



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA - FEE

NALDSON SILVA DE FREITAS

**POTENCIAL ENERGÉTICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A  
PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM BELÉM DO PARÁ: REVISÃO  
DE LITERATURA**

TUCURUÍ

2023

NALDSON SILVA DE FREITAS

**POTENCIAL ENERGÉTICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A  
PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM BELÉM DO PARÁ: REVISÃO  
DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Engenharia  
Elétrica, do Campus Universitário de  
Tucuruí, da Universidade Federal do  
Pará, como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia  
Elétrica.

Orientador(a): Dra. Andrécia Pereira da  
Costa

Coorientador(a): Ma. Juliete da Silva  
Souza

TUCURUÍ

2023

NALDSON SILVA DE FREITAS

**POTENCIAL ENERGÉTICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM BELÉM DO PARÁ: REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data de aprovação: 14/11/2023

Conceito: Excelente

**Banca Examinadora**



Documento assinado digitalmente  
**ANDRECIA PEREIRA DA COSTA**  
Data: 14/11/2023 16:42:59-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Orientador (a)

Dra. Andrécia Pereira da Costa – UFPA



Documento assinado digitalmente  
**JULIETE DA SILVA SOUZA**  
Data: 14/11/2023 19:20:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Coorientador (a)

Ma. Juliete da Silva Souza – UFCG



Documento assinado digitalmente  
**DAVI CARVALHO MOREIRA**  
Data: 15/11/2023 18:37:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Examinador (a) interno

Dr. Davi Carvalho Moreira – UFPA



Documento assinado digitalmente  
**MARIA LAIS FELIX DA SILVA**  
Data: 14/11/2023 22:56:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Examinador (a) externo

Ma. Maria Laís Félix da Silva – IFPI

**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)**

---

F862p Freitas, Naldson Silva de.  
POTENCIAL ENERGÉTICO PARA GERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS EM BELÉM DO PARÁ : REVISÃO DE  
LITERATURA / Naldson Silva de Freitas. — 2023.  
67 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andrécia Pereira da Costa  
Coorientador(a): Prof<sup>ª</sup>. MSc. Juliete da Silva Costa  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de  
Engenharia Elétrica, Tucuruí, 2023.

1. Resíduos Sólidos Urbanos. 2. Gerenciamento de  
Resíduos. 3. Energia Elétrica. 4. Belém do Pará. I. Título.

CDD 621.31098115

---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar, proteger e ser meu conforto em meio as tantas dificuldades que passei até concluir do curso de Engenharia Elétrica. Gratidão imensa aos meus pais, Agnaldo e Roselene, por sempre me apoiarem e incentivarem nessa jornada árdua.

À minha amada esposa, Janaina, por me incentivar diariamente, acreditar no meu potencial para concluir a graduação e por ser compreensível e paciente nos momentos que precisei me dedicar um pouco mais aos estudos.

À minha orientadora Andrécia da Costa, por aceitar o desafio de me orientar e ajudar na elaboração desse trabalho. À minha coorientadora Juliete da Silva que mesmo distante, sempre esteve me dando apoio, tirando minhas dúvidas e se reunindo comigo para verificar o andamento do trabalho, e em muitas vezes me incentivando na conclusão de cada etapa do trabalho. À minha amiga, Vanessa Lacerda, a qual me acompanhou durante meu estágio e sempre torceu pelo meu sucesso.

Aos meus amigos do IFPA, Wilson, Magno, Pamela, obrigado pela amizade de vocês. Ao meu amigo Patrick Mota, que desde sempre torceu por mim me ajudou quando estava com dúvidas. Ao Frank por todo apoio durante o período de graduação e por continuar me incentivando nessa jornada acadêmica.

Aos meus amigos de igreja, Sidney, Denilson, Carlos, Sara, Jefersom e Adriano, que oraram por mim e sonharam com esse momento.

Ao meu amigo de graduação, Alexandre, o qual conversou comigo e me incentivou a continuar firme e finalizar a graduação.

## RESUMO

A destinação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) é uma tarefa que exige gestão e planejamento cuidadosos, sendo o maior desafio encontrar uma solução que seja economicamente viável e ambientalmente sustentável. A cidade de Belém, uma das maiores cidades do estado do Pará, enfrenta seus problemas quanto ao gerenciamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos, e por ser uma cidade bastante populosa, conseqüentemente gera um alto nível de RSU. No entanto, através dos dados recolhidos neste estudo, observou-se que os RSUs podem ser reaproveitados como fonte de energia com a ajuda de mecanismos em evolução e práticas de gestão adequadas. O objetivo desse estudo foi buscar na literatura metodologias/recursos que apresentem o potencial energético de Belém do Pará para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, a metodologia do trabalho foi baseada em uma revisão sistemática da literatura nos últimos 10 anos tendo como base de pesquisa o Google Scholar, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Determinou-se palavras-chaves e critérios de exclusão e inclusão para a execução da pesquisa, resultando em 25 trabalhos para análise. Pode-se concluir que a utilização de RSUs para geração de energia oferece inúmeras vantagens, como a redução do volume de resíduos em aterros, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, a criação de oportunidades de emprego e o fornecimento de uma fonte de energia renovável para ajudar o país a alcançar o equilíbrio energético.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Gerenciamento de Resíduos. Energia Elétrica. Belém do Pará.

## **ABSTRACT**

The disposal of Municipal Solid Waste (MSW) is a task that requires careful management and planning, the biggest challenge being to find a solution that is economically viable and environmentally sustainable. The city of Belém, one of the largest cities in the state of Pará, faces its own problems in terms of the management and final destination of municipal solid waste, and as it is a very populous city, it consequently generates a high level of MSW. However, through the data collected in this study, it was observed that MSW can be reused as a source of energy with the help of evolving mechanisms and appropriate management practices. The aim of this study was to search the literature for methodologies/resources that present Belém do Pará's energy potential for generating electricity from municipal solid waste. In addition, the work methodology was based on a systematic review of the literature over the last 10 years using Google Scholar, the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD) as a research base. Keywords and exclusion and inclusion criteria were determined for the research, resulting in 25 papers for analysis. It can be concluded that using MSW to generate energy offers numerous advantages, such as reducing the volume of waste in landfills, mitigating greenhouse gas emissions, creating job opportunities and providing a renewable energy source to help the country achieve energy balance.

**Keywords:** Urban Solid Waste. Waste Management. Electricity. Belém do Pará.

## LISTAS DE FIGURAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 1 -  | Classificação de origem dos resíduos.....   | 19 |
| Figura 2 -  | Ilustração de um aterro sanitário.....  | 22 |
| Figura 3 -  | Exemplo de um aterro controlado.....  | 23 |
| Figura 4 -  | Estimativa de disposição final de RSU (RDO + RPU) no solo.....                                      | 24 |
| Figura 5 -  | Exemplo de um lixão.....  | 25 |
| Figura 6 -  | Geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano).....  | 27 |
| Figura 7 -  | Distribuição dos municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil e regiões (%) em 2021..... | 29 |
| Figura 8 -  | Matriz energética mundial 2020.....   | 31 |
| Figura 9 -  | Matriz energética brasileira 2021.....  | 31 |
| Figura 10 - | Matriz elétrica mundial 2020.....   | 32 |
| Figura 11 - | Matriz elétrica brasileira 2021.....  | 33 |
| Figura 12 - | Esquema de funcionamento das usinas hidrelétricas.....  | 34 |
| Figura 13 - | Esquema de funcionamento energia eólica.....  | 36 |
| Figura 14 - | Representação esquemática do ciclo do carbono.....  | 37 |
| Figura 15 - | Mapa biomassa energética brasileira.....  | 38 |
| Figura 16 - | Representação esquemática dos processos de conversão energética da biomassa.....                    | 39 |
| Figura 17 - | Diagrama simplificado de uma usina termelétrica com combustão externa (a vapor).....                | 40 |
| Figura 18 - | Sistema de energia solar.....   | 41 |
| Figura 19 - | Quantidade de EPs por base de busca.....  | 49 |
| Figura 20 - | Números de estudos aceitos, rejeitados e duplicados na etapa de seleção....                         | 49 |
| Figura 21 - | Números de estudos aceitos e rejeitados na etapa de extração.....                                   | 50 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 22 - | Gráfico geral da RSL.....                           | 51 |
| Figura 23 - | Números de publicação por ano.....                  | 51 |
| Figura 24 - | Números de publicação por base de busca.....        | 52 |
| Figura 25 - | Quantidade de trabalhos por assuntos abordados..... | 53 |

## LISTA DE TABELAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Tabela 1 -  | Geração de RSU no Brasil e regiões - comparativo 2021 e 2022.....  | 28 |
| Tabela 2 -  | Coleta de RSU no Brasil e regiões - comparativo 2021 e 2022.....   | 28 |
| Tabela 3 -  | Disposição final de RSU no Brasil em 2022.....   | 30 |
| Tabela 4 -  | Gastos com a gestão de RSU pela prefeitura de Belém (2016-2018) .....  | 42 |
| Tabela 5 -  | Quantidade total de resíduo sólido domiciliar e resíduo sólido público coletada pelo agente público (tonelada/ano), no município de Belém, no período de 2012 a 2018.....                        | 43 |
| Tabela 6 -  | Quantidade total de resíduo sólido domiciliar e resíduo sólido público coletada pelos agentes coletores da coleta seletiva (tonelada/ano), no município de Belém, no período de 2012 a 2018..... | 43 |
| Tabela 7 -  | Quantidade total de materiais recicláveis recuperados, no município de Belém, no período de 2012 a 2018.....   | 44 |
| Tabela 8 -  | Palavras chaves utilizadas para a busca nas bases de dados definidas .....   | 46 |
| Tabela 9 -  | <i>String</i> utilizada nas buscas.....  | 47 |
| Tabela 10 - | Tabela de extração dos 25 trabalhos selecionadas na RSL.....   | 53 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| ABIB    | Associação brasileira das indústrias de biomassa bioenergia               |
| ABNT    | Associação brasileira de normas técnicas                                  |
| ABRELPE | Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais |
| ABREN   | Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos               |
| ANEEL   | Agência nacional de energia elétrica                                      |
| BDTD    | Biblioteca digital brasileira de teses e dissertações                     |
| CA      | Corrente alternada  |
| CAPES   | Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior               |
| CC      | Corrente contínua   |
| CCEE    | Câmara de comercialização de energia elétrica                             |
| CEMIG   | Companhia energética de Minas Gerais                                      |
| CEMPRE  | Compromisso empresarial para reciclagem                                   |
| EPE     | Empresa de pesquisa energética  |
| EPs     | Estudos primários   |
| GW      | Gigawatts   |
| IBGE    | Instituto brasileiro de geografia e estatística                           |
| MDL     | Mecanismo de desenvolvimento limpo  |
| MDR     | Ministério do desenvolvimento regional                                    |
| MMA     | Ministério do meio ambiente   |
| NBR     | Norma brasileira  |

|        |  |
|--------|--|
| ONS    | Operador nacional do sistema                                       |
| ONU    | Organização das nações unidas                                      |
| PEAD   | Polietileno de alta densidade                                      |
| PEGIRS | Plano estadual de gestão integrada de resíduos sólidos             |
| PLS    | Projeto de lei do senado   |
| PMGIRS | Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos            |
| PNRS   | Política nacional de resíduos sólidos                              |
| QP     | Questões principais  |
| QS     | Questões secundárias   |
| RDO    | Resíduos sólidos domiciliares                                      |
| RDU    | Resíduos sólidos públicos  |
| RSL    | Revisão sistemática de literatura                                  |
| RSU    | Resíduos sólidos urbanos   |
| SINIR  | Sistema nacional de informação sobre a gestão dos resíduos sólidos |
| SNIS   | Sistema nacional de informações sobre saneamento                   |
| SNS    | Sistema nacional de saneamento                                     |

## SUMÁRIO

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>   | 15 |
|          | <b>1.1 Justificativa</b>  | 16 |
|          | 1.1.1 Objetivo geral  | 17 |
|          | 1.1.2 Objetivos específicos   | 17 |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>  | 18 |
|          | <b>2.1 Resíduos sólidos urbanos</b>                                   | 18 |
|          | 2.1.1 Classificação dos resíduos sólidos urbanos                      | 18 |
|          | <b>2.2 Resíduos sólidos urbanos: tratamento e destinação</b>          | 20 |
|          | 2.2.1 Coleta Seletiva   | 20 |
|          | 2.2.2 Aterros sanitários  | 21 |
|          | 2.2.2.1 Funcionamento do aterro sanitário                             | 22 |
|          | 2.2.3 Lixões  | 23 |
|          | <b>2.3 Política nacional dos resíduos sólidos</b>                     | 25 |
|          | <b>2.4 Contexto atual dos RSU no Brasil</b>                           | 27 |
|          | <b>2.5 Matriz energética e elétrica mundial e brasileira</b>          | 30 |
|          | <b>2.6 Principais fontes de geração de energia elétrica no Brasil</b> | 34 |
|          | 2.6.1 Hidrelétricas   | 34 |
|          | 2.6.2 Eólica  | 35 |
|          | 2.6.2 Biomassa  | 36 |
|          | 2.6.2 Solar   | 41 |
|          | <b>2.7 Dados sobre a cidade de Belém do Pará</b>                      | 42 |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b>  | 44 |
|          | <b>3.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL)</b>                    | 44 |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>  | 50 |
|          | <b>4.1 Dados extraídos na revisão sistemática da literatura</b>       | 50 |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO</b>  | 60 |



## 1 INTRODUÇÃO

A busca por exploração dos recursos naturais, o aumento populacional, a urbanização, o alto crescimento da economia e das indústrias têm causado um grave aumento no montante de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) descartados erroneamente na natureza (CARDOSO *et al.*, 2020). O lixo acaba se tornando um bom indicador do desenvolvimento de um país, já que quanto mais economia possui, mais lixo irá produzir (GOMES, 2018).

