



Diogo Oliveira Pereira

## **Caracterização Gravimétrica e Análise do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Domésticos do Município de Belém-PA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Prof. Dr-Ing Nélio Teixeira Machado

Belém – Pará – Brasil

2023



**Diogo Oliveira Pereira**

**CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA E ANÁLISE DO EXTRATO SOLUBILIZADO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA**

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

**Área de Concentração:** Engenharia Hídrica

**Linha de Pesquisa:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**Orientador:** Prof. Dr-Ing. Nélio Teixeira Machado

**BELÉM/PA – BRASIL**

23 de Junho de 2023

**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)

---

O48c Oliveira Pereira, Diogo.

Caracterização Gravimétrica e Análise do Extrato Solubilizado  
da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Domésticos do Município  
de Belém-PA / Diogo Oliveira Pereira. — 2023.

XV, 76 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Nélio Teixeira Machado  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, Belém, 2023.

1. Resíduos Sólidos Domésticos. 2. Caracterização de  
Resíduos Sólidos Urbanos. 3. Extrato Solubilizado. 4. Extrato  
Lixiviado. 5. Fração Orgânica. I. Título.

CDD 628.4

---



# CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA E ANÁLISE DO EXTRATO SOLUBILIZADO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA

AUTOR:

**DIOGO OLIVEIRA PEREIRA**

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 MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADO EM: 23 / 06 / 2023

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. -Ing, Nélio Teixeira Machado  
Orientador (UFPA)

Documento assinado digitalmente

RISETE MARIA QUEIROZ LEAO BRAGA  
Data: 26/06/2023 13:13:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Risete Maria Queiroz Leão Braga  
Membro Interno (UFPA)

Documento assinado digitalmente

NEYSON MARTINS MENDONCA  
Data: 23/06/2023 17:02:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Neyson Martins Mendonça  
Membro Externo (UFPA)

Documento assinado digitalmente

JOAO HENRIQUE MACEDO SA  
Data: 23/06/2023 13:07:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Externo (UFSC)

á

Visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

À Deus e minha mãe.  
Eu não seria nada sem ambos na  
minha vida. Eterna gratidão!

“Somos guiados por nossos instintos, nossa intuição, nossos desejos e medos, nossas cicatrizes e nossos sonhos”

**Taylor Swift**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sua misericórdia, proteção e forças. Por estar comigo em todos os momentos, por ouvir e atender minhas orações, pelas bençãos e pelo dom da vida.

À minha mãe, pelo seu amor incondicional, sua dedicação, por todo o suor e lágrimas derramados por mim, pelos aprendizados, pela orientação, pelo colo, por me consolar nos momentos difíceis, por comemorar os bons momentos ao meu lado e por ser um exemplo de resiliência. Espero ao longo da minha vida honrar todos os esforços que minha mãe realizou por mim. Amo você, mãe!

Ao Felipe, meu primeiro amor e amor da minha vida. Gratidão eterna por nossas almas terem se encontrado nesta vida e por estarmos juntos. Agradeço o companheirismo, pelos conselhos em momentos que eu não sabia o que fazer, por ter me ajudado em momentos difíceis da minha vida e por ser esta pessoa incrível. Amo você!

Às minhas irmãs, Bárbara e Camila, vocês são importantíssimas! Obrigado por estarem comigo, por me ouvirem e me acalmarem em momentos de ansiedade durante a graduação, por me oferecerem suporte ao longo dos anos na vida acadêmica e por todos os ensinamentos que vocês me passaram ao longo da vida. Ao meu pai pelo suporte ao longo dos anos que passaram.

Ao Professor Dr. Nélio Teixeira Machado pela contribuição no meu crescimento acadêmico e profissional, pelos momentos de descontração, pelas advertências, pelos ensinamentos e por ter sido um excelente orientador ao longo do mestrado. Ao Professor Dr. Hélio da Silva Almeida (*in memoriam*) pelos conhecimentos e pela sua contribuição indispensável na minha vida profissional.

À Fernanda, uma amiga que conheci ao longo do mestrado, mas que é importante na minha vida. Agradeço pela amizade, pela parceria nesta pesquisa, pelas broncas e pelos momentos que tivemos juntos.

Aos meus amigos Larissa Vasconcelos, Bárbara Pismel, Luana Barra, Lígia da Paz, Luanne Valentim, Matheus Ribeiro e Thais Franco por estarem ao meu lado, me aconselhando e advertindo, por me ouvirem quando eu preciso e por oferecerem excelentes anos de amizade. O meu amor por vocês é para toda a vida.

Aos meus amigos de infância Marcos Sanches, Eulálio Sanches e Leiticia Barros por estarem comigo há tantos anos. Vocês são importantes demais para mim.

Aos meus amigos Caroline Vieira, Sofia Pinheiro, Rafael Sousa, Edson Leão, Lucas Tenório e Sthefanie Nascimento por melhorarem meus dias nesse último ano, pelos excelentes momentos e pela amizade.

Às amigas **Danielle Marques, Julyana Cardoso, Priscilla Pinheiro, Isabela Teles, Roberta Albuquerque, Karoline Barros e Anna Flávia Damasceno** pela amizade ao longo desses anos.

Aos meus amigos que jogam voleibol semanalmente, quando não diariamente, por todos os momentos de descontração no último ano. Melhoraram muito meus dias e são importantes na minha vida.

Aos demais amigos que estão ao meu lado, pela companhia e pelos momentos incríveis.

Aos **Professores Neyson Mendonça e Luiza Girard**, ao servidor **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 e Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento** pelo suporte logístico na realização da pesquisa.

Aos colegas do Grupo de Estudo em Meio Ambiente (GEMA) e demais colegas de pesquisa da UFPA que contribuíram imensamente na realização desta pesquisa.

Ao **CNPq e Terraplena LTDA** pelas contribuições na realização desta pesquisa.

À **Universidade Federal do Pará** pela minha formação acadêmica e profissional. Ressalto minha defesa pela universidade pública, gratuita, de qualidade e acessível à população.

## RESUMO

O lançamento de resíduos sólidos no ambiente representa riscos ao meio biótico e abiótico, impactos ambientais causados por subprodutos destes materiais. Neste estudo foi realizado a caracterização gravimétrica e a análise do extrato solubilizado da fração orgânica de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) do município de Belém do Pará. Os resíduos utilizados para a nesta pesquisa foram coletados em área residencial, por coleta porta-a-porta, em que os pontos e os bairros atendidos no município de Belém foram determinados pela da setorização destas localidades. Para a setorização foi considerado como principal parâmetro, a renda familiar. Após a coleta dos resíduos, o material foi encaminhado para as instalações da Universidade Federal do Pará, em que foram classificados em papel, papelão, tetrápak, plástico rígido, plástico maleável, metais, vidro, matéria orgânica, resíduos sanitários, tecidos e rejeitos. A fração orgânica dos resíduos foi separada e encaminhada para os processos de pré-tratamento. Posteriormente, foi obtido o extrato solubilizado da fração orgânica do RSD, método disposto na NBR nº 10.006/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas e os valores obtidos foram comparados com a Portaria GM/MS nº 888/2021 e as Resoluções CONAMA nº 357/2005 e 430/2011, além de resultados obtidos na pesquisa bibliográfica. Após a caracterização gravimétrica verificou-se proporções médias de 5,09% de papel, 3,20% de papelão, 0,94% de tetrápak, 3,58% de plástico rígido, 9,97% de plástico maleável, 2,00% de metais, 55,57% de matéria orgânica, 1,86% de vidro, 14,26% de resíduos sanitários, 3,23% de tecidos e 3,00% de rejeitos. Foram encontrados, na composição gravimétrica, valores elevados de resíduos orgânicos, as proporções de outros materiais estavam na média. Nas análises do extrato solubilizado obteve-se valores de pH (3,69 a 4,92), Turbidez (791 a 1.733 uT), Cor Aparente (8.500 a 12.500 uC), Cor Verdadeira (6.000 a 14.000 uC), Sólidos Dissolvidos Totais (5.330 a 8.040 mg/L), Nitrogênio Total (201,80 a 359,90 mg/L), Nitrogênio Ammoniacal (161 a 289 mg/L), Nitrato (10 a 40 mg/L), Fósforo Total (52,30 a 166,80 mg/L) e Demanda Química de Oxigênio (28.701 mg/L a 38.608 mg/L), foi possível a classificação do resíduo como Classe II-A, ainda, foi possível conferir a semelhança das condições de solubilização dos resíduos à de lixiviados de aterros sanitários, além de estarem em inconformidade com a legislação ambiental e sanitária. É necessário um sistema de gerenciamento de resíduos eficiente, que evite o lançamento de resíduos no ambiente, que tem como consequência, impactos ambientais semelhantes ao do contato do lixiviado com o meio.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Domésticos, Caracterização de Resíduos Sólidos Urbanos, Extrato Solubilizado, Extrato Lixiviado e Fração Orgânica.

## ABSTRACT

The release of solid waste into the environment poses risks to the biotic and abiotic environment, environmental impacts caused by by-products of these materials. In this study, the gravimetric characterization and analysis of the solubilized extract of the organic fraction of Household Solid Waste (HSW) from the municipality of Belém do Pará was carried out. The waste used for this research was collected in a residential area, by door-to-door collection, in which the points and neighborhoods served in the municipality of Belém were determined by the sectorization of these locations. For sectorization, family income was considered as the main parameter. After collecting the waste, the material was sent to the facilities of the Federal University of Pará, where it was classified into paper, cardboard, tetrapak, rigid plastic, soft plastic, metals, glass, organic matter, sanitary waste, fabrics and waste. The organic fraction of the residues was separated and sent to the pre-treatment processes. Subsequently, the solubilized extract of the organic fraction of HSW was obtained, a method set forth in NBR nº 10.006/2004, of the Brazilian Association of Technical Standards, and the values obtained were compared with Ordinance GM/MS nº 888/2021 and CONAMA Resolutions nº 357 /2005 and 430/2011, in addition to results obtained in the bibliographical research. After the gravimetric characterization, average proportions of 5.09% paper, 3.20% cardboard, 0.94% tetrapak, 3.58% rigid plastic, 9.97% soft plastic, 2.00 % metals, 55.57% organic matter, 1.86% glass, 14.26% sanitary waste, 3.23% fabrics and 3.00% waste. In the gravimetric composition, high values of organic residues were found, the proportions of other materials were in the average. In the analyzes of the solubilized extract, pH values (3.69 to 4.92), Turbidity (791 to 1,733 uT), Apparent Color (8,500 to 12,500 uC), True Color (6,000 to 14,000 uC), Total Dissolved Solids were obtained (5,330 to 8,040 mg/L), Total Nitrogen (201.80 to 359.90 mg/L), Ammoniacal Nitrogen (161 to 289 mg/L), Nitrate (10 to 40 mg/L), Total Phosphorus (52.30 to 166.80 mg/L) and Chemical Oxygen Demand (28,701 mg/L to 38,608 mg/L), it was possible to classify the residue as Class II-A, and it was also possible to check the similarity of the solubilization conditions of the waste to leachate from landfills, in addition to being in non-compliance with environmental and health legislation. An efficient waste management system is needed, which prevents the release of waste into the environment, which has, as a consequence, environmental impacts similar to the contact of the leachate with the environment.

**Key-words:** Household Solid Waste, Gravimetric Characterization, Solubilized Extract, Leachate Extract and Organic Fraction.

## SUMÁRIO

<b>1.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	10
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>1.3. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>10</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS .....	12
<b>2.1.1. Definições e classificação.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3. Alternativas tecnológicas para a destinação e disposição final ambientalmente adequada dos Resíduos Sólidos Urbanos .....</b>	<b>15</b>
2.2. PANORAMA DA GERAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ....	16
<b>2.2.1. Geração e Destino de Resíduos Sólidos no Mundo.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2. Geração, Coleta e Destino de Resíduos Sólidos no Brasil .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3. Geração, Coleta e Destinação/Disposição de RSU no estado do Pará .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.4. Geração e Coleta de RSU na Região Metropolitana de Belém .....</b>	<b>22</b>
2.3. POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....	22
<b>2.3.1. Definição, composição e geração de lixiviados de resíduos sólidos urbanos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2. Tecnologias para tratamento de lixiviado .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3. Estudos científicos realizados com a obtenção de extrato lixiviado e solubilizado.</b>	<b>26</b>
2.4. CONCEITOS DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	28
<b>2.4.1. Potencial Hidrogeniônico .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.2. Cor e Turbidez .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.3. Acidez e Alcalinidade .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.4. Dureza .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.5. Série de Sólidos .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.6. Série de Nitrogênio .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.7. Série de Fósforo .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.8. Oxigênio Dissolvido e Matéria Orgânica.....</b>	<b>31</b>
2.5. NORMAS LEGAIS DE USO DA ÁGUA E FINALIDADES .....	32
<b>2.5.1. Portaria GM/MS nº 888/2021 .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.2. Resolução CONAMA nº 357/2005 .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.3. Resolução CONAMA nº 430/2011.....</b>	<b>33</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1. PLANEJAMENTO E REALIZAÇÃO DAS COLETAS .....	36
<b>3.1.1. Determinação e Caracterização da Área de Estudo .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.2. Amostragem Estatística .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.3. Materiais utilizados .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.4. Coleta dos resíduos sólidos .....</b>	<b>40</b>

<b>3.2. CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3. PREPARAÇÃO E ANÁLISE DO RESÍDUO ORGÂNICO .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.1. Secagem .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.2. Trituração .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.3. Peneiramento .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.4. Acondicionamento .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.5. Procedimentos para preparação do extrato solubilizado .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.6. Análises físico-químicas .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.7. Tratamento dos dados.....</b>	<b>47</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1. COLETAS E COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2. ANÁLISE DO EXTRATO SOLUBILIZADO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1. Análise dos parâmetros físico-químicos .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.2. Análise de Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira e Dureza.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.3. Análise da Série de Nitrogênio .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.4. Análise da Série de Fósforo .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2.5. Análise de Matéria Orgânica.....</b>	<b>62</b>
<b>4.3. VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE COM AS NORMAS LEGAIS SANITÁRIAS E AMBIENTAIS .....</b>	<b>65</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>70</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de classificação dos resíduos, quanto a periculosidade .....	14
Figura 2: Panorama da geração <i>per capita</i> de resíduos sólidos no mundo.....	17
Figura 3: Destinação/Disposição final de resíduos sólidos urbanos no mundo .....	17
Figura 4: Participação das macrorregiões no déficit de coleta de resíduos domiciliares no Brasil .....	19
Figura 5: Panorama da coleta de resíduos, em relação à população total, no estado do Pará ..	21
Figura 6: Procedimentos experimentais realizados na pesquisa.....	36
Figura 7: Bairros atendidos pela empresa Terraplena no município de Belém.....	37
Figura 8: Agrupamento dos bairros em setores .....	39
Figura 9: Amostragem estatística realizada.....	40
Figura 10: a) e b) Coletas do tipo porta-a-porta realizadas no bairro da Cremação .....	41
Figura 11: Caracterização gravimétrica realizada em 16 de fevereiro de 2022 .....	43
Figura 12: Estufa utilizada para a secagem dos resíduos .....	44
Figura 13: Moinho de facas utilizado no processo de Trituração do material .....	45
Figura 14: Processo de peneiramento dos resíduos sólidos.....	45
Figura 15: Fluxograma com os procedimentos realizados para a preparação do extrato solubilizado.....	46
Figura 16: Relação entre a geração de matéria orgânica e a renda média .....	51
Figura 17: Composição gravimétrica média, em %, dos setores onde ocorreram as coletas de RSU .....	52
Figura 18: Comparação entre os valores de proporção de materiais levantados por diferentes autores.....	53
Figura 19: Comparação entre os valores de pH levantados por outros autores e os valores de pH obtidos na pesquisa.....	55
Figura 20: Comparação entre os valores de sólidos levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa.....	56
Figura 21: Comparação dos valores de cor e turbidez entre as regiões .....	57
Figura 22: Comparação dos valores da série de nitrogênio entre as regiões .....	58
Figura 23: Comparação entre os valores de nitrogênio amoniacal levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa .....	59
Figura 24: Comparação entre os valores de nitrato levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa.....	60
Figura 25: Comparação dos valores da série de fósforo entre as regiões .....	61
Figura 26: Comparação entre os valores de Fósforo Total levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa .....	62
Figura 27: Comparação dos valores de DQO entre as regiões .....	63
Figura 28: Comparação entre os valores de Demanda Química de Oxigênio levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Unidades de Tratamento/Disposição no solo de RSU no Brasil .....	20
Tabela 2: Unidades de Tratamento/Disposição no solo de RSU no estado do Pará .....	21
Tabela 3: Caracterização físico-química de lixiviados de aterros e lixões do Brasil .....	24
Tabela 4: Estudos realizados através da obtenção de extrato solubilizado e lixiviado .....	27
Tabela 5: Resumo metodológico da pesquisa realizada .....	35
Tabela 6: Classificação de classe social a partir da renda nominal média .....	37
Tabela 7: Agrupamento dos bairros em setores, a partir da renda média.....	38
Tabela 8: Determinação do agrupamento dos setores em regiões.....	38
Tabela 9: Materiais utilizados para a coleta e caracterização gravimétrica .....	40
Tabela 10: Cronograma das coletas de resíduos realizadas.....	41
Tabela 11: Frações de resíduos e materiais constituintes .....	42
Tabela 12: Parâmetros analisados no extrato solubilizado .....	47
Tabela 13: Massa total de resíduos total nas coletas realizadas .....	49
Tabela 14: Caracterização gravimétrica nos setores analisados .....	50
Tabela 15: Estatística descritiva dos resultados levantados .....	51
Tabela 16: Comparação entre os valores levantados com outras referências.....	53
Tabela 17: Resultados das Análises Físico-Químicas do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos .....	54
Tabela 18: Resultados das Análises de Turbidez, Cor e Dureza do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos .....	56
Tabela 19: Resultados das Análises da série de Nitrogênio do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos .....	57
Tabela 20: Resultados das Análises da Série de Fósforo do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos .....	60
Tabela 21: Resultados das Análises de Demanda Química de Oxigênio do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos.....	62
Tabela 22: Verificação de conformidade dos resultados da Região 1 com normas legais sanitárias e ambientais .....	66
Tabela 23: Verificação de conformidade dos resultados da Região 2 com normas legais sanitárias e ambientais .....	67
Tabela 24: Verificação de conformidade dos resultados da Região 3 com normas legais sanitárias e ambientais .....	67
Tabela 25: Comparação dos resultados das análises com os valores limite da Resolução CONAMA nº 430/2011 .....	68

## **1.1. INTRODUÇÃO**

A capacidade humana de transformação da natureza evoluiu desde os primórdios das sociedades. Todavia, após a Revolução Industrial, as transformações têm atingido proporções maiores, assim como a produção de bens e serviços (ANDRIATO e CASTILHO, 2020). O aumento nas taxas de natalidade, longevidade, índices populacionais e industrialização, aliado à cultura do consumo e acumulação e à falta de conhecimento sobre a limitação dos recursos ambientais, causa uma desenfreada produção de resíduos sólidos, acarretando impactos ambientais que refletem diretamente na qualidade de vida da população (BALBUENO *et al.*, 2021).

O modelo de desenvolvimento que vivemos vem causando alterações constantes no meio ambiente. O aumento da população, aliado ao aumento do consumo desencadeou impactos negativos ao meio ambiente, como a disposição inadequada de resíduos sólidos, afirmam Silva, Santos e Silva (2013). O descarte inadequado de resíduos sólidos é um dos grandes problemas da atualidade. As altas taxas de produção de resíduos e os problemas com a sua destinação final são preocupações recorrentes dos governos e de toda a sociedade. (SILVA *et al.*, 2018).

No ano de 2022, foram gerados aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no Brasil, correspondendo a 224 mil toneladas diárias. Desse quantitativo, 29,7 milhões de toneladas não foram encaminhadas para a destinação/disposição final ambientalmente adequada. Das unidades com disposição final, cerca de 64,31% representam alternativas ambientalmente inadequadas, como lixões e aterros controlados. No estado do Pará, esse valor vai a 90,51% (ABRELPE, 2023; BRASIL, 2022).

Estudos de Correia (2020) e Ferreira (2017) mostram que os lixões e aterros controlados geram impactos significativos ao ambiente, nos meios físico, biótico e socioeconômico, a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos é uma das maiores fontes geradoras de impactos, degradando o ambiente local. Entre os impactos, é possível detectar a depreciação das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar, alterações na biota do solo, na biodiversidade e no equilíbrio ecológico local, contaminação com doenças infectocontagiosas, poluição visual e presença de odores.

Tanto o extrato lixiviado como o solubilizado, simulando impactos dos resíduos sólidos no ambiente, mostram o risco ambiental que estes compostos apresentam aos corpos receptores e ao solo, que é o caso de quando não há o tratamento adequado destes

subprodutos líquidos. O maior impacto ambiental decorrente de aterros sanitários é a geração de lixiviados, sendo um dos principais poluidores de águas superficiais e subterrâneas (SILVA, 2022; WDOWCZYK; SZYMANSKA-PULIKOWSKA, 2021). Ao longo da degradação de resíduos em um aterro, podem ser gerados compostos que representam riscos à saúde humana, como os Diésteres de Ftalato (PAEs), que podem ter como subprodutos em aterros a geração de monoésteres de ácido ftálico, compostos tóxicos aos mamíferos (WOWKONOWICZ e KIJENSKA, 2017; PRZYBYLINSKA e WYSZKOWSK, 2016; JONSSON *et al.*, 2003).

Devido às suas características, este requer tratamento adequado para que os valores dos seus parâmetros físicos, químicos e biológicos atendam aos limites estabelecidos pelas legislações vigentes e não cause impactos ao meio ambiente (KAWAHIGASHI, 2014). Os processos biológicos de tratamento são os mais recomendados para lixiviados, vista sua capacidade de remover matéria orgânica, no entanto, é algo que deve ser avaliado, pois estes compostos possuem vazões e carga orgânica variáveis, o que pode prejudicar unidades de tratamento (LANGE *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2000)

Uma das formas de medição dos impactos ambientais de subprodutos líquidos dessas unidades de disposição inadequada dos resíduos sólidos pode ser realizada a partir da medição de parâmetros físico-químicos e biológicos de extratos lixiviados e solubilizados, verificando, se em contato com água, estes resíduos vão gerar produtos líquidos contaminantes ao ambiente, tornando possível a verificação dos impactos em condições de mistura com águas, infiltração no solo (SILVA, 2022; FRANCO, ROCHA e FILHO, 2020). Conforme Silva (2022), os extratos solubilizados e lixiviados ainda podem ser utilizados para a avaliação de ecotoxicidade de resíduos sólidos em um meio.

O lançamento de resíduos sólidos de forma inadequada no ambiente apresenta riscos com a formação de compostos solubilizados que podem representar contaminação ao meio biótico e abiótico local, demandando a realização de estudos relacionados à composição destes materiais para que sejam traçadas estratégias para o gerenciamento e tratamento destes resíduos e seus subprodutos. Sendo assim, essa pesquisa objetivou caracterizar o extrato solubilizado da fração orgânica de resíduos sólidos domiciliares (RSD), para verificar a conformidade desse material, que simula o contato do resíduo com água, com os padrões de potabilidade em vigor no Brasil, tornado possível confirmar o potencial ao ambiente que este material representa.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a caracterização físico-química do extrato solubilizado da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) coletados no município de Belém, estado do Pará.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Realizar a amostragem estatística representativa para conhecer a massa dos resíduos a serem coletados;
- b) Realizar a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos coletados;
- c) Executar a obtenção do extrato solubilizado dos materiais coletados e realizar análises físico-químicas do material líquido recolhido;
- d) Analisar a conformidade dos resultados obtidos com as normas legais sanitárias e ambientais.

## **1.3. JUSTIFICATIVA**

No Brasil, aproximadamente 46,96 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) foram dispostos de forma inadequada no ano de 2021, expondo esse material a condições que levam a geração de material lixiviado. No estado do Pará, 1,1 milhões de toneladas foram despejadas no ambiente (BRASIL, 2022a; BRASIL, 2022b). De acordo com Costa (2021), a disposição inadequada de resíduos sólidos, especialmente em lixões, origina o chorume (lixiviado dos resíduos), que é um passivo ambiental que ocasiona a acumulação de compostos no solo, nas águas e a bioacumulação em organismos que ingerem esse material contaminado.

Essas unidades de disposição final de resíduos sólidos, que são ambientalmente inadequadas, representam riscos ambientais por conta da geração de lixiviados, tais produtos da decomposição dos resíduos agregam ao líquido características como elevação nos níveis de matéria orgânica, metais e demais poluentes. Este líquido pode gerar alterações nas águas e no solo. Sendo assim, há a presença desse passivo ambiental gerado por essas unidades, que deve ser analisado para verificar a conformidade ambiental, seguindo a legislação vigente (AQUINO *et al.*, 2022; BRAGAGNOLO *et al.*, 2018). O lixiviado possui grande concentração de poluentes orgânicos e inorgânicos e ao entrar em contato com o meio, pode modificar intensamente suas características físicas, químicas e biológicas (ARAUJO *et al.*, 2020; COSTA, 2015)

Uma das formas de contribuir para a simulação e a verificação das características que esses resíduos atribuem à água são os ensaios para a obtenção de extrato lixiviado e solubilizado, quando entram em contato, sendo assim tornando possível a verificação do

risco à biota e ao ambiente (FRANCO, ROCHA e THODE FILHO, 2020; BACHETI, MAZIERO e GARCIA, 2018). Além disso, estes ensaios servem para classificar o resíduo quanto à sua periculosidade e inertibilidade (Classificação em Classe I, Classe II-A e Classe II-B). Além dos resíduos sólidos urbanos (geralmente Classe II-A), resíduos de outras origens podem ser classificados através destes ensaios, conforme ABNT (2004).

