



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE BIOCÊNCIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO**  
**BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS**  
**AMBIENTAIS**

**INALDO HENRIQUE PEREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E ESTIMATIVA**  
**DE EMISSÕES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ENTRE DIFERENTES**  
**MESORREGIÕES DE PERNAMBUCO**

**Recife**

**2025**

INALDO HENRIQUE PEREIRA DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E ESTIMATIVA  
DE EMISSÕES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ENTRE DIFERENTES  
MESORREGIÕES DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

Coorientador (a): Profa. Dra. Maria Helena de Sousa

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Inaldo Henrique Pereira da.

Análise comparativa da composição gravimétrica e estimativa de emissões dos resíduos sólidos urbanos entre diferentes mesorregiões de Pernambuco / Inaldo Henrique Pereira da Silva. - Recife, 2025.

55p. : il., tab.

Orientador(a): Rômulo Simões Cezar Menezes

Coorientador(a): Maria Helena de Sousa

(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, , 2025.

Inclui referências.

1. Gestão de resíduos. 2. Gravimetria. 3. Valorização de resíduos. I. Menezes, Rômulo Simões Cezar. (Orientação). II. Sousa, Maria Helena de. (Coorientação). IV. Título.

570 CDD (22.ed.)

INALDO HENRIQUE PEREIRA DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E ESTIMATIVA DE  
EMISSIONES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ENTRE DIFERENTES  
MESORREGIÕES DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovado em: 20/03/2025

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Paula Renata Muniz Araújo (1º titular)  
Departamento de Energia Nuclear - UFPE

---

MSc. Patrícia Barbosa dos Reis (2º titular)  
Departamento de Energia Nuclear – UFPE

---

Profa. Dra. Maria Helena de Sousa (Coorientadora)  
Departamento de Energia Nuclear - UFPE

Recife

2025

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por sempre estar ao meu lado e fornecer todo apoio que preciso para seguir em frente.

À minha base, a família, em especial à minha mãe Carla Patrícia, ao meu pai Antônio Marcos, à minha irmã Iasmim Mirelly e à minha avó Valdice Soares, por todo suporte durante a minha jornada acadêmica, sem vocês nada disso seria possível. Amo vocês!

À minha noiva, companheira e melhor amiga Anielly Maria. Não tenho palavras para expressar o quanto você é importante na minha vida. Foram cinco anos de muitos desafios, mas tudo se tornou mais leve ao teu lado. Te amo!

À minha segunda família, sobretudo os meus sogros, Helena Oliveira e Elias Cantizano (in memoriam), por ter me acolhido desde sempre.

Aos meus melhores amigos, Júlio Linhares, Leonardo Brito e Luan Castilho, que mesmo à distância, me apoiaram e tiraram risos meus nas nossas jogatinas nos finais de semana em vários momentos que eu precisava.

Sou grato ao meu orientador Prof. Dr. Rômulo Menezes pela oportunidade, ensinamentos e por ter aceitado esse desafio. Agradeço à minha co-orientadora Profa. Dra. Maria Helena que me acompanhou com muita paciência e dedicação. Obrigado por todo incentivo e apoio!

À Paula Araújo, Patrícia Reis e Elias Gabriel por aceitarem fazer parte da banca examinadora do meu TCC e contribuírem com seus conhecimentos.

À toda equipe da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos (BERSO), em especial aos meus companheiros diários: Maria Eduarda, Ariane Helena e João Gabriel. Fui privilegiado de fazer parte desse espaço que se tornou a minha segunda casa nos últimos dois anos da graduação e foi de extrema importância para o meu crescimento acadêmico.

Agradeço a todas as amigas que fiz na Universidade, em particular à Miguel Gomes, Luiz Euzébio, Rikelme Cruz, Ana Carolina, Michele Raiza, Karen Milleny, Beatriz Félix e Ingrid Coriolano. Vocês tornaram a graduação mais leve e divertida, vou guardar lembranças dos momentos em que nos reuníamos entre as aulas para conversarmos ou quando estudávamos coletivamente antes de alguma avaliação ou seminário.

À equipe da Orizon Valorização de Resíduos, COMAGSUL, Secretarias de Arcoverde e Sertânia e aos técnicos Manoel Castro e Luiz Serpa pelo apoio e por permitir a realização deste estudo.

À PROAES e CNPq pelo apoio financeiro, sem isso, os anos na graduação seriam ainda mais desafiadores.

Por fim, meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram direta ou indiretamente durante essa caminhada.

“A Terra provê o suficiente para satisfazer as necessidades de todos, mas não a ganância de alguns.”

Mahatma Gandhi

## RESUMO

A crescente geração de resíduos e seus impactos atrelados têm se tornado cada vez mais visíveis e desafiadores. Este estudo analisou a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em quatro municípios pernambucanos – Agrestina, Chã de Alegria, Recife e Sertânia –, comparando os resultados com o último levantamento oficial do Plano Estadual de Resíduos Sólidos e avaliar a influência de fatores socioeconômicos na geração de resíduos. Utilizando o método de quarteamento, a pesquisa revelou que a fração orgânica ainda é predominante, mas com tendência de redução, refletindo mudanças nos hábitos de consumo e no aumento de materiais recicláveis. A geração per capita variou significativamente, com Recife apresentando a maior taxa (1,46 kg/hab/dia) e Sertânia a menor (0,30 kg/hab/dia), em correlação com o nível de renda. Além disso, o teor de umidade dos resíduos diferiu entre os municípios devido a fatores climáticos e à composição dos materiais. A presença de resíduos perigosos e recicláveis descartados inadequadamente destacou a necessidade de aprimorar políticas públicas e estimular iniciativas como coleta seletiva e logística reversa. Por fim, a análise estimativa de emissões reforçou a importância de uma gestão de resíduos eficiente para mitigar os impactos ambientais gerados pela disposição. Conclui-se que a caracterização gravimétrica é fundamental para estratégias sustentáveis de gestão de resíduos, alinhadas à Política Nacional de Resíduos Sólidos.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos; Gravimetria; Valorização de resíduos.

## ABSTRACT

The increasing generation of waste and its associated impacts have become increasingly visible and challenging. This study analyzed the gravimetric composition of municipal solid waste in four municipalities in Pernambuco – Agrestina, Chã de Alegria, Recife, and Sertânia – comparing the results with the latest official survey from the State Solid Waste Plan and assessing the influence of socioeconomic factors on waste generation. Using the quartering method, the research revealed that the organic fraction remains predominant but shows a decreasing trend, reflecting changes in consumption patterns and an increase in recyclable materials. Per capita waste generation varied significantly, with Recife presenting the highest rate (1.46 kg/inhabitant/day) and Sertânia the lowest (0.30 kg/inhabitant/day), correlating with income levels. Additionally, the moisture content of waste differed among municipalities due to climatic conditions and material composition. The presence of hazardous and recyclable waste improperly disposed of highlighted the need to enhance public policies and encourage initiatives such as selective collection and reverse logistics. Finally, the emissions estimate analysis reinforced the importance of efficient waste management in mitigating the environmental impacts of disposal. It is concluded that gravimetric characterization is essential for sustainable waste management strategies aligned with the National Solid Waste Policy.

**Keywords:** Waste management; Gravimetry; Waste valorization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Município de Agrestina (A) Município de Chã de Alegria (B) Município de Recife (C) Município de Sertânia.....	29
Figura 2 - Diferentes regiões da RMR categorizadas com base no IDHM .....	33
Figura 3 - Fluxograma da metodologia de gravimetria por quarteamento .....	34
Figura 4 - Homogeneização dos resíduos (A) Quarteamento e seleção de duas amostras dos resíduos (B) Desensacamento dos resíduos (C) Segregação dos resíduos.....	35
Figura 5 - Composição gravimétrica dos resíduos nos municípios .....	42
Figura 6 - Embalagens de produtos que apresentam periculosidade destinados ao Aterro Sanitário do COMAGSUL .....	44
Figura 7 - Resíduo com potencial de reciclagem com destinação inadequada.....	45
Figura 8 - Teor de umidade das frações de RSU coletadas.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dias e rotas avaliadas na caracterização de RSU dos municípios .....	33
Tabela 2 - Geração média de RSU per capita nos municípios.....	40
Tabela 3 - Composição gravimétrica dos resíduos nos municípios.....	41
Tabela 4: Dados obtidos para a equação de emissões.....	48
Tabela 5 - Emissões de gases nos aterros sanitários para municípios analisados...	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
CEE	Comunidade Econômica Europeia
COMAGSUL	Consórcio de Municípios do Agreste e Mata Sul
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CTR	Centro de Tratamento de Resíduos
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IRR	Índice de Recuperação de Resíduos
NBR	Norma Brasileira
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Polietileno Tereftalato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de Vinil
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
Planares	Plano Nacional de Resíduos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

TCE - PE	Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco
RD	Região de Desenvolvimento
RMR	Região Metropolitana do Recife
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMAS	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
C	Carbono
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub> eq	Equivalente de dióxido de carbono
Gg	Gigagrama
kg	Quilograma
kg/hab/dia	Quilograma por habitante por dia
km	Quilômetro
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
R\$	Real (moeda brasileira)
ton	Tonelada
t/ano	Tonelada por ano

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1 Geral .....	18
2.2 Específicos .....	18
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
3.1 Resíduos Sólidos .....	19
3.2 Resíduos Sólidos Urbanos .....	21
3.2.1 Panorama global .....	21
3.2.2 Gerenciamento de RSU no Brasil .....	22
3.3 Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) .....	23
3.4 Tecnologias alternativas de aproveitamento de RSU .....	23
3.5 Características físicas dos RSU .....	24
3.5.1 Caracterização gravimétrica .....	24
3.5.2 Teor de umidade .....	26
3.6 Emissões de gases de efeito estufa no setor de resíduos .....	27
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
4.1 Análise das características gerais dos municípios .....	29
4.1.1 Agrestina .....	30
4.1.2 Chã de Alegria .....	30
4.1.3 Recife .....	30
4.1.4 Sertânia .....	31
4.2 Área de estudo .....	31
4.3 Definição de rotas de coleta .....	32
4.4 Metodologia do ensaio .....	33
4.6 Identificação dos resíduos .....	36
4.7 Geração de resíduos .....	36
4.8 Análise do teor de umidade .....	37
4.9 Análise de emissões .....	37
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>40</b>
5.1 Geração de resíduos .....	40
5.3 Análise do teor de umidade .....	46
5.4 Análise de emissões .....	48
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>50</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial trouxe consigo diversas inovações tecnológicas, gerando maior produtividade (ZANIRATO E ROTONDARO, 2016). Assim, surgiu uma sociedade em que os indivíduos não apenas consomem mais do que o indicado para suprir suas necessidades básicas, como também buscam maior qualidade nos bens a serem consumidos. A apropriação dos bens tornou-se mais uma forma de distinção social, a qual estimula a demanda por novos produtos. Além disso, a sociedade moderna baseia-se em uma estratégia, na qual se cria a necessidade para posteriormente oferecer um produto que atenda, por exemplo, há a necessidade do homem moderno por produtos que oferecem mais praticidade e eficiência no seu cotidiano, criando um ciclo de demanda e oferta (ZANIN; RODRIGUES, 2016). O desenvolvimento tecnológico, a expansão industrial e o aumento do poder aquisitivo levam à mudança dos padrões de consumo, o que gera maior demanda por bens e serviços e, conseqüentemente, mais resíduos. (OENNING *et al.*, 2012; FRANCO, 2012).