Ao se tratar do Brasil, é notório verificar um grande problema sanitário, ambiental, social e de saúde pública, já que o descarte, o manejo correto e a coleta seletiva de RSU, são soluções difíceis para a sociedade. Diversos têm sido os problemas causados por esse aumento da geração de RSU, como por exemplo, o custo para coletar e tratar o lixo, dificuldade de encontrar um bom local para a disposição final e o desperdício de matérias-primas (CARDOSO *et al.*, 2020).

Quando se trata de abordar questões relacionadas aos resíduos sólidos urbanos, a reciclagem surge como a solução ambientalmente mais sustentável. Ao implementar práticas de reciclagem na gestão de resíduos sólidos, não só contribuirá para a conservação dos recursos naturais, como também reduzirá efetivamente o volume de resíduos e mitigará a poluição do ar e da água. Além disso, a reciclagem desempenha um papel crucial na economia de energia e de água na produção (GOMES, 2018).

O reconhecimento dos RSU como fonte viável de geração de eletricidade é um avanço significativo na busca de soluções sustentáveis na indústria de energia elétrica. Através da conversão de lixo em energia, pode-se diminuir a quantidade de resíduos em aterros, e também diminuir as emissões de gases de efeito estufa, reduzindo assim o impacto ambiental. Este processo de conversão, normalmente conseguido através de incineração ou digestão anaeróbica, pode fornecer uma fonte renovável de eletricidade limpa, complementando a rede energética tradicional. Um excelente exemplo de tal sistema é a Usina de Biogás de Macaé, que gera eletricidade a partir de resíduos orgânicos, proporcionando um duplo benefício tanto para o fornecimento de energia quanto para o meio ambiente (PREFEITURA DE MACAÉ, 2022).

## 1.1 Justificativa

O rápido crescimento da urbanização e da população levou a um aumento significativo na produção de resíduos sólidos urbanos nas cidades em todo o mundo. No entanto, o problema em questão vai além do mero aumento de geração de resíduos; também implica a necessidade urgente de abordagens sustentáveis e inovadoras para enfrentar este desafio ambiental e energético. Diante disso, a geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos surgiu como a solução promissora, oferecendo um meio de mitigar as consequências ambientais associadas ao gerenciamento inadequado de resíduos e, simultaneamente, contribuir para a matriz energética.

Visto tudo isso, a cidade de Belém, capital do estado do Pará, possui uma população de 1.303.403 pessoas, em 2022, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, em 2018, foram coletadas 709.492,00 toneladas de resíduo sólido domiciliar e resíduo sólido público no município (IBGE, 2023).

Além disso, a cidade de Belém sediará a 30ª Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP-30), em novembro de 2025. Dessa forma, o governo federal e estadual, buscam apresentar a cidade como modelo de sustentabilidade, e conseqüentemente minimizar o impacto do lixo no meio ambiente, tratando esse resíduo para o aproveitamento na geração de energia elétrica (GOV, 2023).

Por fim, faz-se necessário uma revisão da literatura, a qual deve trazer dados sobre como são tratados os resíduos sólidos, a quantidade de resíduos produzidos, como eles podem ser aproveitados na geração de energia elétrica, e principalmente se existem algum mecanismo aplicável para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O propósito desse estudo foi conduzir uma revisão sistemática da literatura sobre o potencial energético de Belém do Pará na geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Realizar um levantamento da situação atual dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados no Brasil e em Belém do Pará;
- Apresentar as principais fontes de geração de energia elétrica no Brasil;
- Realizar uma revisão sistemática da literatura acerca dos mecanismos utilizados na produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos na cidade de Belém – Pará.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Quando um material chega ao fim de sua utilidade, o mesmo se torna um resíduo (NAZAROFF; ALVAREZ COHEN, 2001). Conforme a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira (NBR) 10.004/2004, define resíduos sólidos “como sendo aqueles no estado sólido e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição e agrícola”. Já a Lei Federal 12.305/2010, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), infere resíduos sólidos como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, Art. 3, inc. XVI).

#### 2.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo a ABNT, por meio da norma NBR 10.004 (2004), estabelece a classificação dos lixos quanto sua origem:

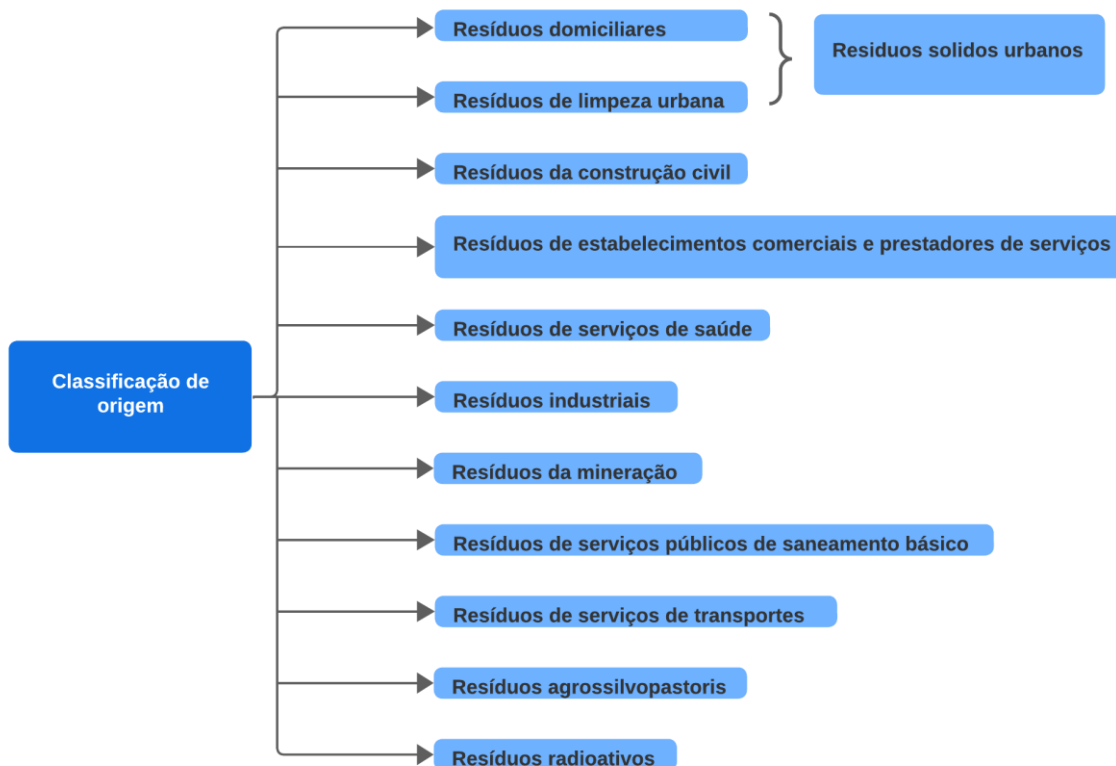
Doméstico: gerado basicamente em residências; Comercial: gerado pelo setor comercial e de serviços; Industrial: gerado por indústrias (classe I, II e III); Hospitalares: gerado por hospitais, farmácias, clínicas, etc.; Especial: podas de jardins, entulhos de construções e animais mortos (NBR 10.004, ABNT, 2004, p.2).

Há também a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco de contaminação que eles trazem ao meio ambiente e a saúde pública quando são eliminados de forma errônea (ABNT, 2004).

- Resíduos Classe 1 (perigosos) – são os que podem trazer riscos graves ao meio ambiente e a saúde pública, por exemplo: lixos tóxicos, corrosivos, radioativos, inflamáveis ou patogênicos.
- Resíduos Classe 2 A (não perigosos e não inertes) – são aqueles que não apresentam as características dos perigosos, porém, possuem características de solubilidade em água (acima dos padrões estabelecidos pela norma da ABNT), havendo dessa maneira a chance de reação com o meio ambiente, ocasionando risco de poluição.
- Classe 2 B – (não perigoso e inerte) – são aqueles que não possuem riscos ao meio ambiente, ou seja, que não tem constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade da água.

A Figura 1 apresenta a classificação de origem dos resíduos, destacando que os resíduos sólidos urbanos são provenientes dos resíduos domiciliares e da limpeza urbana.

**Figura 1** – Classificação de origem dos resíduos



Fonte: Brasil (2010a 2010b).

## **2.2 Resíduos Sólidos Urbanos: Tratamento e Destinação**

Segundo Pavan (2010), a má gestão dos RSU pode representar riscos significativos para as comunidades, levando a problemas de saúde pública e degradação ambiental. Dessa forma, entende-se a necessidade de um gerenciamento dos RSU, desde a sua coleta, até o seu destino final. Medidas sanitárias como coleta, transporte e descarte adequado, desempenham um papel fundamental como componentes integrantes do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos (OLIVEIRA, 2022).

### **2.2.1 Coleta Seletiva**

De acordo com Ribeiro e Besen (2007, p.4):

“a coleta seletiva consiste na separação de materiais recicláveis, como plásticos, vidros, papéis, metais e outros, nas várias fontes geradoras – residências, empresas, escolas, comércio, indústrias, unidades de saúde –, tendo em vista a coleta e o encaminhamento para a reciclagem.”

Sendo assim, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a coleta seletiva é uma coleta específica, de resíduos que são previamente separados, levando em consideração sua constituição ou composição (MMA, 2023).

Para Roriz e Castro (2011, p. 7) “reciclagem é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os detritos e reutilizá-los no ciclo de produção de que se saíram”. Esse processo traz como benefícios: a conservação dos recursos naturais, a mitigação da poluição do ar e da água, a diminuição dos resíduos enviados para aterros e a promoção do crescimento do emprego através do estabelecimento de instalações de reciclagem (CUNHA; FILHO, 2002).

Quanto ao sistema de coleta seletiva, em 2021 o número de municípios que apresentavam alguma iniciativa de coleta seletiva foi de 75,1% do total de municípios existentes no país. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022), na maioria das vezes, esses esforços se concentram no estabelecimento de pontos de coleta voluntária ou na formalização de convênios com cooperativas de catadores para a realização dos serviços necessários.

Em 2022, o Brasil produziu 224 mil toneladas de RSU por dia. Desse montante, 61% é destinado a aterros sanitários, e 39% são lançados em áreas de disposição inadequada, incluindo

lixões e aterros controlados. O Brasil produz uma quantidade alta de lixo, quando comparado com os países de primeiro mundo, porém possui um tratamento e aproveitamento desse lixo, como um país de classe baixa (ABRELPE, 2022).

Há alguns materiais que não podem ser reciclados, como por exemplo: etiqueta adesiva, papéis plastificados, fita adesiva, isolante, papel de fax, tachinhas, clipes. Além desses, outros dejetos ficam de fora do processo de reciclagem por ter sofrido alguma contaminação, por exemplo: guardanapos, papéis sanitários, papéis sujos, copos de papel, filtro de cigarros, etc. O local adequado para o recebimento desses materiais, são os aterros sanitários (ROCHA; LUSTOSA, 2017).

### 2.2.2 Aterros Sanitários

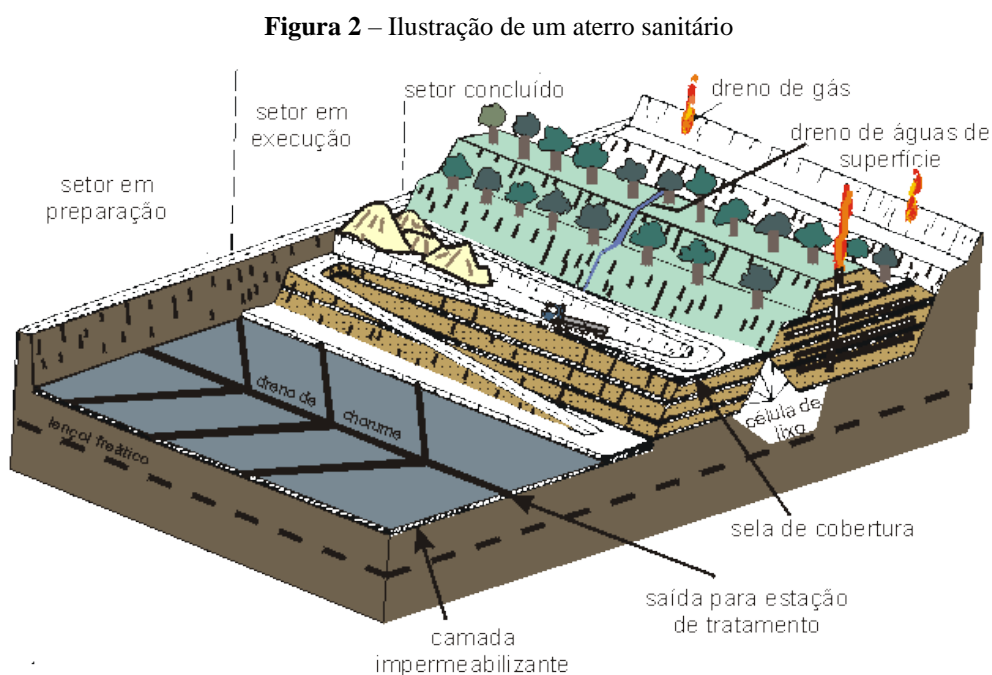
O aterro sanitário é um método utilizado para a disposição de RSU no solo, baseado em critérios de engenharia e procedimentos operacionais, não só garantindo a contenção segura de resíduos, mas também o controle da poluição ambiental. Isso, por sua vez, protege a saúde pública e minimiza o impacto no meio ambiente em comparação ao causado por lixões a céu abertos e aterros controlados (SOARES; MIYAMARU; MARTINS, 2017). Porém, é normal encontrar materiais que poderiam ser reciclados sendo descartado nos aterros sanitários, já que a coleta seletiva não é feita de maneira correta no Brasil (GOMES, 2018).

