



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PREDEITURA DO CAMPUS USP DE SÃO CARLOS
Laboratório de Resíduos Químicos



TRATAMENTO QUÍMICO E RECICLAGEM DE CHAPAS DE RAIOS-X

Pesquisador responsável: Prof. Artur de Jesus Motheo (IQSC)

Equipe: Maria Cecília H.T. Cavaleiro (PUSP-SC)

Caroline Franceschini Mion (PUSP-SC)

Amanda Quatrocchio Liporini (Estagiária IQSC-USP)

Marina Gandini Garcia Libardi (Estagiária Colégio La Salle)

Laboratório de Resíduos Químicos (LRQ), Prefeitura do Campus USP de São Carlos,
Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP.

Resumo

Os setores hospitalar e de saúde são enormes produtores de resíduos e dentre eles encontram-se as chapas de raios-X. Se descartadas no lixo comum, as chapas de raios-X podem contaminar o solo e os lençóis freáticos, já que contém prata, um metal pesado. Dessa forma, é necessário buscar alternativas para o reaproveitamento da prata e do plástico dessas chapas. O presente projeto visa o tratamento integrado de chapas de raios-X com o isolamento da prata metálica e a reciclagem do plástico.

1. INTRODUÇÃO

Em 1990 uma comissão foi formada e teve como objetivo a apresentação de propostas de gerenciamento de resíduos perigosos, sendo que a preocupação estava nos resíduos químicos. Tal comissão, composta por professores e funcionários do IQSC, da EESC e do SESMT, propôs a construção de um abrigo de resíduos químicos provisório para estocar todos os resíduos Classe I do campus São Carlos, os quais se encontravam irregularmente armazenados em tambores sem as devidas medidas de segurança.

Este abrigo, construído em caráter provisório, feito de madeira tratada. Em 1991 ocorreu a construção de um abrigo definitivo de alvenaria (figura 1), com todas as características técnicas de segurança e com uma capacidade limite de 3.000 litros, onde os resíduos passaram a ser armazenados para posterior tratamento ou descarte correto.

O Laboratório de Resíduos Químicos (LRQ) foi inaugurado em 13 de outubro de 1997 e iniciou efetivamente suas atividades em 1998, após adequações internas e contratação de dois profissionais para seu funcionamento.

Com o passar dos anos, muitos laboratórios foram criados no Campus da USP - São Carlos com a conseqüente geração de resíduos químicos em quantidades apreciáveis. Assim, a USP - São Carlos criou um Programa de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório gerados nas atividades de ensino e pesquisa. Hoje o LRQ atende a uma média de 100 laboratórios do Campus 1 da USP - São Carlos, recebendo para tratamento e descarte final adequado um volume de aproximadamente 5 toneladas de resíduos químicos por ano. Esta situação atual tende a se alterar em um futuro próxima devido a criação de novos cursos, como a Engenharia Ambiental, Engenharia Aeronáutica, Biotecnologia e Engenharia de Materiais e o desenvolvimento de outras atividades no campus 2.

Estrutura do Laboratório.

O LRQ conta com três pequenas áreas construídas, um escritório, um abrigo de resíduos e o laboratório propriamente dito. O escritório é um prédio de aproximadamente 40 m² que dispõem de dois computadores para coordenar toda a parte administrativa e burocrática, dado ao caráter de prestador de serviços às demais unidades pertencentes à USP.



Figura 1 - Início das obras do abrigo de produtos químicos (1991).



Figura 2 - Abrigo de produtos químicos do Campus 1 (2012), com sua capacidade máxima.

O abrigo de resíduos químicos (figura 2), com uma área de 40 m², foi construído em alvenaria dentro dos padrões internacionais de segurança ocupacional por tratar-se da armazenagem de solventes inflamáveis. As prateleiras têm revestimento em tinta epóxi e o edifício não tem janelas por motivos de segurança ou entrada de luminosidade. A ventilação é mantida por elementos vazados junto ao teto e um portão de duas folhas de chapa perfurada. O piso confeccionado em placas de concreto vazadas permite, no caso de derramamentos acidentais, o escoamento do resíduo por uma canaleta em forma de U ligada a um reservatório, onde o resíduo pode ser recolhido. Nesse abrigo os resíduos químicos são dispostos de maneira adequada, levando em consideração suas incompatibilidades químicas. Todo manuseio de resíduos no abrigo é realizado com os devidos equipamentos de segurança. O LRQ ainda ocupa um prédio de 60 m² com 2 salas onde funciona o laboratório para o tratamento dos resíduos, com 2 capelas para tratamento de resíduos com metais (figura 3) e numa terceira capela exclusiva com 4 sistemas de destilação de grande porte acoplados a um sistema de recirculação de água. Há ainda uma sala de análise para certificação dos produtos em tratamento ou já recuperados.



