



Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade - PPGCS

ANDRESSA LIMA DE ARAÚJO

TECNOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

TEIXEIRA DE FREITAS - BA

2024

ANDRESSA LIMA DE ARAÚJO

TECNOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Sustentabilidade, da Universidade Federal do Sul da Bahia, como parte das exigências para obtenção do título de mestra em Ciências e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley de Jesus Souza

TEIXEIRA DE FREITAS - BA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

**Catálogo na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)
Sistema de Bibliotecas (SIBI)**

A663t Araújo, Andressa Lima de, 1989 –
Tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos. / Andressa Lima de
Araújo. – Teixeira de Freitas, 2024.
80 f.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley de Jesus Souza

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia. Centro
de Formação em Desenvolvimento Territorial. Programa de Pós-Graduação
em Ciências e Sustentabilidade. Campus Paulo Freire.

1. Sustentabilidade. 2. Cidades Inteligentes. 3. Coleta Seletiva. 4.
Ecoeficiência. 5. Internet das Coisas. I. Araújo, Andressa Lima de. II.
Título.

CDD – 628.44

Elaborado por Lucas Sousa Carvalho - CRB-5/1883

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANDRESSA LIMA DE ARAÚJO

TECNOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Sustentabilidade da Universidade Federal do Sul da Bahia, como parte das exigências para obtenção do título de mestra em Ciências e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley de Jesus Souza

Este trabalho foi submetido à avaliação e julgado aprovado em: 30/08/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DEBORA SCHMITT KAVALEK**
Data: 24/03/2025 10:41:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Débora Schmitt Kavalek
(UFSB/ PPGCS)

Documento assinado digitalmente
 **ELMAGNO CATARINO SANTOS SILVA**
Data: 25/03/2025 07:29:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Elmagno Catarino Santos Silva
(UFSB/ CFDT)

Documento assinado digitalmente
 **SAMILE RAIZA CARVALHO MATOS**
Data: 24/03/2025 22:37:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Samile Raiza Carvalho Matos
(UFSB/ CFDT)

Documento assinado digitalmente
 **WANDERLEY DE JESUS SOUZA**
Data: 25/03/2025 08:03:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ORIENTADOR

Dr. Wanderley de Jesus Souza
(UFSB/PPGCS)

TEIXEIRA DE FREITAS - BA

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e proteção ao longo dessa trajetória. Sem Sua presença em minha vida, nada disso seria possível. Cada conquista, cada superação e cada aprendizado foram frutos da Sua graça e misericórdia.

Ao meu orientador, Wanderley Souza, meu sincero agradecimento por acreditar e não desistir de mim, mesmo quando eu queria. Obrigada por sua orientação, paciência e dedicação ao longo desse período. Suas valiosas contribuições, conselhos e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sou grata por ter tido a oportunidade de aprender com um profissional tão comprometido e inspirador, com habilidades que me inspiram a buscar mais conhecimento.

À minha querida família, expresso minha eterna gratidão pelo amor incondicional, pelo apoio em todos os momentos e pela paciência durante os desafios enfrentados. Vocês foram a base que sustentou meus sonhos, e sem vocês ao meu lado, essa vitória não teria o mesmo significado.

Aos meus amigos. Vocês foram minha rede de apoio, trazendo leveza e encorajamento nos momentos mais difíceis. Esta conquista também é de vocês, pois sem a amizade e companheirismo de cada um, este caminho teria sido muito mais árduo. Destaco, com muita alegria e gratidão: Loredana Zanotelli, que me incentivou e acreditou no meu potencial, me ajudou em todas as etapas do processo seletivo e não somente foi, mas é inspiração para alcançar os meus objetivos; Gabriela Lima, ao longo desses 02 anos, foi o meu suporte, nas aulas, nas atividades, contribuindo com seus conselhos que serviam tanto para a universidade como para a vida, me ajudando a alcançar maturidade para seguir com minhas decisões; Manoela Pinto, nessa reta final foi o meu apoio, incentivando a ter foco para escrever. Sem dúvida não teria o mesmo rendimento se não fossem as mensagens e ligações me cobrando para sair das redes sociais e focar no meu trabalho.

Pretinha, uma de minhas gatas, que fazia questão de ficar ao meu lado (mesmo dormindo e às vezes até em cima do notebook), meu “apoio moral”, expressando seus gestos de carinho por sua tutora.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigada. Cada gesto de apoio e cada palavra de encorajamento foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

Muito obrigada a todos!

ARAÚJO, Andressa Lima. **Tecnologias de gerenciamento de resíduos sólidos**. Orientador: Wanderley de Jesus Souza. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências e Sustentabilidade) – Universidade Federal do Sul da Bahia, Teixeira de Freitas, 2024.

RESUMO

Este trabalho aborda o tema do gerenciamento de resíduos sólidos, concentrando-se na apresentação e análise de tecnologias da Internet das Coisas (IoT) que oferecem soluções eficazes para a gestão sustentável e ecoeficiente desses materiais. Inicialmente, o trabalho contextualiza a crescente problemática dos resíduos sólidos e destaca a importância de abordagens tecnológicas para enfrentar esse desafio. Ao longo da dissertação, são discutidas tecnologias, incluindo sistemas de coleta inteligente, monitoramento por sensoriamento remoto, processos de reciclagem avançados, e a aplicação de inteligência artificial no planejamento e otimização de rotas de coleta. A análise crítica das vantagens e desafios associados a cada tecnologia visa fornecer uma visão abrangente do estado atual do gerenciamento de resíduos sólidos. Como resultados, a pesquisa busca compreender a atual situação do sistema de gestão de resíduos em cidades brasileiras, como Teixeira de Freitas, revisar as tecnologias existentes para gestão de resíduos sólidos, avaliar o potencial de aplicação de tais tecnologias que promovam a sustentabilidade ambiental, a eficiência operacional e a participação da comunidade.

Palavras-chaves: Sustentabilidade; Cidades Inteligentes; Coleta Seletiva; Ecoeficiência; Internet das Coisas.

ARAÚJO, Andressa Lima. Solid waste management technologies. Advisor: Wanderley de Jesus Souza. 2024. Dissertation (Master in Science and Sustainability) – Universidade Federal do Sul da Bahia, Teixeira de Freitas, 2024.

ABSTRACT

This paper addresses the topic of solid waste management, focusing on the presentation and analysis of Internet of Things (IoT) technologies that offer effective solutions for the sustainable and eco-efficient management of these materials. Initially, the paper contextualizes the growing problem of solid waste and highlights the importance of technological approaches to address this challenge. Throughout the dissertation, technologies are discussed, including smart collection systems, remote sensing monitoring, advanced recycling processes, and the application of artificial intelligence in the planning and optimization of collection routes. The critical analysis of the advantages and challenges associated with each technology aims to provide a comprehensive view of the current state of solid waste management. As results, the research seeks to understand the current situation of the waste management system in Brazilian cities, such as Teixeira de Freitas, review existing technologies for solid waste management, and evaluate the potential application of such technologies that promote environmental sustainability, operational efficiency, and community participation.

Keywords: Sustainability; Smart Cities; Selective Collection; Eco-efficiency; Internet of Things.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CARDA	Coletor Automatizado de Resíduos com Descarga Aérea
CCO	Centro de Controle Operacional
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CF	Constituição Federal
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPA	Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo de rede)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo emissor de luz)
LISA	Lixeira Seletiva Automática
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia do Massachusetts)
MWh	Megawatt-hora
NAT	<i>Network Address Translation</i> (Endereço de rede)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
PEV	Ponto de Entrega Voluntária

PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPGCS	Programa de Pós-graduação em Ciências e Sustentabilidade
PPP	Parceria público-privada
RDP	Resíduos Domiciliares Perigosos
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> (Identificação por Radiofrequência)
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEINFRA	Secretaria de Serviços Urbanos
SICOL	Sistema de coleta de lixo inteligente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UE	União Europeia
UVR	Unidade de Valorização de Recicláveis
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development (Conselho Mundial de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. OBJETIVO GERAL.....	14
2.1 Específicos.....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Resíduos Sólidos Urbanos.....	15
3.2 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos e a Legislação	17
3.3 Panorama atual dos Resíduos Sólidos Urbanos e destinação final no Brasil	24
3.3.1 Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais	24
3.3.2 Dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)	25
3.3.3 Destinação e disposição finais dos rejeitos e dos resíduos sólidos no Brasil	26
3.4 Uso de tecnologias no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos	29
3.5. Tecnologias experimentais disponíveis	31
4. CAPÍTULO 1: Ecoeficiência no gerenciamento de resíduos sólidos: impactos positivos das tecnologias.....	33
5. CAPÍTULO 2: Análise sobre utilização da tecnologia IoT para coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos	52
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
7. REFERÊNCIAS	76

1. INTRODUÇÃO GERAL

Meio Ambiente, Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável são temas ascendentes, de relevância e impacto socioeconômico na contemporaneidade. A crescente preocupação com a redução dos impactos ambientais e a busca por práticas sustentáveis que promovam a equidade social tem despertado um interesse cada vez maior por parte do setor industrial, governamental e acadêmico. Nesse contexto, as novas tecnologias desempenham um papel crucial, oferecendo ferramentas ágeis para enfrentar desafios complexos.

A *Internet of Things* (Internet das Coisas – IoT) compreende um universo em conexão, “um mundo em que os objetos estarão conectados por meio de redes sem fio e que se comuniquem usando a internet, tornando-se uma rede de objetos inteligentes capazes de realizar vários processos do cotidiano” (Magrani, 2018, p. 20).

A Inteligência Artificial - IA por exemplo, por meio da utilização de imagens de satélite, sensores e dados históricos, mapeia áreas sensíveis e identifica potenciais riscos ambientais, o que permite desenvolver estratégias de preservação e intervenções precisas para mitigar impactos. A IA não só agrega eficiência à análise de dados, como também contribui para a previsão de tendências futuras, a partir de modelos preditivos baseados em IA que simulam diversos cenários ambientais, auxiliando na formulação de políticas preventivas e adaptativas (PATRONO, ROCHA E ATILA, 2023).

A integração de tecnologias aos mecanismos existentes, abre novas perspectivas para impulsionar iniciativas sustentáveis e reforçar o compromisso global com um desenvolvimento equilibrado.

No ano de 2015, líderes de diversos países se reuniram na sede da Organização das Nações Unidas - ONU, em Nova York, com a finalidade de discutir temas mundiais, dentre eles: a prosperidade e bem-estar de todos, além da proteção ao meio ambiente. Essa reunião deu origem à agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, documento que estipula os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS: Erradicação da Pobreza, Fome Zero, Saúde e Bem Estar, Educação de Qualidade, Igualdade de Gênero, Água Potável e Saneamento, Energia Limpa e Acessível, Trabalho Decente e Crescimento Econômico, Indústria, Inovação e Infraestrutura, Redução das Desigualdades, Cidades e Comunidades Sustentáveis, Consumo e Produção Responsáveis, Ação Contra a Mudança Global do Clima, Vida na Água, Vida Terrestre, Paz, Justiça e Instituições Eficazes, Parcerias e Meios de Implementação (ONU, 2021).

Os ODS são relevantes ao avaliar a contribuição para os objetivos de sustentabilidade, bem como sua possível implementação em comunidades, abrangendo questões como governança, inovação, pesquisa, infraestrutura, mobilidade e outros aspectos relevantes (ABNT, 2017). Com o intuito de promover a efetivação de tais objetivos, é possível inserir novas tecnologias, pois desempenham um papel crucial na facilitação da implantação da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável: Coleta e análise de dados, a partir de tecnologias avançadas, como *big data* e inteligência artificial; Monitoramento ambiental, com sensores e sistemas de monitoramento remoto; Cidades inteligentes e mobilidade sustentável, conceitos que se fortalecem com as soluções tecnológicas de Internet das Coisas (IoT) e análise de dados em tempo real.

A incorporação estratégica dessas tecnologias pode acelerar o progresso em direção aos objetivos da Agenda 2030, proporcionando abordagens mais eficazes e eficientes para os desafios complexos relacionados ao desenvolvimento sustentável.

O presente trabalho visa abordar alguns desses objetivos, apontando tecnologias de auxílio ao gerenciamento de resíduos sólidos de organizações de cunho socioambiental e socioeconômico. Nesse contexto, tornam-se importantes as ações que estejam ligadas à conservação e/ou restauração ambiental e proporcionem soluções inteligentes e de resolutividade. Na esfera ambiental, Loureiro (2012, p. 56) refere que:

(...) um processo ou um sistema para serem sustentáveis necessitam: 1) conhecer e respeitar os ciclos materiais e energético dos ecossistemas em que se realizam; 2) atender a necessidades humanas sem comprometer o contexto ecológico e, do ponto de vista ético, respeitando as demais espécies; 3) garantir a existência de certos atributos essenciais ao funcionamento dos ecossistemas, sem os quais perderiam suas características organizativas; 4) reconhecer quais são seus fatores limitantes preservando-os para não inviabilizarem a sua capacidade de reprodução; 5) projetar a sua manutenção em termos temporais (necessidade de incorporar projeções futuras no planejamento das atividades humanas com base nos saberes disponíveis hoje).

Nos indicadores da sustentabilidade, pode-se analisar uma crescente no estudo das mudanças urbanas da atualidade, impulsionado por fatores como o fenômeno global de crescimento da população urbana e a demanda cada vez maior por habitação, mobilidade, infraestrutura, atividades recreativas, serviços dos variados órgãos, entre outros. “As ações para o desenvolvimento urbano sustentável requerem dos planejadores a observância da complexidade dos problemas intrínsecos ao ambiente urbano, sobretudo os relacionados aos impactos ambientais causados pela ocupação, muitas vezes desordenada, dos espaços urbanos” (SILVA, 2020).

A sociedade contemporânea, influenciada pela imposição de padrões de consumo e pelo aumento no uso de produtos com ciclos de vida mais curtos e embalagens descartáveis, tem resultado em uma grande quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) (Lima *et al.* 2022). Conforme a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2023), em seu último relatório publicado, 77,1 milhões de toneladas de RSU foram geradas no país no ano de 2022, montante resultante dos 1,04 kg de RSU gerados por dia por cada habitante do território nacional.

A adoção de inovações tecnológicas nas principais infraestruturas é fundamental para impulsionar a transição em direção a cidades mais sustentáveis e resilientes. Isso capacita os envolvidos a realizar substituições transformadoras e regenerativas quando os sistemas existentes demonstram sinais de falhas (NEWTON, 2013). Portanto, a inclusão de tecnologias inovadoras atuando na gestão eficiente de resíduos sólidos é uma questão premente em cidades de todo o mundo, refletindo os desafios ambientais contemporâneos e a necessidade imperativa de promover práticas mais sustentáveis.

Como exemplificação, a cidade de Teixeira de Freitas, situada no extremo sul da Bahia, enfrenta desafios particulares de gestão devido à rápida expansão urbana, considerando um aumento de quase 70% na população nas últimas três décadas, de acordo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), à diversidade de tipos de resíduos gerados, à estrutura física reservada para destinação dos resíduos e à necessidade de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação ambiental.

No contexto específico da cidade de Teixeira de Freitas, a crescente urbanização e o consequente aumento na produção de resíduos destacam a importância de abordagens inovadoras para lidar com essa questão complexa. Nesse sentido, a integração de tecnologias avançadas no gerenciamento de resíduos pode desempenhar um papel crucial para enfrentar os desafios específicos da cidade, proporcionando soluções eficazes e sustentáveis para o manejo responsável dos resíduos sólidos urbanos.

A pesquisa busca compreender a atual situação do sistema de gestão de resíduos em cidades brasileiras, como Teixeira de Freitas, revisar as tecnologias existentes para gestão de resíduos sólidos, avaliar o potencial de aplicação de tais tecnologias que promovam a sustentabilidade ambiental, a eficiência operacional e a participação da comunidade.

2. OBJETIVO GERAL

Investigar, analisar e propor soluções tecnológicas ecoeficientes para o auxílio do gerenciamento de resíduos sólidos do município.

2.1 Específicos

- Avaliar tecnologias disponíveis: Produção de artigo científico de revisão sistemática de tecnologias para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.
- Apresentar uma proposta para gestão dos resíduos sólidos urbanos em Teixeira de Freitas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Diferentes instituições e autores têm contribuído para definir e conceituar os resíduos sólidos urbanos - RSU ao longo do tempo. Vale anteposto, diferenciar lixo, resíduo e rejeito. As definições e conceitos associados a esses termos variam, dependendo do contexto em que são aplicados.

Barbosa e Ibrahim (2014) afirmam que, conforme a percepção comum, o lixo é o resultado de tudo aquilo que não pode mais ser aproveitado pelos consumidores ou durante o processo produtivo, uma vez que atendeu às suas necessidades de utilização. Esse material é muitas vezes descartado de forma indiscriminada no ambiente ou depositado em locais específicos, como aterros sanitários. Popularmente, o lixo é denominado como "resto", "sobra" ou "detrito".

No entanto, é crucial compreender a distinção entre os termos lixo, resíduos e rejeitos, que, apesar de aparentemente semelhantes, possuem definições técnicas específicas e são empregados de maneira distinta pelas legislações vigentes e pelos profissionais do meio ambiente. Cada palavra é utilizada dentro de contextos específicos. Para os geradores, o lixo é considerado como os "restos inúteis, indesejáveis e descartáveis" de suas atividades industriais e sociais, com pouca ou nenhuma possibilidade de reaproveitamento (Barbosa e Ibrahim, 2014). Essas diferentes perspectivas evidenciam a complexidade e a variedade de interpretações em torno dos termos "resíduo" e "lixo", refletindo as diversas abordagens adotadas por estudiosos e profissionais em diferentes contextos e disciplinas.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, descrita na Lei nº 12.305/2010, capítulo II, artigo 3º, alínea XVI, define resíduos sólidos como:

(...) 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, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Em síntese, os resíduos devem ser tratados ao máximo para possibilitar seu reaproveitamento na sua fonte de origem, em outros processos produtivos ou em atividades econômicas ou sociais. Quando esgotadas todas as possibilidades de reaproveitamento, é essencial destinar adequadamente os resíduos que serão descartados, que de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no artigo 3º, do capítulo II, alínea XV, são os

rejeitos, resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

A respeito do tratamento, Barbosa e Ibrahin (2014) enfatizam a ideia de que a mistura de resíduos com rejeitos descartáveis impossibilita o seu reaproveitamento em um novo ciclo de utilização nos setores produtivos. Diante disso, há ineficácia na redução do volume do lixo no meio ambiente e, conseqüentemente, prejuízo econômico.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA) define resíduos sólidos municipais como materiais residuais gerados em residências, instituições e estabelecimentos comerciais e industriais, excluindo resíduos industriais perigosos e resíduos de construção e demolição.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 10.004, define resíduos sólidos como materiais nos estados sólido e semissólido, originados de diversas fontes, como atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de limpeza urbana. Além disso, essa definição engloba todos provenientes de sistemas de tratamento de água, resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como líquidos com características que impossibilitam seu descarte adequado na rede pública de esgotos ou corpos d'água, demandando soluções técnicas e economicamente viáveis, considerando a melhor tecnologia disponível.

Para o IBGE, os RSU são todos os resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas, incluindo resíduos domiciliares, comerciais, de serviços, industriais e de varrição de ruas. Bem como a Organização Mundial de Saúde (OMS), que define RSU como resíduos sólidos gerados em áreas urbanas, incluindo resíduos domésticos, comerciais, institucionais e industriais.

É possível evidenciar uma crescente do acúmulo de RSU devido ao crescimento populacional nos centros urbanos, impulsionado pelo êxodo rural e pelas migrações regionais, aliado à busca por melhorias na qualidade de vida e à pressão competitiva das corporações industriais. Fator preponderante na insustentabilidade do desenvolvimento desenfreado da nossa sociedade no âmbito global.

A ausência de uma gestão eficiente dos serviços públicos básicos e a negligência em relação às questões ambientais têm comprometido há anos a maximização dos recursos naturais e seus benefícios, garantem Barbosa e Ibrahin (2014, p 15), no que acrescentam:

(...) O avanço constante da tecnologia em todas as suas esferas produtivas tem resultado no surgimento de novos bens de consumo, tais como telefones celulares, internet e computadores pessoais. Estes novos itens, adicionados às necessidades básicas já existentes, como alimentação, vestuário, moradia, transporte e saúde, têm aumentado significativamente o volume de materiais descartáveis no meio ambiente. Devido à sua grande variedade e quantidade, esses materiais têm impactado negativamente as bases fundamentais para o desenvolvimento sustentável, incluindo os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Segundo Amorim *et al.* (2011), a geração de resíduos está intrinsecamente relacionada ao estilo de vida, cultura, práticas de trabalho, hábitos alimentares, higiene e padrões de consumo humanos. Em suas pesquisas, ele ressalta o avanço das tecnologias e a produção de materiais artificiais, e observa que as indústrias responsáveis por essa produção muitas vezes negligenciam a preocupação com a reintegração desses materiais ao meio ambiente.

