

**III-010 - PROCESSO DE TRATAMENTO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES
UTILIZANDO O SISTEMA BULB EATER: REFORMA DO ESTÁDIO
JORNALISTA MÁRIO FILHO - MARACANÃ**

Dyego Amaral Silveira⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins. Pós-graduado em Economia e Gestão da Sustentabilidade pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. Consultor de Obras Sustentáveis no Centro de Tecnologia de Edificações.

Olívia Bazzetti Marques

Engenheira Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas. Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins. Pós-graduada em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas. Mestre em MSc Water, Energy and Waste pela School of Computing, Science and Engineering da University of Salford. Coordenadora de Obras Sustentáveis no Centro de Tecnologia de Edificações.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Churchill, 109, sala 201, Centro de Tecnologia de Edificações - Centro - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20020-050 - Brasil - Tel: (21) 2524-3253 - e-mail: dsilveira@cte.com.br

RESUMO

Com o desenvolvimento tecnológico surgiram no mercado de sistemas de iluminação, lâmpadas mais eficientes como as fluorescentes. Tais lâmpadas são mais duráveis, eficientes e econômicas que as incandescentes, e criam uma melhoria significativa no conforto e na iluminação do ambiente. A destinação final destas lâmpadas deve ser feita de forma controlada, pois estas possuem mercúrio, elemento altamente tóxico que pode contaminar o solo e os cursos d'água. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo evidenciar o tratamento de lâmpadas fluorescentes, provenientes da reforma do Estádio Maracanã, utilizando o sistema *bulb eater*. O Estádio Jornalista Mário Filho – Maracanã passou por uma grande reforma entre os anos de 2010 a 2013, e seu novo projeto obteve a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), categoria Silver. As lâmpadas eram testadas e aquelas que não apresentavam funcionamento adequado eram corretamente estocadas, para então serem encaminhadas ao sistema de tratamento com capacidade de processar 850 lâmpadas por batelada. Foram processadas 2.813 lâmpadas fluorescentes, sendo obtidos aproximadamente 1.400 kg de vidro, 220 kg de partes metálicas e 42 g de mercúrio. Em média foram gastos R\$ 0,86 reais/lâmpada para realizar o tratamento e destinação das mesmas. Ainda, a utilização do sistema de tratamento possibilitou a captura do mercúrio e evitou que o mesmo fosse lançado no solo e nos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento, Lâmpadas Fluorescentes, Maracanã, Mercúrio.

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico surgiram no mercado de sistemas de iluminação, lâmpadas com maior eficiência na relação lumens por watt (lm/w), e uma das tecnologias aplicadas é a utilização de mercúrio em forma de vapor, como em lâmpadas de vapor de mercúrio, fluorescentes tubulares, circulares, entre outras. Essas lâmpadas são bastante utilizadas no Brasil, sendo que o somatório de mercúrio consumido para a produção das mesmas corresponde a dez toneladas por ano (t/ano).

Essas lâmpadas possuem uma quantidade de mercúrio que varia de 0,003 gramas (g) a 0,170 g, isto dependendo do tipo, do seu ano de fabricação, do fabricante, e até mesmo de uma fábrica para outra, sendo que esta quantidade vem diminuindo significativamente com o decorrer dos anos. A camada branca que reveste o tubo é geralmente um clorofluorofosfato de cálcio (cerca de 4 a 6 gramas), com pequenas quantidades de antimônio e manganês. O tubo usado numa lâmpada fluorescente padrão é fabricado com vidro, o qual é similar ao usado por toda a indústria de vidro para a fabricação de garrafas e outros itens de consumo comum. Os terminais da lâmpada são de alumínio ou plástico, enquanto os eletrodos são feitos de tungstênio, níquel, cobre, aço inox ou ferro.

Devido aos racionamentos de energia sofridos na década passada, o governo preconizou mudanças nos hábitos de consumo incentivando a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes, para atingir a meta de redução dos gastos energéticos. Nas lâmpadas fluorescentes a maior parte da energia fornecida é transformada em luz (eficiência luminosa), e seu rendimento pode ser de três a seis vezes superior do que o das lâmpadas incandescentes que produzem muito mais calor. Além disso, as lâmpadas fluorescentes tem um tempo de vida útil de três a cinco anos, e um tempo de operação de aproximadamente 20.000 horas (h), sendo tal rendimento possível, com o uso do mercúrio. Com a substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas, esta redução pode alcançar até 80% representando uma significativa economia doméstica, comercial e industrial, contribuindo para minimização da geração de resíduos e redução do consumo de recursos naturais na geração de energia elétrica.

