

# **Avaliação aos resíduos perigosos de lâmpadas a descarga em gases**

ELVO CALIXTO BURINI JUNIOR

Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo - IEE/USP –  
Estado de São Paulo – ESP – Brasil - elvo@iee.usp.br

EMERSON ROBERTO SANTOS

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, Departamento de Engenharia  
Metalúrgica e Materiais - ESP – Brasil - emerson@lme.usp.br

## **Resumo**

As lâmpadas a descarga em gases não devem continuar sendo descartados juntamente aos demais resíduos humanos e recolhidos sem qualquer cuidado especial e eficaz. Investimentos e necessidades para adequação de espaço laboratorial e aquisição dos principais equipamentos para quantificar Hg contido em tubos de descarga elétrica em lâmpadas estão discutidos. Nesse trabalho o foco está dirigido no dimensionamento de capacidade a ser instalada para avaliar, quantitativamente o conteúdo de Mercúrio (Hg) em lâmpada com descarga elétrica em gases. A quantidade de Hg contido no interior de lâmpadas novas tem relação direta com a vida útil dessa fonte luminosa. O conhecimento sobre a quantidade de Hg contida nos componentes da lâmpada após o término da vida útil permitirá o planejamento e o melhor manejo dos resíduos, hoje, potencialmente perigosos. O investimento para a aquisição dos equipamentos principais para quantificar Hg no ambiente e em lâmpada a descarga elétrica em gases foi quantificado. A capacitação instrumental destina-se a quantificar nível de 0,1 mg de Hg por m<sup>3</sup> no ambiente. A eficácia de recintos ou embalagens projetadas para acomodar lâmpadas durante transporte e armazenagem poderá ser considerada.

## **Abstract**

The gas discharge lamps (fluorescent or HID) should not continue to be discarded along with the other human waste and collected without any special care and attention. Investment needs for laboratory design and to purchase the main equipments to quantify Hg contained inside electric discharge lamps are discussed. In this work the focus is directed at the design capacity for laboratory installations to evaluate quantitatively the content of Mercury (Hg) in gas electrical discharge lamps. The amount of Mercury contained within the new bulbs is directly related to the useful lifetime of this type of light source. Knowledge about the amount of mercury contained in the components of the lamp after the life end will allow better resources planning and potentially dangerous waste management. The investment for the acquisition of major equipment to measure Hg from lamps and the environmental was quantified. The instrumental is intended to quantify the level as low as 0.1 mg of Hg per m<sup>3</sup> in the room environment. The effectiveness of enclosures or packages designed to accommodate lamps during transport and storage can be considered.

Palavras-chave: Gestão Ambiental. Lâmpada elétrica a descarga. Avaliação de resíduo perigo classe I. Quantificação de Hg.

## Introdução

No Brasil está proibida a fabricação de lâmpadas incandescentes acima de 100 W. Estas fontes de luz, ainda que muito eficientes para produzir calor e com eficiência reduzida, em relação a outras fontes mais custosas, para produzir luz visível, dependendo da aplicação ainda são aquelas que conduzem ao mesmo custo por unidade de luz produzida para o usuário. Uma lâmpada fluorescente de base única (compacta) instalada em local com chaveamento constante, como um banheiro do setor residencial teve sua vida útil monitorada e com término em período inferior a seis meses.

Terminada a vida útil de uma LFBU, aquele consumidor que não desejar descartar o produto junto ao lixo doméstico, necessitará armazená-la em local reservado e com segurança. Na cidade de São Paulo, a legislação vigente coíbe a colocação da lâmpada fluorescente no lixo doméstico urbano, porém, o cenário nas ruas é diferente. Fica uma mensagem: é preciso fazer chegar esse conhecimento àqueles que recolhem o lixo urbano e junto deles buscar soluções para evitar que os bulbos sejam rompidos em locais impróprios.

