplada ao Microscópio Eletrônico de Varredura.

4.2.4 Ensaios para classificação dos resíduos

Estes testes foram conduzidos seguindo o protocolo recomendado pela norma ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004a), através dos ensaios de solubilização (ABNT, 2004b) e lixiviação (ABNT, 2004c), permitindo classificar os materiais vitrificados e também uma embalagem de bebida constituída em vidro com coloração esverdeada em função de suas periculosidades, sendo assim resumidamente descrito:

Ensaios de solubilização - a solubilização das amostras tamisadas em partículas inferior a 9 mm foi avaliada através da extração com água desionizada, sob agitação, por cinco minutos, seguida de período de descanso por sete dias, após o qual, promove-se a filtração e a determinação do teor de cromo total no extrato solubilizado. Ensaios de lixiviação - o ensaio de lixiviação difere do anterior no que se refere à solução extratora, representada por uma mistura de ácido acético e hidróxido de sódio em pH 4,93 ou solução de ácido acético em pH 2,88, e também quanto ao período de agitação, que deve ser realizada a 30 rpm por 18 horas.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Tratamento por precipitação química

A partir do procedimento descrito no subitem tratamento químico, foi possível o tratamento da solução sulfocrômica obtendo-se o hidróxido de cromo. A Figura 4.1 exibe as distintas eficiências de remoção do cromo observadas nos testes, realizados em triplicata, variando-se o pH entre 7 - 13. Ainda que, aparentemente, tenha sido confirmada uma significativa eficiência de remoção na faixa de pH entre 8 - 12, foi possível avaliar, pelas análises realizadas (espectrometria de absorção atômica) no líquido sobrenadante, que o melhor intervalo de pH para precipitação química situa-se entre 10 - 11. É importante ressaltar que a realização de ensaios para se avaliar a melhor condição em que a precipitação do cromo ocorre se justifica em função da presença, na solução residual, de vários outros íons. Essas características particulares a cada tipo de resíduo explicam resultados experimentais que indicam que a condição ideal para uma melhor eficiência da reação possa, em algumas situações, ser um pouco diferente da publicada na literatura (PRUDENT PRACTICES..., 1995).

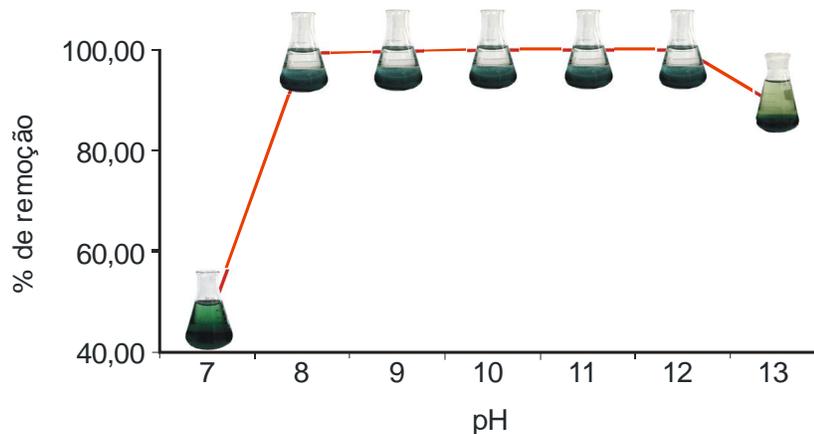


Figura 4.1 - Influência do pH na precipitação química do cromo

Em seguida, procederam-se os testes variando-se o tempo de adição do hidróxido de sódio à solução residual até pH 10, sob agitação constante. Em todas as situações testadas, como mostra a Figura 4.2, as concentrações de Cr total determinadas no sobrenadante mantiveram-se em níveis próximos ao limite

permitido para descarte, preconizado na Resolução CONAMA 357 ($0,5 \text{ mg.L}^{-1}$) (CONAMA, 2005). Assim sendo, sob o prisma da permissibilidade para descarte, parece ser indiferente adicionar lenta ou rapidamente a solução de NaOH durante o tratamento químico.

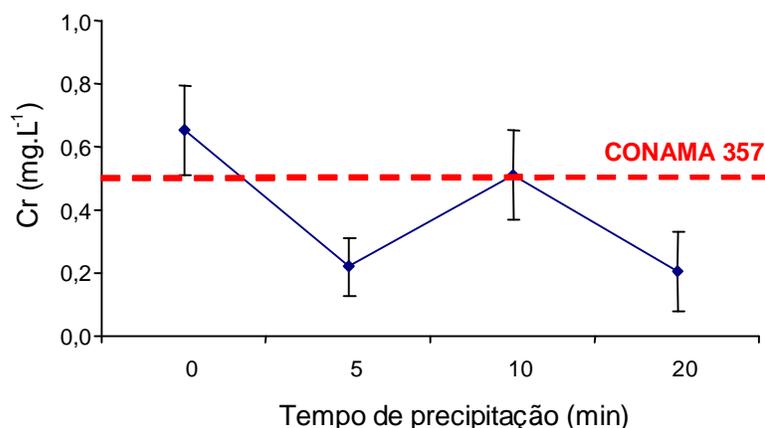


Figura 4.2 - Cr total no sobrenadante em função do tempo de adição de hidróxido de sódio nas soluções residuais

4.3.2 Testes de vitrificação

Após a mistura e fusão de um resíduo classe I (hidróxido de cromo) com outro da classe IIB (vidrarias quebradas de laboratório) obteve-se um produto que foi preliminarmente denominado resíduo vitrificado contendo cromo (ABNT, 2004a). Na Figura 4.3 podem ser vislumbradas as amostras dos materiais fundidos, vertidos em molde, com e sem adição de cromo.

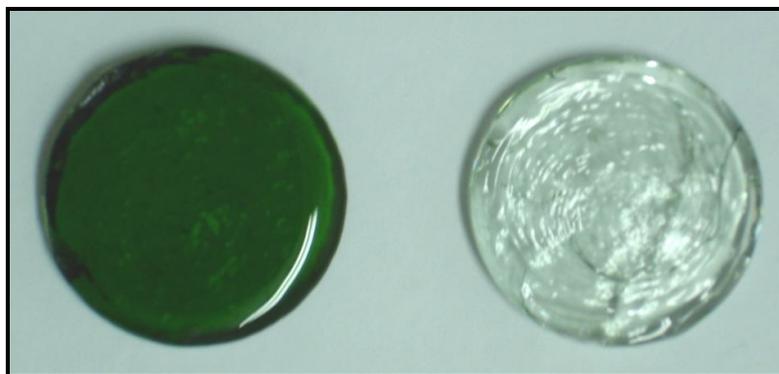


Figura 4.3 - Amostras do material vitrificado, com e sem adição de cromo

Realizados os testes iniciais de vitrificação, verificou-se a dificuldade em amolecer o vidro borossilicato nas condições experimentais empregadas. Observando-se o diagrama ternário de fases publicado na literatura (MOREY, 1951), permite-se compreender as temperaturas ideais para amolecimento do vidro em função das proporções de Na_2O , B_2O_3 e SiO_2 constituintes desse material. De acordo com esse diagrama, a temperatura ideal para o amolecimento do vidro aproxima-se a 600°C (Área A – Figura 4.4). Todavia, considerando-se a composição do vidro borossilicato, seria necessário que a fusão fosse realizada em temperatura superior a 1100°C (Área C – Figura 4.4), o que resulta em séria dificuldade operacional. Objetivando contornar esse problema, foi possível reduzir a temperatura do amolecimento do vidro para valores próximos a 600°C com adição de tetraborato de sódio (fundente), mantendo a estrutura do vidro praticamente inalterada. Durante este procedimento, a decomposição do fundente permitiu a liberação de pequenas quantidades de vapores de óxido de boro, que começaram a atacar as placas do forno compostas de cerâmica, o que é indesejável. Para evitar danos ao equipamento, propôs-se a substituição do tetraborato por carbonato de sódio, até então armazenado como resíduo sólido (prazo de validade expirado) no entreposto da Instituição, operacionalizando-se a fusão do vidro em temperatura aproximada a 700°C (Área B – Figura 4.4).

