



DEBORA PRISSILA REIS SANDIM

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CARACTERIZAÇÃO
GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS DOS BAIRROS CREMAÇÃO E GUAMÁ
DO MUNICÍPIO DE BELÉM – PA.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil**

Dissertação orientada pelo Prof.^a Dr. Nélcio Teixeira Machado

Belém – Pará – Brasil

2024

DEBORA PRISSILA REIS SANDIM

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOS BAIRROS CREMAÇÃO E GUAMÁ DO
MUNICÍPIO DE BELÉM – PA.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof.º Dr-Ing. Nélio Teixeira Machado.

BELÉM - PA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R375a Reis Sandim, Débora Prissila.
ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CARACTERIZAÇÃO
GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOS
BAIRROS CREMAÇÃO E GUAMÁ DA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELÉM – PA. / Débora Prissila Reis
Sandim. — 2024.
78 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Nélcio Teixeira Machado
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Belém, 2024.

1. Resíduos Sólidos Urbanos, Estatística, Gravimetria. I.
Título.

CDD 620.8



ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOS BAIRROS CREMAÇÃO E GUAMÁ DO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA

AUTORA:

DÉBORA PRISSILA REIS SANDIM

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL.

APROVADO EM: 27 / 09 / 2024.

BANCA EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente

NELIO TEIXEIRA MACHADO

Data: 26/11/2024 15:09:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Nélcio Teixeira Machado
Orientador



Documento assinado digitalmente

LUIZ EDUARDO PIZARRO BORGES

Data: 26/11/2024 15:57:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luiz Eduardo Pizarro Borges
Membro Externo (IME/RJ)

Documento assinado digitalmente



MARCELO COSTA SANTOS

Data: 25/11/2024 10:25:19-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Costa Santos

Documento assinado digitalmente



LINDEMBERG LIMA FERNANDES

Data: 27/11/2024 08:36:26-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Externo (UFRA)
Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

À Norma Reis (*in memoriam*), querida
mãe, pelo seu apoio e amor incondicional.
À Vicente Reis Sandim, amado filho,
sempre será minha força.

“Dos cegos do castelo me despeço e vou.
A pé até encontrar...Um caminho, um
lugar...Pro que eu sou”.

Nando Reis

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, pela sua graça que me sustentou nos momentos mais desafiadores e me inspiraram a alcançar este marco em minha vida.

À minha querida **mãe, Norma Reis** (*in memoriam*) dedico este trabalho. Sua presença e amor incondicional foram uma fonte inesgotável de inspiração e motivação, mesmo ausente fisicamente, seu legado continua a me guiar e a me fortalecer a cada passo.

À meu amado **filho, Vicente Reis Sandim**, sua presença ilumina meu caminho e sua força motiva-me a superar qualquer obstáculo. Que este trabalho seja um testemunho do meu compromisso em construir um futuro melhor para nós dois.

Ao **Professor Dr. -Ing Nélio Teixeira Machado** por sua valiosa contribuição para o meu crescimento acadêmico e profissional. Ao longo do mestrado, sua orientação foi fundamental, o que tornou essa jornada ainda mais enriquecedora. Agradeço pelas advertências que me fizeram refletir, pelos valiosos ensinamentos e por ser um orientador exemplar.

Ao **professor Dr. Hélio da Silva Almeida** (*in memoriam*), cujos conhecimentos e contribuições foram indispensáveis para minha formação profissional. Seu legado permanece vivo em minha vida, e serei eternamente grato por sua orientação e apoio.

À **MSc. Eng. Fernanda Assunção**, uma grande amiga que expresse minha profunda gratidão.

Sua amizade foi um verdadeiro presente, e sua parceria nesta pesquisa foi inestimável.

À meus queridos amigos, **Mayara Freitas, Lucas Coroa, Cézar Pinheiro e Mirian Gomes**, pela companhia e pelo apoio excepcional.

Ao **Professor Dr. Neyson Mendonça**, ao **servidor MSc. Químico Isaque Brandão** e ao Grupo de Estudos em Gerenciamento de Águas e Reúso de Efluentes pela estrutura para a realização das análises dos materiais coletados.

Ao **Professor Dr. José Almir Rodrigues Pereira** pela enorme contribuição nessa pesquisa e **Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento**. Ressalta-se que as coletas e caracterizações gravimétricas desta pesquisa, além da logística na coleta dos materiais foram financiados com recursos do Projeto do CNPq (**Edital 12/2020 MAI/DAI UFPA-Terraplana**) Desenvolvimento e Aplicação de Tecnologia para a Sustentabilidade da Prestação do Serviço de Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos, coordenado pelo Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira (FAESA/ITEC/UFPA).

Agradeço profundamente aos membros do **Grupo de Estudo em Meio Ambiente (GEMA)** e a todos os colegas de pesquisa da UFPA que foram fundamentais para o sucesso deste estudo. Expresso também minha gratidão ao **CNPq** e à **Terraplana LTDA** por seu apoio e contribuições essenciais para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a partir de ferramentas estatísticas a geração e composição de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos bairros Cremação e Guamá na cidade de Belém, Pará, a partir de coletas pontuais do município, e da renda nominal média da população. A coleta dos RSU foi realizada em bairros do município de Belém, Pará, Brasil, selecionados com base em sua proximidade geográfica e características socioeconômicas. Foram coletados aproximadamente 400kg de resíduos sólidos urbanos na delimitação dos bairros no período de 2021 á 2022. Após a coleta, os RSU foram transportados para uma área de segregação, onde foi realizada a análise gravimétrica e as frações separadas em: papel, papelão, Tetra Pak, plástico duro, plástico maleável, metal, vidro, matéria orgânica e inerte. Os testes estatísticos foram realizados a hipóteses com 5% de significância em avaliações comparativas, e suas respectivas rendas nominais médias. Os resultados indicaram que a fração orgânica corresponde a 61,8% dos resíduos gerados no município e 12,3% são resíduos inertes (resíduos sanitários). Observou-se que o resíduo gerado por famílias de maior classe social tende a conter maiores percentuais de material reciclável, enquanto em famílias de menor poder aquisitivo os maiores percentuais tendem a ser de matéria orgânica. O conhecimento da geração de RSU é fundamental para a escolha e dimensionamento das operações e dos processos envolvidos na cadeia de gerenciamento em âmbito municipal, a descentralização dos serviços oferecidos a partir do gerenciamento de resíduos sólidos possibilitaria um maior êxito no atendimento à população.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos, Estatística, Análise Gravimétrica, ANOVA.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate, using statistical tools, the generation and composition of urban solid waste (MSW) in the Cremação and Guamá neighborhoods in the city of Belém, Pará, based on specific collections from the municipality, and the average nominal income of the population. MSW collection was carried out in neighborhoods in the city of Belém, Pará, Brazil, selected based on their geographic proximity and socioeconomic characteristics. Approximately 400kg of urban solid waste were collected in the neighborhood boundaries between 2021 and 2022. After collection, the MSW was transported to a segregation area, where gravimetric analysis was carried out and the fractions were separated into: paper, cardboard, Tetra Pak, hard plastic, malleable plastic, metal, glass, organic and inert matter. Statistical tests were carried out on hypotheses with 5% significance in comparative evaluations, and their respective average nominal incomes. The results indicated that the organic fraction corresponds to 61.8% of the waste generated in the municipality and 12.3% is inert waste (sanitary waste). It was observed that the waste generated by families of higher social class tends to contain higher percentages of recyclable material, while in families with lower purchasing power the higher percentages tend to be organic matter. Knowledge of the generation of MSW is fundamental for the choice and dimensioning of operations and processes involved in the management chain at the municipal level. The decentralization of services offered based on solid waste management would enable greater success in serving the population.

KEY WORDS: Urban Solid Waste, Statistics, Gravimetric Analysis, ANOVA.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	4
2 OBJETIVOS.....	7
2.1 GERAL.....	7
2.2 ESPECÍFICOS.....	7
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
3.1. LEGISLAÇÃO APLICADA A RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	8
3.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	9
3.3. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	11
3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	14
3.5. GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	20
3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	25
4.2. ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO.....	26
4.3. DESCRIÇÃO DA DINÂMICA DAS ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS.....	26
4.3.1. Definição do volume de resíduos, espacialização dos pontos de amostragem e coleta das amostras.....	31
4.4. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA.....	36
4.4.1. Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	36
4.4.2. Método e Análise Estatística.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
3.1.1 Estatística Descritiva da Composição Gravimétrica.....	41
3.1.2 Estatística Analítica.....	49
3.1.3 Análise Socioeconômica.....	52
6. CONCLUSÕES.....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Representação da coleta de amostra para análise de composição gravimétrica.....	15
Figura 2 - Metodologia para amostragem de análise para a composição gravimétrica.....	16
Figura 3 - Etapas metodológicas.....	25
Figura 4 - Setorização da área atendida pela TERRAPLENA.....	28
Figura 5 - Roteiro das coletas dos Bairros Cremação e Guamá.....	30
Figura 6 - Software STATIDISK 13.0.....	32
Figura 7 - Equipamentos e Utensílios utilizados na coleta.....	33
Figura 8 - Coleta de amostras de RSU nos bairros da Cremação e Guamá.....	35
Figura 9 - Composição gravimétrica dos RSU da rota 1202 (Cremação e Guamá).....	36
Figura 10 - Distribuição de Resíduos sólidos urbanos da rota 1202 do município de Belém/PA.....	45
Figura 11 - Análise detalhada das Frações Resíduos Sólidos Urbanos da Rota 1202 (Cremação e Guamá).....	46
Figura 12 - Análise detalhada das frações de resíduos sólidos coletados na rota 1202, bairros Cremação e Guamá do município de Belém/PA.....	46
Figura 13 -Teste de Shapiro-Wilk e quantil-quantil (Q-Q) para a rota 1202.....	50
Figura 14 - Teste de Tukey e boxplot comparando as frações dos resíduos.....	52
Figura 15 - Geração da fração orgânica a partir da renda e do número de habitantes.....	53
Figura 16 - Geração da fração de inertes (resíduos sanitários) a partir da renda e do número de habitantes.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Turnos e dias de coleta nos roteiros da Terraplena.....	26
Tabela 2 - Classificação de classe social a partir da renda nominal média.....	29
Tabela 3 - Estratificação Classificação econômica.....	31
Tabela 4 - Cronograma de campanhas dos resíduos sólidos.....	34
Tabela 5 - Análise gravimétrica das frações de Resíduos Sólidos Urbanos da Rota 1202 (Cremação e Guamá) (Assunção et al., 2022).....	41
Tabela 6 - Análise gravimétrica das frações de Resíduos Sólidos Urbanos da Rota 1202 (Cremação e Guamá).....	44
Tabela 7 – ANOVA dos dados da composição gravimétrica.....	49

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Classificação dos materiais.....	37
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

IDH Índice de Desenvolvimento Humano

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos

PIB Produto Interno Bruto

PMGIRS Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PGIRSU Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

RSD Resíduos sólidos domiciliares

RSUD.....Resíduos sólidos urbanos domiciliares

RS Resíduos sólidos

1 INTRODUÇÃO

Uma questão ambiental de grande relevância é a geração diária de resíduos sólidos resultante das atividades humanas. O aumento exponencial da população, o processo acelerado e desordenado de urbanização, aliado ao avanço tecnológico e industrial, são elementos que contribuíram para este cenário.

De acordo com Silva et al. (2023), a caracterização de resíduos sólidos está cada vez mais relacionada aos padrões de consumo da população e às atividades econômicas predominantes em uma região. A análise dos resíduos sólidos urbanos agora considera não apenas o nível econômico da população, mas também seus comportamentos de consumo e estilo de vida (SANTOS e OLIVEIRA, 2022). Almeida et al. (2024), destacada a importância de considerar os hábitos de consumo da população ao caracterizar os resíduos sólidos, a fim de implementar políticas mais eficazes de gestão de resíduos.

A geração de resíduos sólidos urbanos, proveniente das atividades cotidianas das residências, apresenta uma diversidade de características que tornam desafiante sua gestão adequada. A falta de segregação na fonte geradora emerge como um dos principais obstáculos enfrentados para o gerenciamento eficiente de resíduos sólidos (CEMPRE, 2010; FRANCO, 2012; SILVA et al., 2023).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em seu Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, referente ao ano de 2021, 39,8% dos resíduos coletados no Brasil foram destinados de forma incorreta, valor correspondente a 30.277.390 toneladas/ano de resíduos que ainda são encaminhados aos lixões e aos aterros controlados.

De acordo com o mesmo panorama, na região Norte, 20% dos resíduos gerados, não são alcançados pelos serviços de coleta regular. E ainda, cerca de 3.209.013 t/ano são disposto de forma inadequada no meio ambiente. Ressalta-se que a produção de resíduos sólidos corresponde, na região Norte, é cerca de 6 milhões de toneladas/ano e para cada habitante em média de 328 kg/hab/ano (ABRAPEL, 2021).

De acordo com estudos recentes, a destinação inadequada dos resíduos sólidos continua sendo um desafio significativo no Brasil (RODRIGUES, 2018; ALMEIDA, 2019; PEREIRA, 2020). Rodrigues (2018) destaca que uma proporção substancial dos resíduos coletados ainda é encaminhada de forma incorreta, evidenciando a urgência de medidas para melhorar a gestão desses materiais. Almeida (2019) também ressalta a importância de ações para garantir a destinação ambientalmente correta dos resíduos,

especialmente em regiões como a Norte, onde os serviços de coleta regular ainda não alcançam uma parcela significativa da população.

Além disso, conforme evidenciado por Pereira (2020), a produção de resíduos sólidos na região Norte é expressiva, com uma quantidade considerável desses materiais sendo disposta de forma inadequada no meio ambiente. Essas constatações reforçam a necessidade premente de um gerenciamento eficiente dos resíduos sólidos, conforme preconizado pela legislação vigente.

Mendes et al. (2018), Oliveira et al. (2019) e Souza et al. (2020), observa-se que a destinação inadequada de resíduos sólidos é um desafio persistente no Brasil, com consequências ambientais significativas. Esses estudos ressaltam a importância de políticas públicas eficazes e do cumprimento das legislações vigentes, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), para promover a gestão sustentável dos resíduos e a proteção do meio ambiente.

É importante ressaltar que marcos regulatórios como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e suas regulamentações, incluindo o Decreto 7.404/2010, têm sido fundamentais para orientar as ações de gestão de resíduos no país (BRASIL, 2010). Normas técnicas, como a NBR 10004:2004 (Resíduos Sólidos – Classificação) e a NBR 10007/04 (Amostragem de Resíduos Sólidos), também desempenham um papel crucial ao estabelecer critérios para classificação e amostragem de resíduos sólidos, contribuindo para práticas mais adequadas de manejo e destinação desses materiais.

Neste contexto, a caracterização dos resíduos sólidos é essencial para uma gestão eficaz, visando compreender tanto a quantidade quanto a qualidade dos resíduos gerados. A obtenção da composição gravimétrica desses resíduos é um passo crucial nesse processo. A análise gravimétrica dos resíduos consiste na determinação da composição física dos resíduos sólidos, expressa em percentuais relacionados às diferentes frações dos materiais presentes nos resíduos urbanos, em relação ao peso total da amostra de resíduo analisada (MONTEIRO, 2001).

A análise gravimétrica tem se mostrado fundamental para identificar padrões de geração de resíduos e direcionar políticas de gestão mais eficientes. Além disso, para a tomada de decisão sobre estratégias de reciclagem e disposição final de resíduos, contribuindo assim para a promoção da sustentabilidade ambiental (SILVA e SANTOS, 2019; Oliveira et al., 2020).

Estudos relacionados a resíduos sólidos com enfoque na caracterização gravimétrica são amplamente encontrados na literatura, abrangendo regiões, órgãos públicos ou privados e diversas localidades. Essas pesquisas dissertam sobre os passos para elaboração de programas de gestão ambiental tendo como início do processo a caracterização gravimétrica (THANH et al., 2010; MADERS & CUNHA, 2015; SOUZA et al., 2015; SIQUEIRA et al., 2016; ADENIRAN et al., 2017; SILVA et al. 2021; MARTINS et al. 2022; GOMES et al. 2023; SANTOS et al. 2024).

Entretanto, existe outros autores utilizam software para tratamento de dados obtidos na gravimetria com o auxílio de ferramentas estatísticas, o que resulta em uma maior confiabilidade e credibilidade dos resultados, como os estudos de OENNING et al., 2012; REZENDE et al., 2013; CAJAIBA & CORREIO, 2016; SAIDAN et al., 2017. E ainda, existem outros estudos que estabelecem a relação da geração de resíduos sólidos com a classe econômica (COSTA et al., 2012, 2014; KHAN et al., 2016; OZCAN et al., 2016).

