

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE COLETA E
DESTINAÇÃO AMBIENTAL DE PILHAS REALIZADO NA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

JÚLIA MEDINA COELHO GALDINO

ORIENTADOR: CLAUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA
FEITOSA PEREIRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: Maio, 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

COLETA E DESTINAÇÃO AMBIENTAL DE PILHAS NO
CAMPUS DARCY RIBEIRO

JÚLIA MEDINA COELHO GALDINO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

CLAUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA PEREIRA, DOUTOR (ENC/UNB)
(ORIENTADOR)

FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA, DOUTOR (ENC/UNB) NOME DO
EXAMINADOR INTERNO)

KAROLINE MATOS DA HORA, MESTRE
(EXAMINADORA EXTERNA)

DATA: BRASÍLIA/DF, 03 DE MAIO DE 2022.

FICHA CATALOGRÁFICA

GALDINO, JULIA MEDINA COELHO

Avaliação Dos Processos De Coleta E Destinação Ambiental De Pilhas Realizado Na Universidade De Brasília.

x, 53 p., 50 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2017)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Análise de Ciclo de Vida

2. Pilhas

3. Coleta

4. Destinação ambiental

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GALDINO, J. M. G (2022). *Avaliação Dos Processos De Coleta E Destinação Ambiental De Pilhas Realizado Na Universidade De Brasília* Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 53 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Júlia Medina Coelho Galdino

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação Dos Processos De Coleta E Destinação Ambiental De Pilhas Realizado Na Universidade De Brasília

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2022

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Júlia Medina Coelho Galdino

juliamedinacg@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cleto e Mariza, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim e buscaram me proporcionar as melhores experiências e oportunidades. Sou muito grata por todo o suporte e pelo apoio de sempre.

À minha irmã, Anna Clara, minha melhor amiga, confidente e meu espelho, que esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida, sempre me colocou para cima, confiou no meu potencial e me inspira a ser uma pessoa melhor.

À Deus e meu anjo da guarda por sempre me protegerem e iluminarem o meu caminho.

Ao meu namorado, Luís Eduardo, por ser um litro de luz na minha vida, sempre me colocar para cima e me ajuda a fazer de vários limões, infinitas limonadas.

À minha prima Duda, minha irmã mais nova que sempre torna meus dias mais divertidos e leves.

Minha tia Kátia, minha segunda mãe, responsável por me inspirar a cada vez ser uma pessoa melhor e me ensinar tanto sobre a vida.

Aos meus avôs, Cleto e Luis, às minhas avós Dinha e Carmen, e à minha tia Cristina, que já se foram, mas que sei que me guiam de outra forma.

À minha vó Rita, que sempre ora por mim.

Aos meus familiares, tios e tias, primos e primas, por serem minha diversão nos domingos.

Às minhas amigas da vida que sempre me escutam, me aconselham e são meus espelhos, Jacque, Izabela, Marina, Lanna, Desiree, Iandra, Rebeca, Gabi, Clara, Iara, Renata, Bruna, Isa Perna. Vocês são tudo para mim.

Aos meus amigos que são meus confidentes e tudo para mim, Luis Guilherme, João Vitor, Claudio, Reno e Vitor.

As minhas amigas e amigos da vida que tornaram minha graduação mais leve e divertida, Sarah, Mayara, Isadora, Belinha, Vants, Márcio, Ana, Gabi B., Isa Orlando, Ju, Thati, Pato, Leon e Pablo. Sou muito grata por cada um de vocês.

Ao meu orientador, Cláudio Henrique, pela disponibilidade e por acreditar em mim. Por sempre me incentivar.

Aos meus professores e colegas de graduação, obrigada por terem tornado esta etapa da minha vida uma experiência incrível.

À Karol, pela disponibilidade e compreensão nos meus projetos finais.

Ao Noberto, da Comissão de Gestão dos Resíduos Químicos da Universidade, pela disponibilidade de me repassar as informações.

Aos meus antigos chefes dos estágios, Agustin e Norma, por me inspirarem.

À Universidade de Brasília, instituição de ensino que me proporcionou vivenciar sempre o melhor durante esta etapa, apesar de todos os percalços e crises financeiras.

Enfim, agradeço a todos que estiveram de alguma forma comigo durante este período, sou muito grata por todo apoio e por tudo o que aprendi com vocês.

RESUMO

O consumo de pilhas vem aumentando com o desenvolvimento da sociedade e com a elevação do número de aparelhos disponíveis que dependem deste produto para o seu funcionamento, e como consequência disso, está ocorrendo um crescimento do descarte deste produto. As pilhas tem em sua composição componentes tóxicos, desta forma, são consideradas resíduos domésticos perigosos, que quando descartados incorretamente são prejudiciais ao meio ambiente e apresentam risco a saúde humana. Com a finalidade estabelecer formas de reduzir esses impactos, foram definidas algumas técnicas como logística reversa, reciclagem de pilhas, e limites máximos de metais pesados em sua composição. Essas alternativas foram sancionadas a Resolução Conama Resolução nº 401/2008 e Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Programas especiais de descarte e coleta seletiva de pilhas é uma das formas de destinar este resíduo para a reciclagem que, entretanto, não é uma prática muito comum, no Brasil, pelo fato de apresentar um custo alto associado. A avaliação do ciclo de vida é uma técnica utilizada para estudar e mensurar os possíveis impactos ambientais provenientes da fabricação e da utilização de um produto ou serviço, em que são avaliados os impactos potenciais de um produto e os aspectos ambientais associados. Este projeto tem como objetivo principal a avaliação do modelo de gestão utilizado para o descarte e a coleta seletiva de pilhas na Universidade de Brasília (UnB). Para tanto, foi avaliado, com o uso do *software* OpenLCA, o impacto do transporte para a reciclagem das pilhas descartadas na UnB, no ciclo de vida do produto. Para obtenção das informações utilizadas neste trabalho, foram realizadas entrevistas com os responsáveis envolvidos nos processos de coleta do resíduo descartado na UnB e com as empresas parceiras, responsáveis pela triagem e transporte do material descartado na universidade. A partir desse estudo foi possível observar o impacto causado pelo transporte das pilhas e a importância dos pontos de recebimento de pilhas dentro de um plano de descarte e coleta seletiva na Universidade de Brasília.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos; Pilhas; Reciclagem; Análise de Ciclo de Vida; Avaliação de Impacto de Transporte;

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 3 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1. COMPOSIÇÃO DAS PILHAS | 4 |
| 3.1.1 PILHAS COMUNS..... | 4 |
| 3.1.2 PILHAS ALCALINAS | 6 |
| 3.2 LEGISLAÇÃO DE CARTE DE PILHAS..... | 10 |
| 3.2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS | 10 |
| 3.2.2 RESOLUÇÃO CONAMA Nº 401, DE 4 DE NOVEMBRO DE 2008 | 12 |
| 3.3 PROCESSO DE RECICLAGEM DE PILHAS | 14 |
| 3.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DAS PILHAS..... | 20 |
| 3.4.1. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO | 22 |
| 3.4.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO..... | 24 |
| 3.4.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA | 24 |
| 3.4.3 INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA..... | 26 |
| 3.4.4 ANÁLISE CICLO DE VIDA APLICADO À PILHAS | 26 |
| 4. METODOLOGIA | 28 |
| 4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS..... | 29 |
| 4.2 CÁLCULO ESTIMATIVA | 30 |
| 4.4 ANÁLISE DA DESTINAÇÃO DAS PILHAS | 30 |
| 5. RESULTADOS | 34 |
| 5.1 CÁLCULO ESTIMATIVA DE PILHAS | 34 |
| 5.2 DESCRIÇÃO MODELO UTILIZADO NA UNB | 35 |
| 5.4 ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DO COLETOR..... | 41 |
| 5.5 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA | 42 |
| 5.6 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 43 |
| 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 48 |
| 6.1 SUGESTÃO PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS | 50 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 51 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Pilha Comum | 5 |
| Figura 2 - Pilha Alcalina | 7 |
| Figura 3 - Percentagem de Pilhas e Baterias no Brasil | 8 |
| Figura 4 - Processo de Logística Reversa | 11 |
| Figura 5 - Fluxograma Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida | 22 |
| Figura 6 - Fluxograma Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida | 25 |
| Figura 8 – Esquema de coleta e reciclagem das pilhas coletadas pela Green Eletron | 36 |
| Figura 9 – Representação do item reciclado da pilha | 37 |
| Figura 10 – Rota utilizada para coletar as pilhas nos PEVs da universidade. | 38 |
| Figura 16 – Esquema etapas avaliadas no ACV das pilhas..... | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Tipo de Contaminação, efeitos e toxicidade das pilhas | 9 |
| Tabela 2 - Tabela 1 - Coleta de pilhas e baterias realizadas na UFSC | 12 |
| Tabela 3 - Conteúdo Médio Composição das Pilhas | 16 |
| Tabela 4 - Processos de Reciclagem pilhas | 18 |
| Tabela 5 - Matriz dos Impactos Ambientais na Reciclagem de Pilhas e Baterias | 19 |
| Tabela 6 - Estudos de caso da Avaliação do Ciclo de Vida na gestão dos resíduos sólidos | |
| 21 | |
| Tabela 7 - Processos Elementares e Fluxos | 23 |
| Equação 4.1 - Oxidação do Zinco no Anodo | 30 |
| Tabela 8 - Categorias avaliadas do CML 2001 | 32 |
| Tabela 9 – Número de estudantes | 34 |
| Tabela 10 – Número de Pilhas consumidas por estudante. | 34 |
| Tabela 11 – Peso total em toneladas das pilhas descartadas na Universidade..... | 35 |
| Tabela 12 – Características PEVs da Universidade | 37 |
| Tabela 13 – Número de Vans necessária para realizar a coleta | 38 |
| Tabela 14 – Distância adotada para cada trajeto | 41 |
| Tabela 15 – Número de toneladas por quilômetros | 41 |
| Tabela 16 – Número de Coletas | 41 |
| Tabela 17 – Distância Adotada | 42 |
| Tabela 18 – Resultado dos impactos em quilogramas por quilometro. | 44 |
| Tabela 19 – Resultado dos impactos em toneladas por quilômetros | 45 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|---|
| Equação 3.1 - Oxidação do Zinco no Anodo | 5 |
| Equação 3.2 - Redução Manganês no Catodo | 5 |
| Equação 3.3 - Reação Global | 5 |
| Equação 3.4 - Reação de redução no cátodo | 6 |
| Equação 3.5 - Reação de oxidação do zinco no ânodo | 6 |
| Equação 3.6 - Reação Global | 6 |

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABINEE | Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica |
| AICV | Avaliação Impacto do Ciclo de Vida |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| Cd | Cádmio |
| FUP | Faculdade de Planaltina |
| FGA | Faculdade do Gama |
| FCE | Faculdade da Ceilândia |
| ICV | Inventário do Ciclo de Vida |
| H | Hidrogênio |
| K | Potássio |
| Mn | Manganês |
| N | Nitrogênio |
| PEV | Ponto de Entrega Voluntária |
| O | Oxigênio |
| Pd | Paládio |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| Zn | Zinco |

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da sociedade e aumento do consumo, o número de aparelhos tecnológicos que necessitam de pilhas e baterias para seu funcionamento, cresceu, acarretando no avanço no consumo de pilhas e, conseqüentemente, intensificação do volume de resíduo de pilhas gerado pelo pós-uso.

As pilhas mais utilizadas são as comuns e alcalinas, não recarregáveis e descartáveis, que se diferenciam pela sua constituição e pela eficiência. A pilha comum, foi o primeiro modelo criado, mas ambas as pilhas comuns e alcalinas têm em sua composição metais pesados que são tóxicos ao meio ambiente e nocivas aos seres vivos. Nessa perspectiva, é necessário afirmar que o descarte de pilhas deve ser feito de forma correta para não contaminar o solo e lençóis freáticos e causar disfunções ou outros problemas na população.

No Brasil, com a difusão da utilização das pilhas e com a indispensabilidade de conscientizar os consumidores de pilhas sobre riscos associados a este produto, foi estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente a Resolução nº 257/1999, posteriormente, revogada pela Resolução nº 401/2008. Esta resolução tem como propósito estabelecimento das normas para a gestão ambiental e a comercialização das pilhas e baterias. E para tal, determina limites máximos de alguns metais na composição desses produtos e define alguns critérios para a destinação ambientalmente adequada, entre outras diretrizes.

Além disso, no Brasil, em 2010 foi sancionada pelo Estado, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que tem como principal objetivo a redução do volume de resíduos gerados, por meio da reutilização e descarte adequado dos resíduos em geral. Para isso, uma das diretrizes da PNRS é estabelecimento de responsabilidade compartilhada no descarte dos resíduos e a execução do sistema de logística reversa para produtos como.

À exemplo disso, as pilhas surgem como forma de dividir essa responsabilidade com os consumidores, comerciantes e fabricantes. Por meio da logística reversa, as empresas e comerciantes certificam de que os produtos fabricados e vendidos vão ter o descarte adequado e podem ser devolvidos ao fabricante para que sejam reutilizados, reciclados ou uma destinação ambiental adequada.

As pilhas quando descartadas de forma correta, diminuem os riscos elevados ao meio ambiente e às pessoas e podem ainda ser recicladas. Essa reciclagem é realizada após o descarte das pilhas em pontos de coleta seletiva autorizados, do transporte e da triagem por empresas especializadas. Depois da triagem, as pilhas são destinadas aos locais específicos de reciclagem. Destaca-se que a reciclagem é uma alternativa para os resíduos de pilhas, como uma forma de reutilizar este produto, reduzindo o consumo de matéria—prima, gerar lucros para empresas envolvidas e garantir empregos para a sociedade. Entretanto, para que a reciclagem seja efetiva, é necessário que a população se conscientize sobre a relevância desta prática.

Este reaproveitamento das pilhas tem um custo ambiental associado, que podem ser avaliados por meio da Análise do Ciclo de Vida deste produto. O ciclo de vida de um produto é contado a partir da extração da matéria prima, até o fim da sua vida útil com descarte final. A Análise de Ciclo de vida é um método que pode ser utilizado para auxiliar na escolha da técnica a ser usada para destinação de um resíduo. Esta análise consiste em todo o ciclo de um produto e é utilizada para avaliar os impactos potenciais de um produto e aspectos ambientais associados a ele. Esta análise é estruturada por meio da norma brasileira ABNT NBR ISO 14040:2009 e a partir do uso deste método é possível estudar os cenários de descarte de um produto, por exemplo.

Portanto, a destinação ambiental correta das pilhas pode diminuir os riscos à saúde humana e ao meio ambiente causada pelos seus componentes. Para isto, é necessário avaliar e estabelecer técnicas de coleta efetiva para que a reciclagem, o tratamento ou a disposição final sejam feitos da forma correta conforme estabelecido na legislação ambiental vigente para este produto. Ressalta-se que é preciso que, concomitantemente, haja conscientização da população sobre a obrigação da participação no descarte adequado.

Destaca-se que este trabalho, que está inserido linha de pesquisa: Gestão e Sustentabilidade dos Materiais, sistemas e serviços, ligado a área de Sistemas Construtivos e Materiais do departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília-UnB.

