

Educação Ambiental: O caso das lâmpadas usadas

Andréa Campos Brandão, Lôla Maria Braga Gomes e Júlio Carlos Afonso

Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

e-mail: julio@iq.ufrj.br

A lâmpada incandescente

Inventada por Thomas Alva Edson (1847-1931), após centenas de testes, apresenta os componentes básicos descritos na Figura 1.^{1,2}

O tungstênio (W) tem um alto ponto de fusão (3400°C). O interior é preenchido com gás inerte (argônio + nitrogênio). Se fosse ar, a lâmpada queimaria, sendo o tungstênio oxidado a WO_3 . O vidro é tratado de modo a resistir ao calor emitido pela lâmpada. O bulbo de vidro é unido ao soquete por meio de cimento do tipo magnésiano.

A lâmpada incandescente converte cerca de 8% da energia elétrica que recebe sob a forma de luz, 81% sob a forma de calor por irradiação, e 11% por

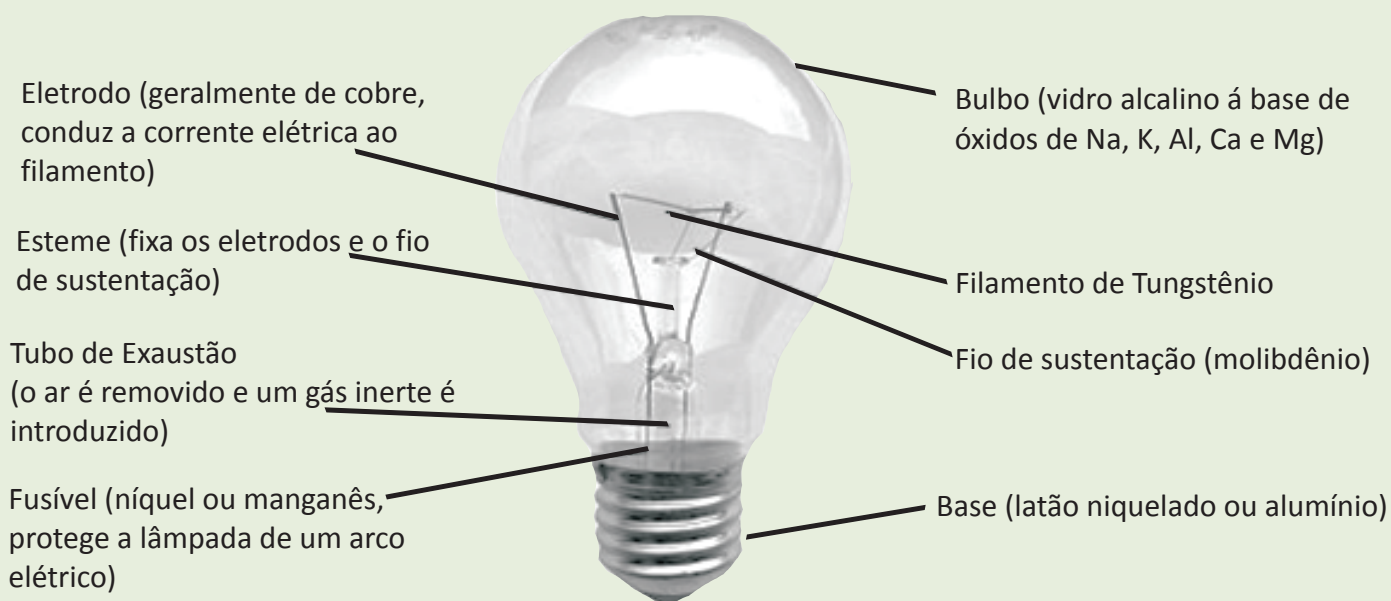
calor por convecção.

Esta lâmpada está de tal forma incorporada no dia a dia (Tabela 1 na página seguinte), que muitas vezes só nos damos conta delas quando queimam. Um dos principais motivos que leva à queima de uma lâmpada é a variação da tensão de fornecimento de energia elétrica.