Nesse contexto, o estudo das características físicas de resíduos gerados por uma determinada população comparando-se a classes econômica e renda percapita das regiões, torna-se uma ferramenta importante para a tomada de decisão para a gestão de resíduos sólidos urbanos, uma vez que mostra possibilidades de melhoria no processo de gerenciamento de resíduos, desde a segregação na fonte geradora até a destinação final aos aterros ou outras metodologias de tratamento de resíduos e rejeitos (JADOON, 2014).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar estatisticamente a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) gerados em 2022 na região metropolitana de Belém, estado do Pará, com foco nos bairros Cremação e Guamá, e sua relação com a renda domiciliar da população. A análise gravimétrica será correlacionada com a classe econômica dos geradores, visando fornecer informações relevantes para a tomada de decisão na gestão de resíduos.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar estatisticamente a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbano da região metropolitana de Belém, dos bairros Cremação e Guamá e sua renda percapita.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) da região metropolitana de Belém quanto à composição física, identificando os principais tipos de materiais presentes, sua proporção e origem.
- Analisar a classe econômica dos moradores dos bairros Cremação e Guamá na Região Metropolitana de Belém, considerando indicadores socioeconômicos.
- Comparar o perfil socioeconômico das comunidades dos bairros Cremação e Guamá com a composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos em cada região, identificando possíveis correlações entre classe econômica e padrões de geração de resíduos.
- Avaliar o impacto da renda per capita na quantidade de resíduos produzidos em cada bairro, utilizando indicadores como a geração per capita de resíduos e sua relação com o poder aquisitivo da população local.
- Analisar estatisticamente a composição gravimétrica de resíduos sólidos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. LEGISLAÇÃO APLICADA A RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A responsabilidade da gestão de resíduos sólidos está referida no âmbito federal pela Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e seu Decreto Regulamentador nº 7.404 de 2010 (BRASIL,2012). Entre seus principais preponderantes descritos na PNRS, Destaca-se no artigo 3º, parágrafo X, Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, que corresponde ao “conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, (...), sob a premissa do desenvolvimento sustentável;”(BRASIL, 2012) e, no parágrafo XVII, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, no qual todos possuem participação para o alcance da minimização do volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados. Tratando-se de sustentabilidade urbana, pode-se destacar como estes sendo os principais desafios enfrentados pelos municípios brasileiros para a gestão de resíduos sólidos.

No início dos anos 90 a questão dos resíduos sólidos começou a ter notoriedade no Brasil, isso acompanhando o aumento das famílias brasileiras e consequentemente maior consumo de produtos em gerais. Essa preocupação ambiental motivou órgãos reguladores na elaboração de medidas para contenção desse problema abrangente, assim as questões sobre atividades lesivas ao meio ambiente eram tratadas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, chamada Lei de Crimes Ambientais, nesta o lançamento de resíduos sólidos em qualquer estado incorrerá em crime havendo sanções penais (BRASIL,1998).

Nesse sentido, com o novo panorama nacional com relação a manejo de resíduos, havia a necessidade de uma legislação mais específica em relação ao gerenciamento de resíduos sólidos, dessa forma implementou-se a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que altera Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, no qual detalha “seus princípios, objetivos e instrumentos, (...) as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos (...)”. Destacando que todos são responsáveis pela disposição final adequada de resíduos sólidos, estando sujeito as sanções “pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos” (BRASIL, 2010).

Dessa forma, deve aplicar a responsabilidade compartilhada, tanto pelo setor público como o privado, envolvendo fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, cidadãos e titulares de serviços de manejo de limpeza urbana.

No tocante, no Art. 9º, ressalta que a gestão e gerenciamento de resíduos devem seguir a ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos, disposição ambientalmente adequada dos rejeitos.

Assim é importante que os estados e municípios trabalhem de forma integrada, em busca de uma gestão regionalizada dos resíduos sólidos urbanos, por meio de consórcios intermunicipais, tendo como incentivo a priorização no acesso aos recursos da União, pois é um requisito para acesso a fundos de financiamento (PEGIRS, 2014).

Nesta perspectiva, objetivando suprir as necessidades regionais de cada estado, a PNRS, trás a obrigatoriedade da elaboração de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), Art. 14º, parágrafo V, o qual objetiva direcionar os serviços de limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos em uma delimitação a nível municipal (BRASIL, 2012). Outrossim, em cada âmbito, levando em consideração as divisões espaciais do país, será obrigatório os planos na esfera nacional, estadual, microrregionais, para regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas, intermunicipais e plano de gerenciamento de resíduos sólidos, este enumerado na PNRS, Art. 14º.

A criação dos planos em suas esferas, devem prever metas para a eliminação e recuperação de lixões, buscando ações associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (BRASIL, 2010).

3.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A degradação ambiental está relacionada com uso de bens e serviços ambientais de forma discriminatória, afetando a qualidade de vida colocando em risco a subsistência as presentes e futuras gerações. Nos últimos anos, a capacidade de suporte do planeta vem sendo ultrapassada e a maneira como o ser humano lida com seus resíduos é um importante fator nesse cenário. O descarte irregular, ou buscar tecnologias para seu tratamento caminham lado a lado, uma vez que os cidadãos devem exercer a responsabilidade compartilhada para a disposição final dos resíduos sólidos (VEIGA, 2014); (AMADO, 2012).

Os problemas causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos no meio ambiente resultam na poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas, do ar,

além de alterarem as paisagens, pelo uso e ocupação do solo de forma desordenada. Causando problemas de saúde no homem, por agentes patogênicos ou substâncias químicas (SISINNO 2000); (EIGENHEER, 2003).

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento -PNSB, indica entre os anos de 1989 e 2008 um crescimento de 1,1% para 27,7 % na destinação de resíduos sólidos para aterros sanitários. Contudo, em municípios de pequeno porte, somente 58,3% dos resíduos são destinados de forma ambientalmente adequado, e 18% possuem programa de coleta seletiva, sendo o índice de compostagem igual a 1% do total descrito nos municípios.

De acordo com Reichert (2013) avaliando-se a PNSB (2008), esta apresentava uma perspectiva na produção de resíduos sólidos nos municípios, no tocante, verifica-se uma produção de 0,9 kg/hab.d, alcançando a 1,5 kg/hab.d em algumas capitais brasileiras, ou seja um aumento considerável em relação a geração per capita de anos atrás, correspondente a 0,5 kg/hab.d na média nacional.

Nesse sentido, entende-se como resíduos sólidos, de acordo com a norma ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação: define os resíduos sólidos como sendo:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004).

No tocante, resíduos sólidos pode ser definido ainda, De acordo com o artigo 3º, inciso XVI, da Lei nº 12.305 de 2010 caracterizam-se por ser constituídos de:

“Resíduos sólidos: 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.”
(BRASIL, 2010).

Nesse sentido, os resíduos sólidos é corresponde aos restos oriundos de atividades cotidianas do homem, sendo todo ou qualquer de refugo ou detritos, excetuando-se dejetos e outros materiais sólidos. Assim irão se classificar de acordo com sua natureza física, composição química e fonte geradora (BOSCOV, 2008; LIMA, 2004);

É importante ressaltar que “resíduos sólidos, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação pelas tecnologias disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010), são denominados como rejeitos. Sendo necessário sua destinação final em aterros sanitários ou para incineração.

Incluem-se nos rejeitos os materiais orgânicos e recicláveis contaminados, as cinzas provenientes de incineração dos resíduos sólidos hospitalares e de saúde (farmácia, clínicas odontológicas, veterinárias, etc.). Também denomina-se rejeitos os materiais radioativos e perigosos que são de responsabilidade dos gestores (JUNKES, 2002).

Assim, o termo “resíduos sólidos” possui várias definições, a fim de exemplificar seu significado, todas para melhor definir e desvencilhar do termo “lixo” associado aos restos de matérias os quais não existe valor econômico corrente, sendo sua destinação lixões ou aterro sanitário (MCDUGALL et al., 2001).

Entretanto, caracterizá-lo como inservível é errôneo, haja vista, o que não apresenta utilização útil para quem o descarta para outro poderá tornar-se matéria prima para um novo processo ou produto. Dessa forma, a ideia de reaproveitamento do lixo é um convite à reflexão do próprio conceito clássico de resíduos sólidos, como se o lixo pudesse ser conceituado como tal somente quando sua existência de alguém para reivindicá-lo para uma nova forma de utilização (ALCÂNTARA, 2017); (MONTEIRO, 2001)

3.3. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos precisam ser classificados a fim de destiná-los de maneira ambientalmente correta após o serviço de coleta e transporte. Esta classificação baseia-

se em suas características, origem, fonte, constituição e grau de periculosidade (BARROS, 2012) e estão descritas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10004/04, que dispõem sobre Resíduos Sólidos – Classificação. Nesta, estabelece 3 categorias de resíduos sólidos de acordo com a sua periculosidade:

a) Resíduos Classe I – Perigosos: Apresentam risco a saúde pública e ao meio. E possuem certa periculosidade ou uma das seguintes características: Inflamabilidade, Corrosividade, Reatividade, Toxicidade, Patogenicidade;

b) Resíduos Classe II – Não perigosos: Subdividem-se em duas classes:

- **Resíduos classe II A - Não inertes:**

Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B- Inertes, nos termos da NBR 10004/04. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- **Resíduos classe II B – Inertes:**

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Dessa forma, de acordo com a referida norma a classificação dos resíduos sólidos envolve “a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido” (ABNT NBR 10004:04). Outra maneira de classificação dos resíduos sólidos é a descrita pela Política Nacional de Resíduos Sólidos que classifica os resíduos em duas categorias:

I. Quanto a origem:

a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;

- b) resíduos de limpeza urbana: originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: englobam os resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os resíduos de limpeza urbana, de serviço de saneamento, de serviço de saúde, de construção civil e resíduo de transporte;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os resíduos sólidos urbanos;
- 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 a 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.
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados como perigosos de acordo com suas características descritas em resíduo perigoso.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Para o gerenciamento de resíduos sólidos (RS) é necessário o levantamento de dados qualitativos e quantitativos de suas características juntamente com suas variáveis socioeconômicas (BUENROSTRO e BOCCO, 2003). Ou seja, realizar a sua caracterização física, que define-se como a “determinação de seus constituintes e de suas respectivas porcentagens, em massa e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico e biológico” (ABNT, 2004).

De acordo com SCHALCH et al. (2002) e ANDRADE (1997), a identificação dos resíduos na sua fonte geradora, permite obter informações em relação as suas características físicas, químicas e biológicas, o que permite uma visualização da situação local da destinação de RS, permitindo definir a melhor forma para seu gerenciamento.

Nesse sentido, cada localidade deve obter sua própria composição gravimétrica, uma vez que existem alguns fatores que irão influenciar nesses dados (VIANA; SILVEIRA; MARTINHO, 2015), como:

- a) fatores econômicos (mais influente);
- b) fatores sazonais/climáticos;
- c) fatores demográficos;
- d) fatores geográficos;
- e) fatores culturais e temporais;
- g) fatores políticos, fatores legais/normativos;
- i) fatores especiais.

Nesse contexto, apresenta-se as principais características físicas dos resíduos sólidos gerados pela atividade humana são:

- **Composição gravimétrica:**

Refere-se ao percentual de cada componente do resíduo em relação à massa total da amostra realizada. Esta característica é fundamental para resíduos heterogêneos, como os RSU. Os dados podem variar de acordo com a metodologia aplicada, mas em sua essência é considerar os principais componentes dos resíduos (papel/papelão;

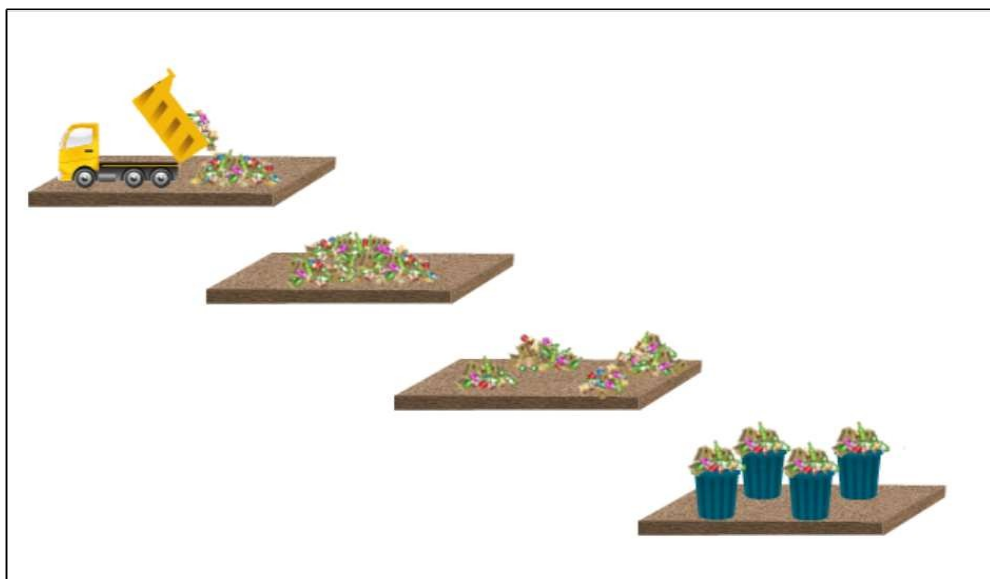
plásticos; vidros; metais; matéria orgânica e outros) e separá-los a fim de calcular suas porcentagens em uma amostra total.

- - **Método de amostragem:**

A amostragem de resíduos sólidos, de acordo com a NBR 1007:2004, objetiva coletar uma quantidade representativa de resíduos sólidos, para determinação de suas características quanto à classificação, métodos de tratamento entre outros.

A NBR 1007:2004 apresenta como método para realização da composição gravimétrica o quarteamento que é o processo divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogeneizada, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo é repetido até que se obtenha o volume desejado. Pessin et al. (2002) detalha o processo de quateamento, baseando em critérios de representatividade estatística, e aplicado a metodologia da NBR 1007:2004, comumente aplicada. A figura 1, exemplifica a metodologia.

Figura 1-Representação da coleta de amostra para análise de composição gravimétrica

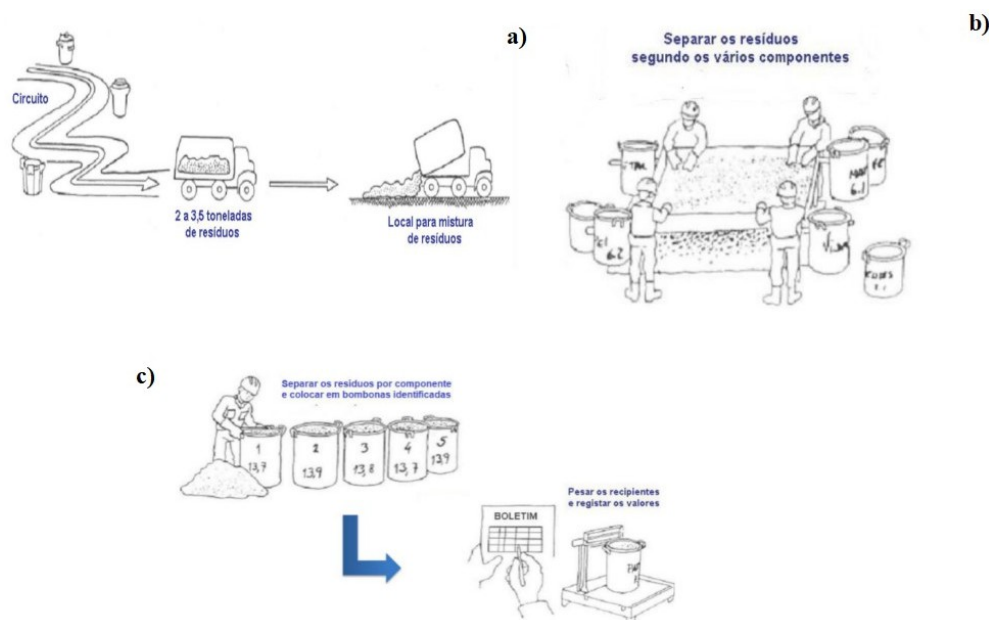


Fonte: Adaptado Faria, 2005.