Figura 3 - Capelas utilizadas para tratamento de resíduos com metais.

2. JUSTIFICATIVA

O ato de reciclar um material que poderia ir para o lixo significa muito mais do que apenas gerar outro material, é colaborar para manter a perfeita sintonia entre o homem e o meio ambiente. A geração de lixo e resíduos pelo homem é inerente à condição de ser humano, porém minimizar os efeitos negativos do lixo no meio ambiente é fundamental. O trabalho em questão certamente colabora com a redução de descarte de materiais contendo metais pesados, além da reciclagem e reutilização do plástico de forma correta.

3. OBJETIVO GERAL

Os objetivos gerais do projeto são:

- Tratamento de chapas de raios-X.
- Recuperação da prata obtida nas chapas de raios-X.
- Reciclagem das chapas de raios-X após o tratamento.
- Diminuição de impactos ambientais causados pelo descarte inadequado deste resíduo.
- Treinamento de pessoal para o correto tratamento deste resíduo.

4. EQUIPE DE TRABALHO

A equipe de trabalho é formada pelos seguintes profissionais e estudantes:

Dra. Maria Cecília H. T. Cavalheiro, Química responsável pelo LRQ, graduada em Engenharia Química pela UFSCar e Química pelo IQSC – USP São Carlos. Tem mestrado e doutorado em Química Analítica pelo IQSC – USP São Carlos e Pós-doutorado em Técnicas de Química Analítica pela mesma instituição.

Caroline Franceschini Mion, Técnica em Química do LRQ, graduada em Química pela UNESP Araraquara.

Amanda Quatrochio Liporini, estagiária, estudante do último ano do curso de Bacharelado em Química no IQSC – USP São Carlos.

Marina Gandini Garcia Libardi, estagiária, estudante do último ano do curso de Técnico em Química no Colégio Diocesano La Salle de São Carlos.

5. JUSTIFICATIVA – FUNDAMENTOS E PROPOSTAS

A geração de resíduos sólidos é uma forte preocupação ao meio ambiente. A demanda de geração de resíduos aumenta diariamente e, dentre os resíduos produzidos, estão os resíduos sólidos gerados no âmbito da saúde. Dentre esses resíduos, podemos destacar aqueles de origem química, que são usualmente prejudiciais ao meio ambiente. Observa-se que há uma preocupação, por parte da sociedade, relacionada às disposições inadequadas de resíduos oriundos de chapas radiográficas em aterros sanitários, tendo em vista que estes ocasionam a contaminação de solos e lençóis freáticos, dentre outros fatores.

A prata é um elemento de ocorrência natural, muito empregado em indústrias de fotografia e imagem, bem como em eletro-eletrônicos de um modo geral. Essa acentuada utilização implica na descarga desse metal para o ambiente, o que representa risco para organismos aquáticos e terrestres (PURCELL, 1998). Essa preocupação se justifica pelo seu reconhecido potencial tóxico quando despejada sem critérios no ambiente (GORSUCH, 1998).

Tabela 1 - Concentrações limites de alguns metais pesados em água

Metal	Concentração limite (mg/L)*	
	Lançamento de efluente	Potabilidade da água
Alumínio	—	0,1
Cobre	1,0	0,009
Chumbo	0,5	0,01
Prata	0,1	0,01
Cromo	0,5	0,05
Mercúrio	0,01	0,0002

*Resolução CONAMA n° 357, 2005, Qualidade da Água.

Metais como a prata, possuem efeito acumulativo no organismo e podem causar problemas renais, motores e neurológicos. Adicionalmente, as bases das chapas radiográficas são feitas de acetato, um plástico derivado do petróleo e que demora mais de cem anos para ser degradado em aterros sanitários comuns.