Porém, o descarte inadequado das lâmpadas fluorescentes pode acarretar num grave problema ambiental e para a saúde da população. O rompimento do bulbo lança na atmosfera uma poeira fosforosa, rica em vapor de mercúrio e altamente tóxico. Entre outras substâncias, ela contém cádmio, cobre, bário, níquel, chumbo e cromo - um grupo de elementos conhecidos como metais pesados. A ação tóxica do mercúrio se manifesta, sobretudo, nas células do sistema nervoso, originando o quadro clínico característico do mercurialismo (estado mórbido proveniente do contato ou do abuso do mercúrio) como falta de coordenação motora, tremores, redução do campo visual, distúrbios sensoriais, além de causar problemas respiratórios e gastrointestinais.

Desta forma, a partir da década de 70 surgiu uma forte pressão, em especial na Europa para que fosse eliminado o uso do mercúrio. Sendo que, países como a Suécia e a Alemanha possuem legislações regulamentando o uso deste elemento, que datam desta época. Na Comunidade Europeia e Estados Unidos, as lâmpadas fluorescentes estão incluídas na lista de resíduos nocivos ao meio ambiente.

Ao final de sua vida útil as lâmpadas contendo mercúrio são, na maioria das vezes, destinadas aos aterros sanitários contaminando o solo e os cursos d'água. A presença de mercúrio nos recursos hídricos, mesmo que em pequenas quantidades, representa um grande problema ecológico devido à sua bioacumulação ou bioconcentração, ou seja, sua concentração aumenta nos organismos do topo da cadeia alimentar, devido ao depósito do metal em vários tecidos vivos.

Lâmpadas que contêm mercúrio, após o uso, são classificadas como resíduos perigosos (Classe I) pela Norma ABNT 10.004/04. Diante disto, merecem cuidados especiais quanto aos procedimentos de manuseio (retirada/coleta), acondicionamento, transporte, armazenagem e destinação final, em função das suas características peculiares e dos riscos que apresentam. Porém, normalmente estas lâmpadas são descartadas direto no lixo comum, sendo que apenas 6% passam por algum processo de reciclagem. Aproximadamente 95% das lâmpadas são de usuários que pertencem ao comércio, indústria ou serviços, e apenas 5% são residenciais. Somente 10% dos municípios brasileiros dispõem seus resíduos domiciliares em aterros sanitários e aproximadamente 77% dos usuários brasileiros descartam lâmpadas fluorescentes queimadas em lixões, aterros industriais ou sanitários. Lembrando que, quando dispostas em lixões e/ou aterros sanitários convencionais, o mercúrio contido nas lâmpadas pode escapar e contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas.

A indústria de reciclagem de lâmpadas de mercúrio é responsável pelo controle de apenas 6% do estoque de lâmpadas queimadas no país. Sendo que, o custo da reciclagem e a consequente descontaminação para o gerador de resíduo ainda são caros. No Brasil, os serviços de descontaminação ficam em torno de R\$ 0,60 (sessenta centavos) a R\$ 0,70 (setenta centavos) por lâmpada. A esse preço, devem-se acrescentar os custos de frete (transporte), que podem variar de acordo com a distância e o volume. Desta forma, dependendo da localização em que as lâmpadas estejam o transporte pode elevar significativamente o preço da reciclagem, desmotivando tanto a indústria recicladora quanto a geradora do resíduo.

Há vários processos de destinação e/ou descontaminação dos resíduos de lâmpadas fluorescentes, como a disposição em aterros (com ou sem pré-tratamento), processo térmico, lixiviação ácida, estabilização e incineração. O processo térmico e a lixiviação ácida são até o momento os mais indicados ambientalmente, por permitirem a recuperação do mercúrio por meio da reciclagem. Tal reciclagem refere-se à recuperação de alguns dos materiais constituintes e a sua reutilização em indústrias ou nas próprias fábricas de lâmpadas.