Apesar desta metodologia ser amplamente divulgada, ao aplicá-la percebe-se a perda de informações ao homogeneizar os materiais para o quartearamento. Dessa forma, outra metodologia, consiste em definir um circuito de coleta de resíduos, percorrê-lo e recolher um número aleatório de sacolas com resíduos para cada ponto de coleta e depositá-los em algum meio de transporte de apoio (PGIRS, 2019).

De acordo com o PGIRS (2019), para que haja uma amostragem representativa e homogeneizada, é necessário percorrer circuitos de coletas com características distintas, ou seja, lugares que tragam uma representatividade geral dos imóveis que compõem a localidade que será objeto da gravimetria.

Figura 2- Metodologia para amostragem de análise para a composição gravimétrica.



Fonte: (PGIRS, 2019).

Dessa forma, para a determinação da composição gravimétrica, deve seguir os seguintes procedimentos:

1. Determinar a lista de resíduos, de acordo com os objetivos do trabalho;
2. . Espalhar o material dos latões sobre uma lona em uma área plana.
3. Separar os resíduos.
4. Classificar como "outros" o material que não se enquadre na listagem.
5. Pesquisar cada componente separadamente.
6. Dividir o peso de cada componente pelo peso total da amostra e calcular a composição gravimétrica em termos percentuais

O percentual de cada material em relação ao peso de resíduos da amostra é calculado por:

$$\square \quad (\%) = \frac{\text{Peso da fração do material(kg)}}{\square \quad \square \quad \square \quad \square \quad (\square)} \times 100$$

(Equação 1)

- **Umidade:**

Corresponde a relação entre a massa úmida (total de líquidos) e a massa seca (massa seca de sólidos) (FIRMO, 2013). Ou seja, representa a quantidade de água presente no resíduo, medida em percentual do seu peso. Pode variar de acordo com a composição gravimétrica, profundidade, pluviometria e condições interna e superficial do maciço (BOSCOV, 2008).

Sua determinação ocorre de acordo com os seguintes procedimentos (CARVALHO, 1999):

1. Prepara-se a amostra, pesa-se uma sub-amostra de dois litros.
2. Coloca-se seu conteúdo em uma estufa a 105°C por um dia ou a 75°C por dois dias consecutivos.
3. Realiza-se a pesagem do material seco até que os resíduos apresentem peso constante.
4. Subtrai-se o peso da amostra úmida do peso do material seco e determina-se o teor de umidade em termos percentuais.

Para esta determinação utiliza-se a seguinte equação para umidade a base úmida e umidade a base seca:

$$U\% = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

(Equação 2)

Onde: U% : é a umidade da amostra de resíduo (%)

Pu: Peso da amostra úmida (kg)

Ps: Peso da amostra seca (kg)

- **Compressibilidade:**

É o grau de compactação que ocasiona a redução do volume da massa de resíduo, quando submetido a uma pressão de 4kg/cm², no qual o volume do lixo pode ser reduzido de um terço (1/3) a um quarto (1/4) do seu volume original (HABITZREUTER, 2008).

- **Peso específico:**

De acordo com Barros (2012), é a relação entre o peso dos resíduos (em kg), em função do volume ocupado livremente, sem qualquer forma de compactação, e será expresso em kg/m³. Destaca-se que sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações.

A equação para sua determinação é dada por:

$$\rho = \frac{P}{V}$$

(Equação 3)

Onde:

P = peso da amostra (kg)

V = volume da amostra (m³)

- **Geração per capita**

A geração per capita é a relação entre a quantidade de resíduos urbanos diários gerados em relação ao número de habitantes de uma determinada região. Esses valores podem ser inferiores em decorrência de dados locais, regionais ou nacionais (BARROS, 2012).

Considera-se o valor de 0,5 a 0,8 kg/hab./dia como a variação média para o Brasil, no caso de ausência de dados mais precisos, a geração per capita pode ser estimada por meio das seguintes faixas (MONTEIRO, 2001):

- a) Cidade pequena (até 30 mil habitantes): **0,5** (geração per capita (kg/hab/dia)
- b) Cidade média (de 30 mil a 500 mil): **0,5 a 0,8** (geração per capita (kg/hab/dia)
- c) Cidade grande (de 500 mil a 5 milhões): **0,8 a 1,0** (geração per capita (kg/hab/dia)
- d) Megalópole (acima de 5 milhões): **maior que 1,0** (geração per capita (kg/hab/dia).

Relação Produção de resíduos sólidos por habitante (MONTEIRO, 2001):

- a) Até 100 mil: **0,40** (produção per capita (kg/hab dia).
- b) De 100 a 200 mil: **0,50** (produção per capita (kg/hab dia).
- c) De 200 a 500 mil: **0,60** (produção per capita (kg/hab dia).
- d) Maior que 500: **0,70** (produção per capita (kg/hab dia).

Assim, segue-se os seguintes procedimentos:

1. Medir o volume de lixo encaminhado ao aterro diariamente;
2. Cálculo do peso total do lixo aterrado, utilizando o peso específico;
3. Avaliação do percentual da população atendida pelo serviço de coleta;
4. Cálculo da população atendida, aplicando o percentual avaliado;
5. Cálculo da taxa de geração per capita (Gpc) .

Dado pela seguinte equação:

$$\square = \frac{\text{Peso de resíduos}}{\text{População} \times \frac{Co}{100}}$$

(Equação 4)

Onde:

Gpo: geração per capita (kg/hab dia)

Co: Cobertura do serviço de coleta (%)

No que tange aspectos relacionados a caracterização de resíduos sólidos, destaca-se como características químicas (MONTEIRO, 2001):

- **Poder calorífico:** É a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à combustão. No caso de resíduos sólidos urbanos, o poder calorífico médio situa-se na faixa de 5.000 kcal/kg.
- **Potencial hidrogeniônico (pH):** É o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Encontra-se em uma faixa de 5 a 7.
- **Composição química:** Determina os teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.
- **Relação Carbono/Nitrogênio (C:N):** Indica o grau de composição da matéria orgânica dos resíduos durante os processos de tratamento/disposição final. Geralmente essa relação encontra-se em uma ordem 35/1 a 20/1.

Outra característica importante para destacar é a biológica dos resíduos sólidos que são determinadas pela quantidade de microrganismos presentes nas massas residuais de matéria orgânicas dos resíduos sólidos urbanos. No qual, os seus principais decompositores são as bactérias, fungos e protozoários. Ressalta-se que o grupo de bactérias presentes na decomposição anaeróbicas, são bactérias fermentativas, acetogênicas produtoras de H₂, acetogênicas consumidoras de H₂ e as metanogênicas (SILVA, 2013; BARROS, 2012).

3.5.GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Denomina-se gerenciamento integrado de resíduos sólidos o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e

disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Nesse sentido, corresponde ao envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e sociedade civil, tendo como objetivo a realização da limpeza urbana, a coleta, tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, assim como realizar o desenvolvimento de atividades técnicas operacionais e de manutenção, de maneira a elevar a qualidade de vida da população. Considerando ainda as fontes geradoras, o volume de resíduos e as características sociais, climáticas e econômicas dos cidadãos (MONTEIRO, 2001; BARROS, 2012; SISTEMA FIRJAN, 2006).

Ressalta-se que gestão de resíduos sólidos é diferente de gerenciamento. O primeiro abrange atividades referentes à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor, envolvendo instituições políticas e instrumentos para sua gestão. O segundo, refere-se a aspectos operacionais, que envolve fatores administrativos, gerenciais, econômicos e ambientais. (LEITE, 1997).

A gestão de resíduos sólidos urbanos é um grande desafio para o desenvolvimento sustentável, e é uma ferramenta primordial para a minimização dos problemas relacionados ao descarte inadequado de resíduos sólidos, como a poluição hídrica, do solo entre outros (SEMAS, 2012).

Outrossim, o gerenciamento integrado envolve a multidisciplinaridade de atividades que inclui (BRASIL, 2010, FEDRIZZI, 2013; SETHI et al., 2013; GALLARDO et. al., 2015;):

- a) **Minimização/redução da fonte geradora:** Práticas a fim de evitar a geração de resíduos, primordialmente, ou realizar sua destinação a reutilização e reciclagem.
- b) **Segregação:** separar os resíduos sólidos de acordo com suas características, evitando misturas de classes diferentes, objetivando sua destinação a reutilização e reciclagem e segurança no seu manuseio.
- c) **Acondicionamento:** especificar a tipologia do resíduo para dispor em seu recipiente específico.
- d) **Coleta/transporte interno:** Descrição dos procedimentos de coleta de resíduo interna e externa, destacando-se a adoção de medidas preventivas para o manuseio de resíduos sólidos.

- e) **Acondicionamento:** Delimitação das áreas de armazenamento temporário e forma de armazenagem dos resíduos, em busca da proteção segurança e proteção ambiental.
- f) **Reutilização:** Adoção de alternativas de uso direto do resíduo após seu descarte, aproveitando suas características físicas.
- g) **Reciclagem:** Adoção de medidas para recuperação e reuso dos constituintes dos materiais descartados.
- h) **Coleta/transporte externo:** Realização de coleta de resíduo, definindo sua frequência, horário e o veículo de transporte.
- i) **Destinação final:** Delimitação do tratamento adequado para cada tipo de resíduo e quando não houver possibilidade sua destinação final a aterro sanitário.

Nesse sentido, o gerenciamento de resíduos sólidos engloba todas as condicionantes inerentes ao processo. Assim, torna-se importante entender todas as etapas de coleta e destinação final de resíduos, para o planejamento adequado, verificando a quantidade de resíduo gerado, localização estratégica da estação de transferência de resíduo, tratamento e disposição final (MELO, 2015; NASCIMENTO, 2020).

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estatística descritiva é uma ferramenta fundamental na análise e interpretação de dados, permitindo uma compreensão detalhada das características de uma amostra ou população. As inferências estatísticas, incluem cálculos de média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação, além da confecção de gráficos, visando uma análise mais completa e abrangente dos dados coletados.

Segundo Montgomery et al. (2015), a média é uma medida de tendência central que representa o valor típico de um conjunto de dados, calculada pela soma de todos os valores dividida pelo número total de observações. Já a mediana, de acordo com Triola (2018), é o valor central de um conjunto de dados ordenados, que separa a metade inferior da metade superior da distribuição.

O desvio padrão, conforme definido por Moore et al. (2013), é uma medida de dispersão que indica a variabilidade dos dados em torno da média, sendo calculado

como a raiz quadrada da variância. Enquanto isso, o coeficiente de variação, segundo Lind et al. (2019), é uma medida relativa de dispersão que expressa o desvio padrão como uma porcentagem da média, possibilitando a comparação da variabilidade entre diferentes conjuntos de dados independentemente de suas unidades de medida.

Além das medidas resumidas, a confecção de gráficos desempenha um papel crucial na análise exploratória de dados. Segundo Field et al. (2012), os gráficos permitem visualizar padrões, tendências e relações nos dados para a interpretação dos resultados.

No tocante, outro ponto a destacar dentre a análise estatística é a “Estatística analítica”, no qual é um ramo da estatística que se concentra na aplicação de técnicas estatísticas avançadas para analisar dados complexos e realizar inferências sobre populações com base em amostras. Diferentemente da estatística descritiva, que se preocupa principalmente em descrever e resumir os dados, a estatística analítica busca entender as relações entre as variáveis, testar hipóteses e fazer previsões.

Neste contexto, uma das técnicas amplamente utilizadas na estatística analítica é a análise de regressão. Segundo Montgomery et al. (2015), a análise de regressão permite investigar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, fornecendo ideias sobre como as mudanças em uma variável estão associadas a mudanças em outra(s). Esta técnica é valiosa em diversos campos, como economia, ciências sociais, engenharia e medicina, onde é comum buscar entender como diferentes fatores influenciam um determinado resultado.

Outra técnica importante na estatística analítica é a análise de variância (ANOVA). De acordo com Lind et al. (2019), a ANOVA é usada para comparar as médias de três ou mais grupos e determinar se há diferenças estatisticamente significativas entre eles. Esta técnica é especialmente útil quando se deseja avaliar o efeito de diferentes tratamentos ou condições experimentais em uma variável de interesse.

Além disso, a estatística analítica também engloba técnicas de amostragem, como o cálculo de intervalos de confiança e a realização de testes de hipóteses. Essas técnicas permitem fazer inferências sobre uma população com base em uma amostra, avaliando a confiabilidade e a significância dos resultados obtidos.

Dessa forma, os métodos de análises estatísticas são ferramentas eficazes para extrair informações úteis de conjuntos de dados complexos, possibilitando a tomada de

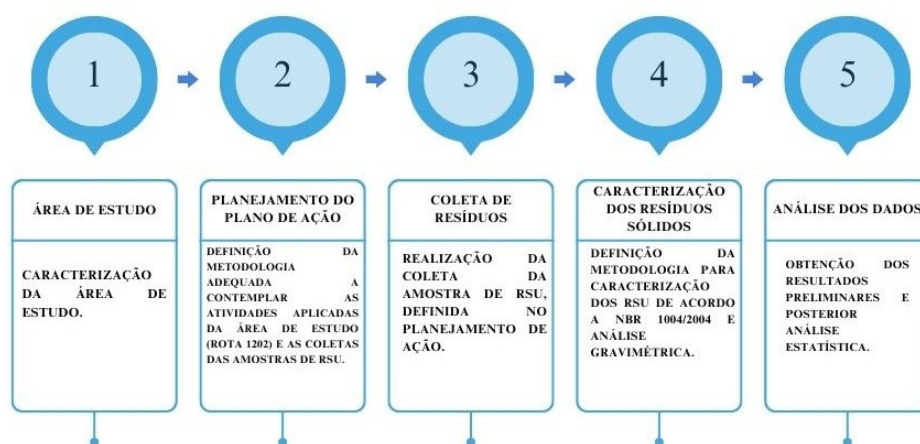
decisões embasadas em evidências e a compreensão mais profunda de fenômenos observados em diversas áreas do conhecimento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, o estudo teve início com a elaboração do plano de trabalho, seguido pela aplicação da metodologia definida. Essas etapas foram realizadas no ano de 2022 e estão detalhadas nos seguintes subitens: delimitação da área de estudo, elaboração do plano de ação, coleta das amostras, determinação da composição gravimétrica e análise dos dados.

Na Figura 3 apresenta os procedimentos metodológicos das etapas e atividades desenvolvidas.

Figura 3 - Etapas metodológicas



Fonte: Adaptado de Assunção, 2022.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Belém, capital pertencente ao estado do Pará, está localizada nas coordenadas geográficas: Latitude 01° 27' 21" e Longitude 48° 30' 01". Corresponde a uma área de 1.059,402 km².

Possui uma população de 1.452.275 habitantes (IBGE, 2017). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município de Belém, medida composta dos indicadores de longevidade, educação e renda, é considerado médio (0,746 em 2010), sendo o maior valor entre as cidades do Estado e da Região Norte do Brasil.

O município apresenta o Produto Interno Bruto (PIB) em uma ordem de R\$ 25,772 bilhões em valores correntes, que correspondente a 48,22% do valor do PIB do Estado do Pará (IBGE, 2017).

4.2. ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

A empresa prestadora de serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos de Belém é a TERRAPLENA LTDA, a qual atua em 21 bairros da região metropolitana.

Dessa forma, com vista a obtenção de dados quantitativos e qualitativos dos RSU, e baseando-se na pré análise em campo da dinâmica de coleta da prestadora de serviço, elaborou-se um plano de ação que contemplasse as rotas de coleta, a definição do volume dos resíduos recém-depositado para a amostragem, transporte dos resíduos finais coletados para aplicação da composição gravimétrica, e posterior tratamento de dos dados estatisticamente.

4.3. DESCRIÇÃO DA DINÂMICA DAS ROTAS DE COLETA DE RESÍDUOS

A área urbana de Belém que corresponde a área de estudo atendida pela prestadora TERRA PLENA LTDA, de acordo com a divisão do Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém, pertence ao Lote 1 (BELÉM, 2020), contemplando 21 bairros (Figura 4), englobados por 37 itinerários (roteiros) tabela 1.

Ressalta-se que compreender o fluxo dos resíduos sólidos gerados por pelo menos uma das rotas foi fundamental para entendimento do gerenciamento de RSU e aplicação das posteriores etapas do trabalho.