Os RSUs são produzidos pelos seres humanos em suas atividades diárias, de forma contínua. Ao longo do tempo, observa-se um aumento significativo no volume de resíduos gerados em todo o mundo, e a tendência é que essas taxas continuem a crescer nas próximas décadas, principalmente nos países de maior poder aquisitivo (Czajczyńska *et al.*, 2017).

Embora os estudos sobre RSU ocorram em diversas áreas do saber e transcendam fronteiras disciplinares, ainda são escassas as abordagens suficientemente integradas que permitam experiências interdisciplinares necessárias para lidar com a complexidade dos problemas relacionados ao lixo. Um dos problemas mais urgentes está relacionado à geração e à disposição inadequada dos resíduos, que resultam em efeitos adversos sobre o meio ambiente, a saúde coletiva e a saúde individual, com impactos diferenciados, muitas vezes exacerbados, sobre a população de baixa renda (Júnior, Saiani e Dourado, 2014).

3.2 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos e a Legislação

Os principais critérios para classificação dos resíduos são sua origem e periculosidade. Esse mapeamento é essencial para compreender onde, como e quais impactos ambientais podem estar contribuindo para o aumento da poluição e suas consequências. É imprescindível conduzir uma análise abrangente dos diferentes tipos de resíduos e dos riscos associados a cada um deles. Isso permite identificar medidas mitigadoras que tenham como objetivo principal a redução dos impactos ambientais, além de explorar possibilidades de aproveitamento dos resíduos identificados. Segundo Felix e Costa (2013), a classificação dos resíduos sólidos com base em suas características é fundamental, pois ajuda a selecionar as alternativas mais adequadas para o gerenciamento dos resíduos.

Para nortear desde a sua concepção, princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos, foi

regulamentada pelo Decreto n.º 7.404, de 23 de dezembro de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, regida pela Lei n.º 12.305, de 5 de agosto de 2010, que, de acordo Jardim, Yoshida e Filho (2014, p 03):

(...) no contexto do elogiado arcabouço legislativo ambiental brasileiro, de sólida base constitucional, apresenta um marco inovador e ousado na implementação da gestão compartilhada do meio ambiente, propugnada pelo art. 225 da Constituição Federal (CF), ao conceber uma abrangente e multiforme articulação e cooperação entre o poder público das diferentes esferas, o setor econômico-empresarial e os demais segmentos da sociedade civil, em especial, os catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, com vistas à gestão e ao gerenciamento integrados dos resíduos sólidos.

A PNRS estabelece ponto focal no gerenciamento de resíduos sólidos, a partir da redução do volume gerado, determinando a obrigatoriedade de seguir uma ordem de prioridades em sua gestão e gerenciamento. No Capítulo II, XI, define gestão integrada de resíduos sólidos: “[...] o conjunto de ações voltadas para solucionar o problema dos resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável [...]” (Brasil, 2010). Observa-se o destaque na multidimensionalidade e a importância da integração não apenas na compreensão e manejo dos resíduos sólidos, mas também na abordagem do tema como um todo. Os resíduos sólidos são uma questão ampla e complexa, que vai além da saúde pública, pois possui implicações sociais, econômicas e ambientais significativas (Baptista, 2014).

A gestão integrada dos resíduos sólidos requer políticas que abranjam diferentes setores e considerem os diversos aspectos sociais, ambientais e econômicos relacionados ao saneamento básico. Tal gerenciamento compreende, direta ou indiretamente, as etapas de controle de geração, armazenamento, coleta, transporte ou transferência, processamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Também abrange planejamento, administração, finanças, engenharia e tarefas jurídicas dentro de sua competência. (Brasil, 2010). As etapas operacionais, como separação, acondicionamento, armazenamento, transporte e disposição dos resíduos, devem ser conduzidas com rigorosas medidas de segurança, visando a prevenção de acidentes, contaminação e perdas econômicas.

Para além, a PNRS apresenta uma classificação dos resíduos sólidos, baseada em sua origem e periculosidade, exposta no Art. 13 da Lei nº 12.305, os resíduos sólidos de acordo a classificação abordada no Quadro 01.

Quadro 01 – Classificação dos Resíduos Sólidos

Classificação dos Resíduos Sólidos
I - Quanto à origem
a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
II - Quanto à periculosidade
a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Fonte: Adaptado de Art. 13 da Lei nº 12.305.

Como visto na PNRS, a classificação dos resíduos é determinada pelas suas propriedades e aspectos diversos. A exemplo, dentre as características de resíduos sólidos domiciliares, divide-se em resíduos secos - embalagens plásticas, papéis, metais, vidros, metais diversos e embalagens - e resíduos úmidos - restos de alimentos, folhas, cascas, sementes e outros resíduos orgânicos industrializados. Já os resíduos da construção civil, encontram-se restos de alvenarias, argamassas, concreto, asfalto, solo, gesso e detritos como madeira, fiação elétrica, tubos, metais etc.

Sobre a classificação por periculosidade, a norma técnica autorizada que disciplina a classificação dos resíduos sólidos perigosos é a NBR 10004:2004 da ABNT, na qual são definidos os seguintes pareceres para o reconhecimento da periculosidade dos resíduos, que, em função de suas características e propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas,

podem apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; e riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada (Barbosa e Ibrahin, 2014). Os resíduos dividem-se em dois grupos, quando considerados os potenciais riscos ao meio ambiente, classe I – Perigosos e classe II – não perigosos.

O importante trabalho realizado pela ABNT resultou na elaboração de uma lista abrangente de resíduos perigosos e não perigosos, bem como na definição de orientações técnicas destinadas aos profissionais especializados da área. Além disso, foram estabelecidos procedimentos de ensaio em laboratório para o manuseio desses resíduos, incluindo padrões para amostragem na solubilização e lixiviação de materiais líquidos, seguindo parâmetros definidos por outras normas brasileiras:

ABNT NBR 10005:2004: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos;

ABNT NBR 10006:2004: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos;

ABNT NBR 10007:2004: Amostragem de resíduos sólidos (Barbosa e Ibrahin, 2014).

Telles (2022) traz um compilado da classificação de resíduos sólidos focando nos potenciais impactos ambientais abordados na obra de Schalch (2019). Segundo o autor, os resíduos se classificam em:

- Agrossilvopastoris: resíduos gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os insumos utilizados. Destacam-se as embalagens de agrotóxicos devido à grande geração no Brasil, um dos maiores consumidores do mundo;
- Cemiteriais: resíduos gerados nas atividades realizadas em cemitérios, entre enterros, exumações, velórios, visitas, construção, reparo ou manutenção de jazigos;
- Da construção civil: provenientes de edificações e obras de infraestrutura, fornecedores de matéria prima, equipamentos, setores de serviço e outros fornecedores;
- De equipamentos eletroeletrônicos: resíduos que constituem um subproduto da atual evolução tecnológica. Aparelhos, produtos, componentes, acessórios domésticos e profissionais que chegaram ao fim de suas vidas úteis devido à obsolescência, ou mau funcionamento e exaustão, como no caso de pilhas e baterias;
- De estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço: resíduos gerados nessas atividades exceto os resíduos de limpeza urbana, dos serviços de saneamento básico, dos serviços de saúde, da construção civil e de transportes. Definidos por exclusão, portanto em

um espaço nebuloso;

- De limpeza urbana: provenientes dos serviços públicos que englobam varrição, capina e poda de árvores em vias públicas, logradouros públicos e outros serviços eventuais. É um elemento indissociável dos serviços de saneamento básico, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais urbanas;

- De mineração: devido sua complexidade, são gerados grandes volumes de resíduos de diferentes origens provenientes da extração, da indústria responsável pela obtenção de minério e constituições (variação mineralógica) e dos produtos empregados durante o tratamento;

- De serviços de saúde: gerados na efetivação da assistência médica sanitária. Resíduo hospitalar, resíduo biológico, resíduo séptico, resíduo infectante, resíduo especial, lixo hospitalar e outras variações;

- De serviços portuários: originados a partir de atividades de limpeza e de conservação dos ambientes internos e externo das instalações portuárias e das embarcações ou navios. Geram impactos ambientais em proporções significativas;

- De serviços públicos de saneamento básico: originados nas atividades de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgotos sanitários, manutenção e ampliação de redes de água bruta e potável, as de esgotos sanitários e demais equipamentos e estruturas desses serviços;

- Domiciliares perigosos: denominados de resíduos domiciliares perigosos (RDP). São aqueles que podem conter alguns componentes perigosos como produtos usados em pinturas (tintas, vernizes e solventes), produtos de limpeza, fungicidas, herbicidas, remédios, inseticidas e outros;

- Industriais: A Resolução Conama 313/2002 define resíduo industrial como todo material proveniente das atividades industriais, podendo estar nos estados sólido, semissólido, gasoso quando contido e líquido. Esses resíduos apresentam características que tornam impraticável o seu descarte na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou demandam soluções técnicas ou economicamente inviáveis, considerando a melhor tecnologia disponível. Esta definição abrange também os lodos gerados em sistemas de tratamento de água e em equipamentos e instalações de controle da poluição;

- Lâmpadas fluorescentes: A PNRS não traz definição específica sobre os resíduos de lâmpadas fluorescentes, destacando apenas as lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, bem como resíduos sujeitos à logística reversa e acordos setoriais;

- Óleos: estão os óleos residuais domésticos, ou simplesmente de cozinha ou de fritura, que são de origem vegetal (soja, milho, canola, girassol), óleos e gorduras hidrogenadas ou de origem animal, e também os óleos lubrificantes, em geral de origem mineral, formulados a partir do petróleo;

- Pilhas e baterias: compostos por metais pesados como mercúrio, chumbo, cobre, zinco, cádmio, manganês, lítio e níquel, que são substâncias perigosas à saúde da população e ao meio ambiente por suas características de corrosividade, toxicidade, inflamabilidade e reatividade;

- Pneus: constituídos de uma mistura complexa de elastômeros, produtos têxteis, negro de fumo, aço e outros materiais. Na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 416/2009 são classificados como novo, usado, reformado e inservível. Na Lista Brasileira de Resíduos Sólidos (Instrução Normativa 13/2012 do IBAMA), estão incluídos como resíduos não especificados em outros capítulos (Telles, 2022).

Haja vista a vasta complexidade da gestão de resíduos sólidos, outras ferramentas e instrumentos normativos se tornam protagonistas do cenário ambiental, visando a minimização dos impactos causados pelo ciclo dos resíduos no país, desenvolvimento sustentável e equilíbrio socioambiental. “Os instrumentos ambientais são ferramentas utilizadas para defender, proteger o nosso meio ambiente e pôr em prática as políticas públicas definidas pelo Poder Público e pelas leis” (Barbosa e Ibrahin, 2014, p.100).

Criado em 1981, o CONAMA é um órgão colegiado de natureza deliberativa e consultiva, estabelecido pela Política Nacional de Meio Ambiente. Suas competências, que totalizam dezessete, podem ser agrupadas em dois principais blocos temáticos: um que refere à sua função normativa, na qual o CONAMA é responsável por estabelecer critérios e padrões para uma gestão ambiental adequada, frequentemente manifestada por meio de resoluções; e outro que diz respeito ao papel político e estratégico do conselho, que envolve a articulação das políticas ambientais e a promoção dos objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente (Fonseca, Bursztyn e Moura, 2012).

A exemplo de funcionalidade para o manuseio dos RSU, a Resolução nº 275, de 2001, estabelece um código de cores diferenciando os tipos de resíduos, a ser utilizado na identificação de coletores e transportadores, além de orientar campanhas informativas sobre coleta seletiva, apresentados no Quadro 02.

Quadro 02 – Classificação de Resíduos através do código de cores Resolução 275/01

Padrão de Cores - Resolução CONAMA 275/01		
AZUL		papel/papelão
VERMELHO		Plástico
VERDE		Vidro
AMARELO		Metal
PRETO		Madeira
LARANJA		resíduos perigosos
BRANCO		resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde
ROXO		resíduos radioativos
MARROM		resíduos orgânicos
CINZA		resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação

Fonte: Adaptado de Resolução 275/01.

Essa medida foi motivada pela necessidade de incentivar a reciclagem de resíduos, reduzir o consumo de matérias-primas e mitigar o crescente impacto ambiental associado ao aumento de lixões e aterros sanitários (Barbosa e Ibrahim, 2014).

Recentemente, em 2022, o setor de gestão de resíduos sólidos no Brasil teve importantes termos normativos. Começando com a promulgação do Decreto nº 10.936/2022, que introduziu uma nova regulamentação para a Lei 12.305/2010, e o Decreto nº 11.043/2022, que estabeleceu o Planares - Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o principal instrumento previsto na Lei, que define estratégias, diretrizes e metas para o setor ao longo de um horizonte de 20 anos.

Ambos os instrumentos mencionados reforçam os princípios e definições da PNRS, e trazem mais objetividade em sua aplicação. Isso viabiliza a transição de um sistema de gestão de resíduos ainda linear para um sistema com maior foco na circularidade, promovendo o aproveitamento dos resíduos como recursos importantes. Esse enfoque busca garantir a proteção do meio ambiente, melhorar as condições de saúde e estimular o desenvolvimento econômico, com potencial para gerar empregos e renda em todas as regiões do país. (ABRELPE, 2022)

A nível estadual, conforme a Constituição do Estado da Bahia, foi promulgada em 7 de janeiro de 2014, a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), que dispõe sobre seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos. A PERS estabelece normas relacionadas à gestão adequada e ao gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, em colaboração com os setores público, empresarial e sociedade civil (Bahia, 2014).

Na esfera municipal, destaca-se neste trabalho, a Lei Municipal nº 727/2014 que dispõe sobre a Política de Saneamento Ambiental de Teixeira de Freitas e cria o Fundo de Saneamento Ambiental do município. De acordo a Lei Municipal nº 727/2014, o Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo tem como horizonte o período de 2014 a 2033, instrumento fundamental e estruturante do Plano Diretor Municipal Participativo do município, visando, entre outros objetivos, o manejo dos resíduos sólidos.

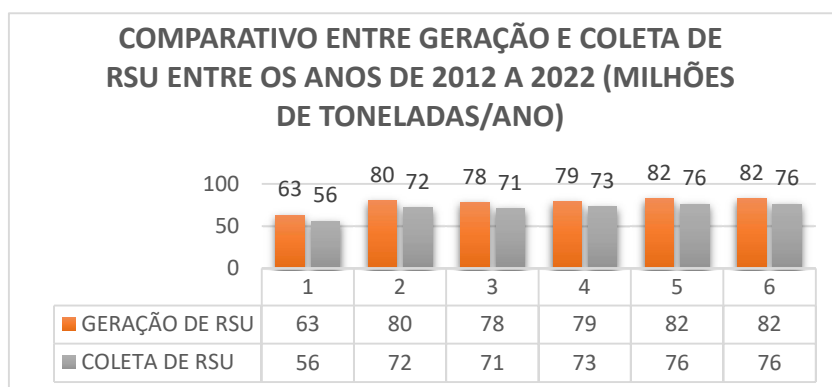
Sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos da cidade, o documento aponta que o aterro sanitário entrou em operação no ano de 2003, com vida útil estimada em vinte anos (Teixeira de Freitas, 2014).

3.3 Panorama atual dos Resíduos Sólidos Urbanos e destinação final no Brasil

3.3.1 Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

De forma comparativa, os dados apresentados permeiam abordagens de duas décadas, desde 2012 até 2022, vale ressaltar o período de 2020 (enquanto o Brasil e o mundo enfrentavam a pandemia causada pela COVID-19), ambas abordagens expostas pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), apontando que, ao longo de uma década, o serviço de coleta não alcançou o montante gerado, expostos na Figura 01, considerando os anos 2012 (1), 2015 (2), 2017 (3), 2018 (4), 2020 (5) e 2022 (6).

Figura 01 – Comparativo entre a Geração de RSU e Coleta de RSU entre 2012 e 2022



Fonte: Adaptado dos panoramas anuais da ABRELPE.

Outro ponto interesse a considerar nos dados extraídos dos panoramas da APRELPE é a destinação final desses RSU, onde é possível considerar que, uma grande parcela dos RSU coletados no período não receberam destinação final adequada, ou seja, não foram destinados

à aterros sanitários, mas a lixões e aterros controlados. Em 2022, por exemplo, 61% dos RSU coletados foi encaminhado para aterros sanitários, local ambientalmente adequado, entretanto, as áreas de disposição inadequada, como lixões e aterros controlados receberam 39% do total de resíduos coletados, alcançando um total de 29,7 milhões de toneladas.

Considerando o cenário antes da pandemia, segundo dados da ABRELPE (2020), entre 2010 e 2019, a geração de RSU no Brasil registrou um aumento considerável, de 67 milhões para 79 milhões de tonelada por ano, demonstrando que cada pessoa gerou 1,038 kg de RSU diariamente no ano de 2019.

Durante o ano de 2020, devido à pandemia e às mudanças nas dinâmicas sociais, houve um significativo aumento na geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, alcançando aproximadamente 82,5 milhões de toneladas (ABRELPE, 2021). Isso representa uma disparidade em relação aos resultados dos dois anos anteriores, nos quais a geração anual foi de cerca de 79 milhões de toneladas (ABRELPE, 2020). Em relação aos resíduos de saúde, os registros no Brasil nos anos de 2018 e 2019 foram de 252.948 toneladas (ABRELPE 2018/2019) e 253 mil toneladas (ABRELPE, 2020), respectivamente. Durante o período da pandemia, observou-se um aumento exponencial na geração de resíduos de saúde em 2020, totalizando cerca de 290 mil toneladas, o que pode ser atribuído ao aumento nos casos de COVID-19, internações hospitalares e demanda por serviços de saúde (ABRELPE, 2021).

Já no panorama apresentado pela ABRELPE no ano de 2022, o Brasil alcançou um total de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas na geração de RSU, o que corresponde a 224 mil toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia. Com os dados de 2022, observa-se que o montante de RSU gerados no país apresentou uma queda. Pode-se relacionar a esse índice, as novas dinâmicas sociais num cenário pós COVID, com a retomada da geração de resíduos nas empresas, escolas e escritórios, com a menor utilização dos serviços de delivery em comparação ao período de maior isolamento social.

3.3.2 Dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)

Outro mecanismo de comparação utilizado para demonstrar o panorama atual dos RSU no Brasil é a análise dos relatórios apresentados pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. De acordo o relatório de 2020 da OCDE, o Brasil é o 5º maior país do mundo em extensão territorial e o maior da América do Sul. Sob o ponto de distribuição populacional, 85% reside em centros urbanos. Projeções indicam que até 2030, a

população do Brasil pode chegar a aproximadamente 258 milhões de pessoas. Segundo o mesmo relatório, o Brasil ocupava a 4ª posição entre os países que mais geram RSU globalmente.

Os países da OCDE estão empenhados em reduzir significativamente a geração de resíduos municipais e aprimorar os métodos de gestão. Estratégias como o pré-tratamento mecânico e biológico são adotadas para facilitar a recuperação, aumentar a eficiência da incineração e diminuir a quantidade de resíduos destinados a aterros. Estados membros da União Europeia, Japão e outros países estabeleceram metas de recuperação e reciclagem, monitorando o progresso por meio de indicadores (OCDE, 2020).

3.3.3 Destinação e disposição finais dos rejeitos e dos resíduos sólidos no Brasil

Dois termos se apresentam aqui: Destinação final e disposição final. A destinação final ambientalmente adequada engloba a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, bem como outras opções autorizadas pelos órgãos competentes. Isso inclui a disposição final, que foi estabelecida como um dos objetivos da PNRS em seu artigo 7º e uma das prioridades na gestão e no gerenciamento dos resíduos, mencionada no artigo 9º (Júnior, Saiani e Dourado, 2014), consiste na distribuição ordenada de rejeitos em aterros, seguindo normas operacionais específicas para prevenir danos à saúde pública e à segurança, e para minimizar os impactos ambientais adversos, e deve ser reservada apenas para os resíduos que já não possuem mais possibilidade de serem tratados de alguma forma (Barbosa e Ibrahim, 2014).

Os locais mais usados, no Brasil, para destinação de resíduos são os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários. A respeito disso, a Lei nº 12.305/2010 apresenta:

(...) Art. 9º - Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. § 1º - Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental. § 2º - Política Nacional de Resíduos Sólidos e as Políticas de Resíduos Sólidos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios serão compatíveis com o disposto no caput e no § 1º deste artigo e com as demais diretrizes estabelecidas nesta Lei. (BRASIL, 2010).

O lixão é uma forma inadequada de disposição final de RSU que se caracteriza pela simples descarga dos resíduos sobre o solo, sem quaisquer medidas de proteção ao meio

ambiente ou à saúde pública, e não existe nenhum controle quanto aos tipos de resíduos depositados nem quanto ao local de sua disposição. Eles são condenados sob o ponto de vista sanitário, pois os resíduos lançados podem conter matéria orgânica, que inicia de imediato um processo de decomposição ao ar livre, atraindo vetores indesejáveis à saúde humana, e exalando odores.

Os resíduos domiciliares e comerciais de baixa periculosidade são depositados com os industriais e hospitalares de alto poder poluidor. Uma vez que a massa do lixão é removida periodicamente, o oxigênio em seu interior é rapidamente consumido promovendo a decomposição anaeróbica e gerando gases como metano, carbônico e sulfídrico que exalam odores desagradáveis. Outro problema é a produção do chorume, uma fração líquida escura, ácida e de odor desagradável que pode se infiltrar no solo, contaminando os aquíferos superficiais e subterrâneos (Telles, 2022).