Para a inserção de novos aterros sanitários devem ser realizados estudos geológicos e topógrafos com o intuito de verificar a condição do solo onde será instalado o aterro sanitário. Para isso, há normas que definem os requisitos para que seja inserido um aterro sanitário, levando em consideração a necessidade de haver um controle do tipo do lixo e da quantidade, possuir sistemas de proteção ao meio ambiente e monitoramento ambiental (LANZA; CARVALHO, 2006).

A legislação ambiental brasileira exige um diagnóstico de todos os resíduos (Gravimetria dos resíduos) antes que estes sejam destinados à uma disposição final. Normalmente esse diagnóstico deve constar em um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e ser atualizado mensalmente. As informações sobre os resíduos devem então ser repassadas pelo poder público municipal ao Governo Federal onde serão cadastrados no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, SINIR (PORTAL SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

### 2.2.2.1 Funcionamento do aterro sanitário

Na Figura 2, podem-se observar, em uma configuração geral, a ilustração de um aterro sanitário, que se divide em três setores: setor de preparação, setor de execução e setor concluído.



Fonte: Unesp (2023).

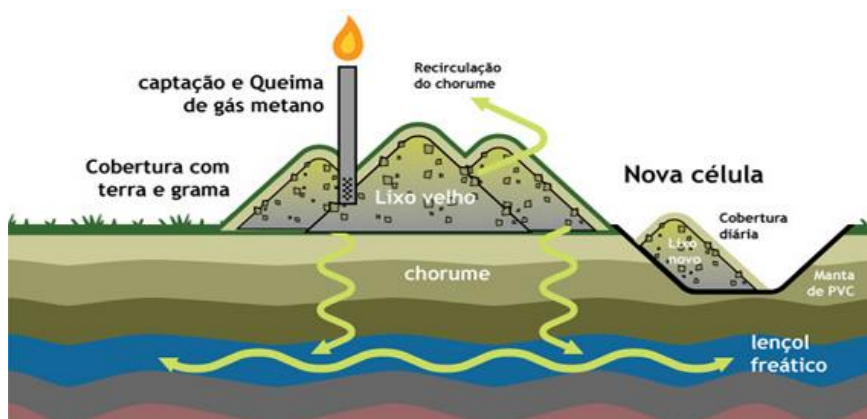
No setor de preparação, são realizadas obras com o objetivo de impermeabilizar o terreno, para depois receber a carga de lixo. Essa impermeabilização é feita utilizando manta de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), com o intuito de garantir uma separação eficaz da disposição de resíduos do subsolo; também nesse setor acontece as atividades de dreno para captação do chorume (ou percolato) para conduzi-lo ao tratamento (MANHAGO, 2008).

O setor de execução é a área onde o lixo é colocado. Nesse setor, baseando-se nas características dos resíduos, faz-se a separação deles. Como existem resíduos que geram chorume, eles devem ser revestidos por uma camada selante. Nos aterros sanitários, há piscinões que recebem os chorumes por meio de redes de cano, para enfim terem o tratamento adequado. Além disso, para evitar contaminação devido ao excesso de lixo, faz-se necessário acrescentar outra camada de impermeabilização a cada 5m de lixo no aterro. Outrossim, quando um setor atinge sua capacidade máxima de disposição, os resíduos são transferidos para outro

setor. Por fim, o setor de conclusão é o local em que os trabalhos referentes à destinação final do lixo, já foram concluídas. Estas, são destinadas a revegetação e recuperação do talude do aterro sanitário (MANHAGO, 2008; GOMES, 2018).

Os aterros sanitários são conhecidos por sua eficácia quanto a diminuição da poluição ao meio ambiente. Outro que surge, são os aterros controlados, representado na Figura 3, que são bem inferiores a eficácia possibilitada pelos aterros sanitários, tendo em vista que não ocorre o processo de impermeabilização do solo, e em alguns casos não há drenagem do líquido percolado (termo usado para caracterizar a mistura entre o chorume, resultado da decomposição do lixo, e a água de chuva que percola o aterro). Além disso, os gases produzidos pela decomposição da matéria orgânica, não são captados (SOUZA, 2015).

**Figura 3** – Exemplo de um aterro controlado



Fonte: InfoEnem (2015).

Segundo Souza (2015, p. 23):

“a simples descarga do lixo a céu aberto sem levar em consideração: a área em que está sendo feita a descarga, a percolação dos líquidos derivados da decomposição do lixo, a liberação de gases para a atmosfera e a proliferação de insetos, roedores e outros animais resultam em lixões ou vazadouros.”

### 2.2.3 Lixões

Para o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2019, p.13), “lixão é um local onde ocorre a disposição indiscriminada de resíduos sólidos no solo, com nenhuma, ou no máximo, algumas medidas bem limitadas de controle das operações e de proteção ao meio ambiente.”

Conseqüentemente, acarretando problemas à saúde pública, conforme Lanza e Carvalho (2006, p.8):

“os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, entre outros), geração de odores desagradáveis e, principalmente, poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume – líquido de coloração escura, mal cheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos.”

A Figura 4, apresenta informações baseadas no ano de 2020, segundo estudo realizado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Dessa forma, percebe-se que, ainda existem municípios brasileiros que se utilizam de lixões, como forma de descarte dos resíduos.

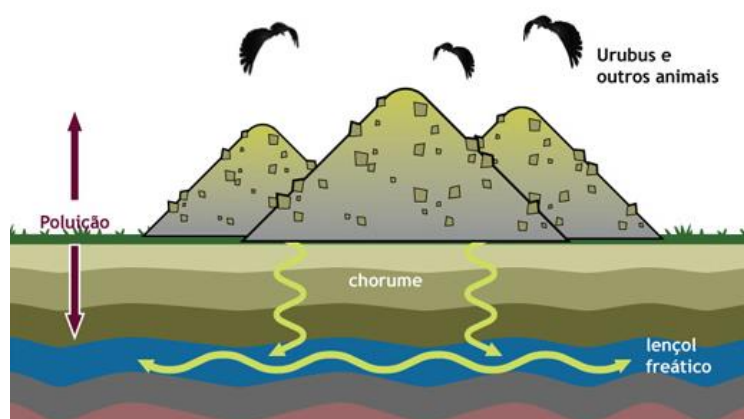
**Figura 4** – Estimativa de disposição final de RSU (RDO + RPU) no solo



Fonte: Ministério do Desenvolvimento Regional (2021).

A Lei Federal nº 9.605/98, em seu art. 54, infere que, causar poluição de qualquer natureza pelo descarte dos resíduos sólidos em desarmonia com a lei e regulamentos é considerado crime ambiental. Outrossim, por não haver uma destinação final adequada, muitos dos municípios brasileiros despejam seus resíduos sólidos em lixões, os quais não possuem qualquer tipo de tratamento para inibir ou mitigar os efeitos da poluição (CUNHA; FILHO, 2002). Na Figura 5, verifica-se a disposição desordenada dos resíduos e a presença de urubus, o que também é uma realidade dos lixões brasileiros.

**Figura 5** – Exemplo de um lixão



Fonte: Info Enem (2015).

Para que haja o fechamento de um lixão, desafios sociais e políticos surgem, pois ainda há a existência de muitos catadores vivendo ao redor dessas áreas, o que ocasionaria um conflito violento, em resposta ao fechamento de um lixão (CEMPRE, 2018). Além do mais, para que haja essa mudança do uso de lixões a céu aberto para aterros sanitários, é primordial que haja investimentos e recursos para a manutenção (MINÉU, 2017).

Para que seja minimizado esse problema ambiental, o Ministério do Meio Ambiente lançou o Programa Nacional Lixão Zero, onde procura atender à diretriz federal, buscando eliminar os lixões que ainda existem, e contribuir com os municípios por meio de melhores soluções para a destinação final dos resíduos sólidos (MMA, 2019).

### 2.3 Política Nacional dos Resíduos Sólidos

Em 2010, por meio da Lei Federal nº 12.305/10, regulamentada através do Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, estabeleceu-se a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), a qual por meio de suas diretrizes, estipulou o conteúdo mínimo para a criação do Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS). E essa, por meio de suas diretrizes, deixa por responsabilidade de cada município a criação do seu próprio Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) (CARDOSO *et al.*, 2020).

A lei apresenta que os geradores desses resíduos sólidos se tornam responsáveis pelo destino do lixo, isto é, os comerciantes, cidadãos, fabricantes, importadores e distribuidores

precisam compartilhar e ter a responsabilidade sobre os ciclos dos seus produtos, e consequentemente aplicar a logística reversa (GOMES, 2018).

A logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (SINIR-2010).

Ainda em 2010, foi instituído o fechamento dos lixões para 2 de agosto de 2014, ou seja, começando dessa data, a destinação final dos resíduos precisaria ser em um local nas condições estabelecidas por lei. Porém, em 2015, a pedido dos prefeitos e entidades representativas, o Senado Federal prolongou o prazo, aprovando o Projeto de Lei do Senado (PLS) nº 425/2014. Esse projeto previa prazos diferentes, levando em consideração a realidade de cada município, ou seja, as capitais e regiões metropolitanas tiveram até 31 de julho de 2018 para se adaptarem. Além disso, baseado no Censo de 2010, os municípios de fronteira e também os que possuem mais de 100 mil habitantes, tiveram o prazo até 2019. Já as cidades com 50 a 100 mil habitantes, o prazo foi de 31 de julho de 2020. Por fim, os municípios com menos de 50 mil habitantes, o prazo foi de 31 de julho de 2021 (MDR, 2021).

Ainda assim, foi estendido o prazo mais uma vez, conforme o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), por meio da Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) (2021, p. 203):

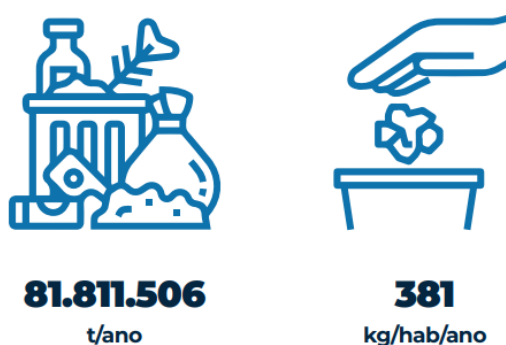
“Em junho de 2020 foi sancionada pelo Governo Federal a Lei nº 14.026/2020, que atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. Dentre as alterações propostas, no que compete a questão dos resíduos sólidos urbanos, o Projeto altera a Lei Federal nº12.305/2010 ao estender – mais uma vez – os prazos da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, com finalidade de aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no país.”

Dessa forma, até o ano de 2021, as regiões metropolitanas e capitais, precisavam se estruturar e construir rotas tecnológicas para cumprirem o prazo. Entretanto, os municípios com menos de 50 mil habitantes, possuem o prazo até 2024 (MDR, 2021).

## 2.4 Contexto Atual dos RSU no Brasil

Por meio de dados e informações confiáveis, pode-se realizar uma boa avaliação sobre o tratamento que é feito aos RSU no Brasil (GOMES, 2018). Dessa forma, dados amplos e confiáveis de 2022 são fornecidos pela ABRELPE para o Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos no Brasil, o qual apresenta a autenticidade atual da gestão dos RSU no Brasil. A Figura 6 apresenta a quantidade de geração de RSU no Brasil durante o ano de 2022, destacando um total de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas, o que condiz a 224 mil toneladas diárias (ABRELPE, 2022).

**Figura 6** – Geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano)



Fonte: Abrelpe (2022).

A seguir, a Tabela 1 mostra um comparativo sobre a geração de RSU no Brasil e regiões entre os anos de 2021 e 2022, onde observa-se uma diminuição do montante de RSU gerados no país. Existem vários fatores potenciais que podem explicar esse fenômeno. Uma possibilidade é o surgimento de novas dinâmicas sociais, levando ao aumento da produção de resíduos nas empresas, instituições de ensino e escritórios. Além disso, a diminuição da dependência de serviços de entrega durante esse período, em comparação com o auge do isolamento social, também contribuiu para a tendência observada. Por fim, flutuações no poder aquisitivo de certos segmentos da população podem impactar ainda mais a geração de resíduos (ABRELPE, 2022).