Este projeto é composto por capítulos, são eles: “Objetivo”, em que é exposta a finalidade do trabalho, “Revisão Bibliográfica”, que consiste na revisão de pesquisas acerca das pilhas e o descarte dos resíduos deste item. Além disso, ainda conta com as seções de “Metodologia”, a qual apresenta as etapas realizadas no estudo e o capítulo de “Resultados e Discussões”, que corresponde aos resultados da análise feita com base nas etapas da metodologia. Por fim, ainda tem a etapa de “Conclusões e Recomendações”, onde serão evidenciadas as análises finais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo a avaliação do modelo de gestão utilizado para coleta, transporte e destinação de pilhas usadas e descartadas no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB), com o intuito de avaliar os impactos ambientais dessas atividades no ciclo de vida deste material.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear o processo de descarte e destinação ambiental de pilhas, dentro do sistema de gestão de resíduos da Universidade de Brasília;
- Conhecer e avaliar as alternativas de descarte regular para pilhas existentes no Distrito Federal, com o mapeamento das empresas que realizam a coleta e a destinação desse resíduo; e
- Avaliação de impacto ambiental do transporte na destinação de pilhas coletadas na Universidade de Brasília.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1.COMPOSIÇÃO DAS PILHAS

3.1.1 PILHAS COMUNS

As pilhas transformam energia química em elétrica e na sua composição é possível encontrar eletrodos, eletrólitos e outros materiais que são inseridos na sua composição para moderar as reações químicas que ocorrem dentro dela. Esses eletrólitos dependem do tipo de pilha, mas podem ser ácidos ou básicos. Já os eletrodos são formados a partir de metais pesados, potencialmente prejudiciais ao meio ambiente e ao ser humano (Wolff e Conceição, 2011).

Na composição das pilhas tem metais pesados como mercúrio, chumbo, cobre, níquel, zinco, cádmio e lítio. Esses metais apresentam um risco ao meio ambiente e à saúde do ser humano. Se as pilhas não forem destinadas de forma correta, devido em razão da composição, elas podem contaminar solos, lençóis freáticos e em grande quantidade podem causar doenças (Gomes, 2006). Esses metais pesados são um problema, quando acumulados nos sedimentos aquáticos, são metabolizados pelos microrganismos e inseridos nas cadeias alimentares e, assim, podem ser acumulados por organismos maiores (Cesar, 2020).

Sobre as pilhas, essas podem ser classificadas como primárias ou secundárias. As primárias são as descartáveis e as secundárias são as recarregáveis. Nas pilhas primárias, as reações que ocorrem são irreversíveis, diferente das recarregáveis.

A composição das pilhas está em constante evolução. Em 1866, George Leclanché foi responsável por desenvolver um modelo de pilha que, ao longo dos anos foi aprimorado, dando origem as pilhas comuns (Silva et al., 2011). Essas são formadas de zinco (polo negativo) e carbono (polo positivo). A composição dessas pilhas é principalmente dos metais Manganês (Mn) e Zn (zinco) e representam 48% em massa da pilha. Além disso, outros metais fazem parte, mas em quantidades menores, como, por exemplo, Cádmio (Cd) e Paládio (Gazano et al., 2009). Os elementos mais prejudiciais aos seres humanos são Cd, que permite a formação de cálculo renais, aumento de pressão e pode afetar sistema imunológico; e o Zn pode causar irritações no corpo humano.

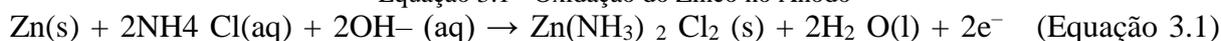
Além disso, outros metais fazem parte, mas em proporções inferiores, como, por exemplo, Cádmio (Cd) e Paládio (Gazano et al., 2009) O material utilizado como ânodo nas pilhas de zinco-dióxido de manganês constitui-se em uma liga de zinco com quantidades de chumbo e cádmio. E, de acordo com a Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os fabricantes de pilhas devem diminuir

a quantidade de metais pesados chumbo, cádmio e mercúrio nas pilhas. Os elementos mais prejudiciais aos seres humanos são Cd, que permite a formação de cálculo renais, aumento de pressão e pode afetar sistema imunológico; e o Zn pode causar irritações no corpo humano.

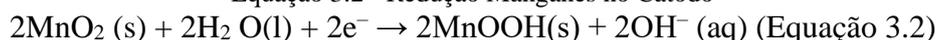
Nas pilhas comuns o eletrólito é uma pasta composta pela mistura de cloreto de amônio e cloreto de zinco. E o ânodo é de zinco metálico, usualmente na forma de chapa para elaboração da caixa externa dessas pilhas. Com relação ao cátodo, é um bastão de grafite com uma mistura em pó de dióxido de manganês e grafite em volta.

As pilhas comuns podem ser apresentadas como na figura 1 e o seu processo de descarga desta pilha consiste em oxidação do zinco no ânodo e redução do Manganês, demonstrado pela equações abaixo (Bocchi et al., 2000):

Equação 3.1 - Oxidação do Zinco no Anodo



Equação 3.2 - Redução Manganês no Catodo



Equação 3.3 - Reação Global

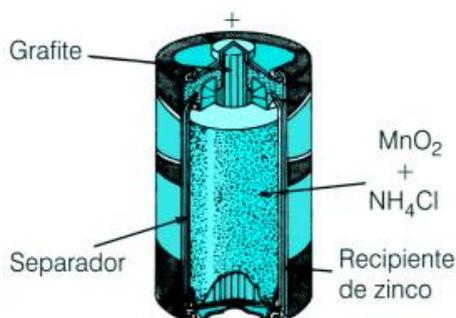


Figura 1- Pilha Comum (Fonte: Bocchi et al., 2000)

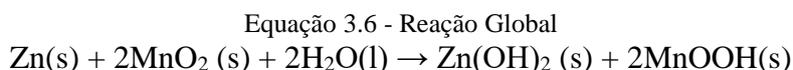
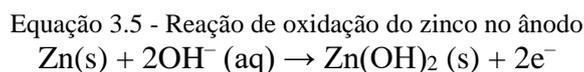
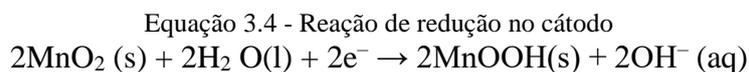
Estas pilhas comuns são consideradas boas opções em cenários em que são necessários valores baixos e médios de corrente elétrica. Além disso, são mais baratas e menos potentes, assim, usadas em aparelhos que precisam de baixo fornecimento de energia. A principal dificuldade no uso destas pilhas está relacionada às reações paralelas que acontecem antes do seu uso no período de armazenamento e quando estão em repouso, o que pode causar vazamentos. Esses vazamentos são evitados por meio da adição de quantidades de sais de mercúrio solúveis ao eletrólito das pilhas, entre outras substâncias, que reduzem a taxa de corrosão de zinco metálico.

3.1.2 PILHAS ALCALINAS

No Brasil, para uso doméstico das pilhas os brasileiros em sua maioria optam por pilhas modelo comum ou alcalina. Estas se diferenciam pela sua composição, em que as pilhas alcalinas têm a composição como das pilhas comuns, predominantemente compostas de Zn e Mn, entretanto, sua diferença está atrelada a composição do eletrólito utilizado (Demetrios et al., 2006).

Estas pilhas alcalinas usam dos mesmos eletrodos das comuns, mas o eletrólito consiste em uma solução aquosa de hidróxido de potássio concentrada, com uma determinada quantidade de óxido de zinco (Bocchi et al., 2000).

Nas pilhas alcalinas o Zn se apresenta em forma de pó aglutinado e o eletrólito é hidróxido de potássio (Demetrios et al., 2006). Ademais, as embalagens externas destas pilhas são elaboradas em chapa de aço de forma a proporcionar uma vedação melhor e evitar vazamentos. Essas pilhas são mais resistentes a temperaturas altas e fornecem mais segurança contra vazamentos que as pilhas de Zn-C (Bocchi et al., 2020). As reações parciais e globais de descarga das pilhas alcalinas são descritas pelas equações a seguir:



O desempenho das pilhas alcalinas é superior ao das pilhas comuns e a corrente elétrica gerada em um determinado tempo é quatro vezes maior em momentos que necessitam de altas correntes elétricas. E, estas pilhas podem ser armazenadas durante um período maior por não apresentarem reações paralelas ou vazamentos.

Esta composição da pilha alcalina pode ser de acordo com os fabricantes e pode variar de acordo a marca. Conforme descrito por Demetrios (2006), o ânodo é composto por 12 a 25% de zinco metálico em pó na solução de hidróxido de potássio (KOH). Já o cátodo, é composto de 30 a 45% de dióxido de manganês e 2 a 6% de grafite compactado. Tanto o ânodo quanto o cátodo são envoltos por uma capa de aço niquelada, isolante de nylon e separador de papel.

A pilha alcalina possui em sua composição componentes orgânicos como, por exemplo, grafite ou papelão. Entretanto, os componentes predominantes aço, plástico, zinco (Zn) e outros metais apresentam um risco aos aterros porque são poluentes tóxicos. As pilhas alcalinas são apresentadas conforme a figura 2.

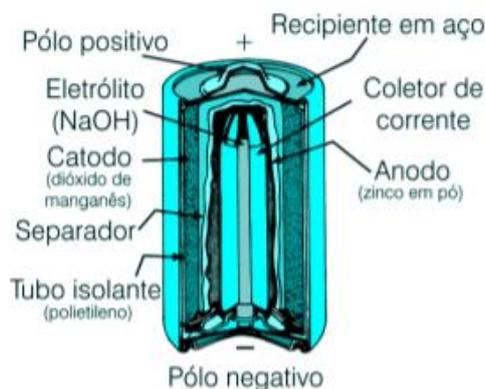


Figura 2 - Pilha Alcalina (Fonte: Bocchi et al., 2000)

Estas pilhas apresentam menores riscos ao meio ambiente, pelo fato de em sua composição apresentarem menores quantidade de metais tóxicos, como cádmio, chumbo e mercúrio. Entretanto, existe um elevado custo atrelado à essas pilhas em comparação com as comuns, o que dificulta o seu acesso aos brasileiros (Bocchi et al., 2000). Acerca disso, é possível observar através da figura 3 a percentagem de pilhas e baterias no Brasil.

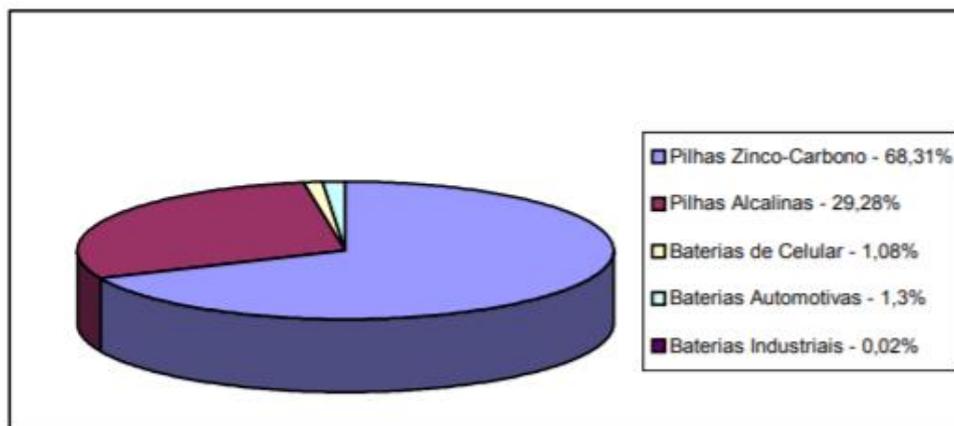


Figura 3 - Percentagem de Pilhas e Baterias no Brasil (Fonte:Wolff et al., 2011).

O estudo realizado por Demetrios em 2006 apresentou o valor de toxicidade dos componentes das pilhas alcalinas da marca Eveready e Duracell nas Fichas de Segurança de Produtos Químicos (MSDS – Material Safety Data Sheet), em que demonstram valores de toxicidade como limite de exposição para os principais componentes dessas pilhas. E, de acordo com o MSDS estas pilhas são classificadas como resíduo não perigoso. Portanto, enquanto os metais e os outros componentes da pilha estiverem protegidos na embalagem, os efeitos da exposição da pilha são baixos, porém em caso de ruptura da embalagem. Já os valores apresentados pela Agência Governamental do Departamento de Trabalho dos Estados Unidos (OSHA – Occupational Safety & Health Administration), o autor conclui que os níveis de toxicidade de Hg, Cd, Pb, Ni são maiores que o de Zn e Mn.

Os metais são absorvidos pelo organismo humano principalmente através da inalação, da ingestão e da pele. E a distribuição, a deposição, a retenção e a absorção dependem das propriedades de cada metal (Wolf, 2011). Gwendolyn (1999) realizou um estudo que apresentou o tipo de toxicidade, efeito e contaminação de componentes na pilha (Macêdo, Trindade e Soares, 2002), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de contaminação, efeitos e toxicidade das pilhas (Fonte: Macêdo et al., 2002, adaptado).

| COMPONENTES | TIPO DE CONTAMINAÇÃO | EFEITO | TOXICIDADE |
|-------------------|----------------------|---|----------------------------------|
| Mercúrio | Contato e inalação | Lesão Renal e problema no sistema neurológico | Tóxico em pequenas quantidades |
| Cádmio | Contato e inalação | Disfunção Renal e problemas pulmonares | Tóxico em pequenas quantidades |
| Chumbo | Contato e inalação | Disfunção renal e anemia | Tóxico em pequenas quantidades |
| Zinco | Inalação | Problemas pulmonares | Perigoso em grandes quantidades |
| Manganês | Inalação | Afeta o sistema neurológico | Perigoso em pequenas quantidades |
| Cloreto de amônio | Inalação | Provoca asfixia | Perigoso em pequenas quantidades |

O Estado com a intenção de diminuir os impactos ambientais dos resíduos tóxicos nos lixões e aterros, criou políticas de gerenciamento desses resíduos por meio da Resolução CONAMA 401/2008 e Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essas legislações estabeleceram responsabilidades, diretrizes, normas e limites na composição das pilhas. Esta legislação sobre pilhas e baterias definiu responsabilidades aos fabricantes e importadores de implementar sistemas de armazenamento, reutilização, coleta, transporte, reciclagem, reutilização e disposição final.

No entanto, existe ainda um desconhecimento por parte da população acerca da disposição inadequada das pilhas. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), como a população geralmente não tem conhecimento da nocividade dos componentes dos resíduos e de alternativas para descartar esses resíduos, cerca de 1% do lixo urbano tem em sua composição elementos tóxicos (Gomes, 2006).

Além disso, na maioria das vezes, as pilhas são descartadas no lixo doméstico, se misturam com compostos orgânicos e se tornam um adubo orgânico que, posteriormente, são destinados as usinas de compostagem. Este “adubo” contém metais pesados, então pode ocasionar em contaminação do solo agrícola e de animais (Gomes, 2006). Então, é necessário que as pilhas sejam destinadas de forma ambientalmente adequada de forma a evitar propagação dos seus compostos.

3.2 LEGISLAÇÃO DESCARTE DE PILHAS

3.2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

No Brasil, de acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) em 2006, aproximadamente 800 milhões de pilhas comuns eram produzidas anualmente. Apesar de serem muito importantes para o desenvolvimento tecnológico, a sua produção de baixo custo e em grande escala trouxeram problemas na destinação adequada desses resíduos. De acordo com Eliane Wolf, dessas 800 milhões de pilhas produzidas por ano, 80% são do tipo Zn-C e 20% são alcalinas.

O avanço no consumo pela sociedade trouxe consequências como o aumento na produção de resíduos, problemáticas relacionadas à destinação final e o equilíbrio do meio ambiente. Nessa perspectiva, em 2010 a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que tem como objetivo reduzir a quantidade de resíduos destinados para os aterros e lixões.