O aterro é uma forma de disposição de resíduos no solo que, sendo fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, garante e possibilita um confinamento seguro em termos de poluição ambiental e de proteção à saúde pública. É uma estrutura projetada dentro do solo ou sobre ele, onde o lixo é isolado do ambiente à sua volta, como do lençol freático, ar e chuva. Esse isolamento é obtido através de um revestimento e uma cobertura diária de terra (Barbosa e Ibrahim, 2014).

Telles (2022) relaciona as diferenças estruturais de um aterro sanitário e aterro controlado. O autor explica que o aterro sanitário de RSU é uma técnica para a disposição final de resíduos no solo que visa evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais. Trata-se de um local projetado para a decomposição final de resíduos provenientes de atividades humanas, como resíduos domésticos, comerciais, da indústria da construção e do tratamento de esgoto. Esses aterros funcionam enterrando os resíduos, promovendo sua decomposição e redução de volume ao longo do tempo na natureza.

Para Júnior, Saiani e Dourado (2014), os aterros sanitários são apontados pela Lei como a solução ideal para a disposição final dos rejeitos, sendo estabelecida uma meta para que todos os municípios adotassem essa forma de disposição até 2014. Mesmo que não seja ideal, os aterros sanitários também podem ser a destinação final dos resíduos sólidos.

Diferentemente, a estrutura de um aterro controlado, também chamado de remediação de acordo com a ABNT, é uma técnica controversa para a disposição final de RSU no solo. Esses aterros são implementados como medidas exigidas por órgãos ambientais e podem

envolver melhorias no acesso, a dispersão periódica dos resíduos e a coleta de águas pluviais. Porém na prática, essas medidas geralmente têm um resultado limitado na redução dos impactos ambientais associados à disposição final. Durante esse processo, é necessário cobrir os resíduos com uma camada de material inerte ao final de cada dia de trabalho.

Trata-se de uma medida emergencial adotada para lidar com o enorme volume de resíduos gerados nas áreas urbanas. No entanto, um dos principais problemas associados a essa prática é a infiltração do chorume (líquido resultante do processo) no solo devido à falta de impermeabilização, alcançando o lençol freático e contaminando-o. Esse cenário pode acarretar sérios riscos à saúde pública, incluindo o potencial para o surgimento de doenças, epidemias e outras complicações.

(...) A grosso modo, considera-se “lixão” quando a disposição é feita em área sem preparação do solo, não ocorrendo coleta e tratamento do chorume e dos gases da decomposição dos materiais, que ficam expostos; aterro controlado quando os gases e o chorume são captados, mas este último não é tratado e os materiais são cobertos por argila; aterro sanitário quando existem células impermeabilizadas com mantas de PVC e argila, sendo os gases captados e o chorume drenado, depositado em poços e, depois, enviado para tratamento. (Júnior, Saiani e Dourado, 2014, p.28).

A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, atualiza o Marco Legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, menciona em seu artigo 54 que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deveria ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, nos termos do art. 29 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, definindo os prazos, em até 03 anos, para capitais e municípios (Brasil, 2020).

A problemática concentra em uma parcela significativa dos municípios que ainda não possui tal forma de disposição/destinação. Dados da Abrelpe apontam que, no Brasil, aproximadamente 61% dos RSU coletados em 2022 foram direcionados para aterros sanitários, totalizando cerca de 43,8 milhões de toneladas de resíduos. Destaque para as regiões Sudeste e Sul, com mais de 70% dos RSU coletados para aterros sanitários, o que representa um desempenho superior à média nacional. Em contrapartida, as demais regiões do país apresentaram índices abaixo da média nacional, com o Norte e o Nordeste encaminhando apenas 37% dos resíduos coletados para uma destinação final ambientalmente adequada. Aproximadamente 39% do total de resíduos coletados em 2022 no Brasil foram depositados em áreas de disposição inadequada, distribuídas por todas as regiões do país. (Abrelpe, 2023)

Segundo dados do panorama de 2022 da Abrelpe, mais de 12 milhões de toneladas de RSU foram destinadas a lixões, e mais de 17 milhões foram direcionados para aterros controlados. É preciso adotar práticas de redução dos resíduos produzidos. A disposição final deveria ser restrita somente ao rejeito, à parte inaproveitável dos RSU (Barbosa e Ibrahim, 2014, p. 143).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) representa a estratégia de longo prazo em âmbito nacional para operacionalizar as disposições legais, princípios, objetivos e diretrizes da Política, com o intuito de fornecer metas, diretrizes, projetos, programas e ações voltadas à consecução dos objetivos da Lei para um horizonte de 20 anos. Em uma de suas metas, especificamente sobre a eliminação das práticas de disposição final inadequada e encerramento de lixões e aterros controlados, o plano estima que as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, alcancem 100% de cobertura da coleta de RSU até o ano de 2032, enquanto as regiões Norte e Nordeste alcancem esse número até 2036 (Planares).

3.4 Uso de tecnologias no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos

Dados do diagnóstico de gestão de RSU realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento apontaram em 2014 que os aterros sanitários se mantiveram como a principal tecnologia utilizada para a disposição final no país, seguidos por unidades de triagem e compostagem, onde foram destinados 52,4% em aterros sanitários e apenas 3,9% dos resíduos foram encaminhados para unidades de triagem e compostagem (Brasil, 2016).

A busca por uma solução estratégica para a gestão de RSU não apenas aborda aspectos técnicos, mas também questões cruciais relacionadas à cidadania, inclusão social, segurança no trabalho e sustentabilidade. Portanto, os desafios institucionais e estruturais da sociedade, particularmente a falta de conscientização e participação social, ampliam a complexidade do contexto de geração de resíduos sólidos (Silva, Zanchi e Lopes, 2023).

Frequentemente, os municípios, ao se depararem com a quantidade de resíduos gerados em seu território e diante da urgência por soluções práticas, adotam medidas escassas de análises técnicas aprofundadas. Diante disso, o fator primordial recai sobre aspectos financeiros para a implementação de novos mecanismos para o gerenciamento dos resíduos. Apesar da teoria sugerir que a maior parte dos resíduos destinados a aterros sanitários poderia ser reciclada, diversos fatores técnicos e econômicos acabam inviabilizando muitos desses processos, o que leva, em última instância, ao descarte como a alternativa viável (Mersoni e Reichert, 2017).

Como resultado da implementação da PNRS, têm-se desenvolvido ações a nível federal para apoiar e incentivar a gestão adequada dos RSU no Brasil. Isso inclui um foco especial na destinação final em aterros sanitários e nas negociações para a elaboração de acordos setoriais visando à logística reversa. Além disso, nota-se um aumento significativo da participação dos estados na transferência de recursos para os municípios e no esforço para estruturar soluções consorciadas. Já é possível observar algumas mudanças por meio de dados consolidados por pesquisas realizadas na área (Mannarino, Ferreira e Gandolla, 2016).

Em termos de uso eficiente das tecnologias, é possível perceber que países em desenvolvimento, onde a prioridade é a universalização de aterros sanitários, o gerenciamento se torna ainda ineficaz. Em contraste, em países desenvolvidos, o tratamento de RSU atinge padrões mais elevados. Exemplo da União Europeia (UE), das 250 milhões de toneladas anuais de RSU, 47,8% são recicladas (incluindo compostagem e digestão anaeróbica de materiais orgânicos), 27,4% são tratadas em incineradores com recuperação energética (em 2017, eram mais de 490 incineradores em operação, com capacidade de geração potencial superior a 35 milhões de MWh de energia por ano, de acordo a Confederation of European Waste-to-Energy Plants) e 24,8% são dispostas em aterros sanitários.

Observa-se um incipiente movimento em direção à instalação de incineradores na América Latina, incluindo o Brasil. Portanto, é crucial uma compreensão mais aprofundada sobre a adequação desses métodos às condições do país e os desafios a serem superados para evitar projetos que consumam recursos consideráveis e possam não atender aos objetivos estabelecidos (Andretti, Ferreira e Mannarino, 2021).

É possível otimizar a destinação e o reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos para gerar energia elétrica, seguindo o exemplo de várias regiões ao redor do mundo. No entanto, é importante explorar alternativas tecnológicas para esses processos, as quais devem ser cuidadosamente estudadas e avaliadas, levando em conta seus impactos ambientais e os processos dissipativos ao longo de seu ciclo de vida. Isso possibilita aos investidores obter informações consistentes para analisar, projetar e implementar tecnologias mais sustentáveis para a gestão de resíduos sólidos urbanos e sua conversão em energia, além de incentivar esse tipo de abordagem (Soares, Miyamaru e Martins, 2017)

Ademais, com o avanço tecnológico, pesquisas, prototipagem e simuladores, o gerenciamento de RSU pode contar com uma gama de cenários favoráveis, desde sistemas de coleta inteligente, monitoramento por sensoriamento remoto, processos de reciclagem avançados, aplicação de inteligência artificial no planejamento, otimização de rotas de coleta,

entre outras tecnologias emergentes.

A começar com mecanismos que promovem comunicação entre o governo e moradores. A importância da educação ambiental para guiar e instruir a população sobre as práticas corretas de separação de RSU, visando sua posterior coleta seletiva, evidencia a necessidade de desenvolver mecanismos para assegurar a segregação apropriada dos materiais recicláveis desde a fonte de geração. Com base nessas considerações, as tecnologias de informação e comunicação (TIC), particularmente a internet, emergem como ferramentas potenciais nesse processo de mobilização social e promoção da educação ambiental (Klein, Gonçalves-Dias e Jayo, 2018).

3.5. Tecnologias experimentais disponíveis

A Lixeira Seletiva Automática (LISA) emprega o conceito de Internet das Coisas para oferecer soluções sustentáveis para a gestão de resíduos urbanos. O projeto envolve a implementação de uma lixeira capaz de identificar o tipo de material a ser descartado por meio de sensores e separá-los de acordo com sua composição: papel, plástico, vidro, metal e orgânico. Os resíduos são detectados por meio de atuadores e as informações são enviadas às entidades responsáveis pela coleta de lixo, com o objetivo de otimizar os processos de reciclagem e reduzir os custos de coleta (Nunes, 2018).

A aplicação do sensoriamento remoto como uma ferramenta para monitorar a evolução espacial e temporal da área afetada, e também investigar as variações de temperatura, permitiram a análise da superfície do lixão de Pedro II e no aterro controlado de Parnaíba, no Piauí, ao longo de um período de dez anos. O sensoriamento remoto aliado a técnica de tratamento e processamento digital de imagens mostrou-se como uma ferramenta útil e de baixo custo para a realização do monitoramento ambiental e pode servir como subsídio para os setores públicos responsáveis pela gestão de áreas de aterro controlado e lixões (Sena, *et al.* 2020).

Zancan, Passador e Passador (2023) focaram na proposição de modelos de inteligência artificial para a gestão de consórcios intermunicipais no Brasil, por meio da implementação de ferramentas tecnológicas que possibilitam uma coordenação estratégica eficiente dos serviços de água, esgoto, segurança e transporte público. Mediante análise de dados em tempo real, do aprendizado de máquina e de algoritmos avançados, os modelos de inteligência artificial podem oferecer orientações estratégicas para a tomada de decisões precisas, possibilitando

uma gestão mais proativa e baseada em dados.

Por meio do uso de nanopartículas, é possível remover contaminantes perigosos dos resíduos, tornando-os mais seguros para descarte ou reciclagem. Além disso, os nanomateriais podem acelerar a decomposição de resíduos orgânicos, contribuindo para uma compostagem mais eficiente e reduzindo a quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários (Convale, 2023).

O biogás, semelhante ao gás natural, é composto principalmente por CH_4 , que representa aproximadamente 55% de sua composição, seguido pelo dióxido de carbono (CO_2) com uma concentração de cerca de 30%. Ele é gerado no intermédio da digestão anaeróbica de uma variedade de materiais orgânicos, incluindo resíduos agrícolas, esterco animal, esgoto doméstico e RSU. Por meio de processos de purificação, é possível obter o CH_4 separado dos demais gases, resultando no biometano, com uma concentração de até 95% de CH_4 . O biometano pode ser usado em substituição ao diesel para os equipamentos agrícolas, ao gás natural em veículos e ainda pode ser injetado na rede de gás natural (Silva, 2022).

Outra inovação em destaque é a impressão 3D a partir de resíduos. Essa tecnologia utiliza plásticos reciclados que são transformados em filamentos para impressão 3D, possibilitando a criação de uma ampla variedade de produtos. Essa abordagem não apenas promove a reciclagem de resíduos plásticos, mas também impulsiona a economia circular, ao reintroduzir esses materiais no ciclo produtivo (Convale, 2023).

Esses avanços tecnológicos na coleta, tratamento e reciclagem de resíduos sólidos são promissores e indicam um caminho em direção a um futuro mais sustentável. Ao explorar e implementar essas tecnologias, podemos reduzir significativamente o impacto ambiental da geração de resíduos, ao mesmo tempo em que criamos soluções econômicas e ambientalmente sustentáveis, visando um gerenciamento mais eficiente e sustentável.

4. CAPÍTULO 1¹: Ecoeficiência no gerenciamento de resíduos sólidos: impactos positivos das tecnologias

Ecoeficiência no gerenciamento de resíduos sólidos: impactos positivos das tecnologias

Eco-efficiency in solid waste management: positive impacts of technologies

Ecoeficiencia en la gestión de residuos sólidos: impactos positivos de las tecnologías

Andressa Lima de Araújo

Mestranda em Ciências e Sustentabilidade

Instituição: Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)

Endereço: Teixeira de Freitas, Bahia, Brasil

E-mail: limaandressaa@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-0608-3706>

Wanderley de Jesus Souza

Doutor em Ciências

Instituição: Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)

Endereço: Teixeira de Freitas, Bahia, Brasil

E-mail: wanderley.souza@ufsb.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7456-3947>

RESUMO

A gestão eficiente de resíduos é essencial para identificar e reduzir desperdícios, realocando e reutilizando materiais em outras operações. O objetivo deste artigo é investigar soluções eficazes e sustentáveis para o gerenciamento ecoeficiente dos resíduos sólidos. Adotando o conceito de ecoeficiência, que envolve a oferta de bens e serviços a preços competitivos, garantindo qualidade de vida e reduzindo o impacto ecológico. Metodologicamente, o estudo analisa tecnologias emergentes, desde a coleta, transporte, até destinação final, reciclagem e reutilização. A avaliação dessas tecnologias considera critérios técnicos, econômicos e socioambientais, demonstrando os impactos positivos em suas implantações. Os resultados mostram que tecnologias avançadas de tratamento de resíduos, como compostagem, incineração associada à geração de energia e reciclagem de embalagens multicamadas, aumentam a eficiência do gerenciamento de resíduos. Assim, a ecoeficiência, sustentada por inovações tecnológicas, pode transformar os desafios do gerenciamento de resíduos em oportunidades para um desenvolvimento sustentável. Esta pesquisa oferece diretrizes práticas para gestores e formuladores de políticas públicas sobre a adoção de tecnologias ecoeficientes no gerenciamento de resíduos sólidos, promovendo práticas mais sustentáveis e eficientes.

Palavras-chave: Sustentabilidade, ecoeficiência, gerenciamento de resíduos, impacto ecológico.

ABSTRACT

Efficient waste management is essential to identify and reduce waste, reallocating and reusing materials in other operations. The objective of this article is to investigate effective and

¹ Este capítulo está organizado conforme o estilo do periódico Journal of Media Critiques – Revista Multidisciplinar, ao qual foi submetido e publicado em 28 de agosto de 2024.
<https://doi.org/10.17349/jmcv10n26-014>.

sustainable solutions for the eco-efficient management of solid waste. Adopting the concept of eco-efficiency, which involves the provision of goods and services at competitive prices, ensuring quality of life and reducing ecological impact. Methodologically, the study analyzes emerging technologies, from collection, transportation, to final disposal, recycling and reuse. The evaluation of these technologies considers technical, economic and socio-environmental criteria, demonstrating the positive impacts of their implementation. The results show that advanced waste treatment technologies, such as composting, incineration associated with energy generation and recycling of multilayer packaging, increase the efficiency of waste management. Thus, eco-efficiency, supported by technological innovations, can transform the challenges of waste management into opportunities for sustainable development. This research offers practical guidelines for managers and public policy makers on the adoption of eco-efficient technologies in solid waste management, promoting more sustainable and efficient practices.

Keywords: Sustainability, eco-efficiency, waste management, ecological impact.

RESUMEN

La gestión eficiente de residuos es esencial para identificar y reducir los residuos mediante la reasignación y reutilización de materiales en otras operaciones. El objetivo de este artículo es investigar soluciones efectivas y sostenibles para la gestión ecoeficiente de residuos sólidos. Adoptar el concepto de ecoeficiencia, que implica ofrecer bienes y servicios a precios competitivos, asegurando la calidad de vida y reduciendo el impacto ecológico. Metodológicamente, el estudio analiza las tecnologías emergentes, desde la recolección, el transporte, hasta la disposición final, el reciclaje y la reutilización. La evaluación de estas tecnologías considera criterios técnicos, económicos y socioambientales, demostrando los impactos positivos de su implementación. Los resultados muestran que las tecnologías avanzadas de tratamiento de residuos, como el compostaje, la incineración asociada a la generación de energía y el reciclaje de envases multicapa, aumentan la eficiencia de la gestión de residuos. Así, la ecoeficiencia, respaldada por innovaciones tecnológicas, puede transformar los desafíos de la gestión de residuos en oportunidades para el desarrollo sostenible. Esta investigación ofrece lineamientos prácticos para gestores y formuladores de políticas públicas sobre la adopción de tecnologías ecoeficientes en el manejo de residuos sólidos, promoviendo prácticas más sustentables y eficientes.

Palabras clave: Sostenibilidad, ecoeficiencia, gestión de residuos, impacto ecológico.

4.1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a urbanização acelerada têm gerado um aumento significativo na quantidade de resíduos sólidos produzidos mundialmente. Com a maioria das pessoas ocupando os espaços urbanos e o avanço global da indústria, os hábitos de consumo da população têm mudado significativamente, resultando em uma geração de resíduos sólidos que varia em quantidade e diversidade. No entanto, esse consumo desenfreado, combinado com o descarte inadequado dos resíduos, é atualmente um dos maiores problemas ambientais do mundo (Ribeiro e Mendes, 2018).

Este cenário impõe desafios complexos para a gestão desses resíduos, com impactos diretos na saúde pública e no meio ambiente. Colares e Matias (2014) assumem que, no caso

da gestão eficiente de ganhos financeiros e custos ambientais, isso representa um fator-chave para a gestão ambiental, pois visa o auxílio aos gestores para identificarem e reduzirem desperdícios, bem como realocá-los e reutilizá-los em outras operações.

A busca por soluções eficazes e sustentáveis tornou-se uma prioridade global, impulsionando o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias voltadas para o gerenciamento ecoeficiente dos resíduos sólidos. Como ressaltam Soler e Filho (2019), o termo ecoeficiência tem seu registro em 1992, numa publicação do Conselho Mundial de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável (World Business Council for Sustainable Development – WBCSD) sendo o resultado do entendimento de que é preciso produzir mais bens e serviços utilizando menos recursos, a fim de gerar menos resíduos e poluição.

Visando esse conceito de ecoeficiência, Conte (2016) explica que a ecoeficiência comporta uma série de ações e valores envolvendo a oferta de bens e serviços a preços competitivos com garantia da qualidade de vida e, ao mesmo tempo, conseguem reduzir o impacto ecológico e a utilização dos recursos naturais, para a preservação do planeta.

De acordo Bispo *et al.* (2018), atualmente no Brasil estima-se que mais de 63% dos municípios utilizam o descarte de lixo em lixões a céu aberto, ocasionando diversos problemas à saúde humana e ambiente. Nos últimos anos ocorreram e atualmente tem ocorrido uma série de discussões sobre os problemas ambientais causados pela inadequada gestão de resíduos sólidos, o que levou à criação de leis ambientais específicas, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), introduzida por intermédio da Lei n. 12.305, de 5 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto n. 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (Brasil, 2010).

A PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada pela gestão integrada e pelo gerenciamento ambiental adequado dos resíduos sólidos entre todos os envolvidos: o poder público em suas diversas esferas, o setor econômico e os segmentos sociais, incluindo os catadores de materiais recicláveis (Jardim, *et al.*, 2012).

Segundo Telles, (2022), a PNRS compreende um arcabouço de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo em sua instância Federal isoladamente ou em regime de cooperação com os Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. O autor apresenta, dentre os objetivos da PNRS, a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que supram as necessidades humanas e promovam qualidade de vida e a redução do impacto

ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível que equivale à capacidade de sustentação estimada do planeta.

A ecoeficiência, conceito que alia práticas econômicas à responsabilidade ambiental, emerge como um paradigma essencial no gerenciamento de resíduos. O objetivo é minimizar a geração de resíduos e poluentes que provocam danos ambientais e agridem à saúde humana e maximizar a reutilização e reciclagem de materiais, e mitigando os impactos ambientais adversos, e, por consequência, promove maior eficiência operacional. Um conceito orientado à sustentabilidade (Andrade *et al.*, 2016).