Esta tensão pode variar entre 116 e 132 volts, segundo a Portaria 47/78 do DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), ligado ao Ministério de Minas e Energia, porém na prática podem ser observadas variações maiores.

A maioria das lâmpadas vendidas no Brasil ainda são incandescentes (75% do mercado em 2008).

Figura 1: Componentes da lâmpada incandescente



TIPOS	COMPONENTES PRINCIPAIS	USOS
Comum	Vidro, alumínio, tungstênio, argônio	Espelhos, quadros, residências, áreas sociais
Tungstênio Halógeno	Vidro de quartzo, alumínio, tungstênio, gás inerte, bromo, cloro, iodo	Museus, hotéis, restaurantes, campos de esporte, estacionamentos, jardins públicos, pistas de aeroportos

Tabela 1: Tipos de lâmpadas incandescentes¹

A razão principal está nas inúmeras vantagens que elas oferecem: (a) são fáceis de usar - a pessoa simplesmente rosqueia a lâmpada no soquete (não exige equipamento auxiliar); (b) têm baixo custo inicial em termos da lâmpada em si e da luminária; (c) apresentam acendimento imediato - não necessita de tempo de aquecimento; (d) têm excelente controle ótico - a incandescente é uma fonte de luz pontual e, assim, é fácil de direcionar e focalizar, sendo ideal para uso em trilhos, tetos e iluminação de destaque; (e) têm intensidade de luz variável - as incandescentes podem ser controladas para produzir qualquer intensidade de luz desde zero até sua potência máxima, com o simples uso de "dimmers"; (f) apresentam flexibilidade - disponíveis em mais configurações que qualquer outro tipo de lâmpada, incluindo diferentes formatos, tipos de refletores, potências e cores¹.

As desvantagens são: (a) possuem alto custo de operação - é a lâmpada de menor eficiência luminosa - de 2 a 5 vezes menos do que um modelo fluorescente; (b) são frágeis a choques e vibrações - o filamento poderá ser reforçado por suportes, entretanto estes reduzem a eficiência luminosa da lâmpada; (c) são sensíveis à variação de tensão - mesmo pequenas variações podem afetar o desempenho da lâmpada

(ao usar uma lâmpada de 127 V num circuito de 120 V a eficiência da lâmpada diminui sensivelmente¹).

Elas vem sendo gradualmente substituídas pelas lâmpadas fluorescentes, e alguns fabricantes já sinalizam que os modelos incandescentes deixarão de ser fabricados num futuro próximo.³

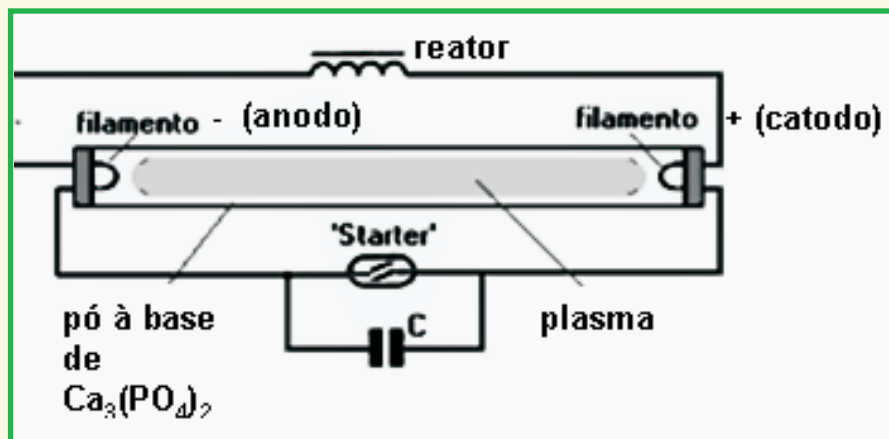
A lâmpada fluorescente

O termo fluorescente engloba uma família de lâmpadas contendo mercúrio (Hg, Tabela 2). No interior de uma lâmpada fluorescente ocorrem fenômenos físicos muito interessantes. Existe um quarto estado da matéria (o plasma) que ocorre quando ela se transforma numa mistura de íons e elétrons livres, justamente como no interior de uma lâmpada fluorescente acesa (e no Sol). Após a