O processo de confecção de chapas radiográficas envolve uma série de etapas e a utilização de diversos elementos tóxicos. A base da chapa, feita de acetato, é recoberta por uma fina camada de grãos de prata sensíveis à luz. Ao expor a camada de grãos de prata à luz, ocorre a reflexão da luz e cada grão de prata comporta-se de uma maneira diferente, ou seja, acontecem diferentes graus de exposição. Após o processo de exposição à luz, a chapa precisa ser revelada, pois a imagem ainda não é visível. Os reveladores mais comuns são o metol e a hidroquinona. Na fase seguinte, ocorre a eliminação da prata que não foi sensibilizada pela ação da luz e estabilização da imagem revelada. O fixador mais utilizado é o tiosulfato de sódio. (PRADO FILHO, 2012)

Sendo a prata um metal pesado e altamente poluidor, a sua liberação no ambiente é proibida por normas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). As Resoluções da Diretoria Colegiada (RDC) 306/04, da Anvisa, e Resolução n° 358/05, do Conama, dispõem sobre o gerenciamento dos resíduos.

A tabela 1 apresenta as concentrações limites para a presença de metais pesados no meio ambiente de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Por essas razões o LRQ, passou a estudar e desenvolver métodos para a recuperação deste resíduo, de forma que ele possa ser reutilizado, com o intuito de prestar esse serviço a comunidade da USP e mais adiante a sociedade são-carlense, visando minimizar o impacto socioambiental.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

As chapas radiográficas serão colocadas em uma cuba plástica, imersas em solução de hidróxido de sódio por alguns dias (figura 4).

Após a completa eliminação da prata presente na base de acetato, as placas de plástico serão lavadas e colocadas em estufa, a baixa temperatura, para secagem (BENDASSOLLI, 2003).

Em seguida, utilizando-se um funil de placa porosa a solução é filtrada a vácuo contendo o precipitado de óxido de prata e separando o sobrenadante do precipitado.

O pH do sobrenadante é corrigido para pH 6 e em seguida é tratado com cloreto férrico até completa precipitação do acetato e a solução é filtrada em um funil.

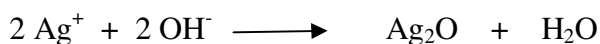
Após análise do filtrado no equipamento de Absorção Atômica, o sobrenadante é descartado de acordo com as normas do CONAMA.

O óxido de prata retido durante a filtração é colocado em um cadinho e levado à mufla até atingir o ponto de fusão da prata metálica (962 °C).

7. RESULTADOS ESPERADOS

Inicialmente, têm-se as chapas de raios-X com a fina película de grãos de prata aderidas ao acetato (figura 5).

A prata que recobre a película de acetato é precipitada em óxido de prata, segundo a reação: (VOGEL, 1981)



O óxido de prata apresenta-se como um pó fino preto ou marrom (figura 6a).

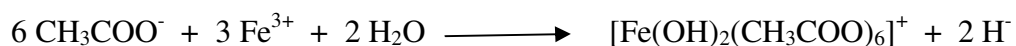


Figura 4 - Chapas de raios-X mergulhadas em solução de hidróxido de sódio.

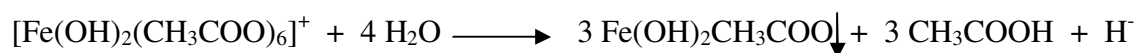


Figura 5 - Chapa de raios-X antes do tratamento químico e após tratamento químico.

O filtrado produzido após a filtração à vácuo também é tratado. A precipitação do acetato contido no filtrado ocorre com a adição de cloreto férrico (cloreto de ferro III). A presença de acetato pode ser confirmada pela coloração avermelhada intensa da solução, devido à formação do íon complexo $[\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{COO})_6]^+$.



Quando submetida à ebulição, a solução vermelha decompõe-se e ocorre a formação do precipitado marrom de ferro III básico. (VOGEL, 1981)



A figura 6b ilustra o óxido de prata depois de ter sido submetido ao tratamento térmico na mufla, transformando-se em prata metálica.

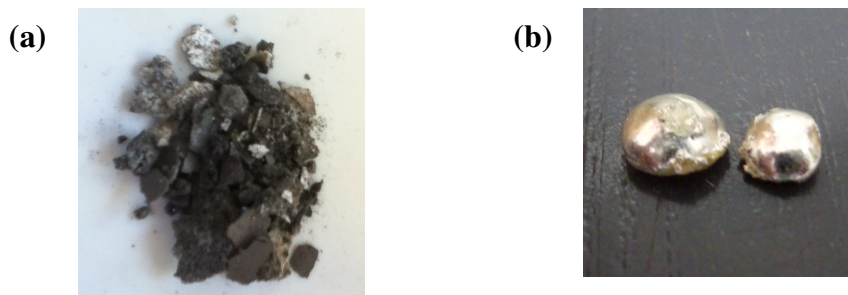


Figura 6 – (a) Óxido de prata após filtração a vácuo.
(b) Prata metálica após sofrer fundição e resfriamento.