Esta Política tem como principal finalidade a difusão da prestação do serviço de limpeza urbana através da admissão de procedimentos que garantam a sustentabilidade financeira e, ainda, funcional. Muitos municípios, no entanto, não conseguem assegurar a prestação desse serviço desta forma sustentável por falta de verba, então muitos resíduos são destinados de forma inadequada devido a esta limitação (Mersoni, 2017).

A PNRS traz diretrizes para prevenir e reduzir a quantidade de resíduos gerados. Dessa forma, esta medida incentiva práticas sustentáveis e por meio desta foi possível compartilhar a responsabilidade de todos os geradores de resíduos, como empresas, fabricantes, cidadãos, comerciantes, entre outros. Nesse sentido, toda a cadeia dos produtores aos consumidores é responsável pela destinação ambientalmente adequada dos resíduos. Para isso, a lei estabelece diretrizes, como obrigar fabricantes a realizarem logística reversa de alguns produtos como

pilhas, em que orientam os consumidores sobre os riscos ambientais e como o descarte deve ser feito.

O artigo nº 33 da Lei nº 12.305/2010 obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, entres outros produtos a estruturar e implementar sistema de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor.

O conceito de sustentabilidade ambiental tem se desenvolvido com o passar dos anos e a consciência das limitações dos recursos naturais e a preocupação com resíduos em geral também. Frente a isto, a logística reversa se apresenta como um processo de recuperação do valor de um produto e realização da destinação ambientalmente mais adequada dos produtos (Shibao et al., 2010).

Este sistema de logística reversa determinado na PNRS define que o produto deve voltar para a empresa responsável por fabricá-lo, para dar o destino mais correto para este resíduo (Shibao et al., 2010). O sistema de logística reversa consiste no esquema ilustrado abaixo:

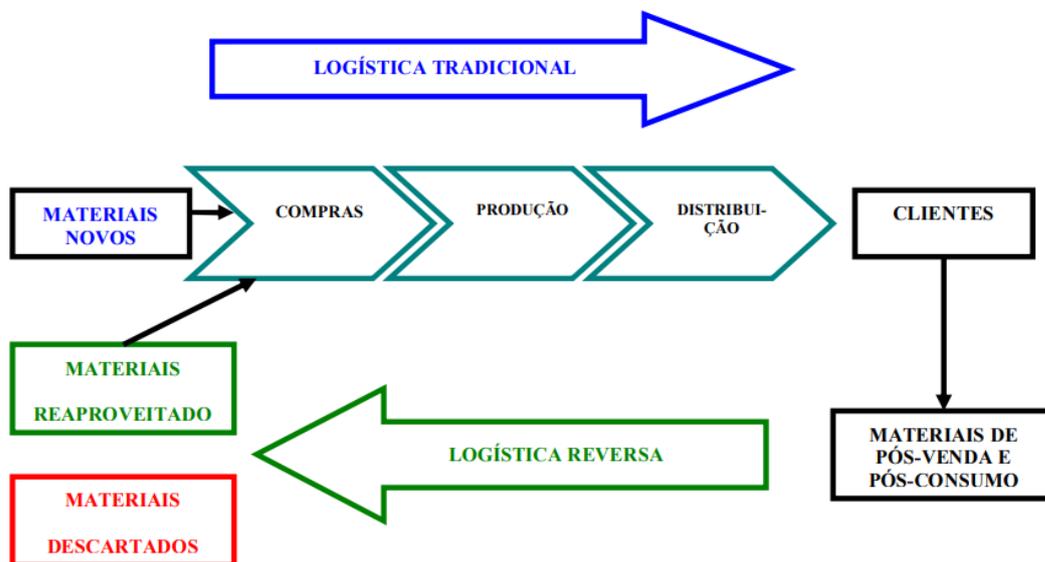


Figura 4 - Processo de Logística Reversa (Fonte: Shibao et al., 2010)

A Política determina que esse sistema de logística reversa pode ser feito através de utilização de procedimentos de compra de produtos ou embalagens usadas, da disponibilização

de postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis ou atuação em parceria com cooperativas e/ou outras maneiras de associar catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

No Distrito Federal, o governo investiu em uma gestão inteligente de resíduos eletrônicos, em que fez uma parceria com a ONG Programando o Futuro, o projeto tem o nome de “Reciclotech”. Este projeto é desenvolvido pela FAP-DF, Secretaria de Ciência e Tecnologia, Inovações e Comunicação do Distrito Federal e tem como principal objetivo contribuir para criação de um projeto de logística reversa, reciclagem e acondicionamento de equipamentos eletrônicos em geral como, por exemplo, câmeras, eletrodomésticos, pilhas e baterias, fios e cabos.

Já em Florianópolis, a Universidade de Santa Catarina (UFSC) criou o programa “UFSC Sustentável”, com o objetivo de promover a sustentabilidade na universidade nos diversos âmbitos e atuações. Este programa consiste em projetos e ações relacionados a sustentabilidade desenvolvidas na universidade. Em 2014 foram instalados os “papa-pilhas” pela UFSC com intuito de auxiliar na destinação ambientalmente adequada de pilhas e baterias. Este projeto apenas recolhe as pilhas e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica faz a destinação correta dos resíduos coletados na universidade. Com este projeto, foi possível obter os seguintes dados da tabela 2:

Tabela 2 - Coleta de pilhas e baterias realizadas na UFSC (Fonte: Gestão de Resíduos CGA/UFSC)

| ANO | PILHAS E BATERIAS RECOLHIDAS (kg) |
|------|-----------------------------------|
| 2014 | 768,00 |
| 2015 | 504,30 |
| 2016 | Não houve coleta |
| 2017 | 657,60 |
| 2018 | Não houve coleta |
| 2019 | 845,00 |

3.2.2 RESOLUÇÃO CONAMA Nº 401, DE 4 DE NOVEMBRO DE 2008

As pilhas já se apresentam como um problema ambiental, por serem de composição altamente tóxica para os seres vivos e meio ambiente e a população realiza o descarte de forma incorreta deste produto. Em cidades que possuem coleta seletiva, a grande maioria das pilhas são destinadas para os aterros e as substâncias presentes na composição das pilhas com o tempo podem contaminar o solo e os lençóis. Nesse sentido, como forma de solucionar os problemas

causados pela composição tóxica das pilhas, a legislação brasileira define algumas restrições e diretrizes para os resíduos de pilhas e para a composição das pilhas (Gomes, 2006).

As Leis federais e estaduais determinam o princípio poluidor-pagador, em que obriga o poluidor a arcar com os custos dos possíveis reparos dos danos causados ao meio ambiente. Nesse sentido, os fabricantes e importadores dispõem de imposições e procedimentos que devem ser cumpridas junto aos órgãos para dar continuidade no seu trabalho. Com relação a isto, a Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), visa uma diminuição da quantidade metais pesados chumbo, cádmio e mercúrio nas pilhas e baterias entre outros produtos que tenham em sua composição esses elementos. Além disso, esta resolução estabelece critérios e padrões para o gerenciamento ambientalmente adequado das pilhas e dá outras deliberações.

Além disso, esta resolução proíbe formas inadequadas de descarte desses produtos como, por exemplo, lançamento a céu aberto, queima a céu aberto ou incineração em locais não autorizados e lançamento em corpos d'água, manguezais, pântano.

A Resolução Nº 401/2008 (CONAMA, 2008) define que após o fim da vida útil das pilhas e baterias, essas sejam depositadas nos pontos de recolhimento adequado pelos usuários nos estabelecimentos que comercializam ou assistência técnica autorizada pelos fabricantes e importadores desses produtos. Para que a leis sejam aplicadas pelos cidadãos, é necessário conscientizar o consumidor desses objetos para que saibam sobre a toxicidade dos metais presentes na composição de pilhas e baterias e a logística de coleta e reciclagem seja efetiva.

Esta norma estabelece que é responsabilidade dos fabricantes e importadores conscientizarem nos materiais publicitários e nas embalagens das pilhas e baterias sobre os riscos associados à saúde humana e ao meio ambiente. Ademais, deve constar dados sobre a necessidade desses produtos serem devolvidos aos responsáveis pela destinação após o fim da vida útil.

Esta norma define que os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes das pilhas e baterias, ou dos produtos que façam uso desses objetos, serão fomentados em cooperação com o poder público e sociedade civil, a realizar ações de educação ambiental de forma a sensibilizar a população sobre a responsabilidade que eles têm no auxílio da destinação ambientalmente adequada e da necessidade da participação desses agentes nessa cadeia.

Ademais, outros órgãos participam na implementação das diretrizes desta política. Por exemplo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), que é autorizado a solicitar amostras de pilhas e baterias para comprovar o atendimento à essa resolução.

Além disso, a Instrução Normativa nº 8, de 3 de setembro de 2012, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) estabelece para fabricantes nacionais e importadores procedimentos com relação ao controle e recebimento e destinação final das pilhas e das baterias ou dos produtos que essas façam parte. Por fim, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que define diretrizes para destinação e logística reversa como obrigação dos importadores, distribuidores, fabricantes e comerciantes. Nesse sentido, por meio dessas três normas associadas formam uma política de destinação ambiental adequada as pilhas.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de baterias e pilhas são responsáveis por disponibilizar aos consumidores locais para o recebimento dos seus produtos, pontos de entrega. Esses pontos são estabelecimentos que disponibilizam coletores portáteis para receber e armazenar de forma gratuita as pilhas e quando atingem uma quantidade, devem ser encaminhadas para o sistema de coleta e triagem.

No Brasil, devido à crescente demanda pela criação de alternativas para coleta e tratamento adequado dos resíduos eletroeletrônicos no fim da vida útil, a Green Eletron se tornou a principal gestora da logística reversa de eletrônicos e pilhas. Os dados obtidos pelo governo através da Entidade Gestora Green Eletron foram de, aproximadamente, 83 toneladas de pilhas coletadas em 2020 (Green Eletron, 2021).

Conforme o estudo realizado (Júnior e Araújo) no Centro de Tecnologia no Rio de Janeiro, foram coletadas cerca de 30 kg de pilhas e 46,8% eram comuns e 46,7% alcalinas. Observou-se que a quantidade de pilhas alcalinas coletadas foi quase a mesma que a as pilhas alcalinas. Entretanto, através deste estudo foi possível concluir que existem mais de 30 marcas de fabricantes de pilha no mercado brasileiro, marcas registradas e marcas não registradas, o que representa uma dificuldade dos órgãos ambientais em fiscalizar.

3.3 PROCESSO DE RECICLAGEM DE PILHAS

No Brasil as indústrias de reciclagem têm se desenvolvido e o resultado disso é um aumento no índice de reciclagem e tecnologias de ponta na reciclagem. Além da reciclagem ser uma atividade econômica rentável, é utilizada como estratégia para gestão dos resíduos no destino final.

Existe uma tendência crescente da reciclagem de materiais no Brasil e é notável o esforço dos empresários da reciclagem e dos catadores comprometidos com os resíduos para que administrações públicas municipais brasileiras desenvolvam maneiras para incentivar e proporcionar a reciclagem no país.

A reciclagem além de apresentar uma alternativa para a problemática dos resíduos, pode gerar empregos e maiores lucros financeiro para os empresários. Porém, é necessário que haja uma difusão sobre o conhecimento acerca desta ferramenta para conscientizar a população e os empresários da necessidade de realizar a reciclagem.

No Brasil, apesar de existirem normas que regulamentam as formas de destinação e disposição das pilhas, a reciclagem ainda não é uma prática muito utilizada por se apresentar um custo alto associado financeiramente e uma falta de conhecimento sobre a necessidade da reciclagem das pilhas para preservação de recursos naturais para as próximas gerações.

Como foi apresentado no tópico 3.1, na composição das pilhas existem elementos que são tóxicos para os seres humanos e para o meio ambiente. E quando destinados no final da vida útil de forma inadequada, podem trazer consequências como contaminação do solo, da água, atmosfera e aos seres vivos.

A Resolução nº 401/2008 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA estabeleceu diretrizes como, por exemplo, coleta, reutilização, reciclagem, para as empresas fabricantes e importadores adotarem para produtos como as pilhas. Outrossim, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) fomenta e proporciona atividades relacionadas a ampliação da reciclagem no país.

Com a finalidade de realizar um destino ambientalmente correto para as pilhas, na década de 80 iniciaram estudos sobre os processos de reciclagem das pilhas. As pilhas com o tempo começaram a ser consideradas lixo tóxico e devem ter um descarte adequado para evitar prejuízos ao meio ambiente e ao ser humano. Uma forma de descartar corretamente é através da reciclagem desse item (Macêdo et al., 2002).

Tabela 3 - Conteúdo Médio Composição das Pilhas (Wolf, 2011)

| Conteúdo Médio das pilhas de uso geral | |
|--|-----|
| Zinco | 20% |
| Manganês | 20% |
| Aço | 15% |
| Carbono | 10% |
| Outros | 35% |

A composição da pilha apresenta elementos que são possíveis de serem reciclados, como, zinco manganês, aço. Já o carbono apresentado nas pilhas, é possível de ser reutilizado. Nessa perspectiva, aproximadamente 55% da matéria-prima presente na composição das pilhas é reciclável e 10% reutilizável (Wolff et al., 2011).

A reciclagem das pilhas é feita por meio de um descarte consciente dessas em pontos de coletas autorizados das empresas irão transportá-las para a triagem. Após a triagem, as pilhas são encaminhadas para um local para serem recicladas, onde vai ocorrer a trituração e elas são submetidas a processos químicos para recuperação de sais e óxidos metálicos. Além disso, estes produtos são submetidos a processo térmico para ser possível recuperar o zinco para ser reutilizado como matéria prima.

Além da preocupação acerca da destinação ambiental adequada das pilhas, um dos motivos para realização da recuperação dos metais da sua composição é devido ao aumento no consumo dos metais no Brasil e a baixa produtividade a nível mundial. De acordo com o estudo elaborado pela Elena Wolff (2011), o consumo de pilhas zinco-carbono no país é de 68,31% do total de pilhas e baterias vendidas no Brasil, então em média o consumo é de 630 milhões de unidade por ano. E como 20% das pilhas é composta por Zinco, são 126 toneladas desse metal que podem ser reciclados e, assim, contribuir para conservação do meio ambiente.

A reciclagem das pilhas no Brasil é feita em três etapas: a triagem, o tratamento físico e metalúrgico. Na triagem ocorre a separação das pilhas por tipo, porque dependendo da classificação da pilha o tratamento a ser utilizado poderá ser outro. Em seguida, as pilhas são submetidas ao tratamento físico, como técnicas de britagem, moagem, separação magnética, entre outros, em que tem a separação da parte metálica e plástica das pilhas. Após essas duas etapas, as pilhas passam pelos processos pirometalúrgico ou hidrometalúrgico. Portanto, as pilhas são recicladas através da combinação dos métodos apresentados (Boyden et. al, 2016).

Para as etapas de reciclagem serem eficientes, é preciso que sejam armazenadas nos pontos de coleta de forma correta. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), elas devem ser transportadas em caixas de papelão e com no máximo 20 quilogramas. Em quantidades menores, podem ser armazenadas em embalagens plásticas com tampa e resistentes, mas não podem ser embalagem reutilizadas de produtos químicos. Após o material chegar na triagem, as pilhas são separadas de acordo com o modelo e o tipo para seguir para a etapa de trituração e ser submetida a outro tratamento.