Tabela 2: Tipos de lâmpadas fluorescentes contendo mercúrio¹²

TIPOS	QUANTIDADE MÉDIA DE HG POR LÂMPADA (MG)	USOS
tubulares (15-110 W)	15	Residências, parques, grandes áreas de superfície, hospitais, teatros e anúncios.
compactas (5-42 W)	4	Residências, lojas, escritórios
vapor de mercúrio de alta pressão (80-400 W)	32	Iluminação de entradas, centros comerciais, vias de trânsito, instalações fabris
vapor metálico (35-2000 W)	45	Recintos desportivos, zonas industriais, iluminação pública e vitrines de lojas.
vapor de sódio de alta pressão (70-1000 W)	19	Zonas industriais, ruas, exposições, pontes, estradas, túneis.
luz mista (160-500 W)	17	Decoração de interiores, centros comerciais, ruas, instalações fabris

descarga da corrente elétrica, há a formação de plasma, e a condução da corrente é acompanhada por emissão de radiação eletromagnética. É preciso converter esta radiação para a região do visível do espectro eletromagnético. Isso se consegue através do revestimento da parede interna do tubo com um pó que, ao ser excitado pela radiação ultravioleta, passa a emitir luz branca. A cor da lâmpada fluorescente, portanto, é determinada pela composição química desse pó. Ele é à base de fosfato de cálcio, contendo ainda Al, Sb, Ba, Fe, W, Mn e Na.⁴ A lâmpada fluorescente produz muito mais luz visível (18%) do que a lâmpada incandescente. Cerca de 25% da energia é perdida como calor no reator, 32% por convecção e 25% por irradiação.^{1,2}



O interior das lâmpadas tubulares e compactas (Figura 2) contém um gás inerte (especialmente argônio) sob pressão inferior à atmosférica. Com o tempo, por deficiências naturais de vedação, o ar pode entrar. A alteração da pressão fará com que, cada vez mais, torne-se difícil ocorrer a ionização com a tensão disponível. Isso explica porque as lâmpadas velhas piscam até não acenderem mais.^{1,2}

As principais vantagens das lâmpadas contendo mercúrio em relação às lâmpadas incandescentes são: eficiência luminosa 3 a 6 vezes

superior, vida útil de 4 a 15 vezes maior, e até 80% de redução de consumo de energia para se obter a mesma quantidade de luz (fluxo luminoso).¹⁻³

Segundo a ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação, em 2007, o mercado no Brasil apresentava o perfil para lâmpadas fluorescentes (aquisições e tipos de consumidores) apresentado na Tabela 3.

A questão da lâmpada usada

As lâmpadas fluorescentes – cujo consumo foi estimulado durante o período do “apagão”, em 2001, e foi incorporado ao hábito dos brasileiros – representam um perigo à saúde e ao meio ambiente. Embora gerem menos resíduo por unidade de tempo, por conta de sua maior durabilidade, a lâmpada fluorescente usada é muito mais perigosa do que a lâmpada incandescente queimada, face à presença do mercúrio em sua composição.