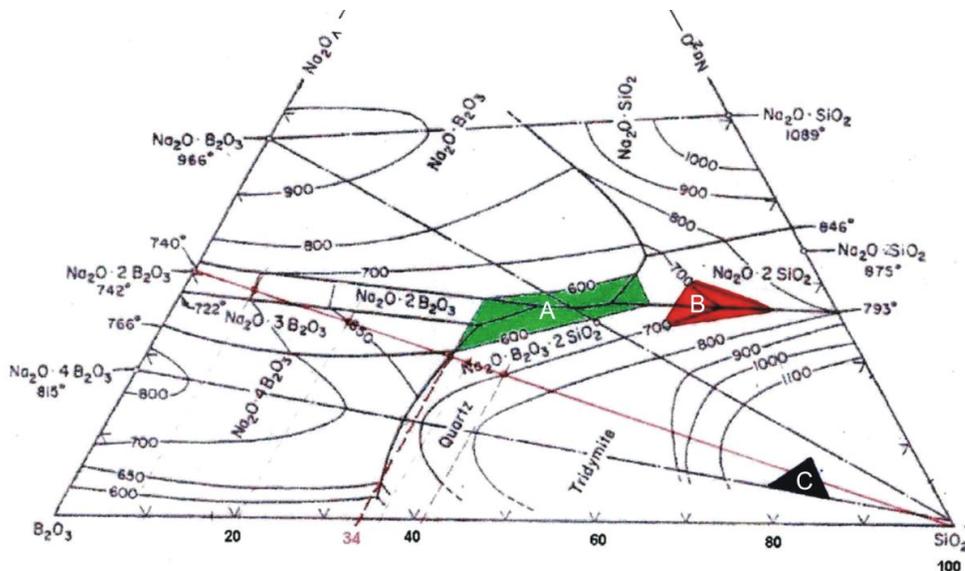


Figura 4.4 - Diagrama ternário de fases ($\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$), adaptado de MOREY, 1951

4.3.3 Análise da composição do material vitrificado

Quando objetiva-se solidificar um resíduo em uma matriz qualquer, é conveniente o acompanhamento detalhado dessa operação, de forma a assegurar a efetividade do processo. Para isso, realizou-se a determinação da composição centesimal dos componentes produzidos, comparando-se os resultados obtidos com a quantidade incorporada do cromo presente no resíduo. Os dados apresentados na Tabela 4.2 refletem os efeitos da adição de cromo e dos auxiliares de fusão na composição da matriz vítrea. Destacam-se nessa Tabela os resultados observados dos teores de Cr_2O_3 na matriz vítrea, que não refletiram com exatidão as concentrações adicionadas do metal, parecendo inclusive haver uma tendência de decréscimo nos teores de cromo incorporado ao material vítreo à medida que se aumenta a proporção da adição do metal. Entretanto, esse resultado deve ser interpretado com cautela, uma vez que, durante a fusão, não houve uma eficiente homogeneização dos reagentes, o que possibilitaria a distribuição desuniforme do metal. Com isso, considerando-se que para a realização das análises químicas utilizam-se pequenos fragmentos (cacos) do material fundido, os resultados poderiam não refletir a composição exata da peça produzida.

Os teores dos demais componentes observados (Tabela 4.2) nas análises supracitadas refletem as composições aproximadas esperadas em cada amostra, mesmo considerando-se a adição dos auxiliares de fusão.

Tabela 4.2 - Composição química do material vitrificado

Testes	SiO_2 (%)	B_2O_3 (%)	Na_2O (%)	Al_2O_3 (%)	Cr_2O_3 (%)
T1	71,6	18,0	8,2	1,6	0,3
T2	73,6	10,1	14,0	2,0	0,6
T3	63,9	10,1	23,2	1,9	0,9
T4	65,0	10,1	18,8	1,5	1,2
T5	77,0	18,0	3,1	1,9	-
T6	76,6	10,1	12,5	1,4	-

4.3.4 Ensaios para classificação de resíduos

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados dos testes de lixiviação e solubilização realizados nas amostras de materiais vitrificados e na embalagem de bebida. De acordo com os testes de lixiviação realizados, todas as amostras puderam ser classificadas como resíduos não perigosos (classe II), uma vez que os resultados observados foram inferiores ao valor máximo permitido (5 mg.L^{-1}), preconizado no Anexo F da norma ABNT NBR 10005 (ABNT, 2004b). Ao mesmo tempo, os testes de solubilização demonstraram que praticamente não houve liberação de cromo pela embalagem de bebida analisada, o que permitiu classificá-la como resíduo não perigoso e inerte (classe II B), enquanto o material vitrificado permitiu a solubilização de cromo em valores acima do estabelecido pela norma, razão pela qual esse material deve ser classificado como resíduo não perigoso e não inerte (classe II A). A possível explicação para essa observação estaria atrelada às dificuldades técnicas no uso do vidro borossilicato para o processo de encapsulamento, uma vez que em trabalho publicado na literatura empregando vidro comum não foi relatada a solubilização do metal (DELBIANCO FILHO, 2003). Ressalta-se que, mesmo durante o preparo de amostras para a realização dos testes de lixiviação e solubilização, notou-se sensível diferença na etapa de moagem entre as amostras encapsuladas e o vidro da embalagem de bebida. Ocorre que, durante a trituração da embalagem de vidro, formavam-se fragmentos muito mais uniformes e dúcteis, ao passo que as amostras de materiais encapsulados fragmentavam-se mais facilmente.

Tabela 4.3 - Resultados observados nos testes de lixiviação e solubilização

Testes	Lixiviação (mg.L^{-1})	Solubilização (mg.L^{-1})
T1	< 0,02	< 0,02
T2	0,02	0,10*
T3	0,04	4,53*
T4	0,29	0,35*
Embalagem de bebida	< 0,02	< 0,02

* Valor acima do limite máximo permitido no extrato (ABNT, 2004a).

4.4 Conclusões

A apreciação dos resultados obtidos permite concluir que o tratamento químico mostrou-se eficiente e de prático manuseio, o que corrobora a sua utilização em rotina. Os aspectos ambientais e de segurança em química também reforçam essa aplicabilidade.

Quanto ao processo testado de encapsulamento, embora a técnica aparente ser promissora, no processo estudado, os resultados demonstraram o contrário. Todavia, esse resultado deve ser interpretado com cautela, uma vez que a solubilização do cromo do material vitrificado talvez não acontecesse caso um diferente tipo de vidro (por exemplo, vidro neutro) tivesse sido utilizado. Por fim, vale ressaltar que a realização de pesquisas dessa natureza é de grande interesse para a área de gestão de resíduos de laboratórios, contribuindo também para a disseminação de uma postura pró-ativa junto aos estudantes e profissionais.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Classificação de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Lixiviação de resíduos, Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Solubilização de resíduos, Rio de Janeiro, 2004c.

ANDERSON, R.A. Chromium. In: BERTHON, G. (Ed.). **Handbook of metal-ligand interactions in biological fluids**: bioinorganic medicine. New York: Marcel Dekker, 1995. v.1, p.261-265.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 357**, de 17 de março de 2005. Capítulo III das condições e padrões de qualidade das águas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, março de 2005.

CHAMIE, S.L. **Encapsulamento de resíduos de lamas galvânicas através da solidificação em matrizes de cimento**. 1994. 246f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, São Paulo, 1994.

CRUZ, R.A. Hazardous residues disposal: chromium stabilization in cement. **Engineering Information**, Amsterdam, p. 24-128, 1998.

DELBIANCO FILHO, S. **Caracterização de vidros preparados com resíduos de indústria de galvanoplastia**. 2003. 77f. Dissertação – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2003.

ENTERLINE, P.E. Respiratory cancer among chromate workers. **Journal of Occupational Medicine**, Chicago, v.16, n.8, p.523-526, 1974.

FERREIRA, A.D.Q. O impacto do cromo nos sistemas biológicos. **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.4, p.572-578, 2002.

GUIMARÃES, I.R.; GORGULHO, H.F.; SANTOS, J.M.S.; MARTINELLI, P. B.; Mecanismos de remoção de cromo hexavalente e trivalente por biossorção em casca de arroz. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 28., 2005, Poços de Caldas. **Anais...** São Paulo: SBQ, 2005. AB-114.