Percorrendo distribuidores e lojas de materiais elétricos, com foco para a aquisição de lâmpadas fluorescentes. Após receber sinal positivo na verificação da disponibilidade desse produto para venda, tem sido feito questionamento: qual destino deveremos dar às lâmpadas já utilizadas? O estabelecimento possui ou recebeu alguma orientação nesse sentido? Tendo verificado ser bastante reduzido a quantidade de estabelecimentos comerciais que apresentam resposta afirmativa para essas questões. Busca-se um avanço teórico no tema, em particular no sentido de estabelecer condições para poder avaliar a quantidade de Mercúrio (Hg) presente no interior das lâmpadas fluorescentes em geral. Existe normativa internacional que contém metodologia para quantificar metais pesados incorporados em produtos eletro-eletrônicos. Alguns elementos químicos considerados nocivos a saúde já recebem monitoramento no exterior. A seguir estão considerados tópicos que foram revisados e atualizados, principalmente, de publicação anterior sobre o tema Hg em lâmpadas elétricas [1]. A segunda parte foca o dimensionamento de equipamento e meios para iniciar atividades visando quantificar o conteúdo de Mercúrio (Hg) em lâmpada com descarga elétrica em gases.

As lâmpadas a descarga em gases são classificadas entre os principais resíduos sólidos contendo Mercúrio, que é nocivo ao sistema nervoso humano. Os milhões de lâmpadas incandescentes convencionais serão substituídas pelas lâmpadas fluorescentes de base única - LFBU (compacta). O descarte da LFBU não pode seguir destino idêntico das incandescentes devido seu conteúdo nocivo. Para o Estado da Carolina do Norte, nos EUA, existe registro que indica aplicação do processo de reciclagem em cerca de 2 % das lâmpadas fluorescentes do setor residencial e 29 % do setor de comércio [2]. A geração de resíduos, no caso de lâmpadas utilizadas nas vias públicas (HID), e alguns possíveis encaminhamentos estão considerados na literatura [3]. Considerando cenário brasileiro, no qual não haverá mais lâmpada incandescente convencional para iluminação geral, disponível no mercado local, deveremos ter comercializado anualmente valor estimado de duzentos e cinquenta milhões de LFBU cujo custo pelo descarte (R\$ 0.40) será incorporado ao preço da lâmpada. O consumidor irá custear, antecipadamente, um processo que necessita ser controlado, ter transparência elevada e prestação de contas para a sociedade/consumidores. É necessário

investimento em educação/informação completa sobre as LFBUs. Apenas citar na embalagem que as mesmas possuem Hg não é suficiente para inversão da situação presente, a grande maioria da população descarta a LFBUs no lixo urbano.

O setor residencial, aparentemente, deve ser o mais crítico em relação ao descarte impróprio e disponibilidade de informações. Também o destino do material que tem sido recolhido junto aos demais setores, em alguns casos não é declarado, nem conhecido e isso traz certa preocupação. Alguns resultados estabelecidos sobre os materiais e componentes das lâmpadas a descarga, sobre o mercado local da reciclagem, preços praticados, a existência de mais de uma dezena de empresas, distribuídas pelo território brasileiro, que recebem lâmpadas para o processo de reciclagem, a quantidade de Mercúrio metálico, importação anual, para a fabricação de lâmpadas e a quantificação do conteúdo de Hg com lastro na literatura norte-americana já foram fixados anteriormente [1]. Naquela oportunidade o estabelecimento de registros sobre conteúdo de Hg em lâmpadas elétricas foi buscado, qual conhecimento sobre o de destino dessas lâmpadas, após elas terem sido retiradas de serviço, por exemplo, num estabelecimento público brasileiro, o destino final de um produto do setor de iluminação (globalizado?). O direcionamento atual da pesquisa sobre a lâmpada com descarga elétrica em meio gasoso está em conhecer e buscar dimensionar as necessidades mínimas para poder quantificar, com segurança, o Hg contido numa amostra de lâmpada, seja HID, LFBUs ou fluorescente tubular convencional (T12 a T5, por exemplo). Esforço tecnológico foi identificado na literatura [4,5], trata-se de uma alternativa ao Hg ( $100 \text{ lm.W}^{-1}$ ), qual seja a substituição por Zinco ( $93 \text{ lm.W}^{-1}$ ), porém a difusão de uma lâmpada sem Hg ainda está sendo aguardada pelo mercado. O diodo emissor de luz (LED) pode ser uma opção importante para evitar a utilização de Hg por fonte de luz primária produzida em grande escala.