Embora as indústrias e os fabricantes venham tentando reduzir o teor deste elemento, ainda não se encontrou um substituto à altura para ele. Enquanto isso, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) projetou um impressionante volume de descarte de lâmpadas

Tabela 3: Componentes do mercado brasileiro em 2007⁵

TIPO DE LÂMPADA	VOLUME COMERCIALIZADO (10 ⁶ UNIDADES)	TIPOS DE USUÁRIOS	
		RESIDENCIAL	INDUSTRIAL/ SERVIÇOS
Fluorescente compacta	24	65%	35%
Fluorescente tubular	66	3%	97%
Descarga de alta intensidade	10,5	1%	99%
Total	100,5	17,6%	82,4%

fluorescentes no país (cerca de 100 milhões de unidades em 2008), com foco nas regiões sul e sudeste. Não há registro de dados de descarte para lâmpadas incandescentes.⁵

Os principais problemas para a destinação final de lâmpadas inservíveis são: (a) a estrutura de distribuição de lâmpadas é extremamente complexa; (b) o produto é frágil e volumoso; (c) não há um critério definido de caracterização (teor de Hg, normas reguladoras etc); (d) o controle dos importadores independentes é difícil; (e) as dimensões continentais do Brasil (com mais de 5500 municípios, e mais de 50 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica, das quais, a grande maioria são residenciais) que precisam ser levadas em conta ao se implementar um programa de gestão de lâmpadas usadas.

A prática corrente de descarte de lâmpadas que predomina amplamente é juntamente com os resíduos sólidos urbanos (RSU). Cerca de 100 milhões de lâmpadas de mercúrio foram descartadas em 2008, com uma carga poluidora estimada de 1.200 kg de Hg (média de 12 mg/lâmpada). Em 2001, o descarte chegou a 80 milhões de unidades. Se forem observados os dados de importação de mercúrio em 2003 (80.779 kg) fornecidos pelo IBAMA (2004),⁶ observa-se que o setor de iluminação é um dos quatro grandes consumidores do metal (10% do total). Os outros grandes consumidores são a indústria de cloro-soda (32%), a área odontológica (32%) e a de equipamentos (26%).

O foco da contaminação está localizado na região sudeste, que concentra 60% da economia brasileira. Do descarte total, somente 8% têm destinação ambientalmente adequada por meio do processo de desmonte e descontaminação. Nos locais de separação dos resíduos recicláveis, é importante manter os produtos que contêm mercúrio separados dos demais. Tais produtos são frequentemente classificados como resíduos perigosos se excederem o limite regulatório de 0,2

ppm de mercúrio.

Uma vez segregados e/ou separados, os resíduos mercuriais podem, então, ser tratados objetivando a recuperação do metal neles contidos. As opções de aterramento e incinerações não são de forma alguma recomendadas. Com a finalidade de minimizar o volume de mercúrio descarregado no meio ambiente a opção de reciclagem, com a conseqüente recuperação do mercúrio, é considerada a melhor solução. O principal argumento é que tecnologias comprovadamente bem sucedidas para esta finalidade já existem comercialmente. O custo depende do volume (embalagem e manuseio), distância (transporte, seguro contra acidentes, frete) e serviços específicos escolhidos pelo cliente.⁵

A estratégia de gestão dos resíduos de lâmpadas, utilizada em países europeus e nos Estados Unidos, tem obedecido aos seguintes princípios: (a) redução do consumo de Hg em termos quantitativos e qualitativos, através da substituição por outras fontes de iluminação que contenham menores quantidades de mercúrio e semelhante impacto na iluminação. Os dados divulgados pelos fabricantes de lâmpadas têm indicado uma redução sistemática dos teores de mercúrio utilizados em até 50%; (b) coleta seletiva, separando as lâmpadas fluorescentes das incandescentes, de modo a prevenir a contaminação de solos e águas e riscos diretos para a saúde das pessoas expostas ao seu manuseio; c) valorização por reciclagem, dos materiais constituintes, sempre que técnica e economicamente viável.

Reciclagem de lâmpadas fluorescentes

O termo reciclagem de lâmpadas refere-se à recuperação de seus materiais constituintes e a sua reintrodução no setor produtivo.