Neste contexto, a introdução de tecnologias emergentes tem se mostrado eficiente. Sistemas avançados de tratamento e reciclagem, a utilização de inteligência artificial para otimização de processos, e o desenvolvimento de materiais biodegradáveis são apenas algumas das inovações que estão revolucionando o setor. Para Baptista *et al.* (2019) não é possível afirmar qual a tecnologia mais eficiente, “é necessária que haja uma avaliação por meio de critérios técnicos, econômicos e socioambientais da área de aplicação, para que se possa definir a técnica mais adequada a ser implementada”.

Estas tecnologias não apenas aumentam a eficiência do gerenciamento de resíduos, mas também contribuem significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a preservação dos ecossistemas, como exemplo, apresenta Oliveira *et al.* (2021) sobre a finalidade das tecnologias ambientais, especificamente tecnologias de controle de poluição end-of-pipe que não alteram o sistema produtivo, mas introduzem sistemas tecnológicos adicionais que capturam as emissões de poluentes contribuindo para a diminuição de seu impacto sobre o ambiente, e tecnologias mais limpas, que não buscam o tratamento da poluição após a sua emissão, mas evitar ou reduzir emissões de maneira antecipada.

Este artigo explora tecnologias apresentadas em artigos científicos dos últimos dez anos, emergentes no gerenciamento de resíduos sólidos e destaca os benefícios ambientais decorrentes de sua implementação. Ao examinar casos de sucesso, pretende-se evidenciar como a ecoeficiência, sustentada por inovações tecnológicas, pode transformar os desafios do gerenciamento de resíduos em oportunidades para um desenvolvimento mais sustentável e equilibrado.

No primeiro momento, apresenta o gerenciamento dos resíduos sólidos como um macroprocesso e amostras de tecnologias atualmente utilizadas, destacando suas características e funcionalidades. Assegurando a identificação e mensuração dos impactos

positivos dessas tecnologias no meio ambiente, com foco na redução de emissões de gases de efeito estufa, conservação de recursos naturais e preservação de ecossistemas.

Em um segundo momento, examina exemplos concretos de implementação bem-sucedida dessas tecnologias, proporcionando uma visão prática de suas aplicações e resultados. Com isso, diretrizes práticas para gestores e formuladores de políticas públicas sobre a adoção e implementação de tecnologias ecoeficientes no gerenciamento de resíduos sólidos.

Delineando esses objetivos de forma específica e mensurável, espera-se fornecer uma contribuição valiosa para o avanço do conhecimento no campo do gerenciamento de resíduos sólidos e promover práticas mais sustentáveis e eficientes na gestão de resíduos sólidos.

4.2 METODOLOGIA

A revisão de literatura foi realizada para identificar e compilar informações relevantes sobre o tema. Esta etapa envolveu a consulta por temas e palavras específicas como ecoeficiência, tecnologias que auxiliam a gestão, em artigos científicos, teses, dissertações, livros, publicações de organizações ambientais, e relatórios técnicos nos idiomas português e inglês. As bases de dados utilizadas incluíram Google Scholar, Scielo, ScienceDirect, e o portal de periódicos da CAPES. Os dados para este estudo foram coletados por meio de fontes secundárias, incluindo publicações acadêmicas, relatórios governamentais, e documentos de organizações ambientais. Os critérios para a seleção das fontes incluíram a relevância para o tema do estudo, a atualidade (com foco em publicações dos últimos dez anos), e o impacto acadêmico das publicações. A coleta de dados foi realizada de forma a garantir a precisão e a representatividade das informações. Dados quantitativos sobre a redução de resíduos, eficiência energética, e impactos ambientais foram extraídos dos estudos de caso, enquanto dados qualitativos foram obtidos por meio da análise de relatórios e documentos.

A revisão buscou cobrir tópicos relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos, ecoeficiência, tecnologias de tratamento e reciclagem, e políticas públicas ambientais. A análise de estudos de caso foi realizada para explorar exemplos concretos de implementação de tecnologias emergentes no gerenciamento de resíduos sólidos. Foram selecionados estudos de caso de diferentes regiões do Brasil e do mundo, que exemplificassem o uso de tecnologias ecoeficientes. Os critérios de seleção dos estudos de caso incluíram a representatividade geográfica, a diversidade de tecnologias aplicadas, e a disponibilidade de dados detalhados. Os resultados foram apresentados de forma descritiva.

4.3 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Para Telles (2022), pode-se entender como gerenciamento de resíduos sólidos os fatores referentes aos aspectos tecnológicos e operacionais do gerenciamento, dentre eles, operacionais da questão envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho como produtividade e qualidade, incluindo os eixos de coleta, transporte, acondicionamento, tratamento, segregação, reutilização, destinação final, além de recuperação de energia, redução e prevenção.

Compreendendo o fluxo do gerenciamento dos resíduos sólidos, Barbosa e Ibrahin (2014, p. 145) validam:

O gerenciamento dos resíduos sólidos consiste no conjunto de ações, diretas ou indiretas, que envolve as etapas de coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente correta dos resíduos sólidos e dos rejeitos, que devem estar em consonância com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS). O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos indica as formas ambientalmente adequadas, desde as etapas de geração, acondicionamento, transporte, tratamento, reciclagem e destinação dos resíduos. Além dos benefícios pelo manejo adequado dos resíduos sólidos, a implantação efetiva de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos pode proporcionar vantagens às empresas, visando o melhor custo-benefício. Perceba que o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos busca minimizar a geração de resíduos na fonte, controlar e reduzir riscos ao meio ambiente, bem como assegurar o correto manuseio e disposição final.

Os resíduos sólidos são categorizados quanto à origem e à periculosidade, por meio de normas e resoluções da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), por intermédio do artigo 13 da Lei n. 12.305. Quanto à origem, os resíduos se classificam em resíduos sólidos urbanos (domiciliares e de limpeza urbana), de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, dos serviços públicos de saneamento básico, industriais, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transporte e de mineração (Junior *et al.* 2014).

Entendendo gerenciamento de resíduos sólidos como um macroprocesso, é possível analisar quais ferramentas tecnológicas precisam ser adotadas para obter um gerenciamento ecoeficiente. Tais tecnologias estão em constante evolução. Como exemplos, a compostagem de matéria orgânica, a incineração associada à geração de energia e produção de biogás, e a reciclagem de embalagens multicamadas, como as de longa vida. Não são, preferencialmente, uma solução definitiva para os problemas de resíduos, no entanto, ampliam o leque de soluções técnicas disponíveis para os gestores e devem ser implementadas de acordo com a

realidade política, econômica, ambiental, cultural e social de cada comunidade (Jardim *et al.* 2012).

4.4 TECNOLOGIAS COM IMPACTOS POSITIVOS NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Para Mannarino *et al.* (2016) a diversidade de formas de valorização e tratamento de resíduos sólidos consegue reduzir a quantidade destinada ao descarte final, mas não elimina completamente essa necessidade. Portanto, é crucial planejar todo o sistema de gestão de resíduos de modo que o local de disposição final cause o mínimo de impacto ao ambiente natural e urbano em que está localizado. Esta seção traz uma amostragem de novas tecnologias que vem sendo implantadas nesse macroprocesso, especificamente dividida em: tecnologias de coleta e transporte, tecnologias de tratamento e tecnologias de reciclagem e reutilização, com a proposta de cobertura da maior parte do gerenciamento de resíduos, exceto tecnologias de destinação final.

4.4.1 TECNOLOGIAS DE COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Compreende o termo coleta de resíduos a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição (BRASIL, 2010). Ribeiro *et al.* (2014) destacam a importância de sensibilizar toda a sociedade, para a compreensão do valor dos resíduos sólidos, uma vez que a legislação vigente dá ordenamento jurídico e valor econômico a esses.

Sob o aspecto de que a gestão dos resíduos é extremamente dependente do comportamento humano, e os municípios devem usar políticas de educação e conscientização ambiental para afetar as mudanças associadas aos elementos de gerenciamento dos resíduos (Berticelli *et al.*, 2017, p.715), Silveira e Figueiredo (2021) reafirmam que, assim como delineado na PNRS, há uma atenção considerada na implementação da coleta seletiva em todos os municípios, além da efetivação de campanhas voltadas à não geração dos resíduos, bem como à sua redução, reutilização e reciclagem, devendo estas serem medidas comuns a todos os envolvidos na gestão integrada de resíduos sólidos.

Nesse sentido, Silva (2023) aponta que, aproximadamente, apenas 32% dos municípios brasileiros possuem programas de coleta seletiva, que envolve quase 40 mil catadores formais trabalhando junto com a administração pública. Considerando esses

números, o montante de recicláveis coletados representa quase 34% dos resíduos gerados. Destaca-se a maior parte dos RSU no Brasil composta principalmente por matéria orgânica degradável (restos de alimentos, plantas, papel, madeira), seguida de materiais orgânicos não degradáveis, como plásticos, e por fim, materiais inorgânicos, como metais (Lino *et al.*, 2023).

Segundo dados coletados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), nota-se um aumento na taxa de geração de RSU nos últimos anos, considerando o período entre 2010 e 2019, foram de 67 milhões para 79 milhões de tonelada por ano (ABRELPE, 2020).

Especificamente na região Nordeste em 2020, a produção de RSU alcançou um montante de 16.575.614 toneladas/ano, desse, somente 36% teve uma destinação adequada, ou seja, ambientalmente adequada, incluindo estratégias de reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético (ABRELPE, 2021). Esses dados implicam em mais posicionamento do poder público em ações, participação e cobrança por parte da sociedade civil (Leal *et al.*, 2022).

Uma alternativa foi desenvolvida em Salvador, na Bahia, o ‘Programa de Coleta Seletiva’ que teve a sua implantação em 2015 pela prefeitura municipal, distribuindo nas regiões da cidade, o total de 150 ‘Pontos de Entrega Voluntária – PEVs’. A população realizava a coleta seletiva, com o depósito de RSU nos pontos de entrega, os caminhões tipo *munk*, equipados com guindastes hidráulicos e equipe, realizavam as coletas e encaminhavam para as cooperativas parceiras cadastradas pela prefeitura para realização da triagem e prensagem dos resíduos (Fonseca, 2023).

Além das atividades convencionais de coleta porta a porta com caminhão caçamba ou compactador que percorre as ruas, os colaboradores recolhem os resíduos em todos os domicílios, e fazem a logística de entrega desses materiais coletados aos pontos de coleta. Esses, de triagem e tratamento ou diretamente nos aterros sanitários, nota-se a utilização de recursos tecnológicos para a maximização de resultados nesses processos.

Numa perspectiva operacional, hoje em dia, estão disponíveis diversos arranjos tecnológicos, que buscam acompanhar o progresso técnico mundial, incorporando, por exemplo, tecnologias de informação e comunicação, bem como automatização nas etapas dos processos. Essas inovações possibilitam ampliar a gama dos serviços de gerenciamento dos resíduos, inclusive a coleta seletiva (Lima *et al.*, 2022).

4.4.1.1 Sistemas automatizados de coleta

Os sistemas automatizados de coleta de resíduos utilizam veículos equipados com braços mecânicos para levantar e esvaziar contêineres de lixo. Esses sistemas reduzem a necessidade de mão-de-obra manual, aumentando a segurança dos trabalhadores e a eficiência da coleta. Como vantagens, destacam-se a redução de custos operacionais a longo prazo; melhoria na segurança dos trabalhadores; maior eficiência e rapidez na coleta.

Um caso de sucesso apontado nesse seguimento encontra-se em Chapecó, Santa Catarina, que, de acordo dados da Secretaria de Serviços Urbanos (SEINFRA), ganhou destaque no estado por ter sido a primeira cidade a implantar um sistema automatizado para coleta de RSU, em 2013. Moradores usam containers distintos para depósito de lixo orgânico e resíduos recicláveis. O sistema é constituído por 800 containers distribuídos na cidade, com distância máxima de 100 metros, como estratégia logística, que não interferem no trânsito local e não estão postos frente à estabelecimentos de saúde e de alimentação. Esse sistema consegue abranger 55% da população urbana, e a coleta é realizada por caminhões de recolha automatizada, e como consequência, melhora o sistema de coleta da cidade (Braatz, 2019).

Outro caso em Nova Veneza, Santa Catarina, o ‘Coletor Automatizado de Resíduos com Descarga Aérea’ (CARDA) ou ‘Torre Verde’, como é mais conhecido na cidade, é um sistema de coleta de resíduos sólidos recicláveis com características semelhantes aos PEVs, sobretudo, algumas adaptações, como o descarregamento aéreo que facilita o manuseio e transporte dos RSU, além de contar com a identificação do tipo de material reciclável a ser destinado (Silva, 2016).

4.4.1.2 Monitoramento por GPS

Para Silva e Brito (2021), é correto dizer que o orçamento municipal contempla em até 15% os serviços de limpeza, dentre eles, entre 40 e 60% destinado à coleta e ao transporte de resíduos. Diante disso, é necessário viabilizar um conjunto de rotas por meio de planejamento e recursos tecnológicos para diminuir os gastos, atingindo a máxima capacidade dos caminhões e o melhor tempo de serviço.

O uso de Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System, GPS) para monitorar a frota de veículos de coleta permite otimizar as rotas, reduzindo o consumo de combustível e o tempo de operação. Entre as vantagens estão a otimização das rotas de coleta, redução do consumo de combustível e das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e a melhoria na gestão da frota e na resposta a problemas operacionais.

Em Campina Grande, Paraíba, foi implantado em 2014, um sistema de monitoramento via GPS em toda a frota, própria do município e terceirizada, usada nos serviços de limpeza urbana. A coleta de RSU é organizada por setores, distribuídos pelos bairros da zona urbana, distritos e zona rural, e o serviço de roteamento dos veículos é feito mediante 27 rotas, destas, 26 regulares e 01 específica para a coleta diária. Essa estrutura organizada permite uma ampla cobertura e promove a redução de custos nos serviços de coleta, pois as rotas são planejadas de forma otimizada para atender toda a comunidade (Aguilar, 2016).

4.4.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Baptista *et al.* (2019) consideram as tecnologias de tratamento como promoção da diminuição do impacto negativo, tanto no meio ambiente como na saúde humana, além da geração de retorno financeiro para as organizações. São variados tipos de tecnologias de tratamento, e para a implantação, é necessário que haja avaliação do cenário pelas partes técnicas, econômicas e socioambientais do eixo de aplicação, para escolha da implementação.

4.4.2.1 Compostagem

Scholttfeldt (2013) apresenta a compostagem como a técnica de transformação dos resíduos orgânicos em composto, por meio do método de decomposição de materiais biodegradáveis sob condições adequadas para a produção de adubo utilizado na agricultura, com propriedades para melhorar as características físicas, físico-químicas e biológicas do solo. Esse processo permite que os resíduos urbanos retornem ao sistema produtivo como matéria orgânica, trazendo benefícios econômicos e enriquecendo o produto final que volta ao meio ambiente de maneira limpa e sustentável.

Melo e Duarte (2018) propõem a compostagem como alternativa sustentável capaz de reduzir os problemas socioambientais e socioeconômicos nas esferas públicas e dos problemas econômicos do gerenciamento dos RSU, bem como a garantia do bem-estar e cuidado com a saúde da população. Por ser uma produção limpa, biológica e sustentável, a compostagem se caracteriza como um bom investimento, a fim de fortalecer a economia e prevenir a poluição.

A concepção de uma usina de compostagem compreende em sua estrutura as instalações para receber os resíduos, esteira de triagem para realizar a separação de materiais

recicláveis e orgânicos, os equipamentos necessários como trituradores e peneiras, um pátio de compostagem e área de refino e armazenamento do composto (Prates *et al.*, 2019).

Na cidade de Liberato Salzano, no Rio Grande do Sul, foram mobilizados servidores municipais, a sociedade civil e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para o desenvolvimento do ‘Projeto de Implantação de Práticas para o Correto Destino de Resíduos Sólidos Domésticos’, com a finalidade de reduzir os RSU do município. Amparado pela Lei Municipal nº 3.556 que dispõe especificamente sobre o sistema de coleta de resíduos sólidos, foi implantado o sistema de composteiras domésticas individuais e da composteira coletiva do município, esta, utiliza a técnica de compostagem aeróbia, o processo de decomposição do resíduo orgânico ocorre a partir de microorganismos que se desenvolvem na presença de oxigênio. Como resultados, a diminuição da quantidade de resíduos sólidos dispostos no aterro sanitário, qualificação do quadro de funcionários do município, conscientização e participação da população (Maestri *et al.*, 2019).

Em Seixal, cidade portuguesa, a empresa Amarsul é responsável pela Central de Valorização Orgânica, equipada com soluções técnicas para tratamento e valorização dos resíduos urbanos biodegradáveis. Segundo o site da empresa (Amarsul, 2024), os processos para tratamento dos resíduos se concentram em digestão anaeróbia, que é a decomposição de resíduos orgânicos na ausência de oxigênio resultando na produção de biogás e material digerido, usado na compostagem e transformado em fertilizantes orgânicos de alta qualidade. Instalações como esta, utilizam tecnologia avançada para processar resíduos orgânicos, nas etapas de triagem dos resíduos e compostagem controlada, onde fatores como temperatura e umidade são monitorados para garantir uma decomposição eficiente e de alta qualidade.

4.4.2.2 Digestão anaeróbia

Esse tipo de tratamento de resíduos se constrói a partir do processo anaeróbico de decomposição biológica da matéria orgânica, e os resultados desse processo são biogás e composto orgânico estabilizado. O biogás possui um alto poder calorífico e potencial para a geração de energia, já que é formado, em sua maior parte de metano e dióxido de carbono. (Cesaro *et al.*, 2015).

Em várias partes do mundo, o potencial energético do metano produzido em processos anaeróbicos é aproveitado para tornar os sistemas de tratamento de resíduos mais sustentáveis e, em alguns casos, energeticamente autossuficientes. Essa abordagem não apenas facilita a

geração de energia, mas também promove uma disposição eficiente dos resíduos sólidos (Sá *et al.*, 2020).

Nascimento *et al.* (2019) apontam que, no Brasil, no período entre os anos 2004 e 2015, nove usinas termelétricas que fazem o aproveitamento do biogás foram implantadas, resultando na geração de 86,3 MW (*megawatts*) de energia elétrica.

Entre as usinas, podem se destacar o Aterro Sanitário Bandeirantes, que teve seu início operacional no ano de 2004, com potência instalada de 22,2 MW e custo de 48 milhões de reais, o Aterro São João, com sua operação em 2007 e a potência instalada de 22,4 MW e custo de 64 milhões, e Termoverde Salvador, com sua operação em 2011, potência instalada de 19,7 MW e custo de 50 milhões (Freitas, 2023).

Tendo a Termoverde Salvador o marco de primeira termelétrica movida a biogás de RSU na região Nordeste do Brasil, gerando uma energia limpa por intermédio de resíduos recebidos no Aterro Sanitário da Battre – Bahia Transferência e Tratamento de Resíduos Ltda (Termoverde, 2023).

4.4.2.3 Conversão térmica

Tecnologias desse seguimento vem sendo desenvolvidas. A Pirólise, categorizado como um processo endotérmico, faz a decomposição térmica de materiais orgânicos na deficiência de oxigênio, usando o calor para a produção de gás de síntese (*syngas*) com temperatura entre 650 – 1200°C. Para uma maior produção de gás, pode-se acoplar ao reator de pirólise um gaseificador, esse equipamento adicional compreende a Pirólise-Gaseificação (Medeiros, 2015).

Após análises realizadas com resíduos sólidos, Mulatinho *et al.*, (2022) descreve que o tratamento de RSU por meio do processo de pirólise pode ser visto como uma alternativa tecnológica viável, por se tratar de um método que reduz a quantidade de lixo gerado, valoriza e recupera esses resíduos, além de contribuir para a produção de energia renovável. Dessa forma, a pirólise é considerada uma solução eficaz e de baixo custo para diminuir a poluição ambiental resultante do descarte inadequado de resíduos.

Em Burgau, na Alemanha, a planta de pirólise está em operação desde o ano de 1987 e processa o quantitativo de 36 mil toneladas por ano. No Japão, está localizada a maior planta de pirólise em nível de capacidade, processando em torno de 150 mil toneladas por ano (Oliveira, 2023).

Outro processo de alta temperatura é a gaseificação de Plasma à arco, que usa os resíduos sólidos orgânicos na conversão de gás de síntese, enquanto materiais inorgânicos e minerais são vitrificados como subproduto (Morrin *et al.*, 2014). Atualmente, a maior parte das instalações de tratamento de plasma térmico existentes fazem tratamento de resíduos sólidos urbanos, cinzas de incineração e outros resíduos perigosos (Paulino, 2021).

