



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**DIANA SILVA DE ARAUJO**

**USO DE ROTAS TECNOLÓGICAS COMO INSTRUMENTO  
NORTEADOR DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM  
INSTITUIÇÕES DE ENSINO**

**SÃO LUÍS - MA**

**2025**

DIANA SILVA DE ARAUJO

**USO DE ROTAS TECNOLÓGICAS COMO INSTRUMENTO  
NORTEADOR DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM  
INSTITUIÇÕES DE ENSINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS & TECNOLOGIA AMBIENTAL/UFMA da Universidade Federal do Maranhão como requisito à obtenção do título de MESTRE.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Luis de Araújo Neto.

Linha de pesquisa: Biotecnologia e Tecnologias aplicadas ao Meio Ambiente.

SÃO LUÍS - MA

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Araujo, Diana Silva de.

USO DE ROTAS TECNOLÓGICAS COMO INSTRUMENTO NORTEADOR DA  
GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO /  
Diana Silva de Araujo. - 2025.

83 f.

Orientador(a): Cláudio Luis de Araujo Neto.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Ciência e Tecnologia Ambiental/ccet, Universidade Federal  
do Maranhão, São Luis, 2025.

1. Instituição de Ensino. 2. Gerenciamento de  
Resíduos. 3. Composição Gravimétrica. I. Neto, Cláudio  
Luis de Araujo. II. Título.

DIANA SILVA DE ARAUJO

**USO DE ROTAS TECNOLÓGICAS COMO INSTRUMENTO NORTEADOR DA  
GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em CIÊNCIA &  
TECNOLOGIA AMBIENTAL da  
Universidade Federal do Maranhão como  
requisito à obtenção do título de MESTRE.

Aprovada em   /  /  

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cláudio Luis de Araújo Neto  
Universidade Federal do Maranhão

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Mendes Oliveira  
Universidade Federal do Maranhão

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nazaré do Socorro Lemos Silva Vasconcelos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Amanda Paiva Farias  
Universidade Federal do Maranhão

SÃO LUÍS - MA  
2025

## **AGRADECIMENTOS**

A jornada da elaboração desta dissertação foi desafiadora, mas repleta de aprendizados e conquistas. Nesse caminho, muitas pessoas foram fundamentais, e a elas expresso minha mais profunda gratidão.

Primeiramente à Deus, por me conceder força, sabedoria e serenidade para concluir mais esta etapa da minha vida.

À minha família, pelo amor incondicional, pelo apoio e por acreditarem em mim. Esse incentivo foi essencial para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu orientador, o professor Dr. Cláudio Luís de Araújo Neto, pela paciência, orientação e incentivo ao longo de todo o processo. Suas valiosas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Diretores do Instituto Federal do Maranhão – Campus Centro Histórico, Luciene Amorim, Silvio Pereira e Danielle Carvalho pelo apoio institucional e confiança na realização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, que compartilharam comigo desafios, conquistas e momentos de aprendizado. A troca de conhecimento e o apoio mútuo tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora.

À minha amiga Adriana Nascimento, por toda a ajuda, apoio e palavras de encorajamento. Sua amizade foi um pilar essencial para que eu pudesse seguir em frente.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu mais sincero agradecimento.

## RESUMO

Os impactos ambientais provenientes do descarte de resíduos sólidos é um dos temas de maior preocupação a nível mundial. Diversas atividades humanas levam para o meio ambiente toneladas de substâncias tóxicas e isso tem resultado em contaminação dos recursos naturais. Assim, a gestão dos resíduos se torna uma ação cada vez mais necessária. Nesse contexto, as rotas tecnológicas, que são o conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final, têm grande importância para o correto descarte dos resíduos. Esse trabalho tem como objetivo propor rotas tecnológicas para melhoria da gestão dos resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico. A pesquisa será um estudo de caso tendo como campo de investigação as três unidades do IFMA - Campus Centro Histórico. Foi realizado um diagnóstico sobre a geração, indicando os tipos e a quantidade, e a gestão de resíduos nas unidades, bem como a composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos, para indicação das rotas tecnológicas. Observou-se que 66,7% desses resíduos são considerados como não perigosos (classe 2) e que as salas de aula foram o setor com maior geração de resíduos, seguido dos banheiros, setores administrativos e lanchonete/área de vivência. Foram identificadas duas rotas tecnológicas na gestão atual dos resíduos na instituição, contemplando resíduos classe 1 e classe 2. Na caracterização gravimétrica, constatou-se que os resíduos sanitários correspondem a maior fração, sendo 43,9% dos total dos resíduos, seguido do plástico que representou 25,5%. Quanto à composição volumétrica, o plástico e papel/papelão foram os que apresentaram os maiores volumes, o que corresponde a 48,2% e 24,5%, respectivamente. Nas rotas tecnológicas elaboradas para os resíduos classe 1 foram indicadas quatro destinações, enquanto que para os resíduos classe 2 foram três destinações mapeadas. As rotas tecnológicas propostas neste trabalho representam uma oportunidade de melhorar o gerenciamento de resíduos sólidos na instituição, promovendo práticas alinhadas à educação e sustentabilidade ambiental, inclusão social e eficiência econômica.

Palavras-chave: instituição de ensino; gerenciamento de resíduos; composição gravimétrica.

## **ABSTRACT**

The environmental impacts resulting from solid waste disposal are one of the major global concerns. Various human activities release tons of toxic substances into the environment, leading to the contamination of natural resources. Thus, waste management is becoming an increasingly necessary action. In this context, technological routes, which comprise the set of processes, technologies, and waste flows from generation to final disposal, play a crucial role in proper waste disposal. This study aims to propose technological routes to improve solid waste management at IFMA - Centro Histórico Campus. The research is a case study conducted in the three units of IFMA - Centro Histórico Campus. A diagnosis was carried out on waste generation, identifying the types and quantities of waste, as well as the waste management practices within the units. Additionally, the gravimetric and volumetric composition of the waste was analyzed to determine appropriate technological routes. It was observed that 66,7% of the waste is classified as non-hazardous (class 2) and that classrooms were the sector with the highest waste generation, followed by restrooms, administrative sectors, and the cafeteria/living area. Two technological routes were identified in the institution's current waste management system, addressing both class 1 and class 2 waste. The gravimetric characterization revealed that sanitary waste accounted for the largest fraction, making up 43,9% of the total waste, followed by plastic, which represented 25,5%. In terms of volumetric composition, plastic and paper/cardboard had the highest volumes, corresponding to 48,2% and 24,5%, respectively. The technological routes developed for class 1 waste included four disposal options, while three destinations were mapped for class 2 waste. The proposed technological routes in this study represent an opportunity to enhance solid waste management at the institution, promoting practices aligned with environmental education and sustainability, social inclusion, and economic efficiency.

**Keywords:** educational institution; waste management; gravimetric composition.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Unidades do IFMA - Campus Centro Histórico                                              | 39 |
| Figura 2 - Etapas metodológicas                                                                    | 40 |
| Figura 3 - Acompanhamento do gerenciamento dos resíduos sólidos                                    | 41 |
| Figura 4 - Acondicionamento, armazenamento e triagem dos resíduos gerados                          | 42 |
| Figura 5 - Etapas da caracterização gravimétrica                                                   | 44 |
| Figura 6 - Etapas da caracterização volumétrica                                                    | 45 |
| Figura 7 - Metodologia para elaboração de rotas tecnológicas                                       | 46 |
| Figura 8 - Quantidade de resíduos gerados por setor                                                | 48 |
| Figura 9 - Percentual de resíduos gerados por setor na unidade Casarão                             | 50 |
| Figura 10 - Percentual de resíduos gerados por setor na unidade CRA                                | 51 |
| Figura 11 - Percentual de resíduos gerados por setor na unidade EIB                                | 52 |
| Figura 12 - Destinações atuais dos resíduos sólidos do IFMA - Campus Centro Histórico              | 53 |
| Figura 13 - Fluxo atual dos resíduos classe 2 do IFMA - Campus Centro Histórico                    | 55 |
| Figura 14 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no IFMA - Campus Centro Histórico | 56 |
| Figura 15 - Acondicionamento de resíduos sanitários                                                | 57 |
| Figura 16 - Composição volumétrica dos resíduos gerados no IFMA - Campus Centro Histórico          | 59 |
| Figura 17 - Rotas tecnológicas para resíduos classe 1 do IFMA - Campus Centro Histórico            | 61 |
| Figura 18 - Rotas tecnológicas para resíduos classe 2 do IFMA - Campus Centro Histórico            | 67 |
| Figura 19 - Fluxo estimado dos resíduos classe 2 do IFMA - Campus Centro Histórico                 | 70 |



## **LISTA DE QUADROS**

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Etapas de manejo de resíduos sólidos | 19 |
| Quadro 2 - Tipos de resíduos identificados      | 47 |

## SUMÁRIO

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                                                              | <b>11</b> |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                                                   | <b>13</b> |
| 2.1 Efeito potencial dos resíduos sólidos no ambiente                             | 13        |
| 2.2 Legislação ambiental e resíduos sólidos                                       | 15        |
| 2.3 Manejo de resíduos sólidos urbanos                                            | 19        |
| 2.4 Tecnologias de tratamento de resíduos sólidos                                 | 21        |
| 2.4.1 Compostagem                                                                 | 21        |
| 2.4.2 Reciclagem                                                                  | 22        |
| 2.4.3 Digestão anaeróbia                                                          | 23        |
| 2.4.4 Autoclave                                                                   | 24        |
| 2.4.5 Incineração                                                                 | 25        |
| 2.4.6 Combustível derivado do resíduo (CDR)                                       | 25        |
| 2.4.7 Gaseificação                                                                | 26        |
| 2.4.8 Pirólise                                                                    | 27        |
| 2.4.9 Plasma                                                                      | 27        |
| 2.4.10 Aterro sanitário                                                           | 28        |
| 2.5 Economia circular e logística reversa                                         | 29        |
| 2.6 Gestão integrada dos resíduos sólidos                                         | 31        |
| 2.7 Agenda Ambiental na Administração Pública – A3P                               | 33        |
| 2.8 Rotas tecnológicas                                                            | 35        |
| <b>3. JUSTIFICATIVA</b>                                                           | <b>36</b> |
| <b>4. OBJETIVOS</b>                                                               | <b>37</b> |
| 4.1 Objetivo geral                                                                | 37        |
| 4.2 Objetivos específicos                                                         | 38        |
| <b>5. METODOLOGIA</b>                                                             | <b>38</b> |
| 5.1 Caracterização da área de estudo                                              | 38        |
| 5.2 Etapas metodológicas                                                          | 39        |
| 5.2.1 Diagnóstico da gestão de resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico | 40        |
| 5.2.2 Determinação da composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos  | 42        |
| 5.2.2.1 Determinação da composição gravimétrica                                   | 43        |
| 5.2.2.2 Determinação da composição volumétrica                                    | 44        |
| 5.2.3 Elaboração das rotas tecnológicas                                           | 45        |
| <b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                                                  | <b>46</b> |
| 6.1 Diagnóstico da gestão de resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico   | 46        |
| 6.1.1 Identificação das fontes de geração, dos tipos e da quantidade de resíduos  | 46        |
| 6.1.2 Gerenciamento dos resíduos sólidos                                          | 52        |
| 6.2 Determinação da composição gravimétrica                                       | 56        |
| 6.3 Determinação da composição volumétrica                                        | 59        |
| 6.4 Elaboração das rotas tecnológicas                                             | 61        |
| 6.4.1 Rotas tecnológicas para resíduos classe 1                                   | 61        |
| 6.4.2 Rotas tecnológicas para resíduos classe 2                                   | 66        |
| <b>7. CONCLUSÃO</b>                                                               | <b>71</b> |

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>8. CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO</b> | <b>72</b> |
| 8.1 Importância social                          | 72        |
| 8.2 Importância econômica                       | 73        |
| 8.3 Importância ambiental                       | 73        |

## **REFERÊNCIAS**

## 1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais provenientes do descarte de resíduos sólidos é um dos temas de maior preocupação a nível mundial, especialmente os provocados pelo manejo inadequado desse material. Diversas atividades humanas levam para o meio ambiente toneladas de substâncias tóxicas e isso tem resultado em contaminação dos recursos naturais, como rios, mares, florestas, praias, etc.

No Brasil, 541 mil toneladas/dia de resíduos sólidos são lançados no ambiente (Souza, 2019). Tendo em vista que os grandes centros urbanos não possuem um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, o descarte inadequado torna-se um sério problema de gestão, com destaque para os plásticos que, segundo Plastics Europe (2019), a produção anual de materiais de base plástica em 2018 ultrapassou 350 milhões de toneladas em todo o mundo. Conforme o Panorama dos Resíduos Sólidos da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, aproximadamente, 30 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são destinados anualmente a lixões e aterros controlados (ABRELPE, 2021).

Ações que visam a sensibilização ambiental e a redução drástica da produção de resíduos precisam ser executadas, o que certamente pode influenciar na qualidade de vida da população mundial (Sansónovic; Gracioli, 2015). A produção de resíduos sólidos resultante de diversas atividades se torna um problema maior quando o gerenciamento desses materiais não é efetivo, ou seja, quando não é feito com qualidade para se alcançar os resultados propostos. Assim, para que a gestão de resíduos sólidos ocorra, é necessário mapear todas as etapas, identificando os geradores, indicando estratégias para reduzir sua produção, destinando corretamente e garantindo que tenham o tratamento adequado.

A necessidade de racionalizar e normatizar a gestão dos resíduos sólidos com base em eficiência econômica, eficácia ambiental e inclusão social tem sido discutida há mais de uma década (Carvalho *et al.*, 2019). De acordo com Reichert (2021), rota tecnológica de resíduos é o conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final, envolvendo circuitos

de coleta de resíduos sólidos de forma indiferenciada e diferenciada e contemplando tecnologias de tratamento dos resíduos com ou sem valorização energética. A definição de rotas tecnológicas de resíduos sólidos e, em particular, dos RSU tem sido necessária pela entrada em vigor da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Carvalho *et al.*, 2019). Desta forma, as rotas tecnológicas se apresentam como importante instrumento norteador na gestão dos resíduos sólidos em diversos setores da sociedade.

Pimentel *et al.* (2020) e Simões *et al.* (2021) realizaram análise de rotas tecnológicas em município e indústria, respectivamente. Nos estudos, avaliaram as rotas existentes, bem como impactos ambientais das diferentes destinações dos resíduos, conforme os aspectos sociais, culturais e econômicos, às tecnologias de tratamento aplicadas e a legislação vigente, contribuindo assim para gestão dos resíduos nos setores público e privado.

A melhoria do desempenho ambiental na administração pública é considerada um tema chave, uma vez que os seus diversos setores são importantes agentes econômicos, consumidores de bens e serviços, e também geram, no exercício de suas funções e atividades, significativos impactos ambientais (Juliatto;Calvo; Cardoso, 2011).

Nas instituições públicas de ensino, como as universidades e institutos federais, por exemplo, os desafios são grandes quanto ao gerenciamento dos diversos resíduos sólidos gerados, visto que essas instituições atendem um quantitativo elevado de pessoas e realizam atividades em vários segmentos.

No estudo feito por Guimarães e Amarante Junior (2023), foi avaliada a gestão de resíduos sólidos no IFMA - Campus Barra do Corda. Constatou-se que apesar de ocorrer atividades relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos, estas não são planejadas conjuntamente e ainda, que a maioria das pessoas são favoráveis à implementação de atividades que ajudem na conscientização do público em relação à problemática. De acordo com os autores, os resultados obtidos na pesquisa servem de subsídios para a elaboração do Plano de Gestão de Resíduos Sólidos do Campus.

Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IF), criados

segundo a Lei nº 11.892 (Brasil, 2008) a partir da integração dos Centros Federais de Educação Tecnológica e das Escolas Agrotécnicas Federais, atendem milhares de alunos anualmente. O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA possui trinta e cinco unidades distribuídas em todo o estado, entre elas o IFMA - Campus Centro Histórico, que atuam no ensino, pesquisa e extensão. Todas essas atividades têm produzido grandes quantidades de resíduos sólidos com diferentes características, em especial papel e plástico. Com base no potencial poluidor, no alto tempo de permanência no meio ambiente e também dos efeitos negativos provocados por esses tipos de materiais, há uma responsabilidade e necessidade de uma gestão correta de seus resíduos.

Desta forma, o mapeamento e o conhecimento da destinação adequada dos resíduos sólidos gerados é essencial. E isso é possível por meio da utilização de rotas tecnológicas dos resíduos sólidos, que têm como principal propósito a minimização dos impactos desses materiais ao meio ambiente. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo propor rotas tecnológicas para melhoria da gestão dos resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Efeito potencial dos resíduos sólidos no ambiente**

Os efeitos do descarte de resíduos sólidos geram transtornos irreparáveis à vida no planeta. Os Microplásticos (polipropileno, polietileno e tereftalato) carregados por correntes de rios que cortam diversas cidades, por exemplo, chegam ao Oceano Pacífico causando poluição. Esses materiais são responsáveis pelo transporte de espécies de microorganismos, espécies de algas nocivas e outros poluentes persistentes, prejudicando comunidades naturais e suas funções no ecossistema (Reisser, 2014; Shiu *et al.*, 2021).

Sun *et al.* (2016) realizou uma avaliação do efeito da contaminação ambiental na estrutura da comunidade e frutificação de fungos ectomicorrízicos, componente

essencial dos ecossistemas florestais. Neste estudo ficou claro como os resíduos sólidos mudaram completamente a biota do solo e dos outros elementos do ecossistema florestal. Além disso, mudou a estrutura da comunidade dos fungos ectomicorrizicos e no local contaminado por lixo não foi identificado corpo de frutificação do fungo em estudo.

No Brasil a contaminação provocada por um depósito de resíduos sólidos no aquífero Alter do Chão em Manaus – AM mostrou diversos impactos ambientais negativos, inclusive dentro do aquífero. Segundo Rocha *et al.* (2006), há modificação física e química da água subterrânea do aquífero Alter do Chão em comparação ao restante da região do aquífero e tal contaminação é atribuída aos resíduos sólidos depositados sem controle.

O trabalho realizado por Rodrigues *et al.* (2020) identificou os impactos ambientais causados por atividades antrópicas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Itapiracó no município de São Luís - MA, através da observação sistemática das condições ambientais do local. A partir da pesquisa, notou-se que a APA do Itapiracó vem sofrendo ao longo dos anos com a degradação ambiental e os principais impactos ambientais constatados na área foram a retirada da mata ciliar das margens do Riacho Itapiracó e o acúmulo de resíduos sólidos.

A percepção ambiental dos usuários nas praias Calhau e Caolho em São Luís - MA, no que se refere à problemática da poluição, foi avaliado por Freitas *et al.* (2020). Durante a pesquisa foram aplicados questionários abordando a poluição nestas praias envolvendo vendedores locais e banhistas. Os resultados constataram que a maioria dos entrevistados indicaram a água e areia das praias como os locais mais afetados pela poluição, como consequência do descarte inadequado dos resíduos sólidos e da presença de efluentes domésticos.