Diante disso, é necessária a mensuração dos riscos ambientais que a disposição inadequada dos resíduos sólidos representam ao meio ambiente, principalmente ao solo e recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Ao focar na fração orgânica de resíduos domiciliares, foram realizados ensaios para a obtenção do extrato solubilizado e posterior análise deste extrato, para verificação de conformidade com a legislação vigente.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS**

#### **2.1.1. Definições e classificação**

A palavra “lixo” deriva do latim “*lix*”, que representa “cinza”. Tendo entendimento, nos dicionários, como sujeira, imundície, algo sem valor (MELLO, 2020; RODRIGUES e CAVINATTO, 2006). Enquanto a palavra “*resíduo*” deriva do significado em latim de “aquito que sobra de qualquer substância”, tal substituição dos termos se deu pelos sanitaristas na década de 1960, substituição ao termo “lixo” (LEITE, 2019; MARQUES NETO, 2005). A substituição de termos ressignificam o significado que estes têm para a sociedade e para a adoção de políticas públicas que visam reduzir a massa de resíduos geradas e lançadas de forma adequada ou não no ambiente.

Os resíduos sólidos são definidos como resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam em atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 2004). Conforme citado acima, ainda estão incluídos na definição de resíduos sólidos, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, além de líquidos cujo sua peculiaridade torne inviável o lançamento na rede coletora de esgotos ou corpos d’água. Além disso, inclui resíduos em que soluções técnicas e econômica para o seu tratamento são indisponíveis.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a sua origem e sua periculosidade. Quanto à origem, é possível obter os tipos de resíduos a seguir.

- a) Resíduos domiciliares: resíduos sólidos originários de atividades domésticas de residências urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: resíduos originados da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, além de outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos: Se trata dos Resíduos Domiciliares e dos Resíduos de limpeza urbana;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: gerados em estabelecimentos comerciais, quando separados dos resíduos de limpeza urbana, de serviços públicos de saneamento básico, de serviços de saúde, de construção civil e de serviços de transporte;

- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: gerados em serviços de saneamento, com exceção dos Resíduos sólidos urbanos;
- f) Resíduos Industriais: gerados em processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos de serviços de saúde: gerados na prestação de serviços de saúde, conforme normas de órgãos do Sisnama e SNVS;
- h) Resíduos da construção civil (RCC): os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para a realização de obras civis;
- i) Resíduos agrossilvopastorais: gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados aos insumos utilizados na realização destas atividades;
- j) Resíduos de serviços de transportes: resíduos gerados em atividades portuárias, de aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários, ferroviários e em passagens de fronteira;
- k) Resíduos de mineração: gerados em atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

A norma legal supracitada ainda classifica os resíduos sólidos quanto a sua periculosidade em:

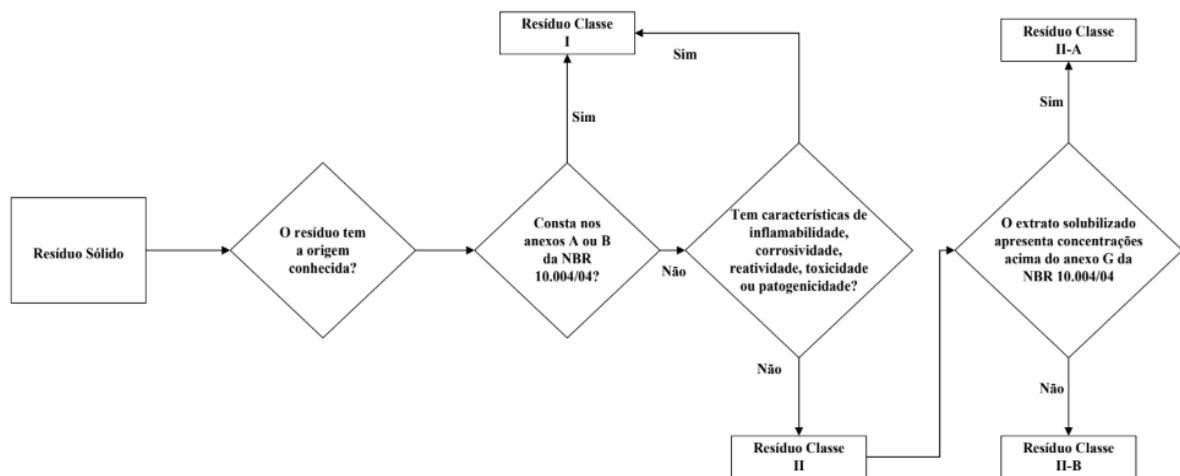
- a) Resíduos perigosos: Resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública e/ou à qualidade ambiental, conforme a legislação e normas técnicas;
- b) Resíduos não perigosos: Resíduos não enquadrados no item acima.

Contribuindo na classificação dos resíduos sólidos, ABNT (2004) apresenta classificação semelhante ao de BRASIL (2010), no entanto, com uma classificação dos resíduos sólidos não perigosos, conforme abaixo.

- a) Resíduos não inertes: Apresentam propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- b) Resíduos inertes: Não apresentam as características citadas acima.

Na NBR 10.004/04 está listada a diversidade de resíduos que possuem características que os classificam como perigosos ou não, além de inertes e não inertes. Para confirmar sua classificação (Classe I, Classe II-A ou Classe II-B) ou para verificar as propriedades de resíduos que não estão presentes na norma supracitada, devem ser realizados ensaios para a obtenção de lixiviados (resíduos perigosos) e para a obtenção de extrato solubilizado (resíduos não perigosos, inertes ou não). A caracterização dos resíduos, quanto à periculosidade, é importante para o gerenciamento destes materiais, a depender do tipo de resíduo. É possível verificar na Figura 1, o processo de classificação de resíduos conforme a sua periculosidade e inertibilidade, conforme recomenda a NBR 10.004/2004.

**Figura 1: Processo de classificação dos resíduos, quanto a periculosidade**



Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define que, a partir da classificação do resíduo que está sendo destinado, alternativas diferentes devem ser aplicadas (conforme norma técnica vigente, para cada tipo de resíduo quanto sua periculosidade, propriedades, volumes e demais fatores), além de definir as responsabilidades em cada caso, que no caso dos resíduos sólidos urbanos, é de responsabilidade do poder público municipal o gerenciamento com destinação/disposição final ambientalmente adequadas (BRASIL, 2010).

### 2.1.2. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos

Os RSU apresentam constituintes diversos na sua produção e volume, já que estão relacionados a fatores específicos de cada região, tais como o clima, o padrão de consumo da população, o estilo de vida, o grau de urbanização e industrialização de uma localidade, afirma Lima *et al.* (2018). Sendo assim, ao ser realizado o planejamento do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, deve ser considerada a composição dos resíduos a serem coletados. Conforme

Rezende *et al.* (2013), realizar a análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos é uma das primeiras etapas do planejamento no gerenciamento dos resíduos em uma localidade.

A caracterização gravimétrica é a determinação dos constituintes e de suas respectivas percentagens em peso e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico ou biológico (ABNT, 2004 *apud* INEA, 2021). A caracterização gravimétrica apresenta os diversos componentes da parte sólida dos resíduos sólidos, tais como papel, papelão, plástico, vidro, metal, madeira, matéria orgânica, borracha e outros (COMAR, 2021). A obtenção da composição gravimétrica de uma determinada localidade é de grande importância para a avaliação da possibilidade de aproveitamento comercial das frações recicláveis, bem como da fração orgânica para a produção de composto orgânico (MENEZES *et al.*, 2019).

### **2.1.3. Alternativas tecnológicas para a destinação e disposição final ambientalmente adequada dos Resíduos Sólidos Urbanos**

Depois findadas as alternativas de não geração, redução, reutilização e reciclagem (nesta ordem), o tratamento dos resíduos é definido como alternativa no gerenciamento dos resíduos sólidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conforme Brasil (2010). Para o tratamento dos resíduos sólidos, podendo ser de origem urbana ou não, IPEA (2020) cita diversas tecnologias que podem ser utilizadas para processamento e recuperação destes materiais, como autoclavagem, incineração, vermicompostagem, pirólise, gaseificação e demais processos de conversão térmica.

Existem processos que são mais favoráveis para certa porção dos resíduos, como é o caso da compostagem, que é adequada para a destinação de resíduos orgânicos. Quando esgotadas as tecnologias de destinação ambientalmente adequada, a PNRS (BRASIL, 2020) indica que os materiais devem prosseguir para a disposição ambientalmente adequada, que ocorre com a disposição dos resíduos em aterros e estes resíduos passam a ser denominados de “rejeitos”. O aterro sanitário é considerado como uma das técnicas mais adequadas para receber os resíduos sólidos gerados por uma cidade. Essa obra de infraestrutura tem como objetivo permitir a disposição final dos mais diversos tipos de resíduos de origem urbana, principalmente domésticos, e reduzir os impactos ambientais que eles causariam caso fossem descartados em locais incorretos (COLVERO *et al.*, 2017).

Um dos problemas para a implantação de um aterro sanitário está associado à alta complexidade para a correta alocação dessa obra de infraestrutura, pois envolve dados técnicos, ambientais, econômicos e sociais. Em grandes centros urbanos, os desafios estão associados à

falta de espaços e, em pequenos e médios municípios, os problemas muitas vezes estão associados aos custos de implantação, operação e manutenção desses locais (LUZ *et al.*, 2017). Mesmo sendo a alternativa de tratamento de resíduos mais utilizada, ainda é uma tecnologia que gera efluente altamente complexo e de elevada carga orgânica e toxicidade (MOTTA SOBRINHO, PAULINO e OLIVEIRA, 2019; LIU *et al.*, 2012).

No decorrer dos anos, constatou-se a existência de inúmeras desvantagens ambientais e socioeconômicas relacionadas aos aterros controlados e lixões. Pesquisas apontam que resíduos dispostos sem tratamento em aterros controlados ou lixões contribuem significativamente para a intensificação do efeito estufa, da poluição do ar, da poluição das águas e dos problemas de saúde pública (THAKUR; GANGULY; DHULIA, 2018; YANG *et al.*, 2018). A implementação de unidades de tratamento (mecânico, biológico e/ou térmico) de resíduos apresenta-se como opção mais sustentável em relação à simples disposição dos resíduos em aterros ou lixões (MIA *et al.*, 2018).

No entanto, quando se trata da necessidade de dispor adequadamente os RSU, toda a tecnologia de destinação/disposição final ambientalmente adequada é válida, já que o despejo destes materiais no solo e nos recursos hídricos, como em lixões, pode representar danos graves ao ambiente, com contaminação dos recursos naturais.

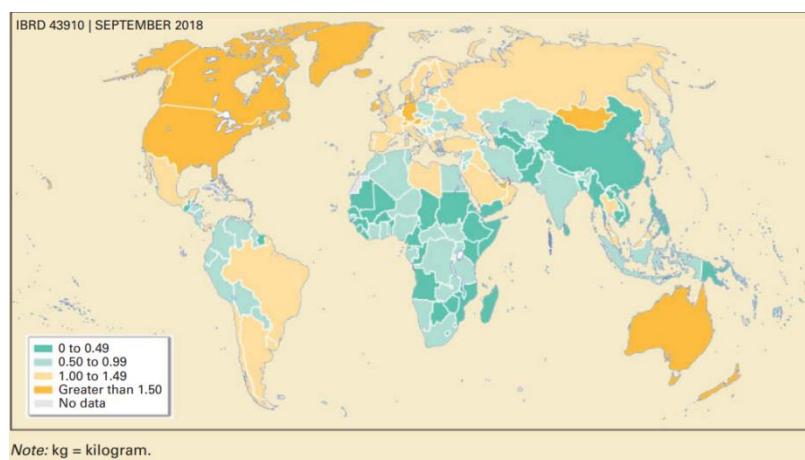
## **2.2. PANORAMA DA GERAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Ao longo de toda a unidade federativa, a considerar seus entes, há ainda um problema quanto a universalização dos sistemas de coleta de resíduos sólidos, de diversas origens. Além disso, diversas cidades ainda enfrentam dificuldades quanto à consolidação e plena oferta de um sistema completo de gerenciamento, conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

### **2.2.1. Geração e Destino de Resíduos Sólidos no Mundo**

Informações do Banco Mundial (2018) indicaram que no ano de 2016 foram gerados aproximadamente 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos no mundo. No entanto, essa geração de resíduos é desproporcional, tanto quanto é relacionado com o consumo *per capita* e quanto é relacionada a população local. Os países asiáticos correspondem a aproximadamente 43% da geração de resíduos, no entanto apresentam valores baixos de consumo *per capita* de resíduos, quando comparado com países europeus e americanos, ou seja, uma porção menor da população gera uma maior quantidade de resíduos, quando comparadas à outra porção, maior, mas que gera menores quantidades. É possível visualizar o panorama da geração *per capita* de resíduos na Figura 2.

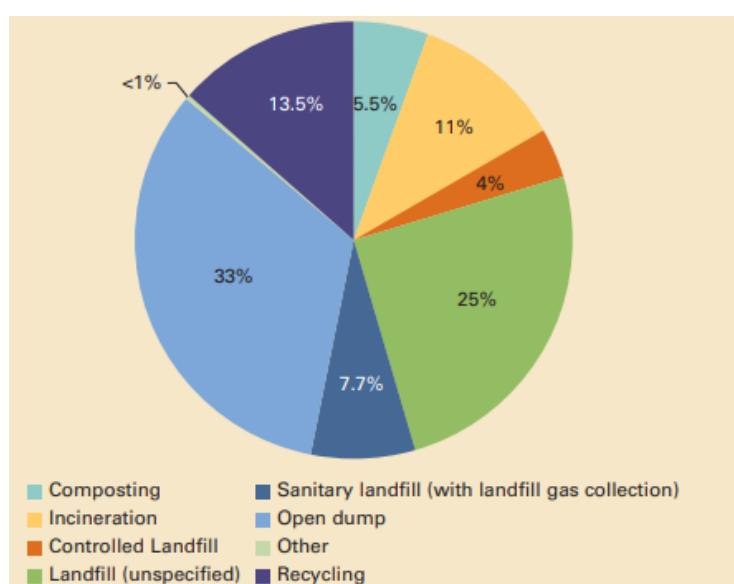
**Figura 2: Panorama da geração *per capita* de resíduos sólidos no mundo.**



Fonte: Banco Mundial (2018)

Para o ano de 2030, conforme Banco Mundial (2018), é estimada a geração de 2,59 bilhões de toneladas de resíduos sólidos no mundo e no ano de 2050 é estimado que o valor chegue a 3,40 bilhões de toneladas. Na América Latina e Caribe, é prevista a geração de resíduos, no ano de 2050 na ordem de 369 milhões de toneladas. Quanto à destinação/disposição final dos resíduos gerados no mundo, a estimativa é que ainda 33% dos resíduos (aproximadamente 663 milhões de toneladas) ainda são dispostos em lixões.

**Figura 3: Destinação/Disposição final de resíduos sólidos urbanos no mundo**



Fonte: Banco Mundial (2018)

### 2.2.2. Geração, Coleta e Destino de Resíduos Sólidos no Brasil

Informações de Brasil (2022a) indicam que no período entre os anos de 2017 e 2018 houve aumento na geração de RSU em todo o Brasil, atingindo níveis de geração de resíduos na ordem de 71 milhões de toneladas ao ano, aumentando a taxa em aproximadamente 1%, enquanto a taxa de crescimento da população variou em apenas 0,40%. Ainda, os estudos

realizados pelo autor supracitado indicam aumento na geração de resíduos em todas as regiões políticas do Brasil.

No cenário de crescimento numérico da geração de RSU, ABRELPE (2022) indica que no ano de 2022 foram gerados 81,80 milhões de toneladas de resíduos no Brasil, correspondendo à 224 mil toneladas diárias. Desta forma, a Geração *per capita* de RSU no Brasil está numa taxa de 1,043 kg/hab.d.

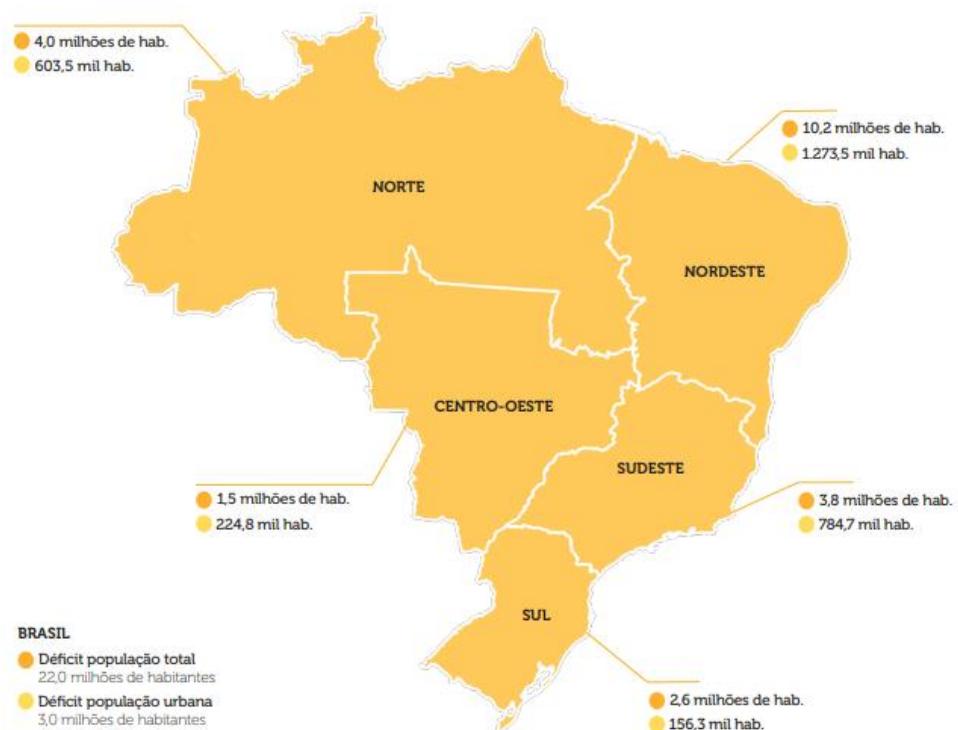
Conforme o diagnóstico realizado a nível nacional do Sistema de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2022b), realizado no ano de 2022 e dados do ano de 2021, a coleta regular de resíduos sólidos atende 98,3% da população urbana brasileira, com variações de 95,7% (Região Norte) a 99,4% (Região Sul). Em municípios com mais de 4 milhões de habitantes, a coleta atende 100% da população.

Ao considerar a parcela rural e urbana da população, este índice diminui para 89,9% da população total atendida por serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares. Sendo assim, o SNIS aponta que aproximadamente 22 milhões de habitantes não têm acesso à serviços adequados de coleta regular de resíduos sólidos domiciliares, com uma grande discrepância entre as zonas urbana e rural, com um valor aproximado de 19 milhões de pessoas não atendidas na zona rural e 3 milhões de pessoas não atendidas na zona urbana (BRASIL, 2022b). É possível analisar esse panorama na Figura 4.

**Figura 4: Participação das macrorregiões no déficit de coleta de resíduos domiciliares no Brasil**

### PARTICIPAÇÃO DAS MACRORREGIÕES NO DÉFICIT DE COLETA DE RDO NO BRASIL

(número de habitantes por macrorregião, em 2021)



Fonte: BRASIL (2022)

Quanto às unidades de processamento de resíduos sólidos, Brasil (2022a) explica que é considerada como unidade de processamento toda a instalação em que pode haver ou não equipamentos eletromecânicos em que os RSU possam ser submetidos a alguma modalidade de processamento, que pode ser dos métodos mais simples aos mais sofisticados, ou seja, que façam o resíduo passar por algum tipo de transformação física, química ou biológica. Se tratando do tratamento dos resíduos sólidos, ou disposição no solo, é possível analisar o cenário do Brasil, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1: Unidades de Tratamento/Disposição no solo de RSU no Brasil**

<b>Tipo de Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Relativo (%)</b>
Lixão	1572	46,65
Aterro Sanitário	669	19,85
Aterro Controlado	595	17,66
Aterro de RCC	78	2,31
Usina de Compostagem	77	2,28
Unidades de Reciclagem de RCC	47	1,39
Unidade de Tratamento por Microondas ou Autoclave	22	0,65
Unidades de Incineração	19	0,56
Valas específicas para RSS	16	0,47
Fornos apropriados para queima	2	0,06
Outas unidades	273	8,10
<b>Total</b>	<b>3370</b>	<b>100</b>

Fonte: Brasil (2022a)

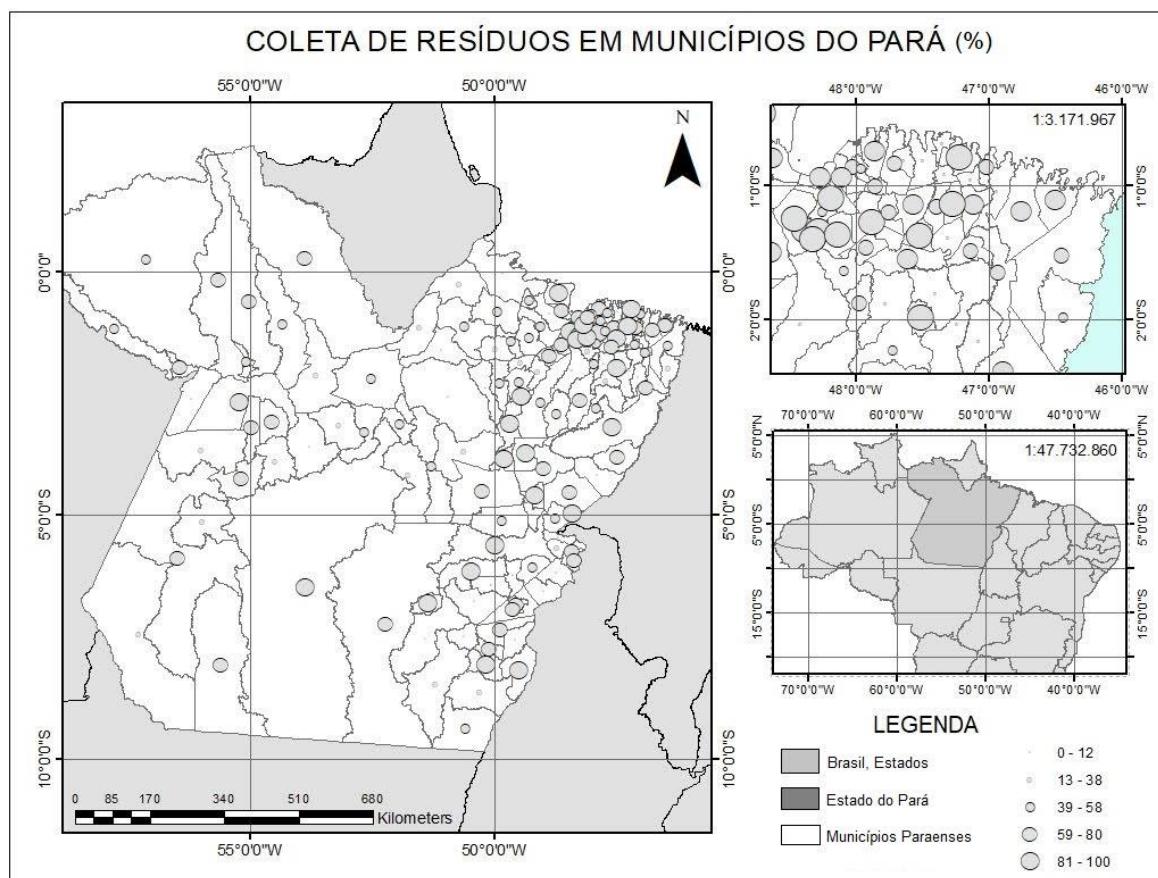
É possível verificar, ainda, uma predominância na existência de lixões e aterros controlados por todo o Brasil, ambas alternativas são consideradas formas de disposição inadequadas de resíduos, em que no aterro controlado ainda há a compressão dos resíduos, no entanto, sem a devida impermeabilização do solo. A PNRS (BRASIL, 2010) define que em instrumentos como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos e Planos Estaduais de Resíduos Sólidos devem ter como conteúdo metas para a eliminação e recuperação de lixões, com inclusão social e emancipação econômica de materiais reutilizáveis e recicláveis.

Estimativas do SNIS (BRASIL, 2022b) revelam que 46,96 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram despejadas em lixões no ano de 2021. Ou seja, aproximadamente 57% dos RSU gerados no Brasil são encaminhados para unidades de disposição inadequadas.

### **2.2.3. Geração, Coleta e Destinação/Disposição de RSU no estado do Pará**

Informações do SNIS (BRASIL, 2022b) indicam que no estado do Pará, no ano de 2021, 95,12% da população urbana foi atendida pela coleta regular de resíduos sólidos, pelo menos uma vez na semana e 76% da população total foi contemplada com o serviço. Em discrepância com a população urbana, apenas 29,81% da população rural foi atendida pela coleta regular de resíduos sólidos. Tais informações, dentro do número de municípios disponíveis nos bancos de dados do sistema, sugerem que, aproximadamente, 273 mil moradores da área urbana não têm acesso ao serviço de coleta regular de resíduos sólidos e 1,6 milhões de habitantes na zona rural não são atendidos pela coleta regular de resíduos sólidos.