Figura 7 - Chapas de raios-X após tratamento químico e em condições de sofrer reciclagem.

A figura 7 apresenta as chapas radiográficas ao final do tratamento químico, após lavagem em água corrente e secagem em estufa.

Ao final do tratamento das chapas radiográficas, a prata metálica pode ser destinada para a confecção de eletrodos, ligas metálicas, jóias, semi jóias e bijuterias. A placa de plástico limpa pode ser destinada a reciclagem comum ou na confecção de embalagens.

O Laboratório de Resíduos Químicos têm o compromisso permanente de adotar um comportamento ético, visando contribuir para o desenvolvimento social, econômico e ambiental, ou seja, o LRQ assume o papel de ser socialmente responsável e busca realizar ações voltadas a comunidade e ao meio ambiente. A nossa contribuição para melhorar a qualidade de vida dos indivíduos através da proteção do meio ambiente dentro da organização e do desenvolvimento de uma economia sustentável é muito importante.

Devido a grande demanda de chapas raios-X e para que este projeto possa atender a comunidade da USP, há a necessidade de aquisição de materias e de mão-de-obra (estagiários) para que possamos atuar de forma constante no tratamento deste tipo de resíduo.

8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

O cronograma de execução é apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Cronograma de execução do Projeto.

Atividade	2013							2014					
	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06
Aquisição de materiais e mão-de-obra	x	x	x										
Execução do Projeto				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Relatórios							x						x

9. ORÇAMENTO

As listas de materiais e serviços a serem adquiridos para a execução do referido Projeto pelo LRQ da PUSP-SC são apresentadas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Lista de Material de Consumo a ser adquirido para a execução do Projeto.

Material	Preço Total (R\$)
Reagentes de uso geral no laboratório, reagentes específicos; vidraria de uso geral no laboratório; vidraria específica. Materiais de apoio à infraestrutura, papel de filtro, balde, etc. Enfim, todos os produtos de consumo necessários para o bom andamento das atividades da proposta	25.000,00
Total	R\$ 25.000,00

Tabela 4 – Lista de Pagamento de Bolsa de Estagiários

Serviço	Justificativa	Preço Total (R\$)
Contratação de 2 estagiários 30 horas pago pela USP e 20 horas pago pela USP	São pleiteados recursos para a contratação de estagiários, que deverão permitir a necessária fluidez no desenvolvimento do projeto	25.000,00
Total		R\$ 25.000,00

TOTAL R\$ 50.000,00

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENDASSOLLI, J.A.; TAVARES, G.A.; IGNOTO, R.F.; ROSSETI, A. L. R. M. Procedimentos para recuperação de Ag de resíduos líquidos e sólidos. **Química Nova**, v.26, n.4, p. 578, 2003.

EASTMAN KODAK COMPANY. A Tecnologia de Recuperação da Prata para Instalações de Processamento Fotográfico. 1995. Disponível em:

<http://wwwbr.kodak.com/eknec/documents/e7/0900688a800562e7/J227_PB.pdf>.

Acesso em: 22 março 2012.

GORSUCH, J. W.; Klaine, S. J.; *Environ. Toxicol. Chem.* **1998**, 17, 537.

KUYA, M K. Recuperação de prata de radiografias: uma experiência usando recursos caseiros. **Química Nova**, V. 16, n.5, p. 474, 1993.

PRADO FILHO, H.R. A Reciclagem de chapas de raios-x e fotolitos. Disponível em: <http://qualidadeonline.wordpress.com/2010/08/16/a-reciclagem-de-chapas-de-raios-x-e-fotolitos>. Acesso em 22 março 2012.

PURCELL, T. W.; Peters, J. J.; *Environ. Toxicol. Chem.* V. 17, p. 539, 1998.

VOGEL, Arthur Israel, *Química Analítica Qualitativa*, 5ª edição, Longman Editora, 1981, 665