HANNA, R.A. **Estudo em escala de laboratório da fixação de metais pesados em matriz de cimento tendo em vista a disposição final de rejeitos industriais perigosos**. 1990. 101f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, São Paulo, 1990.

IARC - International Agency for Research on Cancer. **Chromium, nickel and welding**. Lyon, 1997. (IARC Monographs the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, 49).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Method ISO 14235**, Soil quality - Determination of organic carbon by sulphochromic oxidation. Geneva, 1998.

LANDRIGAN, R.B.; HALLOWELI, J.B. **Removal of chromium from plating rinse water using activated carbon**. Alexandria, VA: National Technical Information Service, 1975. 43p. (Report EP 670/2-75 - 055).

LUNN, G.; SANSONE, E.B. A laboratory procedure for the reduction of Chromium (VI) to Chromium (III). **Journal of Chemical Education**, Easton, v.66, p.443-445, 1989.

MATOS, W.O.; NÓBREGA, J.A.; SOUZA, G.B.; NOGUEIRA, A.R.A. Especificação redox de cromo em solo acidentalmente contaminado com solução sulfocrômica. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.6, p.1450-1454, 2008.

MILLER-IHLI, N.J. Chromium. In: STOEPLER, M. (Ed.). **Hazardous metals in the environment**. Amsterdam: Elsevier, 1992. chap.13, p.373-403.

MIRANDA JUNIOR, P.; SILVA, P.R.; SUGUIYAMA, S.; MÁDUAR, M.F. Fibra de coco como material adsorvedor de cromo (VI) em solução aquosa. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 28., 2005, Poços de Caldas. **Anais...** São Paulo: SBQ, 2005. AB - 126.

MOREY, G.W. The ternary system $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. **Society of Glass Technology Journal**, Sheffield, v.35, p.270-283, 1951.

NRIAGU, N.O.; NIEBOER, E. **Chromium in the natural and human environments**. New York: John Wiley & Sons, 1988. 571p.

OLIVEIRA, K.D. **Disposição de rejeitos perigosos**: estudo, em escala de laboratório, da solidificação/estabilização de rejeitos fenólicos em cimento portland e argilas organofílicas. 1992. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

PRUDENT Practices in the Laboratory: Handling and disposal chemicals. Washington: National Academy Press, 1995. cap.7, p.139-174: Disposal of waste.

TAVARES, G.A. **Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP**. 2004. 131f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

TENÓRIO, J.A.S.; ESPINOSA, D.C.R.; Treatment of chromium plating process effluents with ion exchange resins. **Waste Management**, London, v.21, n.7, p.637-642, 2001.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.19, p.703-707, 1987.

5 A QUÍMICA EXPERIMENTAL: UM TRABALHO DE EXTENSÃO VOLTADO AO ENSINO MÉDIO.

Resumo

Com a reformulação do ensino médio no Brasil, ensinar Química de maneira que o aluno reconheça e compreenda, de forma integrada e significativa, as transformações químicas que ocorrem no seu dia a dia, tornou-se um desafio. As dificuldades são ainda mais acentuadas nas escolas públicas que são desprovidas de materiais didáticos e laboratórios, que podem facilitar o aprendizado do aluno sobre as teorias da Química. Assim sendo, o trabalho teve como objetivo proporcionar esse diferencial para alunos de uma Escola Estadual da cidade de Piracicaba-SP. Foram realizadas 5 atividades teórico/práticas, junto a aproximadamente 200 alunos, versando sobre: importância da química enquanto ciência; reaproveitamento de lixo comum; identificação de substâncias químicas; cuidados relacionados ao uso e emissão de substâncias químicas no meio ambiente e práticas de laboratório e gestão de resíduos. Para a avaliação da disseminação do conteúdo, foi aplicado um questionário trinta dias antes do início do trabalho e, reaplicado trinta dias após a última exposição. Como controle, o questionário foi aplicado no primeiro ano de uma Escola Particular da cidade de Piracicaba-SP. Em termos de aprendizagem, a dificuldade dos alunos é evidenciada pelo baixo aproveitamento demonstrado nas respostas ao questionário, ainda considerando a melhora no rendimento quando da reaplicação do mesmo. O conhecimento acumulado pelos alunos da escola pública antes das palestras propostas foi aproximadamente 60% inferior, quando comparado com alunos de uma escola particular. No entanto, a repercussão do trabalho realizado foi muito positiva tanto para os alunos e professores do colégio quanto para a equipe envolvida com o trabalho. A participação com perguntas e comentários, bem como a mudança no comportamento dos alunos relatada pela professora, após o término do projeto reforça esse sucesso.

Palavras-chave: Ensino médio. Química. Aprendizado.

Experimental chemistry: an extension work for high school

Abstract

With the high school revision in Brazil, to teach chemistry in a way that the student recognize and understand, in an integrated and significant approach, chemical transformations that occur in their daily life, becomes a challenge. The difficulties are bigger particularly in public schools due to the lack of teaching materials and laboratories, which can facilitate student learning about Chemistry theories. The study aimed to provide a differential for students of a State High School, Piracicaba-SP. There were 5 practice-based learning activities, with 200 students approximately, dealing with: the importance of chemistry as a science; reuse of household waste; identification of chemicals, care-related to emission of chemicals in the environment; laboratory practice and waste management. To evaluate the content dissemination, a questionnaire was given thirty days before the start of work and reapplied thirty days after the last lecture. As a control, the questionnaire was applied to first-year students of a Private School, Piracicaba-SP. In terms of learning, the difficulty of students is evidenced by the low performance shown in the answers, even considering the improvement in performance when reapplying the same. The knowledge accumulated by public school students before the proposed talks was approximately 60% lower when compared with students from a private school. However, the impact of the work was very positive in both students, teachers and for the team involved. The participation with questions and comments, as well as the change in student behavior reported by the teacher after finishing the project emphasizes that success.

Keywords: High school, Chemistry, Learning.

5.1 Introdução

É notório que a reformulação do ensino médio no Brasil, estabelecida pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996, regulamentada em 1998 pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), procurou atender a uma reconhecida necessidade de atualização da educação brasileira. Essa reformulação é muito importante tanto para impulsionar uma democratização social e cultural mais efetiva pela ampliação da parcela da juventude brasileira que completa a educação básica, como para responder a desafios impostos por processos globais. Esses têm excluído da vida econômica os trabalhadores não-qualificados, por conta da formação exigida de todos os partícipes do sistema de produção e de serviços.

A falta de sintonia entre realidade escolar e necessidades formativas reflete-se nos projetos pedagógicos das escolas, freqüentemente inadequados, raramente explicitados ou objetos de reflexão consciente da comunidade escolar. Dentre as disciplinas abordadas, a Química se apresenta como um instrumento da formação humana que amplia os horizontes culturais e a autonomia no exercício da cidadania, desde que o conhecimento químico seja promovido como um dos meios de interpretar o mundo e intervir na realidade. A proposta atualmente apresentada para o ensino de Química nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) se contrapõe à velha ênfase na memorização de informações, nomes, fórmulas e conhecimentos como fragmentos desligados da realidade dos alunos. Ao contrário disso, pretende que o aluno reconheça e compreenda, de forma integrada e significativa, as transformações químicas que ocorrem nos processos naturais e tecnológicos em diferentes contextos, encontrados na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera, e suas relações com os sistemas produtivo, industrial e agrícola.

Ensinar uma disciplina tão abstrata como a química não parece uma tarefa muito fácil, mesmo quando se usa de diversos contextos, pois a química do cotidiano exige uma postura diferente do professor por meio de um tratamento conceitual diferente e atitudes motivadoras. (SILVA et al., 2008). No entanto, relatos na literatura demonstram melhor aproveitamento pelos alunos quando utilizado em sala de aula, materiais didáticos e conteúdos relacionados à realidade cotidiana do aluno. Esse modo de transmissão do conhecimento vem sendo estudado em muitos trabalhos pedagógicos (ROCHA; CAVICCHIOLI, 2005; MARQUES et al., 2007;

SILVA et al., 2008) e em sua maioria realizados por trabalhos de extensão, que buscam transformar o ensino de química utilizando como ferramenta a música (SILVEIRA; KIOURANIS, 2008) e experimentos de fácil realização para abordar o cotidiano do aluno e assuntos relacionados à educação ambiental (GIORDAN, 1999; MACHADO; MÓI, 2008; ABREU; CAMPOS; AGUILAR, 2008). Portanto essas ferramentas podem ser exploradas em maior amplitude pelo professor, a fim de despertar um maior interesse do aluno.