Os metais presentes na composição das pilhas podem ser recuperados através da reciclagem e inseridos no mercado novamente para fabricação de baterias novas ou outros produtos. Uma das formas de realizar a reciclagem desses itens é através do processo hidrometalúrgico, uma alternativa eficiente para recuperação de metais de resíduos, com custo baixo e probabilidade de recuperação de reagentes e proporciona menos poluição atmosférica (Macêdo et al., 2002). O processo hidrometalúrgico usa a lixiviação ácida ou básica para solubilizar metais presentes na composição das pilhas e baterias. Ele recupera os metais da solução por meio dos processos de precipitação, extração de líquido e eletrólise (Roriz, 2010).

O processo hidrometalúrgico ocorre em temperaturas abaixo de 100°C, as pilhas são submetidas a moagem, lixiviação, purificação das soluções por meio da precipitação e eletrólise para recuperar o zinco e o dióxido de manganês. E na maioria das vezes o mercúrio é removido por aquecimento (Mota, 2012). Este processo recupera metais por meio da utilização de ácidos ou bases para lixiviar os metais em uma solução que depois é purificada para ser possível a extração dos materiais desejados. Ademais, esta técnica é antecedida sempre pelo processo trituração (Boyden et. al, 2016).

Além disso, a reciclagem das pilhas pode ser feita por meio do processo pirometalúrgico que utiliza alta temperatura para volatilizar metais que fazem parte da composição das pilhas para, em seguida, serem recuperados através da condensação (Roriz, 2010). Este processo é feito após a moagem, em que o ferro é desassociado magneticamente e os outros metais presentes na pilha são separados por meio dos seus diferentes pontos de fusão. Este método pode incluir pirólise, destilação, fundição e refino. E Lítio e compostos orgânicos presentes na composição das pilhas, por exemplo, papel e plástico não são recuperados a partir da utilização do processo pirometalúrgico sozinho (Boyden et al., 2016).

Nesta técnica pirometalúrgica, é realizado na etapa inicial a queima para recuperação total do mercúrio e do zinco no local dos gases de saída. E quando o resíduo for submetido a temperaturas acima de 1000°C com um agente redutor, é possível reciclar o manganês e o zinco (Mota, 2012).

Boyden et al. (2016) realizaram um estudo que tinha como objetivo principal realizar um estudo para comparar diferentes processos de reciclagem de baterias íon-lítio e um dos resultados alcançados foi possível verificar que o processo de reciclagem que era apenas pirometalúrgico recuperavam as menores quantidades de elementos. E, concluíram que uso combinado do método pirometalúrgico com hidrometalúrgico obtém em média aproximadamente a mesma taxa de recuperação dos elementos que o processo integralmente hidrometalúrgico.

A maioria das empresas utilizam o processo hidrometalúrgico para realizar a recuperação e reciclagem dos elementos presentes na composição das pilhas. Os processos de reciclagem das pilhas são específicos para cada material como pode ser visto a seguir:

Tabela 4 - Processos de Reciclagem pilhas

| EMPRESA/PROCESSO | ROTA UTILIZADA NO PROCESSO | TIPOS DE PILHAS |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Sumitomo | Pirometalúrgica | Todos os tipos de pilhas |
| Recytec | Pirometalúrgica Hidrometalúrgica | Todos os tipos de pilhas |
| TNO | Hidrometalúrgica | Pilhas em geral |
| Accurec | Pirometalúrgica | Pilhas em geral |
| Atech | Mineralúrgica | Todos os tipos de pilhas |
| Waelz | Pirometalúrgica | Pilhas alcalinas que não contém Hg |

Fonte: Adaptada de RORIZ (2010)

Cada método utilizado na reciclagem tem um impacto ambiental associado advindos dos gastos energéticos dos equipamentos, descarte dos componentes das pilhas que não são recicláveis, gases poluentes emitidos na reciclagem, entre outros (Romão, 2020). Alguns desses impactos são apresentados abaixo na tabela 5:

Tabela 5 - Matriz dos Impactos Ambientais na Reciclagem de Pilhas e Baterias

| ATIVIDADE | PROCESSO | IMPACTO | PREVENÇÃO E MINIMIZAÇÃO |
|--|--------------------------------------|--|---|
| Operação de equipamentos com energia elétrica | Alto gasto energético | Desperdício de recursos naturais | Investimento em equipamentos com alta eficiência energética |
| Submissão dos resíduos altas temperaturas | Emissão de gases poluentes | Contaminação do ar | Uso dos filtros de lavadores de gases |
| Submissão dos resíduos em soluções químicas | Geração de efluentes líquidos | Contaminação do solo e/ou da água pela má disposição final | Tratamento e disposição final ambientalmente adequada |
| Descarte Manual de componentes não utilizáveis | Geração de resíduos Sólidos | Contaminação de solo e/ou da água pela má disposição final | Tratamento e disposição final ambientalmente adequada |
| Contato dos trabalhadores com os resíduos | Aparecimento de doenças ocupacionais | Deterioração da saúde do trabalhador | Uso de EPI's e manutenção das máquinas e equipamentos |

(Fonte: Adaptado de Romão (2020))

A reciclagem é uma alternativa para os resíduos de pilhas. Entretanto, é necessário avaliar a viabilidade econômica do método, o custo da coleta, do processo como um todo. Isso pode ser estimado por meio de uma análise da cadeia de produção das pilhas, desde extração da matéria prima até a reciclagem.

Para a realização do processo de reciclagem deste item, é preciso realizar um estudo de forma que seja um processo eficiente e sustentável, uma alternativa boa para o meio ambiente, para a sociedade e para os empresários.

De acordo com Boyden et al. (2016) existem poucos estudos que focam nos impactos ambientais causados pelas técnicas de reciclagem apresentadas e que consideram o ciclo de vida das pilhas.

3.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DAS PILHAS

Com a PNRS, foi necessário encontrar alternativas para o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. Conforme dados obtidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2014 a maioria dos resíduos são destinadas aos aterros sanitários e cerca de apenas 3,9% apenas para as unidades de triagem e compostagem (Mersoni et al., 2017).

Entre os problemas apresentados para os gestores dos resíduos sólidos é a decisão na seleção da tecnologia a ser utilizada para destinar o resíduo. A Análise de Ciclo de vida é uma maneira de auxiliar na seleção da técnica a ser usada para destinação de um resíduo. Esta análise engloba todo o ciclo de um produto e é utilizada para realizar a avaliação dos impactos potenciais de um produto.

Análise do Ciclo de Vida (ACV) tem como objetivo estudar os aspectos ambientais e os impactos de um produto ao longo da sua vida, desde a etapa de matéria-prima, fabricação, transporte, uso e disposição, até o fim da sua vida útil. Esta análise pode contribuir na definição de oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos em etapas diferentes do seu ciclo de vida.

Além disso, por meio da ACV é possível selecionar indicadores de desempenho ambiental relevante e aprimorar o marketing de um produto, implementar uma rotulagem ambiental. Esta análise também pode subsidiar elaboração de políticas públicas nas indústrias e nas organizações governamentais ou não governamentais (ABNT ISO 14040: 2009).

Na gestão dos resíduos, a ACV é utilizada para auxiliar na seleção e ponderação diversos cenários de destinação de resíduos. Esta avaliação é essencial para a evolução dos sistemas de gestão e para indicar os aspectos ambientais associados aos produtos em estudo.

De acordo com o estudo realizado por Mersoni et al. (2017) que realizou um levantamento de alguns estudos de casos de avaliação do ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos urbanos de diversos países, concluiu que a ACV permitiu indicar cenários, obter resultados sobre desempenho ambiental, entre outros ilustrados abaixo na tabela 6:

Tabela 6 - Estudos de caso da Avaliação do Ciclo de Vida na gestão dos resíduos sólidos

| LOCAL | OBJETIVO E ESCOPO | PRINCIPAIS CONCLUSÕES |
|------------------------|--|---|
| Bolonha, Itália (2007) | ACV de diferentes estratégias de gerenciamento de RSU | ACV permite verificar o melhor cenário, sendo que no estudo a reciclagem e a incineração tiveram os efeitos mais benéficos |
| Macau, China (2013) | Avaliar situação atual e cenários futuros por meio da ACV | Melhores cenários foram separação na fonte e incineração e gerenciamento integrado, com separação na fonte, compostagem e incineração. No entanto, levando em conta questões econômicas, o primeiro cenário foi o mais indicado. |
| Nápoles, Itália (2017) | Analisar diferente estratégias de gerenciamento de RSU | Especificidades locais (instalações, matriz energética, composição dos resíduos, etc.) e simplificação da ACV pode levar a erros no processo de decisão. No caso de Nápoles, a inexistência de coleta seletiva levou aos maiores impactos ambientais. |
| Liège, Bélgica (2013) | Avaliação de cenários de tratamento de RSU incluindo produção de energia e calor | A substituição do aterro pela incineração reduz significativamente a emissão de poluentes e depleção de energia. Uma análise de sensibilidade mostrou a importância do contexto energético. |
| Zhangqiu, China (2015) | Avaliar sustentabilidade de cenário para selecionar o gerenciamento de RSU | O cenário com recuperação de material, compostagem e aterro sanitário é preferível ao cenário com incineração e aterro sanitário |
| Cardiff, Gales (2016) | Análise de cenários para avaliar o desempenho ambiental quanto à emissão de gases do efeito estufa no gerenciamento de RSU | A ACV pode fornecer informações valiosas sobre o desempenho ambiental no gerenciamento de RSU, podendo ser utilizada pelos gestores para tomada de decisão. A maior emissão de gases do efeito estufa ocorreu nos cenários com a disposição de resíduos em aterro sanitário |

Fonte: Adaptado de Mersoni et al., (2017)

As etapas para a realização do estudo da análise do ciclo de vida são de acordo com as normas estabelecidas na ABNT ISO 14040: 2009. Este estudo é composto por quatro fases:

- Definição de objeto e escopo;
- Análise do inventário;
- Avaliação de impacto; e
- Interpretação.

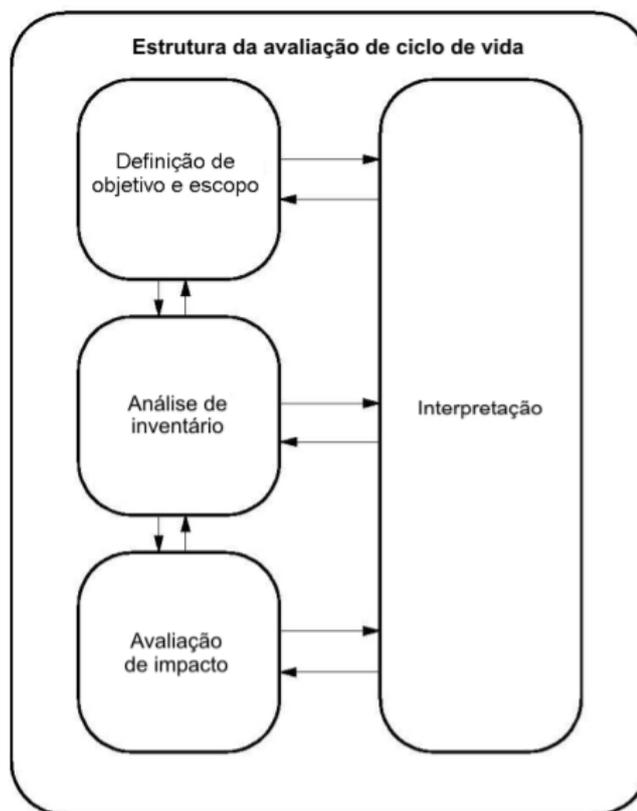


Figura 5 - Fluxograma Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida (Fonte: ABNT ISO 14040: 2009)

3.4.1. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

Conforme a ISO 14040:2009 esta etapa depende do objeto e do uso pretendido para o estudo. Além disso, o escopo inclui a fronteira do sistema e o nível de detalhamento. E o detalhamento e abrangência da análise do ciclo de vida variam de acordo com o objetivo do estudo.

Para a execução da análise de um ciclo de vida, é necessário que os requisitos da ABNT NBR ISO 14040:2009 sejam aplicados. Conforme esta norma o objetivo da análise do ciclo de vida deve comunicar a aplicação que será escolhida, a motivação para execução do estudo, o público alvo que planeja transmitir os resultados do estudo e se tem o propósito de usar os resultados para realizar comparações para serem divulgadas ao público.

No escopo está contido o sistema do produto que é objeto de estudo, as funções do sistema do produto ou sistemas, a unidade funcional, fronteira do sistema, métodos de alocação, categorias dos impactos selecionados e metodologia para avaliar os impactos e interpretar, pressupostos, limitações, exigências nos dados e na sua qualidade, definição de análise crítica e de relatório necessário para o estudo. A função do sistema em estudo depende do objetivo e do escopo da análise do ciclo de vida. E como a análise de ciclo de vida é uma técnica interativa, conforme os dados e informações são coletados, o escopo pode ser modificado de forma a atender o objetivo principal do estudo.

De acordo com a NBR ISO 14040:2009 a unidade operacional é responsável por determinar a quantificação das funções do produto e tem como função proporcionar alguma referência que as entradas e saídas estejam relacionadas. É necessária esta referência para garantir a comparabilidade dos resultados da análise do ciclo de vida. Também é significativo a definição do fluxo de referência para atender a função escolhida.

Além disso, a NBR ISO 14040:2009 define que análise do ciclo de vida decorre através da determinação dos modelos do sistema do produto que caracterizam os elementos-chave dos sistemas físicos. A fronteira do sistema é que vai estabelecer os processos fundamentais que deverão fazer parte deste sistema. Esta fronteira é definida a partir de critérios que são essenciais para alcançar o objetivo e o nível de confiança nos resultados de um estudo. E ao determinar a fronteira do sistema, é necessário que os processos descritos a seguir, na Tabela 7, sejam levados em consideração.

Tabela 7 - Processos Elementares e Fluxos (Fonte: ABNT, 2009)

| PROCESSOS ELEMENTARES E FLUXOS |
|--|
| Aquisição da matéria-prima |
| Entradas e saídas na cadeia principal (manufatura/processamento) |
| Distribuição/Transporte |
| Produção e uso de combustíveis, eletricidade e calor |
| Uso e manutenção dos produtos |
| Disposição Final dos Resíduos de processo e de produtos |
| Recuperação dos produtos utilizados |
| Manufatura de materiais auxiliares |
| Manufatura, manutenção e descomissionamento de equipamentos |
| Operações adicionais (iluminação e aquecimento) |

Já na análise do ciclo de vida, a qualidade dos dados está associada às características dos dados necessários para realizar o estudo e a definição da qualidade dos dados é essencial para compreender a confiabilidade dos resultados do estudo e interpretá-los de forma adequada.

3.4.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO

Esta fase de análise de inventário do ciclo de vida (ICV) é considerada a segunda etapa da análise de ciclo de vida. Nessa etapa tem-se um inventário dos dados de entrada e saída relacionados ao sistema objeto de estudo. Além disso, é nela que tem a coleta dos dados que são precisos para atingir os objetivos principais do estudo.

De acordo com a norma ISO 14040:2009 a etapa de coleta de dados pode exigir muito recursos e os dados para cada processo pode ser classificado como entradas de energia, matéria prima auxiliares e outras entradas físicas, produtos, co-produtos e resíduos, emissões atmosféricas, descargas para água e solo e outros aspectos ambientais. Portanto, esta fase consiste em dados de entradas e saídas no período de ciclo de vida de um produto.

Esta norma define que, para fase de realização dos cálculos, é necessário incluir a validação dos dados coletados, a correlação dos dados aos processos elementares e correlação dos dados aos fluxos de referência e à unidade funcional. Isto é, para ser possível conceber resultados do inventário do sistema.