4.4.3 TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO

Em Curitiba, os materiais recicláveis podem ser direcionados para a Unidade de Valorização de Recicláveis (UVR) ou para o ‘Projeto Reciclagem Inclusão Total’ (Ecocidadão). A UVR se localiza no município de Campo Magro, sendo a responsável por fazer a triagem e comercialização de parte dos resíduos coletados nos programas existentes, como ‘Programa Lixo que não é Lixo’ (Bolson *et al.*, 2023). Aproximadamente, 60% do resíduo que chega à UVR consegue ter aproveitamento para a reciclagem, os 40% restantes é enviado ao aterro da empresa Estre (Silva, 2017).

‘Contour Crafting’, nome intitulado à tecnologia desenvolvida em um evento da Universidade do Sul da Califórnia, nos EUA, apresentando uma impressora 3D, operando sobre uma estrutura de trilhos, que conseguiu construir uma casa inteira em menos de 24 horas utilizando argamassa. Trata-se de um exemplo para demonstrar o quanto a tecnologia de impressão 3D vem inovando a área da construção civil, o que promove crescimento econômico, social e cultural (Maya *et al.*, 2024). Uma alternativa de redução e reutilização dos resíduos, uma vez que o setor da construção é responsável por alta geração de resíduos (desperdiçados, em média, 20% dos materiais usados) e consumo de muitos recursos (Maya *et al.*, 2024).

4.5 CONCLUSÃO

A adoção de práticas ecoeficientes e o desenvolvimento de novas tecnologias são essenciais para enfrentar os desafios do gerenciamento de resíduos sólidos. O conceito de ecoeficiência enfatiza a necessidade de produzir mais utilizando menos recursos, gerando menos resíduos e poluição. Este paradigma, que combina práticas econômicas com responsabilidade ambiental, é crucial para minimizar a geração de resíduos e maximizar a reutilização e reciclagem de materiais.

O estudo também ressaltou a importância da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece a responsabilidade compartilhada entre o poder público, o setor econômico e a sociedade na gestão dos resíduos sólidos. A PNRS promove a adoção de práticas sustentáveis e tecnologias inovadoras para a gestão integrada e adequada dos resíduos, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e a promoção da qualidade de vida.

A introdução de tecnologias emergentes no gerenciamento de resíduos sólidos tem mostrado resultados promissores. Tecnologias de tratamento e reciclagem, o uso de ferramentas tecnológicas para otimização de processos e o desenvolvimento de materiais biodegradáveis são exemplos de inovações que estão revolucionando o setor. Essas tecnologias não só aumentam a eficiência do gerenciamento de resíduos, mas também contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a preservação dos ecossistemas.

Casos de sucesso analisados no trabalho evidenciam que a ecoeficiência, sustentada por recursos tecnológicos, pode transformar os desafios do gerenciamento de resíduos em oportunidades para um desenvolvimento mais sustentável e equilibrado. A adoção de práticas ecoeficientes permite a minimização dos danos ambientais e a maximização dos benefícios econômicos e sociais.

Em suma, este trabalho contribuiu para o avanço do conhecimento no campo do gerenciamento de resíduos sólidos, oferecendo diretrizes práticas para gestores e formuladores de políticas públicas. A promoção de práticas mais sustentáveis e eficientes, sustentadas pela ecoeficiência e inovação tecnológica, é essencial para a preservação do meio ambiente e a garantia de um futuro sustentável para as próximas gerações.

Por fim, é imperativo que os diversos atores envolvidos, desde o poder público até a sociedade civil, continuem a trabalhar em conjunto para a implementação de estratégias e tecnologias que promovam a gestão ecoeficiente dos resíduos sólidos. Por intermédio de um esforço coletivo e contínuo será possível enfrentar os desafios ambientais e construir um mundo mais sustentável. Além disso, a importância da educação e conscientização ambiental foi sublinhada ao longo do trabalho. O sucesso na gestão de resíduos depende significativamente do comportamento humano e da participação ativa da sociedade. Programas de coleta seletiva e campanhas de sensibilização podem contribuir para uma mudança de cultura que valorize a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos.

Este trabalho evidencia que o caminho para uma gestão eficiente e sustentável dos resíduos sólidos passa pela integração de políticas públicas bem estruturadas, com o uso de tecnologias e uma forte consciência ambiental. O compromisso coletivo entre governos, setor privado e sociedade civil é fundamental para enfrentar os desafios impostos pelo crescente volume e diversidade de resíduos. Ao adotar práticas ecoeficientes e fomentar a inovação tecnológica, é possível transformar os resíduos de um problema em uma oportunidade para o desenvolvimento sustentável, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida das populações urbanas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade (PPGCS) da Universidade do Sul da Bahia (UFSB) pela oportunidade de fazer parte dessa construção de saberes.

4.6 REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2020) **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019**. São Paulo: ABRELPE, 2020.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2021) **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: ABRELPE, 2021.

AGUIAR, Mara Ellen de. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**: estudo de caso no município de Campina Grande – PB. 70 f. Relatório de Estágio Supervisionado Bacharelado em Administração – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2016.

AMARSUL. **Áreas de negócio**. Disponível em: <https://www.amarsul.pt/pt/>>. Acesso em: 01 de julho de 2024.

ANDRADE, Elton Monteiro; ANDRADE, Franciele Costa; SANTOS, Jorge Marcio. Produção mais limpa e ecoeficiência como ferramenta do engenheiro. In: **Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe**, 8., 2016, São Cristóvão. Anais eletrônicos... São Cristóvão: DEPRO/UFS, 2016. p. 163-172.

BAPTISTA, Meysi; CARVALHO, Rafael Vieira de; FAGUNDES, Pedro Henrique Pires da Rocha Machado; NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da. Análise de tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**. Rio de Janeiro. v2. n1. p 55-72. Jan/jun 2019.

BARBOSA, Rildo P.; IBRAHIM, Francini Imene D. **Resíduos Sólidos - Impactos, Manejo e Gestão Ambiental**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2014. *E-book*. ISBN 9788536521749.

BERTICELLI, Ritielli.; PANDOLFO, Adalberto.; KORF, Eduardo Pavan. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectivas e desafios. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 711-744, out. 2016-mar. 2017.

BISPO, Laudilene Macedo; NASCIMENTO, Josiele Ferreira do; SANTOS, Marcelo Soares Teles. O uso da prospecção como ferramenta na busca de tecnologias de Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Brasil. **Cadernos de Prospecção**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 439, 2019.

BRAATZ, Kelly Vanessa; GIROTTO, Sandy Bernardi Falcadi Tedesco; DA ROSA, Márcio Gonçalves. Gerenciamento de resíduos sólidos no município de Chapecó/SC: um estudo de caso. *In: Sociedade, tecnologia e meio ambiente: avanços, retrocessos e novas perspectivas-volume 2*. Editora Científica Digital, 2022. p. 289-302.

BRASIL. (2010) Lei Federal nº 12.305 - **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da União], 03 de agosto de 2010.

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

COLARES, Ana Carolina Vasconcelos; MATIAS, Márcia Athayde. Análise das práticas de gestão ambiental de empresas sediadas no Estado de Minas Gerais – Brasil na ótica da ecoeficiência. *Journal of Environmental Management and Sustainability – JEMS Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - GeAS* v. 3, N. 3. setembro/ dezembro. 2014

CONTE, Andria Angélica. Reverse logistic, recycling and eco-efficiency of the batteries: review. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, Rio de Janeiro, n. 39, p. 124–139, 2016.

FONSÊCA, Rafaela Barbosa. **Qualidade ambiental urbana e gestão de resíduos sólidos: o caso do programa de coleta seletiva em Salvador/BA (2016-2020)**. 2023. Dissertação em Estudos Territoriais – PROET. Universidade do Estado da Bahia – UNEB. Salvador, 2023.

FREITAS, José Kelison Lima; **Aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários brasileiros**. 2023. 11 p. Ciência e Tecnologia. - Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Mossoró – RN. 2023.

JARDIM, Arnaldo; YOSHIDA, Consuelo; FILHO, José Valverde M. **Política Nacional. Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Barueri: Editora Manole, 2012. *E-book*. ISBN 9788520444801.

JARDIM, Arnaldo; YOSHIDA, Consuelo; FILHO, José Valverde M. **Política Nacional. Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Barueri: Editora Manole, 2012. *E-book*. ISBN 9788520444801.

JÚNIOR, Rudinei T.; SAIANI, Carlos César S.; DOURADO, Juscelino. **Resíduos Sólidos no Brasil: Oportunidades e Desafios da Lei Federal n. 12.305 (Lei de Resíduos Sólidos)**. Barueri: Editora Manole, 2014. *E-book*. ISBN 9788520449240.

LEAL, Thomas Leonardo Marques de; FALCÃO, Mydiã; OLIVEIRA, Nívia Raquel Oliveira; LISBOA, Gerson dos Santos; STRACIERI, Juliana. Análise estatística da geração de resíduos sólidos do Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 19, n. 1, 2023. DOI: 10.54399/rbgdr.v19i1.6612.

LIMA, Francisco de Paula Antunes; GONÇALVES, Juliana Teixeira; CAMPOS, Larissa Sousa; SILVA, Diogo Tunes Alvares da; SOUZA, Marcelo Alves de; Elementos Operacionais de Modelos de Coleta Seletiva, p. 51 -74. In: **Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: Experiências Internacionais e Nacionais**. São Paulo: Blucher, 2022. ISBN: 9786555502411, DOI 10.5151/9786555502411-03.

LINO, Fátima Aparecida de Moraes; MELQUIZEDEC, Arcos Rodrigues; ABDEL, Radi Ismail Kamal. Análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Manaus - AM. **Revista Foco** (Interdisciplinary Studies Journal), 2023, Vol 16, Issue 6, p1. ISSN 1981-223X. DOI 10.54751/revistafoco.v16n6-068.

MAESTRI, Alice Borges; GIORDANI, Bruna Baggio; WARTCHOW, Dieter; THOMÉ, Édina; ROBALLO, Gabriel Scholl. O impacto da compostagem na redução de resíduos dispostos em aterro sanitário: estudo de caso do município de Liberato Salzano. In: **49 Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE**. 2019, Cuiabá – MT. p. 347-357.

MANNARINO, Camille Ferreira; FERREIRA, João Alberto; GANDOLLA, Mauro. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.21, n.2. abril/junho, p. 379-385, 2016.

MAYA, Euvaldina Thomaz de Souza; MAYA, Liduina Thomaz de Souza; SANTANA, Patrícia Irineu de; GHESTI, Grace. Estudo de caso: Transferência de Tecnologia (TT) dos resíduos sólidos no uso de manufatura aditiva – impressora 3D. **Peer Review**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 212–232, 2024. DOI: 10.53660/PRW-1949-3619.

MEDEIROS, Virgilio Almeida. **Tecnologias de recuperação térmica e energética de resíduos sólidos**. 2015. Mestrado em Engenharia de Energia. Centro Federal de Ensino Tecnológico de Minas Gerais – CEFET-MG, 2015.

MELO, Catarinne Xavier de; DUARTE, Sibeile Thaise. Análise da compostagem como técnica sustentável no gerenciamento dos resíduos sólidos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** (2018): 5(10): 691-710. ISSN 2359-1412.

MULATINHO, LMSS *et al.* Produção e caracterização de bio-óleo obtido a partir de resíduos sólidos urbanos via pirólise e cromatografia. In: **Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados**. 2022.

NASCIMENTO, M. C. B; FREIRE, E. P.; DANTAS; F. A.S; GIANSANTE, M. B. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia

elétrica e biometano no Brasil, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 1, p. 143-155, 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019171125.

OLIVEIRA, Alex de Oliveira e. **Avaliação ambiental de plantas de pirólise de poliolefinas**. 2023. 180 f.:il. Meio Ambiente. – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. RJ, 2023.

OLIVEIRA, Bruno Bastos de; CUNHA, Belinda Pereira da; MARTINS, Solange. A aplicação de tecnologias limpas para o desenvolvimento urbano sustentável através da implantação de energia fotovoltaica. **Direito e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 158–179, 2021. DOI: 10.26843/direitoedesenvolvimento.v12i1.1373.

PRATES, Luisa F. S.; PIMENTA, Cristiane F.; RIBEIRO, Henrique F. Alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos. **APPREHENDERE – Aprendizagem & Interdisciplinaridade**, v(1), n. 2 (Edição Especial), 2019.

RIBEIRO, Bárbara Maria Giacom; MENDES, Carlos André Bulhões. Avaliação de parâmetros na estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, Curitiba, v. 7, n. 3, Edição Especial Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, p. 422-443, ago. 2018.

RIBEIRO, Márcia Carla Pereira; RAZUK, Nahima Peron Coelho. Consórcio público e gerenciamento de resíduos sólidos: aspectos de eficiência e cooperação. **Pensar**, Fortaleza, v.19, n.1, p. 151-178, Jan/abr. 2014.

SÁ, Fernando Pereira de; BORGES, Elisângela Cardoso de Lima; SILVA, Marcos Aurélio Leandro Alves da; MOREIRA, Luciana Lopes Kuramoto. O Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Orgânicos para Geração de Energia Térmica a partir da Biodigestão Aeróbia. *In: VIII ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UNISUL – Palhoça – Maio de 2020.*

Schlottfeldt, Daniel Donida. Produção mais limpa (P+L): **A compostagem como alternativa no tratamento de resíduos industriais**. São Paulo: UNISA-SP, 2013.

SILVA, Fernanda Lemos da. **Hierarquização de alternativas para o gerenciamento de Resíduo Sólido Urbano reciclável no Distrito Federal**. 2017. xiii, 143 f., il. Dissertação Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SILVA, Jaqueline Soares da. **Resgate histórico da gestão de resíduos sólidos no Brasil e as dificuldades dos pequenos municípios em adequar-se a política nacional**. 2023. 44 p. TCC em Engenharia Ambiental. - Universidade do Rio Grande do Norte. Natal, 2023.

SILVA, Nicolas Wanderlind da. **Análise da eficiência de três sistemas de coleta seletiva implantados em bairros dos municípios de Nova Veneza e Forquilha (SC)**. 2016. TCC em Engenharia Ambiental. - Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, 2016.

SILVA, Valdenira Carlos da; BRITO, Maria Gorethe de Sousa Lima. Avaliação da gestão de resíduos sólidos em municípios da região Centro Sul – Ceará. **Research, Society and Development**, v. 10, n.14, e365101422026, 2021(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409.

SILVEIRA, Raquel Maria da Costa; FIGUEIREDO, Fábio Fonseca; ALMEIDA, Jélisse Vieira Gomes. A proteção ambiental e a gestão compartilhada: um estudo de caso na Região Metropolitana de Natal. **Cadernos Metr  pole**, São Paulo, v. 20, n. 42, p. 513-530, 2018.

SOLER, Fabrício; FILHO, Carlos Roberto S. **Gestão de Resíduos Sólidos: o que diz a lei** . São Paulo: Editora Trevisan, 2019. *E-book*. ISBN 9788595450455.

TELLES, Dirceu D. **Resíduos sólidos: gestão responsável e sustentável** . São Paulo: Editora Blucher, 2022. *E-book*. ISBN 9786555061055.

TELLES, Dirceu D. **Resíduos sólidos: gestão responsável e sustentável** . São Paulo: Editora Blucher, 2022. *E-book*. ISBN 9786555061055.

TERMOVERDE. **Unidades**. Disponível em: <https://www.termoverde.com.br/>>. Acesso em: 01 jul. 2024.

5. CAPÍTULO 2: Análise sobre utilização da tecnologia IoT para coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos²

Andressa Lima de Araújo
Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)
0009-0000-0608-3706³

Wanderley de Jesus Souza
Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)
0000-0001-7456-3947⁴

Resumo: Assim como ocorre em diversas cidades brasileiras, Teixeira de Freitas enfrenta desafios significativos na gestão de resíduos sólido. Desde 2021, o município possui um Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos com deficiência na coleta seletiva adequada e com estruturas para tratamento de diversos tipos de resíduos, orgânicos e hospitalares. Com a possibilidade de implantação da coleta seletiva com um estudo de caso na zona urbana de Teixeira de Freitas, apresentando conceitos, tipos, metodologias e a inclusão de tecnologia de Internet das Coisas (IoT) na gestão de resíduos sólidos urbanos. Com a IoT se propõe soluções para otimizar a coleta, como monitoramento de lixeiras e rotas de coleta, além de estimular a participação comunitária. O sucesso dessa transformação depende do engajamento da comunidade e da colaboração entre governo e setor privado, criando um ambiente propício para práticas mais sustentáveis e eficientes. A abordagem concede uma visão abrangente do potencial da IoT em promover o desenvolvimento sustentável no município.

Palavras-chave: Cidade Inteligente, gerenciamento de resíduos, educação ambiental, coleta seletiva, internet das coisas.

Análisis del uso de la tecnología IoT para la recogida selectiva de residuos sólidos urbanos

Resumen: Como es el caso de varias ciudades brasileñas, Teixeira de Freitas enfrenta importantes desafíos en la gestión de residuos sólidos. Desde 2021, el municipio cuenta con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos con deficiencias en una adecuada recolección selectiva y con estructuras para el tratamiento de diferentes tipos de residuos, orgánicos y hospitalarios. Con posibilidad de implementar la recolección selectiva con un estudio de caso en el área urbana de Teixeira de Freitas, presentando conceptos, tipos, metodologías y la inclusión de la tecnología Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de residuos sólidos urbanos. Con IoT se proponen soluciones para optimizar la recolección, como el monitoreo de contenedores y rutas de recolección, además de incentivar la participación comunitaria. El éxito de esta transformación depende del compromiso comunitario y la colaboración entre el gobierno y el sector privado, creando un entorno propicio para prácticas más sostenibles y eficientes. El enfoque proporciona una visión integral del potencial de IoT para promover el desarrollo sostenible en el municipio.

Palabras-clave: Smart City, gestión de residuos, educación ambiental, recogida selectiva, internet de las cosas.

² “Este capítulo está organizado conforme o estilo do periódico Ambiente e Educação – Revista de Educação Ambiental, ao qual foi submetido para avaliação e possível publicação”.

³ Aluna do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade (PPGCS), da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). E-mail: limaandressa@gmail.com

⁴ Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade (PPGCS), da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Doutor em Ciências (USP). E-mail: wanderley.souza@ufsb.edu.br

Analysis on the use of IoT technology for selective collection of urban solid waste

Abstract: As is the case in many Brazilian cities, Teixeira de Freitas faces significant challenges in solid waste management. Since 2021, the municipality has had an Integrated Solid Waste Management Plan with deficiencies in adequate selective collection and with structures for treating various types of waste, both organic and hospital. With the possibility of implementing selective collection, a case study is carried out in the urban area of Teixeira de Freitas, presenting concepts, types, methodologies, and the inclusion of Internet of Things (IoT) technology in urban solid waste management. With IoT, solutions are proposed to optimize collection, such as monitoring bins and collection routes, in addition to encouraging community participation. The success of this transformation depends on community engagement and collaboration between the government and the private sector, creating an environment conducive to more sustainable and efficient practices. The approach provides a comprehensive view of the potential of IoT to promote sustainable development in the municipality.

Keywords: Smart City, waste management, environmental education, selective collection, internet of things.

5.1 INTRODUÇÃO

A eficácia na gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um fator determinante para o desenvolvimento dos municípios (Silva *et al.* 2017). Dentro da gestão política dos municípios, especificamente em planejamento da gestão de RSU, a grande maioria dos gestores encontram dificuldades (Jacobi e Besen, 2011). Este planejamento deve abranger desde a geração de resíduos até a disposição final, promovendo uma cooperação ativa entre governo, iniciativa privada e sociedade. A complexidade associada à gestão de resíduos sólidos, que envolve impactos ambientais e implicações sociais, governamentais, territoriais e técnicas, encontra respaldo na abordagem da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Entre os principais objetivos, o Art. 19 da Política Nacional de Resíduos Sólidos ressalta que no plano dos municípios devem constar: a minimização da geração de resíduos, coleta seletiva, destinação adequada, inclusão social e participação comunitária, fomento à economia, implementação de tecnologias sustentáveis, educação ambiental, e o atendimento à legislação ambiental. Ao estabelecer esses objetivos, a política municipal garante a criação de um ambiente propício para a gestão integrada de resíduos sólidos, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade, da participação comunitária e do uso eficiente de recursos, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável da localidade.

Teixeira de Freitas está localizada no Extremo Sul da Bahia. É uma cidade em crescimento que enfrenta desafios no gerenciamento de resíduos sólidos. Segundo dados obtidos no site da Câmara Municipal de Teixeira de Freitas, o município possui um Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos desde 2021, sob Projeto de Lei nº 011/2021 de 14 de julho de 2021, que “dispõe sobre a política municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do município de Teixeira de Freitas”. O documento, de forma geral, tem como objetivo

estabelecer as diretrizes, metas e ações para a gestão adequada dos resíduos sólidos em âmbito local. Essa política visa promover práticas sustentáveis, minimizar impactos ambientais, garantir a saúde pública e integrar a comunidade no processo de gestão de resíduos.

Entretanto, na prática, o município objeto dessa pesquisa não dispõe de sistema de coleta seletiva de resíduos, ou galpões para recebimento, acondicionamento, triagem e comercialização dos recicláveis. Igualmente não possui tratamento adequado para outros tipos de resíduos como os orgânicos, hospitalares, de construção civil ou eletroeletrônicos. Por outro lado, catadores/as operam no lixão público a céu aberto existente na cidade, juntamente com a matéria orgânica e o mau cheiro gerado pela sua degradação, além da convivência com animais e vetores transmissores de doenças, sem uma autogestão das atividades. Benincá (2021, p. 06) ressalta a posição social em que se encontram os catadores de materiais recicláveis: Essa realidade pode ser observada na Figura 01.