As lâmpadas fluorescentes comuns contêm substâncias químicas nocivas ao meio ambiente, como metais pesados, onde se sobressai o mercúrio

metálico. Enquanto intactas, as lâmpadas fluorescentes não oferecem riscos. Porém, ao serem descartadas no lixo, seu vidro é quebrado, e o mercúrio liberado se evapora. Quando chove, ele volta e contamina o solo e os cursos d'água. Ingerido ou inalado pelo ser humano, o mercúrio tem efeitos diretos no sistema nervoso, podendo levar à vida vegetativa ou à morte.^{7,8} Os riscos aumentam no caso do descarte de grandes quantidades em um único local.

No Brasil, segundo o artigo 33 da Lei 12305/10 (Política Nacional de Resíduos Sólidos)⁹, as lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista devem ser inseridas no processo de logística reversa (coleta do produto pós-consumo); os fabricantes e os importadores devem dar uma destinação ambientalmente adequada a esses produtos, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada. Há um grupo de trabalho no CONAMA, recentemente instalado, que visa regulamentar o descarte de lâmpadas contendo mercúrio. Estados como São Paulo possuem uma legislação que regulamenta o descarte de lâmpadas fluorescentes.

Calcula-se que somente 6% das lâmpadas descartadas no Brasil são recicladas, e 8% vão para aterros sanitários licenciados.⁵ Considerando um descarte superior a 70 milhões de lâmpadas por ano (média 2002-2008), o país precisa incentivar a reciclagem, tal como se faz hoje com a lata de alumínio, o papel e outros materiais recicláveis. Atualmente existem cerca de doze empresas licenciadas para o processamento de lâmpadas fluorescentes usadas, localizadas nas regiões sul e sudeste do país.

O manejo e disposição de lâmpadas fluorescentes usadas exigem cuidados. No caso de estocá-las para uma disposição futura, é recomendável que estas sejam armazenadas em local ventilado e protegidas contra sua eventual ruptura por agentes mecânicos. Lâmpadas

quebradas devem ser separadas das demais e acondicionadas em recipiente hermético, como um tambor de aço com tampa e em boas condições^{1,2,5}

Em nenhuma hipótese, as lâmpadas devem ser quebradas para serem armazenadas. É condenada a prática de "embutir" os contatos elétricos das extremidades da lâmpada, martelando os pinos para seu interior, pois os orifícios resultantes acarretam vazamento do vapor de mercúrio, contaminando pessoas e o ambiente.

O piso do local onde se manuseiam as lâmpadas deve ser impermeável e sem emendas ou fendas, devendo ser limpo com aspirador de pó industrial (tendo filtro de carvão ativo), e não varrido. Semanalmente, o local deve ser coberto por solução de hipoclorito (água sanitária), seguido de tratamento com solução diluída de sulfeto de sódio, em quantidades moderadas, para que não escorram, devendo a primeira secar antes de se aplicar a segunda. O hipoclorito oxida o mercúrio a cloreto (HgCl_2) e, o sulfeto reagirá com esse cloreto, precipitando sulfeto de mercúrio (HgS), um sólido preto, estável ao ar. A finalidade da lavagem é neutralizar as microgotas do metal que se dispersam pela porosidade do piso, podendo gerar importantes emissões de vapor, dada a maior superfície específica dessas microgotas.⁷

A gestão de lâmpadas usadas exige transporte adequado para que não ocorra a quebra dos bulbos durante o trajeto, a garantia de que o mercúrio seja removido dos componentes recicláveis e que os vapores do metal sejam contidos durante a reciclagem. Analisadores portáteis devem monitorar a concentração de vapor de mercúrio no ambiente para assegurar a operação dentro dos limites de exposição ocupacional ($0,05 \text{ mg.m}^{-3}$, de acordo com a Occupational Safety and Health Administration -OSHA).