**Tabela 1** - Geração de RSU no Brasil e regiões - comparativo 2021 e 2022

| Região        | 2021                  | 2022                  |
|---------------|-----------------------|-----------------------|
|               | Geração total (t/ano) | Geração total (t/ano) |
| Norte         | 6.177.019             | 6.173.684             |
| Nordeste      | 20.365.442            | 20.200.385            |
| Centro-Oeste  | 6.184.989             | 6.127.414             |
| Sudeste       | 41.034.420            | 40.641.166            |
| Sul           | 8.902.343             | 8.668.857             |
| <b>Brasil</b> | <b>82.664.213</b>     | <b>81.811.506</b>     |

Fonte: Adaptada Abrelpe (2022).

Com relação à coleta de RSU, a Tabela 2 apresenta que, no ano de 2022 o país documentou uma soma acumulada de 76,1 milhões de toneladas de RSU coletados, resultando em uma taxa de cobertura de coleta de 93%. Ressalta-se que, as regiões Norte e Nordeste continuam girando em torno de 83%, deixando uma parcela significativa da população dessas áreas sem acesso consistente aos serviços de coleta de RSU (ABRELPE, 2022).

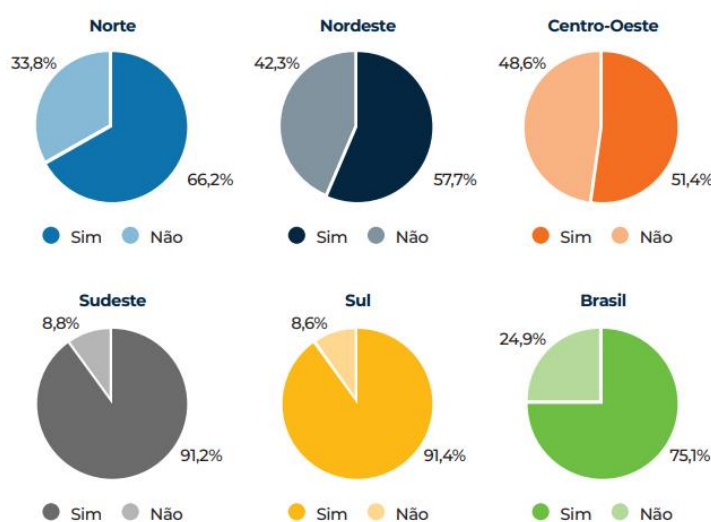
**Tabela 2** - Coleta de RSU no Brasil e regiões - comparativo 2021 e 2022

| Região        | 2021                 | 2022                 |
|---------------|----------------------|----------------------|
|               | Coleta total (t/ano) | Coleta total (t/ano) |
| Norte         | 5.058.979            | 5.110.575            |
| Nordeste      | 16.699.662           | 16.705.718           |
| Centro-Oeste  | 5.844.815            | 5.821.043            |
| Sudeste       | 40.317.887           | 40.072.190           |
| Sul           | 8.564.054            | 8.408.791            |
| <b>Brasil</b> | <b>76.485.397</b>    | <b>76.118.317</b>    |

Fonte: Adaptada Abrelpe (2022).

O ano de 2021 registrou um total de 4.183 municípios implementando iniciativas de coleta seletiva, o que representa 75,1% de todos os municípios do país, conforme apresentado na Figura 7. Esse número representa um pequeno aumento em relação ao ano anterior, 2020. Vale ressaltar, porém, que em muitos municípios a coleta seletiva continua incompleta, atingindo apenas alguns segmentos da população. Isso indica que tais iniciativas são localizadas e ainda não abrangentes. As regiões Sul e Sudeste dominam o percentual de municípios que possuem iniciativas de coleta seletiva, sendo que mais de 90% dos municípios dessas regiões realizam algum tipo de gestão seletiva de resíduos (ABRELPE, 2022).

**Figura 7** - Distribuição dos municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil e regiões (%) em 2021



Fonte: Abrelpe (2022).

A disposição final é uma opção viável para a destinação final dos resíduos, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). No entanto, a adesão estrita às diretrizes operacionais é crucial para evitar qualquer dano ou perigo ao bem-estar e segurança pública, bem como para mitigar as consequências ambientais negativas. No Brasil, a maioria dos resíduos sólidos urbanos (61%) ainda é transportada para esse fim (ABRELPE, 2022).

No ano de 2022, um total de 46,4 milhões de toneladas de resíduos foram destinados a aterros sanitários, garantindo o manejo ambiental adequado. No entanto, é importante notar que ainda existem áreas em todas as regiões do país onde persistem práticas inadequadas de disposição de resíduos. Essas áreas incluem lixões e aterros controlados, que responderam por

39% do total de resíduos coletados, totalizando 29,7 milhões de toneladas que tiveram destinação inadequada (ABRELPE, 2022).

Na Tabela 3 são apresentados os dados de cada região brasileira sobre a disposição adequada e inadequada de resíduos sólidos. Com isso, verifica-se que, as regiões Norte e Nordeste apresentam o maior índice de disposição inadequada de resíduos sólidos.

**Tabela 3** – Disposição final de RSU no Brasil em 2022

| Região        | Disposição adequada |              | Disposição inadequada |              |
|---------------|---------------------|--------------|-----------------------|--------------|
|               | t/ano               | %            | t/ano                 | %            |
| Norte         | 1.870.470           | 36,6%        | 3.240.105             | 63,4%        |
| Nordeste      | 6.214.527           | 37,2%        | 10.491.191            | 62,8%        |
| Centro-Oeste  | 2.532.762           | 43,5%        | 3.288.281             | 56,5%        |
| Sudeste       | 29.773.638          | 74,3%        | 10.298.552            | 25,7%        |
| Sul           | 6.020.694           | 71,6%        | 2.388.097             | 28,4%        |
| <b>Brasil</b> | <b>46.412.091</b>   | <b>61,0%</b> | <b>29.706.226</b>     | <b>39,0%</b> |

Fonte: Abrelpe (2022).

## 2.5 Matriz Energética e Elétrica Mundial e Brasileira

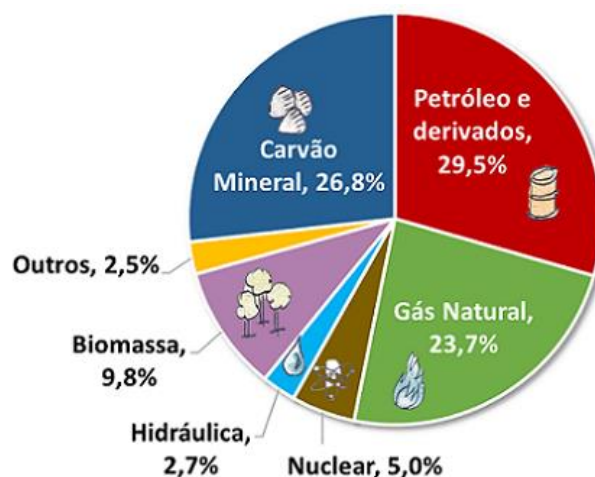
Conforme afirma Moreira *et al.* (2021), a matriz energética fornece uma visão geral da real alocação dos recursos energéticos em um país, região ou mundo, e abrange a gama completa de fontes de energia acessíveis para diversos fins, como alimentar veículos, cozinhar refeições e gerar eletricidade.

É importante não confundir matriz energética com matriz elétrica, pois essa última diz respeito apenas a produção, consumo e demanda de energia elétrica dentro de uma área geográfica específica. Conseqüentemente, a matriz elétrica representa um subconjunto da matriz energética mais ampla (TAVARES, 2023).

Conforme a Figura 8, a matriz energética mundial compõe-se majoritariamente por recursos não renováveis, como petróleo, carvão mineral e gás natural que aplicados em termelétricas, respondem por 29,5%, 26,8% e 23,7%, respectivamente, da energia total utilizada. A participação da energia nuclear ou atômica é de cerca de 5,0%. Por outro lado, as

energias renováveis, como solar, eólica e geotérmica figuram apenas 2,5% (apresentadas como “outros” no gráfico). Combinada com a energia hidrelétrica e a biomassa, a energia renovável responde por cerca de 15,0% da matriz energética global, conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022).

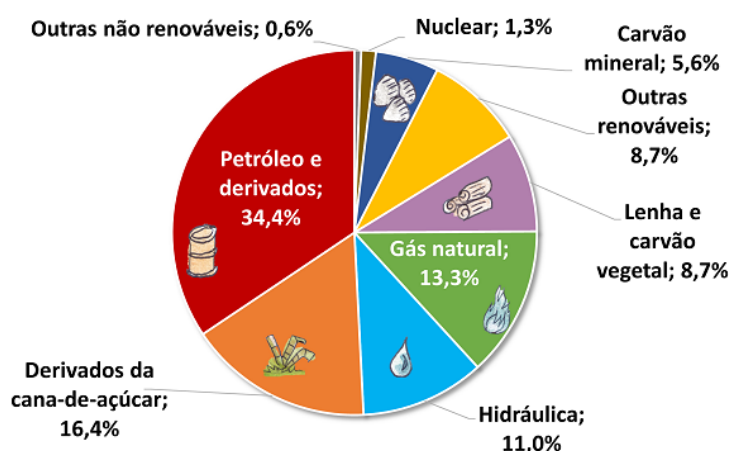
**Figura 8** – Matriz energética mundial 2020



Fonte: EPE (2022).

No Brasil, a maior parte dos recursos energéticos provém de fontes não renováveis, mas as renováveis têm grande participação, como observa-se na Figura 9. Juntos lenha e carvão vegetal possuem (8,7%), hidráulica (11,0%), derivados de cana (16,4%) e outras renováveis (8,7%), as renováveis totalizam 44,8%, quase metade da matriz energética brasileira (EPE, 2022).

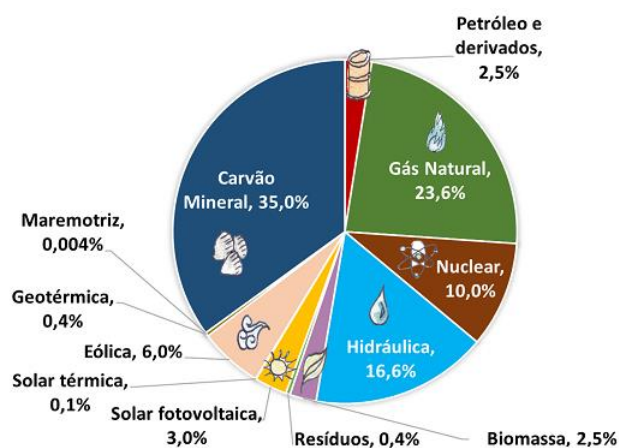
**Figura 9** – Matriz energética brasileira 2021



Fonte: EPE (2022).

No mundo, a utilização do carvão e gás natural em termelétricas representa cerca de 58,9%, ou seja, mais da metade das fontes de geração de eletricidade, como ilustra a Figura 10.

**Figura 10** – Matriz energética mundial 2020

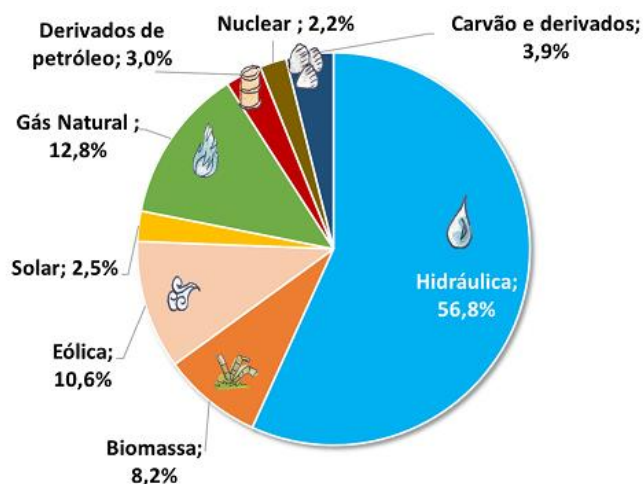


Fonte: EPE (2022).

Esses dados demonstram a dependência mundial da energia elétrica proveniente de fontes térmicas. Por outro lado, os interesses comuns da sociedade têm levado pesquisadores a pesquisar e desenvolver estratégias para usar fontes alternativas de energia renovável, menos poluentes, com o intuito de minimizar o impacto sobre o meio ambiente. Isso se corrobora ao longo dos anos pela maior contribuição das renováveis na matriz energética mundial. Um bom exemplo é o alto crescimento exponencial, desde 2012, do mercado de energia solar (TAVARES, 2023). Em 2021, a capacidade instalada de energia fotovoltaica era cerca de 942 GW, à medida que, em 2019 e 2020 foram, respectivamente, 623 GW e 760 GW (REN21, 2022).

O Brasil se torna um país diferenciado por possuir um potencial energético relevantemente limpo, visto que, a maior parte da energia elétrica gerada vem de usinas hidrelétricas, por volta de 56,8%, como observado na Figura 11 (EPE, 2022).

**Figura 11** – Matriz elétrica brasileira 2021



Fonte: EPE (2022).

Em contrapartida, a dependência demasiada de usinas hidrelétricas torna-se um risco à segurança energética do país, haja vista que, depende-se das condições climáticas. Nos anos de 2020 e 2021, o país registrou uma seca, sendo a maior em 91 anos, atingindo principalmente as regiões Centro-oeste e Sudeste, as quais possuem os principais reservatórios brasileiros (TAVARES, 2023).

