

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS CONVENCIONAIS POR LÂMPADAS LED NO TERMINAL PETROQUÍMICO DE MIRAMAR DA COMPANHIA DOCAS DO PARÁ– CDP

\* Andrelle Soares Dantas Faria <sup>1</sup>  
Luiza Carla Girard Mendes Teixeira <sup>1</sup>  
Maria de Valdivia Costa Norat <sup>1</sup>  
Cristiane da Costa Gonçalves de Andrade <sup>2</sup>

### ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC VIABILITY OF THE REPLACEMENT OF CONVENTIONAL BULBS BY LEDS AT THE PETROCHEMICAL TERMINAL OF MIRAMAR OF THE COMPANHIA DOCAS DO PARÁ – CDP

Recibido el 17 de junio de 2019; Aceptado el 21 de enero de 2021

#### Abstract

*At the Brazilian port sector, the economic growth and the expansion of foreign trade determines the increase of solid waste generation, which demands a different management because it endangers the public health and the balance of the local ecosystem. This essay analyzes the viability of substitution between conventional bulbs and LED technology, while highlighting the differences on the environmental effects and economic sustainability of the illumination system. The methodology was divided into four stages: interview and documentary survey; field research; diagnosis and data analysis and proposal of an LED system. The essay analyzed the costs of acquiring, maintaining, affordability and managing services of disposing the bulbs between the use of conventional bulbs and LED. The estimated used cost resulting from LEDs have shown savings of 58% over conventional bulbs. The electrical efficiency was the milestone advantage between them. Results demonstrated greater benefits with LEDs in mitigating environment pollution over conventional bulbs; its chemical composition is less harmful, it is more durable, and it has a reduce disposal footprint.*

**Keywords:** *disposing light bulbs, port sector, sustainability, LED technology.*

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil.

<sup>2</sup> Companhia Docas do Pará (CDP), Brasil.

\*Autor correspondente: Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá. CEP 66075-110. Belém, Brasil. E-mail: [andrellefaria@gmail.com](mailto:andrellefaria@gmail.com)

## Resumo

No setor portuário brasileiro, o crescimento econômico e a expansão do comércio exterior determinam o aumento de geração de resíduos sólidos, os quais demandam um manejo diferenciado por apresentarem riscos à saúde pública e ao equilíbrio do ecossistema local. Neste trabalho foi analisada a viabilidade da tecnologia LED para a sustentabilidade ambiental e econômica nos sistemas de iluminação em substituição às lâmpadas convencionais. A metodologia foi dividida em quatro etapas: entrevista e levantamento documental; pesquisa de campo; diagnóstico e análise de dados e proposta de um sistema LED. O estudo analisou os custos de aquisição, manutenção, consumo de energia elétrica e serviços de gerenciamento das lâmpadas pós-consumo entre o emprego de lâmpadas convencionais e lâmpadas LED. Os custos totais estimados resultantes da utilização de lâmpadas LED demonstraram uma economia de 58% em relação às convencionais e o custo com energia elétrica foi o fator determinante para a vantagem destas. Os resultados também demonstraram os benefícios da lâmpada LED para o meio ambiente como alternativa de mitigar a poluição, pois a composição é menos nociva a ele, possui maior durabilidade e minimiza a quantidade de lâmpadas a serem descartadas.

**Palavras chave:** lâmpadas pós-consumo, setor portuário, sustentabilidade, tecnologia LED.

## Introdução

Devido ao crescimento populacional, ao consumismo exacerbado da sociedade e o desenvolvimento cada vez maior do setor industrial, problemáticas como crise energética, escassez de recursos naturais e descarte de resíduos têm existido como o centro de várias discussões e questionamentos (Santos *et al.*, 2018). Além disso, o setor portuário brasileiro possui uma crescente variedade de atividades compreendidas, devido ao desenvolvimento econômico e à expansão da comercialização exterior, ressaltando que mais de 95% do comércio exterior brasileiro é transportado por via marítima segundo a Marinha do Brasil (2019), propiciam uma crescente geração de resíduos sólidos nestes ambientes, os quais demandam um manejo diferenciado e minucioso por manifestarem riscos à saúde pública e a conservação do ecossistema local (Rocha, 2016).

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), a qual classifica os resíduos sólidos, as lâmpadas de vapor de mercúrio pós-consumo são classificadas como Resíduos Perigosos – Classe I. O mercúrio é o componente das lâmpadas fluorescentes que possui maior destaque por causa da sua natureza tóxica, mas além dele também há outras substâncias. Segundo dados da FIOCRUZ (2011), o fósforo propicia o desenvolvimento de câncer e provoca lesões nos rins e no fígado, o mercúrio pode comprometer os olhos, a pele, vias respiratórias e sistema nervoso e tem a capacidade de se acumular na cadeia alimentar.

O fato de o mercúrio ser cumulativo na cadeia trófica faz com que estes resíduos sejam problemáticos, em especial em situações em que ocorre a acumulação das lâmpadas mercuriais quebradas, por isso o descarte requer uma atenção rigorosa (Johnson *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2015). Nestes casos, o elemento liberado pode destruir a camada protetora de ozônio na

atmosfera, contaminar corpos hídricos superficiais ou águas subterrâneas e acumular-se nos biomas e na biota (Carneiro, 2010; Santos *et al.*, 2015). Uma lâmpada fluorescente compacta com 2 mg de mercúrio é capaz de tornar 2 mil litros de água imprópria para o uso humano (Degra e Gobi, 2015).

No Brasil foi promulgada em agosto de 2010 a Lei nº 12305 (Brasil, 2010a), regulamentada pelo Decreto nº 7404 (Brasil, 2010b) que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). No artigo 8º, inciso III, são citados como instrumentos os sistemas de logística reversa além de outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Peres e Ávila, 2017). O artigo 15º, inciso III, apresenta as metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada. No artigo 33º, são apresentados quais resíduos devem participar da logística reversa, dentre eles estão inseridas as lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista (convencionais), bem como a obrigatoriedade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a estruturar e implementar sistemas de logística reversa de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos (Brasil, 2010a).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária, por meio da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 56 (ANVISA, 2008), dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas Sanitárias no Gerenciamento de Resíduos Sólidos nas áreas de Portos, Aeroportos, Passagens de Fronteiras e Recintos Alfandegados, possui o objetivo de minimizar os riscos na geração de resíduos sólidos, inclusive as lâmpadas pós-consumo, proporcionando um gerenciamento seguro evitando impactos nocivos à saúde humana e meio ambiente (Rocha, 2016).

