PROCEL

Eletrobras

PROCEL RELUZ

MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

ELETROBRAS
Presidência
Wilson Ferreira Jr.

Gestão de Participações em SPE e Programas de Governo - PRF
Superintendente: Renata Leite Falcão

ELABORAÇÃO
Programa Nacional de Conservação de Energia e
Eficiência Energética – PRFP

Gerente: Marcel da Costa Siqueira
Equipe:
Daniel Delgado Bouts
Luciano de Barros Giovaneli
Moisés Antônio de Santos
William Mendes de Farias

Consultoria técnica:
Genos Consultoria Ambiental
Equipe:

Bianco Fogaça
Eduardo Blanco
Gabriella Pinheiro
Guto Agnelli
Leidiane Alves
Lucas Locher
Lucas Loureiro
Raphael Cobra
Tiago Moraes
Tiffany Liu

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 4
2. LEGISLAÇÃO 5
3. PLANO MUNICIPAL INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PMGIRS) 8
4. EQUIPAMENTOS 9
5. PROJETOS 11
6. HOMOLOGAÇÃO 13
7. AQUISIÇÃO 15
8. MANUTENÇÃO 17
9. MANUSEIO 22
10. ARMAZENAMENTO E ACONDICIONAMENTO 24
11. TRANSPORTE E TRNSBORDO DE RESÍDUOS 27
12. DESTINAÇÃO FINAL 32
13. LOGÍSTICA REVERSA 38
14. IMPACTOS AMBIENTAIS 42
15. BENEFÍCIO DA GESTÃO INTEGRADA E O PLANO DIRETOR DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA 47
16. REFERÊNCIAS 49

1. APRESENTAÇÃO

Este manual tem o propósito de orientar os gestores de iluminação pública quanto aos riscos de agressão ao meio ambiente e à saúde humana decorrentes do manejo, armazenamento, transporte e destinação final dos equipamentos de iluminação pública e seus resíduos. Entre os equipamentos analisados, estão: luminárias convencionais de iluminação pública, lâmpadas HID, luminárias LED, controladores, reatores, ignitores, dispositivos de proteção contra surtos (DPS), relés fotocontroladores, cabos, conectores, entre outros.

Nesse viés, este manual visa a resguardar princípios de gestão integrada, incluindo orientações que vão além do tratamento do resíduo, como diretrizes para evitar o descarte prematuro e a troca desnecessária de equipamentos. Além disso, inclui conceitos de responsabilidade compartilhada, *design* sustentável e logística reversa. Elaborado pela Eletrobras, numa parceria das áreas de meio ambiente e conservação de energia, visa resguardar os princípios de responsabilidade social e ambiental dos agentes participantes dos contratos de financiamento do Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente – Procel Reluz.

O conteúdo deste manual está organizado da seguinte forma: atualização do arcabouço legislativo e normativo acerca do tema, incluindo diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS); apresentação e classificação dos resíduos gerados pelos equipamentos abordados; fases de gerenciamento, desde a elaboração do projeto técnico até a destinação final dos resíduos gerados pelo sistema de iluminação pública já implantado; inclusão de diretrizes para implantação e funcionamento da logística reversa e, por fim, é realizada uma discussão acerca dos principais danos à saúde humana e ao meio ambiente relacionados ao gerenciamento inadequado desses resíduos.

2. LEGISLAÇÃO

A legislação ambiental brasileira estabelece que "todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações" (Constituição Federal, Artº. 225).

Causar poluição que resulte em danos ao meio ambiente ou à saúde humana, seja pelo lançamento, processamento, armazenamento ou transporte de resíduos sólidos, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos, configura-se como crime ambiental (Lei de Crimes Ambientais - Lei 9.605/98).

2.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

De maneira a implementar a constituição, e em decorrência de novos conhecimentos e tecnologias, a legislação ambiental evoluiu com o tempo. Quanto à área dos resíduos sólidos, na qual o conteúdo do manual se encaixa, o ápice ocorreu com a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2012a).

Assim, todos os equipamentos que compõem o sistema de iluminação pública, assim como os componentes eletroeletrônicos fora de uso, devido a defeito ou desgaste, são entendidos como resíduos sólidos. A legislação federal sobre este assunto se concentra na PNRS (BRASIL, 2012a).

A PNRS foi instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010a), e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010b). Dentro dela, foram reunidos:

> *o conjunto de objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo governo federal, isoladamente ou em regime de cooperação com os estados, Distrito Federal, municípios ou particulares. (BRASIL, 2010a)*

O objetivo da PNRS é a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Das diretrizes de gestão para os resíduos sólidos da PNRS, nota-se a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Isso implica que a gestão integrada começa antes da geração e disposição do resíduo. O que inclui, por exemplo, adequações nos projetos luminotécnicos, contratações e compras.

Assim, de acordo com a ordem de prioridade da PNRS, a produção de resíduos é mínima devido à adoção de produtos eficientes, de alta durabilidade, com manutenção acessível, reciclagem de alta *performance* e mínimo de rejeitos a serem, de fato, dispostos de forma ambientalmente adequada.

Quanto ao resíduo já gerado, as decorrências da Lei são articuladas em função das classificações de resíduos propostas, que se dão pela origem e pela periculosidade. Quanto à origem, os resíduos de iluminação pública são “resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços”. Quanto à periculosidade, características são enumeradas para separar os resíduos em duas classes: perigosos e não perigosos. Contudo, a definição de parâmetros para análise ou concreta definição de um resíduo como perigoso se dá por lei, regulamento ou norma técnica.

Anualmente, a quantidade, a natureza e a destinação temporária ou final dos resíduos devem ser contabilizadas. Destaca-se que a contratação de serviços em qualquer etapa do gerenciamento do resíduo (a saber: coleta, armazenamento,

transporte, transbordo, tratamento e destinação final) não isenta o contratante perante qualquer dano ou falha que ocorra (BRASIL, 2012a).

2.2. ABNT NBR 10.004 e a Instrução Normativa (IN) nº 13

No nível federal, a ABNT NBR 10.004 e a Instrução Normativa (IN) nº 13, de 18 de dezembro de 2012, do IBAMA, dão amparo à classificação quanto à periculosidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004; BRASIL, 2012b).

Faz-se destaque a IN nº 13. Ela não define de forma específica se o LED é um resíduo perigoso como ocorre com as lâmpadas com mercúrio, mas estabelece critérios em função de possíveis substâncias e componentes presentes em eletroeletrônicos, os quais são descritos a seguir:

- Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio, de mercúrio e de luz mista contendo mercúrio;
- Produtos eletroeletrônicos fora de uso contendo clorofluorcarbonetos;
- Produtos eletroeletrônicos e seus componentes fora de uso não abrangidos nas categorias anteriores contendo componentes perigosos, como acumuladores, pilhas e outros componentes eletrônicos com metais pesados ou componentes tóxicos.

3. PLANO MUNICIPAL INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PMGIRS)

Os primeiros instrumentos da PNRS a serem listados são os planos de resíduos sólidos. São esses os instrumentos usados para atingir os objetivos propostos, dos quais se destaca a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental.

Dos vários planos, um é direcionado aos municípios, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Esse documento visa desde ao diagnóstico da situação municipal, análise das opções para manter ou implementar uma boa gestão de resíduos, planos de ação, estabelecimento de indicadores de qualidade de serviços relacionados, até a uma identificação de geradores de resíduos relevantes, etc. O conteúdo mínimo completo é descrito na Lei nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010a).

No mínimo, pela presença de lâmpadas contendo mercúrio na iluminação pública, o município deve apresentar um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS). Sua exigência e requisitos mínimos se dão pela PNRS. Dentro desse Plano, devem-se incluir os requisitos específicos para os elementos perigosos.

Na elaboração ou revisão do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), é necessário mencionar os resíduos de iluminação pública. Essa menção entra na etapa de mapeamento de resíduos perigosos municipais. Assim, as diretrizes e estratégias têm embasamento para a correção de irregularidades e propostas mais eficientes no que diz respeito a aspectos econômicos, ambientais e sociais.

4. EQUIPAMENTOS

Em 2018, cerca de 3% dos pontos de iluminação pública no Brasil possuíam tecnologia LED. Dessa forma, houve um aumento na diversidade de equipamentos de iluminação pública em uso. Com isso, todos os componentes do sistema de iluminação pública atual foram listados e os resíduos gerados pela utilização de cada equipamento foram classificados, conforme demonstra a Tabela 1. A classificação dos resíduos foi realizada utilizando as diretrizes definidas na IN nº 13 do IBAMA, de 2012, e na ABNT 10.004/2004, de acordo com composição de cada equipamento.

Tabela 1 - Classificação de resíduos da iluminação pública.

Equipamento	Tipologia do resíduo	Classe do resíduo
Luminária convencional	Resíduo sólido comum	Classe II – Não perigoso
Lâmpada HID	Resíduo Eletroeletrônico	Classe I – Perigoso
Luminária LED	Resíduo Eletroeletrônico	Classe I – Perigoso
Controlador (*driver*)	Resíduo Eletroeletrônico	Classe I – Perigoso *
DPS	Resíduo Eletroeletrônico	Classe I – Perigoso *
Reator	Resíduo Eletroeletrônico	Classe I – Perigoso *
Relé fotocontrolador	Resíduo Eletroeletrônico	Classe I – Perigoso *
Ignitor	Resíduo Eletroeletrônico	Classe I – Perigoso *
Cabo	Resíduo Eletroeletrônico	Classe I – Perigoso *
Conector	Resíduo sólido comum	Classe II – Não perigoso
Braço	Resíduo sólido comum	Classe II – Não perigoso

Fonte: Elaborada pelos autores, baseada em Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) e Brasil (2012b).