E para esse cálculo dos fluxos energéticos pode considerar: os diversos combustíveis e a fonte de energia elétrica utilizados e também a eficiência da conversão e distribuição do fluxo de energia. Nos sistemas que envolvem múltiplos produtos e sistemas de reciclagem, a norma determina que seja considerada o procedimento de alocação de fluxos e liberação.

3.4.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA

De acordo com a ISO 14040:2009 esta etapa de avaliação do impacto do ciclo de vida subsidia informações adicionais para auxiliar na avaliação dos resultados obtidos no ICV de um sistema de um produto, de modo a aprimorar a compreensão da sua importância ambiental.

Nesta fase os dados do inventário são associados às categorias de impacto específicas e aos indicadores de categoria, de modo a compreender os impactos. Além disso, por meio

desta etapa é possível obter conhecimento para a etapa seguinte de interpretação do ciclo de vida.

Nesta etapa é possível ter o processo iterativo da análise crítica da primeira fase de objetivo e escopo do estudo, de forma a definir se os objetivos traçados foram alcançados ou se é necessário modificar para dar continuidade na análise. Os elementos necessários nesta etapa são:

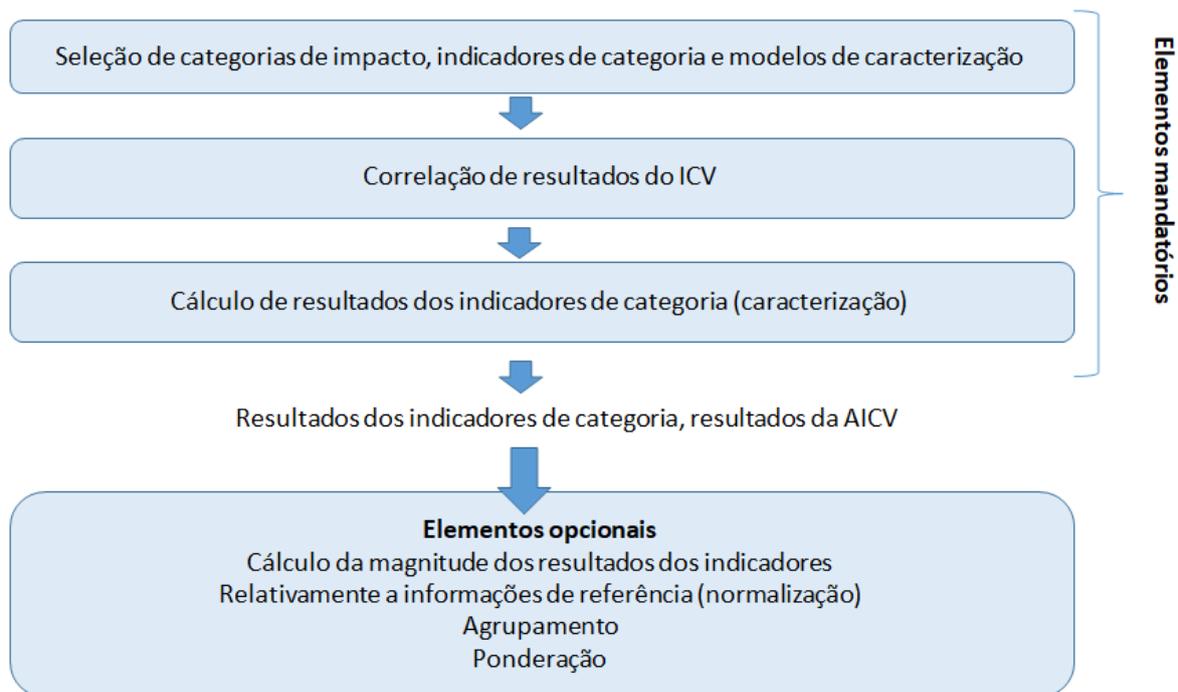


Figura 6 - Fluxograma Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (Fonte: ABNT, 2009, adaptado)

Conforme a norma, nesta etapa é preciso que haja uma subdivisão dos diversos elementos por cada elemento da avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) ser diferente e definido, por a fase da determinação do objetivo e escopo da análise poder considerar cada elemento da AICV de forma separada e devido a avaliação da qualidade do método poder ser feita para cada elemento. Ademais, esta subdivisão é utilizada porque os procedimentos, pressupostos e outras ferramentas da avaliação de impacto juntamente com os usos de valores e subjetividade podem ficar mais claros para análise crítica e comunicação.

Com relação às limitações desta etapa, a norma ABNT ISO 14040:2009 demonstra que a avaliação se concentra em questões ambientais determinadas na primeira fase do estudo, de objetivos e escopo, então não contempla todas as questões do sistema do produto estudado.

Outrossim, esta avaliação pode não apresentar as diferenças significativas entre as categorias dos impactos e os resultados dos indicadores. Isso pode ser explicado devido a uma limitação no desenvolvimento do modelo de caracterização, a análise de sensibilidade e

incerteza para esta etapa. Além disso, as limitações podem estar associadas a etapa de ICV, porque a determinação da fronteira pode não englobar todos os processos elementares que são possíveis para o sistema do produto e também os dados do inventário podem não ser de qualidade adequada.

3.4.3 INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A norma ABNT ISO 1440:2009 estabelece que a interpretação do ciclo de vida é considerada a última etapa da ACV, onde os resultados do inventário do ciclo de vida e/ou da avaliação do impacto do ciclo de vida são sintetizados e discutidos de forma a concluir, recomendar e tomar decisões conforme a definição de objetivo e escopo.

Nesta etapa, a norma define que a interpretação da análise do ciclo de vida forneça resultados consistentes com o objetivo e escopo e que sejam possíveis de fornecerem conclusões, expliquem as limitações e determinem recomendações. Além disso, a norma estabelece que as interpretações do ciclo de vida reflitam os resultados da avaliação de impacto serem baseados de forma relativa. Outrossim, as conclusões obtidas por meio da interpretação podem ser ferramentas para tomadores de decisões obterem constatações e recomendações de acordo com o objetivo e escopo.

A norma define que a interpretação do ciclo de vida deve ter como objetivo proporcionar apresentação tangível, consistente e completa dos resultados da análise de ciclo de vida. E nesta etapa é possível abranger o processo iterativo de análise crítica e revisão do escopo da ACV e a natureza e qualidade dos dados que foram coletados.

3.4.4 ANÁLISE CICLO DE VIDA APLICADO À PILHAS

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma forma de determinar uma metodologia para contribuir com a análise e prevenção de danos ambientais de uma empresa e seus produtos e processos. E por meio da ACV, isto é a análise feita desde a extração da matéria-prima, fabricação, até o uso e o descarte final do produto no fim da sua vida útil, é possível agregar valor ambiental ao produto estudado.

Em 2017 foi elaborado um estudo de análise de ciclo de vida das pilhas (Maria, 2017) com os estudantes da universidade e do ensino médio do Paraná. Para realizar o estudo de análise de ciclo de vida das pilhas, foi necessário obter conhecimentos desde a extração da

matéria prima para produção até o seu descarte. Além disso, este projeto de ACV das pilhas identificou algumas limitações relacionados à alguns indicadores que não estão expostos na análise do ciclo de vida como o consumo de energia, consumo dos recursos naturais, uso do solo, emissão de gases poluentes para atmosfera, resíduos sólidos gerados. (Bellini, 2017)

Com as pesquisas elaboradas foi possível apontar que ainda existem lacunas sobre análise de ciclo de vida das pilhas e que é necessário elaborar uma análise mais detalhada para se obter um estudo da avaliação de impacto ambiental completo deste produto desde sua fabricação até a sua destinação adequada de acordo com a legislação e com as normas vigentes.

4. METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido como o intuito de realizar uma análise do modelo de coleta das pilhas usadas e descartadas no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília. Além disso, objetivou avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida deste material e propor algumas mudanças.

Ressalta-se ainda, que mediante o período de pandemia vivido, causado pela disseminação do vírus covid-19, as atividades à distância foram priorizadas. Desta forma foi necessário a adaptação da metodologia para a realidade presente durante o desenvolvimento do trabalho.

Neste trabalho, foi necessária realização de levantamento de dados para obter informações sobre a quantidade de pilhas compradas e utilizadas nos Campi Darcy Ribeiro, Faculdade de Planaltina (FUP), Faculdade do Gama (FGA) e Faculdade da Ceilândia (FCE). Também foi necessário levantar dados sobre o descarte e destinação realizada para este material.

O levantamento de dados foi feito para avaliar o modelo de gestão utilizado pela universidade e para tentar quantificar os impactos ambientais e demonstrar como a universidade está contribuindo para a sociedade com a coleta e destinação de pilhas usadas dentro de um plano de gestão ambiental de resíduos. As principais etapas da metodologia são apresentadas através do esquema da Figura 7:

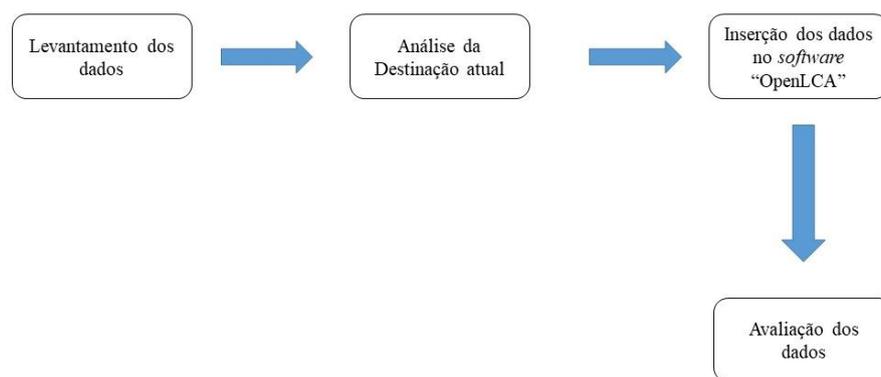


Figura 7 – Metodologia aplicada a este projeto

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Esta etapa tem como objetivo levantar os dados da quantidade de pilhas e informações sobre o descarte realizado deste item na Universidade. Para isso, foi necessário realizar entrevistas com os setores responsáveis por comprar produtos e por realizar a gestão dos resíduos perigosos da UnB. Também foi preciso entrevistar as empresas que auxiliam no processo de descarte e destinação das pilhas da universidade.

A partir da discussão acerca do impacto ambiental dos resíduos de pilhas no fim da vida útil e das recomendações para destinação ambientalmente adequada deste resíduo, será realizado um levantamento dos dados das pilhas consumidas pela Universidade Brasília e a comunidade que faz parte dela. Por ainda estarmos em um cenário pandêmico, este levantamento de dados não pode ser feito de forma experimental. Portanto, foi realizado por meio de listas de compras da universidade, entrevistas com a Instituição, dados fornecidos pelo governo do Distrito Federal e as empresas que participam do processo de destinação das pilhas consumidas no campus.

Este levantamento que seria obtido por meio da análise dos dados das compras realizadas não foi usado devido às informações fornecidas pela universidade terem sido insuficientes. Então, foi realizada uma outra análise de cenário com base nos dados de média do consumo de pilhas/habitante fornecidos pelo Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Distrito Federal.

Ademais, através de entrevistas com os funcionários da UnB, foi possível ter conhecimento acerca das empresas que participam do processo de descarte das pilhas do campus Darcy Ribeiro. As empresas, por sua vez, disponibilizaram informações sobre as etapas e os processos que as pilhas coletadas sofreram.

Com os dados levantados, foi possível estimar quantas pilhas são utilizadas em média e quantas são descartadas no Campus Darcy Ribeiro. Permitiu ainda a elaboração de uma análise sobre o modelo atual de descarte e um estudo sobre os impactos ambientais no ciclo de vida dessas pilhas do campus.

4.2 CÁLCULO ESTIMATIVA

Com base nas entrevistas realizadas, não foi possível obter dados suficientes que fossem reais para fazer a análise do ciclo de vida. Na UnB, foi implementado no ano de 2019 uma parceria com uma ONG para realizar a destinação correta dos resíduos de pilhas. Anteriormente, as pilhas eram armazenadas apenas e estocadas. Outro aspecto relevante, foi o fato de a UnB não possuir um dado quantitativo das pilhas que haviam sido armazenadas, apenas dados dos resíduos de pilhas e baterias juntos. E os dados de compras informados eram apenas do campus Darcy Ribeiro.

Nesse sentido, devido à essas inconsistências, optou-se por realizar um cálculo para estimar qual seria a demanda per capita por estudantes da Universidade.

Equação 4.7 – Quantidade de pilhas total estimadas

$$Qt = H \times Dp$$

Qt - Quantidade de pilhas total (unidade)

H – Número de habitantes

Dp – Demanda per capita de pilhas (pilhas/habitante.ano)

Além disso, de acordo com as informações sobre as dimensões dos pontos de coleta e a quantidade de pilhas descartadas, será feito um cálculo para ter conhecimento sobre aumentar a capacidade de armazenamento dos coletores instalados na universidade.

4.4 ANÁLISE DA DESTINAÇÃO DAS PILHAS

Nesta etapa, o principal objetivo era obter conhecimentos acerca do que era feito com as pilhas descartadas na UnB. Dessa forma, foi preciso realizar as entrevistas com a Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA/DF), Secretaria de Meio Ambiente Coordenação de Gerenciamento de Resíduos (SeMA/CGR), com o setor responsável por compras da UnB, com a entidade parceira da universidade e com a empresa contratada, a fim de compreender como é realizado o descarte das pilhas e qual a destinação final que é dada para este item. Então, estas entrevistas foram realizadas com a UnB e a entidade parceiras e a empresa contratada, a Organização Não Governamental (ONG) “Programando Futuro” e com a GM&C Soluções em Logística Reversa e Reciclagem LTDA., respectivamente.

Isso permitiu o acesso às informações sobre as pilhas consumidas pelos alunos da Universidade de Brasília do campus da Ceilândia, Planaltina, Darcy Ribeiro e Gama.

4.5 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Este projeto também tem como intuito realizar uma análise do ciclo de vida das pilhas desde seu descarte até sua destinação ambientalmente adequada e uma avaliação do impacto ambiental das pilhas coletadas na Universidade de Brasília. Com as informações obtidas na etapa anterior, vai ser possível observar o volume de pilhas consumidas pela comunidade e como são destinadas e será feito um estudo de cenários para compreender o atual modelo.

A análise de ciclo de vida das pilhas será realizada por meio da norma da ABNT ISO 14040:2009. Portanto, a análise será definida de acordo com o descrito no tópico 3.4. Nesse sentido, primeiramente será determinado o objetivo e escopo e em seguida será realizada a análise do inventário. Após feita as duas etapas, será avaliado o impacto e por último a interpretação dos dados obtidos, que será realizada através desta análise de ciclo de vida.

A avaliação de impacto ambiental foi realizada por meio da análise do ciclo de vida das pilhas e dos dados obtidos na etapa anterior, em que se teria um maior conhecimento de média de consumo de pilhas.

Esta avaliação seria feita desde a etapa de descarte na UnB até a destinação ambientalmente adequada. Entretanto, devido à falta de informações, será feita uma avaliação do impacto do transporte da pilha conhecido.

A avaliação do ciclo de vida foi realizada para ser possível mensurar e identificar os impactos ambientais provocados pelo transporte das pilhas consumidas na Universidade de Brasília. Esta análise foi feita conforme a norma ABNT ISO 14040:2009, em que tem as etapas de definição de objetivo e escopo, estudo do inventário, avaliação do impacto e, por fim, a interpretação dos resultados obtidos.