Sendo assim, a reciclagem é a opção ambientalmente mais adequada para o descarte de lâmpadas contendo mercúrio. Neste processo o objetivo principal é a recuperação do mercúrio e de outros elementos nelas contidos para posterior reutilização, evitando a contaminação do solo, água e ar.

Dentre todos os constituintes, somente o isolamento baquelítico não é reciclado. Os vidros podem ser recuperados para produção de novas lâmpadas ou novos vidros em aplicação não alimentar, também na produção de asfalto, e como esmalte para vitrificação de cerâmicas. O alumínio e os pinos de latão, após limpeza, podem ser fundidos e utilizados para produção de novos materiais, como soquetes para lâmpadas. O pó de fósforo, quando livre do mercúrio, pode ser reutilizado para produção de novas lâmpadas, como pigmentos na produção de tintas, e em fábricas de cimento. O mercúrio recuperado após a descontaminação das lâmpadas apresenta grande pureza, podendo ser utilizado na indústria de cloro-soda, fabricação de aparelhos elétricos, em tintas, fungicidas, em instrumentos científicos, como catalisadores, na amalgamação industrial, e até mesmo retornar ao ciclo produtivo das lâmpadas fluorescentes. Desta forma, recuperar e reciclar os materiais que constituem as lâmpadas é de extrema importância, pois diminuirá a demanda por matérias-primas virgens e reduzirá a geração de resíduos perigosos.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo evidenciar o tratamento de lâmpadas fluorescentes, provenientes da reforma do Estádio Maracanã, utilizando o sistema *bulb eater*.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Estádio Jornalista Mário Filho - Maracanã, que será palco da final da Copa do Mundo de Futebol de 2014, passou por uma grande reforma entre os anos de 2010 a 2013, aumentando sua área de cerca de 190 mil metros quadrados (m²), para 240 mil m². O novo projeto obteve a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), categoria *Silver*, sendo que durante todas as fases da obra foram executadas estratégias para o controle de poluição, e uma dessas está relacionada à destinação e tratamento de lâmpadas fluorescentes.

Inicialmente as lâmpadas foram testadas a fim de verificar seu funcionamento, conforme figura 1. Aquelas que apresentaram um bom funcionamento foram armazenadas para serem reutilizadas, as demais foram armazenadas em recipientes (tambores), para evitar a quebra, e encaminhadas ao sistema *bulb eater*.



Figura 1 – Lâmpadas sendo testadas. Fonte: Maracanã, 2011.

PROCESSO DE TRITURAÇÃO DAS LÂMPADAS E CAPTAÇÃO DO MERCÚRIO

O sistema *bulb eater* era composto por um tambor de 200 litros (1), o qual possuía capacidade para processar 850 lâmpadas por batelada, figura 2 traz o sistema em funcionamento. Estas eram inseridas no equipamento,

através de uma tubulação, logo após eram trituradas utilizando um motor triturador de 1/8 cavalo-vapor (CV) 110 volts (V) 2 A (amperes), sendo os materiais (vidro e alumínio) depositados no fundo do tambor.

O sistema funciona à vácuo com o auxílio de um motor aspirador de 110 V e 6A. O vapor de mercúrio era encaminhado juntamente com micropartículas de vidro para uma unidade de filtração (dois filtros primários), na qual o vidro era retido passando apenas o vapor. Este seguia para uma segunda unidade onde era então absorvido através de um filtro de carvão ativado.



Figura 2 – Sistema *bulb eater* em operação. Fonte: Maracanã, 2011.

Após o tratamento em obra e já em fábrica, o carvão impregnado com mercúrio era encaminhado para uma câmara de alta temperatura onde se vaporizava novamente. Este vapor era coletado através de dutos e então direcionado para uma segunda câmara (resfriamento) onde se resfriava voltando a sua forma metálica original, sendo reaproveitado posteriormente em novas aplicações. O carvão utilizado no processo era descartado, sendo encaminhado para aterro industrial. É importante ressaltar que o sistema não faz a separação dos componentes recicláveis (vidro e partes metálicas) diretamente, porém, estes podem ser triados posteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram trituradas pelo sistema *bulb eater* 2.813 lâmpadas fluorescentes, sendo obtidos aproximadamente 1.400 quilogramas (kg) de vidro e 220 kg de partes metálicas (alumínio), as quais foram armazenadas em tambores previamente identificados e próprios para tal. Posteriormente estes materiais foram triados e enviados às empresas devidamente licenciadas para realizarem a reciclagem dos mesmos, e retornarem a cadeia de produção novamente.