**Figura 5: Panorama da coleta de resíduos, em relação à população total, no estado do Pará**



Fonte: Pereira (2023)

As unidades de processamento de resíduos, podendo ser ou não com tratamento e disposição final ambientalmente adequada, estão presentes na minoria dos municípios, que dispõem na maioria das vezes os resíduos gerados na cidade, em lixões e aterros controlados. É possível verificar na Tabela 2 o número de unidades de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no estado do Pará.

**Tabela 2: Unidades de Tratamento/Disposição no solo de RSU no estado do Pará**

Tipo de unidade	Quantidade	Valor Relativo (%)
Lixão	107	81,06
Aterro Controlado	13	9,45
Aterro Sanitário	5	3,79
Unidade de Incineração	2	1,52
Vala específica de RSS	2	1,52
Unidade de Tratamento por Microondas ou Autoclave	1	0,76
Aterro de resíduos da construção civil	1	0,76
Fornos apropriados para queima	1	0,76
<b>Total</b>	<b>132</b>	<b>100</b>

Fonte: Brasil (2022b)

Dessa forma, verifica-se que a maioria dos resíduos sólidos gerados no estado do Pará, ainda são dispostos em lixões, de forma ambientalmente inadequada, não seguindo as definições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Estima-se que aproximadamente 1,3 milhões de toneladas de resíduos foram dispostos em lixões no estado do Pará, desta parcela, aproximadamente 1,1 milhões de toneladas correspondem à Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). O estudo ainda afirma que no ano de 2021 foram gerados aproximadamente 2,9 milhões de toneladas de resíduos, indicando que cerca de 45% dos resíduos sólidos gerados, foram dispostos em lixões ao longo do território do estado.

#### **2.2.4. Geração e Coleta de RSU na Região Metropolitana de Belém**

De acordo com a Lei Estadual Complementar nº 27, de 19 de outubro de 1995, a Região Metropolitana de Belém (RMB) é constituída pelos municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Izabel do Pará, Santa Barbara do Pará e Castanhal, recentemente o município de Barcarena foi incluído na RMB. Informações do Sistema Nacional de Saneamento (BRASIL, 2022) indicam que no ano de 2021, aproximadamente 97,86% da população urbana foi atendida pelos serviços de coleta regular de resíduos e 96,73% da população total foi contemplada pelo serviço. Informações revelam que aproximadamente 81 mil pessoas não têm acesso regularmente aos serviços, sendo que destas, aproximadamente 51,5 mil pessoas estão na zona urbana e 29,5 mil estão na zona rural.

Quanto às unidades de processamento dos resíduos, a Região Metropolitana de Belém tem três lixões, um aterro controlado (Aterro Controlado do Aurá), um aterro sanitário (Aterro Sanitário de Marituba), um aterro para resíduos da construção civil, uma unidade de incineração e uma vala específica para resíduos de serviços da saúde. Sendo que relevante parte dos resíduos são destinados ao aterro sanitário, localizado no município de Marituba (BRASIL, 2022b). Conforme SNIS (BRASIL, 2022b), cerca de 625 mil toneladas de RSU foram dispostas adequadamente em aterro sanitário e 143 mil toneladas em lixões. A maioria dos Resíduos Sólidos Urbanos das cidades de Belém, Ananindeua e Marituba são dispostos no aterro sanitário, conforme o sistema de gerenciamento adotado pelos três municípios.

### **2.3. POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

#### **2.3.1. Definição, composição e geração de lixiviados de resíduos sólidos urbanos**

A principal desvantagem do descarte de resíduos sólidos em aterros sanitários está justamente relacionada aos grandes volumes de compostos lixiviados que são gerados. Neste processo, a água da chuva infiltra no solo, lixiviando matéria orgânica em decomposição em aterros, causando mudanças químicas e biológicas e culminando na geração de líquido contaminado chamado lixiviado de aterro (TCHOBANOGLOUS e KREITH, 2002). Ainda,

quando operado de forma ineficiente, os aterros podem causar danos ambientais recorrentes da geração de subprodutos oriundos dos aterros, com ênfase ao lixiviado e aos gases, explica Kirmizaks *et al.* (2014).

O lixiviado é o resultado da digestão da matéria orgânica sólida, quando incluso no balanço também as águas pluviais e umidade presente na célula em que os resíduos estão depositados, onde ocorrem uma série de processos físico-químicos e biológicos que levam à geração desse composto (BAHLA, SAINI e JHA, 2013; LINS, 2011). O volume de chorume produzido pode ser calculado a partir de um balanço hídrico envolvendo o volume de água que é adicionado na célula do aterro subtraído pelo volume consumido em reações químicas e pela vaporização. Tais valores envolvem as águas pluviais, a umidade dos resíduos depositados, a umidade na cobertura da pilha de resíduos, a água consumida na digestão anaeróbia e o vapor saturado dos gases gerados em aterros, explica Faria (2002).

Conforme ABNT (1992), o lixiviado, ou chorume, é um líquido produzido a partir da decomposição de substâncias presentes em resíduos sólidos, que tem como característica a cor escura, o mau cheiro e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) elevada. Moravia (2010) afirma que o lixiviado é um líquido resultante da umidade presente na matéria orgânica de resíduos sólidos, da degradação desses resíduos e mistura com águas de infiltração na cobertura e no interior de células (no caso de aterros sanitários).

Os lixiviados apresentam uma composição complexa, que no geral, possuí matéria orgânica dissolvida, macrocomponentes, metais, amônia, compostos xenobióticos, alta DBO e DQO, além da cor escura (PASTORE *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2014). Hassan (2015) afirma que as características do lixiviado irá depender da característica do resíduo, das condições climáticas e hidrológicas, além do tempo de funcionamento do aterro sanitário. Na Tabela 3 é possível verificar a caracterização físico-química de lixiviados de alguns aterros sanitários e lixões do Brasil.

**Tabela 3: Caracterização físico-química de lixiviados de aterros e lixões do Brasil**

Parâmetro físico-químico	Lucena <i>et al.</i> (2018)	Scandelai <i>et al.</i> (2018)*	Torrez <i>et al.</i> (2018)	Vasconcelos <i>et al.</i> (2017)	Cavalcanti <i>et al.</i> (2015)	Maia <i>et al.</i> (2015)	Kawahiga shi <i>et al.</i> (2014)
pH	8,25	7,80	4,33	8,39	8,23	8,10	9,10
Sólidos Totais (mg/L)	-	6903,00	34,31	-	6035,00	-	6556,00
Nitrogênio Ammoniacal (mg/L)	-	510,75	224,00	-	1582,30	1419,00	859,00
Nitrito (mg/L)	-	25,50	-	-	-	-	0,10
Nitrito (mg/L)	-	12,50	79,92	-	2,10	-	0,00
Fósforo Total (mg/L)	-	-	221,19**	-	-	34,00	-
DBO (mg/L)	1005,05	454,50	3581,00	3377,86	397,40	1683,00	55,00
DQO (mg/L)	3845,55	1915,00	84634,08	-	3352,20	3581,00	1819,00

\*Valores médios levantados na pesquisa

\*\* Valores de Fosfato, em mg/L.

IPT/CEMPRE (2000) cita fatores que influenciam na composição dos lixiviados gerados em aterros sanitários, sendo que esses fatores podendo ser climatológicos, relacionados à composição do resíduo e às condições do aterro. Quanto aos fatores climatológicos, é possível considerar o regime de chuvas e a relação entre escoamento superficial, infiltração e evaporação; quando relacionado às características do resíduo, o autor cita a composição gravimétrica, a densidade e o teor de umidade e quando é verificada as condições do aterro, observa-se as características de permeabilidade, a idade e a profundidade das células do aterro. Tratando-se da matéria orgânica, geralmente os valores verificados são inversamente proporcionais à idade do aterro sanitário, em que os compostos orgânicos lixiviados de aterros mais velhos já foram degradados por estarem em estágio avançado da fase metanogênica de degradação, no entanto, ainda alteradas por fatores climáticos (COSTA, 2021; GOMES *et al.*, 2018; MOREIRA, BRAGA e FRIES, 2009).

### 2.3.2. Tecnologias para tratamento de lixiviado

É crescente a preocupação com o impacto produzido pelo lixiviado no meio ambiente principalmente em relação à poluição das águas. A percolação do lixiviado pode provocar a poluição das águas subterrâneas e superficiais, reduzindo o teor de oxigênio dissolvido e, como

consequência, alterar a fauna e a flora aquática. Devido a esses problemas é de grande importância a implementação de sistemas de coleta e tratamento para o lixiviado (TELLES, 2010). Por conta do lixiviado ser um efluente de alta complexidade e toxicidade, o desafio para a conformidade ambiental do lançamento deste efluente está na busca de novos tratamentos e tecnologias que possam garantir estes lançamentos dentro dos limites estabelecidos na legislação, ainda, muitos dos aterros sanitários não possuem estações de tratamento dos lixiviados e quando possuí, são estações ineficientes (OLIVEIRA, 2019; DANTAS, 2018).

Conforme Ferreira *et al.* (2001), para o tratamento de lixiviados oriundos de aterros novos, a tecnologia de tratamento biológico, do tipo aeróbio, pode ser utilizada e obter eficiência na remoção de poluentes, no entanto, se tratando de aterros mais velhos, por conta da presença de compostos recalcitrantes, pode ser necessária a adoção de outros processos de tratamento. Kawahigashi *et al.* (2014) explica que a variação na composição qualitativa dos lixiviados pode dificultar no processo de escolha da tecnologia adequada para o tratamento do líquido, considerando a necessidade de conformidade dos padrões de efluentes definidos órgão ambiental.

Para a escolha de tratamento adequada, é amplamente utilizada a relação DBO/DQO, em que valores na faixa de 0,4-0,5 indica-se o tratamento biológico do lixiviado, valores abaixo de 0,1 indicam a necessidade de tratamento físico-químico, valores entre 0,5-0,8 indicam um lixiviado jovem, com maior concentração de matéria orgânica de fácil degradabilidade. No entanto, deve ser verificada a formação de compostos orgânicos cancerígenos, quando realizar o estudo de alternativa de tratamento do lixiviado (LANGE e AMARAL, 2009; KJELDSEN *et al.*, 2001). Moravia *et al.* (2011) afirma que o lixiviado jovem apresenta compostos orgânicos biodegradáveis, baixa concentração de nitrogênio amoniacal e elevada concentração de ácidos graxos, tornando o tratamento biológico uma alternativa. No entanto, a relação C/N desbalanceada dificulta a multiplicação de microrganismos e dificulta a viabilidade de tecnologias de tratamento biológico eficientes, conforme explica Song *et al.* (2022).

Segundo Dantas (2018), as tecnologias de tratamento biológico dos lixiviados mais utilizados são os lodos ativados, as lagoas de estabilização, os filtros biológicos e o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (RAFA/UASB). Entre as tecnologias de tratamento físico-químico de lixiviado, as tecnologias mais utilizadas são os processos de coagulação/flocação, precipitação química, adsorção, evaporação e remoção por arraste (stripping de amônia).

Não se limitando à presença de matéria orgânica e nutrientes, os compostos líquidos gerados em lixões e aterros sanitários apresentam composições complexas de metais, como

Manganês, Cromo, Cádmio, Chumbo, Níquel, Zinco, Cobre e Mercúrio, conforme apresenta Prechthai, Parkpian e Visvanathan (2008). Ainda, deve ser considerada a idade do lixiviado, Wijekoon *et al.* (2021), em que é verificado o aumento do pH, queda da relação DBO/DQO, permanência de compostos de difícil degradabilidade e de metais. Dada a complexidade da composição dos compostos, devem ser traçadas concepções de plantas de tratamento adequadas, considerando tecnologias de tratamento biológico e físico-químico com ótimo rendimento na remoção dos diversos compostos presentes em lixiviado que apresentem risco ao ambiente e à saúde pública. Dada a complexidade dos compostos líquidos e da dificuldade de implantação de tecnologias avançadas de tratamento, em caso de inviabilidade, Kamaruddin *et al.* (2017) sugere a adoção de tecnologias de destinação de resíduos que não gere compostos líquidos, como a incineração e a reciclagem.

### **2.3.3. Estudos científicos realizados com a obtenção de extrato lixiviado e solubilizado**

O lançamento sem controle dos Resíduos Sólidos Urbanos no meio ambiente pode representar grande risco aos recursos naturais presentes, tendo como consequência o efetivo ou potencial impacto ambiental na localidade. Nos centros urbanos, os lixões e os aterros controlados são os locais onde estes materiais são lançados sem o devido controle ambiental.

O potencial de contaminação pelos resíduos sólidos pode ser avaliado em laboratório de duas formas, através de análises de extratos lixiviados e extratos solubilizados. Enquanto o primeiro serve para a verificação dos impactos de resíduos perigosos, segundo serve para a análise dos impactos de resíduos não perigosos, porém não inertes (ABNT, 2004).

Na NBR 10.004/2004, ABNT (2004) explica que a lixiviação de um material consiste em um processo para a determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes em um resíduo sólido, por meio de um processo de dissolução em um meio extrator. No processo de obtenção de extrato solubilizado, há semelhanças entre o processo de lixiviação, no entanto o objetivo das análises são diferentes, já que eles servem para classificar os resíduos quanto a periculosidade e a inertibilidade.

Historicamente já foram realizados estudos em que foram obtidos extratos lixiviados e solubilizados para a verificação de fatores como o impacto no meio ambiente, na biota e para a verificação de periculosidade e inertibilidade de resíduos, quando lançados em meio aquoso, podendo ser verificado na Tabela 4.

**Tabela 4: Estudos realizados através da obtenção de extrato solubilizado e lixiviado**

Autor (es) e ano	Título do Trabalho	Conclusões relacionadas
<b>Silva (2022)</b>	Ecotoxicidade de resíduos sólidos urbanos e de lixiviado gerado em aterro sanitário	O lixiviado originado de aterro sanitário e o extrato solubilizado obtido demonstraram relevante ecotoxicidade quando utilizado diversas espécies indicadoras de poluição.
<b>Franco, Rocha e Filho (2020)</b>	Impacto ambiental de extrato solubilizado de borra de café	O contato do extrato solubilizado com o solo fez com que houvesse fuga de microrganismos do solo, com comprometimento do meio.
<b>Jovelino et al. (2020)</b>	Estabilização/Solidificação: Caracterização, classificação e aplicação no tratamento e gerenciamento de resíduos sólidos de laboratórios químicos	Após ensaios de lixiviação dos resíduos gerados após o tratamento proposto no trabalho, foi possível detectar a redução na concentração de metais como cádmio e níquel, no entanto, com concentrações que ainda enquadram os resíduos como Classe I.
<b>Schneider, Moraes e Brehm (2020)</b>	Avaliação Ambiental da Estabilização por solidificação de BTEX oriundo do resíduo de adsorvente composto por cinza de casca de arroz e carvão ativado em argamassa	Os ensaios verificaram, que quando expostos à solubilização, o extrato solubilizado não apresentou concentrações de BTEX acima do definido na legislação brasileira.
<b>Silva, Barroso e Cabral (2020)</b>	Avaliação da aplicação de cinzas pesadas de termelétrica em blocos intertravados de concreto para pavimentos	Os ensaios de obtenção de extrato solubilizado e extrato lixiviado foram realizados para analisar o impacto da cinza pesada no ambiente.
<b>Thode Filho et al. (2019)</b>	Avaliação ecotoxicológica do extrato solubilizado de bagaço de cana-de-açúcar residual via germinação de sementes de alface	Doses mínimas do extrato solubilizado causaram efeito fitotóxico e impediram a germinação de sementes e o crescimento dos vegetais.
<b>Nardino et al. (2015)</b>	Reutilização de resíduos de curtume na fabricação de blocos de concreto para pavimentação: avaliação das características do resíduo	Através dos ensaios de obtenção do extrato lixiviado e solubilizado, foi possível a classificação dos resíduos conforme a periculosidade, conforme preconiza a NBR 10.006/2004.
<b>Silva et al. (2015)</b>	Avaliação do potencial tóxico dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB	Através da obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos urbanos, foi possível constatar concentrações de alumínio, manganês e níquel em valores acima dos valores limite definidos na NBR 10.004/2004.
<b>Medeiros (2013)</b>	Determinação de compostos fenólicos em extratos aquosos de resíduos sólidos por micro-extracção em fase sólida e	Através dos ensaios de obtenção de extratos solubilizados e lixiviados foi possível, no caso do extrato lixiviado, a

	cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas	medição de multifenóis a partir de matrizes de diatomácea resíduária.
<b>Rodrigues Pawlowski (2007)</b>	e Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos classe II-A não inertes e classe II-B inertes	Foi possível conhecer a toxicidade ambiental dos resíduos sólidos de diversas atividades industriais, sendo que foi constatado que mesmo considerando a legislação vigente, os resíduos ainda apresentam potencial tóxico ao corpo receptor.
<b>Sissino (2003)</b>	Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana	Grande parte dos resíduos em que ocorreu a remoção do extrato solubilizado apresentaram concentrações acima do definido na legislação brasileira, com atenção ao fenol, alumínio e manganês, que são compostos considerados tóxicos.

Verifica-se nos estudos que é possível a mensuração dos impactos que os resíduos sólidos causam no meio ambiente e na biota através dos ensaios para a obtenção de extratos solubilizados e lixiviados, com a realização de análises físico-químicas e microbiológicas, além da utilização de organismos indicadores para a verificação dos impactos no crescimento e reprodução de seres no ambiente.

## 2.4. CONCEITOS DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

### 2.4.1. Potencial Hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH), conforme Von Sperling (2018), representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$ , em escala anti-logarítmica, indicando as condições de acidez, neutralidade e alcalinidade da água, sendo que a faixa padrão é de 0 a 14. Aderiu-se a utilização da escala anti-logarítmica devido a baixas concentrações do íon hidrogênio nas soluções, assim, para evitar o uso de valores com potências negativas de 10 (VOGEL, 2002). O pH é um importante parâmetro para a determinação da qualidade da água. Além disso, o pH (concentração de  $H^+$  nas águas) influência diretamente os ecossistemas aquáticos naturais e contribui para a precipitação dos metais através da sua capacidade de atacar os minerais das rochas, solos e sedimentos, induzindo a lixiviação ou solubilizando seus constituintes (BAGGIO, FREITAS e ARAÚJO, 2016).

### 2.4.2. Cor e Turbidez

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas de dimensões inferiores a 1  $\mu m$  – denominadas colóides – finamente dispersas, de origem orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) ou mineral (resíduos industriais, compostos de ferro e manganês). Para efeito de caracterização de águas para abastecimento, distingue-se a cor aparente, na qual se

consideram as partículas suspensas, da cor verdadeira. A determinação da segunda realiza-se após centrifugação da amostra. Para atender ao padrão de potabilidade, a água deve apresentar intensidade de cor aparente inferior a cinco unidades (BRASIL, 2006). A determinação da turbidez permite evidenciar alterações na água. A água que possui turbidez faz com que as partículas em suspensão reflitam a luz, fazendo com que a esta não chegue aos organismos aquáticos (VAZ *et al.*, 2010).

De acordo com Folorunso (2018), a turbidez representa a presença de sólidos suspensos na coluna d'água, sendo uma propriedade visual da água baseada na dispersão e na atenuação da luz. Este parâmetro é determinado pela quantidade de luz espalhadas pelos sólidos, embora essa medição possa ser usada como substituto para definir a concentração de sólidos suspensos. Os sólidos dissolvidos não estão inclusos na medição da turbidez.

#### **2.4.3. Acidez e Alcalinidade**

Conforme Von Sperling (2018), a acidez é a capacidade de uma determinada massa líquida resistir às mudanças de pH causadas pelas bases, enquanto a alcalinidade corresponde à capacidade de uma massa líquida em resistir a mudanças de pH causadas por ácidos (capacidade tampão). As quantidades de íons na água que reagirão para a neutralidade de íons de hidrogênio é uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e os hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). A acidez hídrica é a capacidade da água em resistir as mudanças de pH causadas pelas bases. É devida principalmente à presença de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) livre, onde o pH varia entre 4,5 e 8,2 (FERREIRA, MACÊDO e OLIVEIRA JÚNIOR, 2018).

#### **2.4.4. Dureza**

A dureza em águas naturais é caracterizada pela presença de cátions bivalentes em solução aquosa, com ênfase aos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (normalmente quando associado ao íon sulfato). Além disso é possível verificar a presença dos íons  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , entre outros (DI BERNARDO e PAZ, 2008; LIBÂNIO, 2005). A dureza, ainda, pode ser classificada como Dureza Temporária (Dureza Carbonato), quando causada por íons carbonatos, formados pelos Bicarbonatos de Cálcio e Magnésio e Dureza Permanente (Dureza Não Carbonato), quando associada a outros íons de (sulfatos, cloretos e nitratos) (PINHEIRO, 2011; GRAY, 1999).

Von Sperling (2018) explica, que no contexto geral, a dureza não representa graves problemas de saúde pública, no entanto, águas duras têm efeitos laxativos, quando consumidas. Águas duras também afetam na formação de espumas, aumentando o consumo de sabões e pode causar incrustações em caldeiras, tubulações de água quente e aquecedores, pois quando em elevadas concentrações, ocorre precipitação dos compostos.

#### **2.4.5. Série de Sólidos**

Em águas, os sólidos correspondem à toda a matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra em temperatura pré-estabelecida durante um período fixado (PIVELLI E KATO, 2006). Conforme Von Sperling (2018) todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos, sendo estes classificados em relação ao seu tamanho e estado (em suspensão e dissolvidos), suas características químicas (voláteis e fixos) e em relação à sua sedimentabilidade.

A concentração de Sólidos Suspensos Total é uma medição de todos os sólidos que estão em suspensão, orgânicos e inorgânicos. Nos sólidos suspensos estão inclusos os sólidos sedimentáveis e é a medição direta do total de sólidos presentes em um corpo d'água (FOLORUNSO, 2018). Os sólidos totais dissolvidos são o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas num líquido sob formas moleculares ionizadas ou microgranulares. As substâncias dissolvidas envolvem carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio, sódio e íons orgânicos, entre outros íons necessários a vida aquática. (ARAÚJO, SANTOS E OLIVEIRA, 2013).

#### **2.4.6. Série de Nitrogênio**

Conforme Leão (2015), o nitrogênio se apresenta nas formas de nitrogênio molecular (na atmosfera), nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão no corpo d'água), amônia (livre e ionizada), nitrito e nitrato. No meio aquático, podem ter fontes de nitrogênio naturais ou antrópicas, que é o caso dos esgotos domésticos que fornecem nitrogênio ao corpo hídrico. O nitrogênio inicialmente se apresenta na forma orgânica e se transforma, a depender das condições físicas e químicas do meio aquático, em nitrito e posteriormente em nitrato.

O nitrogênio orgânico corresponde aos compostos do grupo funcional amina (VON SPERLING, 2018). Quanto ao nitrogênio amoniacal, duas formas são relevantes, a amônia ( $\text{NH}_3$ ) e a amônia ionizada, que é dada pelo íon amônio ( $\text{NH}^{4+}$ ), altas concentrações desses componentes podem representar implicações na concentração de oxigênio dissolvido na água, já que as transformações que acontecem podem implicar no consumo de oxigênio, explica Esteves (1998).

Nitrito ( $\text{NO}^{2-}$ ) é um estado intermediário do nitrogênio, tanto pela oxidação da amônia a nitrato como pela redução do nitrato. Estes processos de oxidação e redução podem ocorrer em estações de tratamento de água, sistema de distribuição de águas e em águas naturais. Raramente ele é encontrado em águas potáveis em níveis superiores a 0,1 mg/L. Seu principal efeito na água em teores maiores que o permitido, é uma doença conhecida como Metahemoglobinemia ou Descoramento da pele, causada pela alteração do sangue, tanto em

bebês recém-nascidos, como em adultos com determinada deficiência enzimática (GADELHA *et al.*, 2005).

Entre os compostos que causam a deterioração da qualidade das águas, é possível citar o Nitrato. Quando este composto está em excesso no meio aquoso, é um dos agentes conhecido como percursos do fenômeno da eutrofização, além de efeitos negativos para a saúde humana, quando consumidos (ESPEJO-HERREIRA, 2016; KUMAR *et al.*, 2014 e KAVITHA *et al.*, 2009). Concentrações de nitrato ainda podem causar retardos no crescimento infantil intrauterino e aumento em indícies de morte súbita infantil, explica (GEORGE *et al.*, 2001).

#### **2.4.7. Série de Fósforo**

O fósforo aparece em águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte (15,5% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. (PIVELLI e KATO, 2005). O fósforo introduzido em sistemas aquáticos está sujeito a armazenamento de curto prazo, mediado por plantas e algas ou para armazenamento de longo prazo ou retenção permanente mediada pela disposição de sedimentos. (SCHRÖNBRUNNER, PREINER E HEIN, 2012).

Os elementos nitrogênio e fósforo, essenciais ao crescimento de microrganismos, plantas e animais, são conhecidos como nutrientes ou bioestimulantes. Quantidades traços de outros elementos, como ferro, também são necessários para o crescimento biológico, mas o nitrogênio e fósforo são, na maioria dos casos, os nutrientes mais importantes. (METCALF e EDDY, 2016).

#### **2.4.8. Oxigênio Dissolvido e Matéria Orgânica**

Toda a forma de vida aeróbia, incluindo de água doce ou marinha, necessitam de oxigênio para realizar a respiração. Ecossistemas aquáticos com águas mornas em áreas tropicais devem ter pelo menos 5 mg/L de oxigênio dissolvido para manter uma biota diversificada. (SALEH, MOHADI e SAPUTRA, 2016).