De acordo com o site oficial da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), há um crescimento significativo, nos últimos anos, do uso de energia eólica e solar, cooperando para a diminuição da dependência de uma única fonte, e também ajudando a matriz elétrica a ser, em sua maior parte, renovável (TAVARES, 2023). Conforme visto no gráfico da Figura 11, as fontes renováveis refletem 78,1% do que é ofertado de energia elétrica no Brasil (EPE, 2022).

Conforme a EPE: “a geração de energia elétrica no mundo é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas.” (EPE, 2022). Além disso, segundo o site oficial da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE):

Os parques eólicos produziram 8.242 MW médios, volume 27,1% maior do que no ano anterior. Já as usinas solares fotovoltaicas geraram 878 MW médios, montante 29,4% superior. As hidrelétricas, principal fonte de energia do país, entregam 42.462 MW médios para o SIN, quantidade 8,8% menor em relação à 2020, devido ao cenário hídrico desafiador enfrentado pelo país. As térmicas, que ajudaram a garantir o fornecimento nos momentos mais críticos, produziram 16.245 MW médios, alta de 42,5% na comparação anual. (CCEE, 2022).

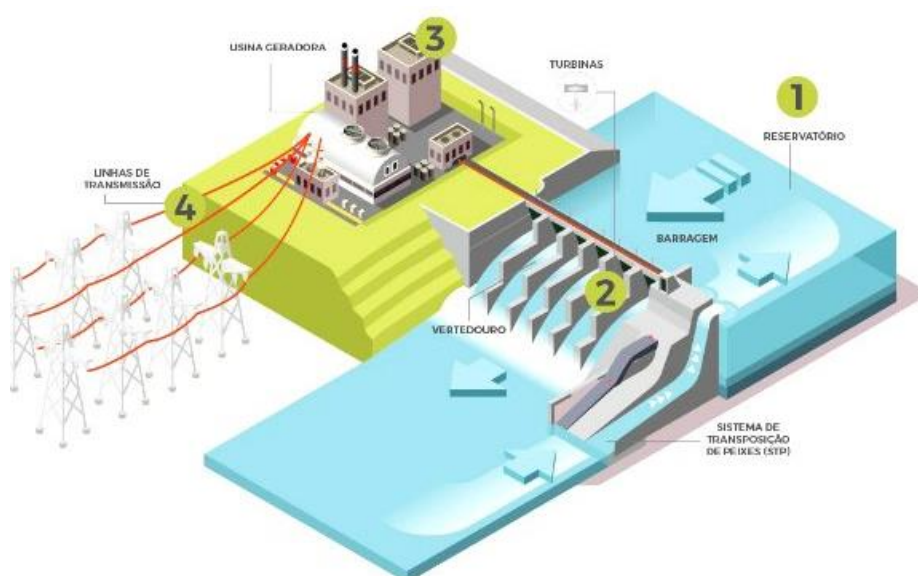
Estudos realizados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), apresentam uma estimativa de que em até 2027, as fontes não renováveis irão aumentar sua porcentagem de participação na matriz elétrica comparado às renováveis. Isso, devido aos novos projetos de novas Usinas Termelétricas (ONS, 2023). Complementando, Khan Academy infere que: “... cerca de 70% da produção mundial de energia provém de termelétricas.” (KHAN ACADEMY, 2023).

## 2.6 Principais Fontes de Geração de Energia Elétrica no Brasil

### 2.6.1 Hidrelétricas

A construção de uma usina hidrelétrica é um processo abrangente e coordenado que engloba vários componentes. Esses componentes incluem o sistema de captação e abastecimento de água, a construção de uma barragem, a casa de força e o vertedouro. O objetivo principal da barragem é interceptar e reter a água, criando um reservatório para armazenamento. Este reservatório garante um fluxo de água consistente e suficiente o rio, independentemente das condições meteorológicas, permitindo a captação de chuvas em volume e cotas ideais. Por sua vez, isso é crucial para a geração de energia hidrelétrica (CEMIG, 2012). A Figura 12 apresenta o esquema e as principais partes das usinas hidrelétricas.

**Figura 12** – Esquema de funcionamento das usinas hidrelétricas



Fonte: Toda Matéria (2023).

O ponto 1 desse processo serve como reservatório, onde toda a água é armazenada antes de ser transformada em energia cinética. Esse acúmulo ocorre quando as comportas do vertedouro (ponto 2) são abertas, permitindo que a água previamente armazenada escoe pelo vertedouro e gere pressão. O processo começa convertendo a energia hidráulica em energia mecânica. Então, no ponto 3, essa energia mecânica é transferida para a turbina hidráulica, que gera energia elétrica. O ponto 4 ilustra as linhas de transmissão que possibilitam a distribuição da energia gerada até chegar à rede de distribuição (GOUVEIA, 2023).

Embora as usinas hidrelétricas sejam classificadas como uma forma de energia renovável e não emitam gases nocivos, sua implantação acarreta consequências ambientais e sociais significativas. Essas, por sua vez, incluem a perda da vegetação natural, o acúmulo de sedimentos nos leitos dos rios, o rompimento de barreiras e a possível extinção de algumas espécies (QUEIROZ *et al.*, 2013).

Com base nos dados de 2023 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em 172 GW, dos quais mais de 60% dessa capacidade já foi utilizada (EPE, 2023). No ano de 2021, o Brasil tinha um total de 219 usinas hidrelétricas de grande porte em operação, e 425 pequenas centrais hidrelétricas, e 739 centrais geradoras hidrelétricas. Vale lembrar que, três usinas instaladas no país, figuram entre as dez maiores do mundo, sendo Itaipu (Binacional), Belo Monte e Tucuruí (BÄHR, 2022).

### 2.6.2 Eólica

A Energia Eólica é o processo na qual envolve a conversão do vento em energia cinética, que posteriormente é transformada em eletricidade através da utilização de equipamentos especializados. A Organização das Nações Unidas (ONU) designou a energia eólica como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e a identificou como uma área chave para investimento na promoção da economia verde (DIANA, 2023).

A partir da década de 1990, a utilização da energia eólica para geração de energia elétrica ganhou importância devido aos notáveis avanços tecnológicos. Isso foi acompanhado por incentivos substanciais impulsionados por considerações ambientais, focando especificamente na redução das emissões de gases de efeito estufa e na promoção da independência energética de nações que não produzem carvão, petróleo ou gás (EPE, 2023).

O processo de geração de energia elétrica a partir do vento envolve várias etapas, conforme ilustrado na Figura 13. No ponto 1, os geradores são equipados com hélices que giram quando o vento passa por elas. Esta rotação é facilitada pelo eixo, conforme indicado no ponto 2 da Figura 13. No movimento das hélices, ocorre o deslocamento do eixo, que o mesmo movimenta o gerador para produzir eletricidade. O transformador é representado no ponto 3, onde transforma a energia gerada em alta tensão. Essa alta tensão é então transmitida pelas linhas de transmissão (ponto 4) até chegar à rede de distribuição e, eventualmente, ao consumidor final (GOMES, 2018).

**Figura 13** – Esquema de funcionamento energia eólica



Fonte: Fontes Renováveis (2014).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, em 2022, o Brasil possuía a capacidade de gerar 22.000 MW de energia proveniente dos ventos, e vale ressaltar que a região Nordeste era responsável por impressionantes 20.000 MW, o que representa mais de 90% da produção nacional nesse segmento. No país, estão em funcionamento 828 parques eólicos, dos quais 725 estão localizados no Nordeste (GOV, 2022).

### 2.6.3 Biomassa

Segundo a EPE (2018), a biomassa energética, que é usada principalmente para fins energéticos, é uma fonte de energia não fóssil essencial que engloba materiais orgânicos derivados de plantas ou animais. Esses materiais contêm energia química armazenada que pode ser utilizada.

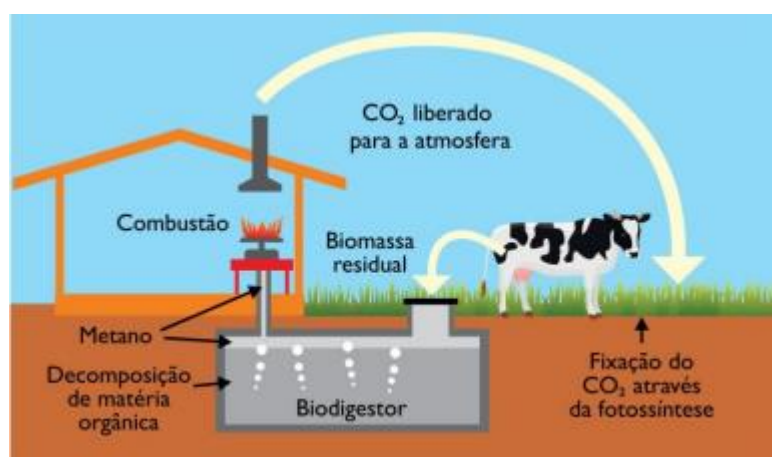
Insumos renováveis derivados de matéria orgânica dentro de ecossistemas animais ou vegetais são referidos como biomassa e podem ser utilizados na geração de eletricidade. É

importante observar que os combustíveis fósseis não se enquadram na categoria de biomassa quando se trata de geração de eletricidade (EDUARDO; MOREIRA, 2010). Para a ANEEL (2005), em questões energéticas, biomassa, no contexto das outorgas no setor elétrico, refere-se a qualquer fonte sustentável derivada de matéria orgânica, que pode vir de animais ou plantas e tem a capacidade de ser utilizada na geração de energia.

Biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em química através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2010).

A razão pela qual a biomassa é classificada como um recurso renovável é devido ao seu papel integral nos processos contínuos e cíclicos da natureza. Conforme ilustrado na Figura 14, as plantas desempenham um papel crucial nesse processo simplificado, aproveitando a energia solar por meio da fotossíntese. Quando queimada, a biomassa armazenada é liberada na forma de calor, resultando na liberação de  $\text{CO}_2$ . As plantas então absorvem esse  $\text{CO}_2$ , completando efetivamente o ciclo do carbono (SULGÁS, 2008).

**Figura 14** – Representação esquemática do ciclo do carbono



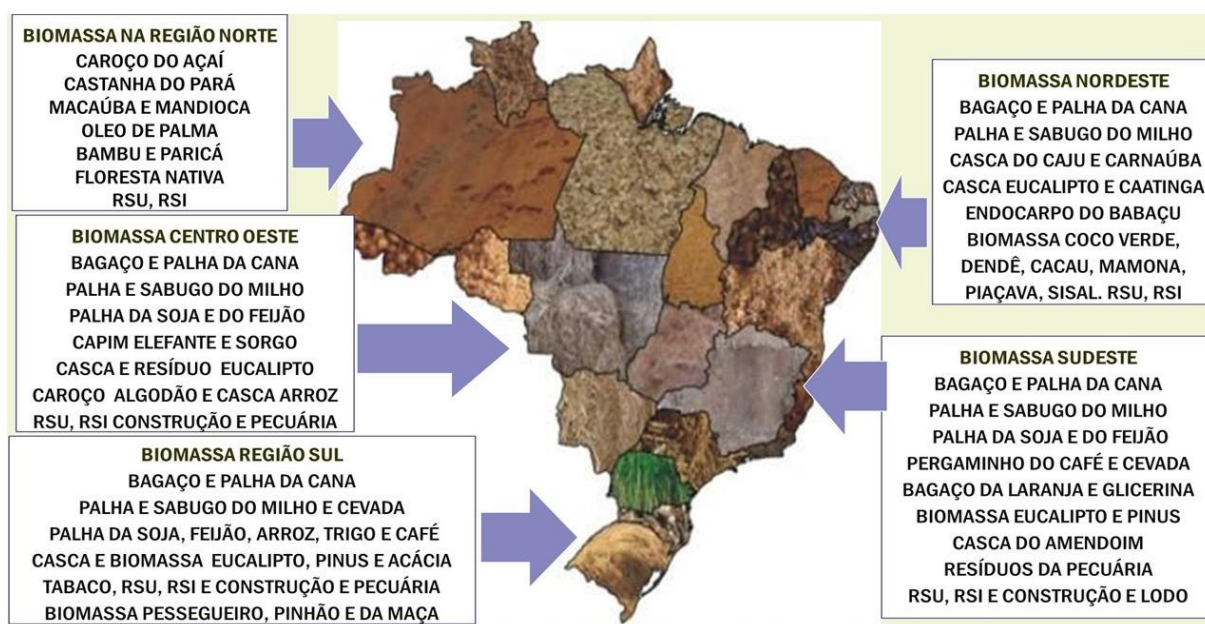
Fonte: SULGÁS (2008).

Quando se trata fonte de biomassa para uso energético, a EPE (2018) a classifica em três grandes categorias: biomassa de energia florestal, que abrange seus produtos, subprodutos e

resíduos; biomassa energética, derivada da agricultura e pecuária, que inclui cultivos agro energéticos, bem como resíduos e subproduto das atividades agropecuárias, agroindustriais e de produção animal; os resíduos urbanos.

A partir do ano de 2020, a adição de biomassa à rede elétrica totalizou aproximadamente 416 MW, o que representa 8,9% da instalação total projetada para todas as fontes de energia do país. De acordo com o relatório do Balanço Energético Nacional de 2022, a biomassa é atualmente a quarta fonte de energia mais utilizada, ficando atrás da energia hidráulica (56,8%), do gás natural (12,8%) e da energia eólica (10,6%) e contribui com cerca de 8,2% para a rede elétrica do país (EPE, 2022). A Figura 15 apresenta um mapa das principais biomassas energética de cada região do Brasil.