Segundo Bley (2012), Kalache *et al.*, (2013), Costa (2015) e Pereira (2018) o uso de lâmpadas com tecnologia LED (Light Emitter Diode – LED) apresenta-se como uma possibilidade viável em relação às lâmpadas convencionais. Define-se o diodo LED como um componente eletrônico semicondutor, com a mesma tecnologia utilizada nos chips de computadores, que possui a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Ele não utiliza filamentos metálicos, radiação ultravioleta, nem descarga de gases. Destaca-se, ainda, que os materiais semicondutores causam menores impactos ao meio ambiente e a saúde humana (Utiluz, 2012; Santos *et al.*, 2015; Pessoa e Ghisi, 2014).

O LED, como uma tecnologia eficiente e com pequeno impacto ambiental, mostra-se como a melhor alternativa às lâmpadas mercuriais, além de se apresentar como saída à diminuição do consumo de energia elétrica (Ranita, 2015). Entretanto, pelo fato de a lâmpada LED necessitar de um componente eletrônico para o funcionamento, ela se enquadra na categoria de equipamento eletrônico, em vista disso, quando descartada requer a logística reversa obrigatória prevista pela PNRS (Brasil, 2010a; Santos *et al.*, 2018).

Desta forma, este trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade da tecnologia LED para a sustentabilidade econômica e ambiental nos sistemas de iluminação, bem como o gerenciamento das lâmpadas pós-consumo geradas no Terminal Petroquímico de Miramar, o qual é de responsabilidade da Companhia Docas do Pará (CDP). Especificamente foram levantados dados a respeito do quantitativo de lâmpadas e da logística existente no Terminal, desde a aquisição até a destinação final desses resíduos, identificando as etapas bem como os custos relacionados, além do diagnóstico e análise dos dados levantados para estimar os custos totais do consumo das lâmpadas com energia elétrica e estudar a viabilidade da substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED.

## Metodologia

### Caracterização da área de estudo

O Terminal Petroquímico de Miramar, Nicolau Bentes Gomes, está localizado no município de Belém, Estado do Pará, à margem direita da baía de Guajará a uma distância fluvial de 4.5 km a jusante do Porto de Belém, sendo uma extensão do porto organizado de Belém (CDP, 2018) (Figura 1).

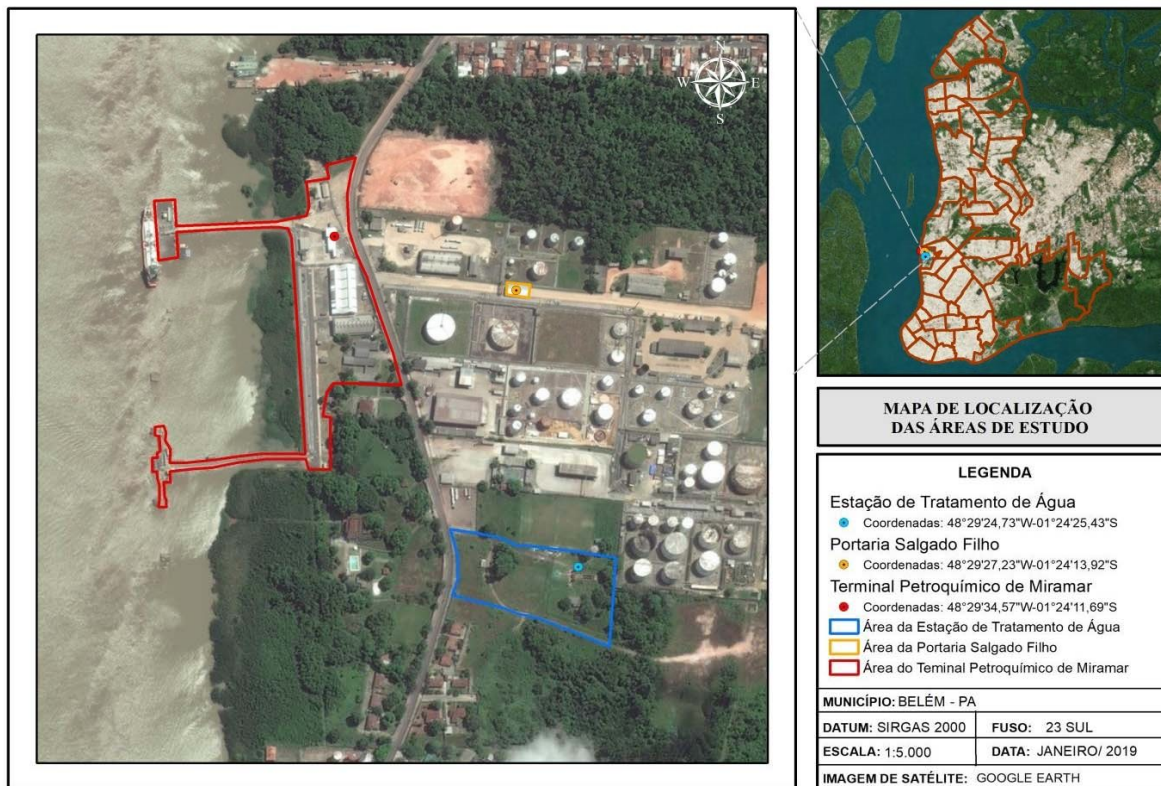


Figura 1. Localização das áreas de estudo.



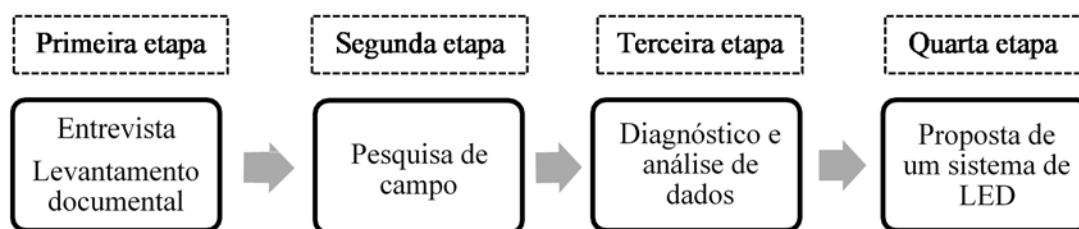
Segundo a Companhia Docas do Pará (2018), o Terminal abrange uma área territorial de 870270.75 m<sup>2</sup>. O território compreende duas áreas operacionais, uma primária onde estão instalados os píeres, rampa e prédios administrativos da CDP, administrado pela Companhia Docas do Pará (CDP) e outra secundária (retroporto) onde estão localizadas diversas companhias distribuidoras de combustíveis abastecidas, através de tubovias que se iniciam nos píeres e se unem posteriormente com destinação final para as mesmas.

Em vista disso, para a realização do estudo, a área primária foi dividida em área externa, composta pelos píeres, ruas, rampas, a Estação de Tratamento de Água (ETA) e a portaria do Salgado Filho de responsabilidade da CDP e área interna, constituída pelos interiores dos prédios administrativos, guaritas, galpões, refeitório, sanitários e alojamento dos operadores da ETA. A Figura 1 apresenta a divisão da área de estudo em que foi realizado o trabalho.