O oxigênio dissolvido é essencial para peixes e outras formas de vida aquática. Nos rios, a concentração de oxigênio dissolvido é uma soma de processos que incluem reaeração, transporte, fotossíntese, respiração, nitrificação e degradação da matéria orgânica. (COX, 2003). A concentração de oxigênio dissolvido depende de outros fatores, como temperatura, salinidade, depleção de oxigênio, fontes de oxigênio e outros parâmetros de qualidade das águas, explica Ahmed (2014). Baixos níveis de oxigênio dissolvido são potenciais estressores de peixes e invertebrados em sistemas de água doce e sistemas marinhos. (KALLER *et al.*, 2010).

Von Sperling (2018) explica que a redução nos níveis de oxigênio dissolvido em águas naturais causado pela digestão aeróbia de matéria orgânica é o principal problema ambiental relacionado às águas superficiais. A matéria orgânica em águas e efluentes podem ser medidas através de métodos indiretos de detecção, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio e a Demanda Química de Oxigênio.

Sullivan, Snyder e Rounds (2009) explicam que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um método amplamente aplicado para quantificar o consumo de oxigênio numa massa d'água, decorrente da decomposição da matéria orgânica carbonácea e/ou nitrogenada. As amostras são incubadas por um determinado número de dias e a quantidade de oxigênio consumida nesse período é medida. De acordo com Yengejeh, Morshedi e Yazdizadeh (2014), uma grande quantidade de DBO surge da rápida decomposição de matéria orgânica biodegradável e a queda dos níveis de oxigênio dissolvido irão reduzir a qualidade do rio.

Baird (2018) explica que a Demanda Química de Oxigênio (DQO), é definida pela quantidade de oxigênio que é consumida em uma amostra, em condições controlada. No teste de DQO, é utilizado Dicromato de Potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) em uma solução de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) a 50%, oxidando substâncias orgânicas (predominantes) e inorgânicas em uma amostra de efluente, explica Kieper (2016). Sendo assim, a DQO corresponde à quantidade de oxigênio consumida quando a matéria orgânica é exposta à ação de um forte oxidante, representando à quantidade de oxigênio necessária para degradar todos os poluentes presentes em águas e efluentes, afirma APHA (2017).

## 2.5. NORMAS LEGAIS DE USO DA ÁGUA E FINALIDADES

Neste tópico será citado apenas as normas legais utilizadas neste trabalho, que se trata da Portaria GM/MS nº 888/2021, que trata da potabilidade de águas para consumo humano. Esta portaria é utilizada para a análise de dados de extrato solubilizado de resíduos sólidos, conforme recomendação da NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004). As Portarias nº 357/2005 e 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente também foram utilizadas, para comparar com o padrão de lançamento de efluentes sanitários e com o enquadramento de águas superficiais.

De acordo com CONAMA (2005), o uso de águas superficiais pode ser para abastecimento humano, dessedentação de animais, recreação de contato primário e secundário, irrigação, navegação, entre outros. Ainda é possível citar a utilização de águas superficiais para o lançamento e diluição de efluentes (tratados, de acordo com a resolução que define os limites de concentração de poluentes). Para cada tipo de uso da água, existem valores padronizados para cada parâmetro, que deve ser seguido, sob riscos ao meio ambiente e à saúde pública.

### **2.5.1. Portaria GM/MS nº 888/2021**

Desde 1977, no Brasil, o estabelecimento das normas e do padrão de potabilidade de água a serem seguidos para a minimização dos riscos à saúde pública é de responsabilidade do Ministério da Saúde. Após publicação da primeira portaria de potabilidade (PRT BSB nº 56/1977), foram realizadas cinco atualizações dessa norma, sendo a última publicada em maio de 2021 – PRT GM/MS nº 888/2021 (SOARES, FRANCO e ASSIS, 2021).

A Portaria GM/MS nº 888/2021, conforme sua definição, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021). ABNT (2004) recomenda que os resultados das análises físico-químicas de extratos solubilizados de resíduos sólidos sejam comparados com o Anexo G da NBR 10.004/2004 e com os valores de referência de potabilidades vigentes.

### **2.5.2. Resolução CONAMA nº 357/2005**

O enquadramento dos corpos de águas é um instrumento previsto nas Políticas de Recursos Hídricos em âmbito Nacional e Estadual, outros instrumentos normativos internacionais abordam esse tema regulamentando em situações específicas a qualidade de água desejada para as diferentes atividades que se procuram atender (SILVA e ALBUQUERQUE, 2018). Conforme Brasil (1997), o enquadramento de águas tem como objetivo assegurar as águas em qualidade compatível com os devidos usos e diminuir custos no controle de poluição das águas.

Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, os corpos d'água são enquadrados corpos de águas doce (salinidade igual ou inferior a 0,5‰), água salobra (salinidade de 0,5 a 30‰) e água salina (salinidade acima de 30‰). Ainda com subdivisão em classes, quando não for aprovado o enquadramento das águas, as águas doces serão consideradas classe 2 e as salinas e salobras, classe 1 (BRASIL, 2005). A Resolução CONAMA nº 357/2005 constantemente vem sendo utilizada pela comunidade científica e se tornou relevante na realização de pesquisas acadêmicas em qualidade das águas, afirma Cunha *et al.* (2013).

### **2.5.3. Resolução CONAMA nº 430/2011**

A Resolução CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, como um complemento da Resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2011). Os parâmetros para caracterização do percolado como efluente apto a ser lançado em corpos d'água são determinados pelo CONAMA 430, Seção II artigo 16 que determina valores máximos permitidos (VMP) a diversos parâmetros, presentes nas subseções I e II, incluindo a TABELA I contendo diversos tipos de metais; artigo 17 que trata da presença do fósforo e o artigo 18 que discorre sobre os efeitos tóxicos dos efluentes nos organismos

presentes no corpo receptor, tratando do parâmetro CECR- Concentração do Efluente no Corpo Receptor e dos testes de Ecotoxicidade (ZELIC, 2017).

Pesquisas científicas realizadas por Zelic (2017), Los *et al.* (2013), Vasconcelos e Silva (2012), Mello *et al.* (2012) realizam comparação dos resultados de análises físico-químicas de compostos provenientes de lixões e aterros sanitários com as concentrações de referências presentes na Resolução CONAMA nº 430/2011. Como a matriz de análise de trata de um efluente de uma atividade (no caso de aterros sanitários), é possível a comparação de resultados de análises físico-químicas com os valores de referências presentes na norma legal.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi composto por quatro etapas: a) Planejamento e Realização das coletas de RSD; b) Realização da caracterização gravimétrica de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares (RSDU); c) Preparação do extrato solubilizado para as análises físico-químicas e d) Tratamento dos dados levantados.

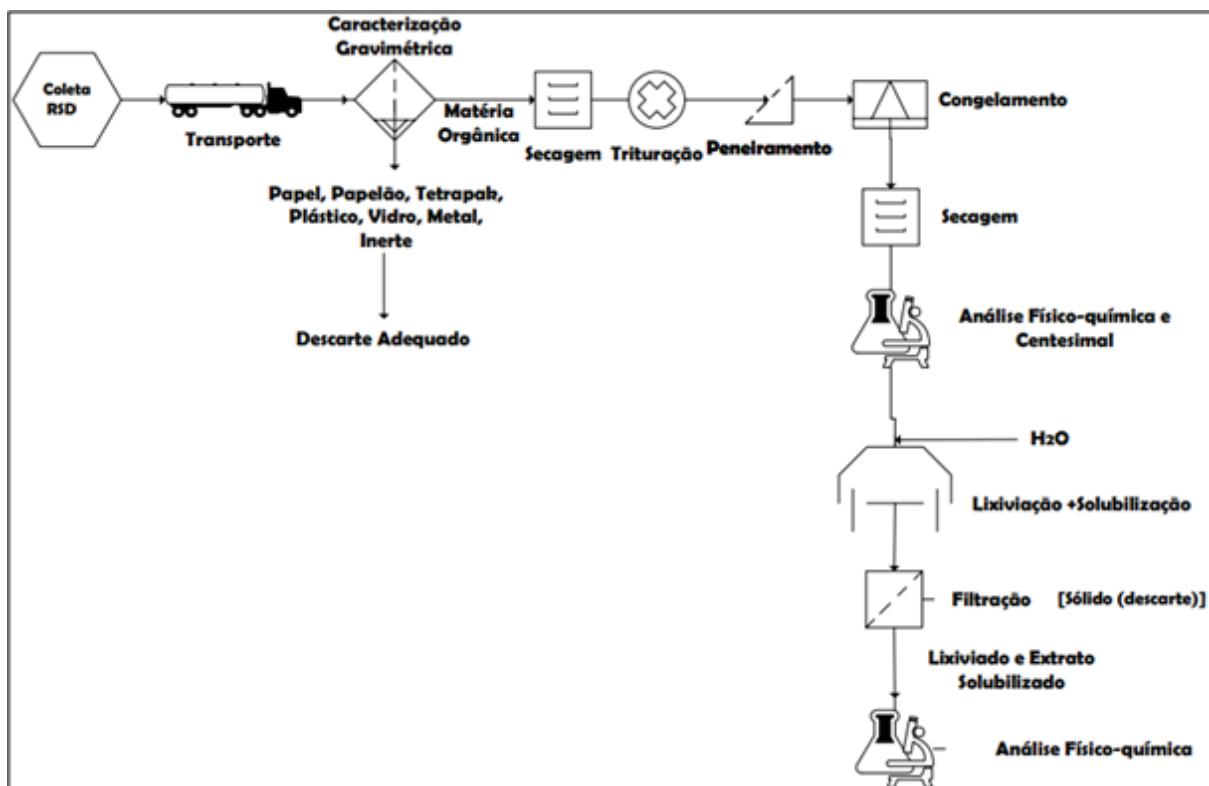
**Tabela 5: Resumo metodológico da pesquisa realizada**

<b>1ª Etapa</b>	Planejamento e Realização das coletas	Determinação e caracterização da área de realização das coletas, amostragem estatística para a verificação da quantidade a ser coletada, planejamento de rotas e materiais a serem utilizados. Realização das coletas do tipo porta-a-porta na localidade planejada.
<b>2ª Etapa</b>	Caracterização gravimétrica	Definição da composição de diferentes tipos de resíduos presentes na amostra coletada
<b>3ª Etapa</b>	Acondicionamento do material coletado e Preparação do extrato solubilizado dos resíduos	Procedimentos de preparação e acondicionamento dos resíduos sólidos. Preparação do extrato solubilizado e realização das análises físico-químicas
<b>4ª Etapa</b>	Tratamento dos dados levantados	Elaboração de gráficos e tabelas com as informações coletadas, além da comparação com diversas fontes.

Fonte: Pereira (2023).

Os materiais e métodos aplicados nos procedimentos experimentais desse trabalho, considerando os processos de separação e análise dos resíduos sólidos, estão dispostos no fluxograma representado na Figura 6. O descarte dos resíduos foi realizado nas unidades de coleta seletiva da Universidade Federal do Pará.

**Figura 6: Procedimentos experimentais realizados na pesquisa**



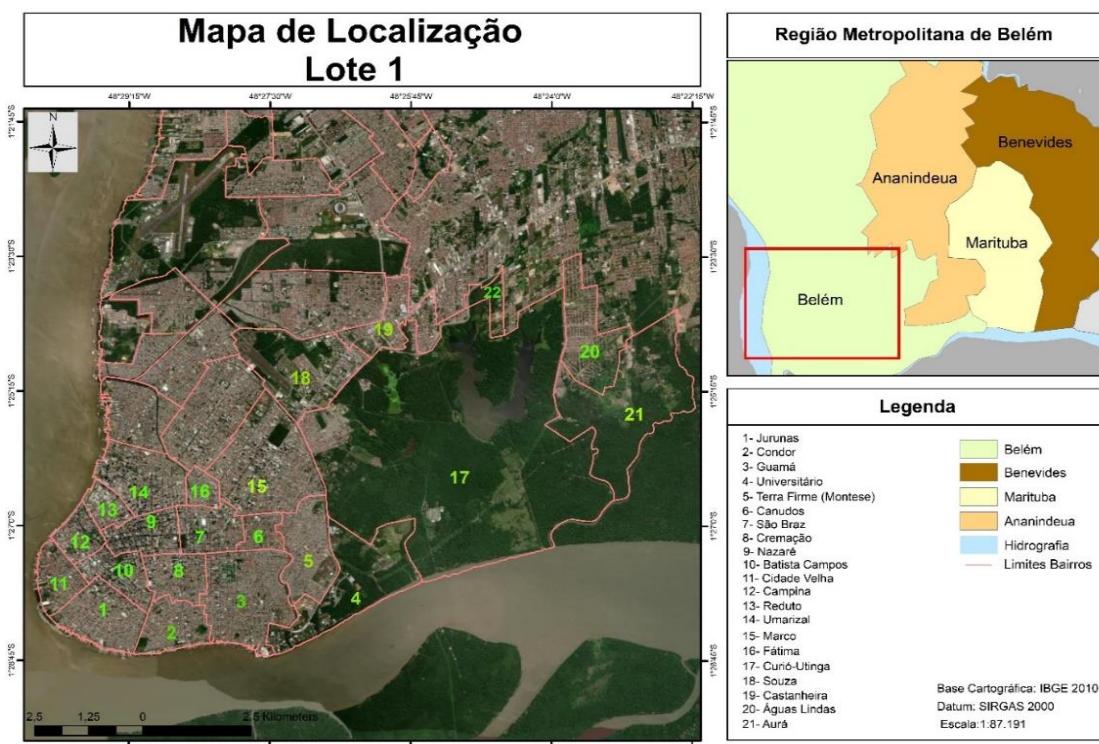
Fonte: Pereira (2023)

### 3.1. PLANEJAMENTO E REALIZAÇÃO DAS COLETAS

#### 3.1.1. Determinação e Caracterização da Área de Estudo

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-Terraplena) 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). Os bairros onde ocorreram as coletas, atendidos pela empresa, estão apresentados no mapa na Figura 7. A elaboração dos mapas nessa dissertação seguiram os padrões para layouts e estética presentes em trabalhos técnicos e acadêmicos, adotados em pesquisas relacionadas ao geoprocessamento e mapeamento de regiões do globo.

**Figura 7: Bairros atendidos pela empresa Terraplena no município de Belém**



Fonte: Assunção (2022)

Para a melhor distribuição dos bairros e para a formação de amostras representativas para a realização dos procedimentos de coleta, os bairros foram agrupados em setores e regiões, em que a renda nominal média foi considerada como o principal fator para esse tipo de organização. O agrupamento resultou em nove setores e três regiões, originados de vinte e um (21) bairros e trinta e sete (37) rotas de coleta de resíduos.

Para a realização dos agrupamentos, os bairros foram divididos pela renda nominal média, conforme metodologia preconizada por IBGE (2010) e Menezes *et al.* (2019), que afirma que a população brasileira está dividida em cinco classes sociais: A, B, C, D e E. As classes sociais são definidas a partir da renda total de um grupo familiar, conforme a Tabela 6.

**Tabela 6: Classificação de classe social a partir da renda nominal média**

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

Fonte: IBGE (2010)

No município de Belém não existe bairro em que a renda familiar média seja acima de 10 salários mínimos. Sendo assim, o agrupamento foi realizado entre bairros de classe social C,

D e E. Com o levantamento da renda média familiar nos bairros e a determinação das classes sociais, é foi possível realizar o agrupamento dos bairros em setores, conforme a Tabela 7.

**Tabela 7: Agrupamento dos bairros em setores, a partir da renda média**

Setor	Bairros	População (hab)	Renda nominal média*	Classificação Socioeconômica
<b>Setor 1</b>	Aura	1.827	R\$ 354,51	E
	Águas Lindas	17.520	R\$ 344,47	
<b>Setor 2</b>	Curió-Utinga	16.642	R\$ 708,53	E
	Guanabara	1.588	R\$ 381,58	
<b>Setor 3</b>	Castanheira	24.424	R\$ 748,87	
	Souza	13.190	R\$ 1.291,02	D
	Marco	65.844	R\$ 1.326,37	
<b>Setor 4</b>	Canudos	13.804	R\$ 821,81	E
	Terra Firme	61.439	R\$ 414,65	
	Guamá	94.610	R\$ 525,80	
<b>Setor 5</b>	Condor	42.758	R\$ 483,06	E
	Jurunas	64.478	R\$ 633,08	
<b>Setor 6</b>	Fátima	12.385	R\$ 656,14	E
	Umarizal	30.090	R\$ 1.991,17	
<b>Setor 7</b>	São Brás	19.936	R\$ 1.971,37	D
	Cremação	31.264	R\$ 1.093,94	
<b>Setor 8</b>	Batista Campos	19.136	R\$ 2.537,63	C
	Nazaré	20.504	R\$ 3.036,30	
	Reduto	6.373	R\$ 2.964,30	
<b>Setor 9</b>	Campina	6.156	R\$ 2.035,60	D
	Cidade Velha	12.128	R\$ 1.235,27	
<b>População Total:</b>		<b>576.096</b>	-	-

Fonte: IBGE (2010)

Com o arranjo dos setores, foi possível estabelecer a formação de regiões, que correspondem a áreas maiores, em que foram consideradas como unidade para a amostragem de resíduos sólidos para as análises laboratoriais. Sendo assim, foi determinada a composição de três regiões, conforme a Tabela 8.

**Tabela 8: Determinação do agrupamento dos setores em regiões**

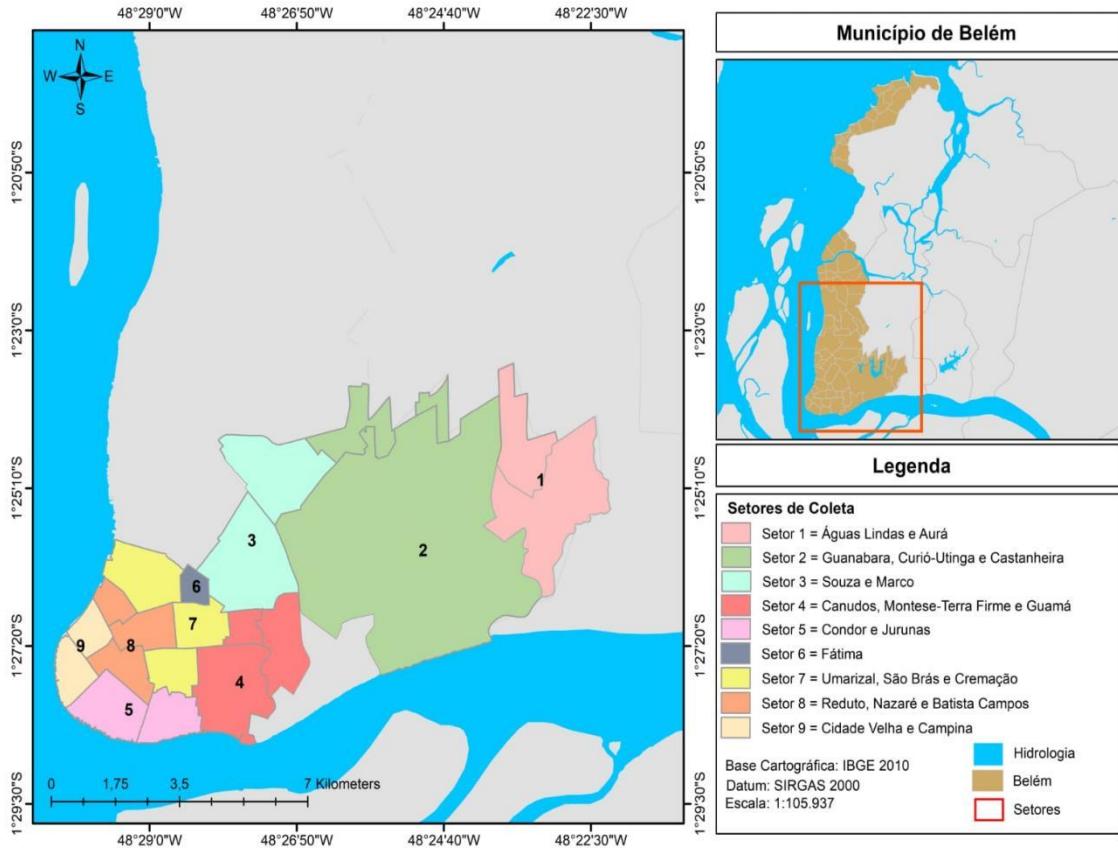
Região	Setores	Bairros
1	1, 2 e 3	Aurá, Águas Lindas, Curió-Utinga, Guanabara, Castanheira, Souza e Marco
2	4, 5 e 6	Canudos, Terra Firme, Guamá, Condor, Jurunas e Fátima
3	7, 8 e 9	Umarizal, São Brás, Cremação, Batista Campos, Nazaré, Reduto, Campina e Cidade Velha

Fonte: Pereira (2023)

O agrupamento em setores e regiões visa facilitar o planejamento das coletas, da composição gravimétrica e de todos os processos de acondicionamento e transformação

realizados nos resíduos, considerando os objetivos da pesquisa realizada. Na Figura 8 é possível visualizar o agrupamento dos bairros do município de Belém em setores.

**Figura 8: Agrupamento dos bairros em setores**



Fonte: Assunção (2022).

### 3.1.2. Amostragem Estatística

Para a amostragem estatística, foi utilizada a ferramenta de amostragem do software STATDISK 13.0 (Statsoft, 2021). A ferramenta foi aplicada para determinar a quantidade de resíduos que deve ser coletada para que a amostra seja estatisticamente representativa. Sendo assim, com um índice de confiabilidade de 95%, significância de 5% e margem de erro de 10%, foi obtida uma massa de resíduos de aproximadamente 100kg (96 kg) a compor a amostra em cada coleta realizada, de um total de 15.000 kg que podem ser coletados em um caminhão coletor de 15m<sup>3</sup>, quando considerado o peso específico da água em 1 atm e 25°C.

**Figura 9: Amostragem estatística realizada**

The screenshot shows a web-based statistical tool. At the top, there's a navigation bar with 'Statdisk Online' and other menu items like 'Análise', 'Reamostragem', 'Dados', and 'Conjuntos de dados'. Below the header, the title 'Tamanho da amostra: Proporção estimada' is displayed. There are four input fields: 'Nível de confiança:' with value '0.95', 'Margem de erro, E:' with value '0.1', 'Estimativa de p:' with value '(se conhecido)', and 'Tamanho da população, N:' with value '15000'. To the right of these fields, the results are shown: 'Required Sample Size is: 96', 'Assumed the population was sampled without replacement.', and 'Assumed a proportion of 0.5.' A green 'Avançar' button is located at the bottom left of the input area.

Fonte: Pereira (2022)

### 3.1.3. Materiais utilizados

Após o processo de planejamento da área onde serão realizadas as coletas, as rotas e a quantidade de resíduos coletados, foi possível organizar os materiais utilizados, principalmente para as atividades de coleta porta-a-porta e para a caracterização gravimétrica.

**Tabela 9: Materiais utilizados para a coleta e caracterização gravimétrica**

Materiais utilizados para a coleta	Materiais utilizados para a caracterização gravimétrica
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kit de Equipamento de Proteção Individual (EPI): Bota de PVC galocha impermeável cano médio, luva nitrílica sem talco, luva de látex, capa para chuva de PVC, colete de segurança refletivo (1 unidade/pessoa);</li><li>• 1 (GPS = Global Positioning System) marca Garmin, modelo Montana 600;</li><li>• 1 carro com carroceria aberta;</li><li>• Câmera fotográfica para o registro das atividades;</li><li>• Prancheta para possíveis anotações.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bombonas de 100 litros;</li><li>• Balança para pesagem de 200 kg tipo Welmy, W200/5 (Classe 3);</li><li>• Lona de polietileno impermeável de 6 m × 6 m (4 unidades);</li><li>• Kit de EPI: óculos de proteção individual, bota de PVC impermeável cano médio, luva nitrílica sem talco, luva de látex, e máscara;</li><li>• Câmera fotográfica para o registro das atividades</li><li>• Prancheta para possíveis anotações</li><li>• Equipe de apoio (operários de segregação de resíduos): 10 alunos para segregação de resíduos</li></ul>

Fonte: Pereira (2023)

### 3.1.4. Coleta dos resíduos sólidos

A coleta dos resíduos sólidos ocorreu entre os meses de novembro de 2021 e maio de 2022, em que foram realizadas coletas do tipo porta-a-porta, nos diversos pontos da cidade de Belém que foram planejadas as atividades, na Figura 10 é possível observar as atividades de coleta sendo realizadas.

**Figura 10: a) e b) Coletas do tipo porta-a-porta realizadas no bairro da Cremação**



Fonte: Pereira (2022)

Foi escolhida a coleta do tipo porta-a-porta, pois desta forma, o resíduo é coletado em condições semelhantes à de sua geração, ou seja, compressão no material, não alterando o grau de umidade. Após as coletas, os resíduos foram encaminhados para um espaço para a realização da caracterização gravimétrica, na Universidade Federal do Pará. Imediatamente após a chegada do material, iniciou-se a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos coletados. Nas coletas do período da noite, a caracterização gravimétrica foi realizada na manhã do dia posterior. As coletas ocorreram em horário matutino ou noturno, a depender do sistema de coleta de resíduos da localidade em que a amostra foi colhida.