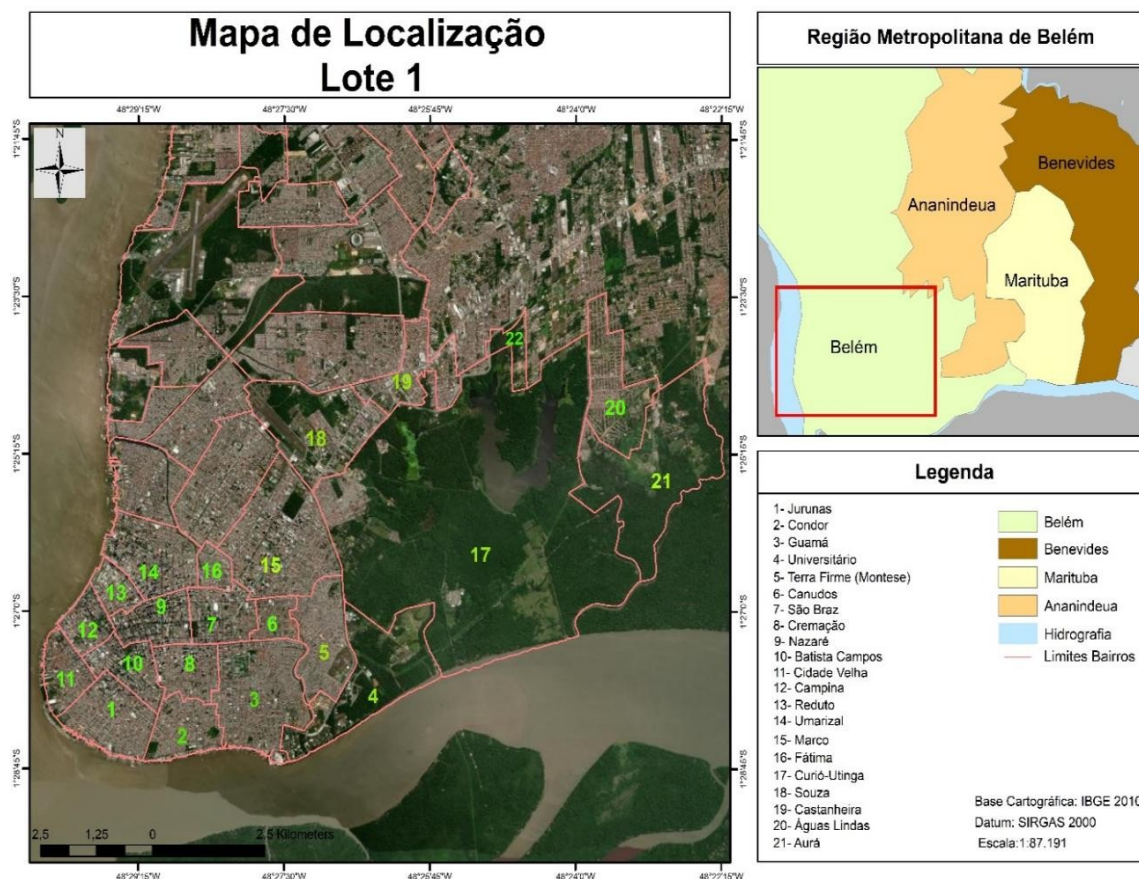
Tabela 1- Turnos e dias de coleta nos roteiros da Terraplana

Roteiros	Turno	Dias de coleta	Roteiros	Turno	Dias de coleta
1101	Diurno	3º, 5º e sáb.	1404	Noturno	Diário
1102	Diurno	3º, 5º e sáb.	1405	Noturno	Diário
1103-1	Diurno	3º, 5º e sáb.	1406	Noturno	Diário
1103-2	Diurno	3º, 5º e sáb.	1407	Noturno	Diário
1104	Diurno	3º, 5º e sáb.	1408	Noturno	Diário
1201	Diurno	2º, 4º e 6º	1409	Noturno	Diário
1202	Diurno	2º, 4º e 6º	1410	Noturno	Diário
1203	Diurno	2º, 4º e 6º	1411	Noturno	Diário
1204	Diurno	2º, 4º e 6º	1412	Noturno	Diário
1301	Diurno	Diário	1413-1	Noturno	Diário
1302	Diurno	Diário	1413-2	Noturno	Diário
1303	Diurno	Diário	1414	Noturno	Diário

Roteiros	Turno	Dias de coleta	Roteiros	Turno	Dias de coleta
1304	Diurno	Diário	1415	Noturno	Diário
1305	Diurno	Diário	1416	Noturno	Diário
1306	Diurno	Diário	1801	Noturno	2°, 4° e 6°
1307	Diurno	Diário	1802	Noturno	2°, 4° e 6°
1401	Noturno	Diário	1901	Noturno	3°, 5° e sáb.
1402	Noturno	Diário	1902	Noturno	3°, 5° e sáb.
1403	Noturno	Diário	-	-	-
1101	Diurno	3°, 5° e sáb.	1404	Noturno	Diário
1102	Diurno	3°, 5° e sáb.	1405	Noturno	Diário
1103-1	Diurno	3°, 5° e sáb.	1406	Noturno	Diário
1103-2	Diurno	3°, 5° e sáb.	1407	Noturno	Diário
1104	Diurno	3°, 5° e sáb.	1408	Noturno	Diário
1201	Diurno	2°, 4° e 6°	1409	Noturno	Diário
1202	Diurno	2°, 4° e 6°	1410	Noturno	Diário
1203	Diurno	2°, 4° e 6°	1411	Noturno	Diário
1204	Diurno	2°, 4° e 6°	1412	Noturno	Diário
1301	Diurno	Diário	1413-1	Noturno	Diário

Fonte: Assunção (2022).

Figura 4 - Setorização da área atendida pela TERRAPLENA



Fonte: Assunção (2022).

No tocante, a TERRAPLENA LTDA atende os seguintes bairros: Cremação, Nazaré, Terra Firme, Batista Campos, Cidade Velha, Jurunas, Condor, Guamá, Universitário, Canudos, São Braz, Fátima, Reduto, Umarizal, Marco, Curió-Utinga, Aurá, Águas Lindas, Guanabara, Campina, Castanheira, incluindo-se também o distrito de Mosqueiro (BELÉM, 2020).

Para definição do espaço amostral de coleta, escolheu-se aleatoriamente a rota 1202, codificação definida pela prestadora de serviço, que corresponde aos bairros Cremação e Guamá, classificados como classes D e E, de acordo com a definição do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, que define esta categoria pela características socioeconômicas e de densidade demográficas.

Para realizar os agrupamentos, os bairros foram divididos com base na renda nominal média, seguindo a metodologia proposta pelo IBGE (2010), a qual é amplamente reconhecida e utilizada para classificar a população brasileira em cinco classes sociais: A, B, C, D e E. Esta classificação é estabelecida a partir da renda total

de um grupo familiar, conforme também destacado por Menezes et al. (2019). Conforme tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de classe social a partir da renda nominal média

Classe Social	Renda Nominal Média
A	Acima de 20 salários mínimos
B	De 10 a 20 salários mínimos
C	De 4 a 10 salários mínimos
D	De 2 a 4 salários mínimos
E	Abaixo de 2 salários mínimos

Fonte: IBGE (2010).

No município de Belém, não há bairro com renda familiar média superior a 10 salários mínimos. Portanto, o agrupamento foi conduzido exclusivamente entre bairros classificados nas classes sociais C, D e E. A partir do levantamento da renda média familiar em cada bairro e da classificação das respectivas classes sociais, foi viabilizada a realização do agrupamento dos bairros em setores.

Dessa maneira, ao somar a média das rendas domiciliares per capita das classes D e E dos bairros de Belém, corresponde a 85,71% do total. Além disso, ao somar a população dos bairros do município de Belém que englobam as classes D e E, totaliza-se 92,01%. Portanto, a escolha da rota 1202, que abrange dois bairros de classes D e E, foi feita por representar de forma significativa a análise gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) do município de Belém, além de possuir características específicas que a tornam relevante para o estudo em questão.

Figura 5- Roteiro das coletas dos Bairros Cremação e Guamá



Fonte: Assunção (2022).

O bairro da Cremação localiza-se no centro urbano desenvolvido e faz fronteira com os bairros de Nazaré, São Brás e Batista Campos. Possui uma população de 31.264 habitantes com renda per capita de R\$ 1.093,9 de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, sendo assim, pertence à classe econômica D. A sua área é composta por feiras, comércios, escolas, prédios residenciais e casas, além do mais, o bairro é beneficiado pela coleta de resíduos sólidos, realizada em dias alternados.

Ademais, o bairro do Guamá é o mais populoso do município de Belém, com 94.610 habitantes. De acordo com os dados de 2010 do IBGE, a renda per capita da sua população é de R\$525,8 e quanto a sua classificação econômica pertence à classe E. O bairro é favorecido pelos serviços de coleta de resíduos sólidos que podem ser frequentes, diárias ou alternadas, tendo em vista às atividades locais. Tabela 3.

Tabela 3 - Estratificação Classificação econômica

Bairro	População (hab)	Renda Nominal Média	Classificação Socioeconômica
CRE MAÇÃO	31.264	R\$ 1.093,94	D
GUAMÁ	94.610	R\$ 525,80	E

Fonte: IBGE (2010).

4.3.1. Definição do volume de resíduos, espacialização dos pontos de amostragem e coleta das amostras.

Para realizar a amostragem estatística, foi conduzida uma simulação utilizando o software STATIDISK 13.0 (Statsoft, 2022), como ilustrado na Figura 6. O objetivo foi calcular o tamanho da amostra necessário para obter uma representatividade estatística na determinação da composição gravimétrica da massa total dos resíduos sólidos urbanos coletados.

Na simulação, foi realizada uma análise estatística dos dados obtidos através da capacidade do caminhão coletor da empresa. Foi considerado um volume de 15m³ como o tamanho da população para cada rota. Para garantir uma confiabilidade estatística, foi estabelecido um nível de significância de 5% nos testes, com um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 10%.

Os resultados da simulação indicaram que uma amostra de massa aproximadamente 100 kg seria necessária para atender aos critérios estabelecidos, garantindo assim uma representatividade estatística adequada na análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos.

Figura 6- Software STATIDISK 13.0

The screenshot shows the 'Tamanho da amostra: Proporção estimada' (Sample Size: Estimated Proportion) tool in Statdisk Online. The interface includes a blue header with the Statdisk Online logo and navigation tabs: 'Análise', 'Reamostragem', 'Dados', and 'Conjuntos de dados'. The main form has four input fields: 'Nível de confiança' (Confidence Level) set to 0.95, 'Margem de erro, E:' (Margin of Error, E:) set to 0.1, 'Estimativa de p:' (Estimate of p:) set to '(se conhecido)' (if known), and 'Tamanho da população, N:' (Population Size, N:) set to 15000. A green 'Avalie' (Evaluate) button is at the bottom of the form. To the right, a results box displays: 'Required sample size is: 96', 'Assumed the population was sampled without replacement.', and 'Assumed a proportion of 0.5.'

Fonte: Assunção (2022).

Adiante, determinou-se que os pontos das coletas fossem selecionados de forma aleatória (6), de forma a diversificar a amostragem dos resíduos sólidos em cada bairro. Esta metodologia seguiu os procedimentos descritos por Nunes (2015); Alcântara (2007); Mariano *et al.*, (2007); NBR (10:007) e Firmo (2013) para a realização da determinação de sua composição percentual, em peso, de cada tipo de material encontrado nos resíduos.

No planejamento das coletas, realizou-se a análise com os dados de precipitação da estação pluviométrica mais próxima dos bairros Cremação e Guamá. Para análise do regime pluviométrico sazonal utilizou-se a normal climatológica da Estação Belém por meio do ciclo anual pluviométrico, que consiste no cálculo das precipitações mensais médias. No geral, constatou-se que o regime apresenta dois períodos bem definidos durante o ano, o período chuvoso que envolve os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio, e o período seco (menos chuvoso) que se estende pelos meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro.

Na presente pesquisa optou-se pela identificação de período seco em detrimento de período menos chuvoso, de forma que a nível de facilitação, a expressão seca se encaixa de forma mais adequada nos diferentes climas do país, por mais que na cidade de Belém não haja um período com ausência de chuvas, mas de menor intensidade de precipitações. Assim, com base nas informações pluviométricas, as campanhas foram realizadas quatro vezes (4) no período seco.

Para começo de coleta eram feitas as separações dos seguintes itens: carro a percorrer todo o percurso realizado pelo caminhão coletor, EPI (Equipamento de proteção individual) como luvas de procedimento, sapatos fechados e máscaras para a proteção da equipe, sacolas plásticas de 200 kg, GPS (Global Positioning System) da marca Garmin, modelo Montana 600 para a identificação das informações do itinerário, câmera fotográfica para o registro das atividades, prancha para possíveis anotações e documento de autorização para entrada na UFPA.

Figura 7- Equipamentos e Utensílios utilizados na coleta



Fonte: Assunção (2022).

As campanhas foram realizadas seguindo o cronograma das rotas internas da TERRAPLENA nos dias (segunda, quarta e sexta) e horário (matutino) conforme tabela 2. As frequências foram determinadas para Quatro (4) dias e o processo de amostragem foi realizado de acordo com a Norma Brasileira 10007/2004, intitulada Amostragem de Resíduos Sólidos, que recomenda o mínimo de três amostras para a obtenção da faixa de variação da concentração do resíduo (ABNT, 2004).

Tabela 4 - Cronograma de campanhas dos resíduos sólidos

Data	Horário
18/10/2021	07h 30min
20/10/2021	07h 30min
27/10/2021	07h 30min
29/10/2021	07h 30min

Levando em consideração a delimitação do itinerário, optou-se por pontos de amostragem que não fossem próximos a clínicas médicas, veterinárias, hospitais, supermercados, pequenas empresas, feiras e comércios, porém, próximo de locais residenciais como residências, *kitnets*, e entrada de vilas, devido a concentração de resíduos sólidos nesses pontos serem constantes e para que obtivessem a maior variação de resíduos domiciliares. No entanto, em determinados pontos a coleta de amostragem não ocorreu mais de uma vez, pois os resíduos nem sempre estavam descartados nos mesmos locais e/ou de maneira adequada.

Foi realizada a coleta de aproximadamente 100 kg do material, em cada campanha, parcialmente úmido escolhido aleatoriamente em cada ponto de coleta. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos com capacidade de 200 litros, ver Figura 8. Posteriormente, transportadas até o laboratório de Engenharia Sanitária da UFPA para a realização da etapa determinação da análise gravimétrica.

Figura 8 - Coleta de amostras de RSU nos bairros da Cremação e Guamá.



Adiante o material foi transportado para a área de experimentos de Lodo e Compostagem da UFPA que é plana e livre de umidade (Figura 9). Com o auxílio de dez (10) pessoas os resíduos foram pesados e depositados sobre uma superfície impermeabilizada por lonas grossas (6 x 6 m), abrindo-se todas as sacolas, sacos, caixas e outros materiais em que estavam acondicionados, revolvidos com auxílio de materiais de jardinagem (enxadas e garfos de cabo).

Em seguida os resíduos coletados foram dispostos primeiramente em bombonas e depois em balde de polietileno de 200 litros e posteriormente pesados em balança digital tipo plataforma, marca Welmy, modelo W200/5 (Classe 3). Considerando-se que em cada coleta foi determinado a massa e volume total de resíduos gerados

$$\text{Peso Total Resíduos (Kg)} = \text{Peso do balde com resíduos (Kg)} - \text{Peso do Balde (Kg)}$$

(Equação 4)

Figura 9 - Composição gravimétrica dos RSU da rota 1202 (Cremação e Guamá)



Legenda*: a) disposição das lonas; b) pesagem do material da coleta; c) sacos plásticos sendo abertos com o auxílio de pás e garfos; d) balde plástico para a pesagem; e) pesagem de matéria orgânica.

4.4. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

4.4.1. Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

A classificação dos RSU é estabelecida pela PNRS (Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010) e conforme a origem eles são classificados como resíduos domiciliares (os originários de atividades domésticas em residências urbanas) e os originários da varrição, limpeza de logradouros, vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.

Devido à composição extremamente heterogênea e diversificada dos resíduos urbanos, decidiu-se utilizar os critérios estabelecidos de acordo com os estudos realizados por Nunes (2015); Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRSU) de 2019; NBR 10004 (ABNT, 2004) para a segregação e classificação dos

materiais constituintes da massa coletada. No Quadro 1 estão definidos os materiais de interesse do estudo.