Considerando que em média cada lâmpada possuía 15 miligramas (mg) de mercúrio e que esta pequena massa poderia contaminar até 30.000 l de água, ao se empregar o sistema *bulb eater* foram capturados, armazenados e destinados de forma correta, aproximadamente 42 g deste material tóxico e nocivo ao meio ambiente, evitando a contaminação de 84.000 metros cúbicos (m³) de água.

O custo total para tritar, capturar o mercúrio, e realizar a destinação dos resíduos (vidro e partes metálicas) das 2.813 lâmpadas foi de R\$ 2.419,18 (dois mil quatrocentos e dezenove reais e dezoito centavos), um custo de R\$ 0,86 (oitenta e seis centavos) por lâmpada. No entanto, considerando os valores dos subprodutos do processo de tratamento das lâmpadas no mercado sendo de R\$ 1.200,00 (mil e duzentos reais) cada tonelada de alumínio, em média R\$ 300,00 (trezentos reais) por tonelada de vidro, e de R\$ 1.400,00 (mil e quatrocentos reais) por kg de mercúrio recuperado (em estado líquido) e considerando a venda dos subprodutos gerados (1.400 kg de vidro, 220 kg de alumínio e 42 g de mercúrio recuperado), pode-se considerar a geração de uma receita de aproximadamente R\$ 743,00 (setecentos e quarenta e três reais).

Diminuindo a receita da venda dos subprodutos do custo do tratamento dos resíduos o resultado seria de apenas R\$ 1.676,18 (mil e seiscentos e setenta e seis reais e dezoito centavos), ou seja, um custo de R\$0,60 (sessenta centavos) por lâmpada e uma redução de 30% no custo total de reciclagem.

CONCLUSÕES

Tendo em vista o grau de toxicidade do mercúrio e que as lâmpadas fluorescentes são uma grande fonte deste produto, o processo de tratamento utilizando o sistema *bulb eater* se torna de grande e fundamental importância, pois proporciona a captura e posterior recuperação (processo térmico), podendo o mesmo ser reutilizado para a fabricação de novas lâmpadas.

Em relação aos custos, estes são baixos quando considerada a reciclagem e reutilização dos subprodutos (vidro, partes metálicas e o próprio mercúrio), assumindo que com a reciclagem possa haver uma redução de 30% no custo total do tratamento das lâmpadas. É importante ressaltar que a reciclagem do vidro deve ser feita com cuidado uma vez que o mesmo apresenta mercúrio. Ou seja, a reciclagem desses resíduos deve ser realizada através de recursos tecnológicos que permitam a recuperação dos mesmos e evitando a poluição e mal a saúde.

Resumindo, pode-se dizer que a execução do processo de tratamento das lâmpadas fluorescentes trouxeram benefícios de ordem ambiental, econômico e social. Ressaltando que os maiores ganhos são relacionados ao meio ambiente, pois não foram lançados aproximadamente 42 g deste material tóxico que poderiam contaminar o solo, a água e se bioacumular nos animais.

AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Maracanã Rio 2014 formado pelas empresas Odebrecht e Andrade Gutierrez, em nome dos senhores Bernard Malafaia, Felipe Drummond e Paulo Callai, ao Centro de Tecnologia de Edificações - CTE, em nome dos senhores Roberto de Souza, Anderson Benite e Daniel Ohnuma, e aos consultores de obras sustentáveis da equipe do CTE - Rio de Janeiro, Renato Salgado e Carolina Porto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, F. A.; NASCIMENTO, E. S.; CHASIN, A. Aspectos Atualizados dos Riscos Toxicológicos do Mercúrio. *TecBahia R. Baiana Tecnol.*, v. 16, n° 3, p.87-104, 2001.
2. BRASIL. Procel Reluz: Descarte de Lâmpadas de Iluminação Pública. Guia de Manuseio, Transporte, Armazenamento e Destinação Final. Ministério de Minas e Energia. Eletrobrás. Rio de Janeiro-RJ. 2004. 13p.
3. BULBOX. Alternativa eficiente e segura para destinação de lâmpadas fluorescentes. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0E732C8D/ApresBULBOX%20R1_AmbiensysAlexandre_11nov09.pdf>. Acesso em 16 out. 2013.
4. DURÃO JÚNIOR, W, A. WINDMÖLLER, C. C. A Questão do Mercúrio em Lâmpadas Fluorescentes. *Quím. Nova na Esc.* 6p. 2008.
5. IDEIA CÍCLICA. Descontaminação de Lâmpadas Fluorescentes. 2010. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=M1g9ybp6pU>>. Acesso em 14 mai. 2013.
6. KASPER, D.; BOTARO, D.; PALERMO, E. F. A.; MALM, O. Mercúrio em peixes – fontes e contaminação. *Oecol. Bras.* n° 11, p. 228-239, 2007.
7. MARACANÃ. Maracanã: Sobre a Obra. Odebrecht Arenas. 2013. Disponível em: <<http://www.odebrechtarenas.com.br/estadio/maracana#section-home>>. Acesso em: 16 out. 2013.
8. MARQUES, O. B.; SILVEIRA, D. A. DRUMMOND, F. Resíduos controlados. *Rev. Equi. de Obra.* Ed. 64. 2013. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/64/artigo297869-1.aspx>>. Acesso em: 16 out. 2013.
9. MOMBACH, V. L.; RIELLA, H. G.; KUHNEN, N. C. O estado da arte na reciclagem de lâmpadas fluorescentes no Brasil: Parte 1. *Acta. Ambien, Catarinen.* v. 5, n° 1/2, jan/dez, p.43-53, 2008.
10. MOURÃO, R. F.; SEO, E. S. M. Logística reversa de lâmpadas fluorescentes. *Rev. de Saúde, Meio Ambien. e Sustent.* v. 7, n° 3, p. 94-112, 2012.

11. OLIVEIRA, M. R. de., CONCEIÇÃO, C. A. da., PRADO, F. de O. do., SAMPAIO, M. M.; SOUZA, M. T. S. Gerenciamento de resíduos de lâmpadas fluorescentes. In: IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos – SP, 2005. p. 980-984.
12. RAPOSO, Cláudio. Contaminação ambiental provocada pelo descarte não-controle de lâmpadas de mercúrio no Brasil. 2001. 202p. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, MG, 2001.
13. RODRIGUES, A. P. de C.; CARVALHEIRA, R. G.; CESAR, R. G.; BIDONE, E. D.; CASTILHOS, Z. C.; ALMOSNY, N. R. P. Bioacumulação de Mercúrio em Quatro Espécies de Peixes Tropicais Oriundos de Ecossistemas Estuarinos do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. v. 33, p. 54-62. 2010, ISSN 0101-9759 e ISSN 1982-3908.
14. SOUZA, J. R. de., BARBOSA, A. C., Contaminação por Mercúrio e o Caso da Amazônia. Química e Sociedade. Quím. Nov. na Esc. n° 12, p. 3-7, 2000.
15. TINÔCO, A. A. P.; AZEVEDO, I. C. d'A. D. de.; MARQUES, E. A. G.; MOUNTEER, A. H.; MARTINS, C. de P.; NASCENTES, R.; REIS, E. L.; NATALINO, R. Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG. Nota Técnica. Eng. Sanit. Ambient. v. 15, n° 4, p. 305-314, out/dez, 2010.
16. WIENS, Carlos Henrique. Gestão de resíduos tóxicos: o caso das lâmpadas fluorescentes descartadas em quatro empresas do setor automotivo da região metropolitana de Curitiba-PR. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.
17. ZANICHEL, C.; PERUCHI, I. B.; MONTEIRO, L. A.; SILVA JOÃO, S. A. da. CUNHA, V. F. Reciclagem de lâmpadas – Aspectos Ambientais e Tecnológicos. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. 22p. Campinas, SP, 2004.