A realização de atividades de extensão se configura em uma das mais nobres missões da universidade. No caso da Universidade de São Paulo, o seu próprio Estatuto acena para essa incumbência, juntamente com as atividades de ensino e pesquisa

Historicamente, a extensão universitária surgiu na América Latina no início do século XX como tentativa de aproximar a universidade das camadas populares. O Movimento de Córdoba, de 1918, destacou na Argentina a relação entre universidade e a sociedade através da propagação de uma "cultura universitária", por meio da extensão, ainda que, de caráter assistencialista (LIMA, 2003).

No Brasil, as atividades de extensão universitária foram definidas no Fórum de Pró-Reitores de Extensão de Universidades Públicas Brasileiras, ocorrido em Brasília no ano de 2001, como sendo o processo educativo, cultural e científico, que articula o ensino e a pesquisa de forma indissociável, e viabiliza a relação transformadora entre universidade e sociedade. A extensão universitária é via de mão dupla, com trânsito assegurado à comunidade acadêmica, que encontrará, na sociedade, a oportunidade de elaboração da práxis de um conhecimento acadêmico.

Ao mesmo tempo, há quem entenda que a Extensão Universitária está longe de ser a única ponte com a sociedade, devendo, então, ser reinterpretada, uma vez que numa sociedade cuja quantidade e qualidade de vida apresenta configurações cada vez mais complexas de saberes, a legitimidade da Universidade só será cumprida quando as atividades, hoje ditas de extensão, se aprofundarem tanto que desapareçam enquanto tais e passem a ser parte integrante das atividades de investigação e de ensino (HILDEBRANDO, 2002).

Quando objetiva-se promover ações de educação ambiental, a intenção é sensibilizar o público alvo para que construam, coletivamente, o conhecimento com estratégias pedagógicas de mudança de mentalidade. Vale ressaltar que é dever da sociedade, como um todo, colocar em prática os princípios educativos que permitam

garantir a existência de um ambiente sadio para toda a humanidade, de modo a conseguir uma conscientização realmente abrangente (AB'SABER, 1991). Nos encontros, debates e grandes conferências realizadas para a discussão desse tema é essencial a necessidade da mudança de atividades e mentalidade na busca de novos valores e de uma nova ética para reger as relações sociais, cabendo a educação um papel fundamental nesse processo (MARADILLO; OKI, 2004).

Com relação aos danos ao meio ambiente ora observados nos mais diversos países, muitas das vezes esses malefícios são ocasionados por produtos químicos, o que serve de justificativa para a associação que costuma se fazer da “Química” com algo danoso (AQUINO NETO, 1995). Este triste cenário, observado há algumas décadas, possibilitou o surgimento de um ramo da Química destinado à compreensão e resolução dos problemas causados ao meio ambiente pelo homem: a Química Ambiental.

A questão da geração de resíduos químicos diversos é um dos principais enfoques da Química Ambiental. Em termos quantitativos, as maiores responsáveis pelo descarte indiscriminado desses produtos no meio ambiente são as indústrias químicas. Enquanto esse segmento responde por quase 60% dos produtos químicos descartados no ambiente, outros setores industriais também são poluidores, tais como metalurgia, papel e celulose, entre outros. Atualmente sabe-se que as indústrias não são as únicas responsáveis pela situação de contaminação do ambiente por substâncias tóxicas, e que as Universidades, Centros de pesquisas, escolas técnicas também colaboram com esse quadro, mesmo que em menores proporções (FELISBERTO et al., 2008). Considerando que essas Instituições exercem papel fundamental quando avaliam os impactos ambientais provocados por outras unidades geradoras de resíduos, torna-se necessário que os tratem adequadamente, para não terem sua credibilidade comprometida perante a sociedade e os órgãos públicos (BENDASSOLLI et al., 2003).

A consciência de que centros de formação de profissionais devem se preocupar com a geração de resíduos químicos em suas instalações têm catalisado, na última década, a implementação de programas de gerenciamento de resíduos químicos em várias universidades do país (JARDIM, 1998; AMARAL et al., 2001; CUNHA, 2001; COELHO et al., 2002; AFONSO et al., 2003; ALBERGUINI et al., 2003; DEMAMAN et al., 2004; GERBASE; GREGÓRIO; CALVETE, 2006; IMBROISI et al., 2006; GILORI-LIMA; LIMA, 2008), inclusive no CENA/USP (BENDASSOLLI et

al., 2003; TAVARES; BENDASSOLLI, 2005). Ao mesmo tempo em que essas unidades, internamente, estabelecem seus sistemas de gestão, a divulgação da temática para o público externo também deve ser valorizada, pois serve de contribuição para a promoção da chamada educação ambiental. Ainda que seja fundamental que este tipo de contribuição alcance a comunidade como um todo, um dos públicos alvos é composto por estudantes do Ensino Médio, que serão os futuros universitários e profissionais no mercado. Pode-se ainda ressaltar que a maneira como a Química é abordada nas escolas pode ter contribuído para a difusão de concepções distorcidas dessa ciência, uma vez que os conceitos são apresentados de forma puramente teórica e, portanto, entediante para a maioria dos alunos, como algo que se deve memorizar e que não se aplica a diferentes aspectos da vida cotidiana (ARROIO et al., 2006).

Frente a esse cenário o presente trabalho tem como objetivo contribuir com a educação de química no Ensino Médio de maneira didática, proporcionando aos alunos uma nova experiência, abordando o conteúdo de química de um modo mais realista, fazendo-se uso de exemplos cotidianos que envolvem a química e o ambiente, respeitando a grade curricular de ensino.

5.2 Material e Métodos

As atividades de extensão foram desenvolvidas junto à Escola Estadual, localizada na região norte da cidade de Piracicaba – SP, a qual atende alunos do Ensino Médio e do Ensino Médio para Jovens Adultos (EJA) local e também dos bairros periféricos. O critério de escolha foi em função da grande carência dessa escola em termos de estrutura física, livros e materiais didáticos.

A escola conta com 5 turmas de primeiro ano, 3 turmas de segundo ano, 2 turmas de terceiro ano do ensino médio e 1 turma de EJA, portanto optou-se por trabalhar com as turmas do primeiro ano do Ensino Médio e EJA, por representar a maior população escolar, uma vez que seria inviável a realização do trabalho em todas as turmas. Outro motivo que levou ao desenvolvimento do trabalho com as turmas do primeiro ano foi o tema do projeto se abordar o conteúdo da grade curricular de forma prática e didática, possibilitando assim um novo olhar com maior interesse dos alunos e professores para com a disciplina de química.

O projeto foi executado durante o ano letivo de 2008 com duração total de 10 horas/aulas efetivas oferecidas a cerca de 200 alunos das primeiras séries do Ensino Médio e do EJA compreendendo 5 aulas teórico/práticas. Essas tiveram o objetivo de colaborar com a disciplina de Química, sob a perspectiva presente nos PCNEM que considera a sociedade em sua interação com o mundo, evidenciando como os saberes científico e tecnológico vêm interferindo na produção, na cultura e no ambiente. Dessa maneira, foram desenvolvidas cinco aulas expositivas, com temas diversificados e abrangentes em relação à química no cotidiano. Buscou-se incluir situações que pudessem ser facilmente visualizadas pelos alunos, que se incluíssem no seu dia-a-dia, utilizando uma linguagem simples e com imagens e efeitos que buscassem facilitar sua compreensão. A seguir uma síntese dos conteúdos e das atividades desenvolvidas no projeto:

1ª Palestra – “Contextualização: A importância da Química” – Abordou a importância da química ao longo do desenvolvimento da nossa civilização até os dias atuais, com ênfase ao desenvolvimento do vidro como exemplo de matéria;

2ª Palestra – “Reaproveitamento de Lixo Comum” – Foram tratados aspectos da química em nosso cotidiano, com ênfase à geração de resíduos domiciliares, e realizada uma oficina de reciclagem de papel e reaproveitamento de garrafas PET;

3ª Palestra – “Identificação de Substâncias Químicas” - O enfoque desta aula foi voltado para como são feitas as análises químicas e a identificação de substâncias nos laboratórios, permitindo o contato dos alunos com vidrarias e equipamentos laboratoriais;

4ª Palestra – “Cuidados relacionados ao uso e emissão de substâncias químicas no meio ambiente” - Nesse tema foi possível abordar vários aspectos da química ambiental com vistas a preservação do ambiente e dos seres vivos. A problemática da poluição e escassez da água e os principais cuidados que se deve ter ao manusear produtos químicos foram detalhados;

5ª Palestra – “Práticas de laboratório e gestão de resíduos: a força da transformação” - A última atividade tratou sobre a questão dos resíduos químicos, sendo demonstradas as práticas adotadas durante a implantação do PGRQ-CENA/USP, relacionando-as com o cotidiano vivenciado pelos alunos.