As lâmpadas HID são consideradas resíduos eletroeletrônicos perigosos, segundo

a IN nº 13 do IBAMA, de 2012. Essas lâmpadas possuem substâncias tóxicas em sua composição, como o mercúrio, o cádmio e o chumbo. Portanto, podem impactar a saúde humana e o meio ambiente de forma negativa, caso as diretrizes direcionadas a essa classe de resíduos não sejam realizadas corretamente.

Os reatores utilizados nas luminárias com lâmpadas HID de iluminação pública podem ser eletrônicos ou eletromagnéticos. Os reatores eletromagnéticos, presentes na maioria dos pontos de iluminação pública, mesmo sem a presença de substâncias perigosas (como o PCB ou o DEHP), são compostos por uma alta quantidade de cobre, assim como os cabos, sendo o cobre um material 100% reciclável que, quando descartado incorretamente, se torna prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente (INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION, 2013).

As luminárias LED são compostas por uma grande quantidade de componentes, incluindo substâncias consideradas tóxicas pela ABNT 10.004/2004. Como exemplo, observa-se a composição de algumas luminárias LED contendo arsênio, chumbo e níquel. Nota-se que, apesar de não serem definidos explicitamente como resíduos eletroeletrônicos perigosos pela IN nº 13 do IBAMA, de 2012, devido à presença dessas substâncias, a ABNT 10.004/2004 caracteriza esses resíduos como pertencentes à classe de resíduos perigosos.

Os componentes auxiliares, como os DPS, *drivers* e relés eletrônicos, são compostos por uma série de componentes eletrônicos e, por isso, podem ser classificados como resíduos eletroeletrônicos. Devido à variedade tecnológica entre os modelos comerciais, não é possível determinar com precisão se existem substâncias tóxicas na composição desses equipamentos que impliquem em sua classificação como resíduos perigosos.

Os resíduos perigosos que apresentem risco significativo a critério do órgão ambiental competente devem ser gerenciados de forma diferenciada em relação aos resíduos não perigosos. Com isso, precisam seguir diretrizes de manuseio, armazenamento, transporte e destinação referentes a essas classes de resíduos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

5. PROJETOS

Para que a substituição de luminárias com lâmpadas HID por luminárias LED seja efetiva quanto à economia de energia, é necessária a realização de projetos técnicos, seguindo os requisitos mínimos de iluminação definidos na ABNT 5101/2018 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018a). Por meio do projeto técnico, é possível obter não só a viabilidade técnica da substituição, como também a viabilidade econômica do projeto, incluindo uma estimativa de *payback*[1], diretamente relacionada à redução do consumo.

A partir da elaboração do projeto técnico de substituição de luminárias HID por luminárias LED, o gestor é capaz de definir as características técnicas e o valor das luminárias LED que devem ser adquiridas para que o projeto atinja uma redução no consumo energético e comprove sua viabilidade financeira. A troca por luminárias LED observando somente potência equivalente em relação às luminárias HID pode gerar inadequações quanto à iluminação viária, que, ao ser compensada pelo aumento da potência de luminárias LED, pode manter ou até aumentar o consumo energético.

Tendo em vista o atendimento às características ambientais e de classificação das vias locais, destaca-se a importância do projeto luminotécnico, através do qual obtêm-se as especificações técnicas e de qualidade mínimas dos equipamentos que serão adquiridos e operados pelo município, como potência mínima, eficiência luminosa mínima, distribuição luminosa, temperatura de cor das luminárias, entre outros.

1 *Payback* indica o tempo de retorno de um investimento.

Não há garantia de que os modelos de luminárias LED utilizadas nas especificações do projeto continuarão sendo fabricados. Para que a volatilidade da tecnologia não influencie no funcionamento do sistema, há necessidade de se

manter, principalmente, os padrões de iluminância, luminância, distribuição luminosa e temperatura de cor nas áreas iluminadas. Dessa forma, por mais que haja variações no consumo, mantém-se o padrão de iluminação do projeto.

Além disso, torna-se necessária a realização de um projeto-piloto, a fim de aplicar, em pequena escala, o projeto técnico. Com isso, torna-se possível a validação das especificações definidas em projeto, antes que haja a compra em larga escala dos equipamentos e que o projeto seja concluído.

Ao implantar o projeto-piloto, os gestores são capazes de identificar problemas não previstos em teoria, como a conservação dos produtos definidos ao serem expostos às intempéries locais. Caso necessário, a implantação do projeto-piloto pode alterar especificações definidas no projeto técnico, a fim de melhorar o desempenho do sistema de iluminação pública.

A PNRS define como método para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos a não geração e a redução dos resíduos gerados (BRASIL, 2012a). Com isso, caso os equipamentos não apresentem defeitos de funcionamento, os projetos não devem exigir o descarte ou a substituição dos equipamentos após o período de garantia.

Os gestores devem possuir um cadastro do parque de iluminação pública para planejamento e execução do projeto. Nota-se que esse cadastro deve ser continuamente atualizado devido às alterações geradas pela manutenção ou execução de projetos de substituição ou expansão.

6. HOMOLOGAÇÃO

A homologação dos equipamentos de iluminação pública permite avaliar a idoneidade dos fornecedores e verificar o funcionamento dos equipamentos que possuem as especificações técnicas definidas pelo projeto (DME, 2018). O processo de homologação é dado por meio do fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Processo de homologação de equipamentos de iluminação pública.

Fonte: Fluxograma elaborado pelos autores, baseado em DME (2018).

A seguir, é descrito o processo de homologação. Os fabricantes devem se cadastrar no banco de dados dos gestores dos parques de iluminação pública e então requisitar a homologação do equipamento. Com base nisso, os gestores avaliam os equipamentos inscritos que possuem especificações técnicas equivalentes às requisitadas em projeto com certificação do INMETRO. Para as luminárias LED, inclui-se como requisito a presença da etiqueta ENCE, seguindo

os requisitos definidos pela Portaria nº 20 do INMETRO (INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2017).

Os equipamentos que possuírem as especificações técnicas definidas em projeto passaram por uma série de testes e verificação de documentação. Esses testes incluem desde durabilidade do equipamento até a comparação das especificações técnicas informadas no catálogo do fornecedor, com os valores medidos nos testes de operação.

A verificação da documentação é realizada com base na análise da regularidade fiscal e jurídica, do licenciamento ambiental, entre outros. Simultaneamente, é realizada a fase de testes de operação em campo: os gestores podem incluir requisitos de durabilidade e operação em condições climáticas específicas da região em que o projeto será implementado, principalmente em relação às luminárias LED. Com isso, os materiais aprovados são homologados.

Outras diretrizes que podem ser incluídas na fase de testes são: a compatibilidade entre *drivers* e o *ecodesign* como diretrizes para facilitar a reciclagem e reutilização dos equipamentos, bem como a redução de impactos ambientais gerados pelo processo de fabricação.

As diretrizes da PNRS, quanto à redução da geração de resíduos, são atendidas por meio da inclusão da homologação no contrato de compras, colaborando para que o equipamento apresente o desempenho esperado durante toda sua vida útil.

7. AQUISIÇÃO

O processo de compra é o momento ideal de se aplicar a ordem de prioridade da PNRS, a saber: não geração, redução, reutilização, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A não geração, redução e reutilização de resíduos dependem de aspectos do produto comprado. Sendo assim, a etapa de homologação dos produtos discutida anteriormente é fundamental.

No ato da compra, os aspectos técnicos são garantidos pela homologação, mas outros pontos são definidos no contrato de compra. Alguns desses elementos são relacionados a aspectos de manutenção, destinação final de equipamento e garantia.

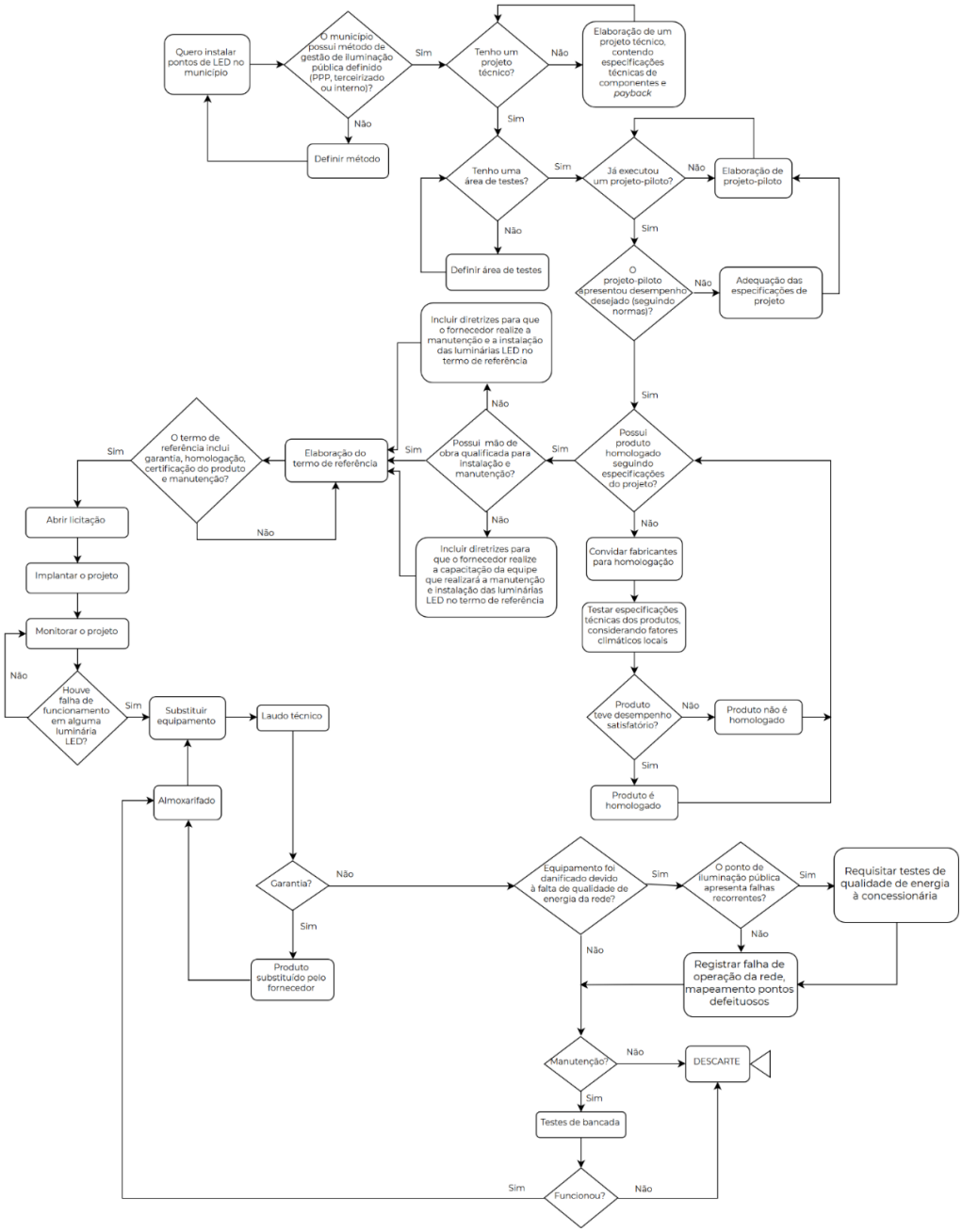
Outro elemento contratual a ser negociado na fase de compra é a previsão de logística reversa. Nesse caso, deve-se atentar para a sua devida descrição, de maneira a incluir diretrizes para o transporte, condições de armazenamento temporário do resíduo, registro de operação, especificação de equipamentos recolhidos, como quantidade ou tecnologia, e certificação da destinação final ambientalmente adequada.