René *et al.* (2021), realizou uma revisão da geração de resíduos eletrônicos, procedimentos de manuseio e diretrizes regulatórias nos Estados Unidos, União Européia, China, Índia, Vietnã e países do Conselho de Cooperação do Golfo (GCC), discutindo os desenvolvimentos recentes em métodos de reciclagem de resíduo eletrônico, recuperação de metais básicos e preciosos, as vantagens e limitações das tecnologias utilizadas. O estudo mostrou a necessidade urgente de visitar as práticas existentes, as legislações, as infraestruturas de reciclagem, criar

consciência e também resolver o problema usando uma abordagem (bio)tecnológica robusta, rentável e segura ao meio ambiente, pois cada vez mais a integração da tecnologia em todos os aspectos da nossa vida diária (por exemplo, trabalhar e estudar em casa) leva a um aumento no uso de dispositivos eletrônicos pelas pessoas comuns.

Já o estudo realizado por Hailong Wang *et al.* (2008), que trata sobre a opções tecnológicas para o manejo de bioossólidos, descreve que uma grande proporção de bioossólidos é aterrada, o que gera lixiviados e emissão de metano, um potente gás de efeito estufa. O uso benéfico mais comum de bioossólidos é a aplicação em terras agrícolas, pois permite um reaproveitamento completo de seus nutrientes e carbono orgânico a um custo relativamente baixo. A aplicação em solos deve se tornar uma opção preferencial de manejo onde há terra disponível, a qualidade dos bioossólidos atende aos requisitos regulatórios e é socialmente aceitável.

Diante da difícil realidade enfrentada por diversas cidades do mundo, as legislações ambientais com suas diretrizes, bem como a prática da fiscalização e a aplicação de penas/multas, são capazes de proporcionar ações concretas de redução dos impactos provocados pelo descarte de resíduos sólidos.

## **2.2 Legislação ambiental e resíduos sólidos**

Os resíduos sólidos urbanos podem apresentar vantagens em relação ao seu destino, tratamento, reaproveitamento, reciclagem e reutilização, desde que sejam manuseados de forma adequada.

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2024), os resíduos sólidos são definidos da seguinte maneira:

Resíduo sólido é material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, no estado sólido e semi-sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou que exijam, para isso, soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.



A norma NBR 10.004 (ABNT, 2024) classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente de acordo com as seguintes classes:

Classe 1 - Resíduo perigoso: É aquele que apresenta potencial de causar um efeito adverso à saúde humana e/ou ao meio ambiente, uma vez que possui uma ou mais característica(s) de periculosidade.

Classe 2 - Resíduo não perigoso: É aquele que não apresenta potencial de causar efeito potencial de causar um efeito adverso à saúde humana e/ou ao meio ambiente, uma vez que não possui uma ou mais característica(s) de periculosidade.

Já a norma NBR 10.007 (ABNT, 2004) que trata sobre a amostragem de resíduos sólidos, traz definições e requisitos para preparo do material a ser avaliado. De acordo com esta norma, quarteamento é definido como:

Processo de divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogeneizada, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume desejado.

A técnica de quarteamento é importante para se realizar a composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos. A composição gravimétrica de resíduos consiste na porcentagem em peso dos componentes em relação à amostra total. Esta composição pode variar em função do nível educacional, hábitos, atividade econômica, clima e nível de desenvolvimento da região (Bosco, 2008). Já a composição volumétrica define o percentual dos diversos componentes presentes nos resíduos em termo de volume, podendo ser realizada com resíduos soltos ou compactados (Araújo Neto, 2016).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, instituída pela Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010), os resíduos podem ser classificados em:

- Resíduos Sólidos Urbanos: aqueles provenientes de atividades domésticas e comerciais.
- Resíduos Perigosos: aqueles que apresentam riscos à saúde pública ou ao meio ambiente devido às suas propriedades (inflamáveis, tóxicos, corrosivos).

- Resíduos de Serviços de Saúde: aqueles gerados em hospitais, clínicas e laboratórios.
- Resíduos Industriais: aqueles resultantes de processos produtivos.
- Resíduos Orgânicos: aqueles provenientes de materiais biodegradáveis.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, também dispõe dos princípios, objetivos e instrumentos tais como as diretrizes que estão relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Um dos objetivos da PNRS é a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. E a educação ambiental, que é um dos instrumentos desta política, é importante para que este processo aconteça.

A educação ambiental pode ter um efeito muito mais expressivo do que se imagina na redução do descarte de resíduos sólidos no ambiente, por isso, no Brasil existe uma legislação própria que integra a educação ambiental como grande aliada no gerenciamento correto dos resíduos sólidos. A Lei nº 9.795 (Brasil, 1999) que dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental, onde:

Entende-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

No Art. 5º da Lei nº 9.795 (Brasil, 1999), são citados como objetivos fundamentais da educação ambiental a garantia da democratização das informações ambientais e o estímulo e o fortalecimento de uma consciência crítica sobre a problemática ambiental e social. Uma das principais práticas adotadas para um sistema de gestão mais sustentável é a coleta seletiva a fim de destinar e tratar de maneira mais correta a alta quantidade de resíduos gerados, e consequentemente reduzir os impactos ambientais e sociais (Ottoni; Pinto; Amaral, 2021). Essas práticas já podem ser verificadas em diversos segmentos das esferas do Governo Federal brasileiro, por exemplo.

A separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, foi definida pelo Decreto nº 10.936 (Brasil, 2022).

De acordo com Calderoni (1999), reciclagem é o processo sistemático de transformação do resíduo sólido em novos produtos. Sua importância e necessidade é justificada pela exaustão das matérias primas e os custos crescentes de sua obtenção; a economia de energia; a indisponibilidade e custo crescente dos aterros sanitários; os custos de transportes crescentes; a poluição e prejuízos à saúde pública; a geração de emprego e renda e redução dos custos de produção.

O Ministério do Meio Ambiente - MMA criou um programa de gestão socioambiental através do Programa Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P). Segundo MMA (s.d.), a A3P é estruturada em seis eixos temáticos prioritários baseados nas políticas dos 5R: Repensar, Reduzir, Reaproveitar, Reciclar e Recusar o consumo de produtos que geram impactos socioambientais negativos. Esse programa é destinado aos órgãos públicos das três instâncias (federal, estadual e municipal).

No município de São Luís foi aprovado em 2018, a Lei Municipal nº 6.321 que “Estabelece e organiza o sistema de limpeza urbana e de gestão integrada de resíduos sólidos de São Luís e dá outras providências” (São Luís, 2018).

Com a Lei nº 6.321 foi definido os limites para grandes geradores de resíduos sólidos, os responsáveis pelo manejo em regime privado, bem como as diretrizes para a execução desta atividade e as responsabilidades aos integrantes do sistema de limpeza urbana, desde os munícipes-usuários aos prestadores de serviços (Estrela *et al.* , 2019).

O Decreto Municipal nº 56.618 (São Luís, 2020) dispõe sobre a aprovação e instituição do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Luís -MA. Oliveira (2021) analisou esse plano e foi identificado que o documento, em grande parte, não atende o Art.19 da Política Nacional de Resíduos Sólidos, sendo necessário a sua adequação.

Atualmente o município de São Luís destina seus resíduos sólidos para a

Central de Gerenciamento Ambiental (CGA) Titara, empreendimento privado localizado no município de Rosário - MA, a 60 km da capital. Este aterro possui uma área total de 190 hectares, capacidade de recebimento de 25.788.635,00 m³ de resíduos sólidos e vida útil estimada em 60 anos (Maranhão, 2023).

### 2.3 Manejo de resíduos sólidos urbanos

O manejo de resíduos sólidos urbanos abrange um conjunto de ações com o objetivo de minimizar impactos ambientais e proteger a saúde pública (Brasil, 2010). Esse processo é essencial para garantir a sustentabilidade e reduzir os riscos associados ao descarte inadequado de resíduos.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), o manejo adequado de resíduos sólidos segue algumas etapas específicas. Basicamente essas etapas se referem à geração e triagem, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final, conforme descrito no Quadro 1:

Quadro 1 - Etapas de manejo de resíduos sólidos

| ETAPAS            | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Geração e Triagem | Etapa inicial no gerenciamento dos resíduos sólidos, pois ocorre a separação na origem, permitindo assim uma destinação da forma correta. Geralmente essa atividade é realizada por pessoas em cooperativas de catadores, empresas e pontos de coleta de resíduos nos municípios. |
| Armazenamento     | São usados recipientes e locais adequados para evitar contaminação, até que ocorra a coleta dos resíduos sólidos.                                                                                                                                                                 |

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coleta e Transporte | A coleta e o transporte dos resíduos sólidos têm sido um dos principais focos da gestão de resíduos sólidos, especialmente em áreas urbanas. A coleta é uma etapa essencial no gerenciamento adequado de resíduos sólidos, garantindo que eles sejam tratados, reciclados ou descartados de forma correta, minimizando impactos ambientais e riscos à saúde pública. O transporte correto dos resíduos sólidos garante que estes materiais cheguem com segurança nas unidades de tratamento ou destinação final. |
| Tratamento          | Nesta etapa ocorre a aplicação de processos como compostagem, incineração ou reciclagem. A escolha do tratamento dependerá do tipo e condições dos resíduos sólidos, como também dos aspectos econômicos, sociais e ambientais envolvidos.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Disposição Final    | É a última etapa do gerenciamento de resíduos sólidos, ocorrendo em aterros sanitários ou em empresas com a destinação ambientalmente adequada.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Fonte: Autora, 2024.

Segundo Oliveira e Galvão (2016), no Brasil, a geração de resíduos sólidos na área urbana vem crescendo em decorrência da concentração da maioria da população nestas regiões. Assim, a busca por soluções para o manejo adequado dos resíduos torna-se um desafio para prevenir e reduzir a poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos.

O manejo sustentável de resíduos sólidos é uma responsabilidade compartilhada entre governo, setor privado e sociedade civil. Políticas públicas eficazes, aliadas à educação ambiental, são fundamentais para garantir um futuro mais sustentável (ABRELPE, 2021).

## **2.4 Tecnologias de tratamento de resíduos sólidos**

O crescimento populacional, o desenvolvimento urbano e o aumento do consumo resultaram em uma quantidade crescente de resíduos sólidos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS traz como diretriz a necessidade de dar tratamento específico aos diferentes resíduos gerados pela sociedade, antes da sua disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

Apesar de a PNRS estar vigente no Brasil desde 2010, a destinação final dos resíduos ainda se resume, em quase todo o território brasileiro, no aterramento dos materiais sem qualquer processamento prévio (Brasil, 2018). Para lidar com esse desafio, diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para garantir um manejo mais eficiente, minimizando impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade.

### **2.4.1 Compostagem**

A compostagem é um processo biológico, o qual promove a decomposição aeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos, ou seja, com a presença de oxigênio. Para a compostagem ser efetiva, são necessárias condições adequadas de temperatura, umidade e pressão, resultando em um produto denominado composto, o que pode ser posteriormente aproveitado, principalmente, como adubo (Prates *et al.*, 2019).

De acordo com Baptista *et al.* (2019), o sistema de compostagem é uma das tecnologias de tratamento mais simples, com baixo teor de implantação e operação se comparada aos outros tratamentos. Além disso, o tratamento por compostagem

se mostra também eficiente na diminuição de massa e na carga orgânica dos resíduos.

A depender da finalidade de uso da compostagem (produção de fertilizante para a agricultura, para o cultivo de hortas ou para a agricultura orgânica), o composto orgânico deve ter uma qualidade exigida seguindo padrões definidos pelo Ministério da Agricultura (MMA, 2010).

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABREMA, 2024), dados publicados pelo SNIS e pela Embrapa indicam que, em 2023, cerca de 300 mil toneladas de material foram recebidas em pátios ou usinas de compostagem no Brasil, o que equivale a aproximadamente 0,4% dos RSU gerados no país. Estima-se que em torno de 5% do total recebido nessas unidades, cerca de 15 mil toneladas, seja material não-compostável. Considerando que o processo de decomposição consome em média 70% da massa de matéria orgânica sólida, estima-se que cerca de 85,5 mil toneladas de composto tenham sido produzidas no Brasil em 2023 como resultados da compostagem de RSU.

#### **2.4.2 Reciclagem**

A reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico - químicas ou biológicas, com vista à transformação em insumos ou novos produtos (Brasil, 2010).

De acordo com Barros (2012), a reciclagem diminui a exploração de recursos naturais; contribui para reduzir a poluição do solo, água e ar; melhora a limpeza das cidades e qualidade de vida da população; prolonga a vida útil dos aterros sanitários; melhora e facilita a segregação dos resíduos; gera empregos; gera receita; estimula a concorrência; contribui para a valorização da limpeza pública e formação consciência ambiental.

A reciclagem é uma das tecnologias mais utilizadas e amplamente difundidas. Por meio da separação e reprocessamento de materiais como papel, plástico, vidro e metais, é possível reinserir esses resíduos na cadeia produtiva, reduzindo a

demanda por recursos naturais. Segundo Silva *et al.* (2020), a reciclagem desempenha um papel crucial na economia circular, promovendo benefícios econômicos e ambientais.

Cerca de 6,7 milhões de toneladas de material seco foram enviadas para a reciclagem no Brasil em 2023, o que corresponde a 8,3% dos RSU gerados. Esse envio dos resíduos à reciclagem têm duas origens principais: a coleta via serviços públicos e a coleta informal. Cerca de 6,0% do total de RSU coletados via serviços públicos, ou 4,2 milhões de toneladas, foram encaminhados para centrais de triagem. Aproximadamente 52,2% desse material, ou 2,2 milhões de toneladas, foi recuperado, e o restante foi considerado rejeito e encaminhado para disposição final após a triagem. Já a coleta informal, feita por catadores autônomos, alcançou cerca de 4,5 milhões de toneladas de RSU. Como catadores autônomos focam sua coleta somente em materiais que tenham valor para a cadeia de reciclagem, assume-se que 100% do material coletado por esses trabalhadores tenha sido recuperado (ABREMA, 2024).

#### **2.4.3 Digestão anaeróbia**

Assim como a compostagem, a digestão anaeróbia também se trata de uma decomposição biológica da matéria orgânica, no entanto, sem a presença de oxigênio e havendo assim a formação de biogás e composto orgânico estabilizado (Prates *et al.*, 2019). Esse biogás é formado em grande parte por metano e dióxido de carbono, o que lhe confere alto poder calorífico e potencial de geração de energia. Dentre os fatores que influenciam a quantidade e a qualidade do biogás formado, o substrato utilizado, as condições do meio e a atividade microbológica, se destacam (Cesaro *et al.*, 2015).

Para Moretto e Fernandes (2019), o uso da digestão anaeróbia, como tecnologia de tratamento de resíduos, tem como vantagens o prolongamento da vida útil de aterros existentes, a redução dos odores e lixiviados de alta carga poluidora quando comparado com os aterros sanitários, maior geração de biogás e metano



que nos aterros sanitários, redução das emissões de gases de efeito estufa, recuperação de energia (biogás) e composto orgânico. Por outro lado, os autores indicam como desvantagem a necessidade de mão de obra qualificada para operação e monitoramento da planta e a variação da composição dos resíduos, o que pode comprometer a qualidade do biogás e do material digerido.

A digestão anaeróbica é uma solução eficiente e sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos, com geração de energia limpa e redução do impacto ambiental. Com avanços tecnológicos e incentivos à economia circular, essa prática tem potencial para expandir seu papel na gestão de resíduos.

#### **2.4.4 Autoclave**

Essa tecnologia é empregada principalmente para resíduos de serviços de saúde (RSS), como seringas, aventais, luvas e outros materiais contaminados, atendendo às exigências da Resolução da RDC nº 222 (ANVISA, 2018), que regula o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde no Brasil. Segundo Prado *et al.* (2020), a autoclave é altamente eficaz na eliminação de microorganismos patogênicos, tornando os resíduos tratados inertes e não perigosos.

De acordo com o relatório da ABRELPE (2021), em 2020, em decorrência do aumento no número de internações hospitalares e atendimentos de saúde por conta da pandemia da Covid-19, cerca de 290 mil toneladas de resíduos de serviços de saúde foram coletadas nos municípios brasileiros, com um índice de coleta per capita em torno de 1,4 kg por habitante no ano.

Quanto à destinação dos RSS, cerca de 30% dos municípios brasileiros ainda destinam os resíduos coletados sem nenhum tratamento prévio e 21,6% dos RSS gerados são destinados para o processo de autoclave (ABRELPE, 2021).

A adoção da tecnologia de autoclave no tratamento de resíduos sólidos reflete um compromisso com práticas ambientalmente responsáveis, segurança sanitária e conformidade com regulamentos ambientais. Como alternativa sustentável, a autoclave contribui para a redução de impactos ambientais e promove a saúde

pública de maneira eficaz.

#### **2.4.5 Incineração**

O método de conversão térmica mais antigo utilizado no mundo é a incineração, que corresponde à destruição dos resíduos, através da combustão controlada, em alta temperatura. Como decorrência, pode haver redução de aproximadamente 70% da massa total do resíduo e 90% do volume total do mesmo (TOZLU *et al.*, 2016).

O processo de incineração apresenta algumas vantagens, tais como: área pequena para a instalação, significativa redução de massa e volume dos resíduos, potencial de recuperação de energia superior aos aterros sanitários e digestão anaeróbia, redução na emissão de odores e aproveitamento da escória para utilização viária. No entanto, os altos custos de investimento na operação e manutenção, mão de obra qualificada para operação e monitoramento, emissão de poluentes perigosos e necessidade de tratamento dos resíduos gerados no processo, aparecem como desvantagens dessa tecnologia de tratamento (Moretto e Fernandes, 2019).

A incineração pode desempenhar um papel significativo no tratamento de resíduos sólidos, especialmente em locais com limitações de espaço e alta geração de resíduos sólidos urbanos.

#### **2.4.6 Combustível derivado do resíduo (CDR)**

De acordo com Moretto e Fernandes (2019), o CDR é produzido pelo preparo de RSU para utilização como combustível, basicamente em fornos de cimento e centrais de energia elétrica (coprocessamento). A quantidade de rejeitos gerada por este tratamento, cerca de 20% a 80%, varia de acordo com a qualidade do resíduo e do tipo de coleta e separação dos mesmos (Baptista *et al.*, 2019).

A produção do combustível derivado de resíduos urbanos (CDRU) é uma alternativa para aproveitamento de RSU. A produção do CDRU consiste em um processo de triagem dos resíduos, em que são selecionados os materiais com maior poder calorífico, seguido de trituração, para que as características físicas do material se tornem adequadas para seu uso como combustível. O produto final apresenta alto poder calorífico e é utilizado como substituto de combustíveis fósseis na produção de energia térmica em fornos industriais. Estima-se que aproximadamente 47,6 mil toneladas de CDRU tenham sido produzidas no Brasil em 2023. Considerando que para cada tonelada de RSU recebida em unidades de preparo, resultam em média 330 kg de CDRU, estima-se que, em 2023, 144,2 mil toneladas de RSU tenham sido encaminhadas a unidades de preparo de CDRU no Brasil, o que representa menos de 0,2% do total de RSU gerados no país (ABREMA, 2024).