As palestras foram oferecidas aos alunos por uma equipe conhecedora do assunto, composta por 4 alunos de pós-graduação com formação em Licenciatura

em Química, Química Industrial, Gestão ambiental, Engenharia Ambiental e 2 funcionários do CENA/USP, um especialista em vidros e um gestor de resíduos químicos e 1 funcionária da ESALQ/USP, educadora ambiental e responsável do Programa USP/Recicla.

Como modo de avaliação, aplicou-se um questionário (Anexo II) com 20 perguntas fechadas, com 5 alternativas cada, abordando os temas das 5 atividades desenvolvidas. Este questionário foi aplicado aos alunos 30 dias antes do início da primeira atividade e, posteriormente, reaplicado 30 dias após a última exposição.

Como grupo controle, o mesmo questionário foi aplicado em outras turmas de alunos do primeiro ano da Escola Particular as quais não participaram de nenhuma das atividades.

5.3 Resultados e Discussão

A abordagem dos estudantes foi o grande agente motivador do trabalho, pois foi possível perceber que até mesmo as turmas consideradas inquietas e agitadas, apresentaram melhor comportamento, participando com perguntas e comentários pertinentes aos assuntos abordados durante as aulas expositivas. Esse comportamento permite observar que abordagem do conteúdo teórico quando de maneira diferenciada, por meio de aulas didáticas, práticas e associativas a realidade cotidiana do aluno, possibilita um maior interesse ao conteúdo que está sendo oferecido.

Deste modo, observa-se que o trabalho realizado foi muito positivo junto aos alunos e professores do colégio, sendo essa talvez a melhor forma de avaliar os resultados obtidos. A Figura 5.1 ilustra uma das palestras realizadas na Escola Estadual.



Figura 5.1 – Atividade realizada junto aos alunos do 1º ano, Turma A, da Escola Estadual

A partir destas experiências os palestrantes tiveram a oportunidade de ampliar a sua percepção, assim como vivenciar um pouco da realidade em que se encontra o ensino em nosso país, a julgar pelos problemas compartilhados ao longo dessa jornada. Entretanto, os relatos dos palestrantes foram universais na satisfação ao encontrarem alunos interessados e participativos por meio de comentários e perguntas. A possibilidade de transmitir o conteúdo de maneira diferenciada e contribuir na formação desses alunos é um excelente motivo que trouxe enorme satisfação aos participantes.

O relato da Profa. Claudinéia Raquel de Oliveira Tavares, responsável pela disciplina, também foi satisfatório. Segundo ela “a experiência, permitiu aos alunos a construção do conhecimento através da prática”, bem como mudanças no comportamento dos alunos, principalmente no papel de “agente transformador do meio ambiente”.

Em termos de aprendizagem, a dificuldade dos alunos é evidenciada pelo baixo aproveitamento demonstrado por ocasião das respostas ao questionário, ainda considerando a sensível melhora no rendimento quando da reaplicação do mesmo (Figura 5.2).

Nesta avaliação, conforme demonstrado na Figura 5.2, separou-se os alunos por grupos, sendo: 1º ano EJA – alunos de uma única classe do período noturno da Escola Estadual; 1º ano Diurno – alunos de 3 classes do período da manhã da

Escola Estadual; 1º ano Noturno – alunos de 2 classes do período da noite da Escola Estadual; 1º ano Controle – alunos de uma única classe do período da manhã da escola particular.

Comparativamente, nota-se (Figura 5.2) um melhor aproveitamento dos alunos do grupo controle, mesmo esses não tendo a oportunidade de assistir a nenhuma das palestras ministradas. Outro resultado que merece ser analisado com cautela refere-se ao rendimento da turma do EJA, que nada deixou a desejar em relação aos demais alunos da mesma escola. O interesse em aprender que os alunos com esse perfil apresentam é a possível explicação para os resultados verificados. Esses mostram-se muito mais participativos durante as palestras, o que contribui para uma melhor assimilação do conteúdo. Segundo a própria professora responsável pela disciplina de Química, durante as aulas o mesmo acontecimento se repete.

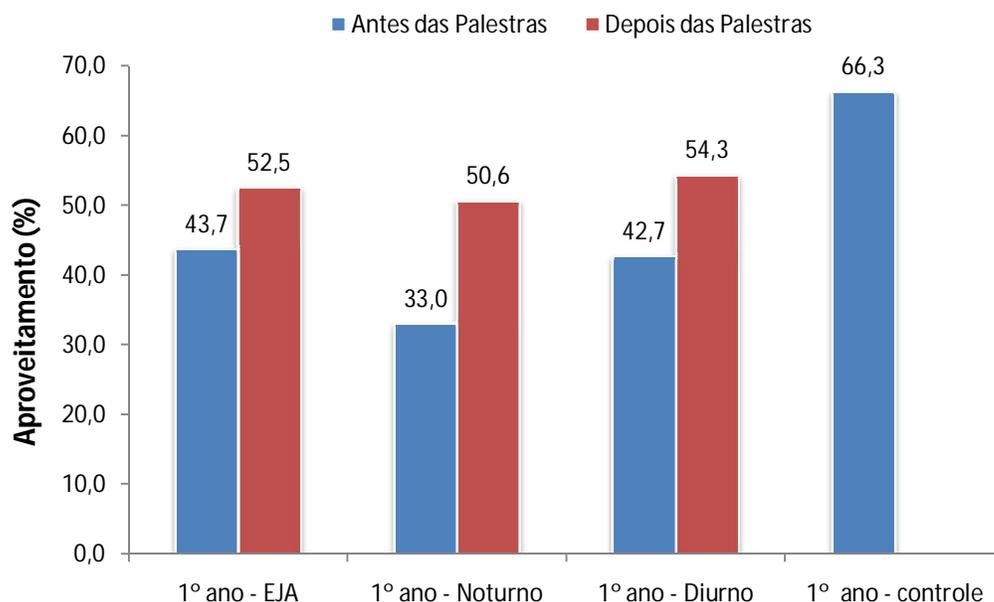


Figura 5.2 – Resultados referentes às médias de aproveitamento de respostas ao questionário aplicado antes e após a realização das palestras na Escola Estadual e na Escola Particular (grupo controle)

5.4 Conclusões

Pode-se considerar que a atividade foi proveitosa para os atores envolvidos (alunos, professores e pessoal envolvido na realização das atividades), uma vez que agregou conhecimento para todos, como deve ser o ensino uma via de mão dupla.

Experiência como essa é importante, no sentido agregar subsídios para aprimorar outras atividades de extensão, em relação à infra-estrutura, abordagem com os alunos, meio de avaliação, dentre outros aspectos que podem ser otimizados.

Referências

AB' SABER, A.N. **(Re)conceituando educação ambiental**. São Paulo: CNPq/Mast, 1991.

ABREU, D.G.; CAMPOS, M.L.A.M.; AGUILAR, M.B.R. Educação ambiental nas escolas da região de Ribeirão Preto (SP): concepções orientadoras da prática docente e reflexões sobre a formação inicial de professores de química. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.3, p.688-693, 2008.