Dentre as atuais tecnologias de reciclagem de lâmpadas fluorescentes, destacam-se:

Processo químico: pode ser dividido em duas etapas – fase de esmagamento e fase de contenção

do mercúrio. A fase de esmagamento (quebra das lâmpadas) ocorre sob uma cortina de água, evitando que o vapor de mercúrio escape para a atmosfera. A mistura de vidro e partes metálicas é então lavada, separando-se vidro e metais para reciclagem;

Tratamento por sopro: utilizado somente para lâmpadas fluorescentes tubulares, visa manter a integridade do tubo de vidro, encaminhando-o nessa forma à reciclagem;

As duas extremidades contendo os soquetes de alumínio são quebradas, através de um sistema de aquecimento e resfriamento. Em seguida, o tubo de vidro já sem os soquetes recebe um sopro de ar em seu interior, arrastando-se assim o pó de fósforo contendo mercúrio de seu interior. O pó removido pelo sopro passa por um sistema de ciclones, e a corrente de ar passa em seguida por um sistema de filtros de carvão ativado;

Moagem com tratamento térmico: é o processo de reciclagem mais usado no mundo, e envolve basicamente duas fases: fase de esmagamento e fase de destilação do mercúrio – daí o nome tratamento térmico. Todo o sistema opera sob pressão negativa (vácuo) para evitar a fuga de mercúrio (emissões fugitivas).

Na primeira fase, as lâmpadas são implodidas e/ou quebradas em pequenos fragmentos, por meio de um processador (britador e/ou moinho). Isto permite separar a poeira de fósforo contendo mercúrio dos outros elementos constituintes. As partículas esmagadas restantes são, posteriormente, conduzidas a um ciclone por um sistema de exaustão, onde as partículas maiores, tais como vidro quebrado, terminais de alumínio e pinos de latão são isolados e ejetados do ciclone, e separados por diferença gravimétrica e por processos eletrostáticos.

O vidro em pedaços é limpo, analisado quanto a mercúrio (a concentração média do metal no vidro não deve exceder 1,3 mg/kg (1,3 ppm). O vidro nessa circunstância pode ser reciclado, por exemplo, para a fabricação de produtos para

aplicação não alimentar.

A poeira de fósforo e demais particulados são coletados em um filtro no interior do ciclone. Posteriormente, por um mecanismo de pulso reverso, a poeira é retirada desse filtro. Ela é normalmente enviada a uma unidade de destilação, onde o mercúrio é extraído. A poeira isolada pode ser reciclada e reutilizada, por exemplo, na indústria de tintas.

Alumínio e pinos de latão, depois de limpos, podem ser reciclados em uma fundição. A concentração média de mercúrio nesses materiais não deve exceder 20 mg/kg (20 ppm).

O único componente da lâmpada que não é reciclado é o isolamento baquelítico existente nas extremidades da lâmpada, que é descartado em aterros, mas constitui uma mínima fração em massa da lâmpada original.

A fase subsequente é a recuperação do mercúrio contido na poeira de fósforo. O material é aquecido até a vaporização do metal (temperaturas acima do ponto de ebulição, 357 °C). O material vaporizado é condensado em recipientes especiais ou decantadores.

O mercúrio assim obtido pode passar por nova destilação para se removerem impurezas. Para se conseguir uma pureza de mercúrio da ordem de 99,99% em massa, as partículas orgânicas carregadas pelos gases durante a vaporização do mercúrio são conduzidas a uma câmara de combustão onde são oxidadas.

Reciclagem de lâmpadas incandescentes

Não foram identificadas em nível nacional ou internacional instituições que realizem a **reciclagem** de lâmpadas incandescentes. Isso ocorre essencialmente porque essas lâmpadas não possuem substâncias potencialmente agressivas ao meio ambiente, como ocorre nos modelos fluorescentes. Por este motivo, os órgãos de controle ambiental ainda não as incluíram em programas de

reciclagem a serem impostos a instituições ou divulgados para a população; b) nenhum processo de tratamento de lâmpadas é economicamente sustentável apenas pela venda dos materiais delas recuperados. Além disso, as lâmpadas incandescentes são de uso predominantemente doméstico, e uma logística de coleta seletiva das mesmas seria extremamente complexa.