#### **2.4.7 Gaseificação**

A gaseificação pode ser definida como a oxidação parcial de material carbonáceo sólido ou semissólido (biomassa, resíduos, carvão, etc.), em temperatura mediana e pressão variável, por reação com um agente gaseificante (ar, vapor d'água ou gás carbônico), tendo como produto principal um gás combustível (Prates *et al.*, 2019).

Essa tecnologia ainda é pouco utilizada para resíduos sólidos urbanos (Lora *et al.*, 2008). O custo elevado de implantação, de operação e maior ação de processos corrosivos no equipamento, são desvantagens deste tratamento. Em contrapartida, o processo de gaseificação não precisa de combustíveis auxiliares e é eficaz no tratamento de resíduos industriais (Prates *et al.*, 2019).

A gaseificação de resíduos sólidos se apresenta como uma tecnologia com potencial para atender demandas energéticas, com redução de emissões e promovendo a sustentabilidade.

#### **2.4.8 Pirólise**

Moretto e Fernandes (2019) definem a pirólise como um tratamento térmico avançado, que ocorre entre temperaturas de 400 - 800 °C, na ausência de oxigênio, produzindo gás, óleo e carvão. A quantidade e qualidade dos produtos gerados dependem da taxa de aquecimento, da temperatura do processo, do tempo de residência, da composição e do tamanho dos pedaços dos resíduos.

O processo pirolítico se mostra menos impactante que a incineração, apresentando um índice consideravelmente menor de emissões de gases poluentes. Esse tratamento térmico pode atingir um nível de redução do volume de resíduo de até 90%. Os resíduos pirolisados são inertes, do ponto de vista microbiológico, e podem ser dispostos, com segurança, sem geração significativa de lixiviados e formação de gases, se aterrados (Castro, 2015).

Para Prates *et al.* (2019), a pirólise apresenta como ponto fraco a operação em batelada e a necessidade de combustível auxiliar para manutenção da temperatura.

#### **2.4.9 Plasma**

Castro (2015) resume o processo de tratamento térmico por plasma como a transformação da fração orgânica dos resíduos em gases, enquanto, os materiais inorgânicos, se transformam em produtos vitrificados.

Já Prates *et al.* (2019), define o tratamento térmico de resíduos por plasma o aquecimento dos resíduos pela aplicação de correntes elétricas formadas pelo plasma. Para os autores, um benefício dessa tecnologia é a maior redução de massa e volume dos resíduos. Porém, a complexidade de implantação e operação, o alto consumo de energia e a aplicação somente em larga escala, se apresentam como entrave para realização desse tipo de tratamento.

Apesar dos desafios, a tecnologia de plasma representa um avanço

significativo para a sustentabilidade ambiental e se mostra como uma alternativa importante para minimizar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos.

#### **2.4.10 Aterro sanitário**

Aterros Sanitários são locais criados para a disposição final dos resíduos sólidos de maneira correta através de técnicas de engenharia capazes de evitar a infiltração do chorume no lençol freático e danos ambientais causados por disposição imprópria dos mesmos (Baptista *et al.*, 2019).

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992), aterro sanitário é:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS determina que, após esgotadas as possibilidades de reutilização, reciclagem e tratamento dos RSU, os resíduos restantes, chamados de rejeitos, devem ser encaminhados para disposição final ambientalmente adequada e o aterro sanitário se apresenta como uma instalação adequada (Brasil, 2010).

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABREMA, 2024), cerca de 69,3 milhões de toneladas de RSU foram encaminhadas para disposição final em 2023, o que corresponde a 85,6% dos RSU gerados no ano. As projeções feitas no relatório sugerem que 58,5% dessa quantidade foi disposta em aterros sanitários. As regiões Sudeste e Sul destinaram mais de 67% dos seus resíduos para aterros sanitários. As outras regiões ficaram com desempenho abaixo da média nacional, sendo que na região Norte os aterros sanitários foram o destino de somente 38% dos resíduos encaminhados para disposição final.

Apesar de ser uma alternativa de tratamento de menor custo de investimento e operação, não necessitar de mão de obra qualificada e produzir gás que pode ser utilizado para geração elétrica e/ou térmica, o aterro sanitário tem algumas desvantagens, tais como: necessidade de uma área muito grande para construção; poluição do solo e da água subterrânea pelo lixiviado; explosão espontânea devido ao acúmulo de metano; ocorrência de maus odores, entre outras (Moretto e Fernandes, 2019).

Portanto, o aterro sanitário trata-se de um sistema controlado e projetado para minimizar os impactos ambientais associados ao descarte de resíduos sólidos.

A escolha da melhor ou mais indicada tecnologia de tratamento de resíduos sólidos vai depender de fatores como tipo de resíduo, disponibilidade de recursos e políticas públicas locais. Avanços contínuos nessas tecnologias são fundamentais para mitigar os impactos ambientais e atender às demandas da sociedade moderna.

## **2.5 Economia circular e logística reversa**

A economia circular busca repensar o modelo tradicional de produção e consumo, visando a criação de um sistema mais sustentável e eficiente.

Na economia circular, produtos, serviços e processos são projetados e concebidos de forma que permitam um ciclo de vida mais longo e a possibilidade de serem reparados, atualizados ou restaurados (Bonciu, 2014). Nesse processo é aplicado o princípio de 3R's: reduzir, reutilizar e reciclar. Isso significa a adoção de práticas que minimizem a extração de recursos naturais, promovam a reutilização de produtos e materiais e incentivem a reciclagem de resíduos.

No estudo realizado por Gonçalves (2019) sobre as economias circular e linear, foi observado que a crescente escassez de matérias-primas e a degradação do meio ambiente, tornam o modelo linear limitado, enquanto a economia circular, proporciona ganhos sociais, econômicos e ambientais. Como resultado, a pesquisa mostrou que parcerias que envolvam todos os agentes sociais e a participação efetiva do governo, são essenciais para despertar o interesse da sociedade, das

instituições e das empresas para que dessa forma, a transição seja viabilizada e efetivada.

A logística reversa é um dos pilares fundamentais da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Segundo o artigo 3º, inciso XII, da PNRS, logística reversa é definida como:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento no ciclo produtivo ou destinação final ambientalmente adequada.

Os sistemas de logística reversa são ferramentas usadas para intensificar a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos, com o intuito de melhorar o aproveitamento dos recursos naturais e promover a circularidade dos materiais, reduzindo a necessidade de extração de matérias-primas virgens. A implementação bem-sucedida desses sistemas também prolonga a vida útil dos aterros sanitários, uma vez que os materiais recuperados deixam de ser enviados para essas unidades (ABREMA, 2024).

Barbieri e Dias (2002) defendem que a logística reversa torna-se sustentável, pois contribui para a redução da exploração de recursos naturais, recuperando materiais que podem retornar a cadeia produtiva e consequentemente reduzindo poluentes e os resíduos descartados no meio ambiente.

A PNRS determina que certos resíduos devem ser submetidos a sistemas de logística reversa, independentemente dos serviços públicos de limpeza urbana. Entre esses produtos, destacam-se:

- Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens;
- Pilhas e baterias;
- Pneus;
- Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio, e de luz mista;
- Produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Embora existam muitos desafios que dificultam a implantação de sistemas de logística reversa, ela é potencialmente vantajosa. Os sistemas devem ser implantados nas organizações que atuem na coleta de materiais recicláveis, com o objetivo de melhorar tanto os serviços que cercam a logística reversa como as organizações (cooperativas, sucateiros etc.) que a colocam em prática (Mota *et al.*, 2015).

A logística reversa na PNRS representa um avanço significativo para a sustentabilidade no Brasil, promovendo a responsabilidade compartilhada e a integração de práticas mais sustentáveis na cadeia produtiva.

## **2.6 Gestão integrada dos resíduos sólidos**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Esta possui definições específicas em seu Capítulo II sobre os termos gerenciamento e gestão integrada, sendo estes, respectivamente (BRASIL, 2010):

X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

O conceito de gestão de resíduos sólidos para Lima (2002), corresponde às atividades referentes à tomada de decisões estratégicas com relação aos aspectos institucionais, administrativos, operacionais, financeiros e ambientais, envolvendo assim políticas, instrumentos e meios. O autor cita ainda que o gerenciamento de resíduos sólidos refere-se aos aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo



fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho.

A gestão integrada dos resíduos sólidos é um processo que busca planejar e executar de forma eficiente a coleta, tratamento e destinação final dos resíduos gerados pelas atividades humanas, com foco na sustentabilidade ambiental, econômica e social (Oliveira, 2022). Esta abordagem integra diversas práticas e tecnologias para minimizar os impactos ambientais, reduzir a geração de resíduos e maximizar a reutilização e reciclagem.

Um dos principais desafios para a implementação eficaz da gestão integrada dos resíduos sólidos é a falta de infraestrutura adequada em muitas regiões. Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE indicam que cerca de 40% dos resíduos sólidos urbanos foram descartados em lixões ou aterros controlados, o que contraria as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (ABRELPE, 2022). Além disso, a falta de conscientização pública sobre separação e reciclagem de resíduos dificulta o avanço de programas de coleta seletiva.

A dificuldade financeira enfrentada pelas cidades é apontada como um dos principais fatores que desencadeiam uma série de problemas no gerenciamento correto dos resíduos. Essa situação é obstáculo para a implementação de políticas de saneamento e para a sustentabilidade financeira do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, o que também reflete em equipamentos e infraestruturas defasados, bem como em tecnologias desatualizadas (Cetrulo *et al.*, 2018).

As instituições de ensino possuem um papel estratégico na disseminação de boas práticas de gestão de resíduos sólidos, não apenas dentro de suas instalações, mas também na formação de uma sociedade mais consciente. No estudo de Oliveira (2023) é observado que, apenas dezessete Instituições de Ensino Superior - IES possuem Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS, segundo INEP/MEC. Das quais a região Sudeste e Sul do Brasil correspondem a 40% e 30%, respectivamente, das IES que possuem PGRS. Em contraste, as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte representam 15%, 10% e 5% das IES com PGRS, respectivamente, indicando uma menor quantidade de instituições com tais planos nessas áreas.

O estudo feito por Maçin *et al.* (2024) teve como objetivo determinar a caracterização de resíduos e o potencial de reciclagem do Campus Ayazağa da Universidade Técnica de Istambul (Türkiye) antes e depois da estratégia de gerenciamento de resíduos zero. Foi observado que a proporção de resíduos recicláveis aumentou após a implementação de práticas de resíduos zero. Portanto, de acordo com os autores, a caracterização de resíduos e potencial de reciclagem são cruciais para entender o desempenho do gerenciamento de resíduos sólidos e planejar novas estratégias.

A gestão integrada dos resíduos sólidos é essencial para o desenvolvimento sustentável das cidades e instituições, transformando resíduos em recursos, reduzindo impactos ambientais e fomentando a inclusão social.

## **2.7 Agenda Ambiental na Administração Pública – A3P**

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2009), a A3P é um instrumento de política pública que visa a transformação da administração pública em um modelo de gestão sustentável. Ela propõe o uso racional de recursos naturais e bens públicos; gestão adequada de resíduos; a qualidade de vida no ambiente de trabalho; as licitações sustentáveis e a promoção da sensibilização e da capacitação.

A A3P também está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS da Organização das Nações Unidas - ONU, especialmente no que diz respeito ao consumo e produção sustentáveis, ODS 12.

Os seis eixos principais da A3P, conforme descrito na Cartilha de Implementação da A3P (MMA, 2009), são:

1. Gestão de resíduos sólidos: Implementação de coleta seletiva, reciclagem e redução de resíduos.
2. Uso racional de recursos naturais: Economia de água, energia e materiais, promovendo eficiência.
3. Qualidade de vida no ambiente de trabalho: Criação de ambientes saudáveis

e produtivos.

4. Sensibilização e capacitação: Oferecimento de treinamentos e campanhas educativas para servidores.
5. Compras públicas sustentáveis: Priorização de produtos e serviços com menor impacto ambiental.
6. Construções sustentáveis: Controle dos materiais (areia, aterros, pedras, britas, etc) retiradas do meio ambiente e utilizadas nas obras, plano de gerenciamento dos resíduos da construção civil, reaproveitamento de águas de pias, duchas, chuveiros e águas pluviais, aproveitamento de energia solar, etc.

Teixeira (2013) destaca que a A3P não é obrigatória, sendo assim a adesão por órgãos públicos é voluntária, mas não significa que isso lhe tire o papel de fomentador de ações sustentáveis na gestão pública, continuando com o caráter indutor de uma gestão mais sustentável, legitimando sua importância.

Os benefícios da A3P são amplos e envolvem tanto aspectos ambientais quanto econômicos e sociais. Por exemplo, a adoção de medidas como a digitalização de processos e o uso de energia renovável reflete os benefícios econômicos e ambientais das práticas sugeridas pela agenda.

Um exemplo de sucesso na implementação da A3P ocorreu na Prefeitura de Coqueiral em Minas Gerais com o projeto Coqueiro Verde, que visa a promoção da economia de matérias primas e de energia; a conscientização do cidadão a respeito da importância da reciclagem de materiais; a geração de emprego, conscientização e melhoria na qualidade de vida das pessoas beneficiárias e envolvidas com o projeto; a redução do volume de resíduos a ser encaminhado ao aterro sanitário, entre vários outros aspectos, por meio do incentivo à população ao descarte correto de seus resíduos sólidos (MMA, 2022).

Outra iniciativa importante foi observada no Instituto Federal do Amazonas - IFAM, onde a adesão à A3P promoveu práticas como a distribuição de canecas reutilizáveis e a reutilização de equipamentos eletrônicos, embora desafios de institucionalização e comunicação ainda persistam ( De Almeida, 2022).

Portanto, a A3P é uma ferramenta estratégica para a modernização da

administração pública, alinhada com as demandas atuais de desenvolvimento sustentável e eficiência na gestão dos recursos públicos. Seu sucesso depende de um esforço coletivo, envolvendo gestores, servidores e a sociedade como um todo.

## **2.8 Rotas tecnológicas**

Segundo a UNEP (2012), um dos principais desafios do manejo de resíduos é desenvolver metodologias de seleção de rotas de tratamento que permitam maximizar as qualidades de cada tecnologia.

Para o descarte adequado dos resíduos sólidos através da rota tecnológica torna-se essencial, seguir o fluxo das etapas da gestão integrada que se inicia, na fonte de geração, seguido da coleta seletiva que faz parte das etapas física do gerenciamento, recolhimento e encaminhamento para os setores de triagem ou estações de transbordo onde poderá ocorrer a reciclagem, a compostagem ou outra forma de destinação (IPT/CEMPRE, 2010).

Para a criação de propostas de rotas tecnológicas podem ser observados os princípios utilizados por Jucá *et al.* (2014): as rotas definidas devem estar alinhadas à Política Nacional dos Resíduos Sólidos; o horizonte a ser considerado na proposta de rotas deve incluir curto e médio prazos; devem ser considerados critérios técnicos, econômicos, ambientais, sociais e culturais associados às tecnologias e à região específica.

Klippel (2015), avaliou o atual sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos da Escola Municipal João Adão da Silva, caracterizando os resíduos produzidos. O estudo mostrou que o sistema de gerenciamento de resíduos pode ser melhorado, visto que parte desses resíduos podem ser destinados a projetos de reciclagem e compostagem aliadas à educação ambiental, diminuindo em grande quantidade os resíduos destinados à coleta pública.

Com o objetivo de implantar uma rotina de gerenciamento dos resíduos gerados no Laboratório de Química do IFMA - Campus Açailândia, De Araujo *et al.*

(2018) realizou um diagnóstico dos resíduos gerados, bem como os 5S's no laboratório. Treinamentos de sensibilização e elaboração de materiais informativos e educativos foram etapas importantes no trabalho. Ao final da pesquisa foi obtida a implementação de uma rotina de minimização, segregação, armazenamento e destinação dos resíduos perigosos e não perigosos do laboratório de química.

Já no estudo realizado por Farias (2018), foram analisadas as rotas tecnológicas de tratamento dos RSU do Distrito Federal, a partir de aspectos econômicos, ambientais e sociais, para obtenção de uma gestão eficiente de resíduos. Como resultado foi obtido um diagnóstico da gestão de resíduos, que fundamentou a obtenção das rotas tecnológicas. A análise com base nos custos, indicou que a presença de tratamento atende às premissas sustentáveis, mas encarece o valor da rota. Já a emissão de Gases do Efeito Estufa - GEE teve redução significativa com a prática adequada dos tratamentos de resíduos. Sobre a perspectiva da geração de emprego houve aumento se considerada a ampliação e a melhoria nos processos de tratamento, mas não garante inserção total dos trabalhadores informais.

Existem muitas tecnologias de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, mas a prática mais utilizada no país são os aterros sanitários, embora ainda prevaleçam métodos inadequados como os lixões e aterros controlados (Colvero, 2014). Existe também a triagem, compostagem, biodigestores, incineração (BNDES, 2012). No entanto, o direcionamento dos resíduos a importantes processos que tratam adequadamente esses materiais deve ser estimulado de maneira recorrente para chegar a um modelo de gestão e os exemplos devem ser propostos por diversos segmentos das atividades brasileiras, inclusive as de cunho educacional, como é caso dos Institutos Federais.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O IFMA - Campus Centro Histórico é composto por três unidades: Casarão, Centro de Referência Azulejar (CRA) e Extensão Itaquí Bacanga (EIB), com atividades administrativas, de ensino, pesquisa e extensão que ocorrem diariamente.

Na rotina do Campus, são gerados resíduos perigosos e não perigosos nos quais precisam ser gerenciados de forma adequada.

Através de seu Plano Estratégico 2016-2020 (IFMA, 2016), o IFMA mapeou alguns projetos, dentre eles o IFMA Sustentável que tem por objetivo a implementação de ações relacionadas a economia de energia elétrica, água, papel, internet e telefonia nos campi. No que se refere aos resíduos sólidos, apenas o papel está contemplado nesse projeto. No entanto, não há, até o momento, ações direcionadas aos campi para que seja realizada a gestão desse resíduo. Quanto aos resíduos perigosos, ainda que a geração não seja em grande quantidade, as instituições de ensino não podem ignorar sua posição de geradoras de resíduos e sua responsabilidade quanto à disposição adequada.

Considerando a responsabilidade ambiental dos órgãos federais indicada no Programa Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) do Ministério do Meio Ambiente, a gestão dos resíduos gerados nos Institutos Federais se torna cada vez mais necessária, possibilitando a sua destinação correta e diminuindo o impacto ambiental.

Desta forma, mapear os resíduos sólidos e indicar a melhor destinação e tratamento através das rotas tecnológicas dos resíduos, será um ganho para a comunidade escolar e para a instituição, que tem um papel importante na formação de jovens e adultos, e realizará suas atividades com responsabilidade ambiental. Ressalta-se ainda a ausência de trabalhos de rotas tecnológicas de resíduos sólidos em instituições de ensino, fazendo com que este estudo possa servir de modelo para outras instituições.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo geral**

Propor rotas tecnológicas para melhoria da gestão dos resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico.