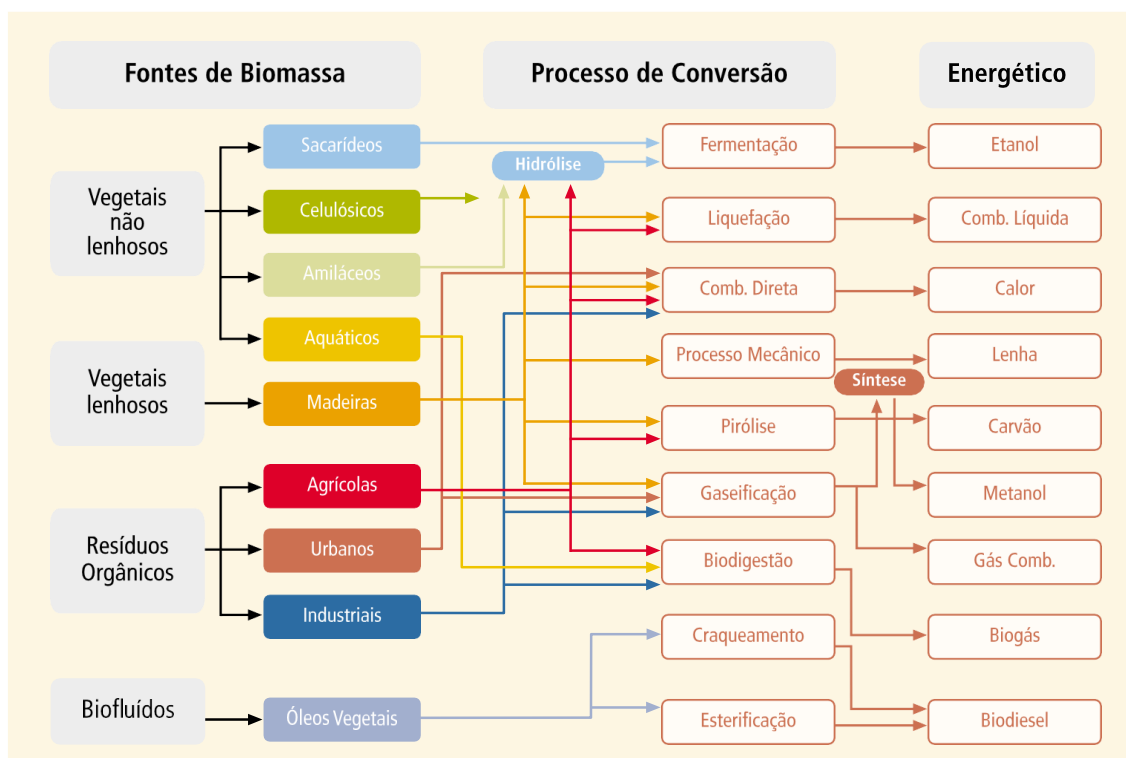
**Figura 15** – Mapa biomassa energética brasileira



Fonte: ABIB (2022).

Para utilizar a biomassa de forma eficaz, vários procedimentos necessários devem ser realizados. Os principais métodos para transformar biomassa em fontes de energia utilizáveis são ilustrados na Figura 16.

**Figura 16** – Representação esquemática dos processos de conversão energética da biomassa



Fonte: ANEEL (2010).

O potencial da biomassa é vasto, pois pode ser utilizado para geração de eletricidade, além de causar um impacto significativo na indústria de transporte por meio da produção de biocombustíveis. Existem inúmeras vantagens em utilizar a biomassa como fonte de energia. Um dos principais benefícios é o baixo custo de aquisição. Além disso, as emissões geradas durante os processos de conversão não contribuem para o efeito estufa, tornando-as significativamente menos nocivas ao meio ambiente quando comparadas às produzidas por combustíveis fósseis (GOMES, 2018).

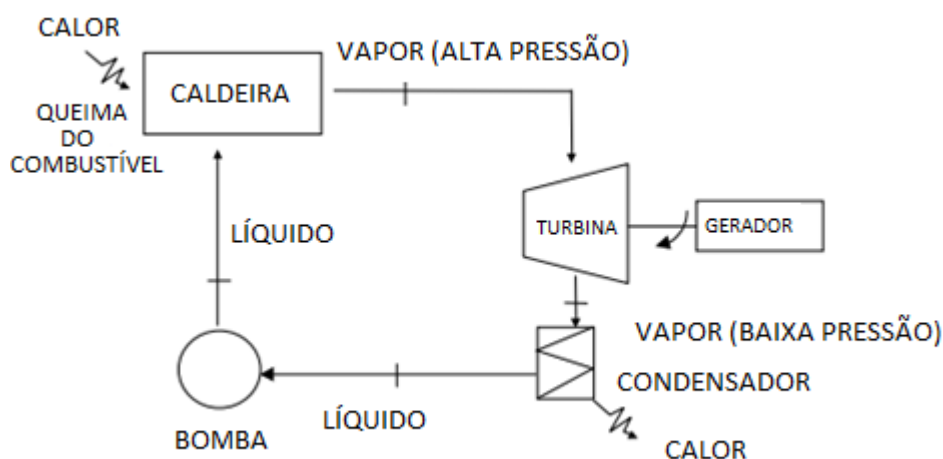
Atualmente tem-se realizado estudos para a substituição dos combustíveis fósseis no processo de geração de energia em termelétricas. Dessa forma, uma alternativa encontrada foi a utilização de biomassa. Conforme apontado por Goldemberg (2007), a utilização de matéria orgânica (biomassa) para geração de energia é uma solução altamente promissora, tanto em escala mundial quanto especificamente no Brasil. É amplamente reconhecida como uma das principais opções para diversificar a Matriz Energética e, assim, diminuir a dependência de combustíveis fósseis. Essa fonte de energia renovável possibilita a extração de energia elétrica a partir de biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol. A maioria dos resíduos gerados pelo

homem tem o potencial de servir como fonte de combustível, que pode ser transformada em energia utilizável por meio das termoelétricas (GOMES, 2018).

O procedimento fundamental das Usinas Termoelétricas envolve a transformação de energia térmica em energia mecânica e, posteriormente, energia mecânica em energia elétrica. Essas usinas operam utilizando o processo de combustão, que envolve a queima de materiais. A combustão pode ser classificada em dois tipos: combustão externa e combustão interna. A combustão externa envolve a utilização de combustível exclusivamente com a finalidade de aquecer o fluido dentro de uma caldeira, normalmente água, que por sua vez gera vapor. Esse vapor então se expande dentro de uma turbina, resultando na produção de trabalho mecânico. Por outro lado, a combustão interna depende de uma combinação de ar e combustível, onde a mistura resultante serve como fluido de trabalho e consiste nos produtos da combustão (LINEU, 2011).

O processo fundamental de uma usina termelétrica com combustão externa é ilustrado na Figura 17. A combustão do combustível produz calor, que é então utilizado para elevar a temperatura do líquido dentro da caldeira, transformando-o em vapor. Este vapor é posteriormente direcionado através de uma turbina a vapor, onde se expande e impulsiona um gerador. Após sair da turbina, o vapor entra em um condensador, onde sofre resfriamento e condensação, resultando na formação de líquido. O líquido é então bombeado de volta para a caldeira, iniciando o ciclo mais uma vez (LINEU, 2011).

**Figura 17** – Diagrama simplificado de uma usina termelétrica com combustão externa (a vapor)



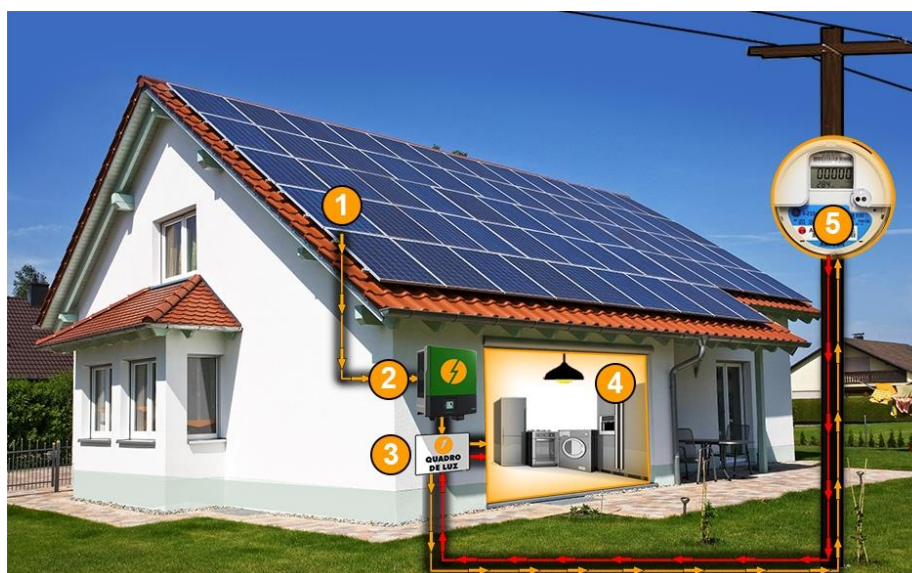
Fonte: LINEU (2011).

#### 2.6.4 Solar

O conceito de energia solar fotovoltaica envolve aproveitar o poder da luz e convertê-lo diretamente em eletricidade. Esse processo é possibilitado pelo efeito fotovoltaico, que gera uma diferença de potencial dentro de uma estrutura de material semicondutor ao absorver a luz. Uma das principais vantagens da geração fotovoltaica é sua versatilidade em termos de localização, principalmente quando se trata de geração distribuída. Além disso, é notável a facilidade de instalação, pois os projetos podem ser executados em um período de tempo relativamente curto (EPE, 2023).

A Figura 18 ilustra o funcionamento de um sistema de energia solar, onde no ponto 1 tem-se os painéis fotovoltaicos, que são responsáveis por captar a radiação solar e converter em energia elétrica no formato de Corrente Contínua (CC); o inversor (ponto 2) realiza a conversão da CC em Corrente Alternada (CA); no ponto 3, a energia vai para o quadro de carga de instalação e é distribuída para atender o consumo do imóvel; no ponto 4, tem-se a energia alimentando os circuitos de iluminação e equipamentos elétricos. Por fim, no ponto 5, a energia excedente é injetada na rede elétrica, gerando créditos (PORTALSOLAR, 2023).

**Figura 18** – Sistema de energia solar



Fonte: PORTALSOLAR (2011).

A utilização de energia solar no Brasil é atualmente mínima, representando apenas 2,5% de sua rede elétrica total. No relatório “Grandes Usinas Solares” realizado pela Greener, um

estudo estratégico revela que até 2020, o Brasil tinha um total de 105 usinas solares em funcionamento. Essas usinas contribuíram com uma capacidade instalada de 2,69 GW, representando apenas 1,7% da produção total de eletricidade do país. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2022, o percentual subiu para 2,5% no ano de 2021. Notadamente, os estados da Bahia, Minas Gerais, Piauí e Ceará ocupam destaque entre os estados com maior potência em operação (TAVARES, 2023).

## 2.7 Dados Sobre a Cidade de Belém do Pará

Belém é a capital do estado do Pará e é um polo central das Regiões de Integração Metropolitana. Em 2022, segundo o IBGE, a população de Belém era de 1.303.403 pessoas, e com renda per capita de R\$ 20.562,10, em 2020. O município abrange uma área de 1.059,466 km<sup>2</sup>, que abriga 71 bairros distintos. Em 2010, 67,9% dos domicílios da região tinham acesso a rede de esgoto adequada e 36,1% das vias públicas foram urbanizadas e equipadas com calçadas e pavimentação adequadas (IBGE, 2023).

Os gastos da cidade de Belém com a gestão de RSU de 2016 a 2018 são apresentados na Tabela 4. Esses números foram coletados no portal de transparência da prefeitura e descrevem com precisão os valores gastos na coleta, gestão e disposição final de RSU em aterro sanitário, além dos gastos relacionados à implantação de um centro de triagem de coleta seletiva desativado (CARDOSO *et al.*, 2020).

**Tabela 4** – Gastos com a gestão de RSU pela prefeitura de Belém (2016-2018)

| Tipo de gasto                                   | Valor              |
|---|--------------------|
| Coleta, manejo e disposição final               | R\$ 370.623.752,02 |
| Galpão de triagem de coleta seletiva desativado | R\$ 143.079,00     |

Fonte: Elaborado a partir do Portal da transparência prefeitura de Belém (2020).

A Tabela 5, apresenta a quantidade de resíduos sólidos domiciliar e público coletados pelo agente público na cidade de Belém, entre os anos de 2012 a 2018, onde percebe-se em 2017 foi o ano em que mais se coletou resíduos, e que 2014 e 2015 possuíram a mesma quantidade de resíduos coletados.

