

# REMOÇÃO DE MERCÚRIO DE LÂMPADA FLUORESCENTE EXAUSTA POR PROCESSO OXIDATIVO

Diego Valentim Crescente Cara

Bolsista de Inic. Científica, Biologia Ambiental, UniverCidade

Orientadores

Luis Gonzaga dos Santos Sobral & Byron Rosemberg

Engº. Químico, Ph. D.

Químico

## RESUMO

*Nesta contribuição técnica, um processo oxidativo foi considerado no tratamento dos componentes de lâmpada fluorescentes, em particular o revestimento interno branco (o mineral clorofluor-apatita -  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl})$ ) e o tubo de vidro, no sentido de remover e recuperar o mercúrio contido, bem como avaliar a eficiência de descontaminação e o consumo de energia inerente a esse processo. A proposta consistiu na utilização de hipoclorito de sódio, um agente oxidante suficientemente enérgico para oxidar o mercúrio elementar e formar espécies solúveis e estáveis em solução ( $\text{HgCl}_4^{2-}$ ); que podem ser, posteriormente, reduzidas a mercúrio elementar por cementação. A utilização desse processo teve como objetivos principais a remoção e recuperação*

*do mercúrio contido nos componentes das lâmpadas assim como a recuperação do mineral clorofluor-apatita, visando a reciclagem de ambos ao processo produtivo, bem como viabilizar a utilização do tubo de vidro descontaminado na fabricação de artefatos para acondicionamento de produtos domésticos. Os dados obtidos até o presente momento evidenciaram elevada eficiência do processo utilizado na remoção do mercúrio (>90%) e apontaram para uma possível absorção desse elemento na estrutura do tubo de vidro, o que torna necessário à otimização do processo, tendo em vista a solicitação térmica requerida na produção de artefatos a partir de lâmpadas fluorescentes exaustas.*

## 1. INTRODUÇÃO

O mercúrio é amplamente utilizado em diversas aplicações industriais e domésticas e, devido às suas propriedades particulares, tornou-se um componente essencial em inúmeros produtos, tais como lâmpadas

fluorescentes, pilhas, baterias etc, chegando a ser utilizado em produtos medicinais. Embora esse elemento tenha aplicações úteis, sabe-se que muitos de seus compostos podem afetar organismos expostos a ele e, quando em altas concentrações, é capaz de danificar o sistema nervoso central do homem [1].

O ganho em economia e durabilidade com as lâmpadas fluorescentes, em relação às incandescentes, tornaram a opção pelas primeiras uma tendência mundial, tornando-as responsáveis pelo consumo de 50 a 80% da energia elétrica destinada à iluminação; números esses em crescimento, uma vez que no âmbito doméstico a substituição tem sido lenta, especialmente em países em desenvolvimento como no Brasil. O Japão é uma exceção a este caso, onde cerca de 80% das casas e apartamentos utilizam essas lâmpadas, tendo uma produção cativa de três lâmpadas fluorescentes para cada lâmpada incandescente fabricada.

A contaminação ambiental causada pelo descarte inadequado de produtos contendo mercúrio tem se tornado uma preocupação mundial, face os efeitos adversos que este metal pode causar aos ecossistemas, sobretudo, à saúde humana. Dentre esses produtos, as lâmpadas fluorescentes tem ganhado destaque, uma vez que, ao final de sua vida útil, são geralmente descartadas de forma indiscriminada em locais de potencial contato humano, expondo a população local às emissões de mercúrio, como mostra a Figura 1.

Recentes trabalhos comprovaram que os resíduos gerados por lâmpadas fluorescentes apresentam concentrações elevadas de Hg e Pb, em diversos casos, excedendo aos padrões estabelecidos pela norma brasileira de resíduos sólidos - ABNT NBR 10.004. Do ponto de vista ambiental esses dados são preocupantes: primeiro, porque das lâmpadas fluorescentes fabricadas no Brasil, 48,5 milhões de unidades por ano, somente 3% são tratadas por processo de reciclagem, sendo o restante descartado diretamente no lixo; segundo, porque os produtos similares importados não estão sendo objeto de controle quanto aos níveis de metais pesados.