A problemática relacionada à geração de resíduos sólidos decorrentes das atividades humanas, tem se tornado cada vez mais evidente. O aumento da geração de resíduos está diretamente relacionado com o crescimento exponencial da população e ao processo de urbanização, onde 87% da população brasileira vive em áreas urbanas (IBGE, 2022). Essa característica se torna um desafio, especialmente quando consideramos a infraestrutura sanitária, que, na maioria das cidades brasileiras, não acompanha esse crescimento acelerado.

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos de 2024, elaborado pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), cerca de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) foram gerados no país em 2023, sendo que 93,4% foram coletados e apenas 58,5% foram dispostos de forma ambientalmente adequada, ou seja, seguiram para aterros sanitários. Embora os 93,4% coletados representem um índice elevado, os 6,6% não coletados equivalem a mais de 5 milhões de toneladas de RSU que possuem o descarte incorreto, seja a céu aberto, lançados na rede pública de esgotos ou queimados, causando impactos ambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa, contaminação de solos, corpos d'água e lençóis freáticos. Além disso, afetam a saúde pública, uma vez

que ambientes com descarte incorreto de resíduos, principalmente orgânicos, são propícios ao desenvolvimento de parasitas e vetores de doenças.

A Lei nº 11.445/2007, que estabeleceu a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), além de traçar as diretrizes, integrou os resíduos sólidos nos planos municipais de saneamento (BRASIL, 2007). No entanto, o grande marco regulatório no país foi determinado na Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) é um documento previsto na PNRS que identifica o tipo e quantidade de resíduos gerados por uma atividade, assim como as etapas de segregação, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final. Para elaborar um PGRS, a caracterização gravimétrica é uma ferramenta fundamental, pois permite identificar as características quantitativas e qualitativas desses resíduos, possibilitando o desenvolvimento de propostas de gestão mais eficazes, tanto para o planejamento de atividades no setor de limpeza urbana quanto para a avaliação do potencial de recuperação (MOURA, 2012). Portanto, ao realizar a caracterização, por exemplo, é possível dimensionar de forma correta as rotas convencionais de coleta para as regiões de uma cidade, assim como a necessidade de coleta seletiva (IBAM, 2001), sendo um importante instrumento para a gestão integrada de um município, pois contribui para a elaboração de um projeto ou programa que envolva resíduos sólidos (STREB *et al.* 2004). A quantidade e as características dos resíduos variam não só entre países, mas também entre regiões, estando diretamente relacionadas à estrutura socioeconômica, sazonalidade, estilo de vida e hábitos de consumo da população local (OZCAN *et al.*, 2016).

Através da composição gravimétrica é possível avaliar a possibilidade de valorização dos materiais através do aproveitamento comercial das frações recicláveis, assim como da fração orgânica para a produção de composto orgânico, por exemplo (MENEZES *et al.*, 2019), além de estimar os impactos ambientais gerados a partir do sistema de gestão de resíduos. Segundo o relatório “Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil”, as emissões de metano em aterros sanitários representam uma das principais atividades emissoras de gases de efeito estufa (GEE) (IEMA, 2023), no qual é gerado pela decomposição da matéria orgânica. Portanto, dados como a composição dos resíduos, especificamente a fração orgânica, permitem calcular essas emissões.

Este trabalho teve como objetivo realizar a caracterização gravimétrica de municípios de diferentes regiões do estado de Pernambuco, visando comparar os resultados obtidos com o último levantamento oficial de gravimetria publicado em 2012 no Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS). Vale ressaltar que para alguns municípios como Recife e Agrestina, foi encontrado estudos realizados após a publicação do PERS, porém o mais recente foi em 2018 e 2015, respectivamente, enquanto para Chã de Alegria e Sertânia, não foi encontrado, tendo como referência apenas os dados do plano. Além disso, buscou-se avaliar a influência socioeconômica sobre as características dos resíduos gerados nos municípios. Dessa forma, espera-se contribuir para o conhecimento da geração de resíduos nesses locais, identificando as oportunidades para a redução, aproveitamento e valorização desses materiais, fornecendo subsídios para a implementação de políticas públicas mais eficientes e sustentáveis, alinhadas com a PNRS.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Caracterizar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em quatro municípios localizados em diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco e contribuir para o conhecimento das condições de geração de resíduos, bem como propor alternativas para seu aproveitamento.

### 2.2 Específicos

Para os municípios selecionados:

- Coletar dados referentes à geração de RSU;
- Coletar e caracterizar as amostras;
- Avaliar relação entre a composição gravimétrica e a região, assim como os índices socioeconômicos dos municípios;
- Estimar as emissões de gases gerados na disposição dos resíduos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Resíduos Sólidos

De forma geral, os subprodutos da atividade humana, conhecidos como 'lixo', apresentam características diversas dependendo dos processos que os geram e são descartados mesmo que possam ser reaproveitados. Atualmente, esses materiais são definidos como resíduos sólidos (RS), que incluem a possibilidade de valorização (BARROS, 2012).

A definição oficial utilizada no Brasil para esses materiais é de acordo com a Lei nº 12.305/2010, Art. 3º, inciso XVI, a qual constituiu a PNRS, e com a norma ABNT 10.004/2004.

Segundo a Lei nº 12.305/2010, Art. 3º, inciso XVI:

“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 técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Já a ABNT NBR 10.004/2004 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).

De acordo com a ABNT NBR 10.004/2004, os resíduos são classificados com base em suas características, sendo divididos em:

a) Resíduos classe I - Perigosos: São aqueles que apresentam as seguintes características: Inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Além disso, denota periculosidade, ou seja, podem oferecer risco à saúde pública, provocando mortalidade, doenças ou danos ao meio ambiente.

b) Resíduos classe II – Não perigosos;

– Resíduos classe II A – Não inertes: São aqueles que possuem propriedades como: Biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

– Resíduos classe II B – Inertes: São aqueles que ao serem submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção a aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Além disso, são classificados de acordo com a sua natureza ou origem:

- Resíduos domiciliares;
- Resíduos de limpeza urbana;
- Resíduos comerciais;
- Resíduos de serviços públicos;
- Resíduos industriais;
- Resíduos de serviço de saúde;
- Resíduos da construção civil;
- Resíduos agrossilvopastoris;
- Resíduos de serviços de transporte;
- Resíduos de mineração.

## 3.2 Resíduos Sólidos Urbanos

Os materiais descartados provenientes de atividades humanas de origem domiciliar, comercial e de limpeza urbana são classificados como Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (BRASIL, 2010).

### 3.2.1 Panorama global

De acordo com o relatório “*What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*”, publicado em 2018, a geração mundial de resíduos sólidos urbanos anualmente é de 2,01 bilhões de toneladas, onde pelo menos 33% não é gerenciado de forma ambientalmente segura, em que se espera um aumento para 3,40 bilhões de toneladas até 2050. Mesmo representando apenas 16% da população mundial, os países de alta renda são responsáveis pela geração de 34% dos resíduos do mundo. No mundo, a geração de resíduos *per capita* é em média de 0,74 kg por dia, no entanto há uma ampla variação, de 0,11 e 4,54 kg, e está atrelado ao nível de renda (WORLD BANK, 2018). Um estudo realizado pela *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD), apontou que tanto os países desenvolvidos como os em desenvolvimento possuem relação direta entre o crescimento da população, PIB e geração de resíduos *per capita* em uma projeção até 2030 (OECD, 2009).

A coleta de resíduos é uma etapa fundamental para o gerenciamento, porém as taxas também variam de acordo com os níveis de renda. Países de média-alta e alta renda fornecem coleta quase universal, 82% e 96%, respectivamente, diferente dos países de baixa renda que possuem uma taxa de coleta de 39%. Em países de baixa renda, os resíduos são majoritariamente despejados a céu aberto, com apenas 7% destinados de forma ambientalmente adequada, enquanto isso nos países de renda média-alta, essa taxa aumenta para 54%, já para países de alta renda, esse fator representa 39%, uma vez que formas de tratamento como reciclagem, compostagem e incineração são priorizados (WORLD BANK, 2018).

### 3.2.2 Gerenciamento de RSU no Brasil

Conforme o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2024, é possível encontrar desafios semelhantes ao cenário mundial, mas com particularidades regionais (ABREMA, 2024). Cada brasileiro gerou uma média de 1,047 kg de RSU em 2023, o Sudeste destaca-se na geração per capita, com 1,237 kg/hab/dia, enquanto o Sul apresenta a menor taxa, com 0,779 kg/hab/dia. É estimado uma geração de aproximadamente 81 milhões de toneladas de RSU no país em 2023, com um aumento de cerca de 5% comparado ao ano anterior, no qual o Sudeste sobressai por ter a maior geração, aproximadamente 50%, seguido do Nordeste com 24,7%, o Sul com 10,8%, o Centro-Oeste com 7,7%, e por fim o Norte com a menor contribuição equivalente a 7,5% (ABREMA, 2024).

Em 2023, estimou-se que 93,4% tenham sido coletados de forma adequada, onde as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste estão acima da média nacional, com 98,8%, 97,2% e 95,2%, respectivamente. Norte e Nordeste possuem os menores índices com uma coleta de aproximadamente 83% dos RSU gerados, tornando um dado preocupante, uma vez que o Nordeste é a segunda região com maior geração, o que evidencia a ausência de uma gestão de resíduos eficaz. O art. 3º, inciso VII, da PNRS (BRASIL, 2010) determina que após tratamento e destinação dos resíduos, os rejeitos devem ser enviados para uma disposição final adequada, no entanto áreas de disposição inadequada receberam cerca de 41,5% do total dos resíduos coletados em 2023. O Sudeste e Sul foram as regiões que apresentaram índices acima de 61% dos RSU coletados enviados para aterros sanitários, disposição ambientalmente adequada de acordo com a PNRS, paralelamente o Norte e Nordeste demonstraram o menor desempenho do país, permanecendo abaixo da média nacional com apenas 38% e 43,8% respectivamente (ABREMA, 2024).