Quadro 1- Classificação dos materiais

Categoria	Exemplos
Vidro	Embalagens, espelho, superfícies vítreas, garrafas;
Papel	Jornais, revistas, livros.
Papelão	Embalagens de papelão
Embalagem longa vida	Embalagens de sucos e leite
Plástico Rígido	Garrafas, tampas e embalagens plásticas (PET, PP, PVC, PEAD, PS);
Plástico Maleável	Sacos plásticos (PEBD);
Metal	Embalagens de alumínio, fios de cobre, arames;
Matéria Orgânica	Restos de alimentos, serragens, folhas;
Inerte	Papel higiênico, fraldas descartáveis, absorventes, máscaras.

4.4.2. Método e Análise Estatística

Muitos pesquisadores recomendam fortemente a transformação adequada de dados, como modelos exponenciais, quadráticos, recíprocos, logarítmicos ou de potência, bem como a transformação Box-plot antes de análises estatísticas multivariadas, a fim de cumprir as condições de distribuição normal, facilitar a visualização dos dados ou melhorar a interpretação (OSBORNE, 2010, WANG et al., 2013).

5.3.4.1 Tratamento dos dados da pesquisa

O conjunto de dados da pesquisa foi organizado em planilhas do Programa no Microsoft® Office Excel® 2010, posteriormente analisadas no Programa estatístico R (R_2.12). Dessa forma, realizou-se análise descritiva dos dados para conhecimento da população e aplicação dos testes estatísticos (HAIR et al. 2009; FIELD, 2009).

5.3.4.2 Estatística Descritiva

Para a caracterização da distribuição amostral do conjunto de dados, foram utilizadas medidas de tendência central e de dispersão. As medidas de tendência central, ou medidas de posição, sinalizam o meio da distribuição dos dados (como a média, a mediana e a moda) ou outros pontos importantes da distribuição (como os quartis). As medidas de dispersão, por outro lado, apontam a variabilidade dos dados (como a variância, o desvio padrão, o desvio médio absoluto, a amplitude total e a distância interquartílica) (HAIR et al., 2009; FIELD, 2009).

A estatística descritiva possibilitou avaliar as variações nos dados amostrais dos nove (9) setores onde foram coletados os resíduos. Foram realizadas inferências (Média, Mediana, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação das amostras e a confecção de gráficos). Os resultados das análises das variáveis relativas possibilitaram analisar qual foi o maior percentual entre os resíduos em cada coleta.

5.3.4.3 Estatística Analítica

Compreender a distribuição de probabilidade de uma variável aleatória é crucial, especialmente ao escolher os métodos estatísticos calculados. Aqui estão alguns pontos importantes: comprovação da normalidade multidimensional (esfericidade dos dados), como exemplo, para a aplicação das análises multivariadas.

Neste estudo, o primeiro passo para a avaliação da normalidade do conjunto de dados da pesquisa foi a elaboração de histograma, a fim de identificar as assimetrias, descontinuidades de dados e picos multimodais, ou seja, testar se as observações provêm de uma população com distribuição normal. Após a verificação de normalidade dos dados, há vários testes estatísticos que possibilitam o ajuste dos dados à distribuição normal. Este ajuste é feito a partir de diferentes pressupostos e algoritmos. Com o ajuste realizado, os testes de normalidade sofrem influência com relação ao tamanho amostral e à eficiência. Assim, todos os testes pressupõem a hipótese de normalidade dos dados (H_0), retornando a um p-value ou significância $> 0,05$, se resultarem na aderência aos parâmetros de normalidade (FIELD, 2009; HAIR et al., 2009).

Nessa avaliação foram realizadas inferências com: (a) Teste de Normalidade (b) Teste Hipóteses Paramétrico; e (c) Análise Multivariada para os resultados das análises

das variáveis relativas ao agrupamento dos setores em três regiões de classificação socioeconômica diferentes.

a) Teste de Normalidade

Utilizando o software R Statistics (R Core Team, 2023), realizou-se a análise estatística dos dados obtidos em campo, com a consideração de um nível de significância de 5% na execução dos testes.

Inicialmente o teste foi aplicado para verificar se os valores da amostra são compatíveis com a população que ela representa, tendo assim uma distribuição normal (AYRES, 2012). Nesse teste foi avaliada a distribuição dos dados amostrais de cada variável em estudo, sendo verificado se os dados de cada fração de resíduos sólidos urbanos dos setores coletados são paramétricos (possuem distribuição normal) ou não-paramétricos (não possuem distribuição normal).

O teste selecionado foi o Shapiro-Wilk (teste W), pois calcula amostras: $2 < n < 50$. O resultado do teste é obtido dividindo-se o quadrado da combinação linear apropriada dos valores ordenados da amostra pela variância simétrica estimada (AYRES, 2012). O teste foi executado, juntamente com uma análise de distribuição de probabilidade (Q-Q plot), além da estatística descritiva do conjunto de dados. Por meio da análise do gráfico de Pareto, as frações de resíduos orgânicos e inerte dos nove setores foram levadas em consideração, uma vez que essas frações predominam em todas as amostras e, por conseguinte, são de maior interesse.

Após verificar a normalidade de ambas as frações, procedeu-se à realização do teste paramétrico de análise de variância de classificação simples (One-way ANOVA), assim como a verificação das seguintes hipóteses:

- I. H_0 : as médias dos materiais são iguais;
- II. H_1 : as médias dos materiais são diferentes.

Este teste comparou as médias das frações de resíduos orgânicos e inertes dos diferentes setores, avaliando a presença de diferenças estatisticamente significativas entre elas, com um nível de confiança de 95%. Para a condução desses testes, realizou-se uma análise crítica na qual foi estabelecido um limite de dois desvios padrão para identificar e remover os valores atípicos, que são frequentemente encontrados em conjuntos de dados ambientais.

Com o intuito de aprofundar a compreensão das discrepâncias observadas entre duas médias específicas, recorreu-se ao método de comparação múltipla Tukey. Isso envolveu a definição de diversos níveis de significância (α) para a avaliação dos contrastes mais significativos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vantagem significativa da aplicação da análise estatística em pesquisas experimentais é sua habilidade em precisamente determinar a interdependência de parâmetros cruciais do processo e como eles afetam o desempenho global do sistema. Essa compreensão mais aprofundada pode orientar os pesquisadores na tomada de decisões fundamentadas e na formulação de estratégias para aprimorar o desempenho desses sistemas.

3.1.1 Estatística Descritiva da Composição Gravimétrica

A composição dos RSU é diretamente afetada por uma variedade de fatores: estatuto socioeconômico, condições culturais, hábitos alimentares, estação do ano, localização geográfica, etc. Os dados gravimétricos referentes aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) dos bairros Cremação e Guamá, durante o intervalo de 18/10/2021 a 29/10/2021, são apresentados na Tabela 5. As análises foram conduzidas em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especificamente a norma ABNT NBR 10007 (2004), já descrito por (ASSUNÇÃO et al., 2022).

Tabela 5 - Análise gravimétrica das frações de Resíduos Sólidos Urbanos da Rota 1202 (Cremação e Guamá) (Assunção et al., 2022).

Rota	1202		1202		1202		1202	
Data da Coleta	18/10/2021		20/10/2021		27/10/2021		29/10/2021	
Massa de RSU	102.00		106.5		107.25		113.5	
Fração de RSU	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
Papel	1.0	0.98	2.70	2.54	4.70	4.40	3.70	3.27
Papelão	2.05	2.01	2.60	2.45	3.60	3.37	2.90	2.56
Tetra Pak	1.10	1.08	1.10	1.04	2.05	1.92	0.30	0.26
Plástico Rígido	4.75	4.66	10.25	9.65	2.40	2.25	7.95	6.76
Plástico Maleável	9.65	9.47	4.30	4.05	5.90	5.53	11.15	9.85
Metal	4.80	4.71	1.75	1.65	5.50	5.16	1.60	1.41
Matéria Orgânica	55.50	54.44	69.95	65.84	62.40	58.50	76.40	68.52
Vidro	9.80	9.61	1.60	1.51	1.90	1.78	0.35	0.33
Inerte	13.30	13.05	12.00	11.29	18.20	17.06	8.80	7.77
Total	101.95	100.0	106.25	100.0	106.65	100.0	113.15	100.0

Ao examinar os dados da tabela 5, destaca-se a heterogeneidade nos resíduos sólidos urbanos, evidenciando variações nas porcentagens das distintas frações ao longo dos diferentes dias de coleta. No que diz respeito à flutuação percentual em massa de

cada fração de resíduo, a matéria orgânica se destacou, superando as demais frações. Notavelmente, ela representa mais da metade de todas as outras frações de resíduos sólidos urbanos em todas as amostras, com a sua porcentagem em massa oscilando entre 54,44% e 71,91%.

Ao comparar os resultados apresentados referentes à fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) com dados similares reportados na literatura, notadamente em estudos conduzidos por Ghanavati et al. (2015), Li et al. (2012), Drudi et al. (2019) e Nizami et al. (2017) que encontraram 38,79%, 50,60%, 68,67% e 51,40%, respectivamente, observa-se que a variação percentual em massa para a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos está em conformidade com as informações previamente reportadas na literatura, como evidenciado por (LIU *et al.* 2016).

Adicionalmente, a flutuação percentual em massa para a fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares urbanos, variando de 56,21% a 67,45% em massa, encontra-se dentro do intervalo de 56% a 64% em massa para Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em países de média e baixa renda, conforme relatado por Renz et al. (2005). Este cenário reflete a realidade dos estratos de renda da população nos bairros de Cremação e Guamá na cidade de Belém do Pará. Seguida a essas frações, com o segundo maior percentual temos a fração de inerte, composta de resíduos sanitários - inertes (papel higiênico, fraldas descartáveis, máscaras cirúrgicas etc.), variando entre 17,06% a 13,05%.

A composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é influenciada por uma variedade de fatores, refletindo a complexidade e diversidade das comunidades urbanas. Alguns dos principais fatores que afetam a constituição dos RSU incluem: *Status Socioeconômico*: famílias com diferentes níveis de renda podem gerar resíduos diferentes em termos de quantidade e composição. Por exemplo, famílias de alta renda podem consumir mais produtos embalados e de maior qualidade, enquanto famílias de baixa renda podem produzir mais resíduos orgânicos e itens descartáveis.

Outro exemplo são as *práticas culturais e hábitos de consumo de uma comunidade* influenciam diretamente os tipos de resíduos produzidos. Exemplificando, dietas alimentares, preferências por produtos específicos e costumes de descarte podem variar significativamente entre diferentes grupos culturais.

Além do mais, *padrões alimentares*, como a dieta de uma população tem um impacto direto na quantidade e na composição dos resíduos orgânicos. Como, áreas com

dietas baseadas em alimentos frescos podem gerar mais resíduos orgânicos do que áreas onde os alimentos processados são predominantes.

As *estações do ano* também podem afetar os padrões de consumo e, conseqüentemente, a composição dos resíduos. Por exemplo, períodos festivos podem resultar em maior geração de resíduos de embalagens de presentes e alimentos. As *características geográficas*, como clima, densidade populacional, infraestrutura de reciclagem e disponibilidade de serviços de gestão de resíduos, podem influenciar e contribuir os padrões de geração e disposição de resíduos.

Considerar esses fatores ao planejar e implementar estratégias de gestão de resíduos é essencial para garantir abordagens eficazes e sustentáveis que atendam às necessidades específicas de cada comunidade.

Adiante foi calculado diversas variáveis estatísticas, como média, mediana, mínimo, máximo, coeficiente de variação e desvio padrão das massas coletadas (Tabela 6).

Tabela 6- Análise gravimétrica das frações de Resíduos Sólidos Urbanos da Rota 1202 (Cremação e Guamá).

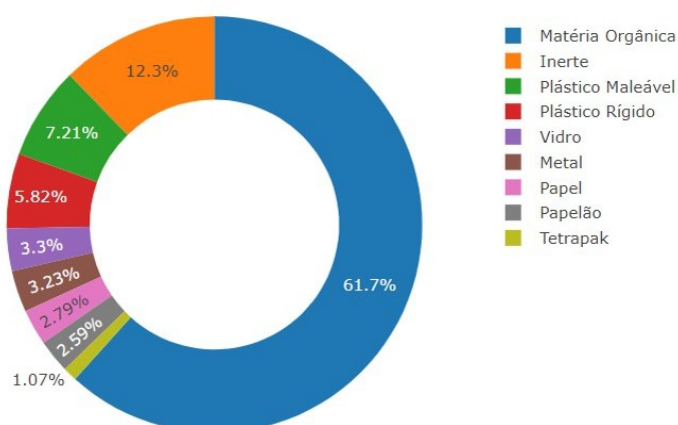
Fração	N	Média	Mediana	Variância	SD	Min	P25	P75	IQR	Max	CV	Desvio	Curtose
Papel	4	2.8	2.9	2.05	1.43	0.98	2.15	3.55	1.40	4.40	51.23	-0.24	1.85
Papelão	4	2.6	2.5	0.32	0.57	2.01	2.34	2.76	0.42	3.37	21.84	0.54	2.04
Tetra Pak	4	1.1	1.1	0.46	0.68	0.26	0.85	1.29	0.45	1.92	63.08	0.08	2.00
Plástico Rígido	4	5.8	5.7	9.88	3.14	2.25	4.06	7.48	3.43	9.65	53.92	0.11	1.73
Plástico Maleável	4	7.2	7.5	8.29	2.88	4.05	5.16	9.57	4.41	9.85	39.86	-0.12	1.18
Metal	4	3.2	3.2	3.91	1.98	1.41	1.59	4.82	3.23	5.16	61.16	0.02	1.04
Matéria Orgânica	4	61.8	62.2	42.2	6.49	54.44	57.49	66.5	9.03	68.50	10.50	-0.11	1.34
Vidro	4	3.3	1.6	18.05	4.25	0.33	1.22	3.74	2.52	9.61	128.45	1.08	2.28
Inerte	4	12.3	12.2	14.92	3.86	7.77	10.41	14.05	3.64	17.06	31.42	0.10	1.87

Legenda*: SD= Desvio Padrão, IQR = Amplitude Intequartil, CV = Coeficiente de Variação, p25 = percentil 25%; p75 = percentil 75%

Ao analisar os dados da Tabela 6, percebe-se que os dados relativos à matéria orgânica foram mais homogêneos em comparação aos demais. Por outro lado, o vidro apresentou maior variabilidade (128%) dentro da categoria de resíduos sólidos urbanos, seguido pela Tetra Pak (63%) e metal (61%). A heterogeneidade das frações dos resíduos ao longo das coletas da rota 1202 torna os dados estatísticos muito sensíveis a alterações e à presença de outliers.

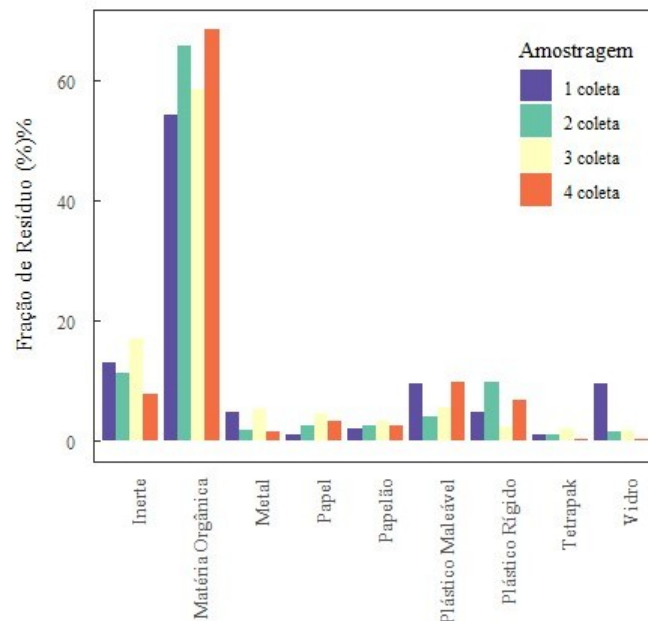
No geral, é possível verificar a proximidade entre os valores de média e mediana (sem diferença acima de 3 unidades), o que representa uma boa distribuição dos dados dentro de seus valores mínimos e máximos. É possível verificar, no entanto, uma proximidade entre os valores médios com os valores particulares de cada composição. Observa-se na figura 10 que as frações matéria orgânica, inerte, plástico maleável e papel são os materiais que compõem em média 87,03% dos resíduos sólidos urbanos da rota 1202 referente aos bairros de Cremação e Guamá.

Figura 10 - Distribuição de Resíduos sólidos urbanos da rota 1202 do município de Belém/PA.