Dependendo do tipo de lâmpada e da tecnologia utilizada em sua fabricação, uma lâmpada fluorescente pode conter entre 10 a 300 mg de mercúrio[2]. Na maior parte das lâmpadas estes valores oscilam entre 60 a 120 mg[3], onde podemos ter como média 80mg de mercúrio por lâmpada fluorescente[4]. Mesmo as lâmpadas de baixa potência, como, por exemplo, lâmpadas fluorescentes de 40W, chegam a conter 10 mg de mercúrio[5]. Estima-se

que a produção anual global de lâmpadas fluorescentes atinja a marca de dois bilhões de unidades[6]. Considerando, por hipótese, um consumo médio 90mg de mercúrio por lâmpada produzida, o consumo mundial de mercúrio deverá situar-se em torno de 180 toneladas/ano.



**Fig. 1-** Descarte inadequado de lâmpadas fluorescentes exaustas.

Diante do exposto, percebe-se a necessidade do desenvolvimento de processos de tratamento para descontaminação de lâmpadas fluorescentes exaustas, visando não somente a remoção e recuperação do mercúrio contido como também a reciclagem dos seus constituintes, tal como o tubo de vidro, que, sem a descontaminação adequada, vem sendo utilizado atualmente na fabricação de diversas peças artesanais e o sólido branco (o mineral cloroflúor-apatita) utilizado no recobrimento interno das lâmpadas, que pode retornar a fabricação de novas unidades, após descontaminação adequada.

Como no Brasil ainda não há regulamentação específica para o descarte de lâmpadas fluorescentes, percebe-se extensão do potencial problema de emissões antropogênicas de mercúrio ao meio ambiente, associadas à produção e descarte de lâmpadas fluorescentes. Este quadro possibilita o surgimento de casos como o dos vidreiros, que compram lâmpadas fluorescentes exaustas de instituições e empresas ao valor de R\$0,10 a unidade e as utilizam como matéria-prima para confecção de artefatos diversos, para fins comerciais. Nesses empreendimentos, os bocais das lâmpadas são cortados e o sólido branco (clorofluor-apatita) impregnado na parede interna da lâmpada é removido, restando o tubo de vidro “pronto”

para ser trabalhado. O sólido branco contaminado com mercúrio é descartado como lixo comum, o que aumenta o risco de contaminação devido a maior possibilidade de manuseio e exposição. As Figuras 1 e 2, a seguir, mostram o processamento dos artefatos fabricados com os tubos de vidros preparados a partir de lâmpadas fluorescentes e os artefatos já confeccionados.

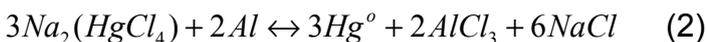
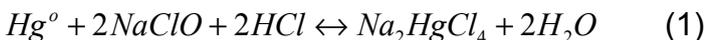


**Fig. 1-** Processamento, pelos vidreiros, dos tubos de vidro.



**Fig. 2-** Artefatos produzidos a partir dos tubos de vidro.

A proposta para o tratamento de lâmpadas fluorescentes pautou-se na escolha de um reagente de fácil aquisição e de poder oxidante suficiente para oxidar o mercúrio elementar, tal como encontrado no interior das lâmpadas e que consistisse, ao final, em um meio favorável para conversão desse elemento a sua forma elementar por cementação (em condições brandas). O hipoclorito de sódio atende aos requisitos propostos e foi utilizado para os estudos preliminares de tratamento das lâmpadas. As equações abaixo mostram as reações que ocorrem durante o processo oxidativo de mercúrio elementar por ação do hipoclorito de sódio, assim como a reação de cementação por ação de alumínio metálico.



## **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho teve como meta à avaliação da eficiência de remoção de mercúrio elementar presente nos resíduos sólidos provenientes das lâmpadas fluorescentes, o mineral cloroflour-apatita e o vidro de borosilicato, por um processo oxidativo, a partir da ação de hipoclorito de sódio, sob diferentes condições experimentais.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Esse estudo consistiu na avaliação da ação de hipoclorito de sódio na remoção de mercúrio impregnado no vidro e no revestimento branco(cloroflúor-apatita) de lâmpadas fluorescentes. Os ensaios foram definidos a partir das possíveis combinações - planejamento fatorial- entre os parâmetros elegidos para o estudo: temperatura, tempo de reação, granulometria do vidro e concentração de hipoclorito de sódio, tabela 1 e 2.