AFONSO, J.C.; NORONHA, L.A.; FELIPE, R.P.; FREIDINGER, N. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. **Química Nova**, São Paulo, v.26, n.4, p.602-611, 2003.

ALBERGUINI, L.B.A.; SILVA, L.C.; REZENDE, M.O.O. Laboratório de resíduos químicos do campus USP-São Carlos – Resultados da experiência pioneira em gestão e gerenciamento de resíduos químicos em um campus universitário. **Química Nova**, São Paulo, v.26, n.2, p.291-195, 2003.

AMARAL, S.T.; MACHADO, P.F.L.; PERALBA, M.C.R.; CAMARA, M.R.; SANTOS, T.; BERLEZE, A.L.; FALCÃO, H.L.; MARTINELLI, M.; GONÇALVES, R.S.; OLIVEIRA, E.R.; BRASIL, J.L.; ARAÚJO, M.A.; BORGES, A.C.A. Relato de uma experiência: recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n.3, p.419-423, 2001.

AQUINO NETO, F.R. Análise de resíduos e qualidade de vida. **Química Nova**, São Paulo, v.18, n.6, p.597-601, 1995.

ARROIO, A.; HONORÁRIO, K.M.; WEBER, K.C.; HOMEM-DE-MELLO, P.; GAMBARDELLA, M.T.P.; SILVA, A.B.F. O show da química: motivando o interesse científico. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.1, p.173-178, 2006.

BENDASSOLLI, J.A.; MAXIMO, E.; IGNOTO, R.F.; TAVARES, G.A. Gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP. **Química Nova**, São Paulo, v.26, n.4, p.612-617, 2003.

COELHO, F.; LACERDA, J.G.A.; THOMAZ, E.; CARNEIRO, E.M.; GOMES, L.; TEIXEIRA, E.N.; SOLFERINI, V.N.; COELHO, R.F.; FURLANI, R.P.Z.; GÂNDARA, A.L.N.; PONEZI, A.L.; REHDER, V.L.G.; CAUSO NETO, J.P.; ROMANO, J.A. Implantação do Programa Institucional de Gerenciamento de Resíduos da Unicamp – Resultados preliminares. In: ENCONTRO NACIONAL DE SEGURANÇA EM QUÍMICA, 2., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2020. 1 CD-ROM.

CUNHA, C.J. O programa de gerenciamento de resíduos laboratoriais do depto de química da UFPR. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n.3, p.424-427, 2001.

DEMAMAN, A.S.; FUNK, S.; HEPP, L.V.; ADÁRIO, A.M.S.; PERGER, S.B.C. Programa de gerenciamento de resíduos dos laboratórios de graduação de

Universidade regional integrada do alto Uruguai e das missões. Campos Erechim. **Química Nova**, São Paulo, v.27, n.4, p.674-677, 2004.

FELISBERTO, R.; VIEIRA, L.O.; COUTO, A.; SCHUH, R.; ALBINO, C.T.; LIBARDI, D.B. De resíduo a insumo: a construção do caminho para uma química mais limpa através de um projeto de ensino. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.1, p.174-177, 2008.

GERBASE, A.E.; GREGÓRIO, J.R.; CALVETE, T. Gerenciamento dos resíduos da disciplina Química Inorgânica II do curso de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.2, p.397-403, 2006.

GILONI-LIMA, P.C.; LIMA, V.A. Gestão integrada de resíduos químicos em instituições de ensino superior. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.6, p.1595-1598, 2008.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.10, p.43-49, 1999.

HILDEBRANDO, G. Indissociabilidade entre pesquisa, ensino e extensão. **Revista Estação**, Londrina, v.1, n.1, 2002.

IMBROISI, D.; GUARITÁ-SANTOS, A.J.; BARBOSA, S.S.; SHINTAKU, S.F.; MONTEIRO, H.J.; PONCE, G.A.E.; FURTADO, J.G.; TINOCO, C.J.; MELLO, D.C. Gestão de resíduos químicos em universidades: Universidade de Brasília em foco. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.2, p.404-409, 2006.

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

LIMA, J.F. Extensão universitária como diálogo entre o saber acadêmico e a realidade social. **Revista Brasileira de Extensão Universitária**, Rio de Janeiro, v. 1, n.1, 2003.

MACHADO, P.F.L.; MÓI, G.S. Experimentando química com segurança. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.27, p.57-60, 2008.

MARADILLO, E.F.; OKI, M.C.M. Educação ambiental na Universidade: construindo possibilidades. **Química Nova**, São Paulo, v.27, n.2, p.332-336, 2004.

MARQUES, C.A.; GONÇALVES, F.P.; ZAMPIRON, E.; COELHO, J.C.; MELLO, L.C.; OLIVEIRA, P.R.S.; LINDEMANN, R.H. Visões de meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de química na escola média. **Química Nova**, São Paulo, v.30, n.8, p.2043-2052, 2007.

ROCHA, J.R.C.; CAVICCHIOLI, A. Uma abordagem alternativa para o aprendizado dos conceitos de átomo, molécula, elemento químico, substância simples e substância composta, nos ensinos fundamental e médio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.21, p.29-33, 2005.

SILVA, P.B.; BEZERRA, V.S.; GREGO, A.; SOUZA, L.H.A. A pedagogia de projetos no ensino de química - o caminho das águas na região metropolitana do Recife: dos mananciais ao reaproveitamento dos esgotos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.29, p.14-19, 2008.

SILVEIRA, M.P.; KIOURANIS, N.M. A música e o ensino de química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v.28, p.28-31, 2008.

TAVARES, G.A.; BENDASSOLLI, J.A. Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa no CENA/USP. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.4, p.732-738, 2005.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que a avaliação aplicada ao PGRQ, foi de extrema importância para a melhoria contínua da gestão de resíduos químicos do CENA/USP.

O questionário aplicado à população do CENA/USP, que gera resíduos químicos, permite observar que de maneira geral essas pessoas compreendem e praticam em seu dia-dia os princípios básicos do programa. No entanto, relatos comprovaram que alguns usuários desconhecem essas primícias ou ainda tem dúvidas ao responder algumas das questões, como as que se referem a segurança em química, água desionizada e descarte correto de resíduos. Palestras educativas, no início de cada ano letivo já estão sendo realizadas aos alunos de pós-graduação, para contornar essas dificuldades. Porém há uma dificuldade grande em estabelecer essa rotina de treinamento aos estagiários, pois a frequência de entrada e saída deles é considerável.

O descarte de resíduos químicos de maneira incorreta nos efluentes laboratoriais pôde ser corrigido, implicando em importante ganho ambiental, bem como retorno financeiro ao PGRQ que reutilizará os resíduos ácidos para o tratamento dos alcalinos e ao laboratório em questão, que economizará anualmente, valores consideráveis na produção de compostos enriquecido com ^{15}N .

O novo método estudado para degradação alcalina de acetonitrila permite o tratamento de maneira mais econômica que a incineração. Além de resolver o acúmulo em volume crescente desse tipo de resíduo que, por ora eram estocados no depósito de resíduos químicos da instituição, enquanto aguardavam por incineração. A precipitação química do cromo na forma de hidróxido de cromo (sólido) reduz em até mil vezes, o volume desse metal antes armazenado no depósito e propõe uma forma de estocagem mais segura, enquanto se espera o envio desse material para aterro de resíduos classe I.

Por fim, entende-se que esse trabalho intenta colaborar com a missão da Universidade de pesquisa e também de extensão, através do trabalho realizado na Escola Estadual.

REFERÊNCIAS

ALBERGUINI, L.B.A.; SILVA, L.C.; REZENDE, M.O.O. Laboratório de resíduos químicos do campus USP - São Carlos – Resultados da experiência pioneira em gestão e gerenciamento de resíduos químicos em um campus universitário. **Química Nova**, São Paulo, v.26, n.2, p.291-195, 2003.

AMARAL, S.T.; MACHADO, P.F.L.; PERALBA, M.C.R.; CAMARA, M.R.; SANTOS, T.; BERLEZE, A.L.; FALCÃO, H.L.; MARTINELLI, M.; GONÇALVES, R.S.; OLIVEIRA, E.R.; BRASIL, J.L.; ARAÚJO, M.A.; BORGES, A.C.A. Relato de uma experiência: recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n.3, p.419-423, 2001.