## **4.2 Objetivos específicos**

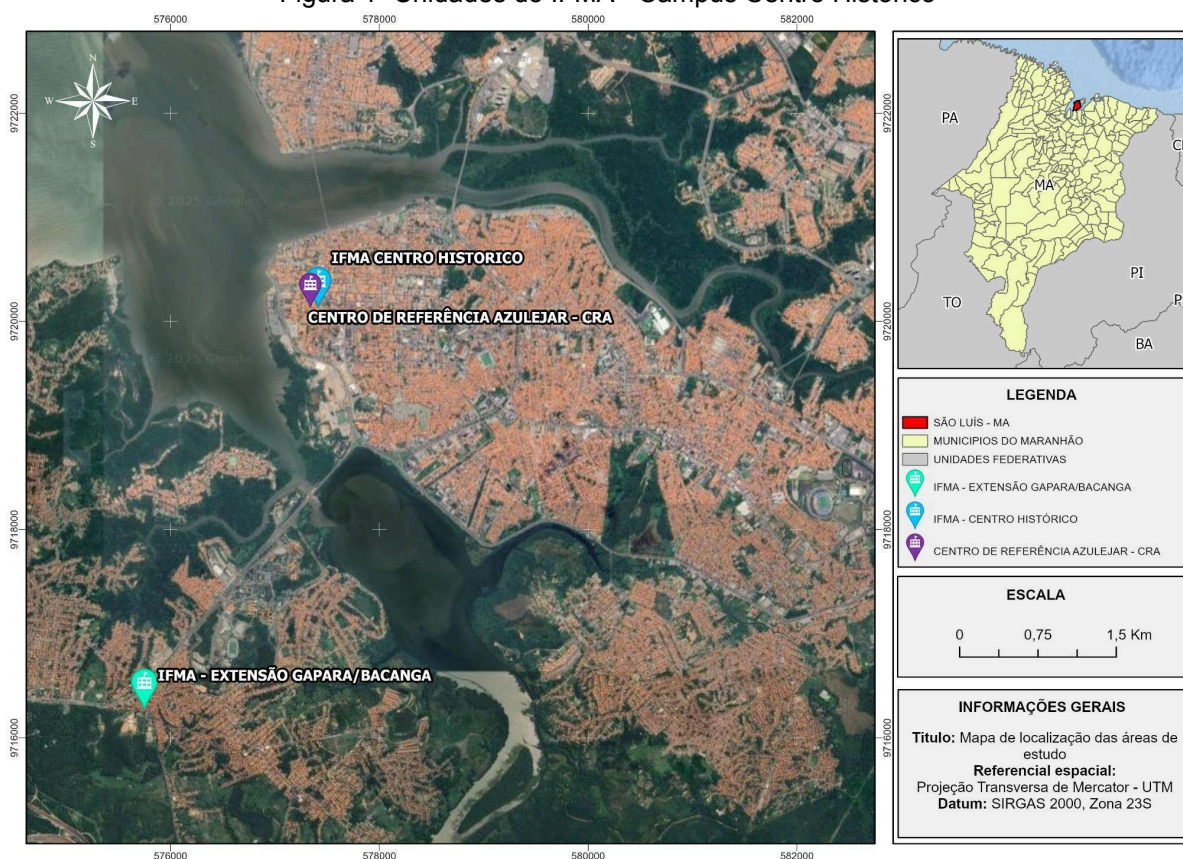
- Identificar as fontes de geração e os tipos de resíduos sólidos;
- Verificar as etapas do gerenciamento dos resíduos sólidos realizado do IFMA - Campus Centro Histórico (acondicionamento, coleta, transporte e destinação final);
- Determinar a composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos;
- Elaborar rotas tecnológicas.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 Caracterização da área de estudo**

A delimitação da área de estudo consiste nas três unidades que compõem o IFMA - Campus Centro Histórico, sendo que duas unidades estão localizadas no Centro Histórico e a terceira na área Itaqui-Bacanga, ambas no município de São Luís - MA, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1- Unidades do IFMA - Campus Centro Histórico



Fonte: Autora, 2024.

O IFMA - Campus Centro Histórico oferece nove cursos de forma regular, sendo oito a nível técnico (Meio Ambiente, Hospedagem, Eventos, Artes Visuais, Guia de Turismo, Manutenção de Máquinas Industriais, Mecânica e Processos Fotográficos) e um a nível superior (Licenciatura em Artes Visuais), tem 884 alunos matriculados no período de 2022 a 2024. O Campus possui três unidades: Prédio principal - Casarão, Centro de Referência Azulejar (CRA) e Extensão Itaqui Bacanga (EIB), onde trabalham 142 servidores, 5 docentes contratados e 18 funcionários terceirizados. Durante as atividades realizadas nessas unidades são gerados resíduos perigosos e não perigosos.

## 5.2 Etapas metodológicas

Os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 - Etapas metodológicas



Fonte: Autora, 2024.

### 5.2.1 Diagnóstico da gestão de resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico

O diagnóstico dos resíduos se deu a partir de visitas às três unidades do Campus, onde foram verificados os setores existentes em cada unidade e os resíduos gerados nesses setores, através de uma identificação visual e pesagem. Para a pesquisa, dividiu-se os setores da seguinte forma: administrativo (coordenações, diretorias, biblioteca, auditório, setor pedagógico, sala de professores, setor médico, almoxarifado, tecnologia da informação e laboratórios: mecânica, informática, reciclagem/cerâmica, marcenaria e ciências), salas de aula, lanchonete/área de vivência e banheiros, totalizando quatro setores.

Para avaliar a quantidade de resíduos gerados no período de um dia, foram coletados os sacos plásticos instalados nas lixeiras nos setores e feita a pesagem, em balança comercial (Marte Científico - LS 200), por setor de cada unidade. Ao final, somou-se os valores encontrados em cada setor das unidades e obteve-se uma média mensal de geração de resíduos de cada setor. As informações coletadas foram tabuladas em planilha para análise dos dados. Os resíduos gerados identificados como classe 1 (resíduos perigosos), lâmpadas e eletrônicos, não foram pesados, pois ficam armazenados no almoxarifado para posterior destinação final. A quantificação das lâmpadas ocorreu por meio da geração média anual e período de

armazenamento. Quanto aos eletrônicos, a quantidade foi obtida através da lista de controle do setor de patrimônio do Campus. Durante a coleta nos setores, não foram identificados nas lixeiras resíduos perigosos.

Em seguida observou-se durante um dia, o gerenciamento dos resíduos praticado nas três unidades através do acompanhamento da equipe de limpeza da empresa terceirizada responsável pela coleta e armazenamento para disposição final dos resíduos sólidos. Todas as informações foram descritas em planilha e analisadas. É importante ressaltar que a pesquisa de levantamento de dados das unidades e dos resíduos sólidos gerados, foi realizada consoante as Diretorias Geral e de Administração do IFMA - Campus Centro Histórico. Na Figura 3, é ilustrado o acompanhamento do gerenciamento dos resíduos sólidos (acondicionamento, coleta e armazenamento) nas unidades.

Figura 3 - Acompanhamento do gerenciamento dos resíduos sólidos  
( a) acondicionamento, (b) coleta, (c) armazenamento)



Fonte: Autora, 2024.

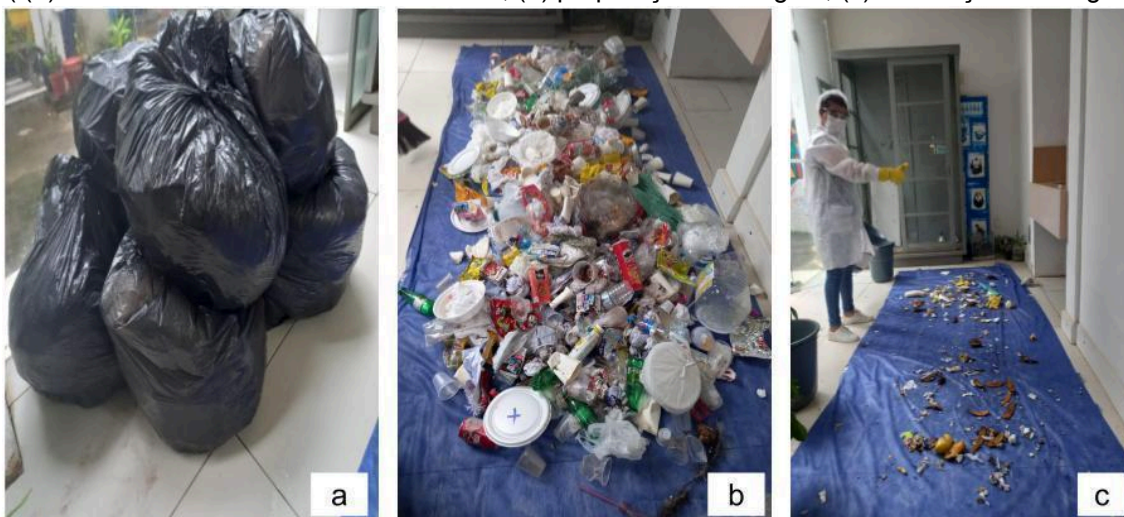
Na etapa seguinte foi avaliada a gestão de resíduos sólidos realizada pelo Campus em suas três unidades através do levantamento de informações no site e no sistema de gestão da instituição, como contratos, convênios e política de gestão, e ainda as práticas realizadas na gestão de resíduos sólidos junto à Diretoria de Administração do Campus.

### 5.2.2 Determinação da composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos

Esta etapa consistiu na caracterização dos resíduos sólidos por meio das análises gravimétrica e volumétrica. Para a definição da composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos gerados no IFMA - Campus Centro Histórico, foi tomada como base as metodologias descritas nos trabalhos de Lipor (2000), adaptada por Leite (2008), Pereira *et al.* (2010) e Araújo Neto (2016).

Realizou-se uma caracterização gravimétrica e volumétrica dos resíduos gerados durante um dia em duas unidades do Campus, Casarão e CRA, pois não houve geração de resíduos na unidade Itaqui Bacanga, devido à paralisação das atividades nesta unidade no período. Os resíduos gerados foram acondicionados em sacos plásticos, armazenados em local coberto e impermeável. Em seguida, os sacos foram abertos e os resíduos foram homogeneizados para realização da triagem, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Acondicionamento, armazenamento e triagem dos resíduos gerados  
( (a) acondicionamento e armazenamento, (b) preparação da triagem, (c) finalização da triagem)



Fonte: Autora, 2024.

### 5.2.2.1 Determinação da composição gravimétrica

Para a determinação da composição gravimétrica, o material coletado e armazenado passou por uma triagem e pesagem, sendo classificados como: plástico, papel/papelão, metal, orgânico, isopor, sanitários e material misto. Essas categorias foram definidas de acordo com a identificação visual realizada na etapa do diagnóstico. Para verificar a massa correta de cada resíduo, foram pesados os baldes plásticos vazios fazendo a diferença da massa encontrada. Os resíduos sanitários foram pesados diretamente nos sacos plásticos, pois não houve manuseio desses materiais. Todas as pesagens foram feitas em balança digital (Balmak - M 25). O percentual de cada componente foi determinado pela massa de cada resíduo em relação à massa total, conforme Equação 1.

$$CG = (Pc/Pt) \times 100 \quad (1)$$

Onde,

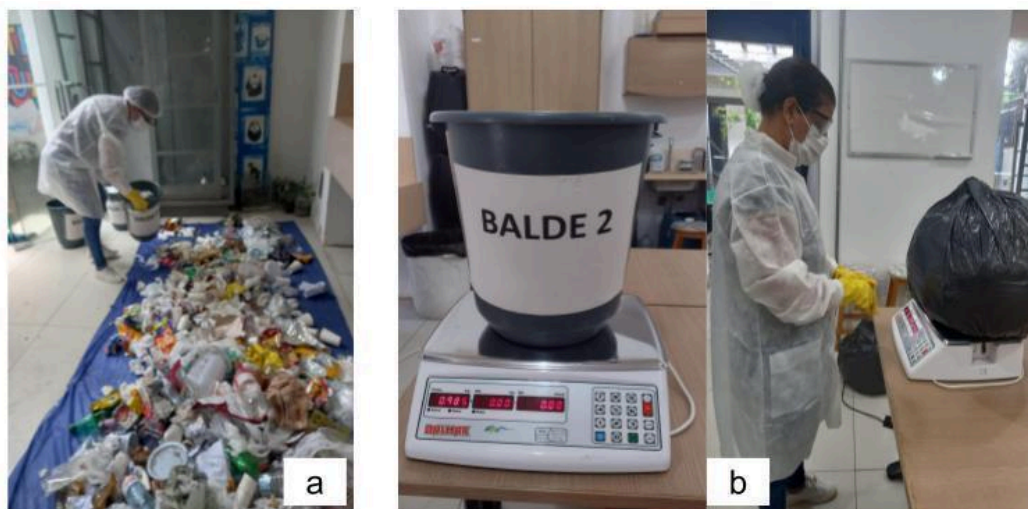
CG = composição gravimétrica (%);

Pc = peso de cada fração segregada (Kg);

Pt = peso total dos resíduos destinados à composição gravimétrica (Kg).

Na Figura 5 são apresentadas as etapas realizadas na caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos gerados.

Figura 5 - Etapas da caracterização gravimétrica  
(a) triagem, (b) pesagem por tipo de resíduos)



Fonte: Autora, 2024.

#### 5.2.2.2 Determinação da composição volumétrica

Para a determinação da composição volumétrica utilizou-se o mesmo material separado e classificado na composição gravimétrica, fazendo as leituras de volumes dos resíduos soltos, por meio da Equação 2. Nesse processo, foi retirada a medida do raio (maior e menor) e da altura dos baldes plásticos utilizados.

$$V = \pi h (R^2 + Rr + r^2) / 3 \quad (2)$$

Onde,

V = volume dos resíduos (cm<sup>3</sup>);

h = altura encontrada (cm);

R = raio maior (cm);

r = raio menor (cm).

Em seguida, foi realizada a composição volumétrica dos resíduos. O percentual de cada componente foi determinado pelo volume de cada resíduo em relação ao volume total, conforme Equação 3.

$$CV = (V_c/V_t) \times 100 \quad (3)$$

Onde,

CV = composição volumétrica (%);

Vc = volume de cada fração segregada (cm<sup>3</sup>);

Vt = volume total dos resíduos destinados à composição volumétrica (cm<sup>3</sup>).

Para os resíduos sanitários foi calculado o volume através da massa específica, de forma teórica, baseado em estudo realizado por Araújo Neto (2016), pois não houve o manuseio direto desses resíduos. As etapas realizadas para a avaliação da composição volumétrica dos resíduos gerados, estão descritas na Figura 6.

Figura 6 - Etapas da caracterização volumétrica  
(a) medição do volume do balde, (b) medição do volume dos resíduos)



Fonte: Autora, 2024.

### 5.2.3 Elaboração das rotas tecnológicas

Diante dos dados coletados, foram elaboradas as possíveis rotas tecnológicas dos resíduos, com base na metodologia desenvolvida por Farias (2018), conforme a Figura 7, considerando o manejo dos resíduos na área de estudo e os dados obtidos no diagnóstico.



Figura 7 - Metodologia para elaboração de rotas tecnológicas



Fonte: Farias, 2018.

Também serão considerados os aspectos ambientais, sociais e econômicos na avaliação das rotas tecnológicas mais adequadas ao gerenciamento dos resíduos sólidos do Campus. As rotas tecnológicas propostas estarão relacionadas diretamente às diretrizes definidas no Programa Agenda Ambiental na Administração Pública - A3P e legislações ambientais.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Diagnóstico da gestão de resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico

#### 6.1.1 Identificação das fontes de geração, dos tipos e da quantidade de resíduos

Após a visita *in loco* nos diferentes setores nas três unidades que compõem o IFMA - Campus Centro Histórico, foi realizado um diagnóstico da geração e os tipos de resíduos gerados, bem como a quantidade desses resíduos. Durante a avaliação,

foram identificados dezoito tipos de resíduos e observou-se que 66,7% desses resíduos, são considerados como não perigosos (classe 2), conforme NBR 10.004 (ABNT, 2024). No Quadro 2, estão descritos os setores avaliados nas três unidades do Campus, bem como os resíduos identificados.

Quadro 2 - Tipos de resíduos identificados

| SETOR                                                                                                                                                                                                                                             | RESÍDUOS<br>CLASSE 1                                                                                                                 | RESÍDUOS<br>CLASSE 2                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Administrativo<br>(coordenações, diretorias, biblioteca, auditório, setor pedagógico, sala de professores, setor médico, almoxarifado, tecnologia da informação, laboratórios: mecânica, informática, reciclagem/ cerâmica, marcenaria, ciências) | mangueiras com óleo lubrificante usado, eletrônicos, lâmpadas, embalagens vazias de tintas e reagentes, material contaminado, verniz | papel/papelão, plástico, metal, vidro, orgânicos, espuma, madeira, argila, algodão, tecidos |
| salas de aula                                                                                                                                                                                                                                     | lâmpadas, eletrônicos                                                                                                                | papel/papelão, plástico, metal, orgânicos                                                   |
| lanchonete/área de vivência                                                                                                                                                                                                                       | lâmpadas                                                                                                                             | orgânicos, plástico, papel, metal                                                           |
| banheiros                                                                                                                                                                                                                                         | lâmpadas                                                                                                                             | papel, plástico, orgânicos, metal, sanitários                                               |

Fonte: Autora, 2024.

De acordo com o Quadro 2, os resíduos sólidos papel/papelão, plástico, metal e orgânicos são gerados em todos os setores. Esses materiais são oriundos das atividades de rotina desses setores, bem como durante as refeições realizadas por alunos, servidores e terceirizados no Campus. Este diagnóstico vem em consonância com o estudo realizado por Figueiró *et al.* (2023), que identificou que os resíduos mais frequentes gerados nas escolas estaduais de Bragança no Pará são papel/papelão, plástico e resíduos orgânicos. Os resíduos, espuma, madeira, argila, algodão, tecidos e vidro são gerados durante as aulas práticas nos laboratórios e

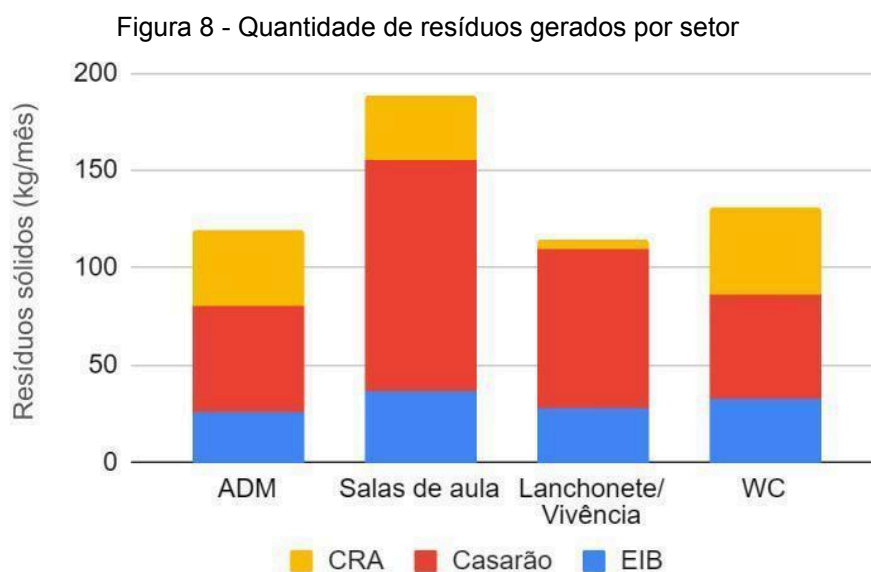


verificou-se que esses materiais são descartados sem nenhuma seleção. No entanto, é importante que sejam segregados de forma adequada para que sejam avaliados e destinados corretamente.