A vocação do Terminal consiste exclusivamente em movimentação de combustíveis líquidos e gasosos, no qual preferencialmente a descarga predomina sobre a entrada desses graneis, pois é responsável pelo abastecimento de derivados de petróleo em grande parte do Estado do Pará os quais são transportados por meio das rodovias e rios da Amazônia (CDP, 2018).

#### Etapas da pesquisa

Nesta pesquisa foi considerada a denominação de lâmpadas convencionais para as lâmpadas fluorescentes, halógenas, vapor de sódio, vapor metálico e luz mista. A proposta metodológica para elaboração deste estudo foi a de uma pesquisa com abordagens qualitativa e quantitativa. O levantamento de dados e análise para o estudo foi realizado em etapas, conforme a Figura 2:



**Figura 2.** Etapas para o desenvolvimento do estudo.

A primeira etapa consistiu em entrevistas e levantamento documental nos setores responsáveis da CDP. As entrevistas ocorreram de forma presencial em 4 setores da CDP: Supervisão de Operações Portuárias do Terminal Petroquímico de Miramar; Supervisão de Relação Porto Cidade e Meio Ambiente; setor de Engenharia e setor de Finanças.

Nos setores Supervisão de Operações Portuárias, Engenharia e Finanças os assuntos questionados nas entrevistas foram informações sobre a aquisição, a manutenção e a troca das lâmpadas do Terminal. No setor de Supervisão de Relação Porto Cidade e Meio Ambiente, foi adquirido o conhecimento a respeito do atual gerenciamento dos resíduos de lâmpadas, como o acondicionamento, o armazenamento, a coleta, o transporte e a destinação final para estes resíduos, a periodicidade de coleta bem como os custos associados.

O levantamento documental foi efetuado mediante a solicitação dos documentos por meio de um processo de autorização ao setor da Direção Presidencial da Companhia. Os documentos são descritos na Tabela 1:

**Tabela 1.** Documentos solicitados nos respectivos setores da CDP.

Setor responsável	Documentos
Engenharia	Contratos de serviços prestados no Terminal pelas empresas terceirizadas especializadas em manutenção de sistemas elétricos durante o ano de 2015, 2016, 2017 e 2018; Planta baixa da área primária do Terminal
Finanças	Prestações de contas mensais do Terminal de Miramar dos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018; Fatura de energia elétrica referente ao mês de outubro de 2018; Documentos com os respectivos valores pagos em cada mês do ano de 2018 com energia elétrica consumida no Terminal
Meio Ambiente	Inventário de resíduos de lâmpadas referente ao ano de 2018; contrato de empresa terceirizada responsável por destinar adequadamente as lâmpadas durante o ano de 2018; Relatório fotográfico do serviço executado, assim como também referente à última contratação realizada; Plano de gerenciamento de resíduos sólidos do Terminal

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A pesquisa de campo foi realizada por meio do levantamento *in loco* dos pontos de iluminação existentes no Terminal de Miramar com o auxílio da planta baixa da área primária identificando as suas referidas potências e categorias, assim como também o quantitativo de lâmpadas pós-consumo existentes acondicionadas e as especificidades do local utilizado para tal finalidade. A confirmação das especificações técnicas das lâmpadas como a potência e o tipo foi realizada mediante as aquisições feitas pela supervisão do Terminal e a contratação de empresas especializadas em serviço de manutenção e troca de lâmpadas pelo setor de Engenharia da CDP, as demais como durabilidade, consumo de energia e emissão de luz (Miyashiro, 2016), foram retiradas dos catálogos dos fabricantes das marcas utilizadas no local. A durabilidade média das lâmpadas utilizadas nesta pesquisa para efeito comparativo foi de acordo com Costa (2010).

A terceira etapa compreendeu o diagnóstico dos dados da primeira e segunda etapa assim como a respectiva análise de custo, consumo e gerenciamento pós-consumo das lâmpadas utilizadas no Terminal Petroquímico. Primeiramente, foi executada uma análise do gerenciamento de resíduos de lâmpadas no Terminal. A verificação dos procedimentos utilizados para o manuseio, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e destinação final desses resíduos foi realizada com base na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010a), assim como na Resolução nº 56 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2008). Além disso, foi verificado como é determinado o período de coleta desse tipo de resíduo e a periodicidade que a mesma ocorre no decorrer do ano e estimado a quantidade de mercúrio presente nas lâmpadas armazenadas no local (Silva, 2014; ABILUX, 2008).

Com relação à análise de custo de consumo, foram considerados três cenários, um cenário convencional hipotético (cenário 1), com um sistema de iluminação composto somente por lâmpadas convencionais instaladas, um cenário atual que é o existente (cenário 2), formado por uma pequena porcentagem de lâmpadas LED já inseridas e um cenário LED (cenário 3) com todos os pontos de iluminação já substituídos pela nova tecnologia.

O cálculo para obtenção do consumo total de energia elétrica para cada cenário estabelecido foi realizado com base na fórmula (Equação 1) fornecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2018):

$$C = ((Potência\ lâmpada + Potência\ reator) \div 1000) \times Tempo \times Tarifa \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

C: Consumo de energia elétrica (reais); Potência da lâmpada (watt);

Potência do reator (watt);

Tempo: tempo de funcionamento das lâmpadas (horas);

Tarifa: Tarifa fornecida pela empresa concessionária de energia elétrica do Pará (reais).

O cálculo do consumo anual de energia elétrica foi executado de acordo com os seguintes critérios:

- Os dias de funcionamento das lâmpadas por ano: as lâmpadas dos setores administrativos funcionam somente nos dias úteis da semana, somando 264 dias em 2018, enquanto as demais (localizadas na área externa), em todos os 365 dias do ano, podendo haver pequenas variações em relação aos outros anos.
- O tempo de funcionamento das lâmpadas por dia: as lâmpadas ficam acesas em média 12 horas por dia, na área externa (píeres e ruas) de 18:00 às 06:00 e na área interna (setores administrativos e prédios anexos) de 07:00 às 19:00.
- O preço da tarifa de energia elétrica atual: a tarifa de energia elétrica em relação a fatura do mês Outubro de 2018 é de R\$3.617990/kWh para consumo no horário de ponta (18:30h às 21:29h) e R\$0.496635/kWh para consumo fora ponta (CELPA, 2018).

A quarta etapa realizada foi a proposta de um sistema LED em substituição às lâmpadas convencionais empregadas no Terminal Petroquímico de Miramar. Nesta etapa foi feita uma comparação entre os três sistemas descritos (cenário 1, 2 e 3).