No caso das compras dos materiais serem realizadas por terceiros, o termo de contratação deve especificar a obrigatoriedade de todos os requisitos citados anteriormente, para que o terceiro também os cumpra de maneira adequada.

Na Figura 2, a seguir, um fluxograma de todas as boas práticas é montado, de maneira a desencadear um bom processo de aquisição, em especial na substituição ou expansão do parque de iluminação pública com tecnologia LED.

Para isso ocorrer, o processo evidencia a importância de outras etapas, como a de elaboração de projetos.

Figura 2 - Fluxograma para integração de boas práticas para elaboração do projeto de substituição ou expansão do parque de iluminação pública com tecnologia LED.



Fonte: Fluxograma elaborado pelos autores, baseado em DME (2018).

8. MANUTENÇÃO

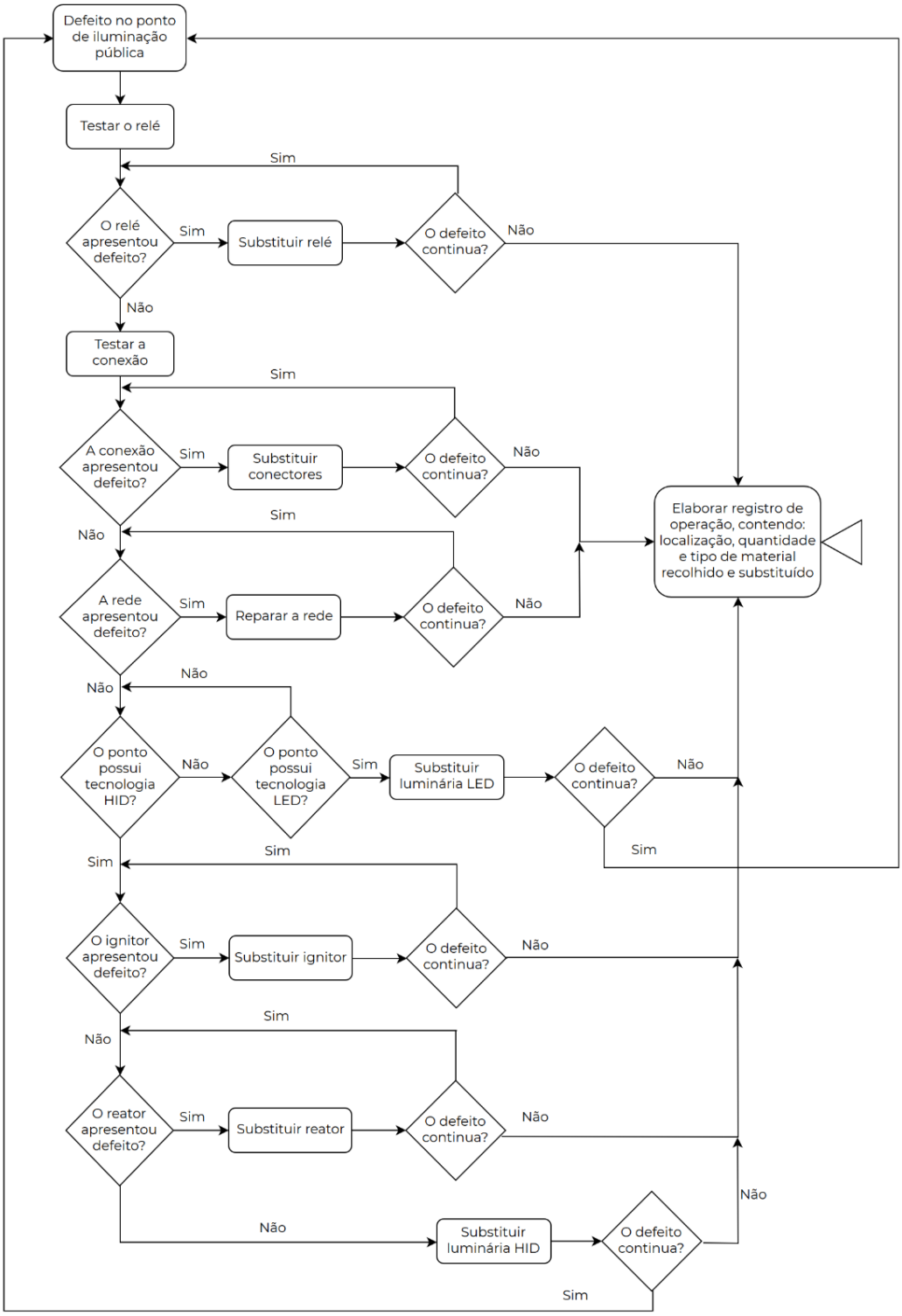
A manutenção do sistema de iluminação pública está relacionada diretamente com os canais de reclamações (SAC, *sites*, aplicativos, entre outros) e com o monitoramento dos pontos de iluminação pública.

Com base no registro dos pontos defeituosos, realizado tanto pela população quanto pela equipe de monitoramento, os gestores têm acesso à localização do ponto defeituoso e qual tipo de problema detectado (luz acesa durante o dia, luz apagada durante a noite, luz piscando, entre outros).

As equipes de manutenção do sistema de iluminação pública, formadas por mão de obra interna ou terceirizada, devem ser organizadas por zonas de manutenção, levando para campo equipamentos necessários para a realização dos reparos relatados, sem sobreposição de áreas de operação. A ilustração do procedimento realizado em campo pode ser vista na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

Outra forma de localizar defeitos no sistema de iluminação pública se dá pela utilização da telegestão. Essa tecnologia pode ser implementada em parques de iluminação pública com tecnologia LED e permite o monitoramento a distância de sua operação. Dessa forma, o gestor de iluminação pública pode identificar pontos com operação incorreta remotamente e notificar a equipe de manutenção sobre a falha detectada.

Figura 3 - Procedimento de manutenção em campo



Fonte: Fluxograma elaborado pelos autores, baseado em DME (2018).

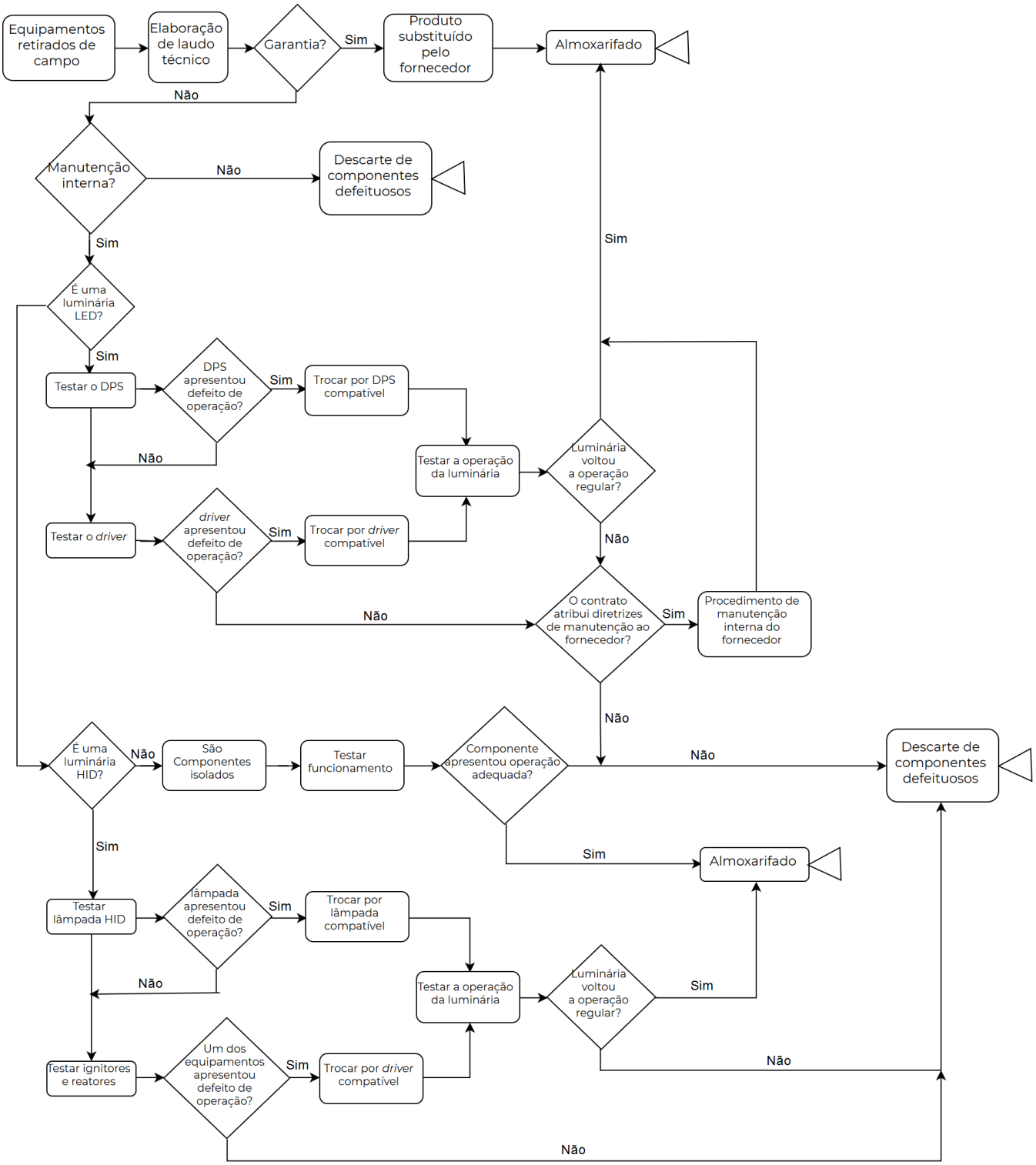
Cada equipe deve retornar à base com um registro de materiais retirados de campo e de materiais novos instalados. Com um sistema de manutenção integrado (online), o gestor é capaz de acompanhar cada processo de manutenção, validando os procedimentos realizados.