De Moraes *et al.* (2015), após diagnóstico, identificou outros tipos de resíduos para o Plano de Gerenciamento de Resíduos do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), tais como: bituca de cigarro e inseticidas. Já no diagnóstico realizado no Campus VI Universidade do Estado do Pará, foram identificadas 17 fontes geradoras de resíduos sólidos e os mais produzidos são papéis, papelão, embalagens plásticas e vidros (Da Conceição e Júnior, 2020). Observa-se assim, que os tipos de resíduos podem variar em cada instituição de ensino.

A identificação de resíduos perigosos (classe 1) gerados nos setores é inferior aos resíduos classe 2, uma vez que estes resíduos são armazenados anualmente e não são coletados com a mesma frequência que os resíduos classe 2. Essa situação, no entanto, não pode ser desprezada e estes materiais devem ser gerenciados, atendendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

Na avaliação quantitativa dos resíduos, foi observado que o setor que mais gera resíduos são as salas de aula, seguido dos banheiros, setores administrativos e lanchonete/área de vivência, conforme a Figura 8.

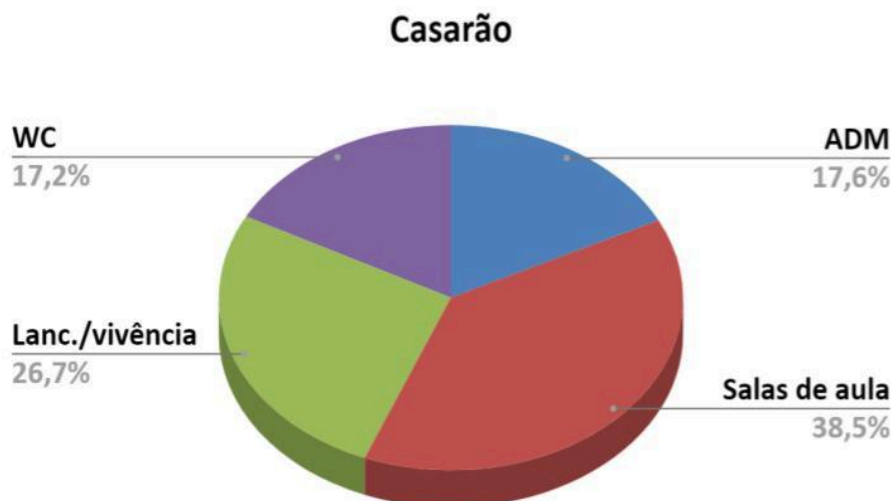


Fonte: Autora, 2024.

De acordo com dados analisados, o Campus Centro Histórico gera um total de 554,16 kg/mês de resíduos sólidos, com uma média de geração per capita de 0,018 kg/habitante dia. De acordo com a Figura 8, a média mensal de resíduos gerados nas salas de aulas foi de 188,80 kg/mês. Juntas, as três unidades totalizam 18 salas de aulas que possuem em média 30 alunos por turno que descartam diversos resíduos diariamente, inclusive orgânicos. Os banheiros são utilizados por toda a comunidade escolar e aparecem com uma média mensal de geração de resíduos de 130,64 kg/mês. Os setores administrativos apresentam uma quantidade média de 119,76 kg/mês, seguido da lanchonete/área de vivência que totalizou 114,96 kg/mês.

Pelos dados apresentados na Figura 8, a unidade Casarão é a que apresenta a maior geração de resíduos, o que corresponde a 55,36% dos resíduos gerados no Campus. É nessa unidade que são oferecidos a maior quantidade de cursos técnicos e que há mais setores, o que indica um maior quantitativo de pessoas circulando diariamente. Constatou-se que nas salas de aula é gerada a maior quantidade de resíduos nessa unidade, totalizando 38,46%, seguido da lanchonete/área de vivência que apresentou 26,73%. A quantidade média mensal de resíduos gerados nos setores administrativos e banheiros no Casarão foi bem próxima, 54 kg/mês e 52,80 kg/mês respectivamente, correspondendo a um percentual de 17,60% e 17,21% cada. Ressalta-se que as coletas nos setores são realizadas duas vezes ao dia pela equipe de limpeza, tendo ao final do dia uma quantidade expressiva de resíduos que precisam ser gerenciados. Na Figura 9 é apresentado o percentual de resíduos gerados na unidade Casarão.

Figura 9 - Percentual de resíduos gerados por setor na unidade Casarão

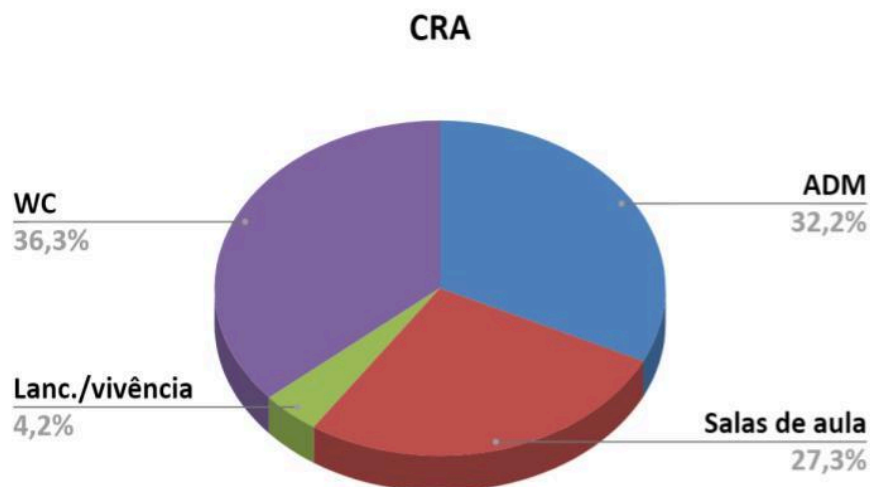


Fonte: Autora, 2024.

As unidades CRA e EIB geram praticamente a mesma quantidade de resíduos, representando cada uma um percentual médio de 22%. No entanto, quando avaliou-se por setor, percebe-se uma diferença na geração dos resíduos, considerando a rotina e uso dos prédios.

No CRA o banheiro foi o setor que apresentou a maior quantidade de resíduos, o que corresponde a 36,32% do total de resíduos gerados nessa unidade. O setor administrativo teve uma média mensal de 39,6 kg/mês, o que resultou em 32,16% dos resíduos gerados. Neste prédio funciona a biblioteca do Campus que é visitada pelos alunos durante todo o dia e ainda laboratórios onde são realizadas aulas práticas, havendo geração de resíduos na rotina desses setores. Em relação às salas de aula, observa-se que mesmo com cinco salas utilizadas somente em um turno, este setor apresentou um percentual de 27,29%, não tão distante dos demais setores. Quanto ao setor lanchonete/área de vivência, percebeu-se uma geração de resíduos pequena, representando 4,23%. Considerando que nesta unidade não há uma lanchonete, os resíduos contabilizados neste setor correspondem aos descartados na área de vivência. Na Figura 10 é apresentado o percentual de resíduos gerados na unidade CRA.

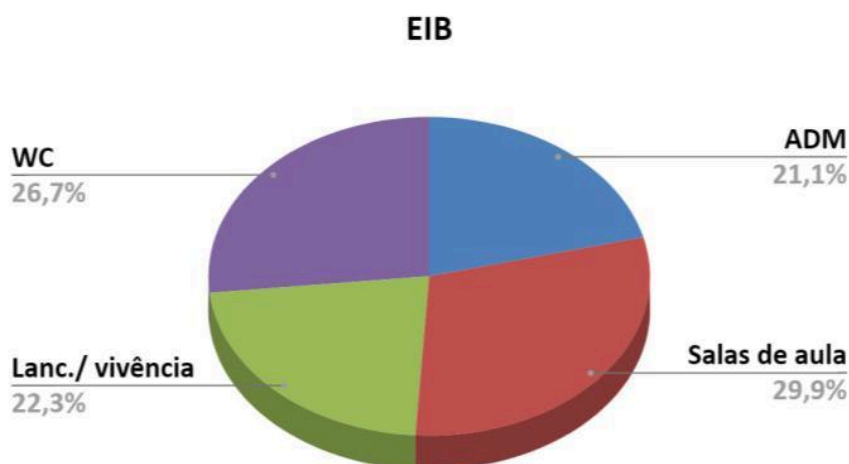
Figura 10 - Percentual de resíduos gerados por setor na unidade CRA



Fonte: Autora, 2024.

Já na EIB, os resíduos gerados nas salas de aula representam 29,94% e o setor administrativo foi o que apresentou a menor quantidade de resíduos gerados, o que corresponde a 21,06%. Mais uma vez o banheiro se mostra como um setor que tem uma geração alta de resíduos, totalizando 26,66%. Identificou-se ainda que na lanchonete/área de vivência da unidade são gerados uma média mensal de 27 kg de resíduos, o que resulta num percentual de 22,34%. Esta unidade da instituição oferece um curso técnico e o seu funcionamento com maior quantidade de pessoas ocorre no turno da manhã. Na Figura 11 é apresentado o percentual de resíduos gerados na unidade EIB.

Figura 11 - Percentual de resíduos gerados por setor na unidade EIB



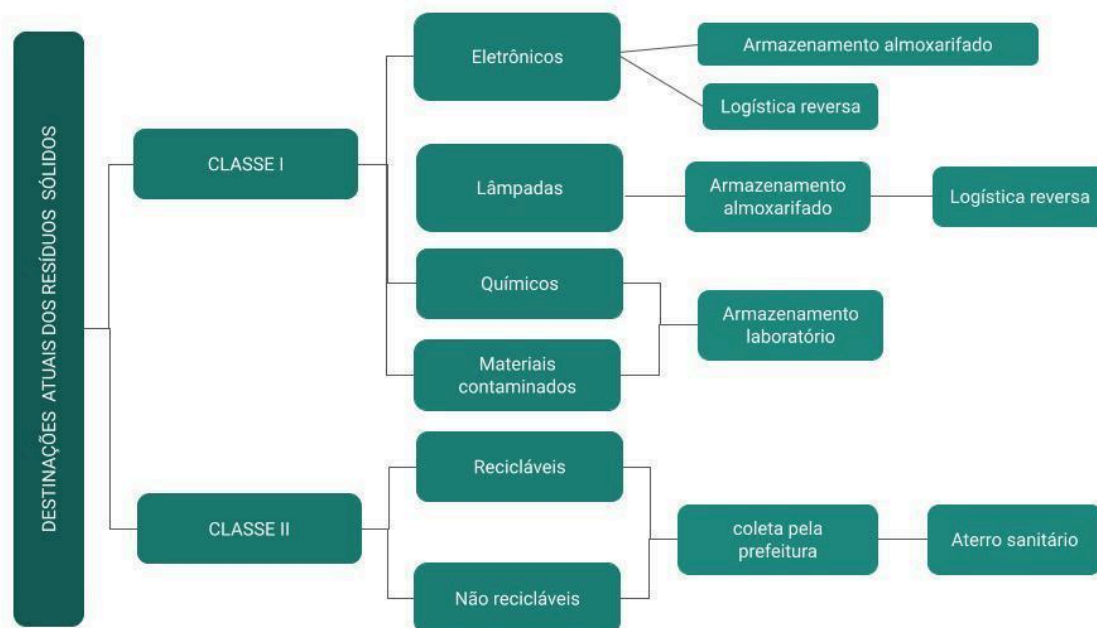
Fonte: Autora, 2024.

Diferentemente dos resultados obtidos nesta pesquisa, na caracterização e quantificação dos resíduos sólidos do IFMA - Campus Barra do Corda, realizada por Guimarães e Amarante Junior (2023), os setores que apresentaram a maior de geração de resíduos foram a área externa e administração, correspondendo 69% e 8%, respectivamente, da amostra total. As salas de aula, obtiveram apenas 24,63 kg do peso total no período, algo em torno de 6%. Nos banheiros, o percentual correspondeu a 4% da amostra total. Isso mostra que dependendo da instituição de ensino, da sua organização administrativa e do nível de conscientização ambiental da comunidade interna, a quantidade de resíduos gerados pode mudar, o que reforça a necessidade de uma gestão desses resíduos.

### 6.1.2 Gerenciamento dos resíduos sólidos

Com o diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos realizado, foram mapeadas as destinações atuais praticadas nas três unidades do IFMA - Campus Centro Histórico. Na Figura 12 são descritas essas destinações.

Figura 12 - Destinações atuais dos resíduos sólidos do IFMA - Campus Centro Histórico



Fonte: Autora, 2025.

São observados, na Figura 12, dois cenários atuais na gestão dos resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico. Essas rotas são determinadas em função da classificação dos resíduos quanto a sua periculosidade. Dentre os resíduos classe 1, somente os eletrônicos e lâmpadas possuem uma destinação final definida. Os resíduos eletrônicos, referentes às impressoras, são gerenciados pela empresa que possui contrato de serviços digitais na instituição, que realiza a coleta e a destinação final desses materiais, cumprindo os procedimentos indicados no processo de logística reversa. Os demais resíduos eletrônicos são armazenados no almoxarifado para posterior destinação. No período avaliado não foi constatado a geração destes resíduos e de acordo com o setor responsável pelo armazenamento, esses materiais quando danificados, são retirados dos setores durante o inventário que ocorre anualmente no Campus. Pelo levantamento realizado, existem no Campus 272 unidades de resíduos eletrônicos disponíveis para destinação. Durante a avaliação de documentos da instituição, verificou-se que há um acordo de cooperação técnica com empresa especializada que trata sobre a coleta e destinação dos resíduos eletrônicos nos campi do IFMA. No entanto, de acordo com os dados levantados, o Campus Centro Histórico ainda não iniciou esta prática.

Os equipamentos eletrônicos que mais apresentam defeito são: impressoras,

nobreaks, fontes de alimentação, placas-mãe, estabilizadores e fonte de roteadores Wi-Fi (Santana; Marques, 2020). A herança do desenvolvimento tecnológico e dos resíduos sólidos de caráter tecnológico configura-se atualmente como o problema de coleta que mais cresce a nível mundial (Li *et al.*, 2013).

Já as lâmpadas fluorescentes são armazenadas no almoxarifado do Campus e enviadas pela própria instituição para empresa de venda de material elétrico para descarte. São geradas em média cinquenta unidades por ano e geralmente a destinação ocorre a cada dois anos. O Campus não tem contratos ou acordos formalizados para esta prática.

Cestari e Martins (2016), constataram o armazenamento de 20 mil lâmpadas no almoxarifado central da Universidade Estadual de Maringá aguardando descarte apropriado, o que evidencia um problema ambiental.

Os resíduos químicos e materiais contaminados, geralmente gerados nos laboratórios, quando segregados, ficam armazenados no próprio local e não há nenhuma prática institucional para tratamento e destinação destes resíduos. Dentre as etapas do gerenciamento de resíduos químicos, a segregação e rotulagem são as mais relevantes, pois com a correta aplicação destas etapas possibilita o tratamento e/ ou destinação dos resíduos gerados de forma adequada (De Araujo *et al.*, 2018).

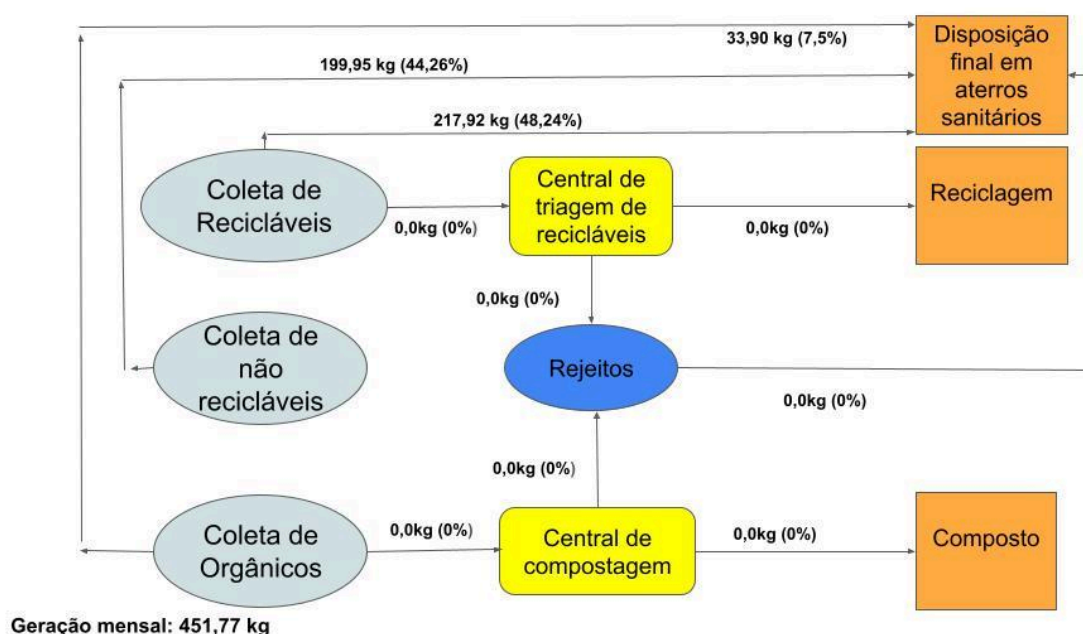
As destinações atuais identificadas para os resíduos classe 1 não têm custos associados, uma vez que as lâmpadas são recebidas de forma gratuita pela empresa de venda de material elétrico e os resíduos eletrônicos são recolhidos pela empresa que presta serviço de aluguel de impressora, efetivando a logística reversa.

Na segunda rota traçada tem-se os resíduos não perigosos (classe 2). No diagnóstico, identificou-se doze tipos de resíduos que se enquadram nessa classificação. Todos esses resíduos são coletados pela equipe de limpeza e encaminhados para coleta realizada pela prefeitura para disposição final em aterro sanitário. Na avaliação da gestão dos resíduos realizada atualmente, foi observado que a instituição possui contrato com a empresa responsável pela limpeza e manutenção que indica boas práticas de sustentabilidade, no que se refere ao gerenciamento dos resíduos sólidos, tais como: separação, coleta, destinação e

apresentação de relatório anual. No entanto, essas práticas não vem sendo realizadas na rotina do Campus, o que acarreta uma destinação inadequada de resíduos que poderiam ser reciclados, como plástico, papel e metal. A falta de acompanhamento da execução do contrato, de um treinamento da equipe executora e ainda da indicação de locais para recebimento dos resíduos recicláveis, contribuem para a não realização dessas práticas no Campus.

Considerando que apenas os resíduos classe 2 foram pesados na composição gravimétrica, foi elaborado o fluxo desses resíduos indicando a quantidade e o percentual encaminhado para cada destinação final, conforme a Figura 13. Observa-se que 100% destes resíduos são destinados para aterro sanitário, mesmo sendo resíduos que possuem características potenciais para reciclagem e compostagem.