## **Metodologia**

Com base no conhecimento sobre as técnicas para avaliar Hg em lâmpada, uma revisão e discussão aprofundada compôs a primeira etapa desse trabalho. Na segunda etapa foi realizado um dimensionamento instrumental e de instalações entendidos como necessidade base para iniciar atividades laboratoriais de avaliação em relação ao conteúdo de Hg em lâmpadas a descarga em gases. Em resumo, houve a seleção de equipamento com capacidade para quantificar o Hg contido numa amostra. Também foi buscada definição de uma metodologia para quantificar a concentração de Hg nos componentes das lâmpadas tanto novas quanto no final da sua vida útil. A possibilidade do Hg poder difundir nos materiais, durante o período de utilização da lâmpada, e ficar ancorado neles é uma outra questão a ser respondida pelas avaliações pretendidas. Uma técnica que está citada na literatura é a avaliação por fluorescência sob Raios X [6].

## **Resultados e Discussão**

A combustão de carvão que é utilizada para a geração de energia elétrica será uma fonte de poluição atmosférica por Mercúrio, a redução na demanda por eletricidade a partir da utilização de fontes de luz a descarga confere maior eficiência em uso final e permitirá redução das emissões de Mercúrio ao longo do

ciclo de vida da fonte de luz artificial. Quando a geração de energia tem base em recursos naturais hídricos, a situação de emissão pode ficar invertida [7]. A utilização de lâmpada fluorescente convencional, LFBU e HID remetem a questão abrangente, complexa e que envolve outros setores, além dos consumidores, não consiste exclusivamente em redução de consumo de energia elétrica, nem da elevação da eficiência no uso final de energia, possui outros desdobramentos e peculiaridades que devem ser considerados. Um deles está ligado ao descarte e capacidade instalada para conhecimento da quantidade de Hg contido nas amostras. Na situação brasileira atual, cuja geração de eletricidade não está baseada na queima de carvão, aproximadamente 75 % tem origem hidráulica, a maior difusão de iluminantes com base no Hg, e caso não haja uma gestão que trate os resíduos de modo eficaz, diferentemente de outros países, poderá induzir a elevação na emissão de Hg [1].

A maior valorização aos resíduos sólidos também será um marco importante [8]. Um exemplo é o pó branco (revestimento interno do tubo) das lâmpadas a descarga, para ele não pode ser localizado valor econômico praticado pelo mercado, tão pouco qualquer limite de concentração de Hg para o pó de lâmpadas fluorescentes está fixado. Um registro da literatura indica ter sido encontrado Mercúrio em lâmpada fluorescente tubular nova, entre 15 elementos constituintes, na concentração de  $4,7 \text{ g.kg}^{-1}$  [9].

Existe ampla variabilidade nos dados que foram acessados na literatura sobre a quantidade de Hg por tubo de descarga de lâmpada elétrica. No caso da lâmpada fluorescente convencional, T12 (diâmetro nominal de 38 mm), o valor relatado de aproximadamente 20 mg tem frequência elevada [10], e para as LFBU o limite teórico máximo prescrito, nos EUA, tem o valor de 5 mg [11], ainda que exista relato que informa patamar diferente (da ordem de 1,0 mg) para Hg liberado [12]. A quantidade de Hg contido numa lâmpada a descarga tem relação direta com a extensão de vida útil da lâmpada. Para outras informações sobre os demais resultados coligidos da literatura ver publicação anterior [1].

Na seleção de equipamento para quantificar o Hg contido em amostra dois equipamentos (modelos: TM-3A e TM-4) foram identificados junto a um fabricante japonês [13,14], são analisadores para Hg em tubos de lâmpadas, fornecidos apenas sob encomenda, e possuem indicação sobre utilização especificamente com lâmpadas fluorescentes, sendo o valor cotado para cada equipamento (preço FOB, Japão), em mil US\$: 86,7 e 106,2, respectivamente. Ambos analisadores possuem o início da escala em 0,01 mg, a diferença básica está no fundo de escala ou na faixa de medição, sendo o até 99,99 mg e 19,99 mg, respectivamente. O princípio de funcionamento se faz por aquecimento e a vaporização do material da amostra (CV-AAS: Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry). Em relação a limitação do equipamento, relativo ao diâmetro fixado para a entrada de amostra e que pode ser interpretada como sendo relativa ao maior diâmetro de tubo de descarga entre (8 e 6) mm, conforme o modelo do equipamento. Não foi feito questionamento para obter maiores esclarecimento junto ao fabricante. Isso poderá limitar a utilização do analisador com alguns tipos de lâmpadas ou tubos. A aquisição de um terceiro equipamento dedicado ao controle do local onde as amostras serão preparadas é importante, o qual possui custo (FOB, Japão) de US\$ 52,0 mil, início da escala em 0,002 ng e fundo de escala em 25 µg. Devido ser muito ampla a faixa de valores de Hg amostrado em lâmpadas fluorescentes nos EUA, e sendo esperada variabilidade semelhante no Brasil (as LFBU são todas importadas), idealmente, a melhor opção aponta ser