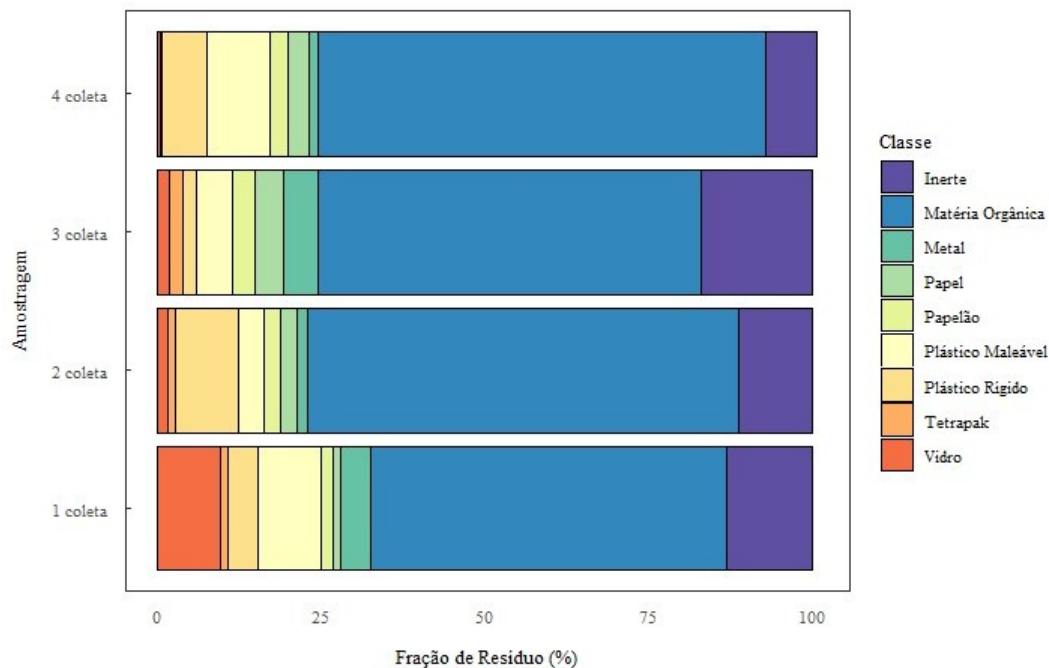
A figura 11 ilustra a heterogeneidade dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e, portanto, a variação percentual das diferentes frações de RSU em diferentes dias de amostragem. Quanto à variação na massa de cada fração, destaca-se a fração de matéria orgânica, que foi superior em comparação com as outras frações. Essa fração compõe mais da metade de todas as outras frações de RSU em todas as amostras, e o percentual em massa variou entre 54,44% e 68,52%.

Figura 11 - Análise detalhada das Frações Resíduos Sólidos Urbanos da Rota 1202 (Cremação e Guamá)



A figura 12 representa uma análise mais detalhada da composição dos resíduos sólidos por dia de coleta de forma individualizada.

Figura 12- Análise detalhada das frações de resíduos sólidos coletados na rota 1202, bairros Cremação e Guamá do município de Belém/PA.



Ao compararmos os dados médios da fração orgânica obtidos neste estudo, que se situam em torno de 51,34%, com as informações do Plano de Saneamento Básico do município de Belém (Belém, 2020), que apresentam uma ordem de 51,2%, e com a pesquisa conduzida por Silva et al. (2022), que abrangeu o período de 2018 a 2022 e

investigou a geração per capita e a composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos nos municípios que compõem a Região Metropolitana de Belém, no estado do Pará, observa-se uma proximidade notável entre esses valores. A pesquisa de Menezes et al. (2019) também ressalta que essa semelhança indica que o desperdício ainda é uma prática comum na região.

Os estudos conduzidos por pesquisadores como Suthar e Singh (2015), Ojeda-Benitez et al. (2008), Monavari et al. (2012) corroboram a constatação de que o desperdício de alimentos na cozinha é uma das principais fontes de resíduos domésticos. Conforme destacado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 2021, o Brasil ainda enfrenta o desafio do desperdício habitual de alimentos, com uma taxa aproximada de 12 toneladas por ano, que são descartadas em aterros e/ou lixões. A problemática dos resíduos sólidos e desperdício de alimentos é uma questão crucial que abrange diversos aspectos ambientais, econômicos e sociais. O desperdício de alimentos contribui significativamente para a geração de resíduos sólidos, uma vez que alimentos descartados acabam indo parar nos aterros sanitários, degradando-se e liberando gases de efeito estufa.

Estudos anteriores, como os de Oliveira et al. (2004) e Campos (2012), enfatizam que o aspecto econômico exerce a maior influência na geração per capita e na composição dos resíduos sólidos urbanos. Esta relação direta entre o nível de desenvolvimento da região e a composição dos resíduos é notável, com países desenvolvidos apresentando maiores quantidades de recicláveis, enquanto países em desenvolvimento tendem a ter uma maior proporção de matéria orgânica em seus resíduos sólidos urbanos. Esses padrões refletem as disparidades socioeconômicas e de desenvolvimento entre diferentes regiões e nações.

A realidade nos países em desenvolvimento destaca que tanto a população urbana quanto a rural costumam preparar suas refeições diárias nas cozinhas domésticas, onde o desperdício de alimentos, representando a fração orgânica, figura como o principal componente dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Como apontado por Gupta e Kansal (1998), a composição dos resíduos sólidos em áreas urbanas é influenciada por uma ampla gama de fatores, como condições habitacionais, cultura, estilo de vida, clima e renda.

De acordo com um relatório do TERI (2002), a fração biodegradável constitui a maior parte dos resíduos urbanos, representando 38,6%, seguida por materiais inertes (pedras, tijolos, cinzas etc.: 34,7%), não biodegradáveis (couro, borracha, ossos e

materiais sintéticos - 13,9%), plástico (6%), papel (5,6%) e vidro (1,0%). A percentagem relativa de resíduos orgânicos nos RSU está geralmente associada ao nível socioeconômico, sendo que famílias de baixa renda tendem a gerar mais resíduos orgânicos em comparação com famílias de alta renda.

A observação de que famílias de baixa renda tendem a gerar mais resíduos orgânicos em comparação com famílias de alta renda destaca uma relação significativa entre o nível socioeconômico e a composição dos resíduos. Essa disparidade pode ser atribuída a diversos fatores, como padrões de consumo, tipos de alimentos consumidos, práticas de preparação de alimentos e até mesmo a disponibilidade de meios para armazenamento adequado.

Famílias de baixa renda, muitas vezes, enfrentam restrições financeiras que as levam a adquirir alimentos em menor quantidade e a utilizar uma variedade maior de ingredientes frescos, o que pode resultar em uma maior geração de resíduos orgânicos. Além disso, as condições de infraestrutura e habitação podem influenciar as práticas de descarte, com famílias de baixa renda possivelmente enfrentando desafios adicionais na gestão de resíduos.

Esta correlação entre renda e composição de resíduos destaca a importância de estratégias inclusivas e sensíveis às disparidades socioeconômicas ao desenvolver políticas e práticas de gestão de resíduos, visando promover a sustentabilidade de maneira equitativa. É crucial ressaltar que a comparação da composição gravimétrica entre diferentes estudos pode ser desafiadora devido à utilização de metodologias diversas, abrangendo áreas com características sociais, econômicas e culturais específicas, além da grande variabilidade nas classificações adotadas.

Combater o desperdício de alimentos e gerenciar de forma eficaz os resíduos sólidos envolve a conscientização da sociedade, práticas de consumo responsável, implementação de políticas públicas eficientes e a promoção de iniciativas que visem à redução, reutilização e reciclagem de resíduos. A busca por soluções sustentáveis e o engajamento de diversos setores são fundamentais para lidar com esses desafios de forma abrangente e efetiva.

A análise da fração de inertes, que pode ser contaminante, revela que a soma das médias desses valores atingiu 12,3% nesta pesquisa, mantendo-se em conformidade com os resultados encontrados por Belém (2020), Silva et al. (2022) e Menezes et al. (2019), que registraram percentuais de 13,39%, 12,5% e 14,36%, respectivamente. De acordo com a Associação dos Engenheiros, Arquitetos e Agrônomos de São Paulo

(ACIESP, 1987), contaminante é qualquer substância adicionada ao meio ambiente que altera sua composição geoquímica média, tornando-se um poluente quando provoca efeitos adversos no meio ambiente. Além disso, a Resolução nº 420/09 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009) amplia essa definição, conceituando contaminantes como substâncias introduzidas no ambiente por atividades humanas, cujas concentrações limitam a utilização do recurso natural para os usos atuais ou previstos. Essas definições destacam a importância de monitorar e gerenciar eficazmente a presença de contaminantes nos resíduos sólidos urbanos para preservar a qualidade do meio ambiente.

3.1.2 Estatística Analítica

Na tabela 7 é apresentado o resultado da ANOVA aplicada aos dados percentuais dos tipos de materiais da composição gravimétrica em relação à massa total da amostra coletada na rota 1202.

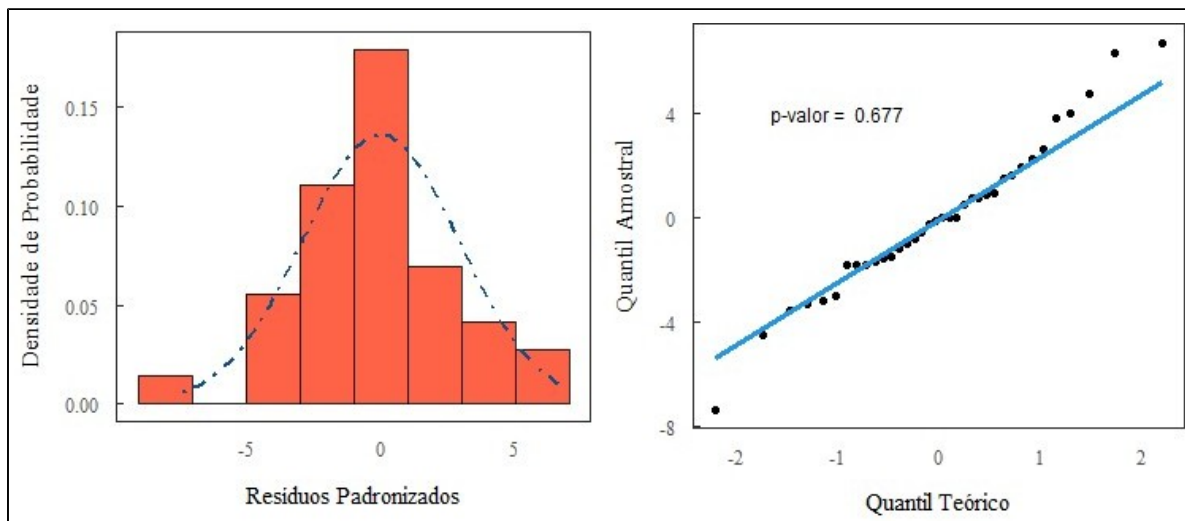
Tabela 7 – ANOVA dos dados da composição gravimétrica

	Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P	F crítico
Amostragem	Fator	8	11926.3	1490.79	134.08	0.000	2.305
	Erro	27	300.2	11.12	-	-	-
	Total	35	12226.5	-	-	-	-

Pode-se inferir que o valor de F calculado foi maior que o F crítico, rejeitando a hipótese nula de que as médias percentuais dos materiais são iguais em um nível de significância de 5%. A análise de variância indicou que pelos menos um dos materiais tem média diferente dos demais. Como na análise foi utilizado 95% de grau de confiança, o fato do Valor - P ser inferior a 0,05 demonstra que o tipo de material é significativo, ou seja, influência nos valores percentuais desses materiais em relação à massa total das amostras.

Além disso, o valor do coeficiente de determinação (R^2) foi de 97,54%, indicando que os valores percentuais em relação à massa total da amostra são fortemente explicados pela variável “tipo de material”. A análise de variância ANOVA não apontou diferença significativa entre as médias das frações a 5% de significância. Na figura 13 é ilustrado o gráfico do histograma e o *quantil-quantil* para a rota 1202.

Figura 13 -Teste de Shapiro-Wilk e quantil-quantil (Q-Q) para a rota 1202



Pode ser observado nos gráficos da figura 13 que os resíduos se comportam relativamente semelhante a uma curva normal em forma de sino e nos gráficos dos quantis os valores dos resíduos recaem ao longo de uma linha aproximadamente reta, o que contribui com a afirmação de que os resíduos são normalmente distribuídos.

A utilização do GenStat como ferramenta computacional para aplicar a técnica de Análise de Variância (ANOVA) em estudos sobre resíduos domiciliares no País de Gales, como mencionado por Burnley et al. (2007), é notável. Esse estudo identificou relações estatisticamente significativas entre os resíduos gerados por domicílios e variáveis como localização geográfica e estação do ano.

É interessante observar que, de acordo com os resultados desse estudo específico, a fração de recicláveis e compostáveis atingiu um valor máximo de 65%, sendo que desses, 62% eram compostos por materiais biodegradáveis. Esses dados destacam a importância de entender a composição dos resíduos em diferentes contextos e como variáveis como localização e estação do ano podem influenciar esses padrões. Essas informações são cruciais para desenvolver estratégias eficazes de gestão de resíduos, visando à sustentabilidade ambiental.

No México, Gómez et al. (2009) conduziram um estudo em que identificaram que aproximadamente 45% de todos os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados correspondiam à fração de resíduos orgânicos. Utilizando a técnica de Análise de Variância (ANOVA), os pesquisadores validaram que não houve diferença significativa entre os três níveis socioeconômicos considerados no estudo.

A aplicação da ANOVA nesse contexto permitiu avaliar estatisticamente se havia variações significativas nas frações de resíduos orgânicos entre diferentes estratos socioeconômicos. Os resultados indicam que, pelo menos para a variável socioeconômica, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na quantidade de resíduos orgânicos gerados nos diferentes níveis.

Esse tipo de análise estatística contribui para uma compreensão mais aprofundada da dinâmica dos resíduos sólidos em contextos específicos e pode orientar políticas públicas e práticas de gestão de resíduos mais eficazes.

Nos estudos conduzidos por Menezes et al. (2019), nos quais realizaram a composição gravimétrica para sete regiões classificadas conforme estratificação socioeconômica, a análise de variância não apontou diferença significativa entre as médias das frações a um nível de significância de 5%.

A utilização da análise de variância (ANOVA) para avaliar a variação nas médias das frações entre diferentes estratos socioeconômicos é uma abordagem estatística valiosa. Nesse caso específico, os resultados sugerem que, pelo menos para a estratificação socioeconômica considerada, não foram observadas divergências significativas nas médias das frações analisadas.

Essa informação é relevante para compreender a distribuição de resíduos sólidos em diferentes estratos socioeconômicos e pode orientar políticas e práticas de gestão de resíduos de forma mais equitativa e eficiente.

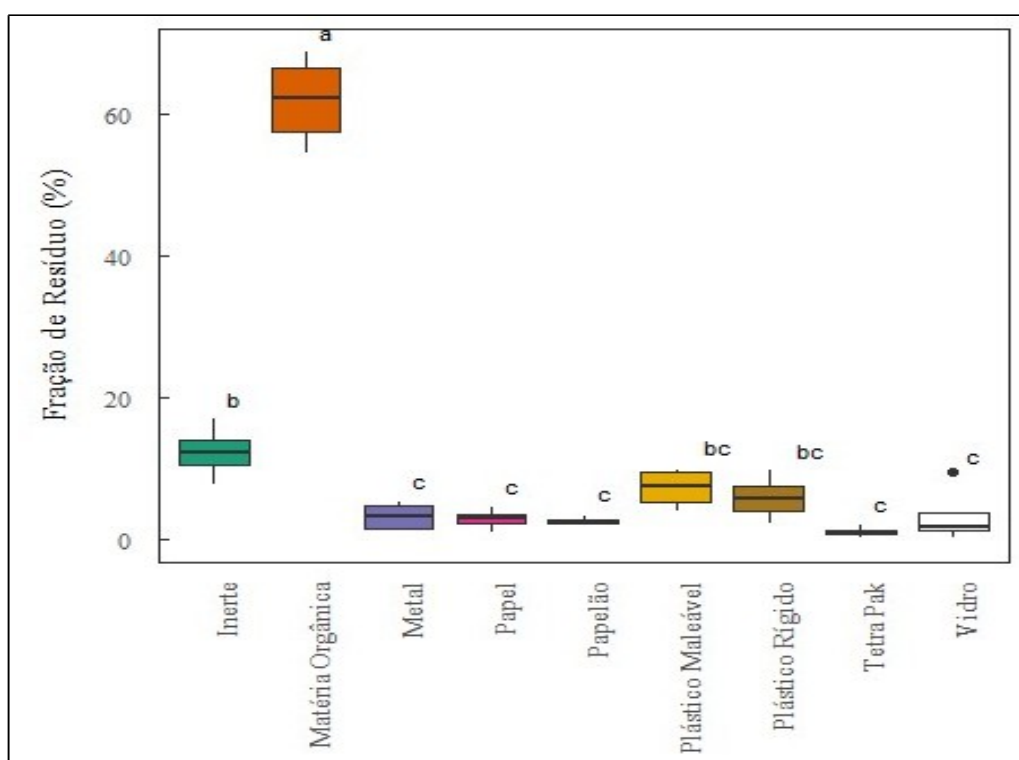
No estudo de Luizari (2019), o teste estatístico Anova foi empregado para avaliar se existia uma diferença significativa entre os valores de densidade das categorias de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) em quatro condomínios investigados. Os resultados indicaram que não houve uma diferença significativa na densidade dos RSD entre os condomínios pesquisados. Estatisticamente, pode-se concluir que não houve variação significativa nos resíduos gerados pelos moradores dos condomínios com base nas doze amostras analisadas.