Figura 13 - Fluxo atual dos resíduos classe 2 do IFMA - Campus Centro Histórico



Fonte: Autora, 2025.

O desvio de resíduos de aterros sanitários poderia ser aumentado pela separação de resíduos na fonte, especialmente para recicláveis potenciais (Maçin *et al.*, 2024). Para Juliatto, Calvo e Cardoso (2011), ações como: coleta seletiva, coleta solidária, educação ambiental, fiscalização, informação e pesquisa e extensão são formas de melhorar a gestão das instituições para com os resíduos sólidos gerados por elas. O Art. 40 do Decreto nº10.936, institui o Programa Coleta Seletiva

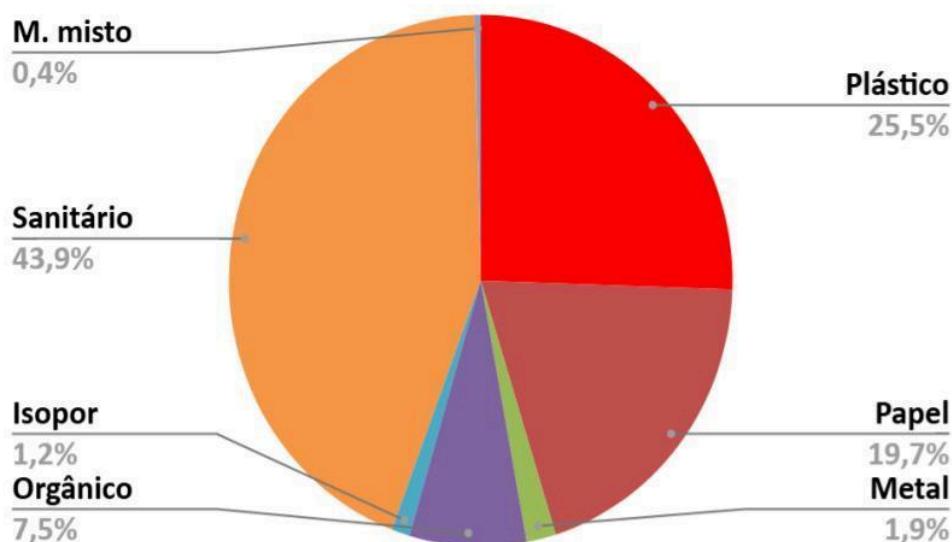


Cidadã, por meio do qual os órgãos e as entidades da administração pública federal, direta e indireta, deverão separar os resíduos reutilizáveis e recicláveis e destinar estes resíduos às associações e às cooperativas de catadores de materiais recicláveis (Brasil, 2022).

## 6.2 Determinação da composição gravimétrica

A composição gravimétrica é um ferramenta importante na compreensão do comportamento dos resíduos, expressando, em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos (Rikilis *et al.*, 2016). A partir do conhecimento da composição gravimétrica, pode-se traçar as melhores ações para o gerenciamento dos resíduos sólidos. Na Figura 14 está representada a composição gravimétrica obtida para os resíduos sólidos gerados no Campus Centro Histórico.

Figura 14 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no IFMA - Campus Centro Histórico



Fonte: Autora, 2024.

De acordo com a composição gravimétrica (Figura 14), constatou-se que os resíduos sanitários apresentaram uma maior fração, o que corresponde a 43,9% dos

resíduos gerados. É importante ressaltar que durante a visita aos setores foi observado nas lixeiras de alguns banheiros o acondicionamento de plásticos, metal, orgânicos, além de papel higiênico, papel toalha e absorventes, e isso dificulta a gestão dos resíduos. Observou-se ainda que são utilizados baldes de 60 litros como lixeiras nas áreas das pias, como pode ser verificado na Figura 15. Considerando que nas unidades há 22 lixeiras instaladas nos banheiros que são coletadas duas vezes ao dia e que estes são utilizados 1.048 pessoas, justifica-se a quantidade de resíduos gerados. Outro ponto a ser considerado é a realização de aulas no contraturno, onde há a permanência dos alunos por um período maior na escola.

Figura 15 - Acondicionamento de resíduos sanitários  
(a) e (b) lixeiras nos banheiros)



Fonte: Autora, 2024.

Os plásticos representaram 25,5% dos resíduos gerados no Campus. Durante a análise, observou-se uma diversidade desses materiais, tais como: embalagens de refrigerante e bolos, copos, pratos e colheres descartáveis, sacolas e tampas. Esses resíduos são oriundos principalmente das refeições realizadas pela comunidade escolar e identificados na maioria das lixeiras dos setores visitados. Considerando a problemática, no que se refere ao descarte dos plásticos no meio ambiente, há uma necessidade de se efetivar a destinação final adequada para estes resíduos.

Silva e Silva (2019) encontraram, em média, 18,59 kg de plásticos em oito coletas, oriundos do restaurante estudantil do Instituto Federal do Pará - Campus Bragança. Este valor é menor que o verificado do IFMA - Campus Centro Histórico, considerando que em apenas uma coleta foi encontrado o valor de 3,84 kg.

Os resíduos segregados como papel/papelão (copos, embalagens, canudos, folhas, papel toalha, papelão) representaram quase 20% dos resíduos gerados. Foi observado que a maior parte se tratava de copos e embalagens que poderiam ser reciclados, diminuindo a quantidade de resíduos encaminhados para o aterro sanitário. Porém, essa prática ainda não é realizada por não existir uma coleta seletiva efetiva, apesar das unidades terem coletores seletivos. Ressalta-se ainda, que não há no Campus a prática de destinação dos recicláveis para cooperativas e associações de catadores, conforme prevê a A3P (MMA, 2025).

Já os resíduos orgânicos tiveram um percentual bem abaixo do esperado, totalizando 7,5% na composição dos resíduos. Isso pode ser explicado devido o Campus não possuir refeitório e que os lanches adquiridos nas lanchonetes são consumidos em sua totalidade, não havendo desperdício de alimentos. Em contrapartida, observou-se na composição um percentual significativo de isopor (1,2%), que apesar de estar na categoria de plástico, nesta pesquisa foi analisado separadamente por considerar um ponto importante a ser avaliado na gestão dos resíduos. Esse material, que se apresenta, principalmente, na forma de embalagem (quentinhas), é descartado nas lixeiras após o consumo das refeições adquiridas pelos estudantes, servidores e terceirizados diariamente em restaurantes externos.

Dentre os metais identificou-se embalagens de biscoitos, suco, nescau e refrigerante, quentinhas e parafusos, representando quase 2% da composição avaliada. Esses tipo de resíduos são facilmente reciclados, pois possuem valor de mercado e quando destinados para aterros sanitários, impossibilita essa prática e diminui a renda de cooperativas e associações de catadores.

Na composição gravimétrica feita na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Francisco Beltrão por Pereira *et al.* (2020), observou-se uma predominância de resíduos orgânicos (173,5 kg), sendo 53% do total gerado, seguido dos rejeitos (13,8%) e dos recicláveis (17%). Já no estudo da composição gravimétrica realizado na Universidade Federal de Campina Grande, mostra que a matéria orgânica apresentou o maior percentual, representando um total de 66%, seguido por 13% de plásticos, 9% de papel/papelão e 8% de compósitos (Da Silva *et al.*, 2018). Comparando com os dados encontrados, constatou-se que o percentual de recicláveis no IFMA - Campus Centro Histórico é bem maior, correspondendo a

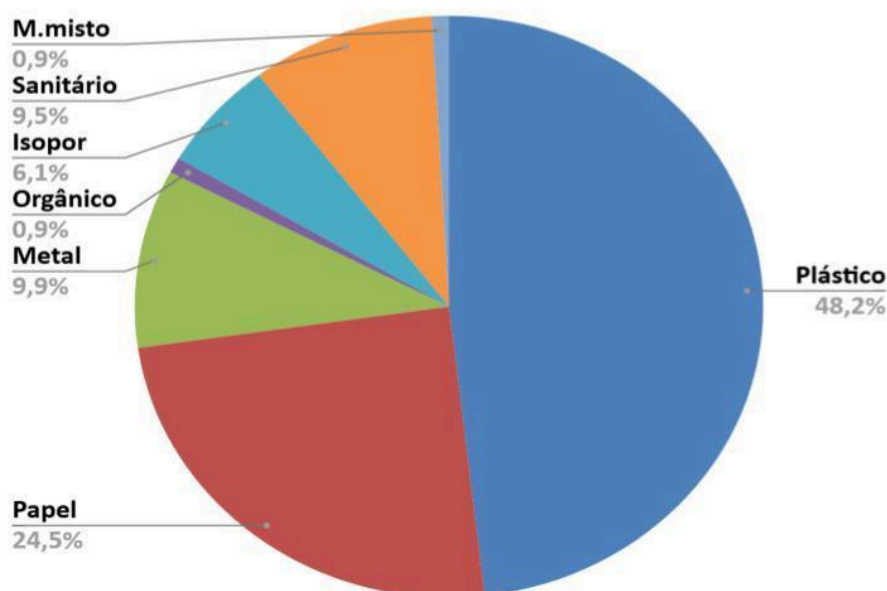
47,10%. Por outro lado, a fração de resíduos orgânicos ficou bem abaixo dos verificados em outras instituições.

Ao final da triagem dos resíduos restaram alguns materiais que foram classificados nesta pesquisa como material misto por apresentarem mais de um componente em sua composição ou não se enquadrarem em nenhuma das categorias pré-definidas. O percentual obtido na composição destes materiais foi de 0,4%.

### 6.3 Determinação da composição volumétrica

Por meio da composição volumétrica é possível definir o percentual dos diversos componentes presentes nos resíduos em termo de volume. Esse processo pode ser realizado considerando resíduos soltos ou compactados. Na Figura 16 é verificado o percentual encontrado para cada fração dos resíduos soltos.

Figura 16 - Composição volumétrica dos resíduos gerados no IFMA - Campus Centro Histórico



Fonte: Autora, 2024.

Os resíduos plásticos foram os que apresentaram o maior volume durante a

análise, correspondendo a 48,2% do total. Esse material possui diversos impactos quando dispostos de forma inadequada no meio ambiente, o que reforça a necessidade de destiná-los para reciclagem. Observa-se que o teor de plástico é superior se comparado à composição gravimétrica uma vez que é um material leve, mas que em grandes quantidades representam volumes excessivos (Melo *et al.*, 2016). O isopor teve um percentual de 6,1%, o que indica um volume elevado desse material e que precisa ser devidamente avaliado sua disposição final.

A composição volumétrica mostrou ainda um valor considerável para os resíduos identificados como papel/papelão, totalizando 24,5%. Os copos de papel contribuíram para este resultado, pois percebeu-se uma grande quantidade desse material durante a triagem. Um ponto importante observado durante a avaliação foi a pequena quantidade de folhas de papel, considerando que o campo de estudo é uma instituição de ensino. Com a mudança de processos físicos para eletrônicos e utilização cada vez mais de eletrônicos, o uso desse material diminuiu bastante principalmente nos setores administrativos. Ressalta-se que essa redução já é fruto da implementação de ações relacionadas à economia de papel, previsto na política institucional através do projeto estratégico IFMA Sustentável.

Os resíduos metálicos correspondem a 9,9% do volume dos resíduos gerados no Campus. Dentre eles, as embalagens de alimentos (refrigerantes, biscoitos) apareceram em maior quantidade durante a avaliação. Diariamente esses alimentos são consumidos pela comunidade escolar, o que explica a identificação desses resíduos nas lixeiras.

Para os resíduos sanitários obteve-se na composição um percentual de 9,5%. Um resultado diferente se compararmos com a sua composição gravimétrica. Considerando a massa específica de 255 kg/m<sup>3</sup> (Araújo, 2016), esses resíduos apresentaram um volume de 25901,96 cm<sup>3</sup>.

Por fim, os resíduos orgânicos e material misto correspondem, cada um, a 0,9% do volume total dos resíduos. Quanto aos orgânicos essa situação é bem avaliada, considerando que mesmo tendo lanchonete nas unidades, o desperdício de alimentos é mínimo. Para o material misto, apesar de pouco volume, faz-se necessário uma avaliação de possível destinação, pois apenas os rejeitos devem ser enviados para aterro sanitário, conforme determina a Política Nacional de Resíduos

Sólidos ( Brasil, 2010).

6.4 Elaboração das rotas tecnológicas

6.4.1 Rotas tecnológicas para resíduos classe 1

As rotas tecnológicas para a gestão de resíduos perigosos (classe 1) no Brasil devem seguir as diretrizes estabelecidas por normas como a NBR 10.004 (ABNT, 2024), a NBR 7.500 (ABNT, 2003) e a NBR 12.235 (ABNT, 1992), bem como as regulamentações ambientais específicas, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) e Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P). Para a elaboração das rotas tecnológicas dos resíduos classe 1 (lâmpadas, eletrônicos, químicos e material contaminado) do IFMA - Campus Centro Histórico foram considerados também os dados obtidos no diagnóstico e os aspectos ambientais, sociais e econômicos. Na Figura 17 estão descritas as rotas tecnológicas propostas para os resíduos mencionados:

Figura 17 - Rotas tecnológicas para resíduos classe 1 do IFMA - Campus Centro Histórico

| ROTAS TECNOLÓGICAS RESÍDUOS CLASSE I |                       |                              |                                                        |                                                       |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ETAPAS                               | LÂMPADA               | ELETRÔNICO                   | QUÍMICO                                                | MATERIAL CONTAMINADO                                  |
| TRIAGEM                              | lâmpadas queimadas    | recuperável/irrecuperável    | líquidos (ácidos, bases, metais e substâncias tóxicas) | sólidos (ácidos, bases, metais e substâncias tóxicas) |
| ACONDICIONAMENTO                     | contêineres, tambores | contêineres, tambores        | frascos rotulados                                      | coletor de resíduos perigosos                         |
| ARMAZENAMENTO                        | almoxarifado          | almoxarifado                 | laboratório                                            | laboratório                                           |
| COLETA / TRANSPORTE                  | empresa licenciada    | empresa licenciada           | empresa licenciada                                     | empresa licenciada                                    |
| DESTINAÇÃO FINAL                     | logística reversa     | logística reversa reciclagem | tratamento incineração                                 | incineração                                           |

Fonte: Autora, 2025.

### **Rota tecnológica para as lâmpadas queimadas:**

De acordo com a Figura 17, as lâmpadas queimadas podem ser acondicionadas em contêiner de resíduos ou tambores, que são recipientes portáteis em boas condições de uso no qual o resíduo pode ser manuseado e transportado de forma segura, de acordo com a NBR 12.235 (ABNT, 1992). É sugerido que ao comprar a lâmpada a caixa seja guardada para seu posterior uso no acondicionamento desse resíduo, aplicando assim a reutilização de materiais. O armazenamento desses resíduos deve acontecer em área coberta com piso impermeável e ventilação adequada. Dessa forma, é sugerido o armazenamento no almoxarifado, pois é um local que atende às diretrizes da NBR 12.235 (ABNT, 1992) e tem acesso restrito. A coleta e transporte das lâmpadas queimadas deve ser realizado por empresas licenciadas, com identificação dos resíduos e uso de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), de acordo com a NBR 7.500 (ABNT, 2003). Como destinação final para estes resíduos gerados no Campus, é indicado a logística reversa, visto que esse processo não requer um custo direto para a instituição. De acordo com a PNRS, a logística reversa garante um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento no ciclo produtivo ou destinação final ambientalmente adequada. Dessa forma, é importante que nos processos de compra das lâmpadas pela instituição tenha a indicação da aplicação da logística reversa, inclusive com a disponibilização de certificado de destinação dos resíduos pela empresa, atendendo às diretrizes da A3P referentes às compras públicas sustentáveis, priorizando produtos e serviços com menor impacto ambiental.

De acordo com Moraes (2015), as alternativas mais comuns para a destinação final e/ou tratamento das lâmpadas ao redor do mundo são: disposição em aterros, incineração, moagem simples, encapsulamento e reciclagem e tratamento do mercúrio. No Brasil, apenas a partir de 1993, começaram a surgir alternativas para o tratamento de lâmpadas. Mesmo com um aumento de empresas se propondo a fazer o tratamento das lâmpadas, o índice de reciclagem brasileiro ainda é muito pequeno se comparado aos índices encontrados em países da União Europeia.

### **Rota tecnológica para resíduos eletrônicos:**

Os resíduos eletrônicos a serem descartados devem ser aqueles indicados como recuperáveis e irrecuperáveis pela instituição, conforme descrito na Figura 17. Na lista disponibilizada pelo setor responsável, os resíduos eletrônicos existentes são em maioria computadores desktop, processadores e monitores. O acondicionamento desses resíduos deve acontecer de forma organizada e segura, de acordo com a NBR 12.235 (ABNT, 1992), podendo utilizar contêiner de resíduos, como por exemplo as caixas de papelão, pensando no seu manuseio e transporte. Para armazenar temporariamente esse material, o local indicado no Campus é o almoxarifado, pois atende as exigências estruturais previstas na NBR 12.235 (ABNT, 1992) e também por ser este o setor responsável pelo tombamento e desfazimento de bens da instituição, o que facilita a destinação dos resíduos eletrônicos. Observa-se na Figura 17 que foram mapeadas duas possibilidades de destinação final na rota tecnológica dos resíduos eletrônicos gerados na instituição.

A primeira destinação trata-se da logística reversa considerando a responsabilidade das empresas quanto à destinação dos resíduos gerados, prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Nesta situação, os resíduos eletrônicos oriundos das impressoras devem ser coletados, transportados e destinados de forma ambientalmente correta pela empresa que presta serviço de impressão, atendendo às exigências do contrato junto ao Campus. No entanto, é importante que essa prática seja acompanhada pelo fiscal do contrato, solicitando inclusive os certificados de destinação, quando ocorrer o envio desses resíduos para reciclagem para empresas terceiras. O custo dessa destinação para a instituição ocorre de forma indireta através do pagamento do contrato de prestação de serviço. No Brasil, a logística reversa de resíduos eletroeletrônicos e seus componentes (REE) vem ganhando forças e é feita atualmente pela Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABRREE) e a Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional (Green Eletron) (ABREMA, 2024).

A outra destinação final indicada para os resíduos eletrônicos gerados no



Campus é a reciclagem, considerando a parceria com a empresa Techno Eco Ambiental devidamente licenciada para este fim. Pelo acordo de cooperação firmado, a empresa é responsável em disponibilizar coletores para resíduos eletrônicos gerados nos campi, realizar a coleta e o transporte desses resíduos para a reciclagem, sem custo para a instituição. É importante que essas parcerias sejam publicizadas principalmente aos gestores dos campi para que o processo aconteça de forma mais frequente e não se tenha um acúmulo desses resíduos. Faz-se necessário o acompanhamento dessa destinação pelos setor responsável na instituição, bem como a emissão de certificado de destinação pela empresa.

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABREMA, 2024), alguns dos materiais reaproveitados nos resíduos eletrônicos são metais ferrosos, metais não-ferrosos e plásticos, que são enviados para a reciclagem.

De Mello *et al.* (2016) analisou os métodos de destinação dos resíduos eletrônicos, através de um estudo de caso e constatou que os métodos de reuso e de reciclagem de materiais se mostram positivos, porque proporcionam a redução dos custos e a economia no uso de recursos naturais, comumente aplicados na fabricação de novos produtos.