As particularidades consideradas nesta etapa foram: o custo de investimento para aquisição inicial; a comparação entre o consumo de energia elétrica entre os três cenários; aquisição e manutenção (durabilidade das lâmpadas) e os custos com o serviço de gerenciamento das lâmpadas pós-consumo.

A pesquisa não contemplou cálculos luminotécnicos para avaliar o fluxo luminoso, o qual pode ser realizado pelo Método de Lúmes (Santos *et al.*, 2015). Entretanto, é avaliado o fluxo luminoso proposto na especificação técnica das lâmpadas convencionais, com o objetivo de buscar aspecto luminoso semelhante nas de LED, considerando-se que a iluminação existente foi projetada e instalada conforme padrões técnicos (Kalache *et al.*, 2013).

O estudo a respeito do custo de investimento para aquisição das lâmpadas LED foi efetuado por meio de consulta aos *sites* dos fabricantes e distribuidores para conferir o preço unitário de cada categoria de lâmpada. Em relação às marcas escolhidas, buscou-se selecionar semelhantes as já utilizadas pelo Terminal, caso contrário, foram pesquisadas novas marcas que atendessem a especificidade da lâmpada requerida para cada local.

### Resultados e discussão

Em relação às entrevistas, de acordo com a Supervisão de Operações Portuárias do Terminal Petroquímico de Miramar e o setor de Engenharia, a aquisição, a manutenção e a troca de lâmpadas são realizadas sob responsabilidade da Supervisão quando requerem serviços mais simples nas áreas interiores, enquanto que as lâmpadas das áreas exteriores são de responsabilidade do setor de Engenharia da CDP, pois demandam de contratação de empresa terceirizada especializada no serviço de iluminação pública e com um custeio maior, visto que a mesma já fornece os materiais de iluminação, como lâmpadas, reatores, disjuntores e cabos junto com a mão de obra e equipamentos necessários. É importante destacar que lâmpadas LED já estão sendo adquiridas pela Supervisão para uso nas áreas interiores, bem como poucos refletores de LED para uso nas áreas exteriores.

De acordo com as entrevistas ao setor de Relação Porto Cidade e Meio Ambiente, as lâmpadas inutilizadas são transportadas e direcionadas sob responsabilidade do setor para a Central de Resíduos, onde são armazenadas, até que haja um quantitativo suficiente para o seu encaminhamento em direção ao tratamento e destinação final. A contratação é feita mediante processo licitatório, não havendo uma periodicidade exata desse serviço.



Conforme os documentos solicitados ao setor de Engenharia, somente foi possível obter os contratos dos serviços contratados nos anos de 2016, 2017 e 2018, além da planta baixa da área primária do Terminal. No ano de 2016, os serviços de manutenção corretiva na rede elétrica do Píer 100 do Terminal Petroquímico de Miramar totalizou em R\$ 26779.12, já no ano de 2017, o custo com o restabelecimento do sistema de iluminação foi de R\$ 20543.82 e no ano de 2018 foi de R\$ 13474.99 com serviços de manutenção no sistema de iluminação externa na área do Salgado Filho.

Em relação aos documentos obtidos pelo setor de Finanças, foi possível estimar a média do consumo com energia elétrica no ano de 2018 em R\$ 50844.33. Somente foram disponibilizadas as prestações de contas mensais do Terminal de Miramar do segundo semestre de 2017 ao primeiro semestre de 2018, totalizando R\$ 1972.17 gastos para aquisição de lâmpadas e reatores durante o período.

Não foi possível obter os documentos solicitados ao setor de Meio Ambiente com exceção do relatório referente a última coleta de lâmpadas pós-consumo. No ano de 2018, não houve coleta desses resíduos especiais portanto, não foi gerado inventário, documento este que é utilizado como ferramenta de controle da coleta dos resíduos no Terminal.

Diante da realização da pesquisa de campo, constatou-se que o Terminal Petroquímico de Miramar possui aproximadamente 616 pontos de iluminação, dispostos nas áreas internas e externas. Na Tabela 2 é apresentado o quantitativo dos diferentes tipos de lâmpadas presentes nas áreas do Terminal Petroquímico de Miramar.

**Tabela 2.** Quantificação aproximada dos pontos de iluminação existentes nas áreas do Terminal Petroquímico de Miramar.

Tipo de lâmpada	Área interna	Área externa
Fluorescente Tubular	254	55
Fluorescente Compacta	2	25
Luz mista	19	51
Vapor metálico	0	113
Vapor de sódio	0	35
Halógena	0	2
Refletor LED	0	5
LED Bulb	38	17
Total	313	303

*Fonte: Elaborado pela autora (2018).*

Na Central de Resíduos, verificou-se o quantitativo de 271 lâmpadas íntegras inutilizáveis e 12.07 kg de lâmpadas quebradas armazenadas. A quantidade encontrada é acumulada desde a última coleta desse tipo de resíduo, que segundo a Supervisão de Meio Ambiente, foi realizada no ano de 2014, por contratação de empresa terceirizada legalizada e especializada para coleta, transporte, tratamento e destinação final.

Tais resíduos estão acondicionados conjuntamente sem identificação em um coletor com capacidade de 240 litros, em um recipiente de isopor e no interior de sacos de plástico ou somente dispostas sem proteção dentro da central. Em relação às lâmpadas quebradas, estas estão acomodadas em sacos de plástico. O acondicionamento inadequado faz com que parte das lâmpadas sofra rupturas, seja no transporte do setor onde foi realizada a manutenção até a Central de Resíduos, ou até mesmo durante o tempo de armazenamento, gerando risco à saúde das pessoas que manuseiam esses materiais e elevando o custo do tratamento desses resíduos (Brandão *et al.*, 2011).

Na Central de Resíduos, verificou-se o quantitativo de 271 lâmpadas íntegras inutilizáveis e 12.07 kg de lâmpadas quebradas armazenadas. A quantidade encontrada é acumulada desde a última coleta desse tipo de resíduo, que segundo a Supervisão de Meio Ambiente, foi realizada no ano de 2014, por contratação de empresa terceirizada legalizada e especializada para coleta, transporte, tratamento e destinação final.

Tais resíduos estão acondicionados conjuntamente sem identificação em um coletor com capacidade de 240 litros, em um recipiente de isopor e no interior de sacos de plástico ou somente dispostas sem proteção dentro da central. Em relação às lâmpadas quebradas, estas estão acomodadas em sacos de plástico. O acondicionamento inadequado faz com que parte das lâmpadas sofra rupturas, seja no transporte do setor onde foi realizada a manutenção até a Central de Resíduos, ou até mesmo durante o tempo de armazenamento, gerando risco à saúde das pessoas que manuseiam esses materiais e elevando o custo do tratamento desses resíduos (Brandão *et al.*, 2011).