necessária a aquisição de ambos os modelos de analisadores de Hg. Ainda assim não haverá capacidade para atendimento, por completo, a faixa que foi registrada para lâmpada a vapor de Hg (até 250 mg) e multivapor metálico (até 165 mg), fonte: [15]. A quantidade de Hg declarada e prescrita para LFBUs é reduzida, e da ordem de 25 % do valor médio declarado para as lâmpadas fluorescentes tubulares convencionais 40 W, apontado ser da ordem de 23 mg [15].

## **Conclusões**

Foi avaliada a viabilidade para quantificar por instrumental o conteúdo de mercúrio contido no interior de lâmpadas, principalmente fluorescentes, que atualmente são descartadas ou abandonadas no meio urbano. Isso quando elas não ficam fragmentadas, em campo, e ou passam a fazer parte do lixo urbano comum. O impacto ambiental da utilização de lâmpada a descarga em gases está considerado a partir do prisma energético, mas não isoladamente, tendo sido agregando também questão ambiental, o destino final da lâmpada, que passou a ter maior importância em razão da legislação vigente no Brasil.

Na situação brasileira atual, cuja geração de eletricidade não está baseada na queima de carvão, tem origem hidráulica, a maior difusão de iluminantes com base no Hg, e caso não haja uma gestão que trate os resíduos de modo eficaz, diferentemente de outros países, poderá induzir a uma elevação na emissão de Hg ao meio ambiente.

Em relação às necessidades para o estabelecimento de um destino seguro aos materiais constituintes das lâmpadas consideradas, além de capacidade para conhecimento sobre o conteúdo de Hg, práticas adequadas necessitam estar implementadas.

Uma maior valorização aos resíduos sólidos deverá ser articulada e promovida. No caso das lâmpadas fluorescentes a solução propalada no Brasil está em fixar um preço no valor de quarenta centavos de real (moeda brasileira atual) por unidade de lâmpada (LFBUs) comercializada, cuja aplicação preconizada será o custeio da destinação apropriada das lâmpadas “eficientes”. Em relação ao controle dos resíduos de lâmpadas após “descontaminados”, para nós isso ainda é uma incógnita a ser resolvida. A ampla variabilidade que foi observada nos dados coligidos sobre a quantidade de Hg por lâmpada a descarga, particularmente do tipo fluorescente foi o principal fator motivador para o avanço implementado junto ao tema. Os recursos mínimos necessários para estabelecer capacidade para quantificar o conteúdo de Hg em lâmpada a descarga elétrica em gases foi realizado, tendo sido verificada disponibilidade de metodologia internacional para quantificar a concentração de Hg em tubos de descarga de lâmpada nova. No caso de lâmpada retirada de serviço ao final da vida é aceito que a grande parte do Hg, por difusão, fica ancorado nos materiais que constituem o interior do tubo de arco da lâmpada. Os equipamentos avaliados para analisar Hg numa faixa de (0,01 a 99,99) mg possuem limitação importante em relação a temperatura do ambiente onde o equipamento deverá ser instalado e quanto ao nível de Hg no ar, que deverá ser de até  $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Uma possível limitação operacional do equipamento, relativo ao diâmetro fixado para a entrada de amostra foi relatada. Esclarecimento a esse respeito deverá ser buscado junto ao fabricante, a possível limitação do analisador deve ser dirimida. A aquisição de um terceiro equipamento, para ficar dedicado ao controle do ar em capela (de