#### **Rota tecnológica para resíduos químicos:**

Na Figura 17, a rota tecnológica para os resíduos químicos inicia-se com a identificação das características químicas, físicas e de periculosidade, conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2024), sempre que houver geração desses resíduos. Essa é uma etapa importante, visto que através da caracterização é possível acondicionar esses resíduos de forma adequada em frascos devidamente rotulados. O armazenamento desses fracos no laboratório deve ser realizado de acordo com normas da NBR 12.235 (ABNT, 1992). Isso significa que deverão ficar em local reservado, ventilado e com piso impermeável.

Uma destinação indicada na rota tecnológica para os resíduos químicos é o tratamento na própria instituição, não tendo custo direto, pois serão utilizados os

materiais e reagentes já disponíveis no laboratório. De Araujo *et al.* (2018) apresenta em seu manual alguns tratamentos que podem ser realizados para o descarte correto dos resíduos químicos, que pode auxiliar os usuários do laboratório em suas atividades.

Outra destinação final para os resíduos químicos apresentada na Figura 17 é a incineração. Esse tratamento foi indicado devido aos custos em relação à pirólise e principalmente por considerar que a incineração de resíduos é realizada por empresas devidamente licenciadas em São Luís, tendo a sua coleta e o seu transporte adequado, com identificação dos resíduos e uso de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), de acordo com a NBR 7.500 (ABNT, 2003).

Apesar de não ter sido identificada a geração de resíduos químicos durante o diagnóstico, estima-se que a quantidade gerada seja pequena, devido ao pouco uso do laboratório para aulas, o que possibilita uma destinação anual desses resíduos. Dessa forma, caso a instituição faça a opção pela incineração dos resíduos químicos, é necessário a contratação de empresa habilitada para realizar o tratamento, com a devida emissão de certificado. Nesse cenário, um contrato sistêmico é o ideal, pois contemplaria a destinação dos resíduos químicos de todos os campi do IFMA com um menor custo.

Carvalho (2023) apresenta em seu estudo, sete instituições que apresentam um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, que focam em resíduos químicos, entre elas a Universidade de São Paulo – USP. Pelos resultados encontrados muitas Universidades ainda não estão preparadas e equipadas para serem independentes quando se tratam de tratamento, segregação e descarte final desses resíduos.

#### **Rota tecnológica para material contaminado:**

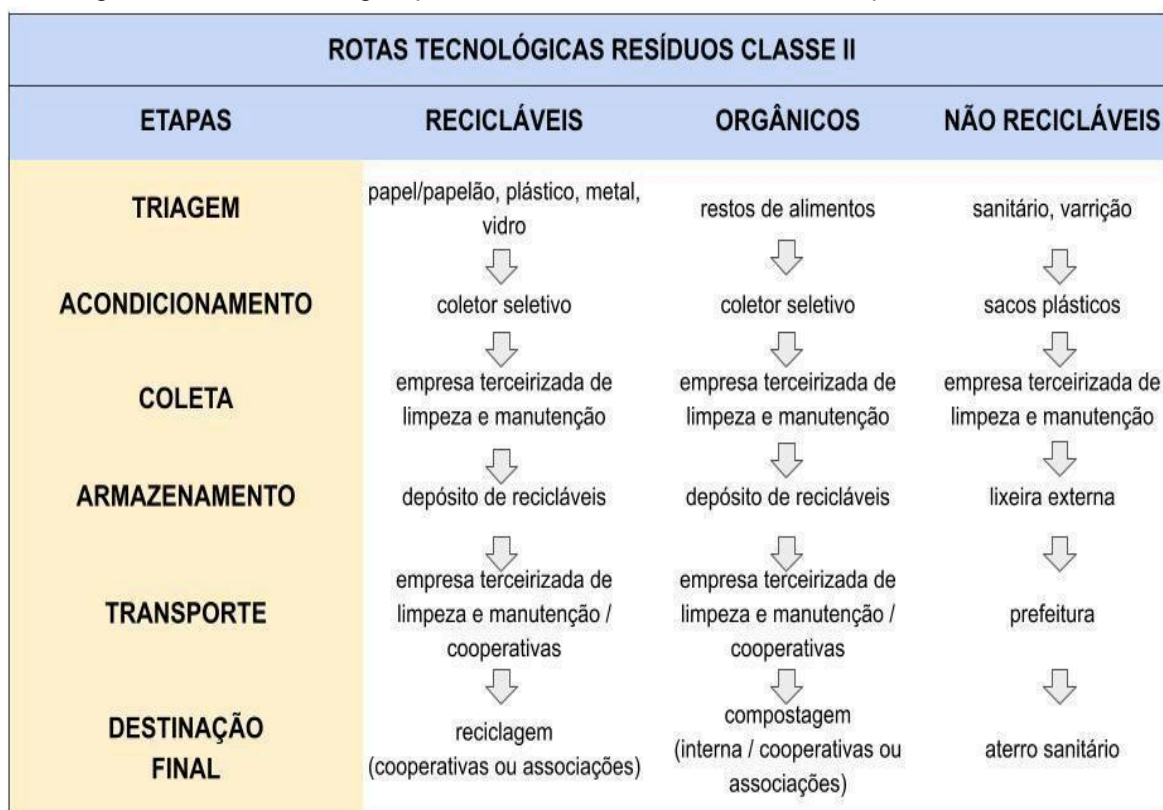
Mesmo não tendo a quantidade de material contaminado gerado, devido a não identificação durante o inventário, mapeou-se os possíveis resíduos pelas atividades realizadas nos laboratórios, entre eles estão os contaminados com ácidos, bases, metais e substâncias tóxicas, conforme apresentado na Figura 17.

Todos materiais contaminados, quando gerados, devem ser acondicionados em coletor para resíduos perigosos e armazenados em local coberto, com acesso restrito, ventilado e com piso impermeável até sua destinação final, atendendo as orientações da NBR 12.235 (ABNT, 1992). A coleta e transporte desses resíduos deve ser realizado por empresas licenciadas, com identificação dos resíduos e uso de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), de acordo com a NBR 7.500 (ABNT, 2003). Assim como para os resíduos químicos, a incineração é a destinação final indicada para os resíduos contaminados. Essa destinação estaria também contemplada no contrato com empresa especializada para coleta, transporte e tratamento dos resíduos químicos, com emissão de certificado.

#### **6.4.2 Rotas tecnológicas para resíduos classe 2**

As rotas tecnológicas para resíduos de classe 2 (não perigosos), seguem as normas técnicas, como a NBR 10.004 (ABNT, 2004) e NBR 11.174 (ABNT, 1990), e diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Brasil, 2010) e da Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P). Na Figura 18 estão descritas as rotas tecnológicas propostas para os diferentes tipos de resíduos de classe 2.

Figura 18 - Rota tecnológica para resíduos classe 2 do IFMA - Campus Centro Histórico



Fonte: Autora, 2025.

#### Rota tecnológica para resíduos recicláveis:

Para mapeamento da rota, foram considerados os seguintes resíduos: papéis, plásticos, metais e vidros, conforme é observado na Figura 18. A separação de materiais recicláveis desde a geração é importante para evitar a contaminação e facilitar o reaproveitamento. O acondicionamento desses resíduos deve ser feito nos coletores seletivos, que é um tipo contêiner de resíduos, atendendo à norma NBR 11.174 (ABNT, 1990). Estes coletores são facilmente identificados pela cor, símbolo e nomenclatura utilizada. A coleta por tipo de resíduo deve ser feita pela empresa que atua na limpeza e manutenção do Campus, que de acordo com o contrato, é responsável pelo gerenciamento dos resíduos gerados. Os resíduos devem ser encaminhados para armazenamento temporário em local fechado, ventilado, com piso impermeável e acesso restrito, de maneira a não possibilitar a alteração de sua classificação e de forma que sejam minimizados os riscos de danos ambientais, conforme prevê a NBR 11.174 (ABNT, 1990). Esse local deverá ser criado no

Campus para a efetivação desta ação, visto que é uma etapa importante para destinação correta dos resíduos.

Após coletados, esses resíduos devem ser encaminhados para associações ou cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, conforme determina o Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022, que institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação a essas instituições. Para isso, é necessário que sejam formalizadas parcerias com as instituições, devidamente licenciadas, para garantir a destinação adequada dos resíduos.

O transporte dos resíduos recicláveis também deve atender às recomendações da NBR 7.500 (ABNT, 2003), com identificação dos resíduos e uso de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR). Na rota para os resíduos recicláveis, foi indicado duas possibilidades de transporte, considerando a responsabilidade sinalizada no contrato da empresa responsável pela limpeza e manutenção do Campus e pela disponibilidade das cooperativas e associações em buscar os resíduos no local de geração.

Portanto, a reciclagem foi indicada com destinação final dos resíduos recicláveis, não havendo nenhum custo para a instituição e ainda contribuindo com a sociedade, uma vez que disponibiliza seus resíduos para as cooperativas e associações de catadores.

A realização da gestão de resíduos sólidos pela instituição, atende à Agenda Ambiental na Administração Pública - A3P com implementação de coleta seletiva, reciclagem e redução de resíduos.

#### **Rota tecnológica para resíduos orgânicos:**

Para a elaboração desta rota, foram considerados os restos de alimentos verificados durante o diagnóstico e suas etapas são observadas na Figura 18. A separação dos resíduos orgânicos é importante para evitar contaminação com recicláveis. Acondicionamento em recipientes específicos e protegidos, evitando

vetores de doenças. É indicado para o acondicionamento o uso de coletor seletivo, a fim de facilitar a coleta, o que vai em conformidade com a NBR 11.174 (ABNT, 1990). A coleta do resíduo deve ser feita pela empresa que atua na limpeza e manutenção do Campus, sendo encaminhados para armazenamento temporário em local fechado, ventilado, com piso impermeável e acesso restrito, de maneira a não possibilitar a alteração de sua classificação e de forma que sejam minimizados os riscos de danos ambientais, conforme prevê a NBR 11.174 (ABNT, 1990). É sugerido que esses resíduos sejam armazenados no mesmo local dos recicláveis, como otimização de espaço, porém sem contato com estes resíduos.

Considerando a pequena quantidade de resíduos orgânicos gerados na instituição, é indicado como destinação final a compostagem no próprio local para a produção de composto orgânico utilizado como fertilizante, para práticas do curso de meio ambiente ou ainda na implantação de uma horta para uso do composto. Outra opção é a destinação para cooperativas e associações que trabalham com compostagem. Nessa situação deve ocorrer a coleta diferenciada para resíduos orgânicos, com veículos adaptados para evitar vazamentos e odores. Não haverá custo para a instituição para a destinação final proposta.

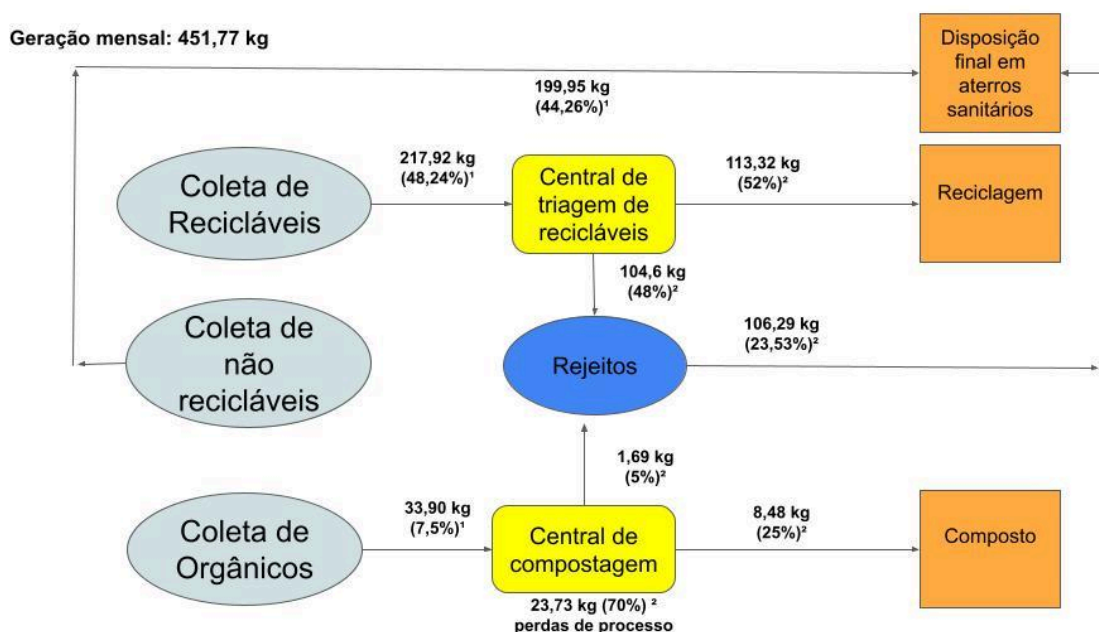
#### **Rota tecnológica para resíduos não recicláveis:**

Para esta rota foram considerados os resíduos que não são passíveis de reciclagem, como os sanitários e de varrição, conforme a Figura 18. Para estes resíduos, o acondicionamento pode ser feito em sacos plásticos, manuseando-os com cuidado para evitar que se rasguem. A coleta dos resíduos deve ser feita pela empresa que atua na limpeza e manutenção do Campus. É necessário que a instituição providencie um local adequado para armazenamento dos resíduos até a coleta pela prefeitura, que destinará esses resíduos para o aterro sanitário. A instituição não paga para destinar esses resíduos ao aterro sanitário.

Assim, a instituição realizará corretamente a destinação desses resíduos atendendo à Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, que indica que apenas os rejeitos devem ser destinados para os aterros sanitários (Brasil, 2010).

Após elaboração das propostas de rotas tecnológicas para os resíduos classe 2, realizou-se um fluxo com a estimativa da quantidade desses resíduos que podem ser destinados para reciclagem, compostagem e aterro sanitário, a partir da quantidade de resíduos gerada mensalmente no Campus e baseado no percentual de resíduos utilizado na elaboração do fluxo de resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2023, apresentado no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABREMA, 2024). O fluxo dos resíduos classe 2 gerados no Campus é apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Fluxo estimado dos resíduos classe 2 do IFMA - Campus Centro Histórico



Legenda: <sup>1</sup> percentual baseado no estudo de campo.

<sup>2</sup> percentual baseado na literatura (ABREMA, 2024).

Fonte: Autora, 2025.

Foram sugeridas três tipos de coleta no fluxo dos resíduos classe 2, conforme a Figura 19. A quantidade mensal de resíduos classe 2 gerada no Campus Centro Histórico é de 451,77 kg. Observa-se que 48,24% dos resíduos gerados foram identificados como recicláveis. Após triagem, estima-se que 52% desses resíduos sejam destinados para reciclagem e 48% são rejeitos que devem ser destinados para aterro sanitário. Já os resíduos identificados como não recicláveis, correspondem a 44,26% do total de resíduos gerados. Com a implantação da rota para estes resíduos espera-se que a segregação ocorra de forma adequada, não

tendo problemas para a destinação final diretamente para o aterro sanitário uma vez que são considerados como rejeitos.

Quanto aos resíduos orgânicos, é observado que correspondem a 7,5% do total gerado. Considerando que o processo de decomposição consome em média 70% da massa de matéria orgânica sólida (geração de água e CO<sub>2</sub>), apenas 25% dos resíduos é transformado em composto, correspondendo a 8,48 kg. Considera-se ainda que 5% desse material é caracterizado como rejeito que posteriormente deve ser enviado para aterro sanitário.

Portanto, ao compararmos os fluxos descritos nas figuras 13 e 19 observa-se uma diferença nas destinações dos resíduos sólidos com significativo benefício ao meio ambiente, uma vez que os resíduos passam por processos adequados e que não há envio de resíduos com potencial de reciclagem para o aterro sanitário aumentando a vida útil do mesmo.

## **7. CONCLUSÃO**

A gestão inadequada de resíduos sólidos apresenta impactos ambientais significativos, sendo um problema recorrente tanto no Brasil quanto globalmente. O estudo realizado no IFMA - Campus Centro Histórico demonstra que, embora haja iniciativas pontuais de manejo, ainda há carências na integração de políticas e práticas sustentáveis que garantam a destinação correta e o tratamento adequado desses resíduos.

O diagnóstico revelou que uma parcela considerável dos resíduos gerados possui potencial de reciclagem, mas ainda é encaminhada para aterros sanitários devido à ausência de um processo estruturado de segregação e destinação correta. O setor da instituição que mais gera resíduos são as salas de aula. Os resíduos sanitários e os resíduos plásticos foram os que apresentaram maior fração na análise gravimétrica. Nas rotas atuais dos resíduos da instituição avaliadas, somente as dos resíduos eletrônicos e lâmpadas possuem um processo de gerenciamento definido.



As rotas tecnológicas propostas neste trabalho representam uma oportunidade de melhorar o gerenciamento de resíduos sólidos na instituição, promovendo práticas alinhadas à educação e sustentabilidade ambiental, inclusão social e eficiência econômica. Por meio da compostagem, reciclagem, coleta seletiva, logística reversa e incineração, é possível minimizar os impactos ambientais e criar um ambiente educacional mais responsável.

Além disso, a implementação de planos integrados de gestão de resíduos pode servir como modelo para outras instituições de ensino, reforçando o papel das escolas e universidades na formação de uma sociedade mais consciente. A utilização de ferramentas como o Programa Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) ajuda as instituições para o sucesso dessas iniciativas.

Portanto, a consolidação de uma gestão eficiente de resíduos sólidos no IFMA - Campus Centro Histórico não apenas atende às demandas ambientais atuais, mas também contribui para a formação de cidadãos mais engajados e preparados para enfrentar os desafios da sustentabilidade.

Espera-se ainda que a gestão dos resíduos sólidos com o uso de rotas tecnológicas seja uma prática incorporada ao projeto estratégico IFMA Sustentável, para que todos os campi possam implementar as ações para o correto gerenciamento dos seus resíduos.

## **8. CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO**

### **8.1 Importância social**

As rotas tecnológicas de resíduos sólidos em instituições de ensino têm uma relevância social significativa, pois promovem práticas sustentáveis e conscientizam a comunidade acadêmica sobre a importância da gestão responsável de resíduos. Essas rotas contribuem para a redução de impactos ambientais e estimulam o desenvolvimento de valores e atitudes sustentáveis nos estudantes, servidores e

terceirizados, que podem levar esses conhecimentos para suas casas e comunidades. Além disso, elas favorecem a inclusão social, ao incentivar parcerias com cooperativas de reciclagem e fortalecer a economia local. Assim, além de atenderem às demandas legais e ambientais, as instituições educam para a sustentabilidade, desempenhando um papel essencial na formação de cidadãos conscientes.

## **8.2 Importância econômica**

As rotas tecnológicas de resíduos sólidos promovem a redução de custos operacionais e incentivam a reutilização de recursos. Essa é a grande vantagem econômica para as instituições de ensino, que geralmente trabalham com orçamento reduzido. Essas rotas também estimulam o desenvolvimento de parcerias com cooperativas e empresas que trabalham com reciclagem e tratamentos de resíduos, fortalecendo a economia local e criando oportunidades de emprego. Conhecer o processo mapeado de cada resíduo que precisa ser destinado, facilita a avaliação e as decisões mais assertivas quando envolvem recursos financeiros, como é o caso de contratação de empresas para tratamento de resíduos. A economia gerada pela gestão eficiente de resíduos contribui para o equilíbrio financeiro da instituição, mostrando que as ações ambientais podem ser economicamente vantajosas.