**Tabela 10: Cronograma das coletas de resíduos realizadas**

<b>Setor</b>	<b>Bairro</b>	<b>Data da Coleta</b>	<b>Horário</b>
1	Águas Lindas e Aurá	30/04/2022	Matutino
2	Guanabara, Curió-Utinga e Castanheira	22/02/2022	Matutino
3	Souza e Marco	13/05/2022	Noturno
4	Canudos, Terra-Firme e Guamá	04/11/2021	Matutino
5	Condor e Jurunas	16/02/2022	Matutino
6	Fátima	30/04/2022	Noturno
7	Umarizal, São Brás e Cremação	05/05/2022	Noturno
8	Reduto, Nazaré e Batista Campos	22/03/2022	Noturno
9	Cidade Velha e Campina	17/03/2022	Noturno

Fonte: Pereira (2023)

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA

A caracterização gravimétrica foi realizada considerando a separação dos resíduos sólidos nos tipos: Papel, Papelão, Tetrapak, Plástico Rígido, Plástico Maleável, Vidro, Metal, Matéria Orgânica, Tecidos, Resíduos Sanitários e Rejeitos. Antes da realização da caracterização gravimétrica, a massa total de resíduos foi aferida, para orientar o processo de gravimetria, com

a proporção correta de resíduos caracterizados. Segue na Tabela 11 as frações de resíduos separadas na caracterização gravimétrica e os materiais constituintes desta fração.

**Tabela 11: Frações de resíduos e materiais constituintes**

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Materiais Constituintes</b>
Papel	Folhas de cadernos, revistas e livros, embalagens de papel de alimentos, jornais, folders e demais informativos de papel, post-its etc.
Papelão	Embalagens de papelão, caixas de papelão, embalagens de papel-cartão e demais papeis mais densos, caixas de embalagens de alimentos etc.
Tetrapak	Embalagens de leite longa-vida, embalagens de sucos e achocolatados, embalagens de papel de alimentos conservados etc.
Plástico Rígido	Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Policloreto de Vinila (PVC), Polipropileno (PP), ABS, Acrílicos. Embalagens produzidas a partir destes materiais.
Plástico Maleável	PEBD, Isopor etc. Embalagens produzidas destes materiais.
Vidro	Garrafas de vidro de refrigerantes, sucos, bebidas alcoólicas, água, perfumes e cosméticos, conservação de alimentos, resíduos de esquadrias de vidro, demais materiais compostos de vidro.
Metal	Embalagens metálicas e não metálicas, resíduos de informática pertinentes, cabos de metal, pregos e parafusos, lâminas, demais materiais aparentemente metálicos.
Matéria Orgânica	Restos de alimentos e folhas de árvores.
Tecidos	Roupas fabricadas em material têxtil, acessórios de tecido, panos de mesa e guardanapos, flanelas de tecido, colchas de cama e travesseiros etc.
Resíduos Sanitários	Resíduos decorrentes da higienização humana. Restos de papel higiênico, de absorventes íntimos, preservativos masculino e feminino, máscaras de uso individual, fraldas descartáveis, lenços de papel umedecidos etc.
Rejeitos	Demais materiais em que não foi possível o enquadramento nos tipos de resíduos acima

A caracterização foi realizada em local ao ar livre, em espaço higienizado e adequado para a realização dos procedimentos. Os voluntários envolvidos no processo de caracterização utilizaram equipamentos de proteção individual (EPIs) para que riscos físicos, químicos e biológicos fossem mitigados.

**Figura 11: Caracterização gravimétrica realizada em 16 de fevereiro de 2022**



Fonte: Pereira (2022)

A massa dos resíduos foi aferida, com o auxílio de uma balança Welmy (W200/5) e assim foram determinadas a massa de cada tipo de resíduo presente no todo, tanto quanto a porcentagem relativa à toda a amostra coletada. Posteriormente estes dados foram organizados em tabelas para melhor apresentação. Para o cálculo da proporção de cada material, foi utilizada a equação 1.

$$M_i (\%) = \frac{M_T - m}{M_T} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo que “ $M_i$ ” corresponde à proporção do material, em percentual; “ $M_T$ ” corresponde à massa total de resíduos aferida antes da gravimetria ser realizada e “ $m$ ” corresponde a massa do material a ser verificada sua proporção em toda a massa de resíduo coletada.

### 3.3. PREPARAÇÃO E ANÁLISE DO RESÍDUO ORGÂNICO

#### 3.3.1. Secagem

A secagem do material foi realizada com o auxílio de uma estufa térmica com recirculação de ar e controle análogo de temperatura da marca DeLeo – Equipamentos Labororiais. Para a secagem, foi utilizada a temperatura de 42°C, com secagem no período de 24 horas, conforme definido na NBR 10.007/04. Na Figura 12 visualiza-se a estufa utilizada no processo de secagem do material orgânico.

**Figura 12: Estufa utilizada para a secagem dos resíduos**



Fonte: Pereira (2022).

### **3.3.2. Trituração**

Após a realização da secagem, o material seguiu para o processo de trituração para a redução de suas dimensões. A trituração é importante para os próximos processos a serem realizados com os resíduos já que, no caso de processos em escala de laboratório, é necessário uma pequena quantidade de material, de baixa granulometria. A trituração do equipamento foi realizada com o auxílio de um moinho de facas modelo TRAPP TRF 60. Para este processo, foi utilizada a peneira de 5mm da Usina de Materiais da Faculdade de Engenharia Química (USIMAT/FEQ/ITEC/UFPA). Na Figura 13 é possível observar o moinho de facas utilizado na trituração do material.

**Figura 13: Moinho de facas utilizado no processo de Trituração do material**



Fonte: Castro (2019).

### **3.3.3. Peneiramento**

Visando diminuir ainda mais o tamanho das partículas, para facilitar os processos laboratoriais, o resíduo foi submetido ao processo de peneiramento. O peneiramento foi realizado imediatamente após a cominuição, para prosseguir a um posterior acondicionamento. As peneiras utilizadas foram com abertura de 6 e 9 mesh (3,35 a 2 mm). Na Figura 14 é possível observar a realização do processo de peneiramento dos resíduos sólidos.

**Figura 14: Processo de peneiramento dos resíduos sólidos**



Fonte: Pereira (2022).

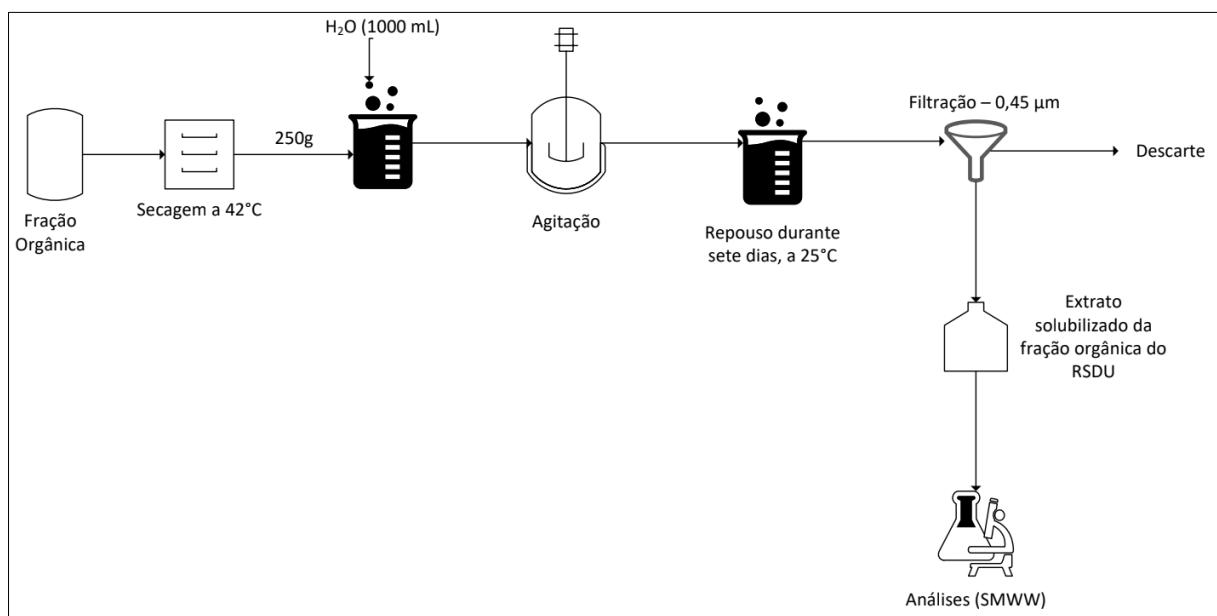
### **3.3.4. Acondicionamento**

Após o processo de peneiramento, os resíduos imediatamente foram acondicionados em sacos plásticos de 30 L e encaminhados para refrigeração em temperatura menor que 4°C. Os resíduos foram mantidos no freezer até a realização as análises físico-químicas, a depender da logística disponível para a realização dos experimentos. O material foi acondicionado em temperatura adequada para a realização das análises, conforme preconizado na NBR 10.007/04 (ABNT, 2004).

### **3.3.5. Procedimentos para preparação do extrato solubilizado**

A preparação do extrato solubilizado foi realizada conforme preconiza a NBR 10.006/04 (ABNT, 2004). A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Instalações Piloto de Tratabilidade de Águas e Lodo (LAMAG/FAESA/ITEC/UFPa). Foram preparadas amostras suficientes para todas as análises previstas nesse trabalho. O material da coleta realizada em todos os setores foi homogeneizado, considerando o agrupamento dos setores em regiões, conforme o item 5.2.1 deste trabalho. Segue na Figura 15 o fluxograma dos procedimentos realizados para a obtenção do extrato solubilizado.

**Figura 15: Fluxograma com os procedimentos realizados para a preparação do extrato solubilizado**



Fonte: Pereira (2023)

### **3.3.6. Análises físico-químicas**

Após os procedimentos de preparação de amostras para a extração de extrato solubilizado, determinado na NBR 10.006/04, a norma citada determina que este extrato deve ser analisado conforme as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of

Water and Wastewater (SMWW) e tendo como parâmetros os padrões de potabilidade vigente, no caso do Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021. Além da portaria de potabilidade, também foi considerada a Resolução CONAMA nº 357/2005, a Resolução CONAMA nº 430/2011 e o Anexo G da NBR nº 10.004/2004. Para a matriz de análise que está sendo realizada, os padrões presentes nas Resoluções CONAMA e na NBR 10.004/2004 são os mais recomendados por conta das semelhanças com o que é padronizado, no entanto, o item 4.2.2.2 da norma técnica supracitada determina que os resultados das análises devem ser comparados com os padrões de vigentes para água de consumo humano. As análises foram realizadas nas instalações do LAMAG/FAESA/ITEC/UFPA. Na Tabela 12 é possível verificar os parâmetros analisados no extrato solubilizado.

**Tabela 12: Parâmetros analisados no extrato solubilizado**

Parâmetro	Método	Parâmetro	Método
Potencial Hidrogeniônico (pH)	SMWW-4500H <sup>+</sup>	Nitrogênio Orgânico	SMWW-4500-N <sub>org</sub>
Turbidez	SMWW-2130	Nitrogênio Amoniacal	SMWW-4500-NH <sub>3</sub>
Cor Aparente	SMWW-2120 B	Nitrito	SMWW-4500-NO <sub>2</sub>
Cor Verdadeira	SMWW-2120 B	Nitrato	SMWW-4500-NO <sub>3</sub>
Condutividade Elétrica	SMWW-2510	Fósforo Total	SMWW-4500-P
Sólidos Totais Dissolvidos	SMWW-2540 C	Fósforo Reativo	SMWW-4500-P
Alcalinidade Total	SMWW-2320	Fósforo Hidrolisável	SMWW-4500-P
CO <sub>2</sub> livre	SMWW-CO <sub>2</sub>	Fósforo Condensado	SMWW-4500-P
Cloreto	SMWW-4500-Cl <sup>-</sup>	Fósforo Orgânico	SMWW-4500-P
Cianeto	SMWW-4500-CN <sup>-</sup>	Dureza Total	SMWW-2340
Fluoreto	SMWW-4500-F <sup>-</sup>	Dureza Magnésica	SMWW-2340
Sulfeto	SMWW-4500-S <sup>2-</sup>	Dureza Cálcica	SMWW-2340
Sulfato	SMWW-4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	DQO Total	SMWW-5520
Nitrogênio Total	SMWW-4500-N	DQO Filtrada	SMWW-5520
Nitrogênio Total Kheldahl	SMWW-4500-N	-	-

### 3.3.7. Tratamento dos dados

Para o tratamento dos dados, inicialmente foram analisados as informações da caracterização gravimétrica, em que os dados de massa total de resíduos, massa das frações de resíduos e as porcentagens das frações de resíduos em relação à massa total foram dispostos em tabelas e gráficos. Posteriormente, foram utilizados métodos de estatística descritiva para verificação de medidas de tendência central e desvios (média, mediana, variância, desvio

padrão, máximo e mínimo). Foi traçada a relação entre os valores médios calculados e a renda média familiar.

Após o cálculo das medidas de tendência central, foi realizada a comparação dos resultados das composições gravimétricas com trabalhos elaborados por autores na região do município de Belém e comparando com o cenário nacional para verificação de discrepâncias e proximidades destes dados com os dados relacionados ao município.

Para os resultados dos parâmetros físico-químicos, primeiramente os dados foram tabelados e representados em gráficos, para a comparação entre os valores para regiões diferentes. Os dados levantados foram comparados ainda, com pesquisas científicas realizadas sobre a composição de lixiviados brutos (antes do tratamento) para a análise e verificação de proximidade com concentrações do extrato solubilizado.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1. COLETAS E COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA**

Findados a realização da amostragem estatística representativa, foram coletados o valor mínimo de 100 kg de resíduos sólidos domiciliares (RSD), conforme determinado na metodologia deste trabalho. Inicialmente foi medida a massa total dos resíduos coletados, conforme é possível verificar na Tabela 13.

**Tabela 13: Massa total de resíduos total nas coletas realizadas**

<b>Setor</b>	<b>Data da Coleta</b>	<b>Massa total de resíduos (kg)</b>
<b>1</b>	30/04/2022	113,05
<b>2</b>	22/02/2022	110,80
<b>3</b>	13/05/2022	104,25
<b>4</b>	04/11/2021	104,45
<b>5</b>	16/02/2022	103,70
<b>6</b>	30/04/2022	110,75
<b>7</b>	05/05/2022	104,85
<b>8</b>	22/03/2022	103,95
<b>9</b>	17/03/2022	110,80

Após as aferições da massa total, foi dado início ao processo de caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos, que foram realizadas em condições climáticas normais para o município de Belém e na ausência de precipitação. Sendo assim, é possível observar na Tabela 14 os resultados da caracterização nos nove setores.

Verifica-se uma faixa de valores entre 1,24% e 11,95% para papel, 1,87% a 4,82% para papelão, 0,31% a 3,25% para tetrapak, 2,25% a 4,53% para plástico rígido, 7,90% a 15,25% para plástico maleável, 1,20% a 3,09% para metais, 49,45% a 61,12% para matéria orgânica, 0 a 4,29% para vidro, 8,25% a 20,34% para resíduos sanitários, 1,58% a 6,17% para tecidos e 0,82 a 5,17% para rejeitos. Ainda com os valores em faixas que demonstram a heterogeneidade das informações entre os setores, os valores médios, quando comparados com a bibliografia consultada para a realização deste trabalho demonstra proximidade com os resultados pesquisados, com exceção dos resultados para matéria orgânica (Figura 18).

**Tabela 14: Caracterização gravimétrica nos setores analisados**

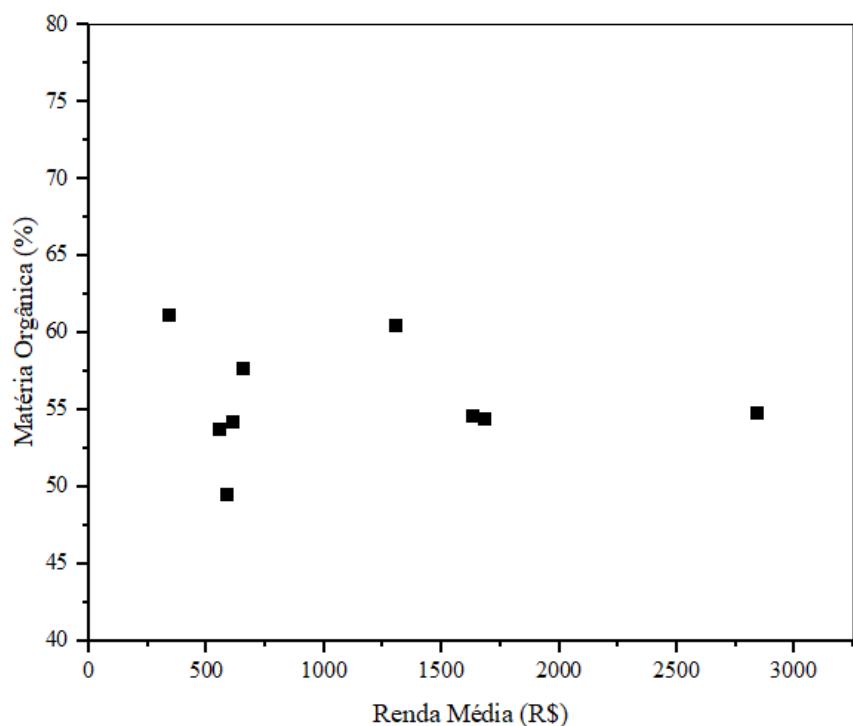
Materiais	Setores								
	S-1 (%)	S-2 (%)	S-3 (%)	S-4 (%)	S-5 (%)	S-6 (%)	S-7 (%)	S-8 (%)	S-9 (%)
<b>Papel</b>	1,24	2,30	6,38	6,13	5,01	1,67	4,70	6,45	11,95
<b>Papelão</b>	2,26	3,11	1,87	2,63	4,82	2,66	5,39	3,17	2,90
<b>Tetrapak</b>	0,31	0,68	0,48	0,34	0,63	0,99	0,92	0,87	3,25
<b>Plástico</b>	3,72	3,29	3,98	2,25	4,10	3,25	4,53	3,37	3,70
<b>Rígido</b>									
<b>Plástico</b>	7,96	11,69	9,50	10,15	8,44	8,17	10,66	15,25	7,90
<b>Maleável</b>									
<b>Metal</b>	2,03	2,39	1,39	1,68	3,09	2,35	2,58	1,20	1,25
<b>Matéria Orgânica</b>	61,12	54,15	60,43	49,45	53,71	57,61	54,33	54,79	54,55
<b>Vidro</b>	2,87	4,29	0,53	0,00	0,43	2,93	0,63	1,39	3,65
<b>Resíduos Sanitários</b>	16,67	13,00	15,44	20,34	12,78	18,78	12,72	10,34	8,25
<b>Tecido</b>	1,81	5,10	-	1,87	6,17	1,58	3,55	3,17	2,60
<b>Rejeitos</b>	-	-	-	5,17	0,82	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>100</b>								

\*S: Setores

Fonte: Pereira (2023)

Os dados obtidos demonstram, no caso deste estudo, pouca relação entre a renda média da população e a geração de resíduos sólidos orgânicos. No intervalo de renda média de 0 a R\$ 1000,00 é possível verificar os valores máximos e mínimos levantados para a matéria orgânica. Na Figura 16 é possível analisar a relação entre a renda média e a fração da fração orgânica dos resíduos coletados nesta pesquisa. Dentro dos dados levantados nesta pesquisa, a renda média não interferiu nos valores de matéria orgânica, não apresentando tendência linear entre os dados levantados. Na Figura 16 é possível ver a relação traçada entre os valores da fração de matéria orgânica e a renda média nos setores.

**Figura 16: Relação entre a fração de matéria orgânica e a renda média**



Fonte: Pereira (2023)

Posteriormente foi calculado diversas variáveis estatísticas, como média, mediana, mínimo, máximo e desvio padrão das massas coletadas. Verificou-se um desvio maior nos valores referentes aos resíduos compostos de papel, plástico maleável, matéria orgânica e resíduos sanitários. Valores menores foram encontrados para os valores de plástico rígido, metal, tetrapak e papelão. Os resultados da análise estatística descritiva pode ser visualizado na Tabela 15.

**Tabela 15: Estatística descritiva dos resultados levantados**

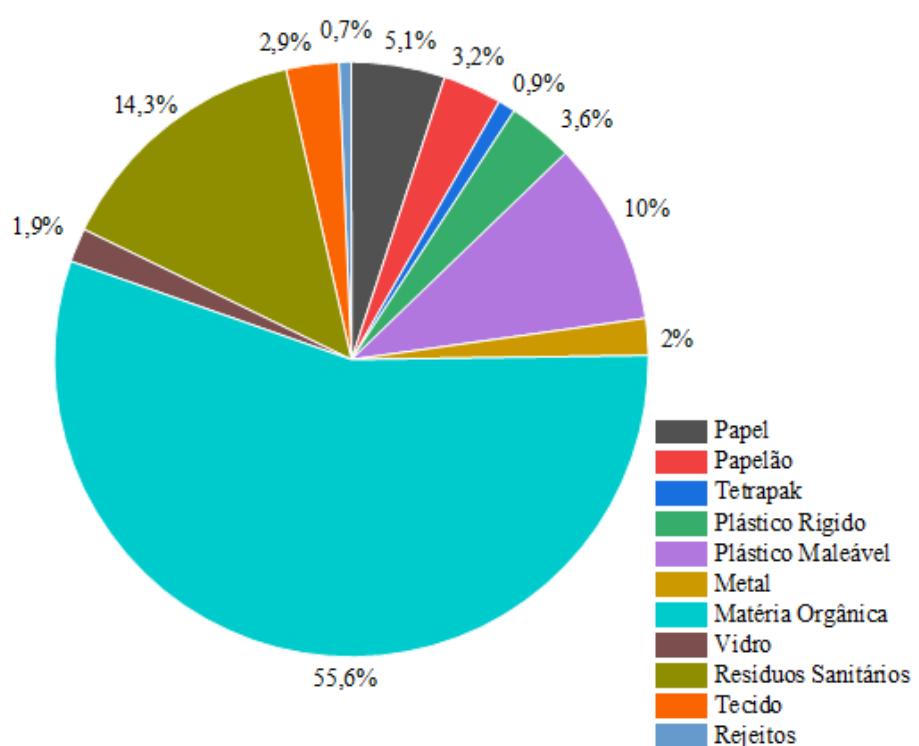
Material	Média ± DP	Mediana	Variância	Máximo	Mínimo
<b>Papel</b>	$5,09 \pm 3,28$	5,01	10,76	11,95	1,24
<b>Papelão</b>	$3,20 \pm 1,16$	2,90	1,35	5,39	1,87
<b>Tetrapak</b>	$0,94 \pm 0,90$	0,68	0,81	3,25	0,31
<b>Plástico Rígido</b>	$3,58 \pm 0,65$	3,70	0,42	4,53	2,25
<b>Plástico Maleável</b>	$9,97 \pm 2,38$	9,50	5,68	15,25	7,90
<b>Metal</b>	$2,00 \pm 0,66$	2,03	0,43	3,09	1,20
<b>Matéria Orgânica</b>	$55,57 \pm 3,62$	54,55	13,09	61,12	49,45
<b>Vidro</b>	$1,86 \pm 1,59$	1,39	2,53	4,29	0,00
<b>Resíduos Sanitários</b>	$14,26 \pm 3,91$	13,00	15,29	20,34	8,25
<b>Tecido</b>	$3,23 \pm 1,66$	2,89	2,75	6,17	1,58
<b>Rejeitos</b>	$3,00 \pm 3,08$	3,00	9,46	5,17	0,82

Fonte: Pereira (2023)

Os maiores desvios padrões analisados para as informações levantadas são os relacionados às frações de Resíduos Sanitários, Matéria Orgânica, Papel e Plástico Maleável (3,91, 3,62, 3,28 e 2,38, respectivamente). A heterogeneidade das composições dos resíduos sólidos ao longo dos setores tornam 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, sendo que, com exceção da composição “outros”, o valor do desvio padrão é sempre menor que o valor da média, que é um indicador de homogeneidade das amostras coletadas. Na Figura 17 é possível visualizar o gráfico com as proporções de resíduos coletados.

**Figura 17: Composição gravimétrica média, em %, dos setores onde ocorreram as coletas de RSU**



Fonte: Pereira (2023)

Os resultados encontrados para composição gravimétrica de resíduos sólidos da região em que foi realizado o estudo foram comparados com os valores em proporção nacional, conforme é possível verificar no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2022), além de valores em escala regional, como do Plano de Saneamento Básico dos municípios de Belém e Marituba (BELÉM, 2020; MARITUBA, 2019) e as pesquisas realizadas por Fiel *et al.* (2021) na Ilha de Cotijuba, município de Belém. Na Figura 18 pode ser observada a comparação entre

as proporções de resíduos, em massa, coletados e os valores informados por outros autores. Os dados tabelados podem ser verificados na Tabela 16 abaixo.