O Planares (Plano Nacional de Resíduos Sólidos), instituído pelo Decreto nº 11.043 de 2022 (BRASIL, 2022), visa operacionalizar as diretrizes já existentes na PNRS, estabelece indicadores e metas como aumento do índice de recuperação de resíduos (IRR) através da reciclagem, tratamento biológico e recuperação energética, e o fim da disposição inadequada dos resíduos até 2024. No entanto, ao analisar os dados do último Panorama da ABREMA, é possível observar que a disposição inadequada ainda é uma realidade comum no país e com avanços pouco significativos, não atendendo sequer o índice da meta 3 de 2020, no indicador

secundário 3.3 do Planares, que visava a redução para 24,4% no envio de resíduos para lixões e aterros controlados. O indicador global 4 é um dos principais indicadores do Planares, no qual trata-se do percentual de massa recuperada para reduzir a quantidade de resíduos destinados à disposição final, com meta de recuperar 48,1% da massa total de RSU gerados nacionalmente até 2040. Todavia, esse indicador leva em consideração o encerramento de lixões e aterros sanitários, podendo afetar o desempenho da recuperação, melhoria nas cadeias de logística reversa e estímulo à reciclagem, tratamento biológico e recuperação energética.

### 3.3 Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS)

Em 2012, Pernambuco publicou o PERS de acordo com as diretrizes determinadas na Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e Lei nº 14.236/2010 (Política Estadual de Resíduos Sólidos), com o objetivo de estabelecer estratégias, metas, programas e projetos para subsidiar a gestão de resíduos sólidos no estado. Uma das metas definidas pelo plano é a 5.1.1, que se refere à disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e tem como objetivo a erradicação das áreas de disposição a céu aberto até 2014. Essa meta foi atingida apenas em 2023, segundo o relatório do Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco de 2023 (RECIFE, 2023), no entanto não é possível afirmar que a destinação dos resíduos é 100% ambientalmente adequada no estado, uma vez que o relatório abrange apenas lixões e não aterros controlados, que ainda é uma destinação irregular de acordo com a PNRS.

### 3.4 Tecnologias alternativas de aproveitamento de RSU

O tratamento de RSU tem como objetivo reduzir a carga disposta ao meio ambiente e os impactos sanitários negativos ao homem e gerar beneficiamento econômico a partir dos resíduos. Segundo Jucá (2013), tecnologias de tratamento são mais difundidas em países de alta renda comparado a países menos desenvolvidos, no qual a disposição em aterros é comum, isso se dá devido a diferença das necessidades energéticas, ambientais e de recursos, além de estar atrelado a características como demanda da população, cultura, economia, educação, tecnologia e legislação.

Atualmente, existem quatro sistemas básicos de tratamento e destinação final dos RSU, que podem envolver processos físicos, químicos e biológicos: triagem (segregação e reciclagem), tratamento biológico (compostagem e biodigestores anaeróbios), incineração (tratamento térmico) e aterros sanitários (disposição final). Para determinar a forma de tratamento, é relevante analisar os RSU, considerando a sua geração (quantidade e composição) (JUCÁ *et al.*, 2013). No entanto, no Brasil, a disposição final é a forma de destinação predominantemente adotada. De acordo com o Planares, o índice de recuperação de resíduos é pouco expressivo, para a massa de resíduos secos apenas 2,2% foi reciclado, enquanto a fração orgânica apresenta um resultado ainda menor, equivalente a 0,2% em relação à massa total coletada (SNIS, 2018).

### 3.5 Características físicas dos RSU

As características físicas dos resíduos sólidos são elementos fundamentais para sua classificação e gestão, pois subsidiam o dimensionamento de unidades de tratamento, a seleção de tecnologias adequadas e a configuração dos locais de disposição final. Dentre essas características, destacam-se: a geração *per capita*, a composição gravimétrica, o peso específico aparente, o teor de umidade, a capacidade de campo, a granulometria, a temperatura e a compressibilidade (BARROS, 2012; MELO, 2015). Para este estudo, foram consideradas especificamente geração *per capita*, composição gravimétrica, peso específico e o teor de umidade.

#### 3.5.1 Caracterização gravimétrica

Segundo a NBR 10.007/2004, a caracterização gravimétrica é definida como:

“Determinação dos constituintes e de suas respectivas percentagens em peso e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico e biológico” (ABNT, 2004).

Dessa forma, um estudo gravimétrico é definido pela composição gravimétrica, geração *per capita* e peso específico dos RSU, permitindo ao município conhecer as

principais características dos resíduos produzidos (FEAM, 2019). O Art. 19º da PNRS determina que a caracterização é um dos requisitos mínimos que deve estar presente na elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), os quais os municípios são obrigados a elaborar para estar de acordo com a política. Portanto, é uma ferramenta essencial para gerar dados e definir modelos de gestão, desde a coleta até a destinação final, favorecendo a avaliação de possibilidades de redução na geração de resíduos e o reaproveitamento dos constituintes passíveis de reciclagem, valorização energética e tratamento biológico (INEA, 2021; FEAM, 2019). Além disso, é importante que o município não adote a composição gravimétrica de um município similar. Deve-se realizar a própria composição gravimétrica em razão de haver variação de acordo com fatores econômicos (maior influência direta), sazonais, demográficos, geográficos, culturais, temporais, políticos, entre outros (VIANA *et al.* 2015).

Como citado anteriormente, a composição dos resíduos difere entre os níveis de renda devido aos padrões de consumo. A nível global, países de alta renda geram menos resíduos orgânicos, atingindo um total de 32%. Por outro lado, há uma maior geração de resíduos secos que podem ser destinados para a reciclagem, incluindo papel, plástico, papelão, vidro e metal, que correspondem a 51% dos resíduos. Países de média e baixa renda geram respectivamente 53% e 56% de orgânicos, portanto, esta fração é inversamente proporcional ao desenvolvimento econômico (WORLD BANK, 2018).

Em âmbito nacional, nota-se que os dados de composição de resíduos do Brasil estão coerentes com os dados mundiais de países de média-alta renda: 45,3% dos RSU gerados no país é de fração orgânica e é o principal componente, em contrapartida há uma menor geração de resíduos secos (35%) (ABRELPE, 2020).

Ao analisar os dados regionais, o último levantamento oficial da composição gravimétrica dos resíduos no Estado de Pernambuco é do PERS, realizado em 2010. No estado, em média, cerca de 56,46% dos RSU é representado pela fração orgânica, por outro lado apenas 25,7% corresponde aos resíduos secos. Para Região Metropolitana do Recife (RMR), há o levantamento do Plano Metropolitano dos Resíduos Sólidos (2011), o qual apresenta percentuais aproximados do PERS, sendo 54,4% de fração orgânica e 24,8% de resíduos secos. No entanto, estudos mais recentes como o de Tavares (2018), que realizou a caracterização gravimétrica da RMR, demonstram que houve mudanças consideráveis nos percentuais. Para a

fração orgânica houve uma redução para 35,8% e referente aos resíduos secos houve um acréscimo para 37,1%, com destaque de 12,71% para plásticos flexíveis, material utilizado principalmente na indústria de alimentos.

A modificação significativa da composição dos resíduos se dá principalmente pelo aumento global do consumo de alimentos semipreparados e ultra processados, que minimiza a quantidade de matéria orgânica e potencializa o uso de embalagens e resíduos plásticos, tornando-os o segundo maior componente em volume na massa de resíduos. Porém, essa não é uma característica presente apenas em grandes centros urbanos, estende-se para todas as regiões de um país, cidades ou bairros (MELO, 2015).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis (ABIEF), atualmente a indústria de embalagens plásticas flexíveis representa 32% da produção total da indústria de transformação de plásticos. Em 2023, houve um aumento de 2,5% no consumo quando comparado ao ano anterior, totalizando 2,224 milhões de toneladas produzidas.

De acordo com Kim (2019) há uma dificuldade quanto a comparação de trabalhos realizados para a caracterização física dos resíduos sólidos no Brasil, uma vez que não há uma padronização quanto à classificação. Por exemplo, para a classe “rejeito”, apenas 37% dos 30 trabalhos analisados pela autora adotaram a classe, mesmo sendo inevitável a geração deste tipo de resíduo em uma área urbana. Além disso, outra característica que dificulta a comparação, é que a maioria dos estudos de gravimetria baseia-se em apenas uma ou poucas coletas, o que pode afetar nos resultados, já que vários fatores influenciam na composição de resíduos ao longo do tempo, como descrito por Ozcan *et al.* (2016). Dessa forma, é essencial que haja uma padronização para a metodologia de caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos no Brasil.

Por fim, segundo Edjabou *et al.* (2015), a caracterização dos resíduos pode ser dividida em três etapas: amostragem, classificação dos materiais e manipulação, interpretação e aplicação dos dados obtidos.

### 3.5.2 Teor de umidade

O teor de umidade do resíduo é um parâmetro fundamental para a seleção das tecnologias mais adequadas de tratamento e destinação final. Este é influenciado por

diversos fatores, como a composição do material, condições climáticas, sazonalidade, procedimentos operacionais de coleta, método de cobertura e aterramento, sistema de drenagem de gases e líquidos, entre outros (HABITZREUTER, 2008; MOTTA, 2011). Esse parâmetro físico desempenha um papel fundamental no processo de degradação da matéria orgânica pelos microrganismos. Teores superiores a 65% ou inferiores a 40% podem inibir ou desacelerar a atividade microbológica, reduzindo, conseqüentemente, a taxa de degradação do material (LIMA, 2014; OLIVEIRA, 2010). Dentre as frações presentes nos RSU, a matéria orgânica possui a maior capacidade de retenção de água. Dessa forma, há uma relação direta entre o teor de umidade dos resíduos e a quantidade de matéria orgânica presente (LANDVA & CLARK, 1990).

Além de influenciar a biodegradabilidade, o teor de umidade interfere no poder calorífico e no peso específico dos RSU. Quando esses resíduos são utilizados como fonte energética por combustão, por exemplo, um alto teor de umidade pode comprometer a viabilidade do processo, pois exige uma etapa de secagem, encarecendo o processo (GONÇALVES et al., 2009).