Na definição do escopo, é estabelecido a expectativa do ACV e a unidade utilizada. Já na montagem do inventário, foi selecionado as etapas de descarte das pilhas em cada campus da universidade, transporte para ONG “Programando Futuro” e transporte para a empresa GM&C Soluções em Logística Reversa e Reciclagem LTDA. Na avaliação do impacto ambiental, foram definidas algumas categorias para serem analisadas. As categorias foram:

Tabela 8 - Categorias avaliadas do CML 2001

| Categoria de Impacto | Unidade | Representação |
|--|------------------------|---|
| <i>climate change</i> (<i>GWP 100a, 20a e 500a</i>) | kg CO ₂ -Eq | Impacto sobre o aquecimento global através da liberação dos gases de efeito estufa em 100 anos, 20 anos e 500 anos. |
| <i>human toxicity</i> (<i>HTP 100a</i>) | kg 1,4-DCB-Eq | Grau que é preciso para uma substância causar danos a organismos que foram expostos |
| <i>freshwater sediment ecotoxicity</i> (<i>FSETP 20a</i>) | kg 1,4-DCB-Eq | Grau que é preciso para uma substância causar danos a organismos em água doce em 20 anos. |
| <i>marine sediment ecotoxicity</i> (<i>MSETP 100a</i>) | kg 1,4-DCB-Eq | Grau que é preciso para uma substância causar danos a organismos em águas marinhas |
| <i>stratospheric ozone depletion</i> (<i>ODP 10a</i>) | kg CFC-11-Eq | Perda da camada de ozônio responsável por realizar a proteção da Terra da radiação ultra violeta (UV) que é altamente nociva devido ao clorofluorcarbonos que são liberados na atmosfera. |
| <i>eutrophication potential</i> (<i>generic</i>) | kg PO ₄ -Eq | Aumento no nível de macro nutrientes, como, por exemplo, nitrogênio e fósforo que causam elevação do nível de biomassa e prejudica a vida de outros seres vivos. |
| <i>terrestrial ecotoxicity</i> (<i>TAETP 100a</i>) | kg 1,4-DCB-Eq | Grau que é preciso para uma substância causar danos a organismos terrestres expostos. |

Fonte: Adaptado de HORA (2021)

Para realizar o ACV, foi necessário realizar algumas alterações para ser possível utilizar um *software* que tem metodologia para inserir os dados e fornecer os resultados. Nessa perspectiva, foi utilizado o OpenLCA versão 1.10.2 (Windows 64 bits) que tem vários métodos no próprio programa. Para este projeto foi utilizado a avaliação de impacto CML2001 devido esta metodologia ter maiores categorias inseridas no OpenLCA (HORA, 2021).

É preciso que todos os dados do inventário sejam agrupados para que os cálculos dos impactos avaliados sejam realizados de forma mais fácil. Então, no software utilizado é feita essa junção (HORA, 2021).

Foram feitas análises de avaliação do ciclo de vida das pilhas descartadas na UnB, em Kg.km e em toneladas.km para se obter um comparativo. As observações realizadas foram necessárias para permitir a identificação dos impactos causados no transporte das pilhas descartadas na UnB e possíveis mudanças na frequência das coletas, no número de pontos de coletas instalados nos respectivos campi da universidade.

5. RESULTADOS

5.1 CÁLCULO ESTIMATIVA DE PILHAS

Devido à ausência dos dados de pilhas descartadas pela universidade, foi necessário realizar um cálculo para estimar esta quantidade de pilhas. Para isso, foi utilizado o número de estudantes de graduação e pós-graduação (mestrado e doutorado) matriculados na universidade em cada campus no segundo semestre do ano de 2017 informados no anuário estatístico de 2018. Então, os dados utilizados foram:

Tabela 9 – Número de estudantes (Fonte: Anuário Estatístico Universidade de Brasília, 2018)

| Campus | Número de estudantes |
|----------------------------|----------------------|
| Faculdade Ceilândia (FCE) | 2590 |
| Faculdade Planaltina (FUP) | 1332 |
| Faculdade Gama | 2482 |
| Darcy Ribeiro | 39702 |

Em 2018 foi realizado o Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos pelo governo de Brasília, em que os dados sobre a quantidade de pilhas pós consumo foram estimados através de um consumo per capita de 06 pilhas/habitantes.ano. Nessa perspectiva, para este projeto foi utilizada essa quantidade média para contabilizar quantas pilhas cada estudante da universidade consumiria.

Com estes dados foi possível realizar o cálculo para cada campus utilizando a equação 4.1. E, assim, obteve os seguintes dados:

Tabela 10 – Número de Pilhas consumidas por estudante.

| Campus | Número de pilhas consumidas por estudante |
|----------------------------|---|
| Faculdade Ceilândia (FCE) | 15.540 |
| Faculdade Planaltina (FUP) | 7.992 |
| Faculdade Gama | 14.892 |
| Darcy Ribeiro | 238.212 |

A partir dos dados estimados de pilhas por estudantes, foi realizado o cálculo do peso total das pilhas descartadas na UnB. Nessa perspectiva, de acordo com especificações da “Energizer” as pilhas de Lítio em média pesam 15 g e as alcalinas 23 g, então foi considerado

um peso médio das pilhas de 19 g ou 0,019 kg para obter o resultado do peso total de pilhas. Então, com isso foi possível obter os seguintes resultados:

Tabela 11 – Peso total em toneladas das pilhas descartadas na Universidade.

| Campus | Peso total das pilhas (toneladas) |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Faculdade Ceilândia (FCE) | 0,30 |
| Faculdade Planaltina (FUP) | 0,15 |
| Faculdade Gama | 0,28 |
| Darcy Ribeiro | 4,53 |

5.2 DESCRIÇÃO MODELO UTILIZADO NA UNB

No Distrito Federal, a Secretaria do Meio Ambiente (SEMA/DF) é responsável pela logística reversa dos resíduos de pilhas. E a SEMA/DF tem um acordo com a Green Eletron, entidade gestora responsável por realizar a coleta e a destinação ambiental dos resíduos de pilhas e baterias, que por sua vez possui empresa habilitada e contratada para realizar este trabalho, a “Programando Futuro”.

De acordo com as entrevistas realizadas com a Secretaria de Meio Ambiente Coordenação de Gerenciamento de Resíduos (SeMA/CGR) a Universidade de Brasília desde o final do ano 2019 possui uma parceria com a empresa Programando Futuro, localizada na cidade Gama no Distrito Federal. Esta empresa é responsável por coletar as pilhas da Universidade nos pontos de coletas e fazer a triagem.

Em seguida, estas pilhas são destinadas à outra empresa a “GM&C Soluções em Logística Reversa e Reciclagem LTDA” para fazer outra triagem. Esta instituição, por meio das entrevistas realizadas, informou que é contratada pela “Green Eletron” e que as pilhas coletadas pela GM&C têm como destinação final a reciclagem. Entretanto, não foi possível obter maiores dados acerca da reciclagem e do local onde é realizado o processo para reciclar.

A partir destas informações, foi realizada uma entrevista com uma funcionária da “Green Eletron” que esclareceu que todas as pilhas da região Centro-Oeste passam pelo mesmo trajeto, portanto, a ONG Programando Futuro coleta as pilhas nos pontos de coletas instalados na região Centro-Oeste e a empresa “GM&C Soluções em Logística Reversa e Reciclagem LTDA” é responsável por coletar as pilhas na ONG. Além disso, foi comunicado que a única empresa que realiza reciclagem de pilhas contratada pela Green Eletron fica em São Paulo, porém não foi divulgado o local exato.

Portanto, de acordo com as entrevistas realizadas, a destinação final das pilhas descartadas na universidade é realizada da seguinte forma:



Figura 8 – Esquema de coleta e reciclagem das pilhas coletadas pela Green Eletron (Fonte: Cartilha Informativa Green Reciclapilha, 2019)

De acordo com as informações contidas na cartilha da “Green Eletron”, apenas o zinco metálico é reciclado, componente que de acordo com a tabela 3 representa cerca de 20% da composição. Já os demais rejeitos, são destinados da forma ambientalmente adequada e direcionado para disposição final. Então, com isso é possível concluir que a pilha é submetida a este esquema:

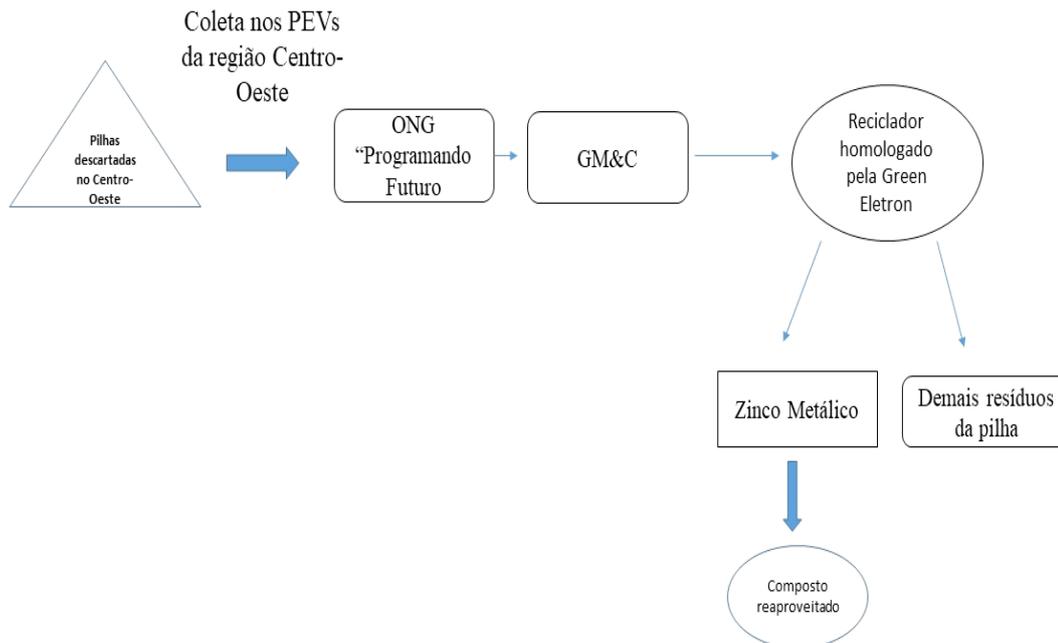


Figura 9 – Representação do item reciclado da pilha

A respeito da UnB, esta possui três pontos de coletas, um está localizado no campus Darcy Ribeiro na prefeitura, outro na FUP na Unidade Acadêmica (UA) e o outro na FGA na Unidade de Ensino e Docência (UED). Até o presente momento, a universidade não tem ponto de coleta na FCE, e algumas pilhas descartadas na Ceilândia são levadas ao campus Darcy Ribeiro.

Os pontos de coletas instalados na universidade são iguais e de acordo com a Comissão Gestão Resíduos Químicos da UnB. Esses possuem as mesmas dimensões, entretanto, não foi possível medir os pontos de coleta. Dado isso, foi considerado que os pontos de coletas são o modelo tamanho “M” da “Green Eletron”, assim:

Tabela 12 – Características PEVs da Universidade

| CARACTERÍSTICAS PEVS | |
|----------------------|-----------------|
| Altura | 1,40 metros |
| Largura | 1 metro |
| Profundidade | 1,2 metros |
| Capacidade | 200 quilogramas |

Atualmente, a ONG “Programando Futuro” é responsável por buscar as pilhas armazenadas nos pontos de coletas nos respectivos campi, exceto no campus da Ceilândia que não possui ponto de coleta. Este transporte é realizado com a van modelo “Master” da marca Renault que possui capacidade de 1759 kg (1,759 toneladas) e faz em média cerca de 8,2 km/l.

Outrossim, a empresa “GM&C Soluções em Logística Reversa e Reciclagem LTDA” é responsável por coletar as pilhas na ONG e levar para São Paulo, onde fica a sede da empresa. Este transporte é feito da mesma forma, com a van modelo “Master” da Renault.

Então, a rota utilizada para realizar a coleta das pilhas Ponto de Coleta Voluntária até a destinação final é:

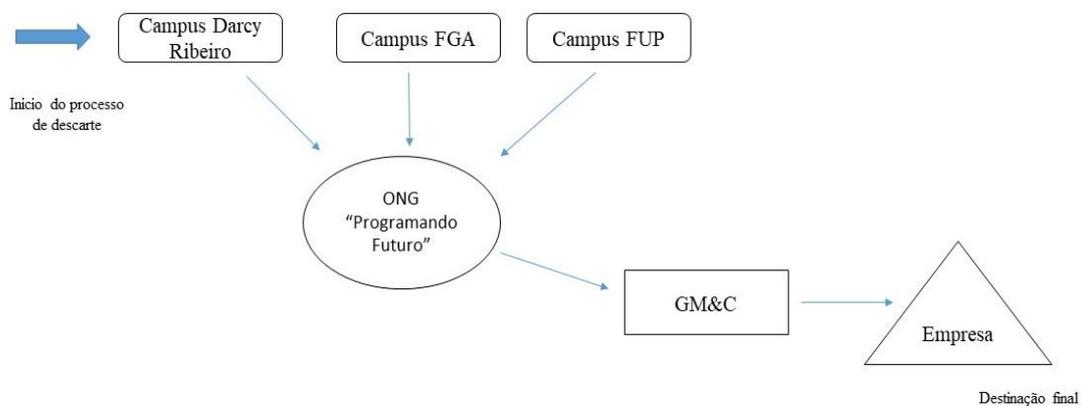


Figura 10 – Rota utilizada para coletar as pilhas nos PEVs da universidade.