ASHBROOK, P.C.; REINHARDT, P.A. Hazardous wastes in academia. **Environmental Science & Technology**, Easton, v.19, n.2, p.1150-1155, 1985.

BRITO, A.L.F.; SOARES, S.R. Normas e critérios para avaliação da tecnologia de estabilização por solidificação: situação brasileira. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE SÃO PAULO, 6., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004. v.1, 1 CD-ROM.

COELHO, F.; LACERDA, J.G.A.; THOMAZ, E.; CARNEIRO, E.M.; GOMES, L.; TEIXEIRA, E.N.; SOLFERINI, V.N.; COELHO, R.F.; FURLANI, R.P.Z.; GÂNDARA, A.L.N.; PONEZI, A.L.; REHDER, V.L.G.; CAUSO NETO, J.P.; ROMANO, J.A. Implantação do Programa Institucional de Gerenciamento de Resíduos da Unicamp – Resultados preliminares. In: ENCONTRO NACIONAL DE SEGURANÇA EM QUÍMICA, 2., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2002. 1 CD-ROM.

CUNHA, C.J. O programa de gerenciamento de resíduos laboratoriais do Depto. de Química da UFPR. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n.3, p.424-427, 2001.

DI VITTA, P.B.; FARIA, D.L.A.; MARZORATI, L. BAPTISTA, M.; BERTOTTI, M.; SERRANO, S.H.P.; DI VITTA, C.; BAADER, W.J. Gerenciamento de resíduos no Instituto de Química da Universidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE SEGURANÇA EM QUÍMICA, 2., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2002. 1 CD-ROM.

ESPINOSA, R.M.; TURPIN, S.; POLANCO, G.; DE LA TORRE, A.; DELFIN, I.; RAYGOZA, I. Integral urban solid waste management program in a Mexican university. **Waste Management**, London, v.28, p.S27-S32, 2008.

GERBASE, A. E.; GREGÓRIO, J. R.; CALVETE, T. Gerenciamento dos resíduos da disciplina Química Inorgânica II do curso de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.2, p.397-403, 2006.

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

IMBROISI, D.; GUARITÁ-SANTOS, A.J.; BARBOSA, S.S.; SHINTAKU, S.F.; MONTEIRO, H.J.; PONCE, G.A.E.; FURTADO, J.G.; TINOCO, C.J.; MELLO, D.C.

Gestão de resíduos químicos em universidades: Universidade de Brasília em foco. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.2, p.404-409, 2006.

KOLLIKATHARA, N.; FENG, H.; STERN, E. A purview of waste management evolution: Special emphasis on USA. **Waste Management**, London, v.29, p.974-985, 2009.

LEITE, Z.T.C.; ALCANTARA, S.; AFONSO, J.C. A gestão de resíduos de laboratório na visão de alunos de um curso de graduação de Química e áreas afins. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.7, p.1892-1897, 2008.

MINGHUA, Z.; XIUMIN, F.; ROVETTA, A.; QICHANG, H.; VICENTINI, F.; BINGKAI, L.; GIUSTI, A.; YI, L. Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. **Waste Management**, London, v.29, p.1227-1233, 2009.

NOLASCO, F.; TAVARES, G.A.; BENDASSOLLI, J.A. Implantação de programas de gerenciamento de resíduos químicos laboratoriais em universidades: análise crítica e recomendações. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.11, n.2, p.118-124, 2006.

TAVARES, G.A. **Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP**. 2004. 131p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

TAVARES, G.A.; BENDASSOLLI, J.A. Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.4, p.732-738, 2005.

TUONO, V. **Avaliação dos principais resíduos químicos gerados nos laboratórios do CENA/USP**. 1999. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.19, p.703-707, 1987.

VIEBAHN, P. An environmental management model for universities: from environmental guidelines to staff involvement. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.10, p.3-12, 2002.

VILLENEUVE, J.; MICHEL, P.; FOURNET, D.; LAFON, C.; MÉNARD, Y.; WAVRER, P.; GUYONNET, D. Process-based analysis of waste management systems: A case study. **Waste Management**, London, v.29, p.2-11, 2009.

WEI, M.-S.; WEBER, F. An expert system for waste management. **Journal of Environmental Management**, New York, v.46, p.345-358, 1996.

ZAMONER, M. Modelo para avaliação de planos de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde (PGRSS) para secretarias Municipais da Saúde e/ou do Meio Ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.13, n.6, p.1945-1952, 2008.

Anexos

Anexo A: ENTREVISTA ESTRUTURADA

[1] Nível de Formação:
 2º grau completo superior incompleto pós-graduação

QUESTÕES GERAIS

Meio Ambiente

[2] A respeito de questões relacionadas ao meio ambiente, você se considera uma pessoa:
 muito bem informada bem informada

[3] Em sua opinião, existem problemas ambientais que poderiam ser resolvidos ou minimizados com a sua participação?
 sim não

[4] Quais problemas ambientais que poderiam ser resolvidos ou minimizados com a sua participação?
 resíduos sólidos desperdício de água contaminação ambiental poluição atmosférica

[5] Quais os principais problemas ambientais que você poderia apontar no CENA?
 composição vegetal descarte de resíduos sem tratamento desperdício de água

[6] Em sua seção de trabalho, algum tipo de material reciclado é utilizado?
 sim não não tenho certeza

[7] Qual tipo de material reciclado é consumido em sua seção?
 papel sacos plásticos reagentes ponteiros e tubos vidros

Gerenciamento de Resíduos no CENA

[8] Em relação ao gerenciamento de resíduos químicos no CENA/USP, você sabe dizer se há um programa específico dessa natureza implementado na instituição?
 sim, existe um PGRQ não, não existe um PGRQ

[9] O que você acha dos serviços de gerenciamento de resíduos químicos executados no CENA/USP?
 muito bom bom regular

[10] Você saberia apontar as principais deficiências ou limitações do PGRQ do CENA/USP?
 sim não não tenho certeza

[11] Quais as principais deficiências ou limitações do PGRQ do CENA/USP?
 maior divulgação equipe pequena coleta deficiente procedimentos deficientes

[12] Que ações poderiam contribuir para que o PGRQ do CENA tivesse melhores resultados?
 apoio institucional divulgação melhoria infra-estrutura recursos financeiros maior organização outros

[13] Você já executou ou presenciou algum descarte de resíduo químico ou outro material perigoso de maneira indevida nas instalações do CENA?
 sim não

[14] Descreva a situação de descarte indevido que você presenciou:

[15] Você tem ciência dos problemas ambientais que podem ser causados ao descartar pilhas e baterias no lixo comum?
 sim não não tenho certeza

[16] Quais são os principais problemas ambientais que podem ser causados ao descartar pilhas e baterias no lixo comum?
 contaminação do solo contaminação das águas acidificação do meio bioacumulação NRC

[17] Você sabe qual a destinação dada às pilhas e baterias após o uso em sua seção?
 sim não não tenho certeza

[18] Qual a destinação dada às pilhas e baterias após o uso em sua seção?

Lixo Comum Reciclagem

[19] Você sabia que as chamadas lâmpadas frias são potencialmente poluidoras se descartadas no lixo comum?

sim não não tenho certeza

[20] Quais são os riscos associados ao descarte de lâmpadas frias no lixo comum?

substâncias tóxicas contaminação com mercúrio corte com o vidro contaminação do meio ambiente

[21] Você sabe qual a destinação dada às lâmpadas queimadas após o uso em sua seção?

sim não não tenho certeza

[22] Qual a destinação dada às lâmpadas queimadas após o uso em sua seção?

depósito do CENA reciclagem descarte de vidros

Segurança em química

[23] Em seu trabalho, você manipula ou entra em contato com algum tipo de produto químico perigoso?

sim não não tenho certeza

[24] Descreva os principais produtos químicos perigosos que você manipula ou tem algum tipo de contato.

solventes orgânicos ácidos e bases gel + brometo de etídeo compostos inorgânicos diversos defensivos agrícolas metais pesados

[25] Você considera que o seu ambiente de trabalho é totalmente seguro, no que se refere ao uso e manipulação de produtos químicos perigosos?

sim não não tenho certeza

[26] Por que?

pessoal preparado EPI/EPC descarte adequado de resíduos NRC

[27] Você faz uso de algum equipamento de proteção individual ou coletiva no cumprimento de suas atividades?

sim não

[28] Descreva os principais equipamentos utilizados.

luvas jaleco máscara outros

[29] Você considera que possui treinamento suficiente para manusear produtos químicos perigosos?

sim não não tenho certeza

Gestão de águas servidas

[30] Você sabe de onde é proveniente a água que abastece as instalações do CENA?

sim não não tenho certeza

[31] De onde é proveniente a água que abastece o as instalações do CENA?