Portanto, a umidade é um dos parâmetros mais relevantes que deve ser avaliado e considerado no planejamento de um sistema de gestão de resíduos.

### 3.6 Emissões de gases de efeito estufa no setor de resíduos

Em 2022, o setor de resíduos foi responsável pela emissão de 91,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq no Brasil, o que representa cerca de 4% das emissões nacionais, sendo 59,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq relacionados à disposição final (IEMA, 2023). Historicamente, há um crescimento acentuado nas emissões do setor, durante o período de 1990-2010 esse crescimento foi exponencial, apresentando uma taxa de 161% (GAMA, 2020). Nos anos posteriores, houve uma estabilização quanto as emissões, e pela primeira vez na série histórica, em 2022, foi observado uma redução na taxa. Esse fator é atrelado ao sistema de gestão, uma vez que as etapas de gerenciamento contribuem na geração de GEE. É possível citar atividades emissoras como a coleta e transporte dos resíduos da fonte geradora ao local de tratamento ou disposição final, devido ao consumo de combustíveis fósseis, e a forma de tratamento dado aos resíduos (TACHIBANA, 2019). Estima-se que 10 a 15% das emissões poderiam ser reduzidas através de medidas como redução da disposição de resíduos

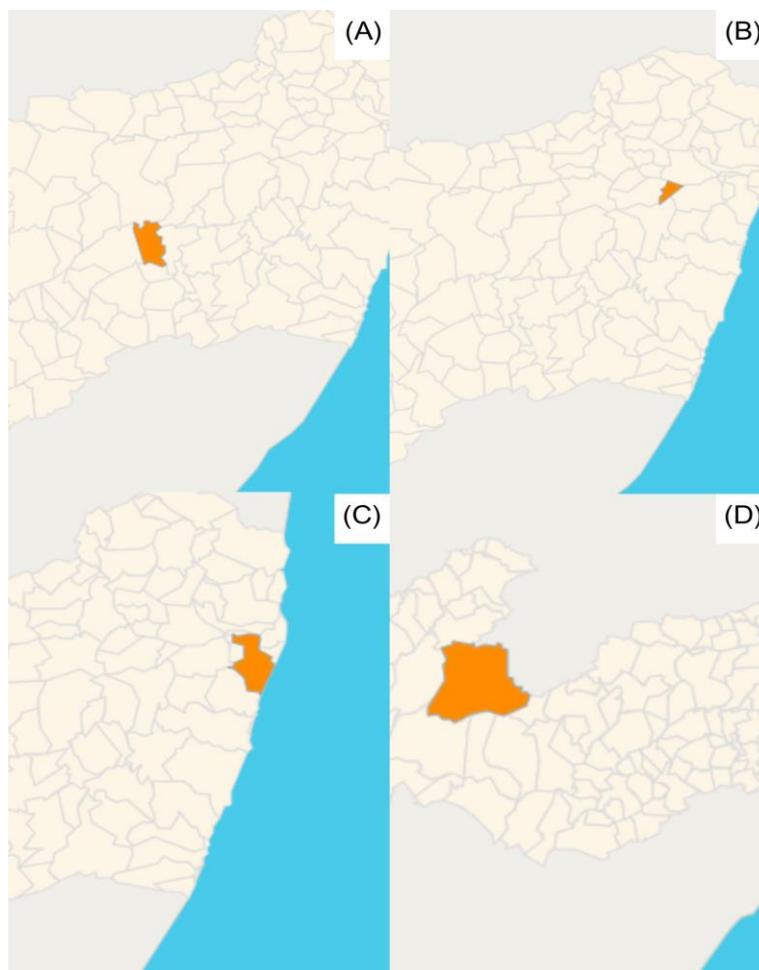
em aterros sanitários e valorização através do aproveitamento energético e reciclagem, por exemplo (UNEP; ISWA, 2016).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Análise das características gerais dos municípios

Os municípios escolhidos para realizar a gravimetria foram: Agrestina, Chã de Alegria, Recife e Sertânia (Figura 1). De forma geral, os municípios possuem IDHMs diferentes e estão localizados em diferentes mesorregiões, sendo: Agreste, Zona da Mata, Região Metropolitana e Sertão, respectivamente.

Figura 1 - Município de Agrestina (A) Município de Chã de Alegria (B) Município de Recife (C) Município de Sertânia



Fonte: IBGE (2024)

#### 4.1.1 Agrestina

O município está localizado na Região de Desenvolvimento (RD) Agreste Central do Estado de Pernambuco, distante 154 km da capital. Possui uma área de aproximadamente 200 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 23.779 pessoas, sendo 79,1% presentes em áreas urbanas (IBGE, 2022). O Produto Interno Bruto (PIB) per capita é de R\$13.980,13, ocupando a 60ª posição de 185 entre os municípios do estado (IBGE, 2021), e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,592 (IBGE, 2010). Segundo o levantamento realizado em 2010, a geração de resíduos sólidos *per capita* era de 0,39 kg/hab/dia e um total de 3.284,51 t/ano (SEMAS, 2012). Em Agrestina, 90,38% dos resíduos gerados pela população são coletados e 99,83% da população total é atendida pelo sistema de coleta domiciliar (IBGE, 2022; SNIS, 2022). A destinação final do RSU é o Aterro Sanitário COMAGSUL localizado no município de Altinho/PE (CPRH, 2023).

#### 4.1.2 Chã de Alegria

O município está localizado na RD Mata Norte do Estado de Pernambuco, distante 52 km da capital. Possui uma área de aproximadamente 50 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 12.984 pessoas, sendo 81,9% presentes em áreas urbanas. O PIB *per capita* é de R\$12.371,37, ocupando a 80ª posição de 185 entre os municípios do estado (IBGE, 2021), e o IDHM de 0,604 (IBGE, 2010). Segundo o levantamento realizado em 2010, a geração de resíduos sólidos *per capita* era de 1,45 kg/hab/dia e um total de 6.682,05 t/ano (SEMAS, 2012). Não há dados disponíveis sobre a coleta dos Resíduos Sólidos para Chã de Alegria. A destinação final do RSU é o Ecoparque Jaboatão/PE (CPRH, 2023).

#### 4.1.3 Recife

A capital do Estado de Pernambuco está localizada na RD Metropolitana. Possui uma área de aproximadamente 218,843 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 1.488.920 pessoas, sendo 100% presentes em área urbana (IBGE, 2022). O PIB per capita é de 33.094,37 R\$, ocupando a 9ª posição de 185 entre os municípios do estado (IBGE, 2021), e o IDHM de 0,772 (IBGE, 2010). Segundo o levantamento

realizado em 2010, a geração de resíduos sólidos *per capita* era de 1,58 kg/hab/dia e um total de 898,681,76 t/ano (SEMAS, 2012). Em Recife, 98,26% dos resíduos gerados pela população são coletados e 100% da população total é atendida pelo sistema de coleta domiciliar (IBGE, 2022; SNIS, 2022). A destinação final do RSU é o Ecoparque Jaboatão/PE (CPRH, 2023).

#### 4.1.4 Sertânia

O município está localizado na RD Sertão do Moxotó do Estado de Pernambuco, distante 313 km da capital. Possui uma área de aproximadamente 2.421,527 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 32.811 pessoas, sendo 57,3% presentes na área urbana (IBGE, 2022). O PIB per capita é de 10.151,94 R\$, ocupando a 125ª posição de 185 entre os municípios do estado (IBGE, 2021), e o IDHM de 0,613 (IBGE, 2010). Segundo o levantamento realizado em 2010, a geração de resíduos sólidos *per capita* era de 0,70 kg/hab/dia e um total de 8.719,96 t/ano (SEMAS, 2012). Em Sertânia, 63,86% dos resíduos gerados pela população são coletados e 86% da população total é atendida pelo sistema de coleta domiciliar (IBGE, 2022; SNIS, 2022). A destinação final do RSU é o Aterro Sanitário Municipal de Arcoverde/PE (CPRH, 2023).

#### 4.2 Área de estudo

O trabalho foi realizado em três locais, Ecoparque Jaboatão/PE, Aterro Sanitário Municipal de Arcoverde/PE e Aterro Sanitário Consórcio de Municípios do Agreste e Mata Sul (COMAGSUL), localizado no município de Altinho/PE.

O Ecoparque Jaboatão atende os municípios de Recife, Jaboatão, Cabo de Santo Agostinho, São Lourenço da Mata, Moreno, Vitória de Santo Antão, Chã de Alegria e o distrito de Fernando de Noronha. A unidade possui tecnologias de tratamento e aproveitamento de resíduos, como tratamento do chorume e transformação em água para reúso, produção de biogás e conversão em biometano para a geração de energia elétrica renovável e a recuperação da fração de recicláveis a partir da Unidade de Triagem Mecanizada (UTM).

O Aterro Sanitário Municipal de Arcoverde atende os municípios de Arcoverde, Buíque, Pedra, Sertânia, Tupanatinga, São Sebastião do Umbuzeiro - PB e Zabelê -