A partir dos dados da capacidade da van e do peso total das pilhas descartadas em cada campi, foi possível calcular quantas vans seriam necessárias para realizar o trajeto conhecido para descartar todas as pilhas coletadas em um ano. Assim, o resultado encontrado foi:

Tabela 13 – Número de Vans necessária para realizar a coleta

| Campus | Quantidade de Vans |
|----------------------------|--------------------|
| Faculdade Planaltina (FUP) | 1 |
| Faculdade Gama | 1 |
| Darcy Ribeiro | 3 |

Com estas informações, foi possível conseguir encontrar a distância de cada campus da universidade até a ONG e da ONG até a empresa GM&C, por meio da ferramenta “Google Maps”. Dessa forma, com auxílio desta ferramenta foi definido o trecho para cada rota para estudar o ciclo de vida das pilhas coletadas. Os trechos escolhidos foram:

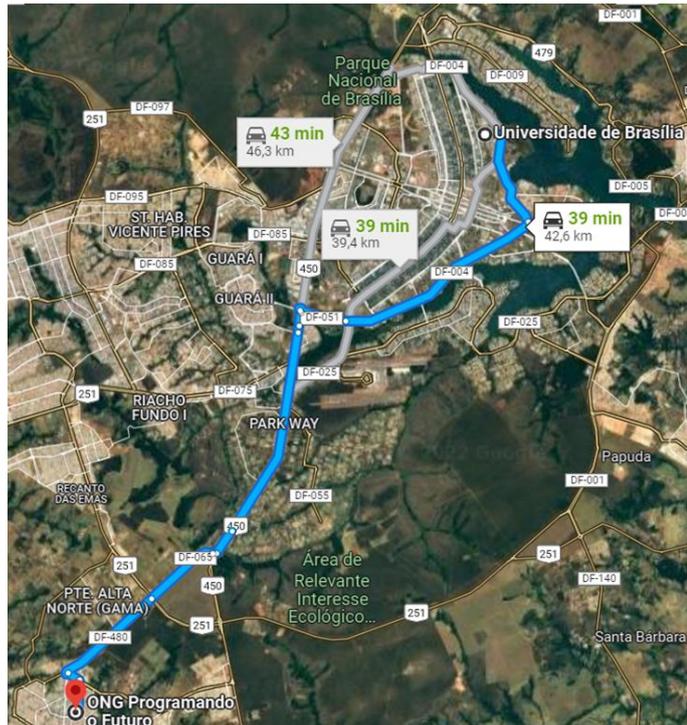


Figura 11 – Rota Darcy Ribeiro para a ONG “Programando Futuro” (Fonte: Google Maps, 2022)

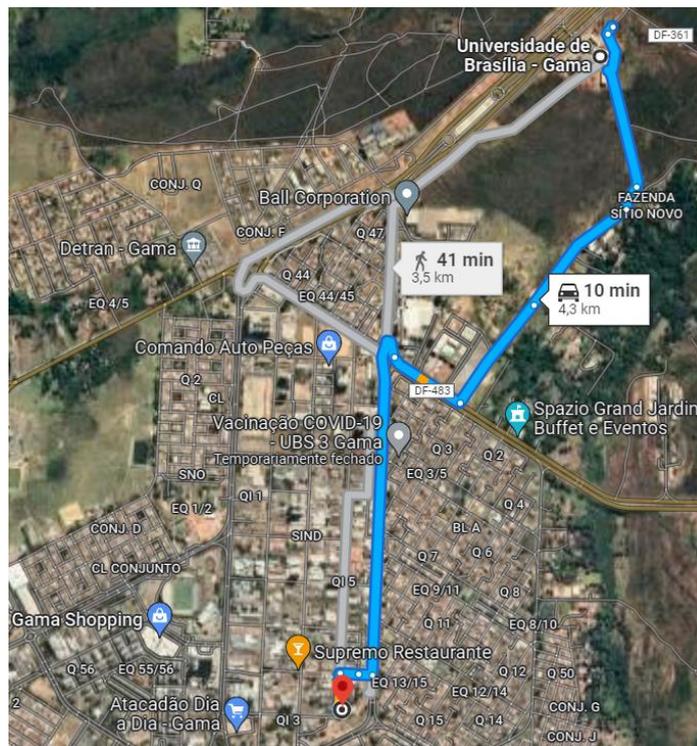


Figura 12 – Rota FGA para a ONG “Programando Futuro” (Fonte: Google Maps, 2022)

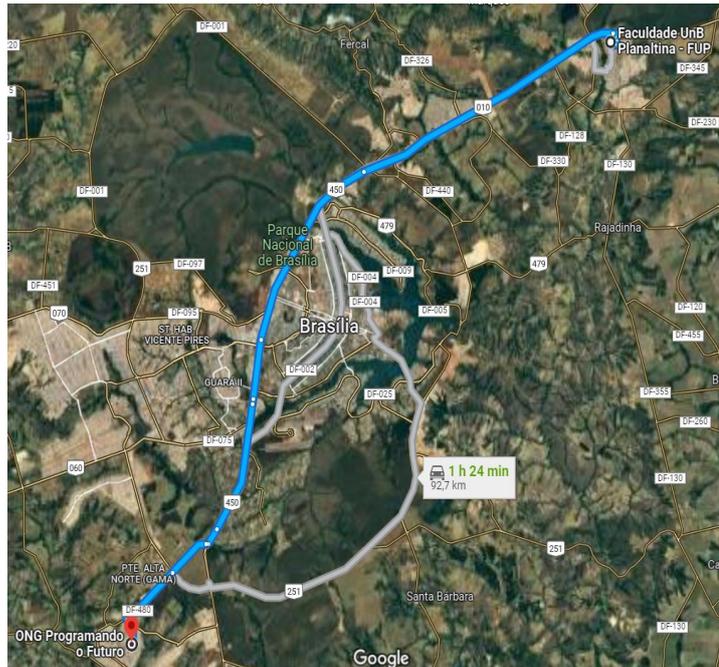


Figura 13 – Rota FUP para a ONG “Programando Futuro” (Fonte: Google Maps, 2022)



Figura14 – Rota Programando Futuro até GM&C (Fonte: Google Maps, 2022)

Assim, os dados de transportes das pilhas utilizados foram os seguintes (Tabela 14):

Tabela 14 – Distância adotada para cada trajeto (Fonte: Google Maps)

| ROTA | Distância (km) |
|---------------------|----------------|
| Darcy Ribeiro – ONG | 42,6 |
| FGA – ONG | 4,3 |
| FUP – ONG | 92,7 |
| ONG – GM&C | 1.043 |

A partir dos dados expostos, foi possível calcular as toneladas por quilômetros de cada trajeto, então:

Tabela 15 – Número de toneladas por quilômetros

| ROTA | Tonelada.km |
|---------------------|-------------|
| Darcy Ribeiro – ONG | 192,81 |
| FGA – ONG | 1,22 |
| FUP – ONG | 14,08 |
| ONG – GM&C | 5174,14 |

5.4 ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DO COLETOR

Com base nas informações apresentadas de dimensão dos PEVs instalados e na quantidade de pilhas descartadas, foi feito cálculo estimativo para saber a necessidade de expandir o número de coletores ou ampliar sua capacidade. Para isso foi utilizado a quantidade total de pilhas de cada campus (em quilogramas) e as dimensões e volume do PEV de acordo com a tabela 12 e considerado que os pontos de coleta só receberiam pilhas. Então, o resultado obtido foi o seguinte:

Tabela 16 – Número de PEVs em cada campus

| FACULDADE | NÚMERO DE PEVs |
|---------------|----------------|
| FGA | 2 |
| Darcy Ribeiro | 23 |
| FUP | 1 |

E conforme as dimensões e a capacidade dos Pontos de Coletas Voluntárias (PEVs) instalados na UnB, seria necessário que houvesse mais de um PEV ou instalação de PEVs com maior volume de armazenamento no campus Darcy Ribeiro e na FGA. Caso não haja essa alteração, os campi estariam com a eficiência de coleta reduzida, o que poderia causar um desperdício na quantidade de pilhas recicladas ou um descarte incorreto deste item.

Portanto, conforme as informações apresentadas sobre as dimensões dos PEVs e os dados apresentados na tabela 16, é possível observar que o número de coletores não são

suficientes para coletar todas as pilhas da UnB. Nessa perspectiva, é preciso que sejam instalados mais PEVs com as mesmas dimensões e capacidades iguais ou PEVs com volumes maiores no campus Darcy Ribeiro e no campus FGA. Dessa forma, a gestão de descarte dos resíduos de pilhas poderiam melhorar, pois seriam melhores reaproveitadas.

5.5 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Para a realização da análise do ciclo de vida, foi necessário utilizar os dados estimados de consumo per capita de pilha para cada campus, devido à dificuldade em ter acesso a quantidade de pilhas descartadas no campus Darcy Ribeiro e por estarmos em um cenário pandêmico, o que impossibilitou a realização de um estudo experimental. Nesse sentido, foi usada a base da Ecoinvent version 3.8 (2021) que tem as fases do ciclo de vida e conhecimentos sobre os processos mais atuais, visto que o objeto de estudo é o ciclo de vida das pilhas descartadas na Universidade de Brasília atualmente.

O transporte considerado neste projeto foi o adquirido através das entrevistas, então apenas foi incluído o deslocamento de cada campus da universidade até a ONG “Programando Futuro” e o da ONG até a empresa “GM&C”. Além disso, para este trabalho considerou-se que as pilhas saíam da universidade através da van “Master” da Renault para a ONG. E da ONG eram transportadas para a empresa “GM&C” em São Paulo, portanto, considerou apenas o trecho uma vez porque não há informações da onde as vans sairiam.

As distâncias usadas para este projeto foram obtidas pela ferramenta “Google Maps” apresentadas no tópico 6.2. Então, os valores de distância em quilômetros foi:

Tabela 17 – Distância Adotada

| ROTA | Deslocamento (km) |
|---------------------|-------------------|
| Darcy Ribeiro – ONG | 42,6 |
| FGA – ONG | 4,3 |
| FUP – ONG | 92,7 |
| ONG – GM&C | 1.043,0 |

No inventário da Ecoivent não tem o transporte exatamente como a van “Master” Renault que possui capacidade de 1.759kg e que consome 8,2 km/l de combustível. Então, foi preciso selecionar a melhor opção apresentada pelo próprio programa, a “*Transport, freight, light commercial vehicle*”, que é classificado como um veículo comercial rápido e com

potencial apresentado para realizar o transporte de mercadorias (Millo et al., 2017). E de acordo com o sítio da Renault a Van Master é classificada dessa forma no exterior. Então, foi a categoria que mais se aproximou da van utilizada para realizar o transporte das pilhas descartadas.

Além disso, é necessário ressaltar que no programa existem várias categorias de “*Transport, freight, light commercial vehicle*”, entretanto, a utilizada foi da localização “Global”, por ser uma análise de ciclo de vida com dados do Brasil e no programa não constar a opção deste veículo com os dados específicos para o Brasil. Categoria representada abaixo pela figura 15.

| | | | | | | |
|---|--------------------------|--|--|-----|-----------------------|-----|
| 4 | <input type="checkbox"/> | transport, freight, light commercial vehicle | transport, freight, light commercial vehicle [metric ton*km] | GLO | 1/1/2005 - 12/31/2005 | UPR |
|---|--------------------------|--|--|-----|-----------------------|-----|

Figura 15 – Categoria na Ecoivent (Ecoivent, 2021)

5.6 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O estudo do ACV teve como resultado as emissões geradas no transporte das pilhas coletadas em cada campus da UnB, identificados no tópico 6.3. A fronteira adotada foi a partir do transporte das pilhas dos campis da universidade para a ONG até a empresa em São Paulo, em razão da carência de dados associados aos caminhos realizados após esta rota. Ademais, como não existe coleta no campus da Ceilândia, esta rota não foi definida como objeto de estudo. Com isso as etapas avaliadas foram:

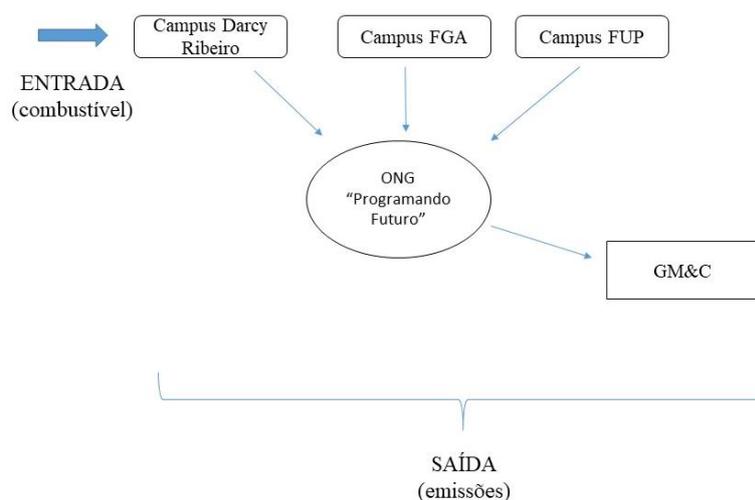


Figura 16 – Esquema etapas avaliadas no ACV das pilhas

5.6.1 ACV PILHAS DESCARTADAS NA UNB

Neste primeiro t3pico foi considerado apenas as pilhas coletadas na UnB no campus Darcy Ribeiro, Faculdade de Planaltina (FUP) e na Faculdade do Gama (FGA). Al3m disso, primeiro foi analisado o impacto das pilhas em Kg.km, assim os valores obtidos foram:

Tabela 18 – Resultado dos impactos em quilogramas por quilometro.

| Categoria de Impacto | Unidade | Resultado |
|--|---------------|-----------------|
| <i>climate change (GWP 100a)</i> | kg CO2-Eq | 0,001344 |
| <i>climate change (GWP 20a)</i> | kg CO2-Eq | 0,00135 |
| <i>climate change (GWP 500a)</i> | kg CO2-Eq | 0,00133 |
| <i>human toxicity (HTP 100a)</i> | kg 1,4-DCB-Eq | 0,000136 |
| <i>freshwater sediment ecotoxicity (FSETP 20a)</i> | kg 1,4-DCB-Eq | 0,0000031 |
| <i>marine sediment ecotoxicity (MSETP 100a)</i> | kg 1,4-DCB-Eq | 0,000119 |
| <i>stratospheric ozone depletion (ODP 10a)</i> | kg CFC-11-Eq | 0,0000000000188 |
| <i>eutrophication potential (generic)</i> | kg PO4-Eq | 0,0000009039 |
| <i>terrestrial ecotoxicity (TAETP 100a)</i> | kg 1,4-DCB-Eq | 0,000000362 |

Em seguida, foi feito em toneladas por quilômetros e os resultados encontrados foram:

Tabela 19 – Resultado dos impactos em toneladas por quilômetros

| Categoria de Impacto | Unidade | Resultado |
|--|---------------|-----------|
| <i>climate change (GWP 100a)</i> | kg CO2-Eq | 21655,90 |
| <i>climate change (GWP 20a)</i> | kg CO2-Eq | 21749,91 |
| <i>climate change (GWP 500a)</i> | kg CO2-Eq | 21422,18 |
| <i>human toxicity (HTP 100a)</i> | kg 1,4-DCB-Eq | 2198,27 |
| <i>freshwater sediment ecotoxicity (FSETP 20a)</i> | kg 1,4-DCB-Eq | 49,97 |
| <i>marine sediment ecotoxicity (MSETP 100a)</i> | kg 1,4-DCB-Eq | 1920,55 |
| <i>stratospheric ozone depletion (ODP 10a)</i> | kg CFC-11-Eq | 0,0003 |
| <i>eutrophication potential (generic)</i> | kg PO4-Eq | 14,57 |
| <i>terrestrial ecotoxicity (TAETP 100a)</i> | kg 1,4-DCB-Eq | 5,84 |

Conforme os resultados apresentados, foi possível obter as seguintes comparações para as categorias de impacto “*Human Toxicity*” que representa o potencial de toxicidade humana, portanto, grau que é preciso para uma substância causar danos nos seres expostos. Além disso, ressalta-se que essa categoria “*Freshwater Sediment ecotoxicity*” representa o grau de impacto para uma substância causar danos a organismos em água doce.

E também a categoria “*Marine Sediment ecotoxicity*”, que determina o grau que é preciso para uma substância causar danos a organismos em águas marinhas. Por último, a “*Terrestrial ecotoxicity*”, definida como o grau que é preciso para uma substância causar danos a organismos terrestres expostos. As categorias estão representadas abaixo:

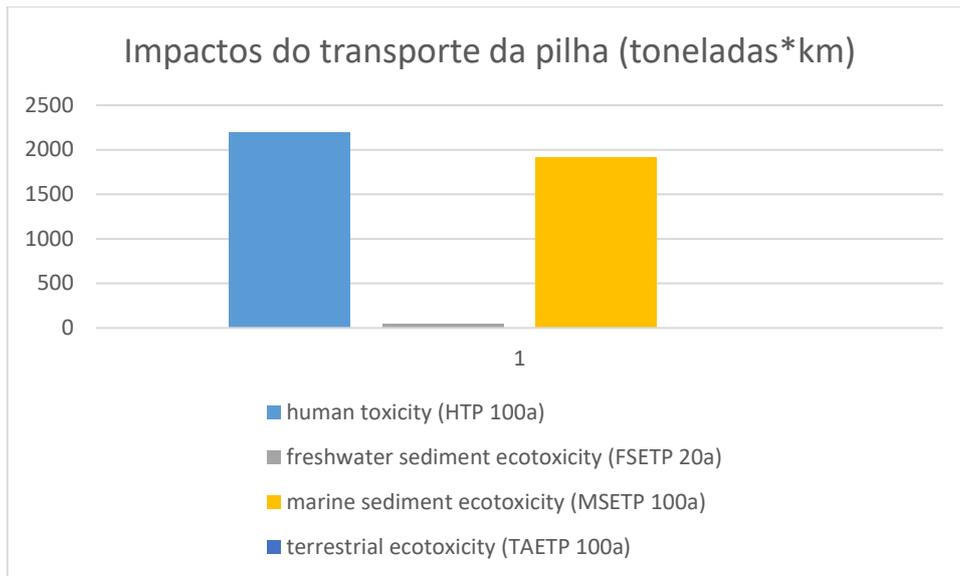


Figura 17 – Gráfico de impacto das categorias em toneladas por quilômetros.