Todos os equipamentos retirados de campo devem ser testados em bancada para verificar a funcionalidade e viabilidade de manutenção. Os equipamentos que apresentarem características de operação regulares retornam ao almoxarifado e, quando necessário, são reutilizados em campo.

O método de manutenção pode variar para cada equipamento. Para equipamentos mais simples e baratos, como os relés fotocontroladores, reatores, ignitores, cabos e conectores, a manutenção interna desses equipamentos se torna inviável economicamente. Além disso, exige um conhecimento técnico específico, o qual pode não ser encontrado nas equipes de manutenção de iluminação pública.

Para as luminárias LED de difícil acesso aos componentes internos em campo, sugere-se a abertura e testes dos equipamentos internos, como *drivers* e DPS, na bancada de testes. Com isso, esses módulos podem ser trocados por módulos compatíveis e a luminária LED pode voltar a campo, caso os novos testes indiquem a operação regular do equipamento. O fluxograma que representa os procedimentos de teste em bancada pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma de manutenção em bancada.



Fonte: Fluxograma elaborado pelos autores, baseado em DME (2018).

Com a realização do procedimento de manutenção para equipamentos de iluminação pública, permite-se a não geração, a redução e a reutilização dos resíduos, uma vez que os equipamentos reparados voltam a campo. Isso se dá pelo armazenamento de componentes funcionais recuperados do campo para serem usados em operações de substituição. Ressalta-se que essa dinâmica de minimizar a produção de resíduos e maximizar a reutilização são diretrizes previstas pela PNRS (BRASIL, 2012a).

9. MANUSEIO

Entende-se por manuseio de resíduo qualquer manipulação e movimentação deste em qualquer estágio de seu gerenciamento para descarte.

É necessário cuidado com o manuseio para resíduos de iluminação pública devido a dois riscos vinculados à tecnologia HID de lâmpada:

- Cortes pelo manuseio de vidro quebrado;
- Contaminação por mercúrio gasoso no caso de rompimento do tubo de descarga da lâmpada HID.

Assim, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) é essencial em todos os estágios de manuseio de lâmpadas quebradas. A composição adequada para o caso inclui luvas, botas plásticas e avental.

Dentro de locais fechados, o caso de quebra de lâmpadas do tipo HID exige cuidado especial. Todas as suas variações, como a de vapor de mercúrio, de sódio e metálico, apresentam um tubo de descarga que contém mercúrio. Assim, o primeiro passo é verificar a integridade desse tubo após o incidente.

Caso o tubo seja violado, antes de iniciar qualquer procedimento de limpeza, deve-se colocar os EPI e ventilar o local abrindo todas as portas e janelas. Após a ventilação, o local deve ser limpo por aspiração. Todos os resíduos coletados devem ser lacrados em embalagem fechada, a fim de impedir maior liberação de vapor de mercúrio do resíduo.

O manuseio deve distinguir os equipamentos servíveis dos não servíveis. Com a crescente onda de substituição tecnológica de vapor de sódio para o LED, espera-se acúmulo de componentes servíveis. Deve-se prever a alocação desses

separada dos resíduos e dar prioridade a seu uso para insumos da manutenção do parque que ainda usa tecnologia HID.

Na Tabela 2, listam-se as normas regulamentadoras (NR) que são de interesse direto quanto à salubridade, segurança e prevenção de acidentes e doenças no local de trabalho. Recomenda-se verificar constantemente se essas normas estão atualizadas.

Tabela 2 – Normas regulamentadoras mais recentes com destaque nas operações de manuseio de resíduos de iluminação pública.

Normas Regulamentadoras	**Título**
NR 6 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2018a)	Equipamentos de Proteção Individual - EPI
NR 10 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2016a)	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
NR 11 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2003)	Transporte, Movimentação, Armazenamento e Manuseio de Materiais
NR 15 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2018b)	Atividades e Operações Insalubres
NR 35 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2016b)	Trabalho em Altura

Fonte: Elaborada pelos autores.

Faz-se uma menção à NR 15, pois ela estabelece um limite de concentração máximo a ser detectado no ambiente de trabalho. Se as recomendações forem seguidas, é esperado que o limite não seja ultrapassado, mas, caso seja, o grau de insalubridade do ambiente é considerado máximo.

Já a NR 35 se aplica mais no contexto da manutenção, no qual os materiais são retirados do campo para depois serem avaliados se são inservíveis ou servíveis em teste de mesa.

10. ARMAZENAMENTO E ACONDICIONAMENTO

Como descrito anteriormente, os equipamentos de iluminação pública, após o uso, podem ser caracterizados, em sua maioria, como resíduos eletroeletrônicos e/ ou perigosos. Atualmente, não há uma norma ou legislação direcionada diretamente ao armazenamento de resíduos eletroeletrônicos.

Enquanto o acordo setorial de eletroeletrônicos não entra em vigor, o armazenamento desses resíduos deverá ser realizado seguindo diretrizes de armazenamento de resíduos perigosos definidas com base na NBR 12235/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

Segundo a NBR 12235/1992, os resíduos perigosos devem ser armazenados em local coberto, não expostos às intempéries, sem contato direto com o solo. Além disso, a norma indica o treinamento dos funcionários como uma medida preventiva para o tratamento de resíduos e toma como diretriz que o local de armazenamento deve possuir acesso restrito aos funcionários responsáveis pelo local.

Os casquilhos de lâmpadas HID devem ser armazenados em tambores lacrados, a fim de impedir que o mercúrio liberado pela quebra do equipamento contamine o local de armazenamento.

O armazenamento de braços, resíduos sólidos não perigosos, pode ser realizado seguindo as diretrizes da NBR 11174/1990 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990). Essa norma indica especificações de local e define requisitos para o armazenamento adequado de resíduos não perigosos, incluindo diretrizes para que resíduos perigosos não sejam dispostos em um mesmo compartimento que resíduos não perigosos, evitando sua contaminação.

Os locais de armazenamento, representados pela Figura 5 e Figura 6, ilustram, respectivamente, um armazenamento de resíduos oriundos do sistema de iluminação pública adequado e outro inadequado.

Figura 5 - Armazenamento adequado de resíduos oriundos da iluminação pública.

Figura 6 - Armazenamento inadequado de resíduos oriundos da iluminação pública.

A PNRS define que toda operação de entrada ou saída de resíduos deve ser registrada, a fim de contribuir com a rastreabilidade de resíduos.

A entrada do resíduo no armazenamento e acondicionamento temporário marca o ponto crítico para garantir o rastreio. Em caso de falha desse controle, o art. 56 da Lei nº 9.605 (Lei dos crimes ambientais), de 12 de fevereiro de 1998, prevê penalização a quem não armazena, coleta e transporta resíduos perigosos, seguindo diretrizes previstas em leis e regulamentos (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2014).

É normal que se contrate empresas para fazer o gerenciamento dos resíduos após seu armazenamento temporário. Nesse ponto, nota-se que a PNRS determina que a contratação de empresas terceirizadas não isenta pessoas físicas ou jurídicas, geradoras dos resíduos, da responsabilidade por qualquer dano decorrente do gerenciamento inadequado do resíduo, ou seja, a responsabilidade é compartilhada (BRASIL, 2012a).

11. TRANSPORTE E TRANSBORDO DE RESÍDUOS

O processo de deslocamento interno e do transporte externo dos resíduos provenientes do sistema de iluminação podem ser divididos em três fases:

1ª Fase - Retirada do equipamento: transporte dos componentes do sistema de iluminação pública retirados do local de instalação para o local de manutenção ou testes.

2ª Fase - Intermediário: transporte dos equipamentos retirados do local de manutenção para um local de armazenamento temporário/ intermediário ou central à espera de logística reversa, reciclagem, tratamento ou disposição final adequada.

3ª Fase - Destinação final: transporte do local de armazenamento temporário/ intermediário ou central para o local de logística reversa, reciclagem, tratamento ou disposição final adequada.