Figura 1: Aterro sanitário de Teixeira de Freitas em 2022.



Fonte: Autoria própria, em visita *in loco* feita em março de 2022.

Os catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis estão na confluência de um conjunto de impactos produzidos por esta realidade. Encontram-se entre os segmentos sociais mais marginalizados, invisibilizados e descartados da sociedade do consumo e do desperdício. Embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) tenha identificado os catadores como protagonistas e beneficiários principais no processo de coleta seletiva e reciclagem, este objetivo ainda está longe de ser alcançado.

Além disso, a respeito das tecnologias que podem ser implantadas, apesar de ser mencionado como um instrumento do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), em seu Art. 6, parágrafo XV, “cooperação técnica e financeira entre setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisa de novos produtos, métodos, processos e

tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos”, não é possível evidenciar atividades ou ações que o promovam com eficiência.

Diante do exposto, o presente trabalho traz uma análise sobre a possibilidade de implantação da coleta seletiva com o uso da tecnologia de Internet das Coisas (IoT) no gerenciamento dos resíduos sólidos aplicada ao caso de Teixeira de Freitas.

No primeiro momento, trata-se de descrever sobre o conceito de (IoT), componentes, funcionamento, aplicações na gestão de RSU, benefícios e dificuldades de implantação. Em um segundo momento, examinam-se modelos de implantação de coleta seletiva e a viabilidade e implementação de tecnologias IoT. E por fim, apresentam-se um estudo de caso sobre possibilidade de implantação em Teixeira de Freitas.

5.2 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi realizada para identificar e compilar informações relevantes sobre o tema. Esta etapa envolveu a consulta a artigos científicos, teses, dissertações, livros, publicações de organizações ambientais, e relatórios técnicos. As bases de dados utilizadas incluíram Google Scholar, Scielo, ScienceDirect, e o portal de periódicos da CAPES. Os dados para este estudo foram coletados por meio de fontes secundárias, incluindo publicações acadêmicas, relatórios governamentais, e documentos de organizações ambientais. Os critérios para a seleção das fontes incluíram a relevância para o tema do estudo, a atualidade (com foco em publicações dos últimos dez anos), e o impacto acadêmico das publicações. A coleta de dados foi realizada de forma a garantir a precisão e a representatividade das informações. Dados quantitativos sobre a utilização de IoT no gerenciamento das cidades baianas foram extraídos dos estudos de caso, enquanto dados qualitativos foram obtidos mediante leitura de relatórios e documentos.

A revisão foi sistematizada para cobrir tópicos relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos, IoT. Os resultados foram apresentados de forma descritiva.

5.3 INTERNET DAS COISAS (IOT)

John Romkey criou o primeiro dispositivo conectado à internet em 1990, uma torradeira elétrica controlada online. Em 1999, Kevin Ashton, pesquisador do Instituto de

Tecnologia do Massachusetts (MIT), cunhou o termo *Internet of Things* (IoT), utilizando tecnologias como *Radio Frequency Identification* (Identificação por Radiofrequência, RFID) e *Wireless Sensor Networks* (redes de sensores sem fio). A proposta era criar um sistema global onde dispositivos interconectados trocassem informações e operassem de maneira eficiente (Godoi e Araújo, 2019).

A crescente urbanização e o aumento do consumo têm levado a uma geração crescente de resíduos sólidos, que representam um desafio significativo para as cidades de todo o mundo. Tradicionalmente, o gerenciamento de resíduos sólidos tem sido um processo manual em recursos, enfrentando problemas como roteirização ineficiente, coleta irregular e descarte inadequado. A Internet das Coisas (IoT) surge como uma solução promissora para enfrentar esses desafios, oferecendo novas formas de monitorar, gerenciar e otimizar a coleta e o tratamento de resíduos.

Para Colombo e Lucca Filho (2018), o conceito de IoT envolve dois pilares essenciais para o funcionamento das tecnologias, a comunicação e o processamento de diferentes tipos de dispositivos, constituindo um paradigma tecnológico onde objetos físicos estão conectados à rede e são acessíveis pela internet, sem restrição de tempo ou localização.

5.3.1 Componentes e funcionamento

A Internet das Coisas (IoT) refere-se à interconexão de dispositivos físicos que são capazes de coletar, transmitir e processar dados por meio da internet. Esses dispositivos, frequentemente chamados de "objetos inteligentes" ou "dispositivos conectados", incluem sensores, atuadores, câmeras, e outros equipamentos que podem se comunicar entre si e com sistemas centrais. Para Moraes e Hayashi (2021), é possível abordar os subsistemas da IoT por intermédio das três partes: rede, plataforma e aplicações.

Oliveira (2017), relaciona alguns componentes e funcionamentos para a compreensão das aplicações da IoT, conforme descritos a seguir:

1. Comunicação Sem Fio - exemplos dessas tecnologias são o *Wi-Fi* (possibilita a conexão e a comunicação de computadores, dispositivos móveis e outros equipamentos à internet, por intermédio de uma rede sem fio) e *Bluetooth* (permite a realização de troca de dados entre dispositivos em pequenas distâncias), frequentemente utilizadas para a IoT, com a possibilidade de apresentar baixo custo.
2. Arquitetura de Sistemas Embarcados - estrutura de microcontroladores e placas que integra e executa suas funções designadas de maneira automatizada.

3. Gestão de Energia - o alto consumo de energia por dispositivos físicos 'inteligentes' torna inviável o uso de baterias convencionais. Portanto, é importante analisar alternativas, como baterias portáteis ou materiais que prolonguem sua vida útil.
4. Computação em Nuvem - essencial para um desempenho altamente custo-benefício, tanto pela segurança dos dados quanto pela ausência de necessidade de servidores.
5. Programação Paralela, Distribuída e de Tempo Real - nesse ponto, deve-se considerar a possibilidade de aplicar o conceito de multitarefa, a simultaneidade entre os dispositivos e as restrições na programação da IoT.
6. Interfaces de Usuário - são os aplicativos e dashboards (ferramenta gráfica que reúne informações relevantes) que permitem aos usuários a interação com o sistema, monitorar dados em tempo real e tomar decisões informadas.

Para essas conexões, os componentes físicos se destacam por: sensores e atuadores, que são os dispositivos de coleta de dados do ambiente (como temperatura, umidade, nível de preenchimento de lixeiras) e executam ações com base nesses dados.

Sobre as funcionalidades IoT, Kikuchi et. al (2021, p. 08) validam:

As diversas necessidades para a execução adequada da IoT, tanto de softwares ou de componentes físicos, estão sendo desenvolvidas, possibilitando a capacidade em atender da melhor forma os usuários, não buscando apenas satisfazer instituições assim como na origem das etiquetas por rádio frequência para auxiliar no rastreamento das cadeias de produção, mas também buscar por inúmeras possíveis utilidades para pessoas físicas.

A IoT está cada vez mais integrada ao cotidiano e tende a trazer grandes benefícios, seja no âmbito profissional, pessoal ou econômico. E são variadas áreas que suas aplicações já estão inseridas, como residências, sistemas de energia, segurança e vigilância, transporte, agricultura, saúde, indústria, logística e meio ambiente (Massola e Pinto, 2018).

5.3.2 Aplicações e benefícios

Uma forte tendência de aplicação da IoT está na expansão do conceito de *Smart Cities* (Cidades Inteligentes), que tem a finalidade de promover soluções tecnológicas para o atendimento a diferentes estruturas urbanas em suas necessidades e bem-estar dos moradores (Saaty e Paola, 2017).

Diversas cidades ao redor do mundo já começaram a investir em tecnologias para melhorar a qualidade de vida de seus habitantes. Dados apresentados no site Via Networks (2020), mostram que: Em Nova York possui um sistema automatizado de leitura de medidores permite que os cidadãos monitorem seu consumo diário de água. Em Singapura existe o

sistema *One Monitoring*, que oferece um portal onde os cidadãos podem acessar informações de tráfego coletadas por câmeras de vigilância instaladas nas estradas. Na Holanda, em Amsterdã, há um sistema de iluminação inteligente com luzes LED (*Light Emitting Diode*, Diodo emissor de luz) reguláveis, onde ciclistas e pedestres podem aumentar a intensidade da luz ao passarem, e esta diminui após alguns minutos. Esses são exemplos de como a IoT está sendo aplicada nas cidades, promovendo um crescimento exponencial da tecnologia para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

Atualmente, existem iniciativas nos Estados Unidos e na Europa de estradas conectadas que contam com diversos sensores e sistemas de monitoramento para facilitar o uso de comandos e piloto automático. Os veículos autônomos já são uma realidade, grandes empresas de tecnologia, como a Google e a *Amazon*, estão testando modelos de carros autônomos capazes de realizar entregas ou transportar pessoas e mercadorias. Além disso, a IoT e a Inteligência Artificial trabalham em conjunto para garantir a integração desse processo (Moraes e Hayashi, 2021).

Para que uma cidade inteligente possa funcionar efetivamente no espaço urbano, é necessário fundamentar-se em três tipos de inteligências: a humana, a coletiva e a artificial. Além disso, é crucial buscar constantemente soluções para os problemas sociais, econômicos e culturais enfrentados pelas cidades. Vale ressaltar que o conceito de cidade inteligente também está intrinsecamente ligado à sustentabilidade (Cury e Marques, 2017).

No que tange a sustentabilidade, aqui reforçada por um eficiente gerenciamento de resíduos sólidos, é possível observar os avanços da IoT em vários processos:

Monitoramento de Lixeiras: Sensores de nível instalados em lixeiras permitem monitorar a quantidade de resíduos em tempo real. Esses sensores enviam dados para uma plataforma centralizada, que pode alertar quando as lixeiras estão próximas de sua capacidade máxima, evitando transbordamentos e melhorando a eficiência da coleta.

Otimização de Rotas de Coleta: Mediante uso de GPS e algoritmos de roteirização, os sistemas de IoT podem otimizar as rotas de coleta de resíduos. Isso reduz o consumo de combustível, diminui as emissões de CO₂ e melhora a eficiência operacional ao garantir que os caminhões de coleta sigam as rotas mais eficientes.

Gestão e Tratamento de Dados: Os dados coletados pelos dispositivos IoT são processados e analisados para identificar padrões e tendências. Isso pode incluir a identificação de áreas com maior geração de resíduos, horários de pico de descarte e outras informações que podem ajudar na tomada de decisões estratégicas.

Sistemas de Notificação e Engajamento Comunitário: Plataformas de IoT podem incluir aplicativos móveis que permitem aos cidadãos reportarem problemas relacionados à coleta de resíduos, como lixeiras danificadas ou coleta irregular. Isso facilita a comunicação entre a população e os serviços de gestão de resíduos, promovendo um ambiente mais limpo e sustentável.

De acordo com o Índice de Competitividade Mundial (*World Competitiveness Yearbook*) de 2020, no Brasil, a competitividade e a inovação são áreas carentes, apesar do vasto potencial econômico do país, devido à falta de incentivos e infraestrutura adequada. Nesse cenário, a IoT se destaca como uma solução viável, uma vez que seus principais benefícios incluem estimular a inovação, elevar a produtividade e abrir novas oportunidades de mercado.

Além disso, há um leque de benefícios alcançados pela implantação de tecnologias IoT: Eficiência Operacional; Sustentabilidade Ambiental; Melhoria na Qualidade de Vida; Redução de Custos; Integração com outras tecnologias; Expansão para outras áreas da gestão urbana; e Participação ativa da comunidade.

5.3.3 Dificuldades de implantação

O resumo de pesquisa de IoT da Bain, *Unlocking Opportunities in the Internet of Things* (Forbes, 2018) apontou os principais desafios na implantação de tecnologias IoT, concentrando em segurança, integrações com as tecnologias existentes e como medir o retorno do investimento na adoção dessas tecnologias.

A carência de infraestrutura adequada para lidar com a quantidade de dispositivos conectados e com o volume de dados gerados pode ser o principal obstáculo a ser enfrentado (Agência Brasil, 2019).

O número de dispositivos IoT deve pular de 26 bilhões, em 2019, para 75 bilhões até 2025, isso implica, de acordo Moraes e Hayashi (2021, p.7) afirmar que:

A popularização cada vez maior da internet e a adoção do IP (*Internet Protocol*) versão 6 permitiram esse crescimento. O problema relacionado ao endereçamento IP é que o IP versão 4, lançado em 1981, possui um espaço de endereçamento de 32 bits, permitindo, no máximo, 4,3 bilhões de dispositivos conectados. Ele se encontra completamente esgotado, sendo que parte do problema vinha sendo solucionado com o uso de técnicas de tradução de endereços conhecida como NAT (*Network Address Translation*), onde dispositivos utilizavam endereços inválidos que eram traduzidos para poucos endereços IPs válidos quando a comunicação era realizada para a internet. O IP versão 6 é um projeto que surgiu em 2012, permitindo comercialmente um número praticamente infinito de dispositivos com 128 bits de endereçamento. Atualmente, é tecnicamente possível que cada dispositivo possua um endereço IP único na internet, isso acaba trazendo alguns desafios de segurança,

uma vez que as técnicas de NAT nos permitiam ocultar ou deixar inacessíveis esses dispositivos pela internet.

Uma das principais preocupações em um ambiente de IoT é a segurança. À medida que há mais dispositivos conectados, aumenta a exposição a riscos em diversos locais interligados, criando oportunidades para roubo ou sequestro de dados e alteração de informações. Esses problemas podem surgir devido a falhas de fabricação ou à falta de atualizações. É evidente que alguns fabricantes não oferecem atualizações devido à ausência de regulamentação (Silva et. al, 2023).

É um desafio enfrentado pelas empresas que atuam na área de IoT, a necessidade de aprimorar a segurança dos dados. Em um ambiente conectado, a proteção e a privacidade das informações são de extrema importância, e a agilidade na identificação e correção de falhas é fundamental para o sucesso dos empreendimentos. Conforme apontado por Magrani (2018), o Plano Nacional de IoT aborda de forma abrangente questões ligadas ao desenvolvimento econômico e à inovação, porém, carece de aspectos relacionados à proteção de dados e privacidade.

Outro obstáculo é a tributação. Segundo Silva *et al.* (2023), a alta carga tributária sobre os dispositivos inteligentes dificulta significativamente sua adoção e prejudica o crescimento do segmento no Brasil. Diante desse cenário, o Ministério da Economia está avaliando a possibilidade de isentar tais dispositivos desses impostos ou propor um regime tributário mais favorável para eles.

A respeito das integrações, haja vista a necessidade de tempo e dedicação para apresentar interações seguras entre diversas instalações, garantir a integridade das informações, e estabelecer um ambiente de segurança cibernética que assegure que os dados sejam acessíveis apenas a usuários autorizados, além de garantir que as fontes de informação e sua integridade sejam devidamente verificadas (Siemens, 2017).

Entre alguns entraves que dificultam a implantação da IoT, podem ser incluídos: investimento inicial significativo em equipamento, componentes e plataformas; manutenção regular para garantir seu funcionamento contínuo; infraestrutura de conectividade confiável. Em áreas rurais ou menos desenvolvidas, a falta de redes de comunicação adequadas pode dificultar a implementação de soluções de IoT.

5.4 COLETA SELETIVA COM USO DE IOT

A PNRS exige a implementação de sistemas de coleta seletiva para recuperação e reciclagem de materiais. Em 2013, 62% dos municípios brasileiros tinham iniciativas de

coleta seletiva, principalmente em cidades com mais de 100 mil habitantes (ABRELPE, 2014). No entanto, muitas dessas iniciativas limitam-se a pontos de entrega voluntária ou parcerias com cooperativas de catadores e, em muitos casos, não cobrem toda a área urbana do município.

Segundo Prates *et al.* (2019), o aterro sanitário, conforme definido pela PNRS, deve ser utilizado apenas para a disposição final de rejeitos, não sendo considerado uma solução tecnológica para o tratamento de RSU. O resíduo sólido urbano (orgânico, reciclável e rejeito) deve ser tratado de forma apropriada, sendo recomendada uma triagem prévia dos materiais, independentemente da técnica de tratamento ou disposição adotada. Além disso, o nível tecnológico necessário para essa etapa depende tanto do grau de pureza exigido pela tecnologia subsequente quanto das condições financeiras e econômicas locais.

5.4.1 Coleta de resíduos sólidos urbanos

Para o município alcançar um sistema de limpeza urbana eficaz, este deve ser implementado por intermédio de um modelo de gestão que assegure a sustentabilidade econômica das operações, preserve o meio ambiente e melhore a qualidade de vida da população, além de ajudar a resolver problemas sociais decorrentes do manejo inadequado de RSU (Silva *et al.* 2017).

Em seu livro, intitulado Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos, Sylmara (2022) conceitua coleta seletiva como a compreensão de uma série de ações realizadas por diferentes participantes em um fluxo contínuo, onde moradores, catadores, gestores industriais e administradores públicos estão interconectados, de maneira que as atividades em uma parte do fluxo afetam diretamente as ações nos próximos estágios desse processo.

Num estudo realizado Benincá e Campos (2018), em relação à gestão de resíduos sólidos, a cidade de Teixeira de Freitas ainda carece de uma política estruturada para coleta seletiva e reciclagem. Não há separação dos resíduos na origem, e as lixeiras nas ruas são inadequadas, insuficientes e frequentemente localizadas em pontos que dificultam a circulação de pedestres. Além disso, tanto a educação ambiental quanto a conscientização ecológica ainda estão em estágio inicial.

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023 da ABREMA – Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente apresentou uma estimativa do ano de 2022, em que 93% dos resíduos gerados no Brasil tenham sido coletados adequadamente, o que corresponde a mais de 196 mil toneladas de RSU recolhidas diariamente. Os 7% não coletados

representam mais de 5 milhões de toneladas que acabam em destinos inadequados, trazendo riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Regionalmente, as estimativas indicam que as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste superam a média nacional de coleta. Em contrapartida, as regiões Norte e Nordeste destacam as disparidades regionais na gestão de resíduos sólidos no país, como pode ser visto na Tabela 1.

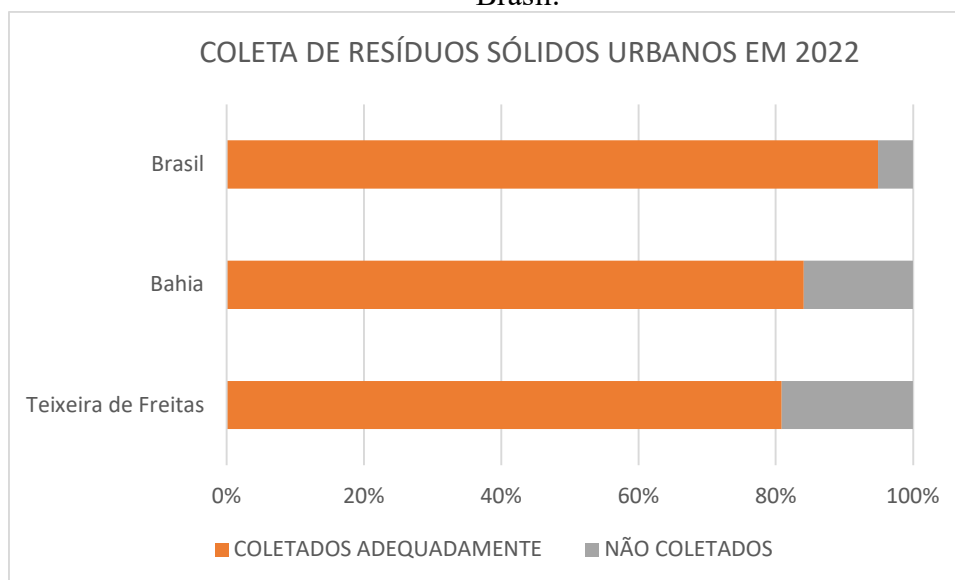
Tabela 1: Percentual de coleta de RSU no Brasil em 2022

PERCENTUAL DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL EM 2022		
REGIÃO	COLETADOS ADEQUADAMENTE	NÃO COLETADOS
Sul	97	3
Sudeste	98,6	1,4
Centro-Oeste	94,9	5,1
Norte	83	17
Nordeste	83	17

Fonte: Adaptado de ABREMA (2023).

Pela Figura 2 observa-se que a coleta em Teixeira de Freitas está abaixo das médias estadual e nacional, a partir de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Figura 2: Comparativo da coleta de RSU em 2022 entre Teixeira de Freitas, Bahia e Brasil.



Fonte: Adaptado de SNIS (2023).

Em contrapartida, no que diz respeito ao quantitativo, a coleta, por dia, chega a 1,13 kg de resíduos por habitante, acima das médias estadual (1,05 kg) e nacional (0,9 kg) para o referido ano (Instituto Água e Saneamento, 2022).