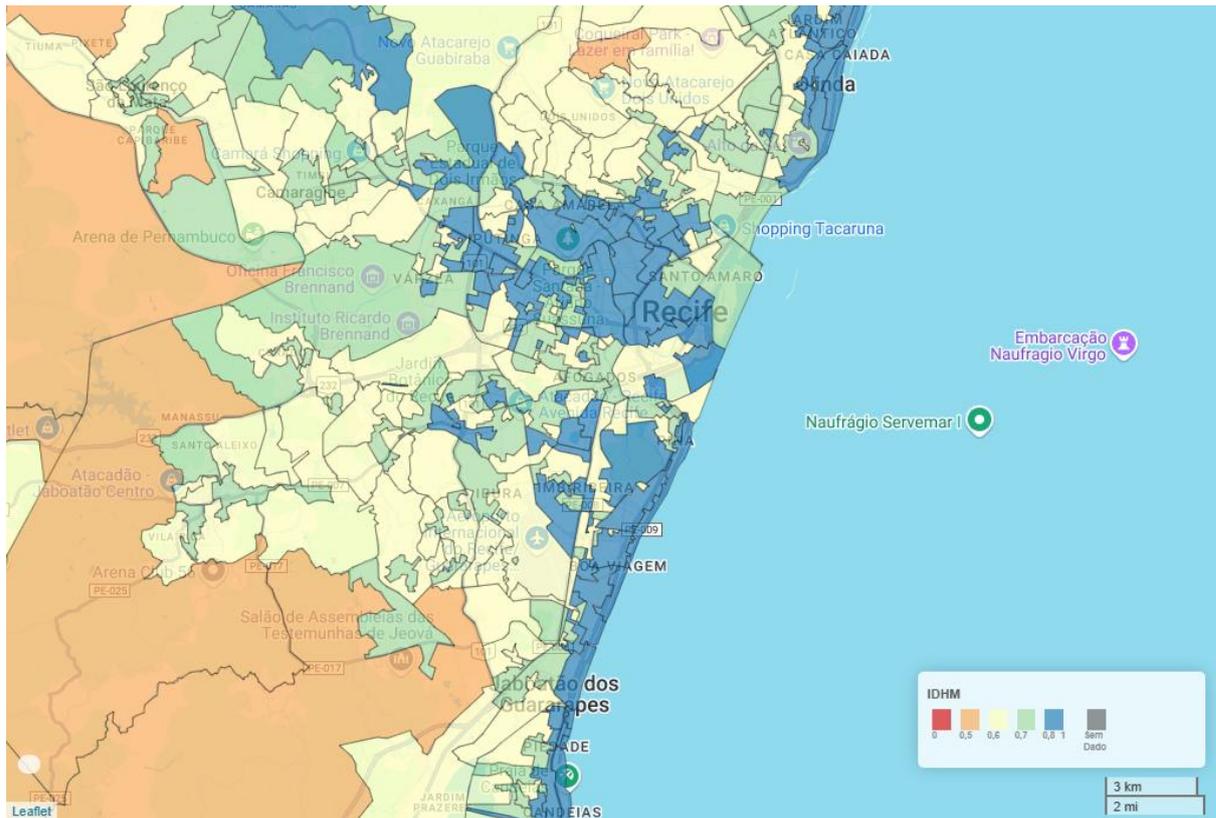
PB. A unidade possui tecnologias de tratamento simples, como lagoa de estabilização de chorume e a queima do metano gerado através de *flare*, portanto não há o aproveitamento de resíduos para geração de energia.

O Aterro Sanitário do COMAGSUL atende os municípios de Altinho, Agrestina, Catende, Bonito, Belém de Maria, Lagoa dos Gatos, Cupira e Panelas. A unidade possui tecnologias de tratamento simples, semelhante ao Aterro Sanitário Municipal de Arcoverde.

#### 4.3 Definição de rotas de coleta

Nessa etapa, selecionou-se os bairros em que os resíduos foram coletados e analisados. Para este estudo, essa etapa foi realizada apenas para o município de Recife devido a sua grande densidade populacional e variação socioeconômica, resultando em uma geração heterogênea dos resíduos. Para isso, os bairros foram selecionados com base no mapa da figura 2 (ATLAS BRASIL, 2025). A fim de obter uma amostra mais representativa, optou-se por selecionar bairros de média renda, com IDHM próximo ao da média municipal. Para os demais municípios, foi selecionada apenas uma rota, sendo esta não predeterminada (Tabela 1).

Figura 2 - Diferentes regiões da RMR categorizadas com base no IDHM



Fonte: Atlas Brasil (2025)

Tabela 1 - Dias e rotas avaliadas na caracterização de RSU dos municípios

Municípios	Rotas	Dias de coleta
Recife	2	20/01/2025
Chã de Alegria	1	21/01/2025
Agrestina	1	31/01/2025
Sertânia	1	01/02/2025

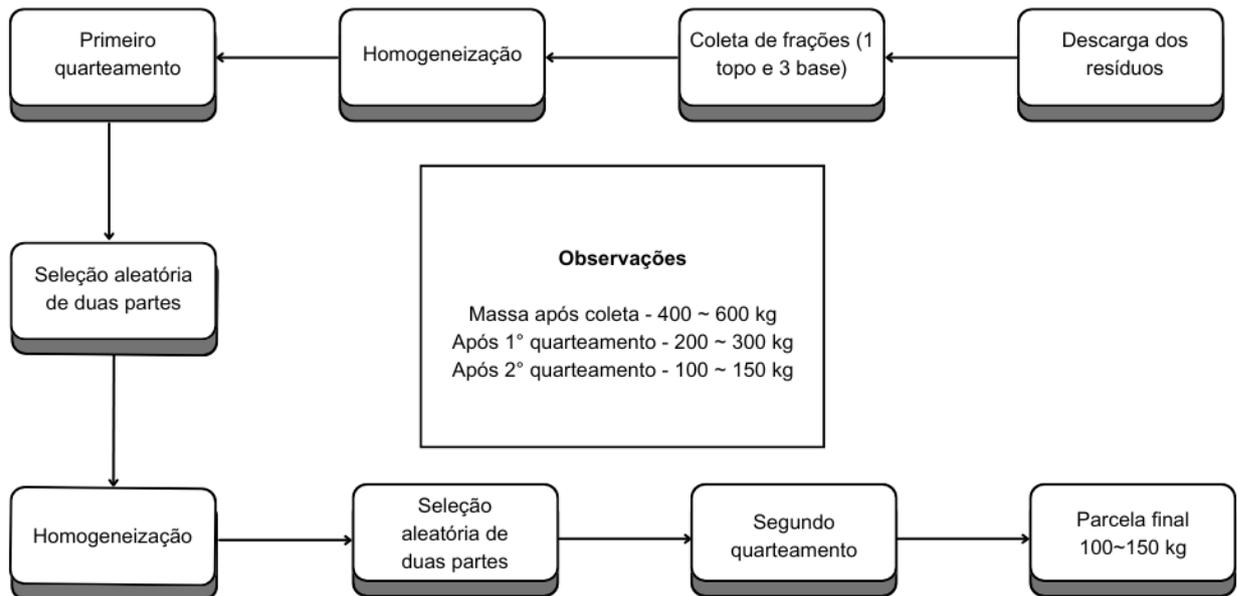
Fonte: O Autor (2025)

#### 4.4 Metodologia do ensaio

A metodologia escolhida para o ensaio foi o método de quarteamento (Figura 3), amplamente adotado em estudos de gravimetria (KIM, 2019) e recomendado pela

NBR 10.007/2004 (BRASIL, 2004). Uma vez que os resíduos sólidos são constituídos de elementos com características diferentes entre si, ou seja, heterogêneos, e está atrelado a diversos fatores, o método de quarteramento busca uma maior representatividade da amostra.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia de gravimetria por quarteramento



Fonte: O Autor (2025)

Os resíduos foram caracterizados seguindo os procedimentos descritos a seguir (Figura 3 e 4):

- 1) Descarregamento dos RSU pelo caminhão compactador ou caçamba numa área pré-determinada;
- 2) Coleta de frações, 1 do topo e 3 da base;
- 3) Mistura e homogeneização do material em lona PEAD;
- 4) Realização do primeiro quarteramento com o auxílio de pás e enxadas, eliminando duas partes aleatoriamente;
- 5) Nova mistura e homogeneização manual do material oriundo do primeiro quarteramento;
- 6) Segundo e último quarteramento manual, eliminando duas partes aleatoriamente;

- 7) Segregação, identificação e acondicionamento em baldes de 60L correspondente à categoria de resíduos;
- 8) Pesagem dos resíduos com uma balança suspensa.

Figura 4 - Homogeneização dos resíduos (A) Quarteamento e seleção de duas amostras dos resíduos (B) Desensacamento dos resíduos (C) Segregação dos resíduos



Fonte: O Autor (2025)

#### 4.6 Identificação dos resíduos

No Brasil não há uma norma específica para identificar e categorizar os RSU, portanto para esta fase foi utilizada uma adaptação da metodologia da legislação portuguesa através da Portaria n° 851/2009, adotada pela Comunidade Económica Europeia (CEE) (DIÁRIO DA REPÚBLICA PORTUGUESA, 2009).

- 1) Vidro;
- 2) Metais ferrosos;
- 3) Metais não ferrosos;
- 4) Papel/Papelão;
- 5) Madeira/Coco;
- 6) Orgânicos;
- 7) Plásticos moles ou flexíveis (PEBD);
- 8) Plásticos duros ou rígidos (PEAD, PS, PP ou PVC);
- 9) Plástico Polietileno Tereftalato (PET);
- 10) Outros plásticos (Plásticos mistos e/ou não se encaixam nas categorias anteriores);
- 11) Resíduos perigosos;
- 12) Têxteis;
- 13) Sanitários;
- 14) Compósitos;
- 15) Outros resíduos.

#### 4.7 Geração de resíduos

Com base nos dados de geração mensal fornecidos pelos aterros sanitários, para o ano de 2024, foram calculadas a geração anual e a média diária de resíduos. Além disso, a geração per capita (kg/hab/dia) foi estimada a partir da geração diária e das informações populacionais dos municípios, conforme o Censo Demográfico do Brasil (IBGE, 2022).

#### 4.8 Análise do teor de umidade

Para esta análise, foi utilizado o processo metodológico descrito por Firmo (2013), onde através da razão entre a amostra do material e a massa seca é calculada a umidade. As frações dos resíduos coletadas tiveram a sua massa aferida, sendo esta a amostra úmida, e levadas à estufa a 65°C até que a massa estabilizasse, e aferida novamente para obter o valor da amostra seca (equação 1).

$$U = \frac{AU-AS}{AU} * 100\% \quad (1)$$

U: Percentual de umidade;

AU: Amostra úmida;

AS: Amostra seca.