Tabela 1 – Parâmetros e condições de contorno para os ensaios com clorofluorapatita.

| <b>Parâmetro</b>           | <b>Nível 1</b> | <b>Nível 2</b> |
|----------------------------|----------------|----------------|
| Temperatura (°C)           | 25             | 50             |
| Tempo de lixiviação ( min) | 30             | 60             |
| [NaClO] (%)                | 7%(p/p)        | 14%(m/m)       |

Tabela 2 – parâmetros e condições de contorno para os ensaios com vidro

| <b>Parâmetro</b>           | <b>Nível 1</b> | <b>Nível 2</b> |
|----------------------------|----------------|----------------|
| Tempo de lixiviação ( min) | 30             | 60             |
| Dimensão                   | 6-8 mesh       | <100 mesh      |

As lâmpadas utilizadas para a realização dos experimentos, provenientes de diversos fabricantes, foram recolhidas no depósito de descarte do CETEM (Centro de Tecnologia Mineral). As lâmpadas foram cortadas nas extremidades para remoção dos bocais e o revestimento interno (clorofluorapatita) foi removido mecanicamente por meio de um dispositivo adequado, especialmente confeccionado para esse fim. O corpo de vidro foi lavado com água deionizada para remoção dos sólidos remanescentes e posteriormente fragmentado, á úmido, para obtenção de grãos dentro de duas faixas elegidas para realização dos experimentos: 6-8 mesh e <100 mesh.

Os ensaios foram realizados em reatores de vidro, modelo Ketler, de 0,5L de capacidade, dotados de tampa e condensadores para prevenção de perdas por evaporação. Os testes foram conduzidos em duplicata, com 50 gramas de amostra (vidro ou clorofluorapatita) e 300 ml de hipoclorito de sódio nas concentrações determinadas para cada planejamento fatorial. A mistura dos componentes foi realizada a 500rpm por meio de agitadores mecânicos, revestidos em Teflon. A temperatura dos ensaios foi controlada por termostato digital acoplado a um aquecedor elétrico.

Ao final dos ensaios, a mistura foi filtrada para separar os sólidos dos licores de lixiviação. A fração líquida foi recolhida em frascos de vidro e enviada para análise de mercúrio e os sólidos foram lavados 5 vezes com solução de hipoclorito a 1% v/v, seguido por água deionizada e, então enviados para análise de mercúrio.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ensaios com Clorofluór-apatita

Os resultados demonstram que a temperatura e a concentração de hipoclorito de sódio são fatores independentes neste processo, uma vez que promovem um acréscimo na eficiência de remoção de mercúrio com o aumento de seus níveis, independente do nível considerado para os outros parâmetros. Em contrapartida, os dados evidenciaram uma dependência do tempo em relação à temperatura e concentração de hipoclorito, já que a influência desse parâmetro na eficiência de remoção de mercúrio somente ocorre nos níveis elevados dos outros dois primeiros. A partir dos Gráficos 1, 2 e 3 podemos verificar que a melhor condição para a remoção de mercúrio contido na cloro-fluorapatita (100%) ocorre quando todos os parâmetros envolvidos estão nos níveis mais altos.

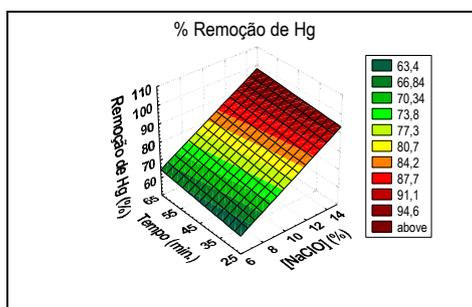


Fig.1- gráfico da influência do tempo e  $[NaClO]$  na remoção de mercúrio contido na cloro-fluór-apatita.

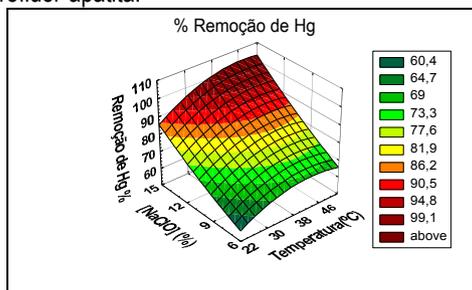


Fig.2- gráfico da influência do  $[NaClO]$  e temperatura na remoção de mercúrio contido na cloro-fluór-apatita.