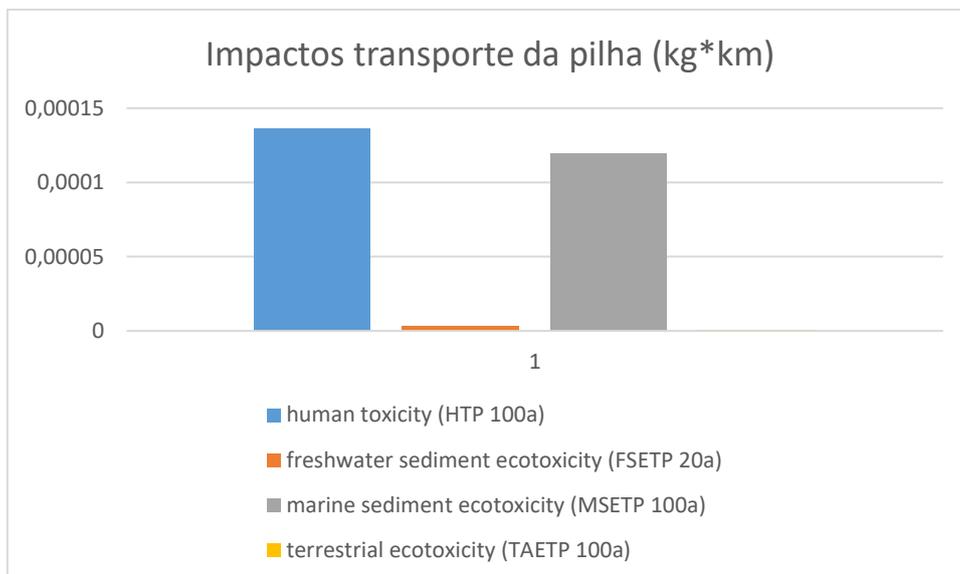


Figura 18 – Gráfico sobre os impactos das categorias em quilogramas por quilômetros

Com relação à categoria “*Climate Change*”, essa representa o impacto sobre o aquecimento global através da liberação dos gases de efeito estufa em 100 anos, 20 anos e 500 anos, os resultados em kg*quilômetros foram de:

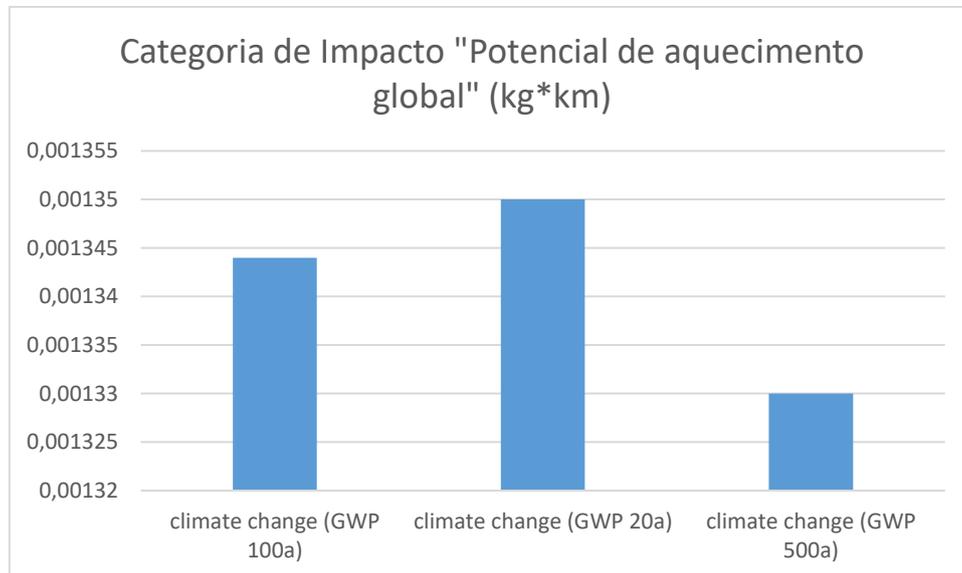


Figura 19 - Gráfico de impacto do transporte sobre o aquecimento global.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este projeto foi desenvolvido com o objetivo de analisar o modelo de gestão do descarte de pilhas usadas e algumas etapas do ciclo de vida desse resíduo descartado na Universidade de Brasília, com isso foi necessário realizar algumas considerações acerca do tema. Na universidade, o sistema atual de gestão deste resíduo foi implementado no final do de 2019, logo em seguida iniciou a pandemia da Covid-19, que levou ao isolamento social e por isso, para a avaliação, foi necessário realizar cálculos estimativos para possibilitar a análise do modelo atual utilizado.

E com base nos cálculos estimados para a população do campus da Ceilândia (FCE) é possível concluir que é imprescindível a instalação de um ponto de coleta neste campus, dado que a demanda é maior que no campus do Gama, o qual já possui um ponto. E ao instalar, é sugerido que seja divulgado e situado em um local onde haja um maior fluxo de alunos e pessoas da comunidade externa, por exemplo, na entrada do campus.

Devido ao cenário atual, foram realizadas entrevistas para adquirir conhecimentos acerca do tema. Com isso, a informação obtida através dessa interlocução foi que no DF a Green Eletron é a entidade gestora que possui acordo com a Secretaria do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA/DF) para realizar a logística reversa dos resíduos de pilhas e baterias. E na UnB, a “Progamando Futuro”, ONG contratada pela Green Eletron, é a responsável por coletar os resíduos de pilhas descartadas nos pontos de coletas.

Ademais, com o mapeamento do processo de descarte e destinação ambiental das pilhas da universidade, conclui-se que o número de coletores necessários para recolher todas as pilhas da UnB apresentado na tabela 12 não é suficiente. Portanto, há necessidade de instalar mais PEVs com a mesma capacidade ou PEVs com volume maiores, no campus Darcy Ribeiro e no campus FGA. Neste contexto, caso ocorresse essa alteração, poderia melhorar a gestão de descarte deste resíduo, tendo um melhor reaproveitamento das pilhas descartadas.

Além disso, o número de pontos de coletas situados são poucos e não são em lugares estratégicos, no campus Darcy Ribeiro está localizado na prefeitura, um local com menor trânsito de pessoas. Uma sugestão seria na Biblioteca Central (BCE) e no Instituto Central de Ciências (ICC), onde há uma maior circulação de estudantes, professores e pessoas de fora da universidade. Os campi da FGA e da FUP são menores e os PEVs estão instalados onde há um maior trânsito de alunos, entretanto, talvez fosse necessário alocar outros em locais onde

moradores da região tivessem acesso, para que a universidade tenha um papel social no descarte deste resíduo, para além da comunidade acadêmica.

Outrossim, como o descarte das pilhas é uma relação compartilhada entre o consumidor e o fabricante, é necessário que haja uma maior conscientização da população para realizar o descarte correto deste item nos pontos de coleta. Então, é preciso que tenha uma maior disseminação sobre o descarte das pilhas na UnB, divulgação sobre os pontos de coleta que já existem na universidade e políticas de descarte, de forma a conscientizar a população local sobre a necessidade da atuação no descarte deste item na universidade.

Além disso, existem diversos impactos ocasionados pelo resíduo da pilha, desde a sua fabricação até a destinação final. Neste projeto, foram estudados os impactos provenientes do transporte deste item desde o local de descarte (Universidade de Brasília) até São Paulo, local onde é realizada outra triagem para então ser destinado ambientalmente de forma adequada. E com base nos resultados encontrados, há inúmeras consequências causadas pelo trajeto da pilha desde a universidade até a empresa GM&C em São Paulo. Então, uma das formas de reduzir os impactos deste resíduo, seria por meio da alteração do trajeto da pilha descartada, por exemplo, o descarte da pilha ser feito mais perto do Distrito Federal.

De acordo com a Green, todo o traslado das pilhas descartas nos pontos de coleta da região centro-oeste, realizam o mesmo trajeto, ou seja, vão para a ONG Programando Futuro e são transportadas para São Paulo, onde passam por outra triagem na empresa “GM&C Soluções em Logística Reversa e Reciclagem LTDA” e são destinadas para a única empresa contratada pela Green Eletron para realizar a reciclagem em São Paulo. Nesse sentido, seria necessário que houvesse um estudo para avaliar o melhor tipo de transporte para conseguir reduzir os impactos em decorrência do descarte da pilha.

E, conforme descrito, as pilhas coletadas na região Centro-Oeste pela “Green Ambiental” tem apenas zinco metálico sendo reaproveitado pela empresa, componente esse representa cerca de 20% da composição deste item, e o restante da pilha, de acordo com a Green, são destinados de forma correta. Diante disso, seria necessário um estudo técnico que viabilizasse alternativas de transporte somente do zinco, reaproveitado pela empresa “Green Ambiental”, e os demais itens ficariam na região, o que poderia expandir a capacidade de transporte e diminuir os impactos.

6.1 SUGESTÃO PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS

É sugerido que os próximos trabalhos referentes a esse tema, tenham como foco:

- Transporte do Zinco metálico dos resíduos de pilhas para serem reciclados;
- Avaliação da rota utilizada na região Centro-Oeste no descarte e destinação ambiental pela empresa Green Eletron;
- Quantidade de PEVs instalados na universidade;
- Avaliação do transporte utilizado no descarte e destinação ambiental dos resíduos de pilhas da Universidade de Brasília.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOYDEN, A; SOO, V. K.; DOOLAN, M. **The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries**. 3rd CIRP Conference on Life Cycle engineering. Research school of Engineering, College of Engineering and Computer Science, The Australian National University, Canberra, ACT 2601, Australia. *Procedia CIRP* 48 (2016) 188 –193

MOTA, H. A. F., **Reciclagem de Pilhas**. 2012. Trabalho de Conclusão do Curso - Fundação Educacional do Município de Assis Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis Campus “José Santilli Sobrinho” de São Paulo, 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008**.

RUIZ, M. R, CHRISTOFOLETTI, R. A., RUIZ, L. I. R., SILVA, E. L., **Desafios Para o Gerenciamento de Pilhas e Baterias Pós-Uso: Proposição de Projeto de Lei sobre o E-lixo na cidade de Rio Claro – Sp**. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, vol. 1, 2012, pp. 29-50, Universidade Nove de Julho, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009 Gestão Ambiental, Avaliação de ciclo de vida, princípios e diretrizes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Dispõe a instituição da Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

BELLINI, E. M., MARQUES, R., XAVIER, C., R., GONZALEZ, E., F., **Análise do Ciclo de Vida de Pilhas e a Sustentabilidade Ambiental**. 8º ed Fórum Internacional de Resíduos, Instituto Venturi para Estudos Ambientais, 2017.

MARTINS, J. C. S., SOUTO, N. P. B., **Descarte de pilhas e baterias: avaliação do conhecimento de uma comunidade acadêmica sobre a resolução Conama nº 401/08**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n.4, p.19347- 19356, 2020.

FIGUEIREDO, F. F., **O Desenvolvimento da Indústria da Reciclagem dos Materiais no Brasil: Motivação Econômica ou Benefício Ambiental conseguido com a atividade?**. *Scripta Nova Revista eletrônica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol XVI, núm 387, 2012.

MERSONI, C., REICHERT, G. A., **Comparação de cenários de tratamento de resíduos Sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS**. *Eng Sanit Ambient*, v.22, p 863-875, 2017.

RUIZ, M. S., CERANTOLA, A. P., NETO, G. C. O., OZOLINS, A. L., **Desafios da Implantação da Logística Reversa de Pilhas, Baterias, Celulares e Acessórios: A Experiência De Rio Claro – Sp.** 2 ed Simpósio Internacional de Gestão de Projetos e 1 ed Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade, São Paulo, 2013.

JÚNIOR, H. S. L., ARAÚJO, R. V. V., **Reciclagem de pilhas primárias: comum e alcalina.** Iniciação Científica, Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BOCHI, N., FERRACIM, L. C., BAGIO, S. R. **Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental.** Química Nova na Escola, Núm. 11. São Paulo, 2000.

RORIZ, E. R. R., **Reciclagem de Pilhas: Recuperação do Manganês na forma de Dióxido de Manganês Eletrolítico.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MACÊDO, M. I., TRINDADE, R. B. E., SOARES, P. S. M., **Alternativas de Processo Hidrometalúrgico para Reciclagem de Pilhas Domésticas usadas.** XIX ETMME, Recife, Pernambuco, 2002.

AGOURAKIS, D. C., CAMARGO, I. M. C., COTRIM, M. B., FLUES, M., **Comportamento de Zinco e Manganês de Pilhas Alcalinas em uma coluna de solo.** Quím. Nova, Vol. 29, p. 960-964, São Paulo, 2006.

Gazano, V. S. O., Camargo, I. M. C., Flues, M., **Contaminação de um Solo Por Cd, Mn, Pb e Zn provenientes de pilhas comuns do tipo Zinco-Carbono.** 1 ed Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, São Paulo.

WOLFF, E., CONCEIÇÃO, S. V., **Resíduos Sólidos: A Reciclagem de Pilhas e Baterias no Brasil.** Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Minas Gerais, 2011.

SILVA, B. O., CÂMARA, S. C., AFONSO, J. C., NEUMANN, R., NETO, A. A., **Série Histórica da Composição Química de Pilhas Alcalinas e Zinco-Carbono Fabricadas entre 1991 e 2009.** Química Nova, Vol. 34 p. 812-818, Rio de Janeiro, 2011.

GOMES, A. C. L., MELO, S. R., **Pilhas e efeitos nocivos.** Arq. Mudi, Maringá, Paraná, 2006.

SHIBAO, F. Y., MOORI, R. G., SANTOS, M. R., **A Logística Reversa e a Sustentabilidade Empresarial.** 18 ed Seminários em Administração, São Paulo, 2010.

MILLO, F., CUBITO, C., ROLANDO, L., PAUTASSO, E., SERVETTO, E., **Design and development of an hybrid light commercial vehicle.** *Dipartimento Energia, Politecnico di Torino, Itália (2017)*

HORA, K. M. (2021). **Metodologia para avaliação do ciclo de vida de ciclovias de**

Pavimento rígido. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM- 08A/21, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123 p.

GREEN AMBIENTAL. **Green Reciclapilha Cartilha Informativa.** São Paulo.

GOVERNO DE BRASÍLIA. **Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.** Distrito Federal, 2018.

ECOINVENT. **The life cycle inventory data version 3.8.** SwissCentre for Life Cycle Inventories, 2021.

GREENDELTA. **OpenLCA.** GreenDelta, Berlin, v.1.10.2, 2021