O transporte intermediário pode ainda incluir o transporte do local de armazenamento temporário/ intermediário até o local de armazenamento central.

As fases podem ser executadas por outros agentes, que não o gestor direto da iluminação pública. É importante ressaltar que, mesmo as fases sendo executadas por outros agentes, os gestores de iluminação pública são responsáveis por qualquer dano gerado pelo transporte inadequado dos resíduos, seguindo as diretrizes da PNRS.

O transporte de qualquer produto perigoso, incluindo os resíduos, deve atender ao Decreto nº 96044/1998 (BRASIL, 2002) e à portaria nº 204/1997 do Ministério dos Transportes (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 1997). Esses documentos

indicam diretrizes, como o porte da ficha de emergência para o transporte desses produtos, a qual deverá acompanhar o material desde sua origem até a destinação final.

A NBR 7500 determina diretrizes para o transporte via terrestre, essa norma apresenta um parecer geral sobre boas práticas para o transporte de equipamentos como identificação do motorista e do veículo. Além disso, a norma representa símbolos e rótulos que devem ser utilizados para o transporte de resíduos.

Outras diretrizes que devem ser seguidas são apresentadas nas normas NBR 7501, NBR 7503, NBR 9735, NBR 14619 e na resolução 420 na ANTT. Essas normas não tratam especificamente de resíduos perigosos, mas abrangem esse conteúdo (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2004; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011, 2017, 2018b, 2018c, 2018d).

Algumas diretrizes do arcabouço legislativo e normativo referentes ao transporte de resíduos perigosos e não perigosos podem ser observadas na

Tabela .

Tabela 3 - Diretrizes para o transporte de resíduos.

Arcabouço legislativo e normativo	**Objetivo**	**Diretrizes**
ABNT NBR 13.221/2017 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003)	Estabelecer normas para o transporte de resíduos não perigosos; Direcionar para as normas que tratam do transporte de resíduos específicos; Regulamentar o transporte de resíduos de forma a atender aos requisitos mínimos de proteção ao meio ambiente, à saúde humana e às questões de segurança.	- O transporte de resíduos deve ser realizado com equipamentos bem conservados, que atendam às especificações da classe de resíduos; - O acondicionamento de resíduos deve ser adequado para que não haja vazamentos, quedas ou contaminação; - Os resíduos devem estar protegidos de intempéries; - Resíduos perigosos devem ser segregados em relação ao pessoal relacionado ao transporte; - O transporte de resíduos deve ser acompanhado de um documento de controle, ficha de emergência e envelope (com informações especificadas na norma), até a destinação final; - Proíbe-se o transporte de resíduos mistos, como: produtos de consumo humano ou animal, medicamentos, substâncias tóxicas, entre outros. Esses resíduos devem ser devidamente separados e acondicionados separadamente; - Proíbe-se o transporte de resíduos fora do licenciamento da empresa de transporte; - Resíduos passíveis de descontaminação só deverão ser transportados por empresas previamente autorizadas e o resíduo descontaminado deve ser transportado com documentação e identificação específicas; - O transporte de resíduos deve atender às legislações federais, estaduais e municipais vigentes, incluindo documentação pertinente.
ANTT 5232/2016 (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES,	Regulamentar o transporte de resíduos perigosos	- Requisitos técnicos para o transporte; - Classificação de resíduos de acordo com a tabela ONU; - Tabelas de precedência de riscos; - Quantidade de resíduo transportado e

Arcabouço legislativo e normativo	Objetivo	Diretrizes
2016)		respectiva identificação na documentação fiscal; - Identificação dos resíduos em embalagens e sobre embalagens; - Preenchimento de uma lista contendo características do resíduo transportado, do motorista e do veículo, documento que deve ser verificado para a liberação ou não da carga.
DECRETO Nº 96.044/1998 Modificado pelo Decreto Nº 4.097/2002 (BRASIL, 2002)	Aprovar o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos	- Proíbe o transporte de produtos perigosos com qualquer outra mercadoria, com exceção a produtos compatíveis (as incompatibilidades de produtos são apresentadas no documento).
Portaria nº 204 (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 1997)	Aprovar as instruções complementares aos Regulamentos dos Transportes Rodoviário e Ferroviário de Produtos Perigosos e estabelecer prazos para entrada em vigor	- Classificação de produtos perigosos; - Classificação de resíduos perigosos; - Especificações para o transporte rodoviário e ferroviário para cada classe de produtos perigosos; - Embalagens dos produtos e resíduos para o transporte.
INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 9 DE MAIO DE 2012, IBAMA (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E	Estabelecer procedimento transitório de autorização ambiental para o transporte marítimo, terrestre e fluvial de produtos	- O Ibama será responsável pelo desenvolvimento, implantação e operação do Sistema Nacional de Transporte de Produtos Perigosos. - Sistema Nacional de Transporte de Produtos Perigosos deverá ser automatizado, interativo e simplificado, via *internet*. - Enquanto o sistema *online* não for aplicado, o Ibama deve emitir a "Autorização Ambiental

Arcabouço legislativo e normativo	Objetivo	Diretrizes
DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2012)	perigosos	de Transporte Interestadual de Produtos Perigosos" para pessoas físicas ou jurídicas que contemplem os requisitos do Certificado de Regularidade Ambiental.

Fonte: Elaborada pelos autores, baseada em Genos Consultoria Ambiental (2018).

Em novembro de 2018, foi divulgado pelo IBAMA o resultado da consulta pública para aperfeiçoamento da Minuta de Instrução Normativa nº 3, de agosto de 2017, que trata de diretrizes para transporte interestaduais de resíduos eletroeletrônicos nas cadeias de logística reversa de eletroeletrônicos (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2017). Após a consolidação de tal Instrução Normativa, os gestores deverão adequar o transporte de logística reversa, a fim de incluir as diretrizes estabelecidas pelo documento.

12. DESTINAÇÃO FINAL

A PNRS discorre sobre “destinação final ambientalmente adequada”, que é definida como os processos finais de gerenciamento do resíduo admitidos pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa). Esses processos são sujeitos a observar as normas operacionais específicas, a fim de evitar riscos ou danos à saúde pública e à segurança e de minimizar os impactos ambientais adversos.

Dos processos mencionados, faz-se destaque para a reutilização, reciclagem, recuperação, aproveitamento energético e outras destinações finais aceitas pelos órgãos competentes, incluindo a disposição final dos rejeitos em aterros.

Dentro da iluminação pública, existem dois fluxos de destinação final: o das lâmpadas contendo mercúrio e dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

12.1. Destinação final de lâmpadas contendo mercúrio

As lâmpadas que contêm mercúrio na iluminação pública são as de vapor de mercúrio, de sódio, misto e metálico. Todas elas estão incluídas no Acordo Setorial de Lâmpadas, cuja entidade gestora é a Reciclus. Como característica principal desse resíduo, tem-se a pouca variedade de composição e de componentes. A logística reversa para esse tipo de resíduo será abordada no próximo capítulo (13).

O tratamento final inclui a descontaminação dos componentes da lâmpada do mercúrio e a segregação dos componentes tratados para as cadeias de reciclagem (plástico, vidro e metal) ou então para a disposição final

ambientalmente adequada. Sem estes, ou com a incorreta disposição final, ocorre o risco de contaminação com o metal pesado.

O método principal de tratamento das lâmpadas é a quebra em ambiente fechado, aquecimento, coleta e tratamento dos gases. No fim, os materiais sólidos são separados em vidros, metais e plásticos e encaminhados para diferentes fluxos de reciclagem. O mercúrio é disposto em aterros de resíduos perigosos, pois a sua procura no mercado é baixa.

A etapa de aquecimento é a principal em separar o mercúrio metálico dos outros componentes. Estando os elementos já segregados (pelo processo de fragmentação), a temperatura é elevada de maneira a evaporar o mercúrio presente. Assim, todos os gases produzidos são coletados e tratados. Por tratamento, tem-se a filtragem simples para reter o mercúrio em um meio filtrante a ser descartado ou na destilação do produto em metal líquido.

12.2. Destinação final de luminárias LED e equipamentos eletroeletrônicos

Esse tipo de resíduo possui grande variedade de componentes. Os riscos principais do manuseio inadequado são decorrentes dos materiais tóxicos, contidos nos eletroeletrônicos e gerados em processos inadequados de reciclagem e perda de capital a ser explorado nos componentes com grande integridade e valor agregado no processo de reciclagem (metais).

Os materiais tóxicos mais comuns são metais pesados, como chumbo, muito usado em soldas de eletrônicos, e aditivos de diversas funções, como retardante de chamas. Em específico no *chip* do LED, substâncias como arsênio podem ser empregadas.

O tratamento do resíduo eletroeletrônico se dá por uma sucessão de operações unitárias que visam primeiro a desagregar os componentes para, depois, separá-

los usando suas propriedades físicas. Por fim, o material separado segue para processos mais refinados para recuperar os materiais de interesse.

12.3. Gestão integrada na disposição final

O repasse dos resíduos às entidades qualificadas para a sua destinação não inibe o gerador de suas responsabilidades. Para cumprir com elas, os responsáveis pelo gerenciamento da iluminação pública têm que realizar:

- Verificação do receptor: a competência técnica, documentação e licença de operação compatível com a atividade do receptor do resíduo a ser tratado devem ser verificadas anualmente;
- Registro dos resíduos gerados: todos os resíduos a serem tratados têm que ser registrados antes da entrega;
- Coleta de certificados: comprovam a entrega à entidade competente e relatam procedimento adotado ao resíduo;
- Conferir o registro de destinação com os certificados coletados: comprova-se a destinação final adequada se os números baterem; caso não batam. será necessário identificar a causa.

12.4. Contratação de empresas terceiras

Há o caso em que a terceirização só atua na destinação final, contudo, outras possibilidades de arranjo permitem que elas atuem nas áreas de manutenção, projeto e obras de iluminação pública.