É indispensável a orientação dos funcionários das empresas responsáveis pelo serviço de trocas e manutenção de lâmpadas, assim como funcionários da CDP, expondo sobre o risco para o ser humano e para o meio ambiente de contaminação do mercúrio e sobre as possíveis circunstâncias de escape do mesmo, através da quebra do tubo de descarga ou danificações nas extremidades da lâmpada. Em caso de quebra acidental, esses funcionários também devem ser alertados a providenciar a coleta e limpeza imediata do local além de abrir portas e janelas para facilitar a circulação do ar.

A coleta e o transporte dos resíduos de lâmpadas foram analisados mediante Manifesto de Transporte de Resíduos e relatório fotográfico realizado pela Supervisão do Terminal de Miramar

e setor de Meio Ambiente em relação ao último serviço executado. No ano de 2014, foram coletadas 215 lâmpadas pós-consumo do tipo fluorescente, metálica e vapor de sódio. Durante a coleta, as lâmpadas foram conferidas unitariamente para analisar se apresentavam rupturas e acondicionadas no interior de uma caixa de madeira sem vedação na parte superior. Posteriormente, a caixa foi alocada no interior do caminhão da empresa de modo que os resíduos ficaram expostos, pois o veículo de transporte era do tipo carroceria. Além disso, foi possível observar que os funcionários utilizavam equipamento de proteção individual, itens indispensáveis para o manuseio desses resíduos perigosos.

De acordo com a resolução nº 56 (ANVISA, 2008), as lâmpadas descartadas deverão ser acondicionadas em coletores devidamente identificados em condição de evitar rupturas e mantê-las íntegras e armazenadas separadamente com identificação segundo a classificação, obedecendo às normas ambientais e de saúde pública pertinentes (ABNT, 1992; CONAMA, 1993), assim como atender as recomendações definidas pelos fabricantes ou importadores. Além disso, as lâmpadas que contém mercúrio, após o seu esgotamento energético devem passar por processo de reutilização, recuperação, reciclagem ou tratamento pertinente.

O transporte deve ser realizado por meio de veículo fechado identificado como “transporte de produto perigoso – lâmpadas contendo mercúrio”, ele deve portar rótulos de risco e painéis de segurança específicos. Se as lâmpadas estiverem bem cuidadas, é possível empregar o vidro, o alumínio e o mercúrio na fabricação de outros produtos, todavia se estiverem quebradas, e consequentemente contaminadas impossibilita de serem reaproveitadas (Silva, 2014).

Na Tabela 3 é apresentada a quantidade de mercúrio total encontrada nas lâmpadas armazenadas na Central de Resíduos do Terminal de Miramar de acordo com o tipo. Verifica-se que em sua totalidade há uma expressiva quantidade dessa substância (5.303g), visto que apenas miligramas revelam-se prejudiciais para a saúde humana e meio ambiente (Bacila, 2012; Degra e Gobi, 2015).

**Tabela 3.** Quantidade total de mercúrio encontrado nas lâmpadas convencionais armazenadas na Central de Resíduos do Terminal de Miramar.

Tipo de lâmpadas	Potência (W)	Quantidade de mercúrio em uma lâmpada (g)	Qtde (und)	Quantidade de mercúrio total por tipo de lâmpada (g)
Fluorescente Tubular	15-110	0.009	145	1.305
Fluorescente Compacta	5-65	0.005	9	0.045
Vapor metálico	35-2000	0.045	70	3.15
Vapor de sódio	70-1000	0.019	2	0.038
Luz Mista	160-550	0.017	45	0.765
Total				5.303

Fonte: Adaptado de ABILUX (2008).

O resultado da estimativa do custo com energia elétrica para o cenário 1 foi de R\$ 37664.07, enquanto para o cenário 2 ligeiramente inferior de R\$ 36573.59, possivelmente pelo fato de que o cenário 2 é composto por 9.74% de lâmpadas LED. Em relação às lâmpadas presentes na área externa, tais como vapor metálico, luz mista e vapor de sódio, bem como para os refletores LED, foi constatado três horas de uso no horário de ponta, enquanto para as localizadas na área interna apenas meia hora.

A Tabela 5 a seguir apresenta os valores cobrados por uma empresa especializada e legalizada no ano de 2018 destinada a prestar os serviços desse segmento. No entanto, o mais adequado conforme a PNRS (Brasil, 2010a) é a aplicação da logística reversa, que em vez de encaminhar para o aterro sanitário, a reintrodução desses componentes na cadeia produtiva é a opção mais rentável para o meio ambiente, em que os componentes das lâmpadas uma vez esgotadas energeticamente seriam utilizados na fabricação de novas lâmpadas. No estado do Pará, foi constatado que ainda não há legislação específica que dispõe sobre a implementação da logística reversa.

Tabela 5. Descrição e custo com serviços de gerenciamento de resíduos de lâmpadas em 2018.

Descrição do serviço	Valor por unidade de lâmpada (R\$)	Valor por Kg de lâmpada quebrada (R\$)	Tratamento	Disposição final
Coleta, transporte, tratamento e destinação disposição final	4.00	4.00	Descaracterização ou esmagamento da lâmpada e sublimação do mercúrio	Aterro sanitário

Fonte: Proposta comercial da empresa prestadora de serviços (2018).

Os resultados da quarta etapa desta pesquisa são demonstrados na Tabela 6 e nas Figuras 3 e 4. Na Tabela 6 apresenta-se a equivalência das lâmpadas convencionais utilizadas no Terminal com as de LED que possuam características similares e a comparação econômica de aquisição (o preço inclui o valor dos respectivos reatores). As marcas das lâmpadas LED a serem substituídas escolhidas foram EMPALUX, PHILIPS e uma linha exclusiva LEOX especializada em refletores com a tecnologia LED.

Conforme a Tabela 6, os preços para aquisição das lâmpadas diferem quanto ao tipo escolhido, os preços podem ser muito divergentes, consoante às marcas. A diferença de preço da aquisição entre as duas categorias é de R\$ 70965.84, não considerando que já existe uma pequena parcela de lâmpadas de LED empregadas no Terminal. A estimativa do consumo mensal em reais de energia elétrica com um novo sistema de iluminação de LED resultou em R\$ 14846.24 e o anual estimado em R\$ 180461.28 tendo em vista que todas as lâmpadas trocadas estarão em pleno funcionamento, assim como, foram considerados os mesmos critérios adotados anteriormente.

Tabela 6. Equivalência e comparação de aquisição total de lâmpadas convencionais e lâmpadas LED.