**Tabela 5** – Quantidade total de Resíduo Sólido Domiciliar e Resíduo Sólido Público Coletada pelo Agente Público (Tonelada/ano), no Município de Belém, no Período de 2012 a 2018.

| Ano          | Quantidade          |
|--------------|---------------------|
| 2012         | 729.430,90          |
| 2013         | 645.328,50          |
| 2014         | 626.658,20          |
| 2015         | 626.658,20          |
| 2016         | 507.804,80          |
| 2017         | 928.112,00          |
| 2018         | 709.492,00          |
| <b>Total</b> | <b>4.773.484,60</b> |

Fonte: SEGEP – Secretaria Municipal de Planejamento (2020).

Na Tabela 6, é possível verificar a quantidade de resíduos sólidos domiciliar e público que foram coletados pelos agentes coletores da coleta seletiva, durante os anos de 2012 a 2018. Com isso, é notório que a quantidade de resíduos coletados por esses agentes foi aumentando com o passar dos anos, tendo uma diferença de 3.512,8 toneladas de resíduos coletados quando comparado os anos de 2012 e 2018.

**Tabela 6** – Quantidade total de Resíduo Sólido Domiciliar e Resíduo Sólido Público Coletada pelos Agentes Coletores da Coleta Seletiva (Tonelada/ano), no Município de Belém, no Período de 2012 a 2018.

| Ano          | Quantidade total |
|--------------|------------------|
| 2012         | 759,20           |
| 2013         | 781,70           |
| 2014         | 879,70           |
| 2015         | 879,70           |
| 2016         | 1.467,70         |
| 2017         | 2.824,80         |
| 2018         | 4.272,00         |
| <b>Total</b> | <b>11.864,80</b> |

Fonte: SEGEP – Secretaria Municipal de Planejamento (2020).

Do total de resíduos coletados, a Tabela 7 apresenta a quantidade de materiais recicláveis recuperados durante os anos de 2012 a 2018, os quais acompanharam o crescimento da

quantidade de resíduos coletados pelos agentes coletores de coleta seletiva. Ou seja, quanto mais resíduos foram coletados por esses agentes, mais o número de materiais recuperados cresceu.

**Tabela 7** – Quantidade total de Materiais Recicláveis Recuperados, no Município de Belém, no Período de 2012 a 2018.

| Ano          | Quantidade       |
|--------------|------------------|
| 2012         | 745,70           |
| 2013         | 768,00           |
| 2014         | 864,30           |
| 2015         | 864,30           |
| 2016         | 1.021,10         |
| 2017         | 1.977,30         |
| 2018         | 3.780,50         |
| <b>Total</b> | <b>10.021,20</b> |

Fonte: SEGEP – Secretaria Municipal de Planejamento (2020).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL)

A natureza abrangente e a vasta quantidade de conhecimento em muitos campos tornam impraticável examinar todas as publicações científicas dentro de uma determinada área. Embora existam programas de *software* e repositórios dedicados a disciplinas específicas, o grande volume e a natureza diversificada destes campos ainda podem representar um desafio. Empreender essa tarefa pode revelar-se árduo e demorado, especialmente se forem utilizadas ferramentas inadequadas; tais ferramentas podem resultar em erros durante o processo de coleta de dados. Para mitigar tais problemas, a metodologia de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) é amplamente considerada como uma abordagem confiável para auxiliar e orientar a busca de informações. Ela consegue isso criando parâmetros de pesquisa predefinidos, critérios de inclusão/exclusão e métodos de processamento de dados (RIBEIRO, 2018).

A execução da RSL deste trabalho dividiu-se da seguinte forma:

1. **Planejamento:** definição do objetivo, delimitação das questões da pesquisa, seleção dos repositórios, estabelecimento dos critérios de seleção e escolha das palavras-chaves;
2. **Busca e Identificação:** aplicação da *string* de busca nos repositórios selecionados, com potencial de seleção e exclusão de estudos duplicados;
3. **Seleção Primária:** leitura do título e resumo de todos os Estudos Primários (EPs) identificados e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão;
4. **Seleção Secundária:** leitura superficial da metodologia, resultados e conclusão de todos os estudos selecionados na etapa anterior e reaplicação dos critérios de inclusão e exclusão;
5. **Extração:** leitura completa de todos os EPs selecionados a fim de responder as questões da pesquisa;
6. **Sumarização:** análise qualitativa e quantitativa dos estudos selecionados e divulgação através desse trabalho.

Abaixo, serão detalhadas todas as etapas e elaboradas no protocolo de pesquisa da RSL.

▪ Questões de Pesquisa:

Para auxiliar no direcionamento e concentração das buscas, as consultas de pesquisa são formuladas de acordo com o objetivo da RSL. Essas questões são classificadas em dois tipos: Questões Principais (QP) e Questões Secundárias (QS) (FELIZARDO, 2017).

- ✓ **(QP):** Qual o potencial energético de Belém do Pará para a geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos?
- ✓ **(QS1):** Quais as principais biomassas utilizadas para a geração de energia?
- ✓ **(QS2):** Quais os principais meio de tratamento dos resíduos sólidos?
- ✓ **(QS3):** Quais as vantagens de usar os resíduos sólidos urbanos de Belém do Pará para a geração de energia elétrica?

- Estratégia de Busca

Foram utilizados os repositórios *Google Scholar*, *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)* e *Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD)* em função de suas abrangências de conteúdo, acesso gratuito aos trabalhos e por haverem ferramentas de pesquisa avançada, as quais ajudaram na etapa de coleta de trabalhos. Destaca-se que os estudos analisados foram limitados ao período de 2013 a 2023 sendo admitidos trabalhos acadêmicos (trabalho de conclusão de curso, dissertações, teses e artigos científicos) apenas em português.

Conforme afirmado por Ribeiro (2018), o processo de pesquisa é fortemente influenciado pelo uso de palavras-chave, que servem como estratégia primária para a descoberta de EPs. Estas palavras-chave permitem a criação de critérios de seleção agrupando diversas combinações de termos.

Durante o processo de pesquisa, é essencial refinar os resultados com palavras-chave específicas. A inclusão de operadores booleanos como AND e OR (E e OU em português) pode ajudar a restringir ou expandir os resultados da pesquisa conforme necessário. Ao utilizar esses operadores é possível aumentar a precisão das pesquisas e obter resultados mais relevantes.

Sendo assim, na Tabela 4 são apresentadas as palavras-chaves que foram utilizadas para a pesquisa, as quais obteve-se por meio da leitura prévia de trabalhos de revisão bibliográficas, com o intuito de verificar as principais nomenclaturas relacionadas a temática estudada.

**Tabela 8** – Palavras chaves utilizadas para a busca nas bases de dados definidas para RSL.

| Palavras - Chaves        | Sinônimos        | Abrev.    |
|--------------------------|------------------|-----------|
| Resíduos sólidos Urbanos | Resíduos Urbanos | RSU       |
|                          | Resíduos         |           |
| Biomassa                 | NA               | NA        |
| Energia Elétrica         | Geração          | NA        |
| Termelétrica             | NA               | NA        |
| <b>Belém</b>             | <b>Pará</b>      | <b>PA</b> |

\*NA – Não se aplica

Fonte: Autor (2023).

Para validar a eficiência das *strings* de busca criadas, uma série de testes foram realizados nas bases de dados selecionadas após a definição das palavras-chave relevantes. Após o delineamento das palavras-chave, foi realizada uma série de testes nas bases de dados selecionadas, com o intuito de validar a eficiência das *strings* formuladas. Após isso, a iteração final das *strings* é estabelecida. Para restringir o escopo das buscas aos parâmetros pré-determinados, foi implementado filtro RSL em cada repositório. Esses filtros são baseados no período de publicação e no idioma utilizado. Os detalhes das *strings*, do filtro empregados e dos campos de busca em cada repositório estão disponíveis na Tabela 5.

**Tabela 9** – *String* utilizada nas buscas.

| Repositório    | <i>String</i>  | Filtros   |
|----------------|--|---|
| Google Scholar | Resíduos Sólidos Urbanos OR RSU<br>OR Resíduos Urbanos AND<br>Biomassa AND Energia Elétrica OR<br>Termelétrica AND Belém AND<br>Pará | Trabalhos no período de<br>2013 – 2023 e somente em<br>português          |
| CAPES          | Belém E Resíduos Sólidos Urbanos<br>OU Biomassa E Geração E Energia<br>Elétrica E Termelétrica                                       | Trabalhos no período de<br>2013 – 2023 e somente em<br>português          |
| <b>BDTD</b>    | <b>Belém OR Pará AND Resíduos<br/>AND Sólidos AND Biomassa OR<br/>RSU</b>  | <b>Trabalhos no período de<br/>2013 – 2023 e somente em<br/>português</b> |

Fonte: Autor (2023).

- Critérios de Seleção

Os critérios de seleção, incluindo fatores de inclusão e exclusão, são cruciais para a qualidade da RSL, pois depende dos estudos selecionados. Os critérios de inclusão devem estar alinhados ao objetivo da RSL e utilizados para estabelecer parâmetros de elegibilidade dos EPs. Assim, devem ser aplicados meticulosamente, podendo ser utilizados apenas um ou vários. No entanto, deve ser previamente determinado se a inclusão dos EP estará condicionada à aplicação de um dos conjuntos de critérios ou de todos eles (FELIZARDO, 2017). Quatro critérios de inclusão, (I1) a (I4), foram aplicados em conjunto para admitir um EP, conforme segue:

**(I1):** Trabalhos completos publicados, disponíveis nas bases selecionadas e em português **AND**;

**(I2):** Trabalhos publicados no período de 2013 a 2023 **OR**;

**(I3):** Trabalhos que apresentem dados sobre a gestão dos resíduos sólidos em Belém do Pará **OR**;

**(I4):** Serão incluídos trabalhos que abordem sobre biomassas como fonte de energia elétrica em Belém do Pará.

Para identificar EPs que não são relevantes para uma RSL, certas características devem ser estabelecidas como critérios de exclusão. Estes podem incluir o não cumprimento dos critérios de inclusão e outros fatores que limitam o escopo do estudo. Neste caso, foram escolhidos cinco critérios de exclusão (E1) a (E5). Qualquer EP que atenda a um desses critérios será desqualificado para ser considerado para esta RSL:

**(E1):** Serão excluídos trabalhos que falem sobre gestão de resíduos sólidos sem citar Belém do Pará **AND**;

**(E2):** Serão excluídos trabalhos publicados como resumos ou pôsteres **OR**;

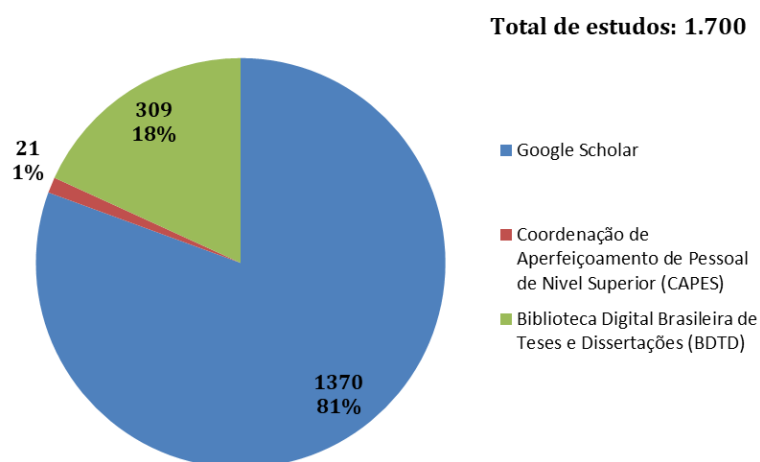
**(E3):** Trabalhos duplicados **OR**;

**(E4):** Trabalhos que não atendem o critério de inclusão **OR**;

**(E5):** Trabalhos que apresentem estudos sobre a geração de energia elétrica que não são baseados em resíduos sólidos **OR**.

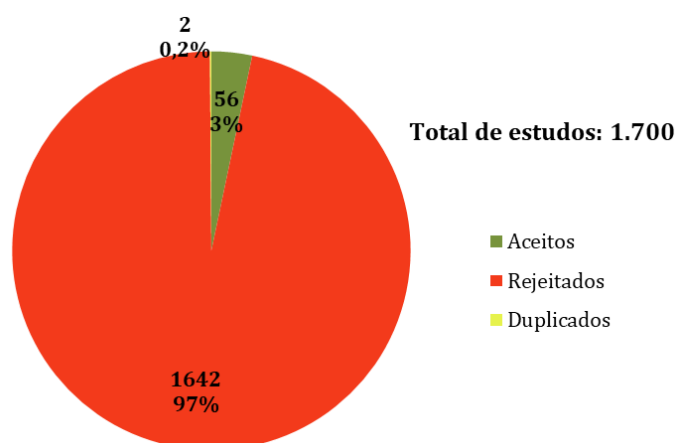
- Condução da RSL

Após a conclusão da fase de planejamento e criação do protocolo de condução do RSL, as *strings* foram inseridas em repositórios designados. O objetivo disso foi reunir os EPs necessários para posterior processamento nas etapas subsequentes. Uma busca foi realizada em setembro de 2023, que levou à descoberta de 1.700 EPs. A Figura 19 fornece um resumo abrangente do tópico em questão, os quais apresentam resultados adquiridos por meio da base de pesquisa.

**Figura 19** – Quantidade de EPs por base de busca

Fonte: Autor (2023).