A contratação nessas outras áreas deve obrigar a empresa a fazer todas as etapas de registro dos resíduos de iluminação, coleta dos certificados de tratamento e comparação dos dados. Tudo isso deve ser repassado ao setor da prefeitura responsável por acompanhar as empresas.

12.5. Consórcios

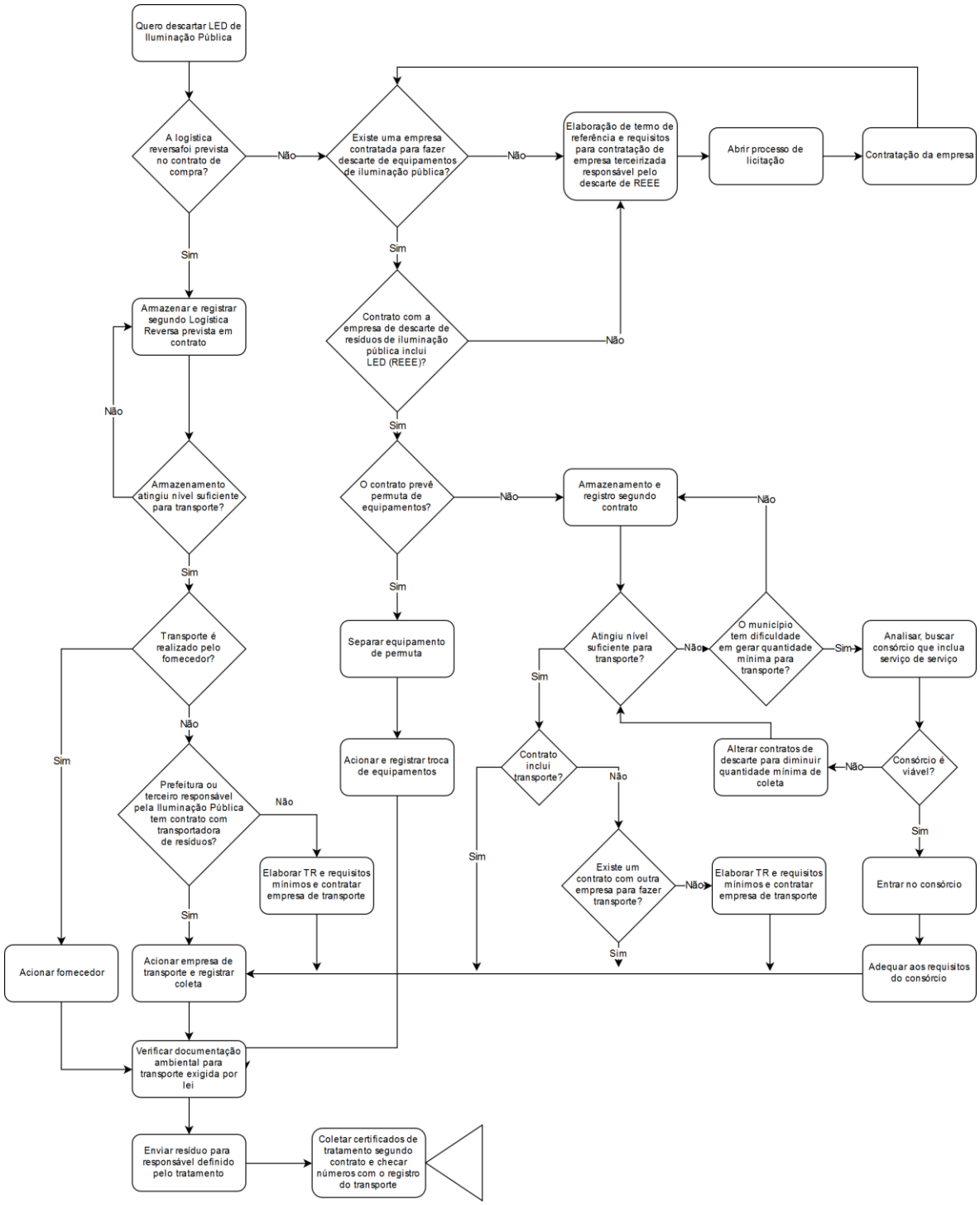
A modalidade de consórcio é uma alternativa a ser analisada no caso de dificuldades administrativas, financeiras e organizacionais no gerenciamento dos resíduos.

Os sinais desses fatores são dificuldades no armazenamento temporário, o que inclui desde instalações inadequadas, períodos de armazenamento maior que um ano e falta de registro dos descartes. Dessa maneira, o contrato de consórcio deve priorizar esses pontos.

O escopo do contrato pode abranger todas as etapas do gerenciamento de iluminação pública, mas não exclui a necessidade de acompanhamento da prefeitura. Nota-se também que problemas decorrentes de pouca geração de resíduos são contornados pela administração e atuação do consórcio em mais de uma cidade ao mesmo tempo.

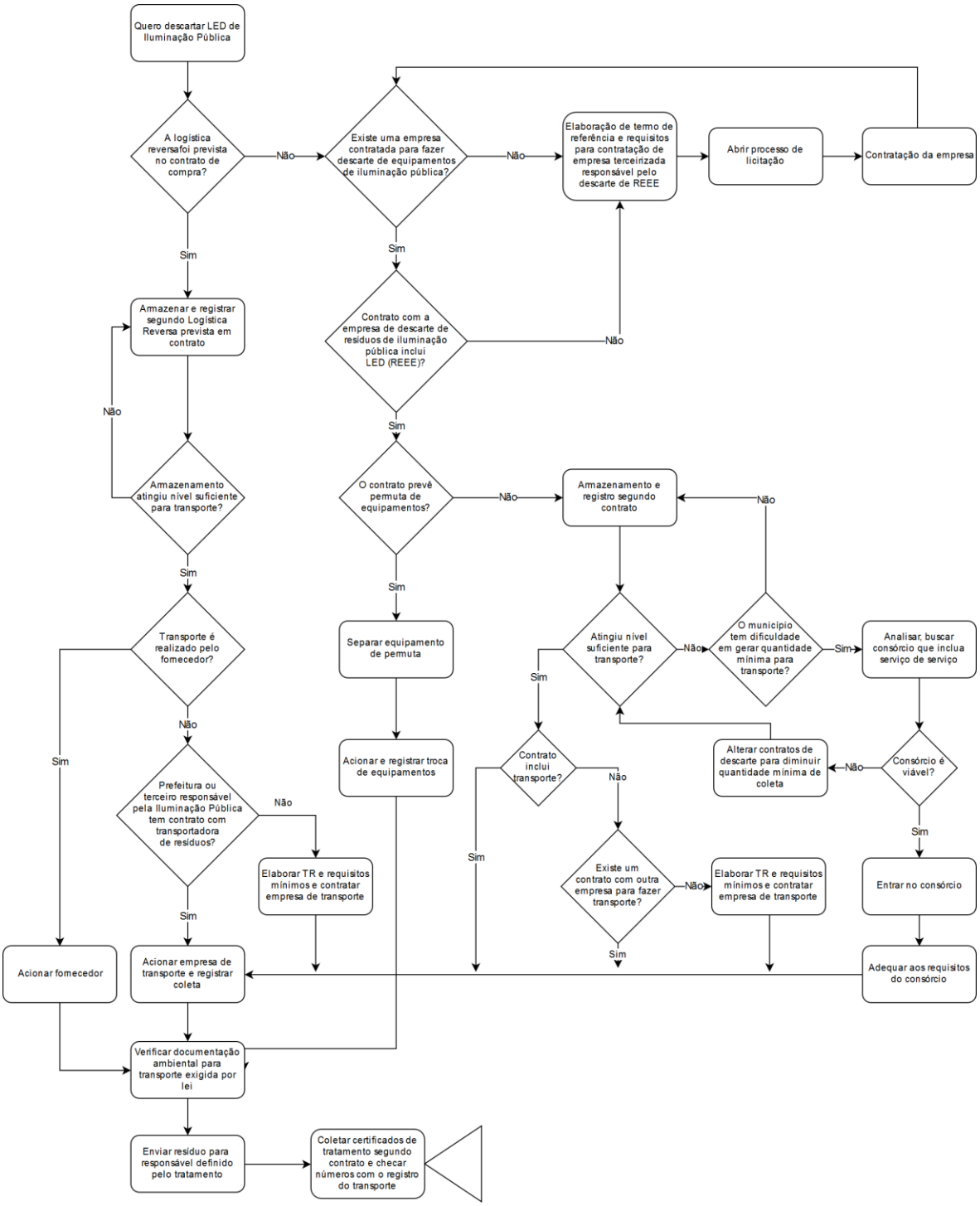
12.6. Fluxograma de decisões

Na



, a seguir, foi montado um fluxograma de maneira a orientar o processo de gerenciamento de resíduos de luminárias LED em específico.

Figura 7 – Fluxograma para integração de boas práticas no descarte de equipamentos de iluminação pública LED dos municípios brasileiros.



Fonte: Elaborada pelos autores, baseada em Genos Consultoria Ambiental (2018).

13. LOGÍSTICA REVERSA

A PNRS define “logística reversa” como um instrumento de desenvolvimento econômico e social. Ela é constituída por ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição do resíduo ao setor empresarial, a fim de ser reaproveitado no ciclo do próprio produto, de outras linhas de produção ou ter uma destinação final ambientalmente correta.

A logística reversa é um meio para implementar a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, de modo a obrigar o retorno dos produtos aos seus fabricantes, comerciantes, importadores e distribuidores sem depender do sistema público de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos. Por meio dela, todos os envolvidos no ciclo de vida do produto têm responsabilidades para garantir um final de vida adequado ao resíduo.