#### 4.9 Análise de emissões

Para estimar o impacto no potencial de aquecimento global pela destinação destes resíduos, foram calculadas as emissões de dióxido de carbono (em kgCO<sub>2</sub>eq/ton RSU), com o auxílio da ferramenta Excel, geradas pela decomposição da fração orgânica dos RSU nos municípios analisados. Foi utilizada a metodologia do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001) conforme o método padrão *Tier 1* (equação 2).

$$\text{Emissões de CH}_4 \text{ (Gg/ano)} = [(MSW_T \cdot MSW_F \cdot L_0) - R] \cdot (1 - OX) \quad (2)$$

Onde:

MSW<sub>T</sub> = Total de RSU gerado (Gg/ano)

MSW<sub>F</sub> = Fração de RSU destinados para a disposição final

L<sub>0</sub> = Potencial de geração de metano

R = CH<sub>4</sub> recuperado (Gg/ano)

OX = Fator de oxidação (fração)

O potencial de geração de metano ( $L_0$ ) foi calculado conforme a equação 3:

$$L_0 [MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16 / 12 \text{ (Gg CH}_4\text{/Gg RSU)} \quad (3)$$

MCF = Fator de correção de metano (fração)

DOC = Carbono orgânico degradável (Gg C/Gg RSU)

$DOC_F$  = Fração DOC dissimilada

F = Fator de conversão de carbono em metano

16/12 = Conversão da massa de carbono para a massa de metano

Por fim, o carbono orgânico degradável (DOC) foi determinado com base na composição gravimétrica e conforme a equação 4:

$$DOC = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D) \quad (4)$$

A = Fração de papel e têxteis

B = Fração de resíduos de jardim

C = Fração de resíduos alimentares

D = Fração de madeira ou palha

Os valores utilizados nos cálculos para os municípios foram obtidos a partir de:

- Dados de geração de resíduos fornecidos pelos aterros sanitários para  $MSW_T$ ;
- Para  $MSW_F$  considerou-se o valor 1, já que para os dados de geração, 100% dos resíduos foram destinados ao aterro sanitário;
- Dados da composição gravimétrica para DOC;
- Valores padrões recomendados pelo IPCC (2001) para MCF, DOC,  $DOC_F$ , F;
- Os valores de R e OX foram baseados nos dados de Olesen e Damgaard (2014). Para aterros sanitários de baixa qualidade, caracterizados pela ausência de sistemas de aproveitamento energético, cobertura e compactação eficiente do solo, neste caso o Aterro Sanitário do COMAGSUL e Aterro Sanitário Municipal de Arcoverde, adotou-se  $R = 0,45$  e  $OX = 0,1$ . Por outro lado, para aterros de alta qualidade, neste caso o Ecoparque Jaboatão, que possuem a presença dessas características, utilizou-se  $R = 0,65$  e  $OX = 0,2$ ;

Após obter os dados para emissões de CH<sub>4</sub>, foi realizada a conversão para CO<sub>2</sub>eq, a partir do valor do potencial de aquecimento global (PAG), fornecido pelo Sexto Relatório de Avaliação (AR6), do metano não fóssil em um horizonte temporal de 100 anos (GHG PROTOCOL, 2024).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Geração de resíduos

A partir dos dados fornecidos, a média de geração anual é de 786.140,69 toneladas para Recife, 2.450,24 toneladas para Chã de Alegria, 2.638 toneladas para Sertânia e 4.743 toneladas para Agrestina.

Quanto a geração per capita de resíduos, houve uma divergência em relação ao levantamento realizado pelo Semas (2012), onde o município de Recife passou de 1,58 para 1,46 kg/hab/dia; Chã de Alegria de 1,45 para 0,52 kg/hab/dia, Sertânia de 0,39 para 0,30 kg/hab/dia e Agrestina de 0,39 para 0,54 kg/hab/dia (Tabela 2).

Tabela 2 - Geração média de RSU per capita nos municípios

Municípios	Geração média de RSU <i>per capita</i> em kg/hab/dia (PERS, 2012)	Geração média de RSU <i>per capita</i> em kg/hab/dia (SNIS, 2022)	Geração média de RSU <i>per capita</i> em kg/hab/dia (dados fornecidos pelo aterro)
Recife	1,58	1,72	1,46
Chã de Alegria	1,45	0,29	0,52
Agrestina	0,39	0,64	0,54
Sertânia	0,39	0,25	0,3

Fonte: O Autor (2025)

A geração *per capita* de resíduos aponta para uma relação proporcional entre o desenvolvimento econômico e a geração de resíduos do município, como é o caso de Recife, que apresenta o maior PIB *per capita* entre os municípios selecionados, seguido de Agrestina, Chã de Alegria e Sertânia, sendo coerente ao descrito pela literatura.

A disparidade entre os dados, principalmente para o município de Chã de Alegria, pode estar relacionada à metodologia utilizada pelo PERS, que obteve informações a partir de fontes secundárias. Além disso, para as regiões sem dados

específicos sobre a geração de resíduos, foi adotada a média da respectiva região de desenvolvimento.

## 5.2 Composição gravimétrica dos resíduos

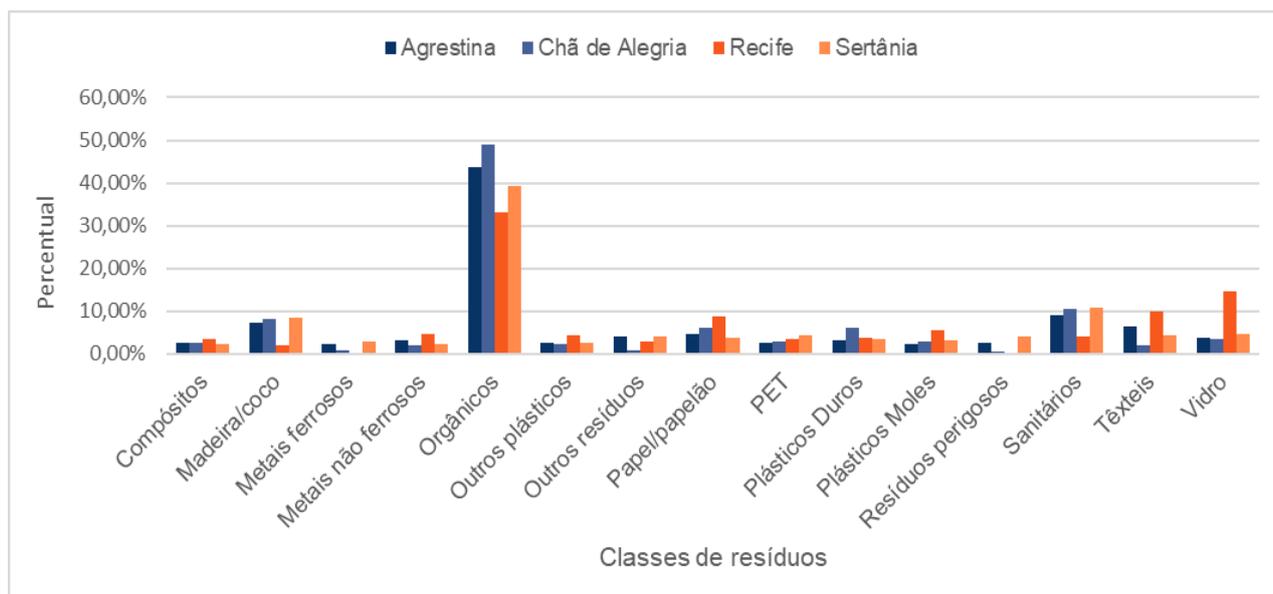
No total foram coletados 457 kg de resíduos sólidos urbanos para a análise da composição gravimétrica de Agrestina, Chã de Alegria, Recife e Sertânia. Os dados podem ser observados na Tabela 3 e Figura 5.

Tabela 3 - Composição gravimétrica dos resíduos nos municípios

<b>Classe de resíduos</b>	<b>Agrestina</b>	<b>Chã de Alegria</b>	<b>Recife</b>	<b>Sertânia</b>
Compósitos	2,57%	2,65%	3,32%	2,21%
Madeira/coco	7,36%	8,14%	1,90%	8,53%
Metais ferrosos	2,20%	0,66%	0,11%	2,78%
Metais não ferrosos	3,29%	1,92%	4,59%	2,21%
Orgânicos	43,69%	49,11%	33,07%	39,18%
Outros plásticos	2,51%	2,26%	4,26%	2,59%
Outros resíduos	4,13%	0,69%	2,89%	4,18%
Papel/papelão	4,58%	6,05%	8,82%	3,68%
PET	2,67%	2,78%	3,45%	4,44%
Plásticos Moles	2,20%	2,94%	5,55%	3,11%
Plásticos Duros	3,08%	6,14%	3,68%	3,34%
Resíduos perigosos	2,46%	0,37%	0,04%	4,00%
Têxteis	6,48%	2,10%	9,82%	4,22%
Sanitários	9,13%	10,64%	3,94%	10,88%
Vidro	3,63%	3,55%	14,56%	4,65%

Fonte: O Autor (2025)

Figura 5 - Composição gravimétrica dos resíduos nos municípios



Fonte: O Autor (2025)

Os municípios apresentaram predominância de resíduos orgânicos, resultado compatível com os dados descritos por ABRELPE (2020), SEMAS (2012), Tavares (2018) e Melo (2015). Para o percentual, houve uma divergência em relação aos dados do PERS, apresentando uma redução em Agrestina de 57,7% para 43,69%; Chã de Alegria de 54,67% para 49,11%; Recife de 63% para 33,07% e Sertânia de 47,63% para 39,18%. O índice de orgânicos tem influência direta na seleção das rotas de tecnologia de aproveitamento dos resíduos e viabiliza alternativas como compostagem e geração de energia elétrica a partir do biogás gerado.

Dessa forma, destaca-se a afirmação de Melo (2015), que cita a modificação na composição dos resíduos sólidos urbanos, principalmente no que se trata a redução da fração orgânica devido a mudança nos padrões de consumo, com a substituição de alimentos *in natura* para semipreparados e ultra processados, potencializando o uso de embalagens e consequentemente os resíduos plásticos.

Para a categoria “Plástico”, nota-se uma diferença quando comparado aos dados do SEMAS (2012), apresentando um aumento em Recife de 7% para 16,94%; Chã de Alegria de 6,73% para 14,12%; redução em Agrestina de 11,5% para 10,46% e Sertânia de 17,55% para 13,48%. O percentual de plástico é outro fator, assim como o de resíduos orgânicos, na tomada de decisão para determinar as rotas e estimular

alternativas como triagem e reciclagem desses materiais ou produção de combustível derivado de resíduos (CDR), por exemplo.

O percentual dos plásticos foi diferente do esperado, que seria o aumento da presença nos RSU em todos os municípios analisados. Porém, é importante enfatizar que o estudo do PERS foi realizado selecionando locais que representassem as diferentes variações socioeconômicas e culturais que influenciam na geração, e não necessariamente o município em questão, no qual é salientado por Viana *et al.* (2015) a importância de não utilizar municípios semelhantes para determinar a composição gravimétrica. Além disso, o plano não especifica os meses em que foram realizados os ensaios e as fontes geradoras analisadas para determinar a composição dos resíduos nos municípios. Todavia, ainda assim é possível notar um padrão que é relatado e observado nos outros estudos, como já citado, a redução da fração orgânica e os plásticos como o segundo maior componente na massa de resíduos.

É importante ressaltar a presença considerável de resíduos têxteis, principalmente para o município de Recife que apresentou uma porcentagem de 9,82%. Essa ocorrência está relacionada com o hábito da população de descartar peças em desuso e em ritmo acelerado devido ao aumento do poder de compra e crescimento do *fast fashion*, um modelo de produção e consumo que estimula a compra frequente de roupas devido ao ciclo de moda e baixa durabilidade dos tecidos. O descarte inadequado gera impactos ambientais, uma vez que grande parte das roupas não são biodegradáveis devido a sua composição ser em grande parte de fibras sintéticas, tornando fundamental priorizar as ações propostas na PNRS.