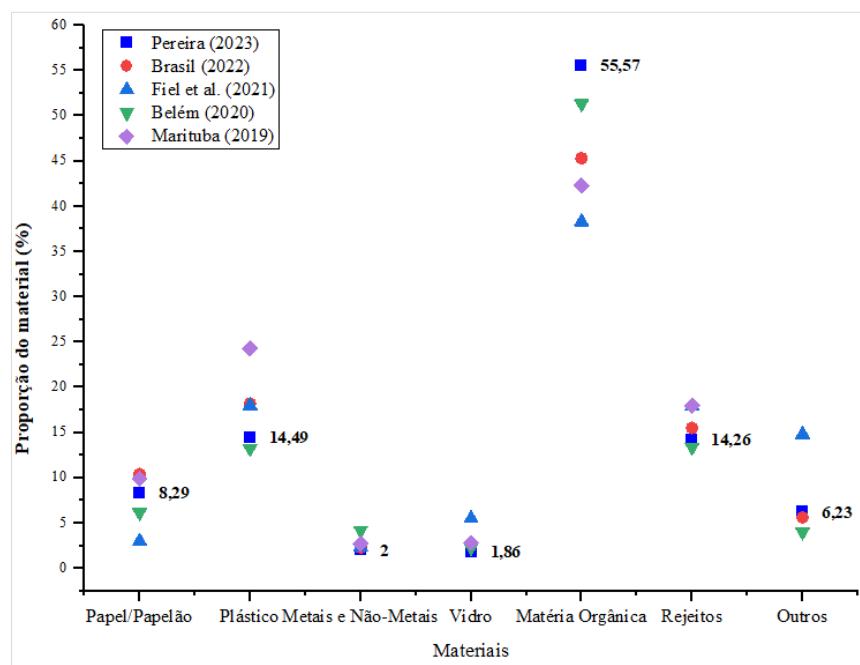
**Tabela 16: Comparação entre os valores levantados com outras referências**

Material	Pereira (2023)	Brasil (2022a)	Fiel <i>et al.</i> (2021)	Belém (2020)	Marituba (2019)
<b>Papel/Papelão (%)</b>	8,29	10,40	3,0	6,18	9,90
<b>Plástico (%)</b>	14,49	18,20	18,00	13,24	24,30
<b>Metais e Não-Metais (%)</b>	2,00	2,30	2,40	4,21	2,70
<b>Vidro (%)</b>	1,86	2,70	5,50	2,31	2,80
<b>Matéria Orgânica (%)</b>	55,57	45,30	38,30	51,34	42,30
<b>Rejeitos (%)</b>	14,26	15,50	17,90	13,39	18,00
<b>Outros (%)</b>	6,23	5,60	14,80	4,03	-

Fonte: Pereira (2023), Brasil (2022a), Fiel *et al.* (2021), Belém (2020) e Marituba (2019)

Como resultado da variedade dos materiais analisados, foram considerados os grandes grupos: Papel/Papelão, Plástico, Metais, Vidro, Matéria Orgânicas, Rejeitos e Outros. Os compostos de Tetrapak e PET foram somados ao plástico, como compostos metálicos e não metálicos foram agrupados, os tecidos foram somados aos outros tipos de resíduos, os resíduos sanitários foram somados aos rejeitos. Na Figura 18 é possível visualizar a comparação entre os dados levantados e os resultados da bibliografia consultada.

**Figura 18: Comparação entre os valores de proporção de materiais levantados por diferentes autores**



Fonte: Pereira (2023).

Realizando comparações com a bibliografia pesquisada, foi constatado a proximidade entre os valores de papel/papelão, plástico, metais e não metais, vidro e outros. Em relação os resultados de matéria orgânica, as maiores proporções encontradas foram para os resultados de referências obtidos. A coleta do tipo porta-a-porta não submete os resíduos à compressão, dessa forma, não alterando sua umidade. Resultados da secagem dos resíduos sólidos orgânicos mostraram valores de umidade na ordem de 60% da massa total dos resíduos orgânicos coletados.

#### 4.2. ANÁLISE DO EXTRATO SOLUBILIZADO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

##### 4.2.1. Análise dos parâmetros físico-químicos

Os resultados físico-químicos obtidos para o extrato solubilizado da fração orgânica para cada região estão ilustrados na Tabela 17, em que foi possível verificar valores de pH entre 3,69 e 4,93, valores de Condutividade Total entre 10,18 e 15,99 mS/cm, Sólidos Totais Dissolvidos em valores entre 5330 e 8040 mg/L, valores de Alcalinidade Total entre 2900 e 3650 mg/L, CO<sub>2</sub> livre entre 10,20 e 18,70 mg/L, Cloreto em valores entre 223 e 349,30 mg/L. Para os valores de Cianeto e Fluoreto, os valores detectados foram abaixo do limite de quantificação, o mesmo caso para a Alcalinidade Total no extrato analisado na Região 1. Os valores de Sulfeto variaram entre 110 e 420 µg/L e os de Sulfato foram até 25 mg/L.

**Tabela 17: Resultados das Análises Físico-Químicas do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos**

Região	pH <sup>1</sup>	CE <sup>2</sup> (mS/cm)	STD <sup>3</sup> (mg/L)	AT <sup>4</sup> (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Cianeto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Sulfeto (µg/L)	Sulfato (mg/L)
<b>R1</b>	3,69	10,13	5330	> QL <sup>5</sup>	18,70	223,00	< 0,005	< 0,005	110	25
<b>R2</b>	4,77	15,67	8040	2900	10,20	349,30	< 0,005	< 0,005	130	< 2
<b>R3</b>	4,92	15,99	8030	3650	12,80	230,40	< 0,005	< 0,005	420	< 2

1 - Potencial Hidrogeniônico; 2 – Condutividade Elétrica; 3 - Sólidos Totais Dissolvidos; 4 - Alcalinidade Total;

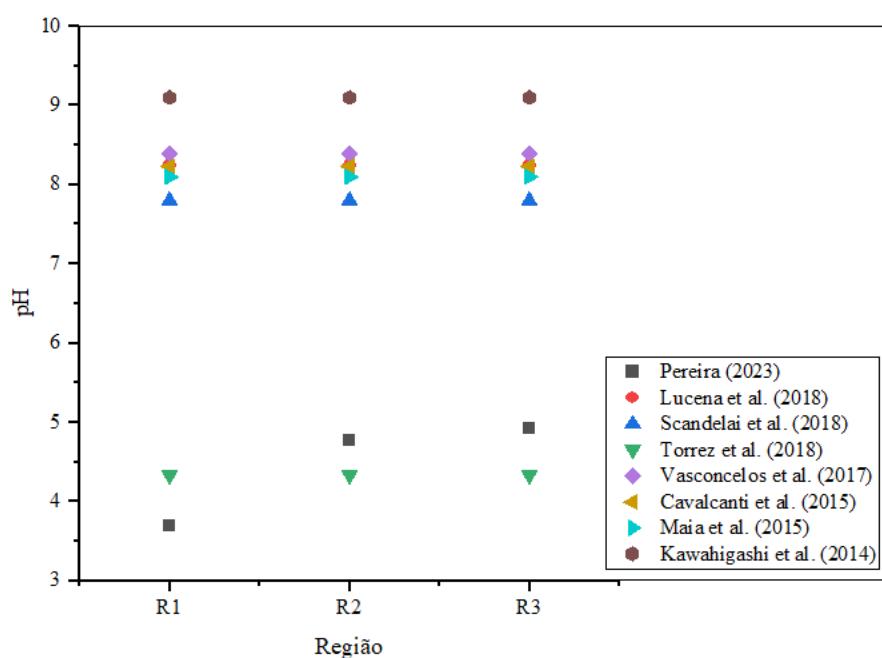
5 – Abaixo do limite de quantificação

Fonte: Pereira (2023)

Para os valores de pH foi verificado valores abaixo da maioria das pesquisas consultadas, em que foi possível verificar proximidade com os resultados de Torrez *et al.* (2018). O pH do extrato solubilizado é considerado ácido (abaixo de 7), desta forma apresentando características ácidas. Observa-se na Figura 19 a comparação entre os valores de pH levantados nesta pesquisa e os valores dos autores em que seus estudos foram consultados.

Considerando o Anexo G da NBR 10.004/2004, o valor de Cloreto no Extrato Solubilizado da Região 2 (349,30 mg/L) está acima do padrão considerado pela norma técnica (250 mg/L). Os valores de Cianeto e Fluoreto estão abaixo do determinado no anexo (0,07 e 1,5 mg/L). Os valores de Sulfato para todas as regiões estão abaixo do padrão presente no documento supracitado (250 mg/L). Os valores da norma técnica indicam a classificação dos resíduos provenientes como Classe II-A ou Classe II-B.

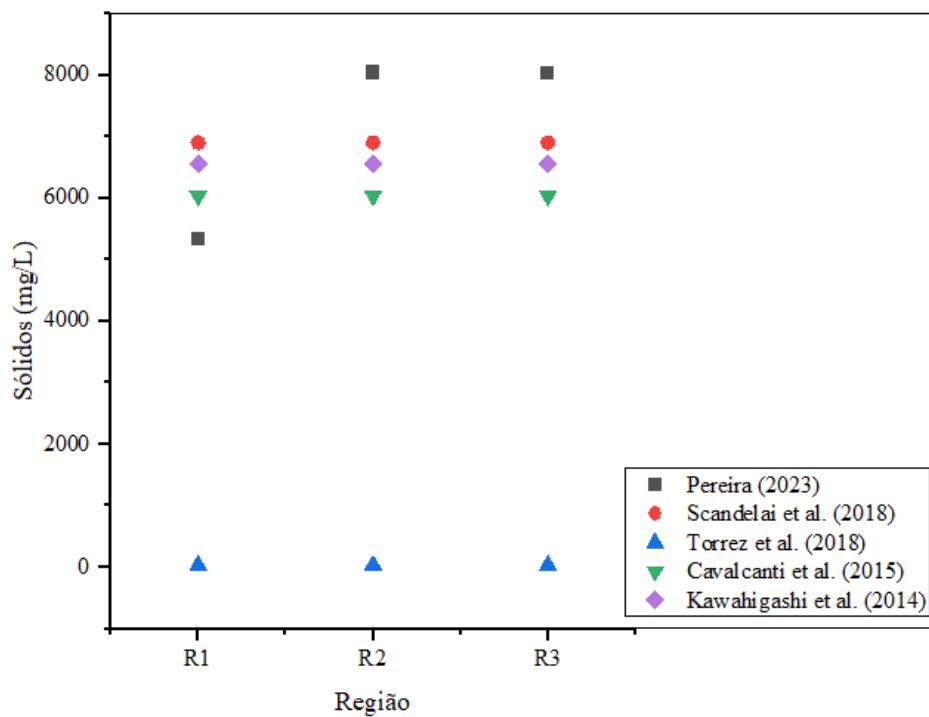
**Figura 19: Comparação entre os valores de pH levantados por outros autores e os valores de pH obtidos na pesquisa**



Fonte: Pereira (2023)

Em relação ao teor de sólidos, os valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foram elevados, para as Regiões 2 e 3, sendo 8.040 e 8.030 mg/L, respectivamente (Figura 20). Os resultados das análises físico-químicas para a obtenção de sólidos demonstra a proximidade com as pesquisas realizadas por Cavalcanti *et al.* (2015) para a região 1 (6.035 mg/L) e para as regiões 2 e 3, há a maior proximidade dos resultados com os valores levantados por Scodelai *et al.* (2018), com concentrações de sólidos na ordem de 6.903 mg/L.

**Figura 20: Comparação entre os valores de sólidos levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa**



Fonte: Pereira (2023)

#### 4.2.2. Análise de Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira e Dureza

Foi realizada as análises físico-químicas do extrato solubilizado da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e para o parâmetro de Turbidez foi possível verificar valores na faixa de 791 a 1.733 UT, de 8.500 até 12.500 UC e de 6.000 até 14.000 UC. Ainda foram analisados os valores de Dureza Total, Dureza Cálcica e Dureza Magnesiana, em que foram verificados valores na faixa de 234 a 371 mg/L, 0 a 207 mg/L e 164 a 255 mg/L, respectivamente. Verifica-se na Tabela 18 os resultados das medições dos parâmetros supracitados.

**Tabela 18: Resultados das Análises de Turbidez, Cor e Dureza do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos**

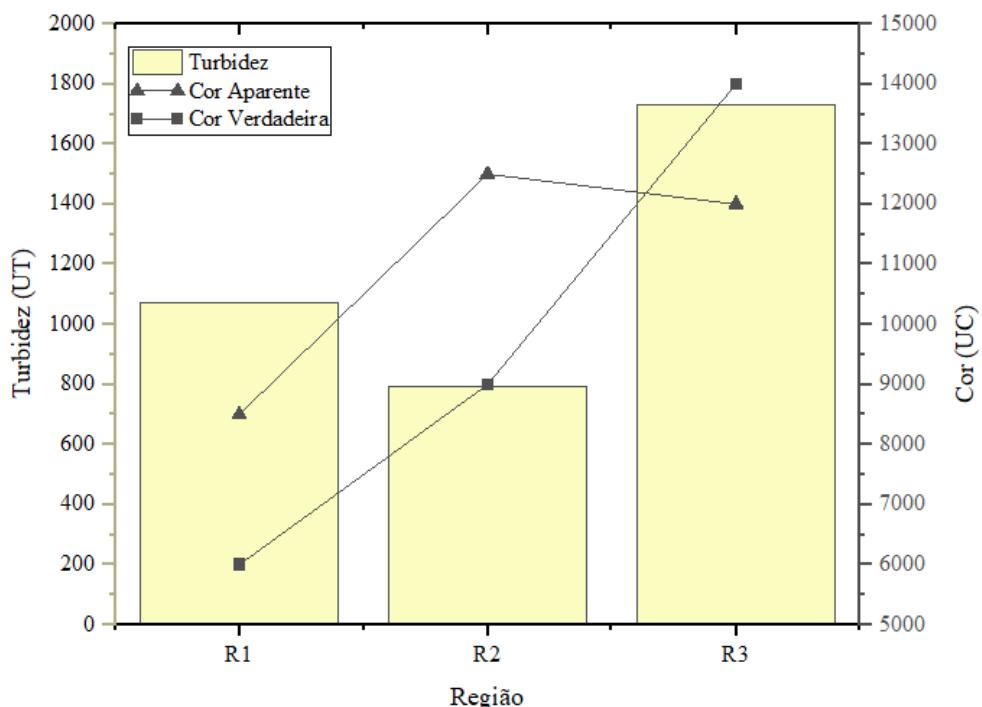
Região	Turbidez (UT)	Cor (UC)	Apar. (UC)	Cor (UC)	Verd. (mg/L)	Dureza (mg/L)	Dureza-Ca (mg/L)	Dureza-Mg (mg/L)
<b>R1</b>	1072		8500		6000	371	207	164
<b>R2</b>	791		12500		9000	234	< 0,05	234
<b>R3</b>	1733		12000		14000	255	< 0,05	255

Fonte: Pereira (2023)

Observa-se que o extrato solubilizado da fração de resíduos orgânicos da Região 2 apresenta os menores valores de turbidez, enquanto nos valores do extrato solubilizado de

resíduos coletados na Região 3, verificam-se os maiores valores de cor e turbidez, o que indica maiores concentrações de sólidos totais e sólidos dissolvidos, é possível verificar na Figura 21 a comparação entre os resultados levantados dos parâmetros citados.

**Figura 21: Comparação dos valores de cor e turbidez entre as regiões**



Fonte: Pereira (2023)

#### 4.2.3. Análise da Série de Nitrogênio

Para a Série de Nitrogênio foram obtidos valores para Nitrogênio Total (valores obtidos entre 201,80 e 359,90 mg/L), Nitrogênio Total Kjeldahl (valores encontrados entre 191 e 319 mg/L), Nitrogênio Orgânico (valores obtidos entre 30 e 40 mg/L), Nitrogênio Ammoniacal (resultados entre 161 e 289 mg/L), Nitrito (valores obtidos entre 0,30 e 0,90 mg/L) e Nitrato (valores encontrados entre 10 e 40 mg/L). É possível verificar melhor os resultados obtidos para a série de nitrogênio na Tabela 19.

**Tabela 19: Resultados das Análises da série de Nitrogênio do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos**

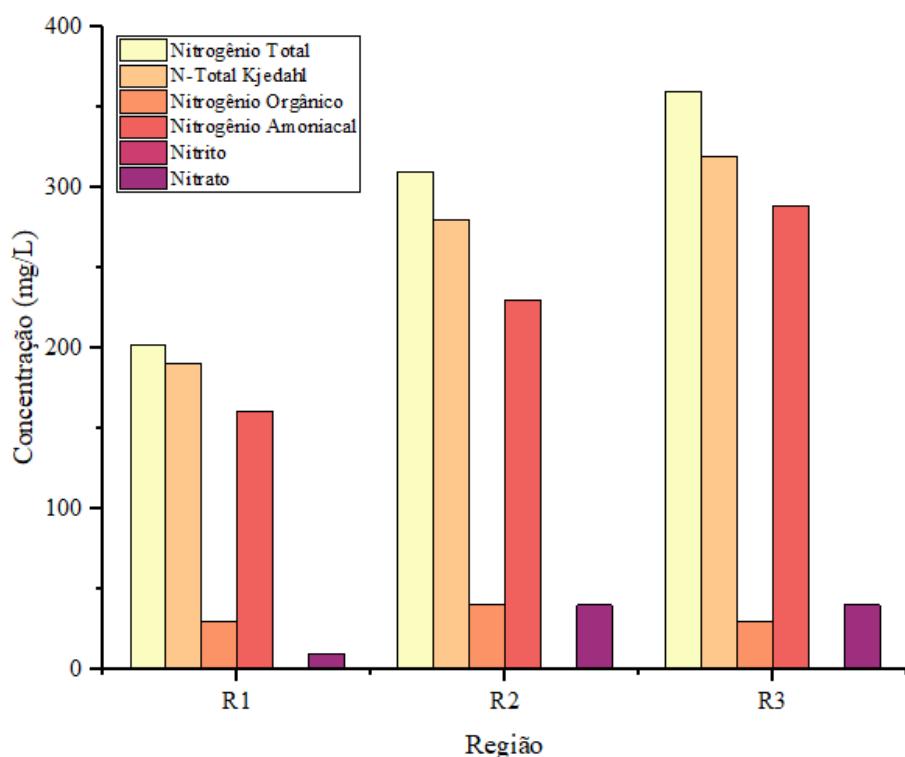
Região	Nitrogênio Total (mg/L)	Total N. Kjeldahl (mg/L)	N. Orgânico (mg/L)	N. Ammoniacal (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)
R1	201,80	191	30	161	0,80	10
R2	310,30	270	40	230	0,30	40
R3	359,90	319	30	289	0,90	40

Fonte: Pereira (2023)

No extrato solubilizado dos resíduos orgânicos observa-se os maiores valores dos parâmetros Nitrogênio Total (359,90 mg/L), Nitrogênio Total Kjeldahl (319 mg/L), Nitrogênio Ammoniacal (289 mg/L) para a Região 3 e Nitrito (0,90 mg/L) para a Região 3. Os maiores valores de Nitrogênio Orgânico foram detectados no extrato solubilizado da Região 2 (40 mg/L). É possível verificar na Figura 22 a comparação entre as concentrações dos compostos da série nitrogenada no extrato solubilizado analisado.

No Anexo G da NBR 10.004 (ABNT, 2004) é possível encontrar os valores limites de Nitrato para o enquadramento do extrato solubilizado como proveniente de resíduos Classe II-A ou Classe II-B, para as concentrações de Nitrato o padrão da norma define no máximo 10 mg/L. Os resultados das análises físico-químicas indicam números acima do definido na recomendação técnica para o extrato solubilizado dos resíduos sólidos orgânicos da Região 2 e 3 (40 mg/L).

**Figura 22: Comparação dos valores da série de nitrogênio entre as regiões**

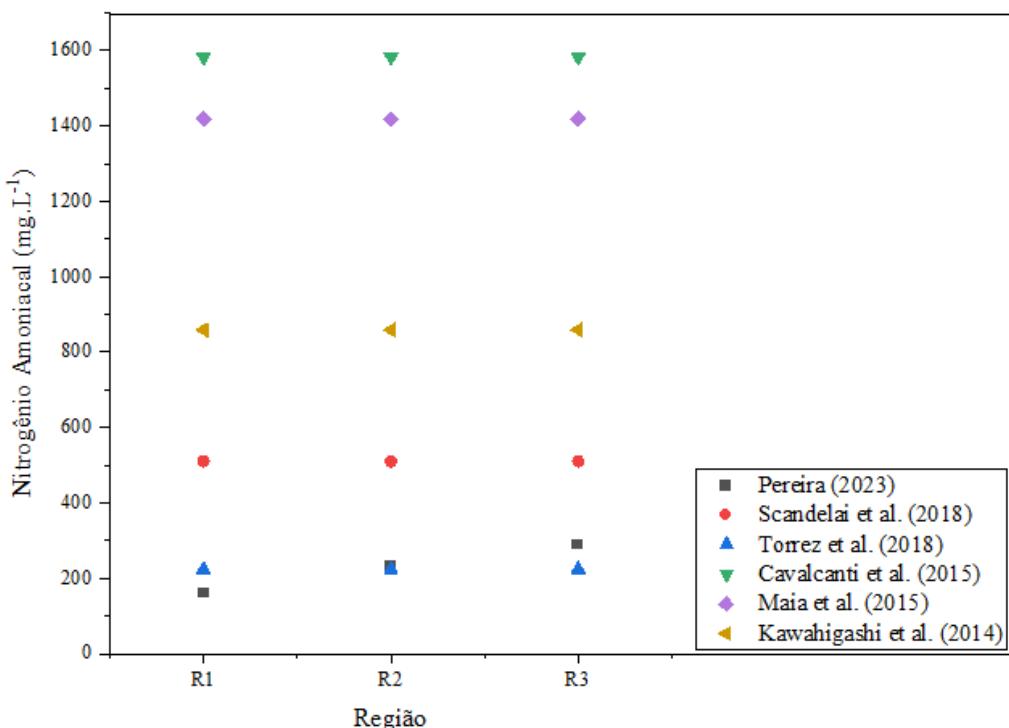


Fonte: Pereira (2023)

Realizou-se a comparação dos resultados obtidos com os valores de Nitrogênio Ammoniacal e Nitrato presentes no referencial teórico deste trabalho, em que foi possível verificar concentrações baixas de nitrogênio amoniacial, quando comparados com o levantado por outros autores. As informações se aproximam mais com as análises realizadas por Torrez *et al.* (2018), em que os valores para as Regiões 1 (161 mg/L), 2 (230 mg/L) e 3 (289 mg/L) se

aproximam aos 224 mg/L que é apresentado na pesquisa do autor supracitado. Na Figura 23 é possível verificar o gráfico de comparação entre os dados de nitrogênio amoniacal levantados por outros autores e os valores obtidos nesta pesquisa.

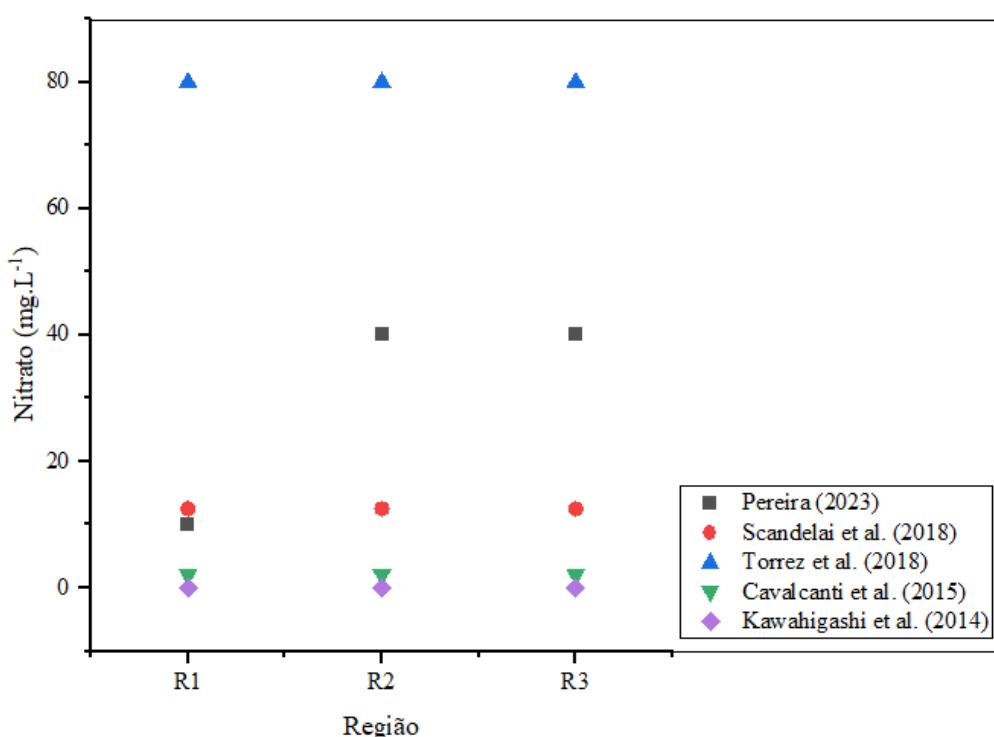
**Figura 23: Comparação entre os valores de nitrogênio amoniacal levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa**



Fonte: Pereira (2023)

Para os valores de Nitrato foi possível verificar que as concentrações de Nitrato para a Região 1 (10 mg/L), 2 (40 mg/L) e 3 (40 mg/L) se assemelham aos resultados de Scadelai *et al.* (2018) (12,50 mg/L) para o caso da Região 1 e aos resultados de Torrez *et al.* (2018) (79,92 mg/L) e Scadelai *et al.* (2018) para as regiões 2 e 3, em que se aproxima ao valor médio entre as duas concentrações verificadas. Na Figura 24 é possível visualizar o gráfico de comparação dos resultados obtidos para as regiões e considerando os autores supracitados e os presentes na pesquisa bibliográfica deste trabalho.

**Figura 24: Comparação entre os valores de nitrato levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa**



Fonte: Pereira (2023)

#### 4.2.4. Análise da Série de Fósforo

Nas análises da Série de Fósforo do extrato solubilizado da fração orgânica dos resíduos sólidos foram encontrados valores de Fósforo Total na faixa entre 52,30 e 166,80, Fosforo Total em função de fosfato com valores entre 160,80 e 510,40 mg/L, Fósforo Reativo com valores na faixa de 100 a 456 mg/L, Fósforo Hidrolisável com valores entre 96 e 404 mg/L, resultados para Fósforo Condensável na ordem de 4 a 52 mg/L e para Fósforo Orgânico com resultados na ordem de 34 a 106,40 mg/L. É possível verificar melhor os resultados encontrados na Tabela 20.