laboratório ou sala) onde as amostras serão preparadas, também fica sugerida. Sem considerar despesas de importação e internação no país, mobiliário, instalações, condicionamento do ambiente, investimento em material de reposição e laboratório (incluído uma capela), pessoal, treinamento, aquisição de material bibliográfico e documentos normativos: o investimento para a aquisição dos três equipamentos principais para quantificar Hg no ambiente e em lâmpada a descarga elétrica em gases ficou estimado valor na ordem de US\$ 300 mil. Ao dispor de equipamento capaz de quantificar nível de 0,1 mg de Hg.m<sup>-3</sup> no ambiente poderão ser realizados experimentos para avaliar a eficácia de recintos ou embalagens projetadas para acomodar lâmpadas durante transporte e armazenagem. O conceito de eficiência luminosa de fontes não deve ser analisado isoladamente. Um caso típico, aparentemente, é o LED que emite luz branca e quando a redução na emissão, hoje desordenada, de resíduos perigosos ao meio ambiente esteja sendo busca concomitantemente.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da CAPES-SPU: projeto binacional CAFB-BA 023/09.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Burini Junior EC, Santos ER, Wang, SH, Fonseca, FJ, Andrade, AM. 2010. Gestão de Resíduos: Lâmpada Elétrica a Descarga. Anais do 5º Workshop de Pós-Graduação do Centro Paula Souza, São Paulo, Brasil: 20-21
- [2] Silveira GTR & Chang S-Y. 2011. Fluorescent lamp recycling initiatives in the United States and a recycling proposal based on extended producer responsibility and product stewardship concepts. *Waste Management & Research*, 29 (6): 656-668
- [3] Manzano ER & San Martín R. 2004. Waste disposal impact from street lighting. *Light & Engineering*, Znack Publishing House 12 (4):60-65
- [4] Born, M. 2002a. Physics of mercury-free high-pressure discharge lamps. *Plasma Sources Sci. Technol.* 11: A55-A63
- [5] Born, M. 2002b. Physics Aspects of Mercury-Free High Pressure Discharge Lamps. American Institute of Physics, API Conference, 636: 35-47
- [6] IEC (International Electrotechnical Commission). 2005. TC 111 Working Group 3, IEC 62321 Procedures for the Determination of Levels of Six Regulated Substances (Lead, Mercury, Hexavalent Chromium, Polybrominated Biphenyls, Polybrominated Biphenyl Ether) in Electrotechnical Products. Document 111/24/CD – IEC: 91p
- [7] Eckelman MJ, Anastas PT, Zimmerman JB. 2008. Spatial assessment of net mercury emissions from the use of fluorescent bulbs. *Environmental Science Technology*, 15 42(22):8564-8570
- [8] Jardim A. 2010. Programa Nacional de Resíduos Sólidos. In: Seminário de Reciclagem e Valorização dos Resíduos Sólidos Meio Ambiente 2010, EPUSP, em 14/Maio: 41p. [http://www.reciclagemevalorizacao.com.br/images/stories/2010/Programa\\_Nacional\\_Residuos\\_Solidos.pdf](http://www.reciclagemevalorizacao.com.br/images/stories/2010/Programa_Nacional_Residuos_Solidos.pdf)

- [9] Environmental Protection Agency (eEPA-453R-94-018, U.S.). 1994. Evaluation Of Mercury Emissions From Fluorescent Lamp Crushing. CTC, Emission Standards Division Office of Air Quality Planning and Standards, Air and Energy Engineering Laboratory, Office of Research and Development. <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/mercury.txt>
- [10] Atiyel SO. 2001. Gestão de Resíduos Sólidos: O Caso das Lâmpadas Fluorescentes. Dissertação ao Programa de pós-graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil: 101p
- [11] NEMA (National Electrical Manufacturers Association). 2007. Recycling Household CFLs. NEMA, September: 5p
- [12] Li Y & Jin L. 2011. Environmental release Mercury from broken compact fluorescent lamps. Environmental Engineering Science, 28 (10):687-691
- [13] NIC (Nippon Instruments Corporation). 2005. Mercury Analyzer for Fluorescent Tube MERCURY/TM-3A Specifications. NIC -102-2008-03, Tokyo, Japan: 6p
- [14] NIC (Nippon Instruments Corporation). 2010. Mercury Analyzer for Fluorescent Tube MERCURY/TM-4 Specifications. NIC-102-2043-03 (2010), Tokyo, Japan: 5p
- [15] UNC (University of North Carolina at Asheville). 2003. Purchasing for Pollution Prevention Mercury Disclosure Requirements and the New Jersey Lamp Contract. In: Progress Energy – key points (December): 3p.  
[http://sec.unca.edu/sites/sec.unca.edu/files/Mercury\\_\\_Lighting.pdf](http://sec.unca.edu/sites/sec.unca.edu/files/Mercury__Lighting.pdf).

## **Contato**

Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE/USP  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289; CEP 05508-010, Butantã, Cidade Universitária,  
São Paulo Capital.  
telefones: 011 3091 2572 ou 2579; fax: 011 3812 9251; e-mail: [elvo@iee.usp.br](mailto:elvo@iee.usp.br).