Outro aspecto relevante a ser destacado é a presença considerável de resíduos perigosos, principalmente em Agrestina e Sertânia. Nesses municípios, foram identificadas embalagens de produtos inflamáveis, como desodorantes, inseticidas, tintas e óleo lubrificante automotivo, além de lâmpadas, medicamentos e materiais hospitalares (Figura 6). De acordo com a PNRS, esses materiais oferecem riscos ao meio ambiente e à saúde pública e exigem uma gestão adequada, como um sistema de logística reversa e encaminhamento para processos de tratamento, de forma a reduzir ou eliminar suas características de periculosidade.

Figura 6 - Embalagens de produtos que apresentam periculosidade destinados ao Aterro Sanitário do COMAGSUL



Fonte: O Autor (2025)

Ao analisarmos a porcentagem de resíduos secos, considerando vidro, papel, metais e plásticos, observa-se que em Agrestina representa 26,73%; Chã de Alegria 28,95%; Recife 48,41%; e Sertânia 29,01%. Vale ressaltar que Recife apresentou um valor incomum para a categoria “Vidro” (14,56%), com predominância de embalagens de bebidas alcoólicas como cerveja do tipo *long neck*. Uma possível explicação é que a análise foi realizada em uma segunda-feira, ou seja, os resíduos foram coletados após o final de semana, onde há o hábito de consumo de bebidas alcoólicas. De forma geral, os dados das regiões analisadas demonstram a correlação entre a composição dos resíduos e o nível de renda, Recife, um município com maior PIB, apresentou maiores índices de resíduos secos, enquanto os demais municípios, que possuem o PIB menor, demonstraram maiores presenças de fração orgânica. O que é coerente ao descrito por World Bank (2018), no qual afirma que a geração de resíduos secos é proporcional ao aumento do nível de renda, devido ao aumento do poder aquisitivo e

o consumo de produtos industrializados e descartáveis, assim como a geração de resíduos úmidos, neste caso os resíduos orgânicos, é inversamente proporcional.

Para o seguinte estudo, se considerarmos a porcentagem de resíduos secos e resíduos úmidos como material com potencial de valorização, temos para Agrestina, Chã de Alegria, Recife e Sertânia, uma porcentagem de 70,42%, 83,62%, 81,48% e 68,19%, respectivamente. Segundo a PNRS, apenas os “Rejeitos”, ou seja, material não passível de recuperação, deveriam ser dispostos em aterros sanitários como destinação final. No entanto, há um desalinhamento com as ações da política, já que materiais com potencial de recuperação são diretamente tratados como rejeitos, como é o caso do PET, material altamente reciclável, mas que ainda é destinado de forma inadequada (Figura 7) devido à ausência de um sistema de gerenciamento de resíduos eficiente nos municípios.

Figura 7 - Resíduo com potencial de reciclagem com destinação inadequada



Fonte: O Autor (2025)

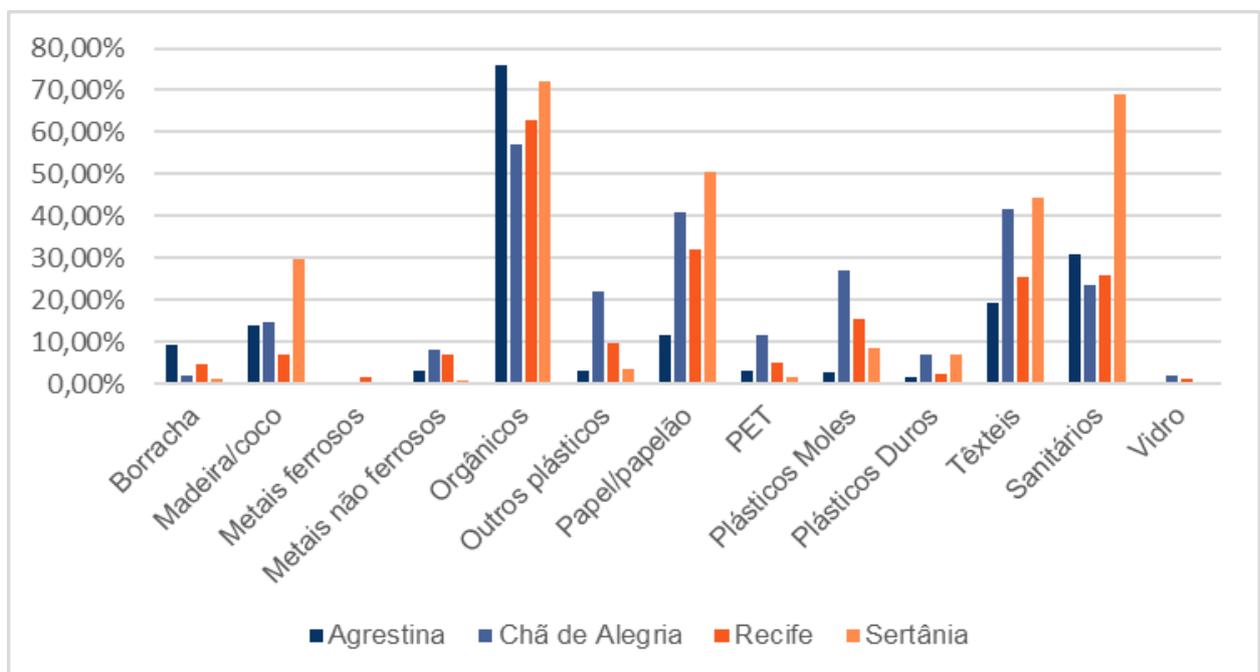
Em um cenário ideal, ao destinar apenas os rejeitos para os aterros sanitários, isto resultaria em uma diminuição significativa do volume ocupado e aumento da vida

útil dos aterros. Além disso, impactaria no gerenciamento dos resíduos nos municípios, uma vez que diminuiria os custos com a logística de coleta. Por fim, os impactos ambientais seriam reduzidos, já que uma maior taxa de recuperação dos resíduos, como a reciclagem e logística reversa, diminuiria os impactos atrelados a extração dos recursos naturais e o consumo de energia durante a fabricação de novos produtos. Estudos como o de Sousa (2023), realizado para o sistema de RSU de sete municípios atendidos pelo Aterro Sanitário de Garanhuns, demonstram os benefícios ambientais decorrentes do uso de tecnologias de tratamento, com destaque para a integração do tratamento biológico, reciclagem e coprocessamento.

### 5.3 Análise do teor de umidade

Foi determinado o teor de umidade para os componentes coletados durante a análise gravimétrica, como pode ser observado na Figura 8. A categoria “Outros resíduos”, foi substituída por “Borracha”, por ser o material predominante observado. Por fim, as categorias “Compósitos” e “Resíduos perigosos” não foram consideradas.

Figura 8 - Teor de umidade das frações de RSU coletadas



Fonte: O Autor (2025)

É notável a variação de umidade para algumas classes de resíduos como “Papel/Papelão”, “Têxteis”, “Orgânicos” e “Sanitários”, no entanto vale salientar que esse parâmetro é altamente sensível a fatores como variações climáticas, composição e densidade dos resíduos e a forma de coleta. Além disso, possui uma relação diretamente proporcional entre a degradabilidade e a capacidade de retenção de água (POMMIER & LEFEBRE, 2009; FIRMO, 2013).

Segundo Firmo (2013), os resíduos podem ser classificados conforme a degradabilidade e relacionados com o teor de umidade. O autor classificou em: rapidamente degradáveis, como resíduos orgânicos; moderadamente degradáveis, como resíduos de madeira, papel/papelão e sanitários; e lentamente ou não degradáveis, como plásticos, têxtil, borracha/couro. Os resíduos de classe “Vidro” e “Metais” não foram incluídos, porém o mesmo padrão pode ser aplicado para estes materiais, já que apresentam uma baixa degradabilidade e baixa capacidade de retenção de água, o que também pode ser observado na figura 8.

De forma geral, foi observado a tendência descrita para as frações analisadas, com exceção dos resíduos têxteis e sanitários, que apresentaram um teor de umidade acima do esperado. Uma provável explicação para essa ocorrência é a diferença de composição dos materiais. Durante a gravimetria, foi possível notar a presença de roupas de tecido de algodão, sendo esta uma fibra que possui uma degradabilidade maior comparado com as sintéticas, portanto, como os componentes com maior degradabilidade tendem a apresentar maior retenção de água, pode explicar a umidade elevada observada. No município de Sertânia, os resíduos sanitários apresentaram um teor de umidade superior a 60%, principalmente devido a presença de fraldas descartáveis, um material com alta capacidade de absorção de líquidos.

Por fim, destaca-se a importância do conhecimento dessa variável, já que a umidade pode influenciar na escolha de tecnologias de tratamento. A alta umidade pode favorecer processos como biodigestão e compostagem, enquanto a baixa umidade viabiliza tecnologias de incineração e aproveitamento energético.

#### 5.4 Análise de emissões

Os dados obtidos da equação geral, conforme a metodologia do IPCC (2001), podem ser observados na tabela 4 e 5.

Tabela 4: Dados obtidos para a equação de emissões

Municípios	MSW <sub>T</sub> (Gg/ano)	MSW <sub>F</sub>	DOC (Gg C/Gg RSU)	DOC <sub>F</sub>	F	L <sub>0</sub> (Gg CH <sub>4</sub> /Gg RSU)	R	OX
Agrestina	4,743	1	0,1318	0,55	0,5	0,0483	0,45	0,1
Chã de Alegria	2,45	1	0,1254	0,55	0,5	0,046	0,65	0,2
Recife	786,14	1	0,1212	0,55	0,5	0,0444	0,65	0,2
Sertânia	2,638	1	0,1159	0,55	0,5	0,0425	0,45	0,1

Fonte: O Autor (2025)

Tabela 5 - Emissões de gases nos aterros sanitários para municípios analisados

	Agrestina	Chã de Alegria	Recife	Sertânia
<b>Geração (ton/ano)</b>	4.743	2.450	786.140,00	2.638
<b>Emissões (ton CH<sub>4</sub>/ano)</b>	133,97	32,872	10.481,45	55,22
<b>Emissões (ton CO<sub>2</sub>eq/ano)</b>	3.617,18	887,53	282.999,22	1.499,08
<b>Emissões (kg CO<sub>2</sub>eq/ton RSU)</b>	646,16	362,26	360	568,26

Fonte: O Autor (2025)

Ao analisar a tabela 5, observa-se uma disparidade significativa nas emissões de CH<sub>4</sub> (ton/ano) e, conseqüentemente, de CO<sub>2</sub>eq (ton/ano) no município de Recife, devido à sua população maior e à geração de resíduos proporcionalmente superior em comparação aos demais. No entanto, ao analisar as emissões de kg de CO<sub>2</sub>eq

por tonelada de RSU — um indicador que reflete a eficiência na gestão de resíduos — percebe-se que Agrestina e Sertânia apresentam valores mais elevados. Esse fator se dá pelo Aterro Sanitário do COMAGSUL e Aterro Sanitário Municipal de Arcoverde não possuírem recuperação e aproveitamento energético a partir do biogás gerado, acarretando em um maior PAG por toneladas de resíduos depositados. Em contraste, os municípios de Recife e Chã de Alegria apresentaram menores emissões de kg de CO<sub>2</sub>eq por tonelada de RSU devido ao Ecoparque Jaboatão possuir tecnologias de aproveitamento energético.