Lâmpadas convencionais	Qtde (und)	Preço de mercado* (R\$)	Lâmpadas LED	Qtde (und)	Preço de mercado* (R\$)
Fluorescente Tubular (40W)	138	3830.88	Tubular LED (19W)	138	2268.72
Fluorescente Tubular (32W)	108	2542.32	Tubular LED (19W)	108	1775.52
Fluorescente Tubular (18W)	27	699.30	Tubular LED (10W)	27	317.25
Fluorescente Tubular (14W)	36	935.64	Tubular LED (7W)	36	936.00
Fluorescente Compacta (18W)	33	355.41	LED Bulb (9W)	33	590.70
Fluorescente Compacta (30W)	2	51.64	LED Bulb (13W)	2	37.60
Fluorescente Compacta (40W)	28	683.20	LED Bulb (15W)	28	671.72
Fluorescente Compacta (46W)	16	674.24	LED PL (23W)	16	592.00
Fluorescente Compacta (60W)	3	239.70	LED PL (30W)	3	149.25
Vapor metálico (1000W)	4	1842.40	Refletor LED (400W)	4	2279.60
Vapor metálico (400W)	36	6400.80	Refletor LED (200W)	36	18772.40
Vapor metálico (250W)	74	9667.36	Refletor LED (100W)	74	31295.34
Vapor de sódio (400W)	35	5564.65	Refletor LED (200W)	35	15715.00
Luz mista (400W)	22	1518.00	Refletor LED (150W)	22	9899.78
Luz mista (250W)	52	1445.60	Refletor LED (100W)	52	21991.32
Halógena	2	15.02	Refletor LED (10W)	2	139.80
Total		36466.16	Total		107432.00

\*De acordo com preços em sites de lojas brasileiras distribuidoras no mês de dezembro de 2018.

Fonte: Adaptado de LEOX (2018); PHILIPS (2014); EMPALUX (2018).

Segundo Costa (2010), a durabilidade em horas das lâmpadas de LED é em média 20000 horas, o equivalente a aproximadamente quatro anos e meio, assumindo a utilização diária de 12 horas. As lâmpadas convencionais possuem durabilidade média de 10000 horas, por volta de dois anos. Em vista disso, o estudo comparativo deste trabalho abordou um intervalo de tempo de quatro anos para a estimativa entre os cenários. Assim, é possível afirmar que há uma diminuição de aproximadamente 60% quando considerado somente o fator custo de energia elétrica com a substituição por iluminação de LED (Figura 3). Todavia, o valor pode sofrer pequenas variações ao longo dos anos em vista dos ajustes das tarifas de energia elétrica.

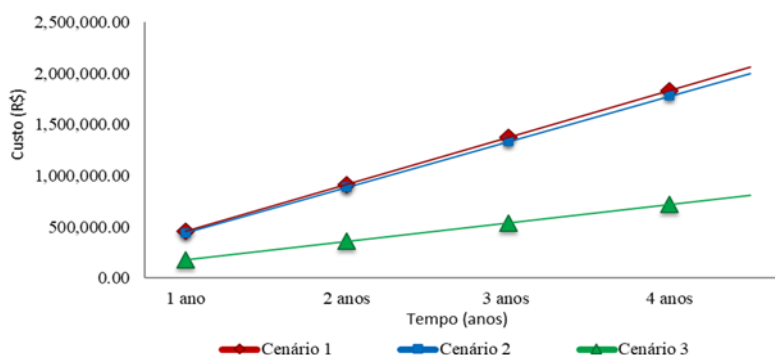


Figura 3. Comparação do custo com o consumo de energia elétrica, em reais, entre os cenários 1, 2 e 3 em um período de quatro anos.



O sistema de iluminação a LED é caracterizado por baixas potências, o que resulta em um baixo consumo de energia, além disso, esse tipo de lâmpada dispensa o uso de reatores, diminuindo ainda mais o custo com energia elétrica. Sendo assim, o LED possui alta eficiência luminosa, demanda menor consumo de energia e é capaz de produzir a mesma quantidade de luz que as lâmpadas convencionais. Apenas 20% desse tipo de iluminação são dissipados em forma de calor, enquanto que 80% são convertidos em energia luminosa, o que contribui para a redução dos gases do efeito estufa prejudiciais ao planeta (Leelakulthanit, 2014; Santos, 2015).

A Figura 4 apresenta o gráfico dos custos para cada fator considerado consoante a projeção de 4 anos. Verifica-se que a aquisição inicial para o cenário 3, demonstrou 65% em média mais caro que para os cenários 1 e 2, fato este explicado pelos preços de mercado elevados de alguns tipos das lâmpadas LED apresentado anteriormente. Por outro lado, o custo com o consumo de energia elétrica para o cenário 3 resultou 60.6% e 59.4% menor que os valores para os cenários 1 e 2, respectivamente.

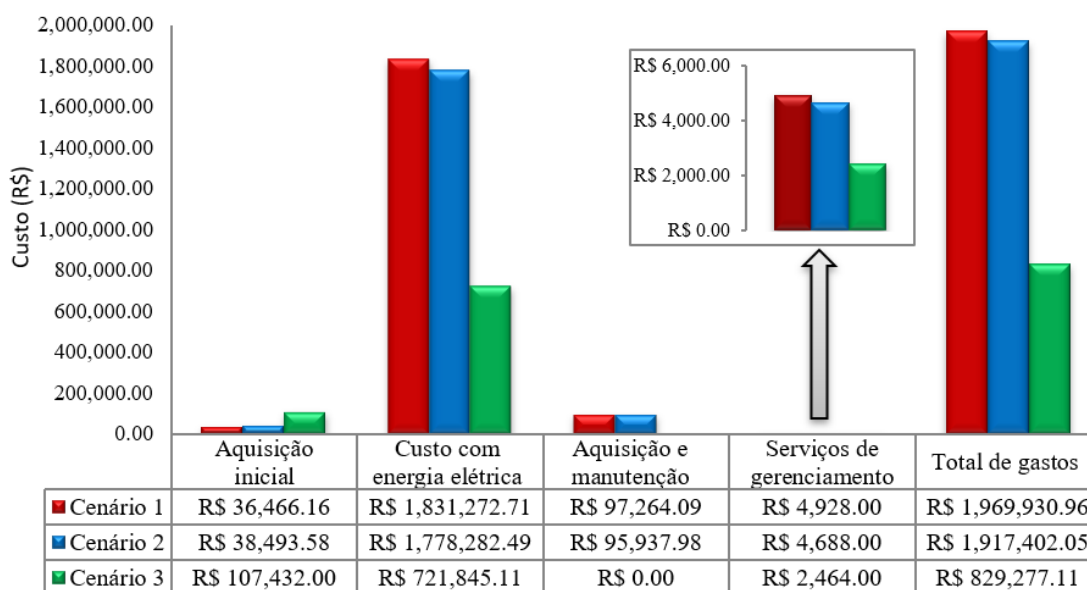


Figura 4. Comparação dos custos totais entre a utilização de lâmpadas convencionais e LED em quatro anos.