A aplicação da Anova nesse contexto fornece uma ferramenta estatística importante para entender se há disparidades significativas na densidade dos resíduos entre diferentes condomínios. Essa informação é valiosa para gestores de resíduos e tomadores de decisão ao planejar estratégias de gestão e coleta de resíduos em áreas residenciais.

Para identificarmos estas diferenças de médias entre os materiais aplicou-se o teste de Tukey para comparações múltiplas para cada região. Na figura 14, para a rota

1202, o teste identificou 4 agrupamentos diferentes, sendo um grupo formado somente pela matéria orgânica (a) que tiveram o maior valor médio percentual (61,8%), outro agrupamento formado pelos inertes (b) (12,3%), o grupo (bc) (13,05%) composto pelas frações de plástico duro e plástico maleável, eo grupo (c) composto pelos materiais de menor representatividade percentual em relação à massa total das amostras (vidro, metal, papel, papelão e tetra pak), que variou de 1,08% a 3,31%. Nos Gráficos 38 á 40 é ilustrada a variação dos valores percentuais dos diferentes materiais em um intervalo de confiança de 95%.

Figura 14 - Teste de Tukey e boxplot comparando as frações dos resíduos



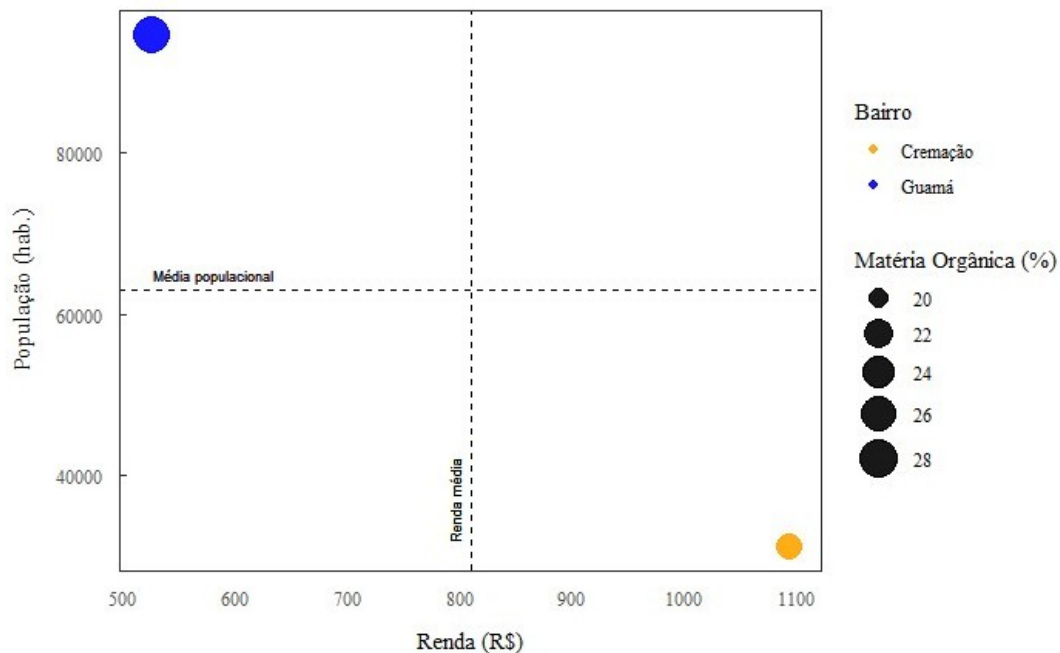
3.1.3 Análise Socioeconômica

Devido à disparidade econômica observada entre os bairros ao longo da rota de coleta de resíduos, decidiu-se conduzir uma análise focada especificamente nesse aspecto. Essa análise concentrou-se na fração de matéria orgânica e na fração de inertes (resíduos sanitários), que se destacaram de maneira significativa entre as diversas frações de resíduos sólidos urbanos coletados.

As análises estão representadas graficamente nas figuras 15 e 16 e foram baseadas nos resultados da renda domiciliar dos bairros do município de Belém/PA comparados com Renda nominal média* dos dados do (IBGE, 2010) e as frações de

orgânicos e inertes (resíduos sanitários) coletados na rota 1202 que possuem classificação socioeconômica diferentes como classes D e E, para os bairros de Cremação e Guamá, respectivamente.

Figura 15 - Geração da fração orgânica a partir da renda e do número de habitantes

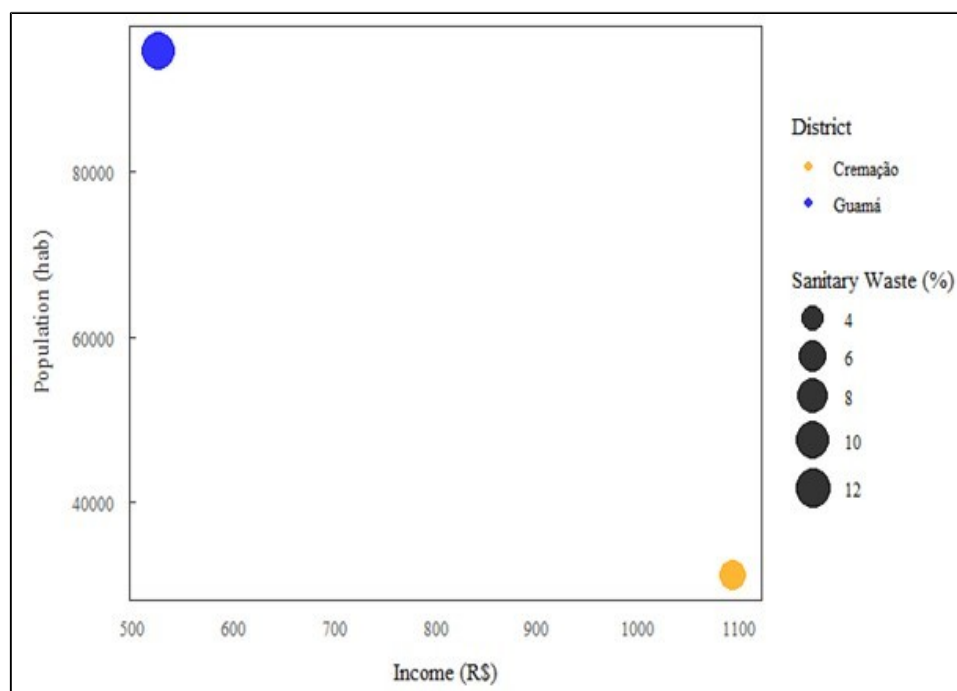


De acordo com os dados do IBGE em 2010, a população do bairro do Guamá era de 94.610 habitantes, o que correspondia a três vezes a população da Cremação, estimada em 31.264 habitantes no mesmo ano. No que diz respeito à cobertura de resíduos sólidos, 97,3% dos domicílios do bairro do Guamá eram atendidos, totalizando 21.558 residências. Por outro lado, o bairro da Cremação possuía 6.998 domicílios, com 99,8% deles sendo atendidos pela coleta de resíduos sólidos.

Adicionalmente, em termos de renda média, os residentes da Cremação, classificados na classe D, apresentavam um poder aquisitivo duas vezes superior ao dos moradores do bairro do Guamá, classificados na classe E. Esses dados evidenciam disparidades significativas em relação à densidade populacional, cobertura dos serviços de coleta de resíduos sólidos e renda média entre os dois bairros. Essas diferenças podem influenciar diretamente a composição e a quantidade de resíduos sólidos gerados em cada localidade.

A composição dos resíduos desses dois bairros é semelhante, com predominância da fração orgânica, seguida pelos resíduos sanitários (inertes) em relação às demais frações. Nota-se uma tendência de redução percentual na geração de resíduos (matéria orgânica e inertes) em relação ao tamanho da população e à renda. Em geral, é comum que rendas mais elevadas estejam associadas a uma maior geração de resíduos. No entanto, observou-se que em termos percentuais, a fração de matéria orgânica e inerte é mais expressiva na composição dos resíduos sólidos do bairro do Guamá em comparação com a Cremação.

Figura 16- Geração da fração de inertes (resíduos sanitários) a partir da renda e do número de habitantes



A observação de que a fração de resíduos orgânicos diminui à medida que a renda aumenta sugere uma associação entre o poder aquisitivo das pessoas e seus padrões de descarte de resíduos. Indivíduos com maior renda podem adotar comportamentos de consumo distintos, como a preferência por alimentos processados, que tendem a gerar menos resíduos orgânicos.

Esse resultado também pode ser atribuído ao fato de que famílias com maior poder aquisitivo frequentemente optam por não realizar suas refeições em casa, ao passo que famílias com menor poder aquisitivo geralmente têm suas refeições preparadas em casa, explicando os altos percentuais de resíduos orgânicos encontrados em seus descartes (TRANG et al., 2017).

Essa associação entre poder aquisitivo e padrões de consumo pode orientar estratégias de gestão de resíduos que considerem as características socioeconômicas da população. Por exemplo, em áreas com maior renda, pode ser vantajoso enfatizar a coleta seletiva de materiais recicláveis. Isso se deve ao fato de que, em áreas com maior poder aquisitivo, há uma maior probabilidade de os moradores adotarem práticas de consumo que resultam em uma quantidade significativa de materiais passíveis de reciclagem, como embalagens de produtos, papel, plástico, vidro e metal.

Ao enfatizar a coleta seletiva nessas áreas, é possível aumentar a eficiência na separação de resíduos na fonte, facilitando o processo de reciclagem e reduzindo a quantidade de materiais enviados para aterros sanitários.

Além disso, a promoção da coleta seletiva em comunidades de renda mais alta pode ajudar a conscientizar os moradores sobre a importância da redução, reutilização e reciclagem de materiais, contribuindo para uma gestão mais sustentável dos resíduos sólidos urbanos. A consistência desses resultados com estudos anteriores, como o de Costa (2012), confere uma validação adicional à relação observada, o que fortalece a confiança nos padrões identificados.

Essas informações são cruciais para o planejamento do gerenciamento de resíduos e o desenvolvimento da infraestrutura de uma cidade. Permitindo às autoridades conceber sistemas adequados de gestão de resíduos, incluindo estratégias de coleta, transporte e eliminação, com base nas características específicas dos resíduos gerados (ABIR *et al.*, 2023). Por outro lado, o gerenciamento eficaz dos resíduos é essencial para minimizar o impacto ambiental dos resíduos sólidos. O entendimento da composição dos resíduos sólidos urbanos permite avaliar os potenciais riscos ambientais associados aos diferentes componentes dos resíduos. Ajuda a identificar fluxos de resíduos que requerem tratamento especial, como materiais perigosos ou resíduos não biodegradáveis, para evitar a poluição do solo, da água e do ar (ABDEL-SHAIFY *et al.*, 2018).

Os resíduos sólidos urbanos contêm frequentemente recursos valiosos que podem ser recuperados e reciclados. A pesquisa sobre a composição dos resíduos permite a identificação de materiais recicláveis, como papel, plástico, vidro e metais, presentes nos fluxos de resíduos domésticos. Esse conhecimento pode orientar os esforços para estabelecer programas de reciclagem eficientes, reduzir o esgotamento de recursos e promover uma economia circular (MIEZAH *et al.*, 2015). Os resultados da pesquisa sobre a avaliação de resíduos sólidos urbanos fornecem evidências científicas

para que os formuladores de políticas, as autoridades locais e as partes interessadas relevantes tomem decisões informadas. Esses dados podem subsidiar a formulação de políticas, regulamentos e diretrizes de gerenciamento de resíduos em nível municipal e nacional. Facilitando o financiamento e investimentos em infraestruturas de gestão de resíduos e incentivando a aplicação de práticas sustentáveis de gestão de resíduos (DOAEMO et al., 2021).

6. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstram que a caracterização gravimétrica e a análise estatística aplicada aos resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados na rota 1202 oferecem uma base sólida para entender as dinâmicas de geração, composição e variações socioeconômicas associadas. A seguir, são sintetizadas as principais conclusões:

- **Composição Gravimétrica e Composição das Frações:** Os resultados apresentados demonstram que a caracterização gravimétrica e a análise estatística aplicada aos resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados na rota 1202 oferecem uma base sólida para entender as dinâmicas de geração, composição e variações socioeconômicas associadas. A seguir, são sintetizadas as principais conclusões. A predominância da fração orgânica reflete os hábitos alimentares e padrões de consumo da população estudada, sendo mais significativa em áreas de menor poder aquisitivo.
- **Análise Estatística e Significância dos Resultados:** A ANOVA indicou que pelo menos uma fração de material possui média estatisticamente diferente das demais, com coeficiente de determinação (R^2) de 97,54%, evidenciando uma forte explicação da variação pela variável "tipo de material". A análise de resíduos demonstrou uma distribuição aproximadamente normal, reforçando a confiabilidade dos resultados. O teste de Tukey revelou quatro agrupamentos distintos, com a matéria orgânica apresentando os maiores valores médios percentuais.
- **Influência Socioeconômica nos Padrões de Geração de Resíduos:** A análise comparativa entre os bairros da Cremação (classe D) e Guamá (classe E) mostrou que, apesar das disparidades em densidade populacional e renda, ambos apresentaram semelhanças na predominância da fração orgânica e de inertes. A fração de matéria orgânica foi mais expressiva no Guamá, enquanto a Cremação apresentou maior proporção de materiais recicláveis, possivelmente devido aos padrões de consumo diferenciados. Indivíduos com maior poder aquisitivo tendem a gerar menos resíduos orgânicos proporcionalmente, favorecendo o descarte de recicláveis, enquanto os de menor renda geram mais

resíduos orgânicos devido à preferência por refeições caseiras e alimentos in natura.

- **Implicações Práticas e Estratégicas:** A caracterização detalhada dos RSU fornece informações essenciais para o planejamento e implementação de estratégias de gestão de resíduos adaptadas às condições locais.
- Em bairros de menor renda, pode-se priorizar soluções como compostagem de resíduos orgânicos, enquanto áreas de maior poder aquisitivo demandam estratégias focadas na coleta seletiva e reciclagem.
- A gestão eficiente dos resíduos pode minimizar impactos ambientais, promover a economia circular e otimizar os recursos destinados ao setor.

Em síntese, os resultados das análises estatísticas indicam uma uniformidade nas composições de resíduos entre as distintas regiões e classes sociais do município. No entanto, a concentração significativa de resíduos orgânicos e inertes ressalta a necessidade premente de uma gestão eficaz para lidar com essas frações específicas. Tal abordagem visa promover a sustentabilidade ambiental e mitigar o impacto dos resíduos no município.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENIRAN, A.E.; NUBI, A.T.; ADELOPO, A.O. **Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management.** Waste Management, v. 67, p. 3-10. 2017.

ABDEL-SHAFY, H.I.; MANSOUR, M.S.M. **Solid waste issue: sources, composition, disposal, recycling, and valorization.** Egyptian Journal of Petroleum, 27 (2018), pp. 1275-1290, 10.1016/j.ejpe.2018.07.003.

ALMEIDA, D. et al. (2024). **Revisão Sistemática da Literatura sobre Caracterização de Resíduos Sólidos: Considerações sobre Consumo e Gestão.** Waste Management & Research, Volume 30(4), 310-325. DOI: xxx/xxx.