SEMAE ETA/ESALQ Casa de vegetação

[32] Na sua seção é utilizada água que receba algum tipo de tratamento especial (destilação, desionização, osmose reversa, etc)?

sim não não tenho certeza

[33] Qual o método de tratamento ou purificação empregado?

desionização destilação osmose reversa miliq

[34] Onde é realizado esse tratamento?

Laboratório Casa de Vegetação

[35] O que você acha da qualidade da água purificada utilizada?

muito boa boa

Anexo B:

Questionário – Atividade de Extensão referente ao Projeto FAPESP 06/50907-9

Nome: _____ Série: _____

1) A questão do lixo domiciliar é um grave problema social. Em nosso cotidiano, consumimos inúmeros produtos cujos resíduos podem ser reciclados, dentre os quais podemos destacar:

- (a) vidro, papel e restos de alimentos (b) vidros, madeiras e isopores
(c) papel, latas de alumínio, plásticos e vidros (d) latas de alumínio, papel e espumas em geral

2) Qual deve ser nossa atitude com relação aos restos de alimentos em nossas casas ?

- (a) reutilizá-los como adubo (b) aproveitar melhor os alimentos e praticar a compostagem
(c) dispor no solo (d) preferir alimentos não perecíveis

3) O principal motivo pelo qual as chamadas lâmpadas frias (fluorescentes) queimadas não devem ser descartadas no lixo comum é:

- (a) há possibilidade de reciclar o vidro (b) há risco de acidente para o lixeiro
(c) elas apresentam valor comercial (d) contém mercúrio em seu interior, podendo prejudicar o ambiente

4) O papel é um tipo de material que pode ser reciclado?

- (a) sim, uma única vez (b) sim, até no máximo duas vezes seguidas
(c) sim, várias vezes seguidas (d) não, ele não pode ser reciclado

5) Quando se desenvolvem procedimentos para o tratamento ou recuperação de resíduos químicos, as principais vantagens estão relacionadas a:

- (a) desenvolver processos químicos e físicos (b) reduzir danos ao ambiente e obter retorno financeiro
(c) evitar a geração de resíduos e tratá-los (d) realizar análises em laboratório e no local de amostragem

6) Quando um laboratório gera resíduos químicos contendo metais preciosos, deve-se estabelecer métodos de recuperação desses compostos. Considerando essa afirmação, indique a alternativa que apresenta apenas metais preciosos:

- (a) diamante, platina e prata (b) cloro, ouro e tungstênio
(c) ouro, prata e bronze (d) prata, ouro e platina

7) Para se tratar soluções residuais contendo prata, realiza-se a precipitação química desse metal na forma de cloreto de prata (AgCl), que fica depositado no fundo do recipiente, na forma sólida. Por que motivo o material formado é insolúvel?

- (a) devido à reação de síntese (b) por causa da temperatura ambiente
(c) devido à baixa solubilidade do AgCl formado (d) devido a um processo físico chamado decantação

8) Visando uma boa gestão de resíduos químicos, a principal ação a ser tomada é sempre:

- (a) minimizar a geração de resíduos (b) promover a reciclagem
(c) desenvolver métodos de tratamento (d) evitar a geração de resíduos

9) No laboratório químico, devemos fazer uso de equipamentos de proteção para:

- (a) minimizar os riscos envolvidos (b) eliminar o perigo de uma operação qualquer
(c) trabalharmos com compostos não voláteis (d) proteger nossa pele contra gases tóxicos

10) Quais destes equipamentos de proteção individual (EPI) são considerados essenciais e de uso obrigatório no laboratório?

- a) jaleco, óculos de segurança e extintor de incêndio b) protetor auricular, luva, jaleco
c) jaleco e óculos de segurança d) jaleco e máscara contra gases

11) Quando desconhecemos a origem de um produto químico líquido, temos de caracterizá-lo a fim de dar a destinação correta. Para isso, a maneira mais correta de procedermos é a seguinte:

- a) realizar testes em pequenos volumes da amostra b) enviar para incineração
c) determinar o pH da solução d) observar o aspecto visual e o odor da solução

12) Ao levarmos um volume reduzido (gotas) de reagentes químicos em contato com uma chama, estamos realizando um teste qualitativo que pode indicar a presença de determinados elementos químicos na amostra, o que pode ser caracterizado por:

- a) aumento da intensidade da chama
- b) diminuição da intensidade da chama
- c) mudança da cor da chama
- d) apagamento da chama

13) O maior perigo associado ao surgimento de buracos na camada de ozônio que recobre a atmosfera refere-se ao fato de que esse gás é eficiente para nos proteger:

- (a) da radiação ultravioleta
- (b) da radiação atômica
- (c) da radiação cósmica
- (d) da radiação nuclear

14) Você sabe dizer onde é captada atualmente a água que é tratada e abastece a sua casa?

- (a) no Rio Corumbataí, pois o Rio Piracicaba está poluído
- (b) no Rio Piracicaba, onde a vazão e a qualidade da água atendem à demanda
- (c) no Rio Tietê, que despeja suas águas no rio Piracicaba
- (d) no Aquífero Guarani (água subterrânea) e no próprio Rio Piracicaba

15) Há indícios da ocorrência de chuva ácida nos últimos anos na região de Piracicaba. Na sua opinião, a chuva ácida é causada por:

- (a) poluição de origem exclusivamente natural
- (b) gases e vapores ácidos lançados na atmosfera
- (c) poluição de origem exclusivamente industrial
- (d) queimada da cana-de-açúcar

16) A água é um recurso natural escasso em vários países do mundo. Embora em nosso país tenhamos grande disponibilidade de água doce, é importante evitar:

- (a) o uso racional
- (b) o desenvolvimento de métodos de purificação
- (c) a prevenção da poluição
- (d) o desperdício de água e a contaminação dos mananciais

17) Quando falamos em Química, estamos nos referindo a uma ciência natural que é caracterizada por:

- (a) proporcionar apenas benefícios para a humanidade, como remédios e produtos de higiene
- (b) ser maléfica ao homem, por resultar em sérios problemas, como a poluição ambiental e as drogas
- (c) ser apenas uma ferramenta para outras áreas da ciência, como a medicina e a matemática
- (d) ser benéfica ou maléfica ao homem, dependendo do uso que se faz de suas descobertas

18) Os primórdios da química remontam a milhares de anos atrás. Dentre as atividades que ilustram a ocorrência de reações químicas nessa época, podemos citar:

- (a) a fabricação de vidros óticos, de instrumentos de caça e o beneficiamento de ouro
- (b) a descoberta do fogo e a construção de peças em cerâmica
- (c) o efeito estufa e a destruição da camada de ozônio
- (d) a descoberta do fogo, da terra, da água e do ar

19) Um produto como o vidro é o resultado de uma reação química. Assim sendo, a diferença existente entre os diversos tipos de vidro (vidro comum, vidro borossilicato, cristais, vidro blindado, entre outros) pode ser explicada por:

- (a) reações químicas incompletas
- (b) processos físicos, e não químicos
- (c) diferença na composição química dos elementos
- (d) diferentes temperaturas de fusão

20) Em laboratórios químicos, são materiais considerados comuns tubos de ensaio, béquer, proveta e erlenmeyer, entre outros. Geralmente, esses utensílios são constituídos por:

- (a) vidro comum (de qualquer tipo)
- (b) vidros especiais, principalmente constituídos de borossilicato
- (c) vidro amorfo (sem forma definida)
- (d) vidros amorfos, transparentes e não quebradiços