Em suma, a cidade de Teixeira de Freitas gera (na fonte, principalmente residências) um montante considerável de resíduos sólidos urbanos, comparando com as estimativas do

estado e do país. Em contrapartida, a coleta apresentou um número abaixo do estado e do país, e não compreende um sistema de coleta seletiva, com separação prévia dos resíduos.

5.4.2 Implantação de coleta seletiva

Em estudo feito por Chaves *et al.* (2014), os autores consideraram que uma das etapas mais importantes para atingir os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é a implantação de programas de coleta seletiva nos municípios, destacando alguns questionamentos: que ator pode executar a coleta seletiva, analisando prefeitura, empresa particular ou cooperativa/associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; qual tipo de coleta seletiva utilizar, o sistema de porta a porta ou Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), também chamados de Ecopontos; e como é possível planejar as rotas de coleta dos veículos de forma eficaz, já que os custos de coleta e de transporte dos materiais recicláveis abrangem um montante alto nos programas de coleta seletiva.

De acordo o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2018), as principais modalidades de coleta seletiva se dão a partir de coleta seletiva porta-a-porta, em postos de entrega voluntária (PVE), em postos de troca e por catadores, dispostos no Quadro 1.

Quadro 1: Tipos de coleta seletiva

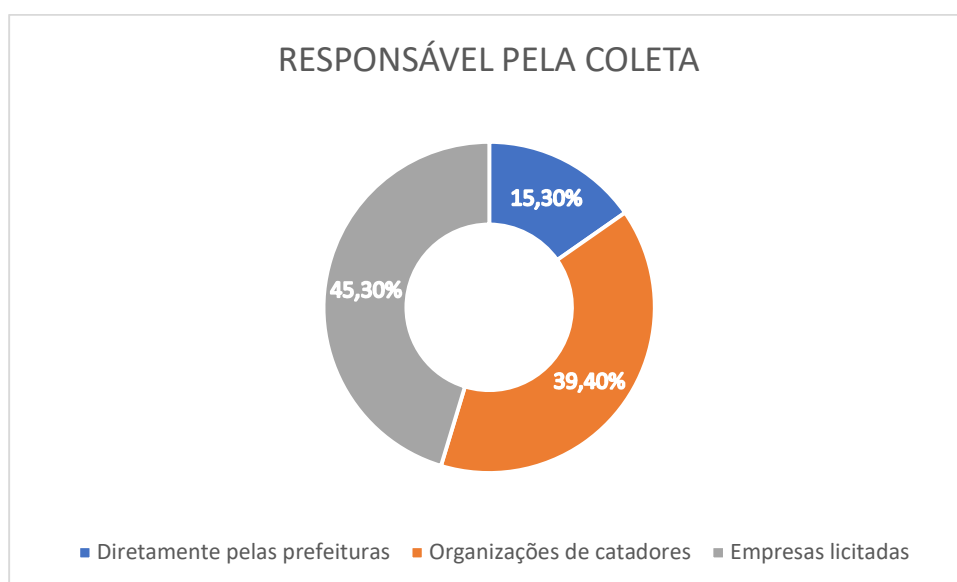
TIPOS DE COLETA SELETIVA			
MODALIDADE	FUNCIONAMENTO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Porta-a-porta	A coleta é feita em ruas e residências coletando os resíduos segregados (Besen <i>et al.</i> 2017)	Boa cobertura dos resíduos coletados (Besen <i>et al.</i> 2017)	Necessário investimento na aquisição de caminhões específicos
Ponto de entrega voluntária (PEV)	Contêineres ou pequenos depósitos, dispostos em pontos fixos, e de forma voluntária, os cidadãos acondicionam os materiais recicláveis (CEMPRE, 2018)	Redução de rotas de coleta, menor equipe de trabalho, incentivo à educação ambiental (Besen <i>et al.</i> 2017)	Maior participação da população e demanda maior rigor e controle na coleta (Besen <i>et al.</i> 2017)
Posto de troca	A cada material entregue, o cidadão recebe algum bem ou benefício. Exemplos: alimento, vale-transporte, vale-refeição, descontos (CEMPRE, 2018)	Redução de custos com transporte, maior qualidade na separação dos resíduos e benefícios para população (Besen <i>et al.</i> 2017)	Não garantia de continuidade, pois depende de quem implantou e maior restrição (Besen <i>et al.</i> 2017)

Organizações de catadores	Organização com fins sociais, os catadores recolhem materiais recicláveis em vias públicas, utilizando normalmente carrinhos de tração manual	Economia circular e solidária	Pode ser realizada com ou sem apoio do poder público
---------------------------	---	-------------------------------	--

Fonte: Adaptado de CEMPRE (2018) e Besen *et al.* (2017)

Segundo dados do Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2021) e SNIS (2020) 1.211 municípios brasileiros oferecem coleta seletiva, 21,7% dos municípios brasileiros atendem 50% ou mais de sua população com coleta seletiva porta a porta. Desses, de acordo com gestores municipais entrevistados, em relação à massa de resíduos sólidos coletados seletivamente, as empresas terceirizadas coletam pouco mais que as associações de catadores, apresentado na Figura 3.

Figura 3: Responsáveis pela coleta seletiva no Brasil



Fonte: Adaptado de CEMPRE (2021)

Outro ponto interessante e norteador levantado pelo CEMPRE é em relação aos custos com a coleta seletiva anual por habitante, em média R\$ 9,94, enquanto a coleta convencional apresentava R\$64,37.

Quanto as metodologias aplicadas para implantação da coleta seletiva, Mirandas e Mattos (2018) descrevem a concepção das principais para a separação de resíduos recicláveis:

Segregação total na fonte - os geradores separam os diferentes materiais recicláveis no local onde são produzidos. Essa prática reduz custos nas etapas posteriores, como triagem e transporte. Para isso, é necessário ter infraestrutura adequada para armazenamento, além de veículos coletores especiais e campanhas educativas mais detalhadas. A coleta é multisseletiva, com separação rigorosa dos materiais já na origem.

Separação em centrais de triagem - mesmo com a separação inicial na fonte, ainda é

necessário um galpão de triagem para classificar os resíduos secos (papéis, plásticos, vidros), úmidos (orgânicos) e outros rejeitos. Dependendo da escala do programa, essas instalações podem ser simplificadas para reduzir custos.

Quanto à implantação da coleta seletiva, Mirandas e Mattos (2018) apresentam as várias etapas que norteiam o projeto, no Quadro 2.

Quadro 2: Etapas de implantação da coleta seletiva no município.

ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DA COLETA SELETIVA MUNICIPAL	
ETAPA	DEFINIÇÃO
Diagnóstico	Avaliação socioeconômica da população, composição dos resíduos e mercado de recicláveis.
Planejamento	Definição do modelo de coleta seletiva, área de abrangência e estratégia de conscientização, com análise dos custos.
Implantação	Estabelecimento da frequência da coleta, instalação de pontos de entrega voluntária (PEVs), logística de apoio e capacitação de cooperativas.
Operação e Monitoramento	Avaliação de indicadores como custo por tonelada e receita com a venda de recicláveis.
Análise dos Benefícios	Contabilização dos ganhos ambientais, econômicos e sociais, como a extensão da vida útil de aterros e a geração de empregos.

Fonte: Adaptado de Mirandas e Mattos (2018)

O planejamento da implantação da coleta deve considerar fatores como a frequência, os pontos de coleta, os horários e a metodologia utilizada. Essas decisões são essenciais para minimizar transtornos à população, garantindo que o processo seja sanitariamente eficiente e economicamente viável. (Bernardo e Lima, 2017).

5.4.3 IOT no gerenciamento de resíduos sólidos: monitoramento de lixeiras

Para que as cidades se tornem mais sustentáveis, seguras e eficientes, a IoT pode desempenhar um papel fundamental, permitindo a melhoria da qualidade de vida por meio de dispositivos conectados a veículos e infraestruturas urbanas. As soluções tecnológicas mais eficazes podem ser obtidas em cidades inteligentes, onde diferentes componentes atuam em harmonia (Pavão e Moreira, 2023).

É possível observar iniciativas de cidades que estão se mobilizando para alcançar o padrão tecnológico promovido por esse conceito de Cidade Inteligente e todo o arcabouço que envolve, no que se refere à eficiência do gerenciamento dos resíduos sólidos, a partir das tecnologias que abarcam a IoT.

Como exemplo, na Colômbia, as cidades de Ibagué e Santa Marta possuem lixeiras equipadas com sensores que indicam quando estão prontas para serem esvaziadas, além de um compactador. Essas lixeiras também possuem uma tela de LED e fornecem sinal de *wi-fi*,

sendo alimentadas por energia solar captada por meio de um pequeno painel no topo. Intituladas de *Clean Cubes*, essas lixeiras foram desenvolvidas pela empresa sul-coreana *Ecube*, que já instalou 2.500 redes de coleta inteligente em cidades, restaurantes, campus universitários e parques de diversões. Segundo os desenvolvedores, o interesse em monitorar o lixo na América Latina surgiu do desejo de mostrar que seu trabalho não se destina apenas a países mais ricos.

Como o custo de cada lixeira era de US\$ 2 a 3 mil, foi necessário desenvolver uma tecnologia mais acessível para viabilizar sistemas completos de coleta inteligente em cidades maiores de países em desenvolvimento. Foi assim que surgiu o *Clean Cap*, um sensor com bateria de dez anos de duração que pode ser acoplado às lixeiras já existentes nesses municípios. A empresa afirma que a economia gerada pela eliminação da necessidade de verificar manualmente as lixeiras prevê a redução dos custos operacionais em até 80%.

Os dados gerados podem ser acessados mediante software também desenvolvido pela *Ecube*, que planeja as rotas de coleta com base nas informações recebidas dos sensores sobre o nível de preenchimento das lixeiras ou, caso estejam vazias, faz estimativas de quando será necessário esvaziá-las. O sistema também fornece recomendações sobre alterações de percurso e estimativas do tamanho ideal das lixeiras (Outra Cidade, 2016).

Outro exemplo, a cidade de Palhoça, em Santa Catarina conta com a instalação de sensores que monitoram a quantidade de lixo depositado nos contentores do programa *LimPalhoça*. Na fase inicial, foram implantados 10 sensores como teste do sistema, no bairro Pedra Branca. Esses sensores instalados nas lixeiras são capazes de identificar o nível de utilização do contentor, ou seja, a quantidade de lixo depositado. Isso permite uma gestão inteligente do sistema: antes de ir ao local, os profissionais podem visualizar, via central de monitoramento, quanto da lixeira está ocupada. Isso evita que os contentores fiquem sobrecarregados de lixo e reduz as despesas com as equipes e deslocamentos desnecessários.

Após esta fase piloto, a expansão do projeto para todo o município e desenvolvimento de um sistema interligado ao núcleo de telegestão implantado pela Prefeitura de Palhoça no Centro de Controle Operacional (CCO), que monitora o parque de iluminação pública do município, uma das conquistas alcançadas com a parceria público-privada (PPP) assinada em 2020 (Portal Palhoça, 2022).

5.5 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO PARA TEIXEIRA DE FREITAS

A nível de exemplificação de método para implantação de coleta seletiva, Anjos *et al.* (2019) realizou um estudo sobre a trajetória de implantação da coleta seletiva em Ganhães, Minas Gerais, entre 2015 e 2018. De acordo com os autores, a prefeitura é a responsável pela coleta seletiva e o transporte dos RSU domésticos e comerciais, coordenada pelas Secretarias de Infraestrutura Urbana e de Transporte e Trânsito. A coleta é organizada conforme o volume de resíduos de cada bairro, com rotas e frequências definidas. A coleta convencional é mista, unindo resíduos úmidos, secos e rejeitos no modelo porta a porta, com caminhões compactadores. Porém, o material reciclável é coletado separadamente em 10 pontos estratégicos de entrega voluntária (PEVs) distribuídos pela cidade.

No aterro controlado, foi instalada uma usina de triagem com infraestrutura de apoio à realização do serviço de coleta, triagem e comercialização para o uso da associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Os associados recebem um incentivo financeiro estadual, a bolsa reciclagem. Iniciou-se o planejamento para a coleta seletiva na cidade visando benefício econômico, social e ambiental. Mediante essas ações, os pontos cruciais foram: as campanhas de educação ambiental; o estudo de caracterização gravimétrica para levantamento dos pontos estratégicos para instalação dos PEVs; e a inclusão social da associação, através do Acordo de Cooperação, documento que estabelece a colaboração mútua, onde o município se responsabiliza pelos gastos com motorista, caminhão e combustível, e a associação com a mão de obra para a coleta dos resíduos recicláveis.

Já a nível de exemplificação de método para implantação de tecnologias IoT, Lima e Moreira (2022) desenvolveram um sistema de coleta de lixo inteligente, o SiCOL, para apoiar a gestão ambiental, proporcionando uma solução adequada para o manejo de RSU, inicialmente, nos campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Consideraram o desenvolvimento de um aplicativo e o monitoramento deste, em relação ao uso dos habitantes locais. Dados qualitativos e quantitativos foram coletados, foram realizadas adaptações e inclusão de novos requisitos e por fim, o desenho inicial de uma solução. A partir disso, o protótipo foi então utilizado para melhorias das funcionalidades e dos benefícios.

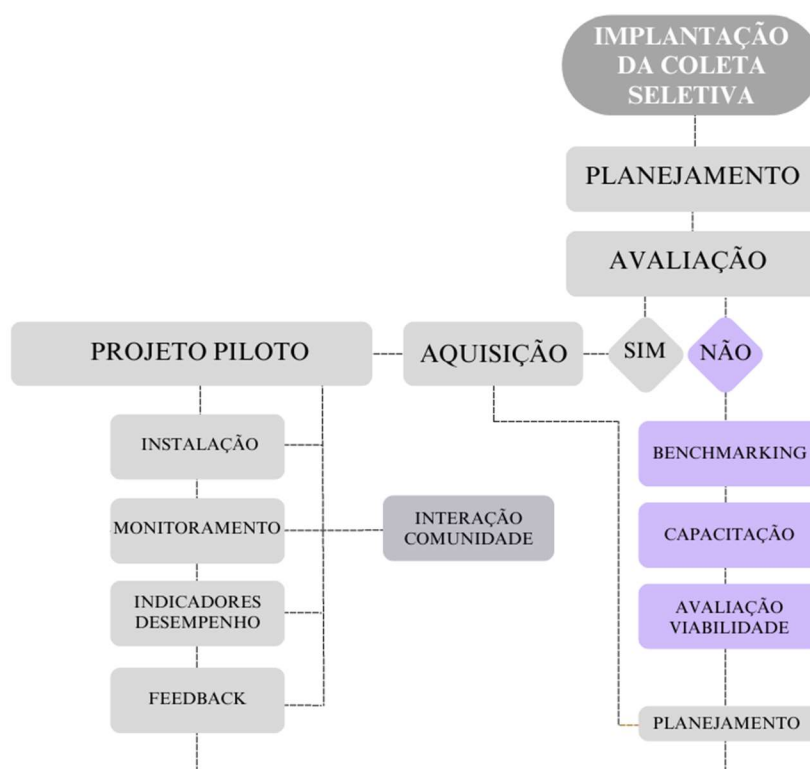
Na fase do projeto, foram definidas as tecnologias utilizadas, elaboração de protótipo e modelagem, e pesquisa bibliográfica sobre soluções semelhantes. O desenvolvimento do projeto dos autores envolveu a criação de um sistema de informação da coleta, a fim de obter uma coleta rápida e descarte dos resíduos organizado, e a interação com a comunidade universitária; e o monitoramento do sistema, inclusive por interfaces da web. Os dados

capturados pelo protótipo são armazenados em uma central e sincronizados em todos os dispositivos conectados, possibilitando o uso offline, caso seja preciso.

Em suas considerações, os autores pontuam a flexibilidade dessa tecnologia em atendimento a diferentes modelos de veículos de coleta, além de aprimorar a gestão do processo de coleta de resíduos. Assim, a tecnologia é aplicada para simplificar toda a logística envolvida em um processo complexo, tornando a interação entre a instituição e os usuários mais inteligente e eficaz.

A partir da conexão entre as experiências de implantação apresentadas pelos autores Anjos *et al.* (2019) e Lima e Moreira (2022) é possível traçar um modelo de implantação, proposto para a cidade de Teixeira de Freitas, como exposto na Figura 4.

Figura 4: Modelo de implantação da coleta seletiva



Fonte: Adaptado de Anjos *et al.* (2019) e Lima e Moreira (2022).

A fase de planejamento consiste em estudo de viabilidade técnica e financeira para inserção do projeto. Em seguida, uma avaliação das necessidades locais, incluindo a análise dos tipos e volumes de resíduos gerados; as rotas de coleta existentes e a infraestrutura disponível; os locais estratégicos para definição da região piloto; as potenciais parcerias para obtenção de suporte técnico e financeiro. E a partir disso, desenvolver um cronograma detalhado que cubra todas as fases do projeto.

Na fase de aquisição, é preciso adquirir os PEVs, sensores e uma plataforma para a coleta e análise dos dados gerados, com possibilidade de permitir a otimização das rotas de coleta e monitoramento do nível de resíduos em tempo real; equipar os caminhões de coleta com dispositivos de rastreamento GPS (Sistema de posicionamento global); *software* de gestão de frota para monitorar e otimizar as rotas de coleta.

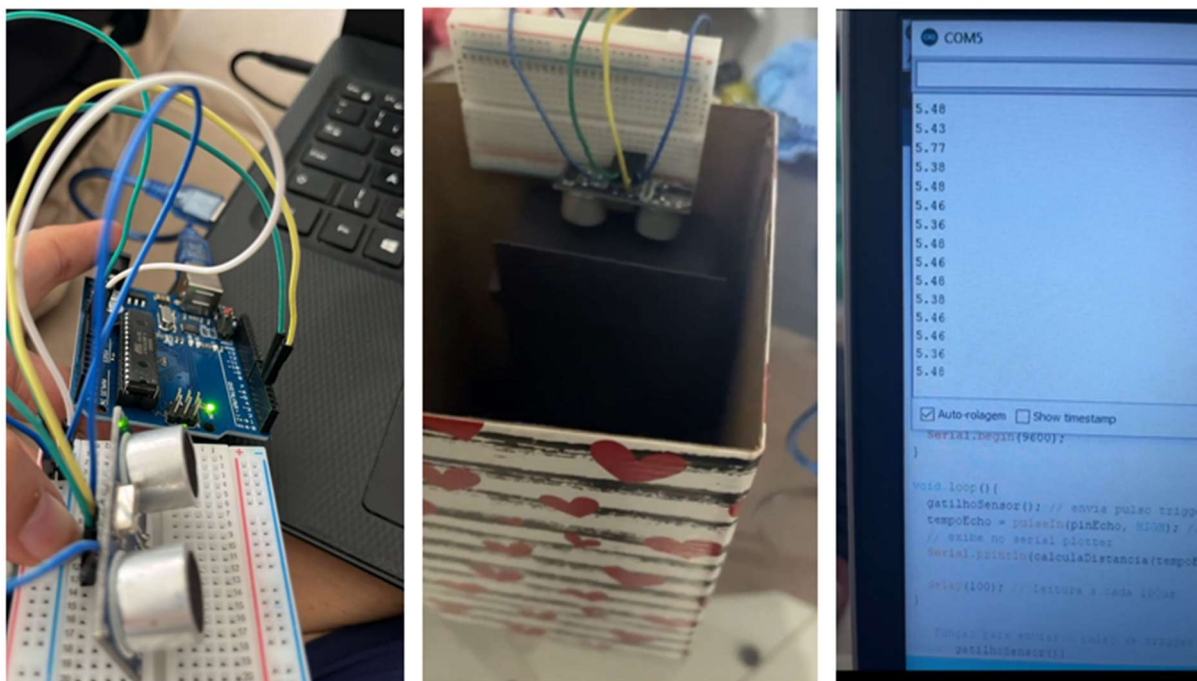
Ao longo de todo o desenvolvimento do projeto piloto – instalação dos equipamentos e softwares, monitoramento dos dados, indicadores de desempenho e feedback da funcionalidade do projeto - incentivar a participação comunitária, fundamental para o sucesso das iniciativas de gestão de resíduos sólidos. Campanhas de conscientização e educação ambiental podem ajudar a promover práticas de descarte responsáveis e incentivar a participação ativa dos cidadãos. Ferramentas de IoT que permitem a comunicação direta entre a comunidade e os gestores de resíduos podem melhorar a resposta a problemas e aumentar a transparência.

Na ausência ou insuficiência de dados e informações, se faz necessário um *benchmarking* com gestores municipais e instituições de outras localidades que já executam o serviço, a capacitação da equipe e uma nova avaliação de viabilidade, baseada nos parâmetros adquiridos.

Como forma de protótipo para implementação de coleta seletiva com PEVs monitorados, a estrutura de exemplificação do funcionamento de uma lixeira sendo monitorada por sensor, informando quando sua capacidade ultrapassar o nível permitido. Esse método permite melhor mapeamento das rotas de coleta, contribuindo para a logística das frotas de transporte, além de incentivar a coleta seletiva a partir da participação da comunidade, em depositar seus resíduos sólidos em PEVs.