ACIESP. 1987. **Glossário de Ecologia.** Publicação ACIESP nº57. ACIESP – Academia de Ciências do Estado de São Paulo. 46. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2009). Resolução nº 420 Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2009.

ANDRADE, J. B. L de. **Análise do fluxo e das características físicas, químicas e microbiológicas dos resíduos de serviço de saúde: proposta de metodologia para gerenciamento em unidades hospitalares.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, SP, Brasil. 1997.

ALCÂNTARA, P. B. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados.** Tese (doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco. 2007. Recife - PE, 364 fls.

ALMEIDA, B. (2019). **Avaliação da Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Contexto Brasileiro.** Revista de Gestão Ambiental, Volume 12(1), 110-125.

AMADO, F. A. D. T. **Direito Ambiental Esquematizado**, 3ª edição, Editora Método, Rio de Janeiro, 2012.

ASSUNÇÃO, F.P.d.C.; PEREIRA, D.O.; SILVA, J.C.C.d.; FERREIRA, J.F.H.; BEZERRA, K.C.A.; BERNAR, L.P.; FERREIRA, C.C.; COSTA, A.F.d.F.; PEREIRA, L.M.; PAZ, S.P.A.d.; et al. **A Systematic Approach to Thermochemical Treatment of Municipal Household Solid Waste into Valuable Products: Analysis of Routes, Gravimetric Analysis, Pre-Treatment of Solid Mixtures, Thermochemical Processes, and Characterization of Bio-Oils and Bio-Adsorbents.** *Energies* 2022, 15, 7971. <https://doi.org/10.3390/en1521797>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10.004 - **Resíduos sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

AYRES, M. **Elementos de Bioestatística** 2.ed. Belém: Supercorres. 2012.

_____. NBR 10007/04 - **Amostragem de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.

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

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998- **Lei de Crimes Ambientais.** Casa Civil, Brasília, DF, 1999.

_____. Lei n.º 12.305 de 2 de agosto de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Casa Civil, Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 27 de abril de 2023.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. p. 313.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão uso e sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012.

BELÉM. **Lei Municipal nº 9.656, de 30 de dezembro de 2020.** Institui a Política Municipal de Saneamento Básico do Município de Belém, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), e o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), em atenção ao disposto no Art. 9º da Lei Federal nº 11.445/2007, com as atualizações trazidas pela Lei nº 14.026/2020, o Novo Marco do Saneamento Básico, e dá outras providências. Belém, PA, 30 dez. 2020.

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia Ambiental.** Oficina de Textos 1ª ed. São Paulo, 2008.

BOCCO, G., BERNACHE, G. **Urban solid waste generation and disposal in Mexico: a case study.** Waste Manage. Res. 19, 169e176. 2001.

BUENROSTRO, O.; BOCCO, G.; CRAM, S. **Classification of sources of municipal solid wastes in developing countries.** Resour. Conserv. Recycl. 2001.

BURNLEY, M.; DOUST, J. H.; VANHATALO, A. **A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state.** Med Sci Sports Exerc. v. 38, n. 11, p. 1995-2003, 2006.

CAMPOS, H.K.T. **Evolution of income and per capita generation of so solid wastes in Brazil.** Eng Sanit Ambient | v.17 n.2 | abr/jun 2012 | 171-180 <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000200006>.

CAJAIBA, R.L.; CORREIO, W.B.S. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos de escolas públicas da zona urbana e rural do município de Uruará, PA.** Saúde e Biologia, v. 11, n. 2, p. 1-6. 2016.

CEMPRE, **Compromisso Empresarial Para a Reciclagem.** Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso em: 27 de abril de 2023.

CARVALHO, M. F. **Mechanical behavior of urban solid waste.** São Carlos. 300p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1999.

COSTA, L.E.B.; COSTA, S.K.; REGO, N.A.C.; SILVA JÚNIOR, M.F. **Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e perfil socioeconômico no**

município de Salinas, Minas Gerais. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 3, n. 2, p. 73-90. 2012.

DA SILVA, R. C. P.; COSTA, SANTOS, A. R.; ELDEIR; JUCÁ, S. G.; THOMÉ, J. F. **Setorização de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares por técnicas multivariadas: estudo de caso da cidade do Recife, Brasil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 6, p. 821-832, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020200205>;

DOAEMO, w.; Dhiman, S.; Borovskis, A.; Zhang, W., Bhat, S.; Jaipuria, S., Betasolo, M. **Assessment of municipal solid waste management system in Lae City, Papua New Guinea in the context of sustainable development.** Environ. Dev. Sustain., 23 (2021), pp. 18509-18539, 10.1007/s10668-021-01465-2.

DRUDI, K. C.R., DRUDI, R., MARTINS, G., COLATO, G., TOFANO, A. J., LEITE, C. **Statistical model for heating value of municipal solid waste in Brazil based on gravimetric composition.** Waste Management, 2019, 87, 782-790, 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.012>.

EIGENHEER, Emilio Marciel. **Breve histórico da luta contra os preconceitos relativos aos resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS).** Rio de Janeiro, 2003.

FRANCO, C.S. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares e percepção dos hábitos de descarte no sul de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2012.

FEDRIZZI, P. **Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transiente economies.** Waste Management, v 33, p 785-792, 2013.

FIELD, A. P. (2009). **Descobrimo a estatística usando o SPSS.** Porto Alegre, Brasil, Artmed, 2a edição.

FIELD, A., MILES, J., & FIELD, Z. (2012). **Discovering statistics using R.** Sage. Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2019). **Statistical techniques in business and economics.** McGraw-Hill Education.

FIRMO, A.L.B. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. Tese (doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2013. Recife – PE, 286 pg.

FIRJAN. **Manual de gerenciamento de resíduos: Guia de procedimento passo a passo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: GMA, 2006.

GALLARDO, A. et al. **Methodology to design a municipal solid waste pre-collection system. A case study**. v 36, p 1-11, 2015

GIDARAKOS, E.; HAVAS, G.; NTZAMILIS, P. **Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete**. Waste Management, v. 26, n. 6, p. 668-679, 2006.

GOMES, C., et al. (2023). **Benefícios da caracterização gravimétrica para otimização da coleta seletiva e reciclagem em uma cidade de médio porte**. Revista de Sustentabilidade Urbana, Volume 8(1), 45-58.

GUPTA, S.; PRASAD, R.; GUPTA, S.; KANSAL, A. **Solid waste management in India: options and opportunities**, Resources, Conservation and Recycling, Volume 24, Issue 2, 1998, Pages 137-154, ISSN 0921-3449, [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(98\)00033-0](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(98)00033-0).

HABITZREUTER, M. T. **Análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) da região de Santa Maria, pré e pós-triagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2008. 88 Pgs.

HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L. (2009). **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, RS: ArtMed.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do ano 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JADOON, A.; BATOOL, S.A.; CHAUDHRY, M.N. **Assessment of factors affecting household solid waste generation and its composition in Gulberg Town**,

Lahore, Pakistan. Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 16, n. 1, p. 73-81. 2014.

JUNKES, M. B. **Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2002.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação.** 3. Ed. São Paulo: Editora Hemus, 2004.

LUIZARI, J. D. 2019. **Análise da Geração e Composição dos Resíduos Sólidos Domiciliares: Estudo de Caso no Plano Piloto - DF.** Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 100 p.

LIND, D. A.; MARCHAL, W. G.; & WATHEN, S. A. (2019). **Statistical techniques in business and economics.** McGraw-Hill Education.

LEITE, W.C.A. **Estudo da gestão de resíduos sólidos: uma proposta de modelo tomando a unidade de gerenciamento de recursos hídricos (UGRHI-5) como referência.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, 1997.

LIN, C.J., CHYAN, J.M., CHEN, I.M., WANG, Y.T., 2013. **Swift model for a lower heating value prediction based on wet-based physical components of municipal solid waste.** Waste Manage. 33 (2), 268–276.

MARTINS, B., et al. (2022). **Eficiência da caracterização gravimétrica na identificação de oportunidades para a economia circular em uma região industrializada.** Revista de Economia Ambiental. Volume 15(3), 210-225.

MARIANO O. H.; MACIEL F. J.; FUCALE S. P.; BRITO A. R. **Estudo da Composição dos RSU do Projeto Piloto para Recuperação do Biogás no Aterro da Muribeca/PE.** VI Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental – REGEO. 2007.

MADERS, G.R.; CUNHA, H.F.A. **Análise da gestão e gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde (RSS) do Hospital de Emergência de Macapá, Amapá, Brasil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 3, p. 379-388. 2015.

McDougall, F., White, P.R., Franke, M., Hindle, P. **Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory, second ed.** Blackwell Science, Oxford, UK. 2001.

MENDES, J. et al. (2018). **Desafios e perspectivas para a gestão de resíduos sólidos no Brasil.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, Volume 5(3), 78-92.

MENEZES, R.O.; CASTRO, S.R.; SILVA, J.B.G.; TEIXEIRA, G.P.; SILVA, M.A.M. **Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: Estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais.** Eng. Sanitária Ambient 2019, 24, 271– 282.

MELO, F.H.F.A. **Caracterização e estudo do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em um consórcio municipal do estado de Pernambuco.** 123 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade federal de Pernambuco, CAA, 2020.

MIEZAH, K.; OBIRI-DANSO, K.; KÁDÁR, B.; FEI-BAFFOe, B., MENSAH, M.Y. MENSAH. **Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana.** Waste Manag., 46 (2015), pp. 15-27, 10.1016/j.wasman.2015.09.009.

MOORE, D. S., NOTZ, W. I., & FLIGNER, M. A. (2013). **The basic practice of statistics.** Macmillan. Triola, M. F. (2018). Elementary statistics. Pearson.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C., & Hubele, N. F. (2015). **Engineering statistics.** John Wiley & Sons.

MONTEIRO, J. H. P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Secretaria Especial do Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NASCIMENTO, D. L. G. **Viabilidade Técnica e Econômica da Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Castanhal – PA.** 180 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

Nizami, A.S., Shahzad, K., Rehan, M., Ouda, O.K.M., Khan, M.Z., Ismail, I.M.I., Almeebi, T., Basahi, J.M., Demirbas, A. **Developing waste biorefinery in Makkah: a way forward to convert urban waste into renewable energy.** App. Energy, 186 (2017), pp. 189-196.

NUNES, L. R.S. **Caracterização física de resíduos sólidos no porto de Belém e terminal petroquímico de miramar, Belém – Pará -Brasil.** 166 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

OENNING, A.S.; CARDOSO, M.A.; DAL-PONT, C.B.; LIMA, B.B.; VALVASSORI, M.L. **Estudo de composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Criciúma.** Revista Iniciação Científica, v. 10, n. 1, p. 5-18. 2012.

OLIVEIRA, R. et al. (2019). **Avaliação da eficácia das políticas públicas de gestão de resíduos sólidos no Brasil.** Revista de Gestão Ambiental, Volume(X).

OLIVEIRA, S.A.; LEITE, V.D.; PRASAD, S.; RIBEIRO, M.D. (2004). **Estudo da produção per capita de resíduos sólidos domiciliares da cidade de Campina Grande-PB.** Revista Saúde e Ambiente, v. 5, n. 2, p. 37-44. 42.

OZCAN, H.K.; GUVENC, S.Y.; GUVENC, L.; DEMIR, G. **Municipal Solid Waste Characterization according to Different Income Levels: A Case Study.** Sustainability, v. 8, n. 10, p. 1044. 2016.

PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PGIRS) DE MARITUBA, PA. Prefeitura Municipal de Marituba, PA, 2019.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Ambiente. **Índice de desperdício alimentar: relatório 2021.** 100p. Disponível em: <

<https://www.unep.org/ptbr/resources/relatorios/indice-de-desperdicio-de-alimentos-2021>>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

PEREIRA, C. (2020). **Impacto das Ações Educativas na Segregação de Resíduos Sólidos: Uma Análise em Comunidades Urbanas**. Revista de Educação Ambiental, Volume 8(2), 45-58.

REICHERT, G. A. **Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão**. Anais. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.

RODRIGUES, A. (2018). **Desafios na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Um Estudo de Caso**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, Volume 5(3), 78-92.

REZENDE, J.H.; CARBONI, M.; MURGEL, M.A.T.; CAPPS, A.L.A.P.; TEIXEIRA, H.L.; SIMÕES, G.T.C.; RUSSI, R.R.; LOURENÇO, B.L.R.; OLIVEIRA, C.A. **Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 1, p. 1-8. 2013.

SETHI, S. et al. **Characterization of Municipal Solid Waste in Jalandhar City, Punjab, India**. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, v 17, p 97-106, 2013.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco**. Recife. 2012. 306p

SOUZA, J.A.R.; MOREIRA, D.A.; GUIMARÃES, G.I.; CARVALHO, W.B. **Caracterização e influência da sazonalidade na geração de resíduos sólidos em Urutaí-GO**. Multi-Science Journal, v. 1, n. 1, p. 79-83. 2015.

SIQUEIRA, H.E.; SOUZA, A.D.; BARRETO, A.C.; ABDALA, V.L. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Nova Ponte (MG)**. Revista DAE, v. 64, p. 39-52. 2016.

SISINNO, C. L. S. **Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no estado do Rio de Janeiro: avaliação da toxicidade dos resíduos e suas implicações**

para a ambiente e para a saúde humana. 154 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) Fundação Oswaldo Cruz/Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2002.

SANTOS, B., & OLIVEIRA, C. (2022). **Impacto dos Hábitos de Consumo na Caracterização de Resíduos Sólidos Urbanos.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, Volume 8(1), 45-58.

SANTOS, D., et al. (2024). **Aplicação da caracterização gravimétrica na gestão de resíduos em áreas rurais: desafios e oportunidades.** Revista de Desenvolvimento Rural Sustentável, Volume 12(2), 150-165.

SAIDAN, M.N.; DRAIS, A.A.; AL-MANASEER, E. **Solid waste composition analysis and recycling evaluation: Zaatari Syrian Refugees Camp, Jordan.** Waste Management, v. 61, p. 58-66. 2017.

SCHALCH, V. **Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia.** Tese (Doutorado – hidráulica e saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1992.

SILVA, S. P. A. **Organização Coletiva de Catadores de Material Reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária.** Brasília: Ipea, 2017.

SILVA, A., et al. (2021). **Análise da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos em uma metrópole brasileira.** Revista de Gestão Ambiental, Volume 10(2), 120-135.

SILVA, A. et al. (2023). **Tendências na Caracterização de Resíduos Sólidos: Uma Abordagem Baseada em Padrões de Consumo.** Revista de Gestão Ambiental, Volume 10(2), 120-135.

SOUZA, A. et al. (2020). **Impacto da Política Nacional de Resíduos Sólidos na destinação adequada de resíduos no Brasil.**

SUTHAR, S., & SINGH, P. (2015). **Household Solid Waste Generation and Composition in Different Family Size and Socio-Economic Groups: A Case Study.** Sustainable Cities and Society, 14, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.07.004>.

THANH, N.P.; MATSUI, Y.; FUJIWARA, T. **Household solid waste generation and characteristic in a Mekong Delta city, Vietnam.** Journal of Environmental Management, v. 91, n. 11, p. 2307- 2321. 2010.

TRANG, P.T.T.; DONG, H.Q.; TOAN, D.Q.; HANH, N.T.X.; THU, N.T. (2017). **The Effects of Socio-economic Factors on House-hold Solid Waste Generation and Composition: A Case Study in Thu Dau Mot, Vietnam.** Energy Procedia, v. 107, p. 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.144>.

TERI, 2002. **Impact of population on water and the quality of life.** [Project report no. 1999d42]. Submitted to United Nations Population Fund, The Energy and Resource Institute, TERI, New Delhi.

T.M. Abir, M. Datta, S.R. Saha. **Assessing the factors influencing effective municipal solid waste management system in barishal metropolitan áreas.** J. Geosci. Environ. Protect., 11 (2023), pp. 49-66, 10.4236/gep.2023.111004.

VEIGA, T.B. **Indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos e implicações para a saúde urbana.** Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública), Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2014. São Paulo - SP, 263 fls.

VIANA, Ednilson e SILVEIRA, Ana Isabel e MARTINHO, Graça. **Caracterização de resíduos sólidos: uma abordagem metodológica e propositiva.** São Paulo: Biblioteca 24 Horas. Acesso em: 27 de abril de 2023.

KHAN, D.; KUMAR, A.; SAMADDER, S.R. **Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate.** Waste Management, v. 49, p. 15-25. 2016.