Além da qualidade do aterro sanitário, a composição dos resíduos também é um fator determinante nas emissões geradas. Um exemplo dessa influência pode ser observado ao comparar os municípios de Agrestina e Sertânia, que, apesar de compartilharem condições semelhantes, como a ausência de aproveitamento energético, apresentaram resultados significativamente diferentes. Essa disparidade reflete-se em parâmetros como o DOC (Carbono Orgânico Degradável), que considera frações de madeira, papel, têxteis, resíduos alimentares e de jardim, e o L<sub>o</sub> (Potencial de Geração de Metano), utilizados nos cálculos. Enquanto Agrestina registrou os maiores valores (DOC = 0,1318 e L<sub>o</sub> = 0,0483), Sertânia obteve os menores (DOC = 0,1159 e L<sub>o</sub> = 0,0425) (tabela 4).

Esses dados reforçam a relevância de se conhecer a composição dos resíduos para uma avaliação mais precisa dos impactos ambientais decorrentes de sua disposição.

## 6. CONCLUSÃO

A partir do seguinte estudo, observou-se que a fração orgânica ainda é predominante nos resíduos coletados, porém com uma tendência de redução em comparação a outros levantamentos anteriores, o que está alinhado com estudos que apontam mudanças nos padrões de consumo e o aumento da geração de materiais recicláveis.

A análise comparativa demonstrou como fatores socioeconômicos influenciam não só na geração *per capita*, mas também na composição dos resíduos, como é o caso de Recife, um município em que a população possui um maior poder aquisitivo, apresentou maior geração de resíduos secos, enquanto nos demais municípios houve uma participação expressiva da fração orgânica.

A variação do teor de umidade demonstrou a influência de fatores como condições climáticas e composição dos resíduos, enfatizando a importância do conhecimento desse parâmetro para determinar a tecnologia de tratamento, como compostagem, biodigestão anaeróbia e recuperação energética.

No que se refere às emissões, Recife apresentou maiores valores devido à sua elevada geração de resíduos quando comparado aos demais municípios. No entanto, ao analisar as emissões por tonelada de RSU depositado, Agrestina e Sertânia tiveram maiores emissões por não possuírem tecnologias de aproveitamento energético do biogás, enfatizando a importância da implementação dessas tecnologias como estratégia de mitigação dos impactos ambientais gerados na disposição final dos resíduos. Além disso, os resultados apontaram a relevância do conhecimento da composição dos RSU, uma vez que algumas frações influenciam diretamente.

Os resultados deste estudo reforçam a importância da caracterização gravimétrica como ferramenta essencial para gestão integrada dos resíduos sólidos nos municípios, auxiliando na tomada de decisões mais assertivas. Portanto, é essencial o desenvolvimento de novos estudos, assim como a revisão e atualização periódica de levantamentos e documentos oficiais como o PERS, de forma a refletir a realidade da geração e composição de resíduos do estado, uma vez que a defasagem dessas informações compromete a gestão.

## 7. REFERÊNCIAS

ABIEF. **Consumo per capita de embalagens plásticas flexíveis cresce no Brasil em 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.abief.org.br/flex-tendencias/consumo-per-capita-de-embalagens-plasticas-flexiveis-cresce-no-brasil-em-2023/>. Acesso em: 26 dez. 2024.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2020.

ABREMA. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2023.

ABREMA. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007: amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, R. T. V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Ministério Público. **Mapas de Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos - Pernambuco**. Pernambuco, 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Diagnósticos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). 2022**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em: 19 dez. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>. Acesso em: 19 dez. 2024.

BRASIL. **Plano Nacional dos Resíduos Sólidos. Decreto nº 11.043, de 2022**. Diário Oficial da União, Brasília, 2022.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2010**. Diário Oficial da União, Brasília, 2010.

BRASIL. **Política Nacional de Saneamento Básico. Lei nº 11.445, de 2007**. Diário Oficial da União, Brasília, 2007.

EDJABOU, M. E.; JENSEN, M. B.; GOTZE, R.; PIVNENKO, K.; PETERSEN, C.; SCHEUTZ, C.; ASTRUP, T. F. **Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation**. Waste Management, v. 36, p. 12–23, 2015.

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. Recife, 2013.

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

Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Cartilha de orientações: estudo gravimétrico de resíduos sólidos urbanos.** Belo Horizonte, 2019.

GAMA, A. M. C. F. **ESTUDO DAS EMISSÕES E CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2020.

GONÇALVES, J.E.; SARTORI M.M.P.; LEÃO, A. L. **Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.5, p.657–661, 2009.

*GHG PROTOCOL. Global Warming Potential Values. 2024.* Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

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 fls.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Panorama: Censo 2022.** IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

Instituto Estadual do Ambiente (INEA). **Estudo da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: conhecendo a composição dos resíduos para aplicação na gestão municipal.** Rio de Janeiro, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Relatório SEEG 2023: Gases de Efeito Estufa no Brasil.** São Paulo, 2023.

*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories – Chapter 5: Waste.* IPCC, 2001. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/5\\_Waste-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/5_Waste-1.pdf). Acesso em: 10 mar. 2025.

JUCÁ, J.F.T. et al. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão.** 1. ed. Recife: CCS Gráfica Editora Ltda., 2013. 186p.

KIM, V. J. H. **Análise da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de São Carlos (SP).** 2019. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

LANDVA, A. O. & CLARK, J. I. (1990) **Geotechnics of Waste Fills. Theory and Practice. ASTM STP 1070** – Arvid Landva, G. David Knowles, editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 86-103.

LIMA, J. T. **Obtenção de Fertilizantes e Substratos Orgânicos a Partir da Compostagem de Bagaço de Cana mais Torta de Mamona e Seu Uso na Produção de Algumas Hortaliças.** Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 60 p. Seropédica-RJ, 2014.

MELO, F. H. F. A. **Caracterização e estudo do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em um consórcio municipal do estado de Pernambuco.** Universidade Federal de Pernambuco, 2025.

MENEZES, R. O. et al. **Statistical analysis of the gravimetric characterization of household solid waste: A case study from the city of juiz de fora, Minas Gerais, Brazil.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 24, p. 271-82, 2019.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Série Histórica dos Investimentos em Saneamento.** Disponível em: <https://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 24 fev. 2025.

MOTTA, E.Q. **Avaliação da resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos com disposição de lodo de tratamento de esgoto através de ensaios de cisalhamento direto de grandes dimensões.** Tese (doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, 2011. Recife – PE, 211 fls.

MOURA, A. A.; LIMA, W. S.; ARCHANJO, C. R. **ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO - MUNICÍPIO DE ITAÚNA- MG.** SynThesis Revista Digital FAPAM, Pará de Minas, n. 3, p. 4-16, abr. 2012.

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.

OLESEN, A. O. U.; DAMGAARD, A. **Landfilling in EASETECH: Data collection and modelling of the landfill modules in EASETECH.** Technical University of Denmark, 2014.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). (2009) **Municipal waste generation – OECD Fact book 2009: economic, environmental and social.** Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/previewsites/factbook-2009-en/08/02/02/index.html>. Acesso em: 03 mar. 2025.

OLIVEIRA, L de. **Eficiência do resíduo de sisal para compostagem com esterco animais e farinha de rocha natural.** 2010. 89 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA.

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.

PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco.** Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado de Pernambuco. Recife, 2012.

**Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos.** Secretaria das Cidades. Recife, 2011. 95 p.

PORTUGAL. **Portaria n.º 851/2009, de 7 de agosto.** Diário da República, 1.ª série, n.º 151, 7 ago. 2009.

POMMIER, S.; LEFEBRE, X. (2009). **Impact of moisture content on the biodegradation of heterogeneous solid waste: simulation by a new modeling framework. Proceedings of the Third International Workshop Hydro-physio-mechanics of landfills.** Braunschweig, Germany. March 2009.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil.** Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SOUSA, M. H. **Avaliação de ciclo de vida e análise exergética na gestão de RSU: um estudo de caso no agreste de Pernambuco. 2023.** Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

STREB, C. S.; NAGLE, E. C.; TEIXEIRA, E. N. **Caracterização do resíduo sólido doméstico: metodologia para avaliação do potencial de minimização.** AIDIS – XXIX Congresso Internacional de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Rico, 2004.

TAVARES, G. S. C.; JUCÁ, J. F. T. **Contribuição para a sustentabilidade na gestão dos resíduos sólidos urbanos nos municípios da Região Metropolitana do Recife (RMR).** Universidade Federal de Pernambuco, 2019.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Estudos e levantamentos.** 2022. Disponível em: <https://www.tcepe.tc.br/internet/index.php/estudos-e-levantamentos>. Acesso em: 11 dez. 2024.

UNEP; ISWA. **Global waste management outlook**. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18356/765baec0-en>. Acesso em: 22 fev. 2025.

VIANA, E.; SILVEIRA, A. I.; MARTINHO, G. **Caracterização de resíduos sólidos - Uma abordagem metodológica e propositiva**. 1. ed. São Paulo: Editora Biblioteca24horas, Seven System International Ltda., 2015.

WORLD BANK. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. 2018.

ZANIN, F. L.; GUEVARA, A. H.; RODRIGUES, A. **TEMPO PARA TRABALHAR, TEMPO PARA VIVER A VIDA. As possibilidades de uma vida a ser vivida fora da centralidade do trabalho**. Pensamento & Realidade, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 109, 2016.

ZANIRATO, S. H.; ROTONDARO, T. G. **Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade**. Estudos Avançados, v. 30, n. 88, p. 72-92, 2016.