Para o protótipo, foi adquirida uma Placa Uno Atmega328 que compõe um microcontrolador para desenvolver projetos eletrônicos e de automação; jumpers para as conexões, um Módulo Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04, caixinhas de papelão para simularem a lixeira e os resíduos sólidos depositados, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Etapas da construção do protótipo da lixeira com sensor



Fonte: Autoria própria.

O Arduino é uma plataforma eletrônica de prototipagem que funciona como um pequeno computador, interpretando entradas e controlando saídas. Para que essas rotinas aconteçam, é necessário programá-lo. O Arduino é programado por meio de um software, o Arduino IDE, que permite escrever códigos em uma linguagem semelhante à C/C++. Esses códigos são traduzidos para um código compreensível pela placa, e por ser de código aberto, é comumente fácil identificar programas básicos que podem ser implementados e adaptados para as funções específicas de cada projeto (Arduino.CC, 2024).

Para o protótipo, a programação foi elaborada de forma simples, e o seu funcionamento se baseou em fazer que o sensor ultrassônico, usado para medir distância, monitorasse a inclusão de resíduos sólidos sendo depositados na caixa, como parâmetro, usamos a distância 5 cm, como alerta, ou seja, quando o sensor identificava essa pequena distância, poderia, através do monitoramento, informar que esse PEV está com sua capacidade máxima e já pode ser realizada a coleta, por meio da logística de transporte, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Programação do arduino para a lixeira com sensor



```

sketch_lixeira | Arduino 1.8.19
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

sketch_lixeira

int pinTrig = 8; // pino usado para disparar os pulsos do sensor
int pinEcho = 9; // pino usado para ler a saída do sensor
float tempoEcho = 0;
// Obs. Velocidade do som = 340,29 m/s = 0.00034029 m/us
const float velocidadeSom = 0.00034029; // em metros por microsegundo

void setup() {
  // Configura pinos Trig e Echo
  pinMode(pinTrig, OUTPUT); // configura pino TRIG como saída
  pinMode(pinEcho, INPUT); // configura pino ECHO como entrada

  // Inicializa pino Trig em nível baixo
  digitalWrite(pinTrig, LOW);

  // Inicializa a porta serial
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  gatilhoSensor(); // envia pulso trigger (gatilho) para disparar o sensor
  tempoEcho = pulseIn(pinEcho, HIGH); // mede o tempo de duração do sinal no pino de leitura em us
  // exibe no serial plotter
  Serial.println(calculaDistancia(tempoEcho)*100);

  delay(100); // leitura a cada 100us
}

// Função para enviar o pulso de trigger
void gatilhoSensor() {

```

Fonte: Autoria própria.

É possível analisar essa tecnologia em um ponto específico da cidade, ou até mesmo um bairro, uma rua. E a partir dos resultados e *feedbacks*, expandir para áreas maiores.

5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de IoT no gerenciamento de resíduos sólidos evidencia a importância dessa tecnologia para a construção de cidades mais sustentáveis.

Exemplos práticos, como os casos de Ibagué e Santa Marta na Colômbia e de Palhoça em Santa Catarina, ilustram como sensores e sistemas inteligentes podem melhorar significativamente a eficiência da coleta de resíduos. Essas tecnologias não apenas monitoram

o nível de ocupação das lixeiras, mas também otimizam as rotas dos caminhões de coleta, gerando economia e sustentabilidade.

A implementação de projetos como o *Clean Cap* e o *SiCOL* demonstra a flexibilidade da IoT em se adaptar a diferentes contextos e necessidades. Tais projetos também evidenciam a importância do planejamento detalhado, da participação comunitária e da adaptação contínua com base no feedback dos usuários.

Portanto, a aplicação da IoT no gerenciamento de resíduos sólidos representa um avanço significativo para a gestão ambiental, proporcionando soluções eficazes que podem ser replicadas em diferentes regiões, incluindo cidades em desenvolvimento como Teixeira de Freitas. A continuidade do desenvolvimento tecnológico e a colaboração entre setores público e privado serão cruciais para expandir essas iniciativas e torná-las ainda mais acessíveis e eficazes.

5.7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Internet das Coisas: saiba como isso pode afetar a sua vida**. *Exame*, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://exame.com/tecnologia/internet-das-coisas-saiba-como-isso-pode-afetar-a-sua-vida>. Acesso em: 16 jun. 2024.

ANJOS, Janice Soares; WOLFF, Grazielle; FERRARO, Ana Carolina; SANTOS, Cassya Fernanda. Mobilização e implantação da coleta seletiva no município de Guanhães. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 600–628, 2019. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/6716. Acesso em: 02 jun. 2024.

ARAÚJO, Bianca Costa. **Utilização de indústria 4.0 e IOT no monitoramento de aterros sanitários para uma gestão mais eficiente**. 2023. 71 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/39285>. Acesso em 10 jun. 2024.

CÂMARA MUNICIPAL DE TEIXEIRA DE FREITAS. **Projeto de Lei Executivo n. 011.2021**. Disponível em: <https://www.camaratf.ba.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/Projeto-de-Lei-Executivo-n.011.2021-compactado.pdf>. Acesso em 03 jun. 2024.

COLOMBO, Jamires Fátima; e LUCCA FILHO, João de. Internet das coisas (IoT) e indústria 4.0: revolucionando o mundo dos negócios. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 72–85, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31510/inf.v15i2.496>. Acesso em: 20 ago. 2024.

COSTA, Celso Maciel da; LARA, Daniela Mueller de; LAGUE, Guilherme Machado; ARALDI, Rafael. 2021. Eco-on Um Sistema de Denúncia de Descarte Irregular de Resíduos Sólidos / Eco-on Um Sistema de Notificação de Descarte Irregular de Resíduos Sólidos. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, [S. l.], v. 4, pág. 39258–39275, 2021.

DOI: 10.34117/bjdv7n4-403. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-403>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CURY, Mauro José Ferreira; e MARQUES, Josiel Alan Leite Fernandes. A cidade inteligente: uma reterritorialização. **Redes**, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, v.22, n.1, p-102-117, jan./abr. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.17058/redes.v22i1.8476>. Acesso em: 18 jul. 2024.

FORBES. **Mercado de IoT deve dobrar até 2021, atingindo US\$ 520 bilhões**. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2018/08/16/iot-market-predicted-to-double-by-2021-reaching-520b/#19b5c9a21f94>. Acesso em: 08 jul.2024.

GODOI, Maiko Gustavo de; e ARAÚJO, Liriane Soares. A internet das coisas: evolução, impactos e benefícios. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 19–30, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/538>. Acesso em: 01 jul. 2024.

IBGE. **Cidades**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/feira-de-santana/panorama>. Acesso em: 01 jul. 2024.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **Municípios e saneamento**. 2022. Disponível em: <https://www.aguasaneamento.org.br/municipios-e-saneamento>. Acesso em: 01 ago. 2024.

LIMA, Igor de Almeida; e MOREIRA, Anderson L. S. **Implementação de um sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos para auxílio na coleta domiciliar**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) - Instituto Federal de Pernambuco. Campus Recife. 02 de agosto de 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/875>. Acesso em: 02 jul. 2024.

MAGRANI, E. **A Internet das Coisas**. 1. ed. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.
MASSOLA, Silze Cristina; PINTO, Giuliano Scobatti. O uso da internet das coisas (IoT) a favor da saúde. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 124-137, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.515>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MIRANDAS, Nathallia Mercedes; e MATTOS, Ubirajara Aluizio de Oliveira. Revisão dos Modelos e Metodologias de Coleta Seletiva no Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 2, p. 1–22, maio 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MORAES, Alexandre de; HAYASHI, Victor T. **Segurança em IoT**. Rio de Janeiro: Editora Alta Livros, 2021. *E-book*. ISBN 9788550816548. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788550816548>. Acesso em: 20 jun. 2024.

OLIVEIRA, Giulio Cruz de. **Localização indoor utilizando a tecnologia LoRaWAN e aprendizado de máquina**. Monografia (Engenharia de Telecomunicações) - Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC. Santa Catarina, p. 87. 2017. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/a/ad/TCC290_Giulio_Cruz_de_Oliveira.pdf. Acesso em: 08 jul. 2024.

OUTRA CIDADE. **Lixeiras inteligentes dizem quando estão cheias e precisam de coleta.** 2016. Disponível em: <https://outracidade.com.br/lixearas-inteligentes-dizem-quando-estao-cheias-e-precisam-de-coleta/#:~:text=As%20cidades%20de%20Ibagu%C3%A9%20e,pequeno%20painel%20no%20seu%20topo>. Acesso em: 02 mai. 2024.

PORTAL PALHOÇA. **Prefeitura de Palhoça instala sensores em contentores de lixo.** 2022. Disponível em: <https://portalpalhoca.com.br/noticias/comunidade/prefeitura-de-palhoca-instala-sensores-em-contentores-de-lixo>. Acesso em: 20 mai. 2024.

SIEMENS. **Um guia prático sobre a Indústria 4.0.** *Siemens*, São Paulo 2017. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt/empresa/stories/industria/industria-4-0.html>. Acesso: 16 jun. 2024.

SILVA, Christian Luiz da.; FUGII, Gabriel Massao.; SANTOYO, Alain Hernández.. Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, p. 276–292, maio 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.002.AO09>. Acesso em 20 jun. 2024.

SILVA, Nathanael Moraes.; SILVA, Iracema Rocha.; ACIOLY, Thiago Machado da Silva.; e VIANA, Diego Carvalho. Modelo de negócios baseado na Internet das Coisas: uma análise das oportunidades de novos negócios – revisão de literatura. 2023 **Interações** (Campo Grande), 24(2), 717–726. Disponível em: <https://doi.org/10.20435/inter.v24i2.3685>. Acesso em: 02 jul. 2024.

VIA NETWORKS. **Top 10 smart cities no mundo.** 2020. Disponível em: <https://via.eng.br/top-10-smart-cities>. Acesso em: 07 jul. 2024.

KIKUCHI, Alissa Yukari.; BETTERI, Lucas Antonio.; ARAÚJO, Liriane Soares. IOT – internet das coisas: um levantamento sobre as tendências tecnológicas atuais. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 118–130, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.31510/inf.v18i2.1211>. Acesso em: 20 ago. 2024.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão de resíduos sólidos é um desafio crescente, especialmente em cidades em desenvolvimento como Teixeira de Freitas. Este estudo teve como objetivo geral investigar, analisar e propor soluções tecnológicas ecoeficientes que pudessem auxiliar no gerenciamento dos resíduos sólidos da cidade. Ao longo da pesquisa, foi possível não apenas identificar e avaliar as tecnologias disponíveis para esse propósito, mas também apresentar uma proposta concreta para a gestão dos resíduos sólidos urbanos, adaptada à realidade local.

A partir da avaliação das tecnologias disponíveis, constatou-se que existem diversas soluções que podem ser aplicadas de forma eficiente e sustentável, desde métodos de reciclagem avançados até a compostagem e a geração de energia a partir de resíduos. Essas tecnologias, quando adequadamente implementadas, têm o potencial de reduzir significativamente a quantidade de resíduos encaminhados aos aterros sanitários, ao mesmo tempo em que promovem a valorização dos materiais recicláveis e a redução dos impactos ambientais.

A proposta elaborada para Teixeira de Freitas busca integrar essas soluções tecnológicas de maneira harmoniosa, levando em consideração as particularidades econômicas, sociais e ambientais do município. A implementação dessa proposta poderá não só melhorar a eficiência do sistema de gestão de resíduos, mas também fomentar uma cultura de sustentabilidade e responsabilidade ambiental entre os cidadãos.

Conclui-se, portanto, que a investigação e análise realizadas neste estudo foram fundamentais para o desenvolvimento de uma proposta sólida e viável, que poderá servir como modelo para outras cidades enfrentando desafios semelhantes. A colaboração entre o poder público, a sociedade civil e o setor privado será crucial para o sucesso dessa iniciativa, garantindo que Teixeira de Freitas avance rumo a um futuro mais sustentável e ecoeficiente na gestão de seus resíduos sólidos.

7. REFERÊNCIAS

- ABBADE, Eduardo; BASSO, Larissa; MOTA, Catherine; PAULSEN, Sandra. Indicadores quantitativos da OCDE e o Brasil. Vol. V. Área temática: Meio ambiente. Brasília/DF - Editora: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). 2023. Edição 1ª.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 37101:2017 - Desenvolvimento sustentável de comunidades - Sistema de gestão para desenvolvimento sustentável - Requisitos com orientações para uso, 23 ago. 2017.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos Sólidos: Classificação, 31 mai. 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, 31 mai. 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, 31 mai. 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos, 31 mai. 2004.
- AMORIM, Aline Pinto; DE ALBUQUERQUE, Beatriz Mello; GAUTÉRIO, Daiane Teixeira; JARDIM, Daniele Barros; MORRONE, Eduardo Corrêa; SOUZA, Rejane Magano. Lixão municipal: abordagem de uma problemática ambiental na cidade do Rio Grande – RS. *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental*, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 159–178, 2011. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/888>. Acesso em: 16 out. 2023.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2011. São Paulo: ABRELPE, 2011.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2020. São Paulo: ABRELPE, 2018.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2020. São Paulo: ABRELPE, 2019.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2020. São Paulo: ABRELPE, 2020.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2020. São Paulo: ABRELPE, 2021.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2022. São Paulo: ABRELPE, 2022.
- ANDRETTI, F. V., FERREIRA, J. A., MANNARINO, C. F. Análise da aplicabilidade da Portaria 557 do Ministério das Cidades em estudos de viabilidade técnico-econômica para incineração com recuperação energética de resíduo sólido urbano no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.26, n.6, 2021. DOI: 10.1590/S1413-415220200402. Acesso em: 06 de junho de 2023.
- BARBOSA, Rildo P.; IBRAHIM, Francini Imene D. Resíduos Sólidos - Impactos, Manejo e Gestão Ambiental. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. ISBN 9788536521749.
- BENINCÁ, Dirceu; CAMPOS, Fernando Silva. A insustentável dinâmica da sociedade de consumo: retratos e desafios. *Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade*,

Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 4-26, março. 2021. Disponível em:
<https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/7>. Acesso em: 19 fev. 2023.

BENINCÁ, Dirceu; CAMPOS, Fernando Silva. Resíduos sólidos em Teixeira de Freitas: diagnóstico e desafios. *Revista Mosaico*, Teixeira de Freitas, n. 28, jul./dez. 2018 - ISSN 1808-589X - eISSN 1980-4180, p. 42-58. DOI: <https://doi.org/10.26893/rmv.14n28/42-58/2018>. Acesso em: 19 fev. 2023.

BAHIA. Constituição do Estado da Bahia. Promulgada em 7 de janeiro de 2014.

BAPTISTA, Vinicius F. As políticas públicas de coleta seletiva no município do Rio de Janeiro: onde e como estão as cooperativas de catadores de materiais recicláveis? *Rev. Adm. Pública*, Rio de Janeiro, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-76121603>. Acesso em: 16 de outubro de 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 out. 2001, Seção 1, p. 63.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos rodoviários. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 out. 2002, Seção 1, p. 123.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009. Dispõe sobre critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de estação de tratamento de esgoto sanitário. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1º out. 2009, Seção 1, p. 58.

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. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 13 jan. 2022.

BRASIL. Decreto nº 11.043, de 15 de fevereiro de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 17 fev. 2022, Seção 1, p. 1.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Instrução Normativa nº 13, de 6 de abril de 2012. Dispõe sobre a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 abr. 2012, Seção 1, p. 56.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 12.932, de 7 de janeiro de 2014. Altera a Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 jan. 2014.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Institui o novo marco legal do saneamento básico. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2014. Brasília: Ministério das Cidades.

CZAJCZYŃSKA, D. *et al.* Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 3, p. 171–197, 2017. ISSN 2451-9049, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.06.003>. Acesso em: 25 mar. 2023.

CONVALE. Inovações Tecnológicas no Tratamento e Reciclagem de Resíduos Sólidos. 2023. Disponível em: <https://convale.ce.gov.br/informa/43/inovacoes-tecnologicas-no-tratamento-e-reciclagem->

#:~:text=Nanopart%C3%ADculas%20podem%20ser%20usadas%20para,que%20v%C3%A3o%20para%20os%20aterros. Acesso em: 24 de novembro de 2023.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www.epa.gov>. Acesso em: 16 de outubro de 2023.

FELIX, Gabriela Corrêa; COSTA, Mariana Fernandes da. Análise da gestão de resíduos sólidos urbanos no Rio de Janeiro frente à política nacional de resíduos sólidos. Projeto de Graduação (Engenharia Ambiental). Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2013. VII, 121 p. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9256/1/monopoli10005793.pdf>. Acesso em: 22 de out. 2023.

FONSECA, Igor Ferraz da; BURSZTYN, Marcel; MOURA, Adriana Maria Magalhães de. Conhecimentos técnicos, políticas públicas e participação: o caso do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). *Revista de Sociologia e Política*, Curitiba, v. 20, n. 42, p. 183-198, jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-44782012000200013>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-44782012000200013&lng=pt&tln_g=pt. Acesso em: 30 set. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados: Teixeira de Freitas, IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/teixeira-de-freitas.html>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

JARDIM, Arnaldo; YOSHIDA, Consuelo; FILHO, José Valverde M. Política Nacional. Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Barueri - SP: Editora Manole, 2012. ISBN 9788520444801.

JÚNIOR, Rudinei T.; SAIANI, Carlos César S.; DOURADO, Juscelino. Resíduos Sólidos no Brasil: Oportunidades e Desafios da Lei Federal n. 12.305 (Lei de Resíduos Sólidos). Barueri - SP: Editora Manole, 2014. ISBN 9788520449240.

KLEIN, F. B., GONÇALVES-DIAS, S. L. F., JAYO, M. Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: uma análise sobre o uso de TIC no acesso à informação governamental. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, jan/abril 2018. DOI: 10.1590/2175-3369.010.001.AO10 ISSN 2175-3369. Acesso em: 06 de junho de 2023.

LOUREIRO, Carlos Frederico Bernardo. Sustentabilidade e educação: um olhar da ecologia política. - São Paulo: Cortez, 2012. - (Coleção questões da nossa época; v. 39).

MANNARINO, C. F., FERREIRA, J. A., GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.21, n.2, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016146475. Acesso em: 26 de junho de 2023.

MERSONI, C., REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 21(5), 351-358, 2017. DOI:

10.1590/S1413-41522017150351. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/dbK94bttFv6xGnHsbWsnMDh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 06 de junho de 2023.

NEWTON, P. W. Regenerating cities: technological and design innovation for australian suburbs. *Building Research & Information*, v. 41, n. 5, p. 575-588, out. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2022-5511.e>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

NUNES, Alexandre Magno da Silva. Projeto LISA: Lixeira Inteligente Seletiva Automática / Alexandre Magno da Silva Nunes. Monografia (Engenharia de Computação). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018. 49 f. : il. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15833>. Acesso em: 06 de junho de 2023.

OCDE. Pesquisas Econômicas da OCDE: Brasil 2020, OCDE Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/250240ad-en>, 2020.

ONU. Nações Unidas no Brasil, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

PATRONO, F., ROCHA, ML, & ATILA da Cruz, C. (2023). Inteligência artificial como ferramenta de apoio a análise de dados para avaliação de áreas ambientalmente frágeis no município de Teresópolis, Rio de Janeiro. *Revista Tópicos*, 1(4). Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10360230>. Acesso em: 02 de maio de 2024.

ROCHA, Diego Luz. Uma análise da coleta seletiva em Teixeira de Freitas – Bahia. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 13, n. 44, p. 140–155, 2012. DOI: 10.14393/RCG134416749. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16749>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2023.

SILVA, Juliana Alves da. Produção de nanomateriais a base de carbono obtidos a partir da decomposição catalítica de metano. Tese de Doutorado (Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16324>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

SILVA, Márcia Félix da. Políticas públicas e sustentabilidade urbana: análise das formas de atuação e deliberações do orçamento participativo no município de João Pessoa. Campina Grande, 2020. 268 f. il.: Color. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/14465>. Acesso em: 02 de maio de 2024.

SILVA, M. V., ZANCHI, F. B., LOPES, E. R. do N. Cartography of solid waste management in Southern Bahia, Brazil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 28, e20220238, 2023. DOI: 10.1590/S1413-415220220238. Acesso em: 06 de setembro de 2023.

SOARES, F. R., MIYAMARU, E. S., MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos – Caieiras. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v.22 n.5, set/out 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017155522. Acesso em: 06 de junho de 2023.

SOLER, Fabrício; FILHO, Carlos Roberto S. *Gestão de Resíduos Sólidos: o que diz a lei*. São Paulo: Editora Trevisan, 2019. ISBN 9788595450455.

TELLES, Dirceu D. Resíduos sólidos: gestão responsável e sustentável . São Paulo: Editora Blucher, 2022. ISBN 9786555061055.

TEIXEIRA DE FREITAS. Lei Municipal nº 727/2014, de 18 de março de 2014.

ZANCAN, C.; PASSADOR, J. L.; PASSADOR, C. S. Modelos de Inteligência Artificial na gestão de consórcios intermunicipais brasileiros. Revista Gestão e Desenvolvimento, v. 20, n. 2, p. 80–123, 2023. DOI: 10.25112/rgd.v20i2.3424. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/view/3424>. Acesso em: 01 fev. 2024.