## **8.3 Importância ambiental**

As instituições de ensino, por atenderem grandes comunidades, possuem um potencial significativo na redução da quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários, diminuindo as emissões de gases de efeito estufa. O uso das rotas tecnológicas de resíduos sólidos nessas instituições desempenham um papel importante na proteção ambiental, ao garantir a destinação adequada e o tratamento sustentável dos resíduos gerados, diminuindo a geração de resíduos e contribuindo para a preservação dos ecossistemas. Ao adotar essas práticas, as instituições não

apenas cumprem responsabilidades ambientais, mas também educam e conscientizam a sociedade sobre a importância de práticas sustentáveis para um futuro mais equilibrado.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004. Resíduos Sólidos** – Classificação. Rio de Janeiro (RJ); 2024. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007. Resíduos Sólidos** – Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro (RJ); 2004. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro (RJ); 1992. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.174. Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes**. Rio de Janeiro (RJ); 1992. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.235. Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. Rio de Janeiro (RJ); 1992. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.500. Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos**. Rio de Janeiro (RJ); 2004. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRELPE- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2021.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2022.

ABREMA -- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2024.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 222/2018. **Regulamento sobre o Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde**. Brasília, 2018.

ARAÚJO NETO, C. L. de. **Análise do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento de modelos estatísticos para previsão das deformações de aterros sanitários**. 2016. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

BAPTISTA, Meysi et al. **Análise de tecnologias de tratamento e disposição final**

**de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, v. 2, n. 1, p. 17, 2019.

BARROS, R. T. de V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos.** Belo Horizonte:Ed. Tessitura, 2012. 424 p.: il.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. Produto 5: relatório preliminar com o levantamento do estado da arte sobre as rotas tecnológicas de destinação de resíduos sólidos urbanos no Brasil e no exterior. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão.** Recife/PE. Maio, 2012b.

BARBIERI, José Carlos; DIAS, Marcio. **Logística reversa como instrumento de programas de produção e consumo sustentáveis.** Revista Tecnológica, São Paulo, Ano VI , n. 77, 2002.

BONCIU, Florin. **The European economy: From a linear to a circular economy.** Romanian J. Eur. Aff., v. 14, p. 78, 2014.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental.** Oficina de Textos, 2008.

BRASIL **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

BRASIL. **Lei nº 12.305, 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008.** Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. D.O.U. Seção 1, de 30 de dezembro de 2008. Brasília, DF, 2008.

BRASIL. Lei nº 9795, 27 de abril de 1999. **Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.**

BRASIL. **Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016.** Brasília, DF. 2018.

CALDERONI, Sabetai. (1999). **Os bilhões perdidos no lixo.** (3. ed.). São Paulo: Humanitas.

CARVALHO, L. **Um panorama sobre a gestão e gerenciamento de resíduos químicos em algumas Universidades Brasileiras.** Universidade Federal de São Carlos. Trabalho de Conclusão de Curso. São Carlos. 2023. Disponível em:<  
<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18120/TCC%20-%20Lorys%20-%20versão%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CASTRO, D.E. **Tecnologias de recuperação térmica e energética de resíduos**

**sólidos.** CEFET MG. Belo Horizonte, 2015.

CESARO, A.; BELGIORNO, V.; NADDEO, V. **A comparative technology assessment of the anaerobic digestion of an organic fraction of municipal solid waste.** Biomass to Biofuels, S. Syngellakis (ed). WIT Press, Southampton. 2015.

CESTARI, William; MARTINS, Carlos Humberto. **Política Nacional de resíduos sólidos e logística reversa de lâmpadas fluorescentes pós-consumo: estudo de caso.** Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 11, n. 1, p. 29-29, 2016.

Cetrulo, T. B., Marques, R. C., Cetrulo, N. M., Pinto, F. S., Moreira, R. M., Mendizábal-Cortés, A. D., & Malheiros, T. F. (2018). **Effectiveness of solid waste policies in developing countries: A case study in Brazil.** Journal of Cleaner Production, 205, 179–187.

COLVERO, D. A. **Análise das rotas tecnológicas existentes para os resíduos sólidos urbanos no Município de Cidade Ocidental/Go.** Dissertação ( Mestrado) - Programa de Pesquisa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. 130 f.

DA CONCEIÇÃO, Mário Marcos Moreira; JÚNIOR, Antônio Pereira. **Diagnóstico dos resíduos sólidos em uma instituição de ensino superior.** Multidisciplinary Science Journal, v. 2, p. e2020007-e2020007, 2020.

DA SILVA, Elisângela Maria et al. **Estimativa da geração e composição gravimétrica dos resíduos sólidos da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 13, n. 1, p. 66-73, 2018.

DE ALMEIDA, Valdiney Ferreira et al. **Agenda ambiental da administração pública: A3P como instrumento de Educação Ambiental no Instituto Federal do Amazonas.** Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA), v. 17, n. 2, p. 452-473, 2022.

DE ARAUJO, Diana Silva; BRANDÃO, Clenilma Marques; VASCONCELOS, Nazaré do Socorro Lemos Silva. **Programa de gerenciamento de resíduos para laboratórios de ensino de química: uma proposta de educação ambiental no Instituto Federal do Maranhão – Campus Açailândia.** Acta Tecnológica, v. 13, n. 2, p. 11-25, 2018.

DE CARVALHO, J. T. A.; SANTOS, G. F. dos; RIBEIRO, L. C. S.; MATA, H. T. da C. **Sustentabilidade e rotas tecnológicas de reciclagem para a cidade de Salvador, no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Planejamento e Políticas Públicas, [S. l.], n. 52, 2021. Disponível em: [//www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/867](http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/867). Acesso em: 21 abr. 2024.

DE MELLO, Ana Paula; MAYER, Jessica Pereira Santos; DE SOUZA COSTA, Katia Aparecida. **Considerações sobre a destinação do lixo eletrônico.** REFAS: Revista FATEC Zona Sul, v. 2, n. 3, p. 2, 2016.

DE MORAES, CLAUCIANA SCHMIDT BUENO et al. **Diagnóstico e Propostas de Diretrizes para o Plano de Gerenciamento de Resíduos do IGCE da UNESP**. 2015.

ESTRELA, Carolina M. M. de S. et al. **A profissionalização da gestão de resíduos sólidos urbanos em São Luís - MA**. 2º CONRESOL Foz do Iguaçu. 2019. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/VIII-029.pdf>. Acesso: 10 junho. 2023.

FARIAS, R. M. S. **Análise de rotas tecnológicas para gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos: caso do Distrito Federal**. 2018. 205 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2018.

FIGUEIRÓ, Nathália Rafaelle Brito et al. **Resíduos sólidos nas escolas públicas estaduais no município de Bragança, Pará**. 2023. 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Ensino de Ciências - Universidade Federal do Pará -Campus de Bragança, Pará, 2023.

FREITAS, Jailza et al. **Percepção ambiental dos usuários em duas praias do Nordeste do Brasil: a problemática da poluição**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 6, p. 33984-34001, 2020.

GONÇALVES, Taynara Martins; BARROSO, Ana Flavia da Fonseca. **A economia circular como alternativa à economia linear**. Anais do XI SIMPROD, 2019.

GUIMARÃES, R. F.; AMARANTE JUNIOR O. P. de. **Educação Ambiental na Gestão de Resíduos Sólidos do Campus Barra do Corda**. In: BRANDÃO et al., C. M. Educação Ambiental na Formação Profissional para Transformação Social: práticas do IFMA. São Luís, MA: EDIFMA, 2023.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO MARANHÃO (IFMA). **Plano estratégico IFMA: 2016-2020**. São Luís: IFMA, 2016. Online. Disponível em: <https://planejamentoestrategico.ifma.edu.br/wp-content/uploads/sites/53/2017/01/planoestrategico20162020.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.

IPT/CEMPRE – Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 3 Ed. São Paulo, 2010.

JUCÁ, J. F. T. et al. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão – Produto 12**. Recife: CCS Gráfica Editora Ltda, 2014. 186p.

JULIATTO, D. L.; CALVO, M. J.; CARDOSO, T. E. C. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para Instituições Públicas de Ensino Superior**. Gestão Universitária na América Latina, v. 4, n. 3, p. 170-193, 2011.

KLIPPEL, Adriana da Silva. **Gerenciamento de resíduos sólidos em escolas**

**públicas**. 2015. 40 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

LEITE, H. E. A. S.; VIEIRA NETO, J. M; MONTEIRO, V. E. D.; SILVA, S. A. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Campina Grande – PB**, Belém do Pará, 2008, In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13, 2008, Belém-PA.

LIPOR. Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto. **Caderno Técnico**. 2000.

LI, J. et al. Regional or global WEEE recycling. **Where to go Waste Management**, v. 33, n.4 p. 923-934, apr. 2013.

LIMA, J.D. **Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. João Pessoa: ABES. 2002.

LORA, E.E.S.; ANDRADE, R.V.; SANCHEZ, C.G.; GÓMEZ, E.O.; SALES, C.A.V.B. **Gaseificação**. In: CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S.; GOMEZ, E.O. (Org). Biomassa para energia. Editora da UNICAMP, Campinas, SP, 2008.

Maçin, KE, Özçelik, K., Güven, H. et al. **Caracterização de resíduos e potencial de reciclagem em um campus universitário: ITU Ayazağa Campus zero práticas de gestão de resíduos**. J Mater Cycles Waste Manag 26 , 1193–1209 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10163-024-01894-x>.

MARANHÃO. AGÊNCIA DE NOTÍCIA. **Sete cidades da região metropolitana já utilizam aterro de Titara para despejo de resíduos sólidos**. Disponível em: <https://www3.ma.gov.br/agenciadenoticias>. Acesso: 10 junho. 2023.

MELO, Márcio Camargo de et al. **Deformação vertical dos resíduos sólidos urbanos em uma célula experimental em função da composição gravimétrica e volumétrica dos materiais**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 21, n. 02, p. 450-460, 2016.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, s.d.. **Agenda Ambiental na Administração Pública**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 25 de janeiro de 2023.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2009). **A3P- Agenda ambiental na administração pública**. Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/\\_arquivos/cartilha\\_a3p\\_36.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/cartilha_a3p_36.pdf). Acesso em 15 de novembro de 2024.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2022). **Agenda ambiental na administração pública**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/destaques-em-sustentabilidade-na-administracao-publica-sao-reconhecidas-no-premio-a3p>. Acesso em 20 de setembro de 2024.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2009). **A3P- Agenda ambiental na**



**administração pública**.Disponível em:  
<http://a3p.mma.gov.br/gestao-adequada-dos-residuos-gerados/>. Acesso em 13 de dezembro de 2024.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2010). **Manual para implantação de compostagem e coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília, DF.

MORAES, Vitória Miranda de. **Resíduos de lâmpadas fluorescentes: seu contexto na PNRS e a importância da destinação adequada**. Monografia Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. p. 57. 2015.

MORETTO, Sara Rachel Orsi; FERNANDES, João Carlos. III-212-**Tecnologias para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos**. 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 2019. Disponível em: [https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/45\\_Download/Trabalhos Completos PDF/III-212.pdf](https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/45_Download/Trabalhos Completos PDF/III-212.pdf) Acesso em : 12 de dezembro de 2024.

MOTA, A. E. A. S. da; PINHEIRO, R. F.; SANTOS, T. M. dos; MELO, A. C. S.; NUNES, D. R. de L. **Desafios e oportunidades da Logística Reversa no contexto do Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas, [S. l.], v. 10, n. 4, 2015. DOI: 10.15675/gepros.v10i4.1278. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/gepros/article/view/1278>. Acesso em: 13 jan. 2025.

OLIVEIRA, Jeaniny Maria Fonseca Ferreira de. **A gestão de resíduos sólidos no município de São Luís-MA: principais avanços e desafios uma década após a implantação da política nacional de resíduos sólidos..** 2021.116 f. Dissertação( Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente/CCET) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

OLIVEIRA, T. B. de; GALVÃO Jr. A. de C.. **Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva**. Revista de Engenharia Sanitária Ambiental, vol.21 nº1 Rio de Janeiro. Jan./Mar. 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522016000100055&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000100055&lng=en&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: 29 fev. 2019.

OLIVEIRA, Flávio Lucas Fernandes. **Proposição de uma ferramenta de controle na gestão de resíduos sólidos urbanos recicláveis de uma Central Municipal de Reciclagem (CMR)**. 2022. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

OLIVEIRA, D. L. **Considerações sobre a gestão de resíduos sólidos em instituições de ensino superior brasileiras**. Dissertação. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, BA. 2023. Disponível em:< <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/1448>>. Acesso em: 26 de Agosto. 2024

OTTONI, Adacto B.; PINTO, Pedro H.; AMARAL, Marina. **Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos em Universidade Públicas Brasileiras**. In: Fórum Ambiental, 17., 2021, Alta Paulista. **Anais...**Alta Paulista: 2021. p. 491 - 504.

PEREIRA, F. T. G.; LEITE, H. E. A. S.; GARCEZ, L. R.; ARAUJO, E. P.; MELO, M.

C.;MONTEIRO, V. E. D. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB**. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE RESÍDUOS SÓLIDOS SINRES,2., 2010, Campina Grande. Resumo.

PEREIRA, Izadora Consalter et al. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no Campus da UTFPR Francisco Beltrão: Ferramenta para aprimorar a gestão de resíduos no Campus**. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais. 2020.

PIMENTEL, Cristine Helena Limeira et al. **A gestão das rotas tecnológicas de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB/Management of technological routes for treatment and final destination of urban solid waste in the municipality of João Pessoa/PB**. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 7063-7088, 2020.

PLASTICS EUROPE, 2019. **Plastics—the Facts 2019**. Disponível em:<<https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2019-Plastics-the-facts.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2023.

PRADO, A. L. et al. **Tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde: Tecnologias Sustentáveis**. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, 2020.

PRATES, L. F. S.; PIMENTA, C. F.; RIBEIRO, H. F. **Alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos**. APPREHENDERE – Aprendizagem & Interdisciplinaridade, V (1), n. 2 (Edição Especial), 2019.

REICHERT, G. A. **Rotas Tecnológicas para RSU – resíduos sólidos urbanos**. 29 nov. 2021. Apresentação do Power Point. Disponível em: Users/Cliente/Desktop/RotasTecnologicasGeraldoReichert29e30.11.21.pdf. Acesso: 02 fev. 2023.

REISSER, J. et al. **Ingestion of plastics at sea: does debris size really matter?**. *Frontiers in Marine Science*, v. 1, p. 70, 2014.

RENE, E.R.; SETHURAJAN, M; PONNUSAMY, V.K.; KUMAR, G.; DUNG, TN BAO; KATHIRVEL BRINDHADEVI;ARIVALAGAN PUGAZHENDHI; (2021). **Electronic waste generation, recycling and resource recovery: Technological perspectives and trends** . *Journal of Hazardous Materials*, doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125664

RIKILS, Vanuscleia Silva Santos et al. **Solid waste in the Amazon: a case study in the Southern Metropolitan area of the State of Roraima**. *Revista Espacios*, v. 37, n. 19, 2016.

ROCHA, L. C. R. da, & HORBE, A. M. C. (2006). **Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus - AM**. *Acta Amazonica*, 36(3), 307–312. doi:10.1590/s0044-59672006000300003

RODRIGUES, Jeferson Botelho et al. **Levantamento e caracterização dos impactos ambientais na área de preservação do Itapiracó, São Luís/MA**. *Nature and Conservation*, v. 13, n. 4, p. 31-36, 2020.

SANTANA, Gleison; MARQUES, Paulo Roberto Brasil Oliveira. **Resíduo eletrônico e suas implicações ambientais: diagnóstico sobre a percepção do tema em uma instituição de ensino tecnológico.** 2020.

SANSONOVICZ, A. M. M.; GRACIOLI, C. R. **Educação Ambiental pela implantação de uma horta orgânica em uma Escola Rural do Município de Ijuí,** RS. Revista Monografias Ambientais, Santa Maria, p. 126-132, 2015.

SÃO LUÍS. Decreto Municipal nº 56.618, de 09 de dezembro de 2020. **Dispõe sobre a aprovação e instituição do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e dá outras providências.** São Luís, MA. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=407705>. Acesso em: 10 junho. 2023.

SÃO LUÍS. Lei Municipal nº 6.321, de 27 de março de 2018. **Estabelece e organiza o sistema municipal de limpeza urbana e de gestão integrada dos resíduos sólidos do município de São Luís e dá outras providências.** São Luís, MA. Disponível em: [https://www.saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/2560\\_lei\\_6.321.pdf](https://www.saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/2560_lei_6.321.pdf). Acesso em: 10 junho. 2023.

SHIU, R. F., Gong, G.-C., Fang, M.-D., Chow, C.-H., & Chin, W.-C. (2021). **Marine microplastics in the surface waters of “pristine” Kuroshio.** Marine Pollution Bulletin, 172, 112808. doi:10.1016/j.marpolbul.2021.112.

SILVA, A, C, S, da; SILVA, L, A: **Análise dos Resíduos Sólidos Gerados no Restaurante Estudantil do IFPA - Campus Bragança – PA.** Trabalho de Conclusão de Curso- TCC (2019). IFPA, Campus Bragança.

Silva, J. P., et al. (2020). **Economia circular e o papel da reciclagem na sustentabilidade global.** Editora Sustentável.

SIMÕES, Izabela; VAN\_ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira; FERREIRA, João. **Avaliação de ciclo de vida das rotas tecnológicas de disposição dos resíduos de madeiras gerados pelas indústrias moveleiras de Petrópolis, Brasil.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, p. 155-169, 2021.

SOUZA, L. **Brasil gera 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano.** AgênciaBrasil, 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/brasil-gera-79-milhoes-de-toneladas-de-residuos-solidos-por-ano>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SUN, Q., Liu, Y., Yuan, H., & Lian, B. (2016). **The effect of environmental contamination on the community structure and fructification of ectomycorrhizal fungi.** MicrobiologyOpen, 6(1), e00396. doi:10.1002/mbo3.396

TEIXEIRA, M. F. D. F. B. **Desafios e oportunidades para a inserção do tripé da sustentabilidade nas contratações públicas: um estudo dos casos do Governo Federal Brasileiro e do Governo do Estado de São Paulo.** Brasília: Universidade de Brasília, 2013. Disponível em <http://repositorio.unb.br/handle/10482/13866>. Acesso em: 02 de novembro de 2024.

TOZLU A., ÖZAHİ E., ABUŞOĞLU A. **Waste to energy technologies for municipal solid waste management in Gaziantep**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 809–815, 2016.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. **Developing integrated solid waste management plan**, vol 6, 2012.

WANG H.; BROWN, S.L.; MAGESAN, G. N.; SLADE, A. H.; QUINTERN, M.; CLINTON P. W.; PAYN, T. W. (2008). **Technological options for the management of biosolids**. 15(4), 308–317. doi:10.1007/s11356-008-0012-5.