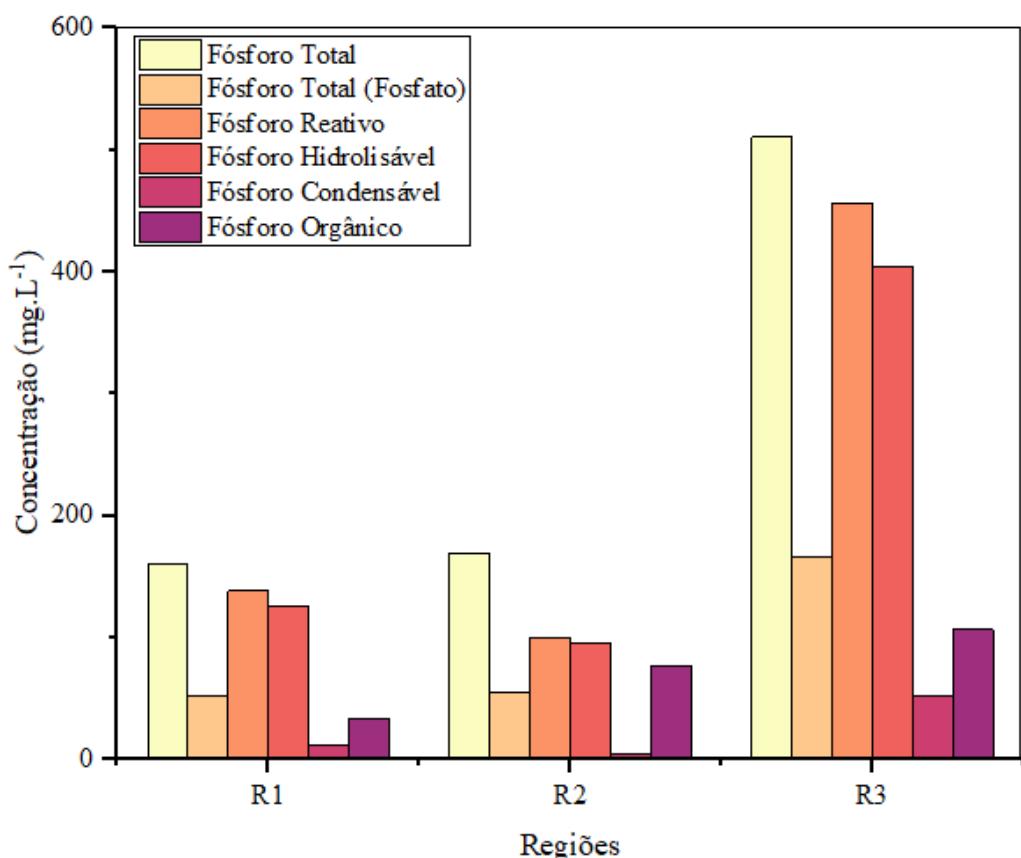
**Tabela 20: Resultados das Análises da Série de Fósforo do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos**

Região	Fósphoro Total (mg/L)	F. Total (fosfato) (mg/L)	F. Reativo (mg/L)	F. Hidrolisável (mg/L)	F. Condensável (mg/L)	F. Orgânico (mg/L)
<b>R1</b>	52,30	160,80	138	126	12	34,00
<b>R2</b>	55,30	169,36	100	96	4	73,36
<b>R3</b>	166,80	510,40	456	404	52	106,40

Fonte: Pereira (2023)

Verifica-se valores superiores para a Série de Fósforo no extrato solubilizado obtido dos resíduos sólidos orgânicos coletados na Região 3, em que os valores de todos os componentes são superiores aos valores analisados de outras Regiões. Para as outras regiões, os valores dos componentes da série de fósforo apresentam discrepância, mas a maior discrepância ainda é possível de ser observada no material analisado para a Região 3. Na Figura 25 é possível observar a comparação entre os valores da série de fósforo entre as regiões.

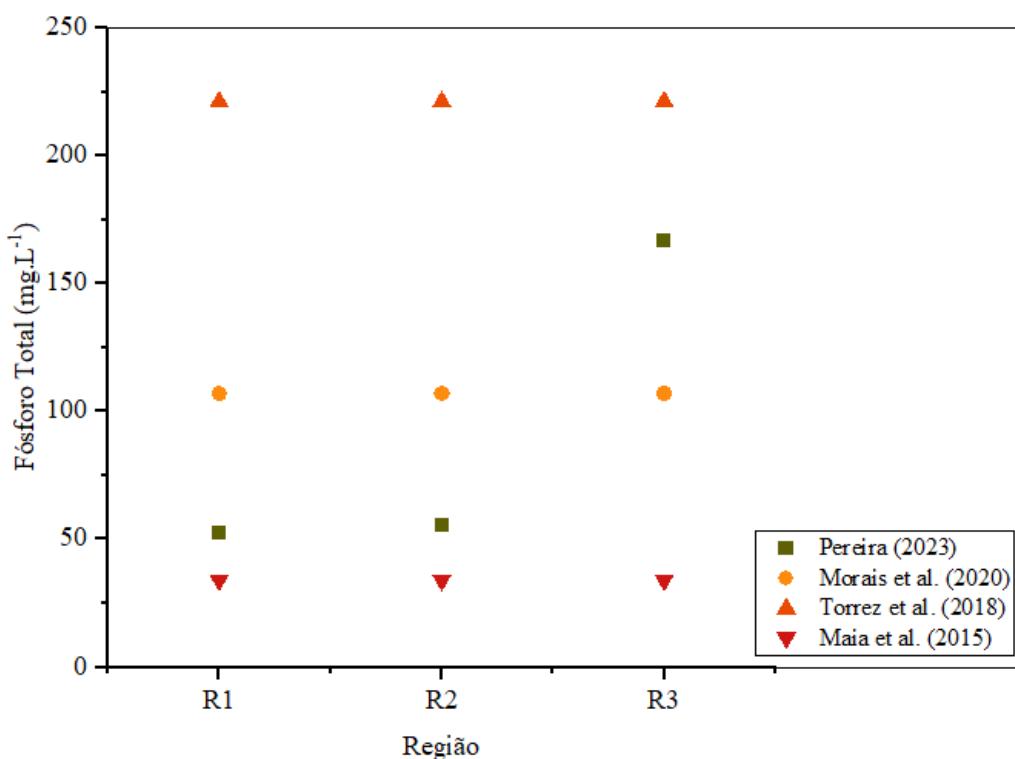
**Figura 25: Comparação dos valores da série de fósforo entre as regiões**



Fonte: Pereira (2023)

Quando comparado à outras pesquisas, os resultados das análises da série de fósforo mostram a existência de proximidade com os valores levantados. Para a Região 1 e 2, há a consonância das concentrações de fósforo com as análises realizadas por Maia *et al.* (2015) no valor de 34 mg/L. Enquanto os resultados das análises com o extrato solubilizado para a Região 3 a maior proximidade com os valores de Torrez *et al.* (2018) e Morais *et al.* (2020) na ordem de 221,19 mg/L e 107,03 mg/L, respectivamente. A comparação entre os valores de Fósforo Total levantados com o trabalho de outros autores é possível ser visualizada na Figura 26.

**Figura 26: Comparação entre os valores de Fósforo Total levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa**



Fonte: Pereira (2023)

#### 4.2.5. Análise de Matéria Orgânica

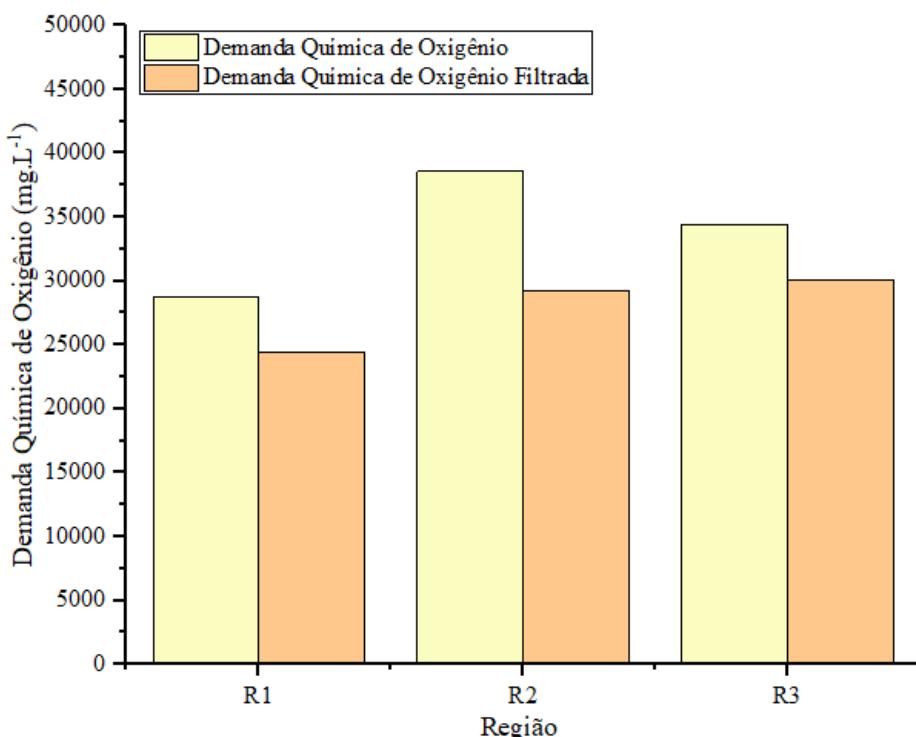
Para a análise de Matéria Orgânica foram adotados os parâmetros de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Química de Oxigênio Filtrada. Os resultados mostraram valores elevados para DQO, na faixa entre 28.701 mg/L e 38.608 mg/L e DQO total valores na faixa de 24.469 a 30.078 mg/L para a DQO filtrada. Não é possível verificar a conformidade com a legislação brasileira, já que são considerados os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio, no entanto, ao considerar que a maior parte destes valores se trata de matéria orgânica de fácil degradabilidade, facilmente chega-se à conclusão de que estes valores não estão em conformidade com a Legislação Sanitária e Ambiental Brasileira (GM/MS 888/2021 e CONAMA 357/2005). Os valores resultantes das análises podem ser visualizados na Tabela 21.

**Tabela 21: Resultados das Análises de Demanda Química de Oxigênio do Extrato Solubilizado da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos**

Região	Demand Química de Oxigênio (mg/L)	Demand Química de Oxigênio Filtrada (mg/L)
R1	28.701	24.469
R2	38.608	29.260
R3	34.428	30.078

Verificou-se valores elevados para Demanda Química de Oxigênio, mas com uma menor discrepância entre as regiões, quando considerados os outros parâmetros analisados, todos acima do valor de 25.000 mg/L. Os maiores valores de DQO total foram para a Região 2, enquanto os maiores valores de DQO filtrada foram para o extrato solubilizado analisado da Região 3. A comparação entre os valores de DQO das regiões pode ser analisado na Figura 27.

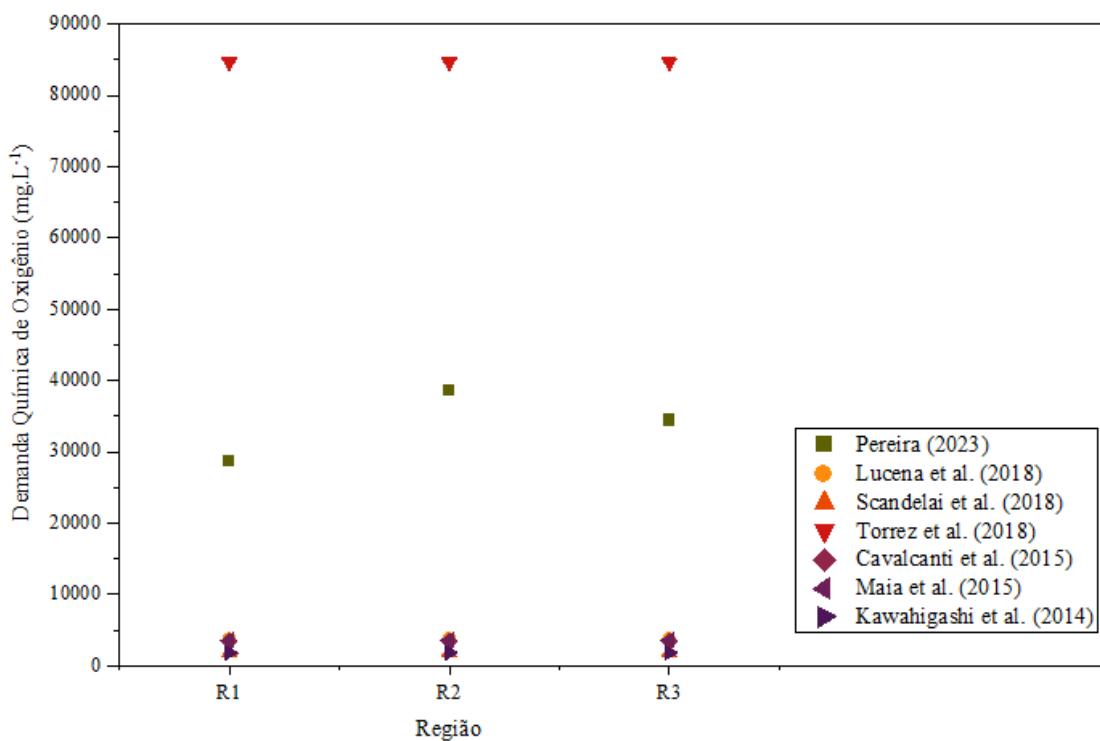
**Figura 27: Comparação dos valores de DQO entre as regiões**



Fonte: Pereira (2023)

Ao comparar os valores de DQO com o levantado por outros autores, verifica-se discrepância dos valores para os valores máximos e mínimos. Sendo assim, os valores de DQO para o extrato solubilizado dos resíduos apresenta-se em uma faixa média, quando comparado com as fontes consultadas nesse trabalho, no entanto, havendo proximidade com concentrações de DQO de lixiviados de aterros sanitários, torna possível a detecção do risco ambiental representado pela solubilização dos resíduos sólidos orgânicos. A Resolução CONAMA nº 430/2011 define que o valor máximo de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) a ser lançado em corpos receptores deve ser de 120 mg/L, tal informação representa 0,41%, 0,31% e 0,35% dos valores de DQO das Regiões 1, 2 e 3, respectivamente. Ou seja, para a conformidade com os padrões ambientais, a relação DBO/DQO deve ser na porcentagem citada acima, valores praticamente impraticáveis, dadas as características do material orgânico utilizado serem relacionados à fácil degradabilidade.

**Figura 28: Comparação entre os valores de Demanda Química de Oxigênio levantados por outros autores e os valores obtidos na pesquisa**



Fonte: Pereira (2023)

Ao longo da análise dos resultados das medições dos parâmetros físico-químicos, é possível observar que os parâmetros para a região 3, definida na metodologia deste trabalho, apresenta maiores concentrações de diversos poluentes, como é o caso da Turbidez, da Série de Fósforo e da Série de Nitrogênio (Nutrientes). Para os valores de matéria orgânica não foi possível verificar relevante discrepância entre os resultados para as diferentes regiões.

Após a comparação com os resultados dos demais autores em que seus trabalhos foram consultados, percebe-se uma semelhança com os resultados de Torrez *et al.* (2018) para o caso do pH, nitrogênio amoniacal, nitrato e fósforo. O resultado das análises do extrato solubilizado, em diversos de seus parâmetros, ainda demonstraram proximidade com as pesquisas realizadas por Scodelai *et al.* (2018), Cavalcanti *et al.* (2015) e Maia *et al.* (2015). Com estas informações, percebe-se a semelhança das concentrações de poluentes em extratos solubilizados de resíduos sólidos orgânicos com lixiviados gerados em aterros sanitários, dando ênfase à capacidade destes subprodutos líquidos de aterros sanitários de degradação das condições ambientais quando lançados no meio. Ou seja, não apenas as condições de lixiviação, mas também a simples solubilização dos resíduos sólidos orgânicos em água apresentam elevado potencial de contaminação do ambiente.

#### 4.3. VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE COM AS NORMAS LEGAIS SANITÁRIAS E AMBIENTAIS

A comparação dos resultados das análises físico-químicas do extrato solubilizado da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares coletados considerou a Portaria GM/MS nº 888/2021, a Resolução CONAMA nº 357/2005 e a Resolução CONAMA nº 430/2011. Para as normas legais GM/MS nº 88/2021 e CONAMA nº 357/2005, foram encontrados valores de referência para pH, Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Cloreto, Cianeto, Fluoreto, Sulfeto, Sulfato, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total e Dureza. Na Tabela 22 é possível analisar a comparação entre os limites das normas sanitárias e ambientais com os resultados encontrados na pesquisa para a Região 1.

Na Portaria GM/MS do Ministério da Saúde para os padrões de potabilidade de águas para consumo humano são definidos os valores limites de pH na ordem de 6,0 a 9,0 mg/L (não de forma explícita, no entanto, dentro das tratativas para a dosagem de cloro nas águas para consumo humano), 1,0 uT para Turbidez, 15 uC para Cor Aparente, 500 mg/L para sólidos dissolvidos totais, 250 mg/L para o cloreto, 1,50 mg/L para o íon cloreto, 0,05 mg/L para o sulfeto de hidrogênio, 250 mg/L para o íon sulfato, 1,0 mg/L para nitrito, 10 mg/L para nitrato e 300 mg/L para dureza.

Na Resolução CONAMA nº 357/2005 são definidos os padrões de qualidade das águas para o enquadramento, sendo assim, orientando quanto aos usos do recurso hídrico no ponto de amostragem. Para esta pesquisa foi considerados corpos hídricos de água doce e classe II de enquadramento, um padrão a ser adotado quando é desconhecido o enquadramento do curso hídrico, conforme recomenda a resolução, em que a faixa limite para o pH é de 6,0 a 9,0, valores de até 100 uT de turbidez, até 75 uC de cor verdadeira, 500 mg/L para sólidos dissolvidos totais, 250 mg/L para cloreto, 1,4 mg/L para o íon fluoreto, 0,005 mg/L para o cianeto, 0,002 mg/L para o sulfeto, 250 mg/L para o sulfato, 2,18 mg/L de nitrogênio total para ambientes lóticos (quando o nitrogênio for fator limitante para a ocorrência da eutrofização), 3,7 mg/L de nitrogênio amoniacal total (para valores de pH abaixo de 7,5, que é o caso deste trabalho), 1,0 mg/L para o parâmetro nitrito e 10 mg/L para o nitrato, além disso, 0,1 mg/L de fósforo total para o caso de ambientes lóticos.

Após as análises, verificações de conformidade com a legislação sanitária e ambiental brasileira confirmaram que os parâmetros Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Cor Verdadeira, Cor Aparente, Sólidos Dissolvidos Totais, Sulfeto, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total não estavam de acordo com a legislação para o extrato solubilizado de resíduos orgânicos sólidos agrupados na Região 1. É possível verificar na Tabela 21 os resultados

descritos. Existem alguns parâmetros que não são mencionados na legislação utilizada, como Condutividade Elétrica, Alcalinidade Total, Dióxido de Carbono Livre, Nitrogênio Kjeldahl Total, Nitrogênio Orgânico, Série de Fósforo (com exceção do Fósforo Total) e Demanda Química de Oxigênio. Em outros, como o caso da Cor Aparente, Cor Verdadeira, Cianeto, Nitrogênio Total, Nitrogênio Ammoniacal, Fósforo Total e Dureza, os valores limites são definidos em apenas uma norma legal.

**Tabela 22: Verificação de conformidade dos resultados da Região 1 com normas legais sanitárias e ambientais**

Parâmetro	GM/MS 888/21	CONAMA 357/2005	Parâmetro	GM/MS 888/21	CONAMA 357/2005
<b>pH</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Sulfeto</b>	Não conforme	Não conforme
<b>Turbidez</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Sulfato</b>	Conforme	Conforme
<b>Cor Aparente</b>	Não conforme	-	<b>N. Total</b>	-	Não conforme
<b>C.</b>	-	Não conforme	<b>N. Ammoniacal</b>	-	Não conforme
<b>Verdadeira</b>					
<b>STD</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Nitrito</b>	Conforme	Conforme
<b>Cloreto</b>	Conforme	Conforme	<b>Nitrato</b>	Conforme	Conforme
<b>Cianeto</b>	-	Conforme	<b>F. Total</b>	-	Não conforme
<b>Fluoreto</b>	Conforme	Conforme	<b>Dureza</b>	Não conforme	-

Fonte: Pereira (2023)

Para o extrato solubilizado dos resíduos da região 2, foi verificada a não conformidade com as normas legais para os parâmetros de Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos Totais, Cloreto, Sulfeto, Nitrogênio Total, Nitrogênio Ammoniacal, Nitrato e Dureza Total. Em parâmetros como Cor Aparente, Cor Verdadeira e Sólidos Dissolvidos Totais, houve discrepância relevante com os valores da norma legal. É possível verificar os resultados citados na Tabela 23.

**Tabela 23: Verificação de conformidade dos resultados da Região 2 com normas legais sanitárias e ambientais**

<b>Parâmetro</b>	<b>GM/MS</b>	<b>CONAMA</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>GM/MS</b>	<b>CONAMA</b>
	<b>888/21</b>	<b>357/2005</b>		<b>888/21</b>	<b>357/2005</b>
<b>pH</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Sulfeto</b>	Não conforme	Não conforme
<b>Turbidez</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Sulfato</b>	Conforme	Conforme
<b>Cor Aparente</b>	Não conforme	-	<b>N. Total</b>	-	Não conforme
<b>C.</b>	-	Não conforme	<b>N. Amoniacal</b>	-	Não conforme
<b>Verdadeira</b>					
<b>STD</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Nitrito</b>	Conforme	Conforme
<b>Cloreto</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Nitrato</b>	Não conforme	Não conforme
<b>Cianeto</b>	-	Conforme	<b>F. Total</b>	-	Não conforme
<b>Fluoreto</b>	Conforme	Conforme	<b>Dureza</b>	Não conforme	-

Fonte: Pereira (2023)

Na análise do extrato solubilizado dos resíduos orgânicos da região 3, foi possível verificar a não conformidade nos parâmetros de Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos Totais, Sulfeto, Nitrogênio Total, Amoniacal Nitrogênio, Nitrato, Fósforo Total e Dureza. A análise pode ser verificada na Tabela 24.

**Tabela 24: Verificação de conformidade dos resultados da Região 3 com normas legais sanitárias e ambientais**

<b>Parâmetro</b>	<b>GM/MS</b>	<b>CONAMA</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>GM/MS</b>	<b>CONAMA</b>
	<b>888/21</b>	<b>357/2005</b>		<b>888/21</b>	<b>357/2005</b>
<b>pH</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Sulfeto</b>	Não conforme	Não conforme
<b>Turbidez</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Sulfato</b>	Conforme	Conforme
<b>Cor Aparente</b>	Não conforme	-	<b>N. Total</b>	-	Não conforme
<b>C.</b>	-	Não conforme	<b>N. Amoniacal</b>	-	Não conforme
<b>Verdadeira</b>					
<b>STD</b>	Não conforme	Não conforme	<b>Nitrito</b>	Conforme	Conforme
<b>Cloreto</b>	Conforme	Conforme	<b>Nitrato</b>	Não conforme	Não conforme
<b>Cianeto</b>	-	Conforme	<b>F. Total</b>	-	Não conforme
<b>Fluoreto</b>	Conforme	Conforme	<b>Dureza</b>	Não conforme	-

Fonte: Pereira (2023)

Após analisadas e verificadas semelhanças do extrato solubilizado da fração orgânica dos resíduos sólidos orgânicos coletados no município de Belém do Pará, foi possível identificar a não conformidade destes compostos com a legislação ambiental e sanitária vigente, em que em

todas as amostras, os valores de pH, Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos Totais, Sulfeto, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total não estavam conforme o exigido pela legislação vigente.

Para a Resolução CONAMA nº 430/2011 que determina o padrão de lançamento de efluentes de fontes poluidoras em corpos receptores, foram considerados os padrões e limites de pH (5 a 9), Cianeto Total (1 mg/L), Fluoreto Total (10 mg/L), Nitrogênio Amoniacal Total (20 mg/L), Sulfeto (1,0 mg/L), observa-se na Tabela 25 a verificação da conformidade dos parâmetros analisados com a Resolução CONAMA nº 430/2011.

**Tabela 25: Comparação dos resultados das análises com os valores limite da Resolução CONAMA nº 430/2011**

Região	Parâmetros Físico-Químicos				
	pH	Cianeto	Fluoreto	N-Amoniacal	Sulfeto
<b>Região 1</b>	Não conforme	Conforme	Conforme	Não Conforme	Conforme
<b>Região 2</b>	Não Conforme	Conforme	Conforme	Não Conforme	Conforme
<b>Região 3</b>	Não Conforme	Conforme	Conforme	Não Conforme	Conforme

Fonte: Pereira (2023)

A semelhança do extrato solubilizado obtido com concentrações de poluentes de lixiviados (de acordo com a pesquisa bibliográfica realizada) e a não conformidade com a legislação ambiental vigente demonstra a necessidade do controle da geração e do lançamento de resíduos sólidos de maneira ambientalmente inadequada, já que, mesmo não havendo a geração de compostos lixiviados, o processo de solubilização no ambiente já representa elevadas concentrações de compostos que resultam em impactos ao meio biótico e abiótico local.

## **5. CONCLUSÕES**

Ao analisar os resultados da caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares coletados verifica-se que os valores das frações de matéria orgânica são mais elevados, quando comparados a pesquisas realizadas na região de Belém do Pará, indicando um aumento na geração desta fração de resíduos.