Pela PNRS, a organização da logística reversa ocorre preferencialmente pelo firmamento de um Acordo Setorial, um ato de natureza contratual, entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. O acordo define uma entidade gestora e suas responsabilidades, a implantação do custo do sistema no preço de venda dos produtos, os diferentes geradores de resíduos e maneiras compatíveis de cada um participar e, por fim, metas de desempenho para o sistema.

Outras formas de instituir a logística reversa se dá por regulamentação do poder executivo. Caso nenhum dos dois casos citados exista, a implementação da logística reversa acontece por um termo de compromisso, envolvendo os mesmos atores do acordo setorial.

A PNRS obriga a estruturação da logística reversa para alguns tipos de resíduos. Desses, destacam-se as lâmpadas e os equipamentos eletroeletrônicos, pois são as mesmas duas tipologias de resíduos principais geradas na iluminação pública.

13.1. Acordo Setorial de Logística Reversa de Lâmpadas

O acordo sobre essa tipologia de resíduo foi firmado em 2014, valendo para todas as lâmpadas com exceção às embalagens vazias descartadas, LEDs, halógenas e incandescentes.

Nas definições estabelecidas no acordo, a iluminação pública é um gerador não domiciliar, pois é um ator jurídico, público ou privado, que gera resíduos de lâmpadas em função do seu objetivo social, de maneira que a participação no acordo se dá por meio de um contrato direto com a entidade gestora, atualmente a Reciclus. Outra forma de viabilizar a logística reversa é os atores da Iluminação Pública, em escala local, realizarem contratos com terceiros para sua execução, quer sejam integrados ao processo de compra de novas lâmpadas ou *a posteriori*.

O tratamento final inclui a descontaminação dos componentes da lâmpada do mercúrio e a segregação dos componentes tratados para as cadeias de reciclagem (plástico, vidro e metal) ou então para a disposição final ambientalmente adequada. Sem esses cuidados, ou com a incorreta disposição final, ocorre o risco de contaminação com o metal pesado.

A entidade gestora organiza o transporte e coleta, ficando a cargo do ator que a contratou apenas informar quando os níveis de coleta foram atingidos. O recurso financeiro que sustenta a entidade gestora e a logística reversa provém dos fabricantes e importadores das lâmpadas.

13.2. Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos incluem as luminárias LED, seus componentes (como o *driver*), e os equipamentos comuns também na tecnologia HID: reatores, relés fotovoltaicos, ignitores e fiação. Ainda está em processo a definição sobre se tais equipamentos integrarão futuramente o acordo setorial de lâmpadas ou o de eletroeletrônicos.

O Acordo Setorial de Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos não foi firmado a nível federal, mas entende-se que isso está em processo. As luminárias LED e seus componentes utilizados na iluminação pública, por não serem consideradas de uso doméstico, devem ser tratados da mesma forma que o descrito no item 12.1, ou seja, a sua logística reversa deve ser realizada mediante um contrato direto com uma entidade gestora ou por meio da realização de contratos com terceiros cujo serviço pode ser previsto juntamente com a aquisição de novas luminárias ou *a posteriori*.

Nessa negociação, os pontos essenciais a serem incluídos em contrato são:

- Condições de armazenamento temporário: as especificações para garantir o armazenamento seguro do resíduo antes da retirada e o acesso para a coleta do resíduo devem ser descritos;
- Transporte qualificado: a responsabilidade de organizar a coleta fica definida para o fabricante ou fornecedor preferencialmente; os requisitos legais dos transportes devem ser cobrados no contrato e na operação de coleta;
- Tratamento eficiente: as especificações das destinações finais preferenciais devem ser definidas, assim como a exigência da competência;
- Certificado de destinação final: padrão de certificado da destinação final do resíduo com descrição do processo usado e resultados do tratamento;

- Inclusão dos custos futuros no transporte e tratamento no valor da compra: o valor do transporte e do tratamento deve ser considerado no ato da compra para impedir a falta de verba no momento do descarte.

14. IMPACTOS AMBIENTAIS

Nesta seção, tratar-se-á apenas dos impactos ambientais de fim de vida dos resíduos de iluminação pública e no seu gerenciamento. Os grandes atores de riscos ambientais são os componentes presentes nas lâmpadas e eletroeletrônicos.

Na Tabela 3, os elementos presentes nos resíduos são listados e relacionados com a sua toxidade humana. Outras informações são sobre em quais componentes eletrônicos eles estão presentes. Na Figura 8, resumem-se as informações de forma ilustrativa.

Tabela 3 – Toxicidade dos elementos presentes nos resíduos de iluminação.

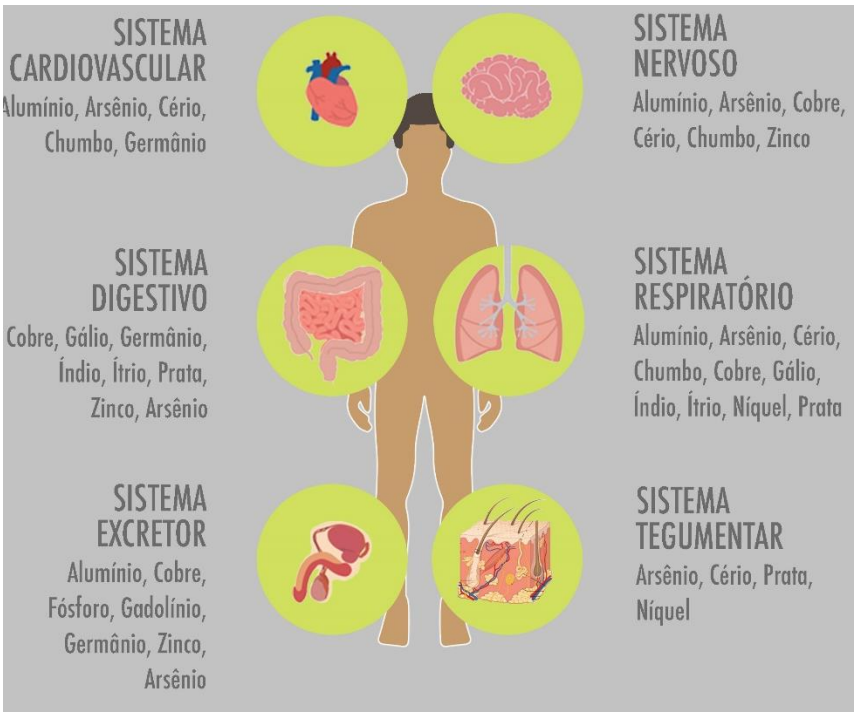
Material	**Toxicidade Humana**	**Tecnologia**	**Vias de contaminação**
Alumínio	Baixas concentrações: danos ao sistema nervoso (perda de memória, coordenação deficiente, tremor e convulsões); problemas respiratórios (asma, tosse, rinite e diminuição da função pulmonar); disfunção renal; anemia; diminuição dos glóbulos vermelhos. Altas concentrações: aumento da possibilidade de Alzheimer; esclerose lateral (medula espinhal e cérebro); demência parkinsoniana; degeneração neural.	HID e LED	Ingestão
Arsênio	Baixas concentrações: náusea; dor de cabeça; tontura; anemia; diminuição da produção de glóbulos vermelhos e brancos. Baixas concentrações por períodos prolongados: problemas respiratórios (lesão pulmonar e bronquite); distúrbios no sistema cardiovascular; distúrbios no sistema nervoso; lesões na pele; câncer (principalmente no pulmão, bexiga ou pele). Alta concentração: morte.	LED	Ingestão

Bário	Baixas e médias concentrações: acúmulo nos ossos. Exposição contínua: gastroenterite aguda; perda de reflexos; paralisia muscular progressiva.	HID	Inalação (de sólidos), ingestão
Cério	Baixas concentrações: não há riscos à saúde humana. Altas concentrações: disfunção celular; problemas pulmonares (inflamação e fibrose); irritação da pele; formação de micronúcleos na medula óssea e células sanguíneas.	HID e LED	Inalação
Chumbo	Baixas concentrações: dor de cabeça; irritabilidade; dor; insônia; inquietação; anemia. Baixas concentrações por períodos prolongados: disfunção de qualquer órgão do corpo (principalmente fígado, coração e rins); inibição da produção de espermatozoides. Altas concentrações: danos ao cérebro; morte.	HID e LED	Inalação ou ingestão
Cobre	Baixas concentrações: vômito; diarreia; fraqueza. Baixas concentrações por períodos prolongados: úlcera gastrintestinal; lesão renal; problemas pulmonares; necrose hepática; hemólise; disfunção dos tecidos do fígado, rim, cérebro e córnea. Altas concentrações: morte.	HID e LED	Ingestão
Estanho	Médias e baixas concentrações: irritação séria dos olhos; irritação respiratória. Altas concentrações: náusea e vômito (ingestão); hipermobilidade gastrointestinal (ingestão); danos aos órgãos internos; geração de tumores.	HID	Oral; contato dérmico (pó)
Fósforo	Altas concentrações: insuficiência renal.	LED	Ingestão
Gadolínio	Altas concentrações: fibrose; insuficiência renal.	LED	Inoculação
Gálio	Baixas concentrações: vômito; problemas gastrintestinais. Baixas concentrações por períodos prolongados: problemas pulmonares (lesões e inflamação); câncer. altas concentrações: coma; morte.	LED	Inalação
Germânio	Baixas concentrações: perda de peso; fadiga; distúrbios gastrintestinais (náusea e vômito); anemia; fraqueza muscular; insuficiência renal. Baixas concentrações por períodos prolongados: insuficiência renal; degeneração tubular epitelial vacuolar; acúmulo nos rins e células.	LED	Ingestão