Em dois anos haverá necessidade de aquisição das lâmpadas convencionais, assim como a contratação de empresas para serviços de manutenção. Os valores dos serviços de manutenção utilizados foram os respectivos pagos nos anos de 2016, 2017 e 2018 pela CDP (Figura 4). Em quatro anos não haverá necessidade de compra e nem manutenção no cenário 3, devido as lâmpadas LED apresentarem maior durabilidade e eficiência que as convencionais.

O valor considerado para os cálculos de serviço de gerenciamento (Figura 4) é de R\$ 4,00 por unidade de lâmpada (Tabela 6). O valor apresentado para o cenário 1, é referente a duas contratações de serviços de gerenciamento, o cenário 2, duas contratações para as lâmpadas convencionais e apenas uma para as lâmpadas LED. Por fim, o cenário 3 apenas uma contratação, visto que de acordo com a empresa prestadora do serviço, o valor cobrado para as convencionais é o mesmo para as de LED, apresentando custo inferior de 50% e 47,44% em relação aos cenários 1 e 2, respectivamente.

Os custos para a destinação de lâmpadas pós-consumo como a reciclagem estão diretamente relacionados com a distância do local de geração à recicladora, a quantidade gerada bem como a integridade das lâmpadas (Bacila, 2012). Segundo Sanches (2008) e Bacila (2012), a influência do fator logístico é relevante na viabilidade do processo de reciclagem de lâmpadas pós-consumo. O gerenciamento tem de assegurar o cumprimento das obrigações legais de modo a envolver gerador e reciclador aperfeiçoando e facilitando as operações logísticas de armazenamento e transporte.

De acordo com a Figura 4, o custo estimado para o cenário 3 no Terminal Petroquímico de Miramar, compreendendo a aquisição inicial, consumo de energia elétrica, manutenção e troca e serviços de gerenciamento, a economia total é de 57.78% e 56.62% em relação aos cenários 1 e 2, respectivamente. Dessa forma, do total de gastos com o sistema de iluminação, o que realmente pesa é o custo com energia elétrica, pois se verifica que do total, 93% referem-se somente ao gasto com o consumo de energia para os cenários 1 e 2 e 87% para o cenário 3 demonstrando que a utilização da tecnologia LED em substituição às lâmpadas convencionais é mais vantajosa.

### **Conclusão e recomendações**

O gerenciamento de lâmpadas pós-consumo geradas no Terminal como o tratamento e a destinação final não foram especificados pela empresa contratada para os serviços dessa especificidade. Entretanto, a CDP como administradora do Terminal, preocupa-se em destinar corretamente as lâmpadas esgotadas energeticamente, fato este constatado pela contratação de empresas especializadas e legalizadas para tais serviços.

No âmbito econômico, a aquisição do sistema de iluminação com tecnologia LED resultou 65% mais oneroso em relação ao convencional. Entretanto, os custos com o consumo de energia elétrica com a substituição das lâmpadas convencionais pelas lâmpadas LED (cenário 3) reduzem 60.6% e 59.4% os custos para os cenários 1 e 2.

Em relação aos serviços de gerenciamento, o cenário 3 apresentou economia de 50% e 47,44% em relação aos cenários 1 e 2, respectivamente.

Portanto, o valor gasto total estimado para o cenário 3 demonstrou economia total de 57.78% e 56.62% em relação cenários 1 e 2, respectivamente. Do valor total, 93% referem-se somente ao gasto com o consumo de energia para os cenários 1 e 2 e 87% para o cenário 3.

Em quatro anos já se pode observar o retorno total de investimento em lâmpadas de LED pela economia significativa no consumo de energia elétrica resultante do emprego dessa tecnologia.

Dessa forma, a tecnologia LED demonstra-se como uma alternativa viável economicamente e ambientalmente. O Sistema LED favorece uma economia na conta de energia elétrica em médio prazo (quatro anos) para a Companhia Docas do Pará. Além de diminuir o custo com manutenção e troca devido a durabilidade das lâmpadas LED ser maior às convencionais. Relativamente ao ambiente, confere em menor escala a necessidade de descartar lâmpadas pós-consumo, pois garante menor troca de lâmpadas a cada ano, além de conferir uma composição isenta de mercúrio e outras substâncias nocivas mitigando a poluição e nocividade à saúde humana.

Recomenda-se que deve haver orientação para os funcionários das empresas responsáveis pelos serviços de troca e manutenção das lâmpadas convencionais, assim como funcionários da CDP, alertando sobre os riscos de contaminação do mercúrio para a saúde e meio ambiente. Além disso, a realização de uma periodicidade da coleta em menor prazo, evitando o acúmulo e o tempo de exposição elevado dos responsáveis pelo manuseio e acondicionamento dentro da Central, principalmente em relação às lâmpadas quebradas.

### Referencias bibliográficas

- ABILUX, Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (2008) *Reunião do Grupo de Trabalho sobre Lâmpadas Mercuriais do CONAMA. Descarte de Lâmpadas contendo Mercúrio*, ABILUX, 2008. Acesso em: 18 jan. 2019. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/0E732C8D/ApresentacaoCONAMAOut2008Final.pdf>
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) *Resíduos sólidos - Classificação - NBR 10004*. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) *Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos - NBR 12235*. Rio de Janeiro, 1992.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (2018) *Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia*. Acesso em: 11 out. 2018. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05\\_materia1\\_3.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05_materia1_3.pdf)
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2008) *Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas Sanitárias no Gerenciamento de Resíduos Sólidos nas áreas de Portos, Aeroportos, Passagens de Fronteiras e Recintos Alfandegados*. Resolução Nº 56, de 6 de agosto de 2008.
- Bacila, D. (2012) *Uso da Logística Reversa para apoiar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas: estudo comparativo entre Brasil e Alemanha. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.
- Bley, B. (2012) *LED's versus Lâmpadas Convencionais viabilizando a troca. IPOG - Revista Especialize*. Edição nº 3/2012, maio.