Os ensaios para a obtenção do extrato solubilizado da fração orgânica dos resíduos coletados confirmam a classificação do material utilizado como Classe II-A (Não Perigosos e Não Inertes), com resultados acima das concentrações limites normatizadas e dos padrões de potabilidade, conforme recomenda a NBR 10.004/2004.

Os resultados das análises físico-químicas do extrato solubilizado da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares indicam semelhança para pH, sólidos dissolvidos totais, nutrientes e matéria orgânica com lixiviado gerado em aterros sanitários, sendo assim também, demonstrando o potencial poluidor da solubilização destes materiais no ambiente. Além das análises físico-químicas indicarem o potencial poluidor destes materiais, também foi constatada a não conformidade do composto solubilizado destes resíduos sólidos com a legislação ambiental e sanitária (Portaria GM/MS nº 888/2021, Resolução CONAMA nº 357/2005 e Resolução CONAMA nº 430/2011).

Para que os impactos ambientais decorrentes destes materiais sejam evitados é necessário um sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares eficiente (100% da população atendida e de acordo com as normas técnicas vigentes), em que a coleta ocorra de forma integral e possa transportar com segurança os resíduos até as unidades de tratamento, com o cuidado para que não ocorram vazamentos de compostos lixiviados e solubilizados no ambiente.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

A partir dos resultados e das análises deste trabalho, é recomendada a realização das seguintes pesquisas:

- Estudo de caracterização de resíduos sólidos domiciliares em diferentes períodos do ano, no município de Belém do Pará;
- Estudo estatístico da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares do município de Belém-PA;
- Estudo da degradação da matéria orgânica decorrentes de resíduos sólidos urbanos em diferentes condições ambientais controladas;
- Análise do impacto das condições de conservação de resíduos sólidos orgânicos na medição de parâmetros físico-químicos de extratos lixiviados e solubilizados obtidos.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AHMED, A.A. Masrur. Prediction of dissolved oxygen in Surma River by biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand using the artificial neural networks (ANNs). **Journal Of King Saud University: Engineering Sciences**, Riade, p. 151-158, maio 2014.

ANDRIATO, Murilo Florentino; CASTILHO, Mara Lucy. Análise da sustentabilidade de cooperativas de materiais recicláveis selecionadas: alternativas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos. **Human And Social Sciences**, Maringá, v. 42, n. 1, p. 2-12, mar. 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA. **23<sup>th</sup> Standard Methods for the examination of Water and Wastewater**. APHA: Washington-DC, 2017.

AQUINO, Layla Ferraz; CRUZ, Iago Antão Sabença; LOPES, Giuliana Teixeira; MANNARINO, Camille Ferreira; RITTER, Elisabeth. Presença de poluentes de lixiviado no solo e águas subterrâneas em locais de disposição inadequada de resíduos sólidos no Brasil: Revisão da literatura. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, Salvador, v. 10, n. 1, p. 126-140, jun. 2022.

ARAÚJO, Marlyete Chagas de; SILVA SANTOS, Fábio Marcel da; OLIVEIRA, Maria Betânia Melo de. **Análise da qualidade da água do riacho cavouco**. UFPE, 2012.

ARAÚJO, Liz Geise Santos *et al.* Análise temporal de parâmetros ambientais do lixiviado do aterro sanitário de Maceió-AL, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ANBT. **NBR 8.419/1992 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ANBT. **NBR 10.004/2004 – Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ANBT. **NBR 10.005/2004 – Procedimentos para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 10.006/2004** – **Procedimentos para a obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 10.007/2004** – **Amostragem de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.

BACHETI, Gilmara Pacheco; MAZIERO, Rômulo; GARCIA, Davi Pereira. ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE GRANITO. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p. 273-296, set. 2018.

BAGGIO, Hernando; FREITAS, M. de O.; ARAÚJO, Amanda Dias. Análise dos parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico e temperatura, no baixo curso do Rio das Velhas-MG. **Caminhos de geografia**, v. 17, n. 60, p. 105-117, 2016.

BHALLA, B.; SAINI, M. S.; JHA, M. K. **Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill.** IJRET, v. 2, n. 8, p. 223-232, 2013.

BAIRD, C. **Química Ambiental.** 4 ed. Bookman: Porto Alegre, 2011.

BALBUENO, Laís Ribeiro; TIBURTINO-SILVA, Lorene Almeida; NOGUEIRA, Micaella Lima; MACIEL, Josemar de Campos; COSTA, Reginaldo Brito da. Tratamento de resíduos sólidos no município de Bonito, Mato Grosso do Sul, Brasil, correlacionado com dados externos. **Revista Interações**, Campo Grande, v. 22, n. 3, p. 883-905, set. 2021.

BELÉM. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém.** Belém: PMB, 2020. 390 p.

BRAGAGNOLO, Lucimara; FERRAZZO, Suéllen Tonatto; BRUM, Fernanda Machado; KORF, Eduardo Pavan; MOSSI, Altemir José. QUALIDADE DO LIXIVIADO E SUA INTERFERÊNCIA NA ÁGUA SUBTERRÂNEA ADJACENTE AO ATERRO SANITÁRIO DE PALMEIRA DAS MISSÕES (RS). **Revista de Gestão de Água na América Latina**, Porto Alegre, v. 15, n. 8, p. 1-22, nov. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/Ministério da Saúde.** Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 281 p

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. CONAMA: Brasília, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. CONAMA: Brasília, 2005

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 - Instituí a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília: MMA, 2022a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico Temático do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília: SNIS, 2022b.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. MS: Brasília, 2021.

CASTRO, Douglas Alberto Rocha de. **Estudo do processo de pirólise de sementes de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) para produção de biocombustíveis.** 2019. 301 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais na Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

CAVALCANTI, A.S; IZÁRIO FILHO, H.J; GUIMARÃES, O, L, C; SIQUEIRA, A. F. Modelagem neural e análise estatística do processo de degradação de chorume por foto Fenton solar. **Rev. Ambiente. Água.** Vol 10 n 1. Jan/Mar. 2015.

COLVERO, Diogo Appel *et al.* Aterro sanitário de Goiânia: uma identidade territorial e a vulnerabilidade e exclusão social da população do seu entorno. **Engenharia Ambiental-Espírito Santo do Pinhal**, v. 14, n. 2, p. 03-20, 2017.

CONSÓRCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL MULTIFINALITÁRIO DO ALTO RIO PARDO - COMAR. **Caracterização gravimétrica de resíduos sólidos.** Taiobeiras, 2021.

CORREIA, Sheila de Araujo. **Impactos ambientais causados pelo lixão desativado da cidade de Delmiro Gouveia - AL.** 2020. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2020.

COSTA, Amini Ferreira da. **ANÁLISE DE RISCO À SAÚDE HUMANA POR USO DO SOLO CONTAMINADO POR CHORUME NA ÁREA DO ANTIGO LIXÃO DE MACEIÓ.** 2021. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

COSTA, Nicole Martins da. **Efeitos de lixiviado de resíduos sólidos urbanos em organismos aquáticos.** 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Ciências. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2021.

Costa, T. J. S. **Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal.** Dissertação de Mestrado. Lisboa, 2015.

COX, B.A., 2003. A review of dissolved oxygen modeling techniques for lowland rivers. **The Science of the Total Environment** 314–316, 303–334.

CUNHA *et al.* Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005-2009). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 159-168, 2013.

DANTAS, Edilma Rodrigues Bento. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo fenton: Identificação dos compostos orgânicos, caracterização do lodo e ensaios ecotoxicológicos.** Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Campina Grande: UEPB, 2018.

DANTAS, Gabriely Dias. **Tratamento biológico anaeróbio e aeróbio de lixiviado de aterro sanitário.** 2018. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

DI BERNARDO, L; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias para tratamento de água.** Volume 1. Editora LDiBe, 2008.

- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciênciac, 1998.
- ESPEJO-HERRERA, N. *et al.* **Colorectal cancer risk and nitrate exposure through drinking water and diet**. v. 346, p. 334–346, 2016.
- FARIA, F. S. **Índice de qualidade de aterros de resíduos urbanos**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coppe. Rio de Janeiro, 2002.
- FERREIRA, Janilson Alves; MACÊDO, David Araújo; DE OLIVEIRA JÚNIOR, Antônio Itacy. Efeito do potencial hidrogeniônico da água sobre a resistência à compressão do concreto convencional. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 10, n. 1, p. áginas 130-140, 2018.
- FERREIRA, Ruan Gonçalves. Proposta de padronização cartográfica para carta-imagem emergencial de inundação Impactos ambientais decorrentes do lixão da cidade de Condado-PB. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 142-151, set. 2017.
- FERREIRA, J. A. *et al.* **Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do estado do Rio de Janeiro**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, Brasil. 2001.
- FOLORUNSO, Op. Variations of Turbidity (NTU) and Suspended Solid Concentrations (SSC) in Elemi River, Ado-Ekiti, Nigeria. **Journal Of Materials Science And Nanomaterials**, v. 2, p. 1-3, mar. 2018.
- FRANCO, Heider Alves; ROCHA, Marcus Vinicius de Castro; THODE FILHO, Sergio. Impacto Ambiental do Extrato Solubilizado de Borra de Café sobre Organismo Terrestre. **Fronteiras: Journal Of Social, Technological And Environmental Science**, Anápolis, v. 9, n. 1, p. 404-413, abr. 2020.
- GADELHA, F. J. S.; DOMINGOS, M. S. C.; NOGUEIRA, M. F. L.; SILVA, M. L. L.; MACEDO, R. E. F.; SOUZA, G. C.; NESS, R. L. L. **Verificação da presença de nitrito em águas de consumo humano da comunidade de várzea do Cobra em Limoeiro do Norte-CE**. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57, 2005, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: FAFIDAM, 2005.

GEORGE, M. *et al.* Incidence and geographical distribution of sudden infant death syndrome in relation to content of nitrate in drinking water and groundwater levels. **European Journal of Clinical Investigation**, v. 31, n. 12, p. 1083–1094, 2001.

GRAY, N. F. **Water Tecnology: An introduction for environmental scientists and engineers**. Ed Arnold, 1999.

GOMES, N. A. *et al.* Influência de parâmetros físico-químicos na composição de constituintes tóxicos em lixiviado de aterro sanitário. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 23, n. 3, 18 out. 2018.

HASSAN, M.; ZHAO, Y.; XIE, B. Employing TiO<sub>2</sub> photocatalysis to deal with landfill leachate: Current status development. **Chemistry Engeneering Journal**, 285: 264-275, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Censo 2010**. IBGE: Brasília, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. IPEA. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em 15 de janeiro de 2023.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – INEA. **Estudo da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: conhecendo a composição dos resíduos para aplicação na gestão municipal**. Rio de Janeiro, 2021.

IPT/CEMPRE. **Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado**. 2<sup>a</sup> Ed. São Paulo, 2020.

JONSSON, Susanne *et al.* Mono-and diesters from o-phthalic acid in leachates from different European landfills. **Water research**, v. 37, n. 3, p. 609-617, 2003.

JOVELINO, Josevânia Rodrigues *et al.* Estabilização/solidificação: caracterização, classificação e aplicação no tratamento e gerenciamento de resíduos sólidos de laboratórios químicos. **Holos Environment**, v. 20, n. 4, p. 539-558, 2020.

KALLER, M. D.; KELSO, W. E.; HALLORAN, B. T.; RUTHERFORD, D. A. Effects of spatial scale on assessment of dissolved oxygen dynamics in the Atchafalaya River Basin, Louisiana. **Hydrobiologia**, Baton Rouge, p. 7-15, set. 2010.

KAMARUDDIN, Mohamad Anuar et al. An overview of municipal solid waste management and landfill leachate treatment: Malaysia and Asian perspectives. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 26988-27020, 2017.

KIRMIZAKS, P.; TSAMOUTSOGLOU, C.; KAYAN, B.; KALDERIS, D. **Subcritical water treatment of land II leachate: Application of response surface methodology**. Journal of Environmental Management, v. 146, p.9-15, 2014.

KAVITHA, S. et al. **Nitrate removal using Brevundimonas diminuta MTCC 8486 from ground water**. Water Science and Technology, v. 60, n. 2, p. 517–524, 2009.

KAWAHIGASHI, F; MENDES, M.B; DA ASSUNÇÃO JÚNIOR, V.G; GOMES, V.H; FERNANDES, F; HIROOKA, E.Y; KURODA; E.K. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Eng Sanit Ambient**. Vol 19 n. 3 .jul/set 2014.

KJELDSEN P. I., BARLAZ, M. A., ROOKER, A. P., BAUN, A., LEDIN, A., CHRISTENSEN, T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.32, pp. 297-336. 2002.

KUMAR, S.; CHOUDHURY, P. R.; CARRO, M. D.; GRIFFITH, G. W.; DAGAR, S. S.; PUNIYA, M.; CALABRO, S.; RAVELLA, S. R.; DHEWA, T.; UPADHYAY, R. C.; SIROHI, S. K.; HUNDU, S. S.; WANAPT, M.; PUNIYA, A. K. **New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants**. **Applied microbiology and biotechnology**, Berlin, v. 98, p. 31 – 44, 2014.

LANGE, L.C.; AMARAL, M. C. S. **Geração e características do lixiviado**. In: GOMES, L. P. G. (Coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 26 – 59.

LANGE, Liséte Celina *et al*. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 175-183, 2006.

**LIBÂNIO, M.** **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Editora Átomo. Campinas, SP, 2005.

**LEÃO**, Eduardo Araujo de Souza. **Análise comparativa hidroambiental das Bacias do Una e da Estrada Nova, em Belém-PA, e suas implicações socioeconômicas.** 2015. 252 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

**LEITE**, João Alex Garcia. **Gestão dos resíduos de construção civil procedentes de pequenas construções no Município de Belém-PA.** 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

**LIMA, P. G.** et al. Análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de um aterro sanitário. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 12, n. 4, p. 410-426, 2018.

**LINS, E. A. M.** **Proposição e avaliação de um sistema experimental de processos físicos e químicos para tratamento de lixiviado.** 2011. 277 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

**LOS**, Fabíole Jordana *et al.* Avaliação da presença e lixiviação de metais tóxicos em amostras de três marcas comerciais de alginatos. **Revista Tecno-Lógica**, v. 17, n. 1, p. 38-43, 2013.

**LUCENA, L.G;** **ROCHA, E.M.R;** **DA SILVA, F.L.H;** **CAHINO, A.M.** Otimização multivariada do processo foto-Fenton solar na remoção da demanda química de oxigênio em lixiviados de aterros sanitários. **Eng. Sanit. Ambient.** V 23 n 3. Mai/Jun 2018.

**LUZ** *et al.* Utilização de Sistema de Informação Geográfica para identificação de áreas potenciais à implantação de aterro sanitário consorciado. **AMBIÊNCIA**, v. 13, n. 2, p. 452-469, 2017.

**MAIA, Iracema Souza** *et al.* Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 665-675, 2015.

**MARITUBA.** **Plano Municipal de Saneamento de Marituba.** PMM: Marituba, 2019.

**MARQUES NETO**, José da Costa. **Os benefícios da gestão de resíduos na construção.** Revista Techne. Editora Pini. Edição 243. São Paulo, Junho de 2017. Entrevista, p. 12-15.

MEDEIROS, Camilla Rigoni. **Determinação de compostos fenólicos em extratos aquosos de resíduos sólidos por microextração em fase sólida e cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas.** 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MELLO, Marcos de. **O lixo na comunidade indígena de Nonoai: possibilidade de construção de fundamentos de um saber social e escolar prudente.** Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Licenciatura Interdisciplinar em Educação no Campo. Universidade Federal da Fronteira Sul. 2020.

MELLO, Victor Fernandes Bezerra *et al.* Variáveis no processo de coagulação/flocação/decantação de lixiviados de aterros sanitários urbanos. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 88-100, 2012.

MENEZES, Rosana Oliveira et al. Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 271-282, 2019.

METCALF e EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MIA, Shamim *et al.* Pyrolysis and co-composting of municipal organic waste in Bangladesh: A quantitative estimate of recyclable nutrients, greenhouse gas emissions, and economic benefits. **Waste management**, v. 75, p. 503-513, 2018.

MORAIS, Marcelo *et al.* Análise Físico-Química e Microbiológica do Lixiviado do Aterro Sanitário de Rio Branco-AC. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 7, n. 1, p. 282-292, 2020.

MORAVIA, W, G.; **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas.** Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte - MG, 2010.

MORAVIA, Wagner Guadagnin; LANGE, Liséte Celina; AMARAL, Míriam Cristina Santos. Avaliação da microfiltração para remoção do lodo gerado no processo oxidativo avançado

empregando o reagente de Fenton no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, p. 379-386, 2011.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. DE O.; FRIES, M. Degradação de resíduos e alterações na resistividade elétrica, pH e Eh. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 2, p. 283–293, jun. 2009.

MOTTA, Maurício Alves da; PAULINO, Patrícia Maria; OLIVEIRA, Diego Eugênio Bulhões de. Pós-tratamento de lixiviados coagulados por adsorção em resíduos da ostreicultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 897-907, 2019.

NARDINO, D. A. *et al.* Reutilização de resíduos de curtume na fabricação de blocos de concreto para pavimentação: avaliação das características do resíduo. In: **XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (CBEQIC)**. 2015.

OLIVEIRA, L. F.; SILVA, S.M.C.P.; MARTINEZ, C.B.R. Assessment of domestic landfill leachate toxicity to the Asian clam Corbicula fluminea via biomarkers. **Ecotox. Environ. Safe.**, 103: 17-23, 2014.

OLIVEIRA, Mayra Silva de. **Tratamento de lixiviados de aterro sanitário combinando coagulação (sulfato de alumínio) e técnicas eletroquímicas (diamante dopado com boro)**. 2019. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Química, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2019.

PASTORE, C.; BARCA, E.; DEL MORO, G.; DI IACONI, C.; LOOS, M.; SINGER, H.P.; MASCOLO, G. Comparison of different types of landfill leachate treatment by employment of nontarget screening to identify residual refractory organics and principal component analysis. **Sci. Total Environ.**, 635: 984-994, 2018.

PINHEIRO, Viviane da Silva. **Aplicação de flotação por ar dissolvido para tratamento de águas duras da região Seridó-RN**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

PIVELI, Roque Passos; KATO, Mário Takayuki. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005. 285 p.

PRECHTHAI, Tawach; PARKPIAN, Preeda; VISVANATHAN, Chettiyappan. Assessment of heavy metal contamination and its mobilization from municipal solid waste open dumping site. **Journal of Hazardous Materials**, v. 156, n. 1-3, p. 86-94, 2008.

PRZYBYLIŃSKA, Paulina A.; WYSZKOWSKI, Mirosław. Environmental contamination with phthalates and its impact on living organisms. **Ecological Chemistry and Engineering S**, v. 23, n. 2, p. 347-356, 2016.

REZENDE, Jozrael Henriques et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 1-8, 2013.

RODRIGUES, Nébora Liz Vendramin Brasil; PAWLOWSKY, Urivald. Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos classe II A-não inertes e classe II B-inertes. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 12, p. 8-16, 2007.

RODRIGUES, F.L; CAVINATTO, V.M. **Lixo: de onde vem?** Rio de Janeiro. Ed.Fiocruz, 2006.

SALEH, Noormaisyah; MOHADI, Risfidian; SAPUTRA, Agus Dwi. The Seasonal Trends of Dissolved Oxygen and pH in Sugihan River, South Sumatra, Indonesia. **Indonesian Journal Of Fundamental And Applied Chemistry**, p. 78-81, out. 2016.

SCANDELAI, Ana Paula Jambers et al. Caracterização de lixiviado de aterro sanitário e propostas de tratamento. In: **Colloquium Exectarum. ISSN: 2178-8332**. 2018. p. 36-43.

SCHNEIDER, Joice Brochier; MORAES, Carlos Alberto Mendes; BREHM, Feliciane Andrade. Avaliação ambiental da estabilização por solidificação de BTEX oriundo de resíduo de adsorvente composto por cinza de casca de arroz e carvão ativado em argamassa. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 16, n. 41, p. 69-79, 2020.

SCHÖNBRUNNER, Iris M.; PREINER, Stefan; HEIN, Thomas. Impact of drying and re-flooding of sediment on phosphorus dynamics of river-floodplain systems. **Science Of The Total Environment**, S/n, v. /, n. /, p. 329-337, jul. 2012.

SILVA, Alessandra dos Santos et al. Avaliação do potencial tóxico dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 20, p. 840-851, 2015.

SILVA, Claudionor Oliveira; SANTOS, Gilbertânia Mendonça; SILVA, Lucicleide Neves. A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso. **Revista Eletrônica em Gestão, educação e tecnologia ambiental**, p. 2683-2689, 2013.

SILVA, Elisângela Maria da. **Ecotoxicidade de resíduos sólidos urbanos e de lixiviado gerado em aterro sanitário**. 2022. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

SILVA, Júlia Neves; CUNHA, Luciano Soares; OLIVEIRA, Nicole Evelyn Carvalho. O Uso De Parâmetros Físico-Químicos Na Delimitação De Contaminação Por Lixiviado Em Áreas Degradadas Por Resíduos Sólidos Urbanos. Uma Revisão Sistemática De Literatura Com Ênfase Em Metanálise. **Rev. Bras. Geogr. Física**, v. 15, p. 1587, 2022.

SILVA, Neilson Rocha da; DE NOROES ALBUQUERQUE, Thiago. Enquadramento de corpos de água: um instrumento da política nacional de recursos hídricos. **Geoambiente Online**, n. 32, 2018.

SILVA, Rodrigo Cândido Passos da Silva; SANTOS, João Paulo de Oliveira; MELLO, Daniel Pernambucano de; EL-DEIR, Soraya Giovanetti. **Resíduos Sólidos: Tecnologias e Boas Práticas de Economia Circular**. Recife: EDUFRPE, 2018.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; LEONE, G. **Possibilidades do Tratamento Físico-Químico para Redução de Carga Orgânica e Precipitação de Metais Pesados do Chorume Produzidos em Aterros Sanitários**. IX SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Porto Seguro, Brasil, abril de 2000.

SILVA, Webert Brasil Cirilo da; BARROSO, Suelly Helena de Araújo; CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. Avaliação da aplicação de cinzas pesadas de termelétrica em blocos intertravados de concreto para pavimentos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, 2020.

SISINNO, Cristina L. S. Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 369-374, 2003.

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva; FRANCO, Rafaela de; ASSIS, Jéssica Maria Guimarães. **Análise preliminar da nova portaria de potabilidade da água (PRT. GM/MS nº 888/2021).** Anais do XII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2021.

SOFTARE STADISK ONLINE. Disponível em: <https://www.statdisk.com/>. Acesso em 19 de setembro de 2021.

SONG, Xinxin et al. The Experience and Development of the Treatment Technology of Municipal Solid Waste Leachate in China. **Water**, v. 14, n. 16, p. 2458, 2022.

SULLIVAN, Annett B.; SNYDER, Dean M.; ROUNDS, Stewart A. Controls on biochemical oxygen demand in the upper Klamath River, Oregon. **Chemical Geology**, p. 12-21, ago. 2008.

TCHOBANOGLOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**, 2nd Edition, McGraw-Hill, 2002, pp. 1.1-1.27.

TELLES, Cláudia Anastácia Santana. **Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 2010. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010

THAKUR, Prannoy; GANGULY, Rajiv; DHULIA, Anirban. Occupational health hazard exposure among municipal solid waste workers in Himachal Pradesh, India. **Waste Management**, v. 78, p. 483-489, 2018.

THODE FILHO, Sérgio et al. Avaliação ecotoxicológica do extrato solubilizado de bagaço de cana-de-açúcar residual via germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa L.*). **Revista de estudos ambientais**, v. 21, n. 1, p. 46-55, 2019.

TORREZ, Víctor Mayor et al. Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes. **Revista Ion**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 59-63, mar. 2018.

VASCONCELOS, D. V. et al. A eficiência dos sistemas de tratamento de lixiviado comparada a Conama 430. **Cadernos UniFOA**, v. 7, n. 1 Esp, p. 269-269, 2012.

VASCONCELOS, Daniela Vidal et al. Estudo da tratabilidade de lixiviado gerado em um aterro controlado. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 457-467, 2017.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima *et al.* Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, p. 45-54, 2010.

VOGEL, A. I.; MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, E. M. J. K. **Análise química quantitativa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 447 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018. 470 p.

WDOWCZYK, Aleksandra; SZYMAŃSKA-PULIKOWSKA, Agata. Analysis of the possibility of conducting a comprehensive assessment of landfill leachate contamination using physicochemical indicators and toxicity test. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 221, p. 112434, 2021.

WIJEKOON, Prabuddhi *et al.* Progress and prospects in mitigation of landfill leachate pollution: Risk, pollution potential, treatment and challenges. **Journal of hazardous materials**, v. 421, p. 126627, 2022.

World Bank. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. World Bank Publications, 2018.

WOWKONOWICZ, Paweł; KIJEŃSKA, Marta. Phthalate release in leachate from municipal landfills of central Poland. **PLoS One**, v. 12, n. 3, p. e0174986, 2017.

Y, Yang *et al.* Slow pyrolysis of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Characterisation of products and screening of the aqueous liquid product for anaerobic digestion. **Applied energy**, v. 213, p. 158-168, 2018.

YENGEJEH, Reza Jalilzadeh; MORSHEDI, Jafar; YAZDIZADEH, Razieh. The study and zoning of dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD) of Dez river by GIS software. **Journal Of Applied Research In Water And Wastewater**, Kermanshah, v. 1, n. 1, p. 23-27, fev. 2014.

ZELIC, Marco Antonio. **Avaliação do processo de destilação do percolado de aterro em função dos parâmetros estabelecidos pela resolução CONAMA 430**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.