Índio	Baixas concentrações: vômitos; problemas gastrintestinais. Baixas concentrações por períodos prolongados: câncer; problemas pulmonares (inflamação e pneumócitos). Altas concentrações: coma; morte.	LED	Inalação
Iodeto de cálcio	Médias e altas concentrações: irritação de pele e olhos.	HID	Contato dérmico
Iodeto de sódio	Baixas concentrações: irritação de pele e olhos. Médias concentrações: má formação de feto. Altas concentrações: morte.	HID	Inalação, ingestão ou contato dérmico
Iodeto de Tálio	Baixas concentrações: mudança em atividade motora; fraqueza muscular; diminuição de frequência cardíaca. médias e altas concentrações: sonolência; comportamento depressivo; hipermobilidade gastrointestinal; diarreia.	HID	Oral ou aplicação subcutânea
Ítrio	Baixas concentrações por períodos prolongados: embolia pulmonar; câncer de pulmão; fibrose; acúmulo no fígado.	LED	Inalação, ingestão ou contato dérmico
Manganês	Altas concentrações: perda de reflexos; fraqueza muscular.	HID	Oral
Mercúrio metálico	Baixas concentrações: acumulação no organismo; má formação de espermatozoides; danos no sistema nervoso; Médias e altas concentrações: dores no peito após inalação; dispneia; tosse; danos no sistema nervosa; má formação durante gestação; morte.	HID	Inalação e contato dérmico com vapor
Níquel	Baixas concentrações: reações alérgicas na pele; conjuntivite. Altas concentrações: problemas no trato respiratório (câncer, inflamação e fibrose).	LED	Inalação, ingestão ou contato dérmico
Prata	Altas concentrações: problemas respiratórios; irritação na garganta; dor de estômago; reações alérgicas na pele (erupção cutânea, inchaço e inflamação).	LED	Ingestão ou contato dérmico
Zinco	Baixas concentrações: vômito; desidratação; sonolência; reações alérgicas; dor abdominal; desequilíbrio eletrolítico; falta de coordenação muscular; insuficiência renal. Altas concentrações: danos aos pâncreas; anemia; diminuição dos níveis de colesterol; aumenta a possibilidade do desenvolvimento de Alzheimer.	LED	Inalação ou ingestão

Fonte: Elaborada pelos autores, baseada em Genos Consultoria Ambiental (2018).

Figura 8 – Possíveis danos ao corpo humano pelas substâncias presentes no LED.



Fonte: Infográfico elaborado pelos autores.

Quanto aos impactos gerais relacionados à fase de fim de vida, o ponto crítico das lâmpadas HID é o vazamento de mercúrio sem tratamento. Para as luminárias LED foi identificado:

- Aquecimento global: definido pela emissão de CO_2 e outros gases atuantes no processo de efeito estufa;
- Depleção de recursos fósseis: pela natureza não renovável desses recursos, o indicador evidencia a necessidade de se desprender de recursos fósseis na geração energética e na produção de insumos;
- Acidificação de ambientes: emissão direta e indireta de substâncias responsáveis por abaixar o pH de ambientes naturais. Algumas dessas substâncias são o SO_X, NO_X e o CO_2;

- Aumento de ecotoxicidade em água: aumento de concentração de substâncias e condições tóxicas em ambientes aquáticos.

A execução e o controle de todas as etapas do processo relacionadas ao manuseio, armazenamento, transporte e destinação final adequados, seguindo diretrizes previstas neste manual, garantem aos gestores de iluminação pública a não agressão ao meio ambiente e a preservação da saúde dos trabalhadores e da população, em geral.

15. BENEFÍCIO DA GESTÃO INTEGRADA E O PLANO DIRETOR DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A atualização legal e normativa leva a uma clareza na definição de responsabilidades na gestão integrada dos resíduos do sistema de iluminação pública, facilitando a responsabilidade compartilhada assim como a gestão integrada e ambientalmente adequada destes resíduos.

O sistema de iluminação pública é entendido como um gerador de resíduos sólidos, assim, enquadrando devidamente tais resíduos, as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos são exploradas, como a não a geração de resíduos e a rastreabilidade destes, contribuindo para um fim de vida ambientalmente adequado.

As diretrizes apontadas neste manual contribuem para que a geração mínima de resíduo seja incluída já na fase de planejamento e projeto. O mesmo ocorre com os processos de compra, manutenção, homologação, armazenamento etc. O resultado disto é a compra e instalação de luminárias de alta durabilidade, eficiência energética comprovada, com manutenção acessível e de com padrão de qualidade técnico e ambiental.

Quanto à destinação final dos equipamentos, as orientações não se limitam à adequação ambiental da tecnologia de descarte e tratamento, mas incluem também a maior cobrança e responsabilidade do gerador em garantir que o resíduo passou por um processo adequado, mesmo que estes tenham sido repassados a terceiros, via contrato de descarte de resíduos ou leilão, por exemplo.

Nota-se como a gestão integrada de resíduos não é um gasto, mas uma análise para otimização de todos os aspectos para melhor desempenho econômico, social e ambiental.

Dentro da gestão integrada faz-se o destaque para a importância da elaboração de planejamento integrado, no caso, os Planos Municipais de Gerenciamento de Resíduos e os Planos Diretores de Iluminação Pública. Este último deve ser compreendido como uma ferramenta para a tomada de decisões fundamentadas em todas as áreas de iluminação pública. Por meio do plano, as diretrizes operacionais do parque de iluminação pública devem ser apresentadas, incluídas as orientações deste manual, com destaque para os conceitos de gestão compartilhada do parque de iluminação pública e seus resíduos.

16. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Resolução nº 420, de 12 de fevereiro de 2004. Ministério dos Transportes, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Resolução nº 5232, de 14 de dezembro de 2016. nº 1, p. 2017–2019, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11174 - Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12235 - Armazenamento de resíduos sólidos perigosos. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13221 - Transporte terrestre de resíduos. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.004/2004 - Resíduos sólidos - Classificação. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7501 - Transporte terrestre de produtos perigosos - Terminologia. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9735 - Conjunto de equipamentos para emergências no transporte de produtos perigosos. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5101/2018 - Iluminação pública - Procedimento. p. 8, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7500 - Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos. 2018b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7503 - Transporte terrestre de produtos perigosos - Ficha de emergência e envelope para o transporte - Características, dimensões e preenchimento. 2018c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14619 - Transporte terrestre de produtos perigosos - Incompatibilidade química. 2018d.

BRASIL. Decreto nº 96.044, de 18 de maio de 1998. 2002.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. p. 1–32, 2010a.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Brasília, 2010b.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2ª edição**, 2012a. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASIL. Instrução Normativa nº 13, de 18 de dezembro de 2012. **Diário Oficinal da União**, n. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS-IBAMA, 2012b.

DME. Homologação de Fornecedores. **SGQ - Sistema de Gestão de Qualidade**, 2018.

GENOS CONSULTORIA AMBIENTAL. **Descarte de luminárias LED**: [revisão bibliográfica]. São Paulo, 2018. Relatório Técnico, 01. Disponível em: < http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7B88A5A4CC%2D438C%2D4CEF%2DA4E0%2D5E471FB592E9%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D >. Acesso em: 31 de jul. 2020.

GENOS CONSULTORIA AMBIENTAL. **Descarte de luminárias LED**: [estimativas do parque IP LED]. São Paulo, 2018. . Relatório Técnico, 02. Disponível em: <

http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7BD9F47C7C%2DC122%2D4ADC%2DA643%2D8D59CF0DCB1C%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D >. Acesso em: 31 de jul. 2020.

GENOS CONSULTORIA AMBIENTAL. **Descarte de luminárias LED**: [revisão bibliográfica (ACV)]. São Paulo, 2018. Relatório Técnico, 03. Disponível em: < http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7BD2C7CA1F%2DF486%2D4743%2DA759%2D6061C69CA99C%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D >. Acesso em: 31 de jul. 2020.

GENOS CONSULTORIA AMBIENTAL. **Descarte de luminárias LED**: [arcabouço legal]. São Paulo, 2019. Relatório Técnico, 04 Disponível em: < http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7BD2C7CA1F%2DF486%2D4743%2DA759%2D6061C69CA99C%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D >. Acesso em: 31 de jul. 2020.

GENOS CONSULTORIA AMBIENTAL. **Descarte de luminárias LED**: [pesquisa de municípios] . São Paulo, 2019. Relatório Técnico, 05 Disponível em: < http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7BFB3DD209%2D1ED3%2D415B%2D8CB4%2D53AF08DE6062%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D >. Acesso em: 31 de jul. 2020.

GENOS CONSULTORIA AMBIENTAL. **Descarte de luminárias LED**: [estratégias de descartes]. São Paulo, 2019. Relatório Técnico, 06. Disponível em: < http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7BA1E16610%2DB4E5%2D49D7%2D9939%2DDF29858FB838%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D >. Acesso em: 31 de jul. 2020.

GENOS CONSULTORIA AMBIENTAL. **Descarte de luminárias LED**: [estratégias de descartes Linhas marrom e verde]. São Paulo, 2019. Relatório Técnico, 07. Disponível em: < http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7B86964B5D%2D1297%2D4F80%2DBE7A%2D8EBE625CC582%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D >. Acesso em: 31 de jul. 2020.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria nº 20, de 15 de fevereiro de 2017 - Regulamento Técnico da Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Instrução Normativa nº 5, de 9 de maio de 2012. **IBAMA**, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Lei da Vida - Lei dos Crimes Ambientais - Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **IBAMA**, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Minuta de instrução normativa nº 3 de 28 de agosto de 2017. **IBAMA**, 2017.

INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION. Reciclagem do cobre. **Copper Alliance**, 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 11 - Transporte, Movimentação, Armazenamento e Manuseio de Materiais. 2003.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. 2016a.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 35 - Trabalho em Altura. 2016b.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 6 - Equipamento de Proteção Individual - EPI. 2018a.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 15 - Atividades e Operações Insalubres. 2018b.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Portaria nº 204, De 20 De Maio De 1997. 1997.

PROCEL
PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Eletrobras

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

PÁTRIA AMADA BRASIL
GOVERNO FEDERAL