- Brandão, A., Gomes, L., Afonso, J. (2011) Educação Ambiental: O caso das lâmpadas usadas. *Revista de Química Industrial*, **79**(731), 17-23.
- Brasil (2010a) *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- Brasil (2010b) *Decreto nº 7.404 de dezembro de 2010 - Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, Brasil.
- Brasil (1993) *Resolução CONAMA Nº 05, de 05/08/1993 - Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários*. Ministério do Meio Ambiente (MMA) Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).
- Brasil (2016) Empresa de Pesquisa Energética. *Projeção da demanda de energia elétrica para 2050. Série Estudos de energia. Nota técnica DEA 13/15*. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Acesso em 23 jan. 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>
- Brasil (2019) *Vertente Econômica*. Ministério da Defesa, Marinha do Brasil. Acesso em: 25 Nov. 2019. Disponível em: [https://www.mar.mil.br/hotsites/amazonia\\_azul/vertente-economica.html](https://www.mar.mil.br/hotsites/amazonia_azul/vertente-economica.html)
- Carneiro, R. (2010) *Da loucura dos gatos dançantes ao circuito do século XXI: o mercúrio contido nas lâmpadas e a importância da educação no processo de gestão ambiental. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Sustentável*. Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.
- Centrais Elétricas do Pará - CELPA (2018) *Consumo de energia na tarifa branca*. Acesso em: 11 out. 2018. Disponível em: <http://www.celpe.com.br/imobiliario/simuladores/consumo-de-energia-na-tarifa-branca>
- Companhia Docas Do Pará, CDP (2018) *Portos e Terminais*. Acesso: 15 out. 2018. Disponível em: <https://www.cdp.com.br/terminal-de-miramar>
- Costa, D. (2010) Estudo e Determinação das características de lâmpadas de diferentes tipos. *Tese de Mestrado em Engenharia Eletrônica industrial e de Computadores*. Universidade do Minho. Portugal, novembro de 2010.
- Costa, T. (2015) Alternativas para o gerenciamento das lâmpadas do Porto de Belém e análise da viabilidade da implantação de sistema Led. *Monografia de Graduação em Engenharia Ambiental*. Universidade do Estado do Pará. Belém, PA, Brasil.
- Degra, A., Gobi, E. (2015) Logística Reversa: Meta de acordo setorial é recolher e reciclar 60 milhões de lâmpadas com mercúrio em 2019. *Revista LUME Arquitetura*, Ed. nº 73, 20-25.
- EMPALUX (2018) *Catálogo anual*. Curitiba, PR, Brasil. Acesso em: 27 out. 2018. Disponível em: [www.empalux.com.br](http://www.empalux.com.br)
- EPA, Environmental Protection Agency of United States (2009) *Fluorescent Lamp Recycling*. Acesso em: 25 nov. 2018. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=P1005193.txt>
- INMETRO (2018) Lâmpada LED. Acesso em: 20 out. 2018. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampadaLED/lampadaLED.pdf>
- FIOCRUZ, Fundação Osvaldo Cruz (2011) INVIVO. *Lâmpada fluorescente ou eletrônica*. Acesso: 15 out. 2018. Disponível em: <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1173&sid=9>
- Johnson, N., Manchester, S., Sarin, L., Gao, Y., Kulaots, I., Hurt, R. (2008). Mercury Vapor Release from Mercury Vapor Release from Broken Compact Fluorescent Lamps and In Situ Capture by New Nanomaterial Sorbents. *Environment Science Technology*, Rhode Island, **42**(15), 5772-5778, 2008. doi: <https://doi.org/10.1021/es8004392>
- Broken Compact Fluorescent Lamps and In Situ Capture by New Nanomaterial Sorbents. *Environment Science Technology*, Rhode Island, **42**(15), 5772-5778. doi: <https://doi.org/10.1021/es8004392>
- Kalache, N., Moreira, S., Araujo, R., Oliveira, B., Prado, T. (2013) Análise Comparativa de Sistemas de Iluminação - Viabilidade Econômica da aplicação de LED. *XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Salvador, BA, Brasil.

- Leelakulthanit, O. (2014) The factors affecting the adoption of LED Lamps. *International Business & Economics. International Business & Economics Research Journal, Tailândia*, **13**(4), 757-768, jul/ago.
- Leopoldino, C., Mendonça, F. (2017) Dificuldades de descarte de lâmpadas fluorescentes em Minas Gerais. *Congresso de Administração, Sociedade e Inovação*. 30 de novembro e 01 de dezembro de 2017. Petrópolis, RJ, Brasil.
- LEOX Soluções em LED (2018) *Iluminação LED e Projetos Luminotécnicos*. São Paulo, SP, Brasil. Acesso em: 27 out. 2018. Disponível em: [www.leox.com.br](http://www.leox.com.br)
- Maneesuwannarat, S., Vangnai, A., Yamashita, M., Thiravetyan, P. (2016). Bioleaching of gallium from gallium arsenide by *Cellulosimicrobium funkei* and its application to semiconductor/electronic wastes. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. **99**, 80-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.10.008>
- Miyashiro, M. (2016) Avaliação da eficiência energética de lâmpadas LED. *Mestrado em ciências de infraestrutura urbana*. Campinas, SP, Brasil.
- Pereira, T., Carvelli, E. (2018) Vantagens econômicas, ambientais e de durabilidade da lâmpada de Led em comparação as lâmpadas fluorescentes tubulares. *Revista UNINGÁ Review*. **33**(2), 165-175. ISSN 2178- 2571.
- Peres, A., Ávila, A. (2017) Logística Reversa de Lâmpadas Fluorescentes, Anápolis - GO. *8º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*. Curitiba, PR, Brasil.
- Pessoa, J., Ghisi, E. (2014) Relatório Técnico: *Eficiência luminosa de produtos LED encontrados no mercado brasileiro (Versão 2: revisada e ampliada)* Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, SC, Brasil.
- PHILIPS (2014) *Tabela de Iluminação Profissional*. Acesso em: 27 out. 2018. Disponível em: [www.philips.pt/iluminacao](http://www.philips.pt/iluminacao)
- Ranita, R. (2015) Sustentabilidade em Sistemas de Iluminação: O contributo da tecnologia LED. *Tese de Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente*. Universidade do Porto. Distrito do Porto, Portugal.
- Rocha, C. (2016) Gerenciamento dos resíduos sólidos em Ambiente Portuário - Porto do Recife/PE. *Dissertação de mestrado*. Programa de pós-graduação em geografia. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil.
- Sanches, E. S. (2008) Logística reversa de pós-consumo do setor de lâmpadas Fluorescentes. *V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*. Anais do CONEM.18-22 ago. Salvador, Bahia, Brasil.
- Santos, T., Batista, M., Pozza, S., Rossi, L. (2015) Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. *Revista Eng. Sanitária e Ambiental*. **20**(4), 595-602.
- Santos, E., Camacho, A., Rauber, L., Moraes, C. (2018) Desmontagem e caracterização de Lâmpadas LED para recuperação de materiais. *9º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Silva, F. (2014) *Gerenciamento de lâmpadas fluorescentes pós-consumo. Informações essenciais para implementação da Logística Reversa*. In Silva, Fernando (Eds.) Via Sapia. 1ª Edição.
- Utiluz (2012) Empresa fabricante de produtos com tecnologia LED. *LED - o que é e como funciona*. Acesso em: 21 dez. 2018. Disponível em: <https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/led/dica36.htm>