Porém a disposição em aterro (ou em lixões) de lâmpadas é contrária à filosofia do desenvolvimento sustentável, que busca minimizar a extração de matérias-primas do meio ambiente,^{10,11} além de ser proibida pela Lei 12305/10 (artigo 47)⁹. A **reciclagem** de lâmpadas incandescentes poderia ser realizada, através do processo de moagem simples com separação dos componentes, da mesma forma que proposto para as lâmpadas fluorescentes. Um ponto a ser destacado é que o vidro do bulbo da lâmpada, por ter sofrido tratamento para resistir às altas temperaturas do produto e ter constituição diferente do vidro normal de embalagens, não pode ser misturado com este e outros tipos de vidro (blindex, pyrex, etc) para a etapa de reciclagem; do contrário, o vidro reciclado terá sua qualidade comprometida.¹⁰

Conclusão

Apesar da Lei 12305/2010 ser um avanço no que tange à gestão e à destinação final de resíduos perigosos, há a necessidade de um esforço conjunto do setor produtivo, do poder público e da sociedade para que as lâmpadas usadas não sejam mais descartadas de forma inadequada no meio ambiente. Nesse contexto se insere um componente vital para o cidadão: a educação ambiental, hoje um dos alicerces do ensino. Ela pode ser encarada como uma mudança de comportamento, sendo capaz de fornecer todos os subsídios para que as pessoas, apresentadas aos problemas do mundo moderno, se conscientizem e deixem de praticar atos que comprometam ainda mais o meio ambiente,

em especial o descarte de materiais que não podem ser simplesmente largados ao tempo nele.

A indústria da reciclagem necessita de escala e de incentivos para que seja plenamente viável na prática, e os órgãos de pesquisa devem ser estimulados a desenvolverem tecnologias de reciclagem das lâmpadas usadas. Outra possibilidade é a substituição das lâmpadas contendo mercúrio por outros sistemas. A lâmpada LED (diodo emissor de luz, *light-emitting diode*), sem mercúrio e de alta eficiência luminosa, é séria candidata a substituir as lâmpadas mercuriais nas próximas décadas.¹²

Referências

- 1) *Manual de Lâmpadas*, General Electric Co.: Rio de Janeiro, 2004.
- 2) SANTOS, L. C. S. *Sistema eletrônico de alto desempenho, com baixa distorção harmônica, para controle de intensidade luminosa de lâmpadas incandescentes de alta potência*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- 3) CRICCI, A.; Revista Gazeta Mercantil, Caderno C, 2 de abril de 2009, p. 7.
- 4) RAPOSO, C.; ROESER, H. M.; *Rev. Esc. Min. Ouro Preto* 2000, 64, 61-67.
- 5) <http://www.cenpre.org.br>, acessado em maio de 2011.
- 6) *Importações de Mercúrio Metálico em 2003 e Distribuição por Setores de Consumo*. Diretoria de Licenciamento e Qualidade Ambiental, Coord.Geral de Qualidade Ambiental do IBAMA/MMA: Brasília, 2004.
- 7) D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A.; *Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado*, CEMPRE: São Paulo, 2000.
- 8) REIDLER, N. M. V. L.; *Resíduos Gerados por Pilhas e Baterias Usadas: Uma Avaliação da Situação Brasileira 1999-2001*. Dissertação de Mestrado, USP, 2002.
- 9) LEI 12305/2010, *Política Nacional de Resíduos Sólidos*, 02/08/2010, Diário Oficial da União, 03/08/2010
- 10) JABUR, M. A.; *Racionamento: do susto à consciência*, Terra das Artes: São Paulo, 2001.
- 11) GUSMÃO, A. C. F.; MARTINI Jr., L. C.; *Gestão Ambiental na Indústria*, 2ª ed., Editora SMS Digital: Rio de Janeiro, 2009.
- 12) SCHUBERT, E. F.; KIM, J. K.; *Science* 2005, 308, 1274-1278.