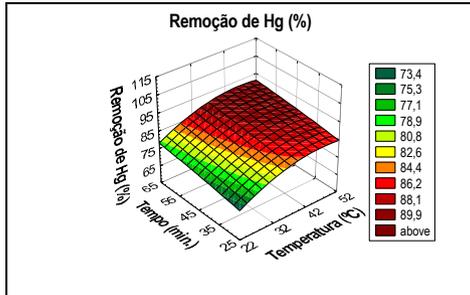


Fig.3- gráfico da influência do tempo e temperatura na remoção de mercúrio contido na cloroflúor-apatita.

#### 4.1 Ensaios com vidro

Os resultados demonstram que a granulometria e o tempo são fatores independentes um em relação ao outro, uma vez que promovem um acréscimo na eficiência de remoção de mercúrio com o aumento de seus níveis, independente do nível considerado para os outros parâmetros. O Gráfico 4 torna possível verificar que a melhor condição para a remoção de mercúrio contido no vidro (85%) ocorre quando os dois parâmetros envolvidos estão nos níveis mais altos.

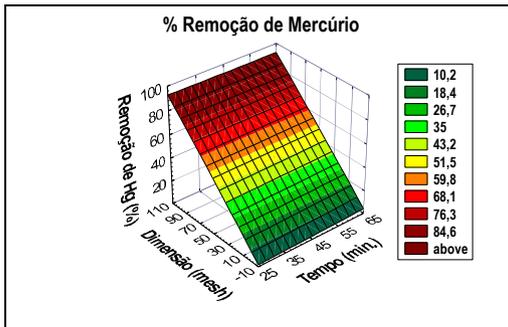


Fig.4- gráfico da influência da dimensão e tempo na remoção de mercúrio contido na cloroflúor-apatita.

## **5. CONCLUSÕES**

De posse dos resultados, podemos inferir que a temperatura e a concentração de hipoclorito de sódio são fatores fundamentais para a remoção de mercúrio impregnado na cloroflúor-apatita. Salvo as otimizações, os dados obtidos até o presente momento evidenciam que a melhor eficiência de remoção, 100%, para o mercúrio elementar ocorre a uma temperatura de 50 °C e a uma concentração de hipoclorito de sódio a 14% p/p. Uma vez que o nível mais alto escolhido para a concentração do agente oxidante corresponde à concentração limite desse reagente, a otimização do processo deverá se deter na investigação de outros níveis para o tempo e temperatura de reação.

Como as influências da concentração de hipoclorito de sódio e da temperatura não foram considerados no processo de descontaminação do vidro, proveniente das lâmpadas fluorescentes, pode-se afirmar apenas que a melhor eficiência de remoção de mercúrio nesse componente ocorre para as menores dimensões dos grãos de vidro, isto é, para a menor faixa granulométrica estudada, < 100Mesh; onde o melhor valor obtido foi de 85% de eficiência, restando ainda uma investigação mais elaborada do processo em relação aos outros parâmetros não considerados.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

- 1 Raposo, C., Roeser, H. M., 2000 – Contaminação Ambiental Provocada pelo Descarte de Lâmpadas de Mercúrio. Revista Escola de Minas de Ouro Preto (REM), Ano 64, 53: 1, 61-67.
- 2 Kokinov, A. M., Federenko, A. S., Prytkov, A. A. 1994 – Methods for Mercury Hazard Reduction in Production and Use of Light Sources. In: Mercury Hazards – The Problem of th 20<sup>th</sup> Century. The Foundation for Mercury Hazards, St. Petersburg, pp 79-82 (in Russian).
- 3 Federov, V. V. 1992 – Luminescent Lamps – Energoatomizdat, Moscow (in Russian).
- 4 Avrukh V. S. 1994 – Waste Mercury-Containing Lamps are na Environmental Hazard. In: Mercury Hazards – The Problem of th 20<sup>th</sup> Century. The Foundation for Mercury Hazards, St. Petersburg, pp 38-44 (in Russian).

- 5 Ohbayashi, H., Saitoh, S., Melber, A. – Removal of Mercury from Fluorescent Lamps by Vacuum thermal Recycling – Env. Res. Laboratory, Z.E.R.O., JAPAN Co., Japan; ALD Vacuum Technologies AG, Almanac.
- 6 Waymaus, J. F. 1987 – The State and Perspectives of Discharge Light Sources – Svetoteknika 5:20-24 (in Russian).