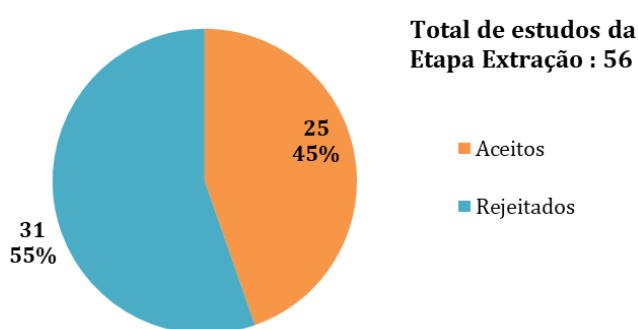
Para identificar os trabalhos que se enquadrassem nos critérios de seleção, o processo de seleção dos estudos envolveu a leitura do título e do resumo de todos os trabalhos. Os trabalhos duplicados, foram excluídos manualmente. Do total de trabalhos, 2 (0,2%) foram rejeitados por serem duplicados, 1642 (97%) foram considerados inadequados e conseqüentemente foram rejeitados e 56 (3%) foram aceitos para a próxima etapa. A Figura 20 apresenta uma visão geral do número total de artigos aceitos, rejeitados e duplicados na etapa de seleção.

**Figura 20** – Números de estudos aceitos, rejeitados e duplicados na etapa de seleção

Fonte: Autor (2023).

Iniciada a fase de extração, os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos foram utilizados de forma consistente nos artigos previamente aprovados. Os critérios, rotulados como I1 a I4 e E1 a E5, foram reaplicados através da realização de uma análise superficial da metodologia, resultados e conclusões. Com isso, encerrou-se a fase de extração, com 25 trabalhos (45%) aceitos e 31 (55%) rejeitados. Os resultados desta fase podem ser vistos na Figura 21, que apresenta a quantidade de trabalhos aceitos e rejeitados.

**Figura 21** – Números de estudos aceitos e rejeitados na etapa de extração



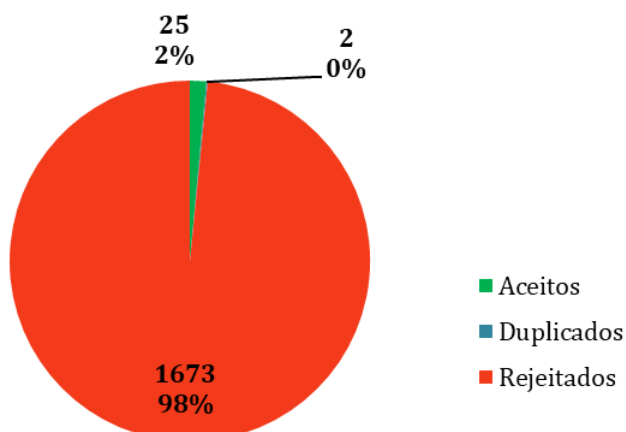
Fonte: Autor (2023).

Durante a fase de extração, os 25 trabalhos aprovados foram lidos na íntegra para a coleta de dados para a tabela de extração de dados. Esta tabela inclui nomes dos autores, datas de publicação, descrição do trabalho e base acadêmica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

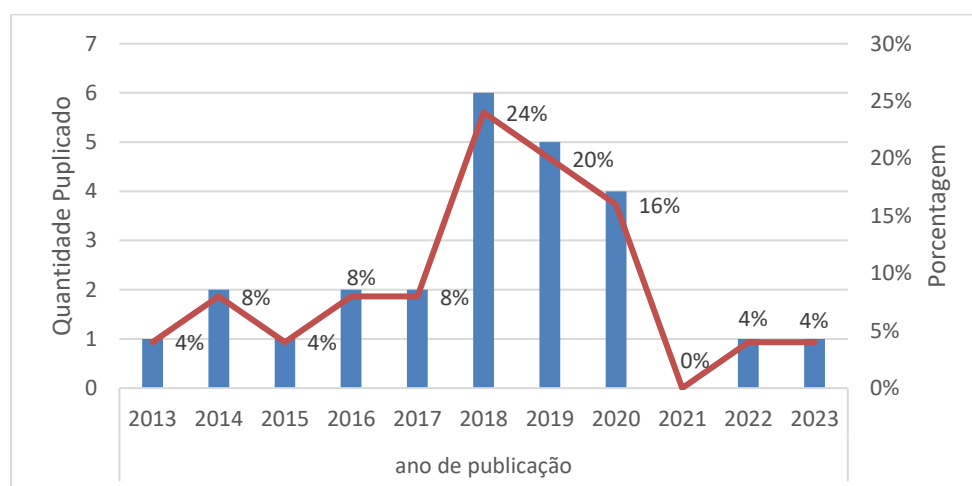
### 4.1 Dados extraídos na Revisão Sistemática da Literatura

Nesta parte do trabalho apresenta-se os resultados quantitativos derivados da RSL realizada no âmbito desta proposta de trabalho. A Figura 22 fornece uma visão geral dos resultados, o gráfico destaca os números de trabalhos aceitos, duplicados e rejeitados.

**Figura 22** – Gráfico geral da RSL.

Fonte: Autor (2023).

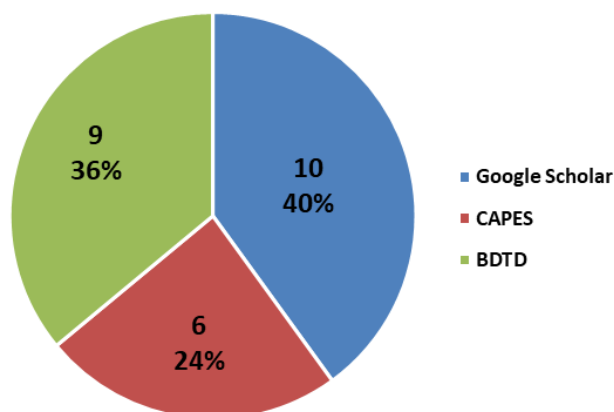
Realizando a leitura dos 25 trabalhos aceitos durante a etapa de extração, fez-se uma análise do quantitativo de trabalhos publicados por ano. Conforme mostrado na Figura 23, o gráfico representa a quantidade de artigos publicados entre os anos de 2013 a 2023. Verifica-se que a quantidade de publicações referentes ao tema de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos em Belém do Pará teve um crescimento em 2018, mas após esse ano teve uma queda significativa, indicando que o tema não é novo, e que esse está voltando a ser investigado no ambiente acadêmico.

**Figura 23** – Números de publicação por ano.

Fonte: Autor (2023).

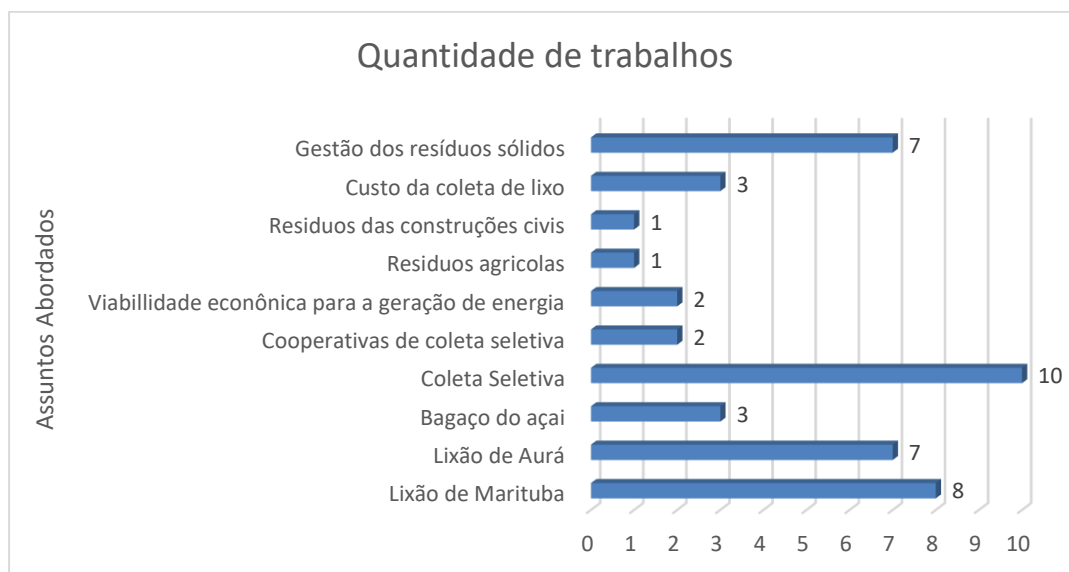
Na Figura 24 ilustra a quantidade dos artigos usados na RSL por base de busca. Notavelmente, a base de dados Google Scholar rendeu o maior número de artigos pertencentes ao assunto em questão, com um total de 10 trabalhos (40%). BDTD retornou 9 trabalhos (36%). Além disso, foi realizada uma busca no CAPES, o qual apresentou 6 trabalhos (24%).

**Figura 24** – Números de publicação por base de busca.



Fonte: Autor (2023).

Após a leitura dos trabalhos aceitos, realizou-se o levantamento dos assuntos mais abordados em cada trabalho. Dessa forma, verificou-se que a maioria dos trabalhos abordavam sobre a temática da coleta seletiva, gestão dos resíduos, lixão de Marituba e lixão de Aurá. Vale ressaltar que alguns trabalhos traziam informações de mais de um assunto. A Figura 25 mostra quais os temas mais presentes nos trabalhos e a quantidade de trabalhos que apresentavam sobre a temática.

**Figura 25** – Quantidade de trabalhos por assuntos abordados.

Fonte: Autor (2023).

A Tabela 6 fornece uma visão geral concisa das informações. As informações coletadas dos 25 artigos escolhidos incluem títulos, autores, anos, descrições do trabalho e base acadêmica.

**Tabela 10** – Tabela de extração dos 25 trabalhos selecionadas na RSL (Continuação).

| Título   | Autores - Ano   | Descrição do trabalho   | Base acadêmica |
|--|---|---|----------------|
| <i>Resíduos produzidos pelos processadores de açaí na região metropolitana de Belém e avaliação do seu potencial energético.</i> | Monteiro, L. et. al. (2017)                           | Foi proposto um levantamento bibliográfico. O foco da busca foram fontes especializadas em resíduos sólidos, coleta seletiva e legislações relacionadas à produção, logística e processamento do açaí. O objetivo foi enfatizar o descarte e a destinação dos resíduos produzidos nesse processo. Além disso, foram entrevistados 20 indivíduos que trabalham na produção de açaí em diversos bairros da Região Metropolitana de Belém. | Google Scholar |
| <i>Lixo, racismo e injustiça ambiental na Região Metropolitana de Belém</i>  | Steinbrenner, R. M.A.; Brito, R.S.; Castro, E. (2020) | Neste trabalho buscou-se delinear uma discussão conceitual em torno dos dissensos e assimetrias ante a destinação final dos resíduos sólidos na Região Metropolitana de Belém, no intuito de contribuir com o debate e a compreensão de um exemplar conflito socioambiental contemporâneo nas metrópoles e seus arredores.  | CAPES          |

**Tabela 10** – Tabela de extração dos 25 trabalhos selecionadas na RSL (Continuação).

| Título   | Autores - Ano                               | Descrição do trabalho  | Base acadêmica |
|--|---|--|----------------|
| <i>Desafios tecnológicos, políticos e econômicos dos resíduos sólidos urbanos no estado do Pará, Brasil</i>  | Nunes, L. et. al. (2023)                    | Foi realizada uma revisão de literatura com base em artigos científicos que tratam do tema deste trabalho e uma análise da literatura sobre a gestão de resíduos sólidos no estado do Pará e seus problemas e desafios. Para a realização deste trabalho, além do cumprimento da política nacional de resíduos sólidos, também foram levadas em consideração informações sobre geração, coleta, destinação e tratamento de resíduos sólidos urbanos no estado do Pará. | Google Scholar |
| <i>Diagnóstico da reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos de construção civil pelas cooperativas de reciclagem no município de Belém-PA</i> | Almeida, A. V.C. (2019)                     | Este trabalho apresenta o atual cenário de reutilização e reciclagem dos Resíduos de Construção Civil (RCC) pelas cooperativas de reciclagem no município de Belém/PA.   | BDTD           |
| <i>Características hidrogeológicas da área do aterro sanitário de Marituba (PA)</i> título   | T Bahia, V.E.; Leal, L. R. B. (2019) título | O trabalho buscou apresentar os resultados obtidos no âmbito hidrogeológico na área de instalação da Central de Processamento e Tratamento de Resíduos Urbanos (CPTR), operada pela Guamá Tratamento de Resíduos Ltda e localizada no município de Marituba, localizado na mesorregião e microrregião metropolitana de Belém.  | CAPES          |
| <i>Estudo do processo de pirólise de sementes de açaí (Euterpe oleracea Mart.) para produção de biocombustíveis</i>                                | Castro, D.A.R. (2019)                       | O trabalho propôs investigar o processo de produção de biocombustíveis, via Pirólise do caroço de açaí in natura e impregnado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) em escalas de laboratório, semi-piloto e piloto, avaliando a qualidade e o rendimento dos produtos obtidos nas temperaturas de 350, 400 e 450 °C à 1 atm, em relação a análise de ampliação de escala e da influência das variáveis operacionais.   | Google Scholar |

**Tabela 10** – Tabela de extração dos 25 trabalhos selecionadas na RSL (Continuação).

| Título   | Autores - Ano                    | Descrição do trabalho   | Base acadêmica |
|--|----------------------------------|---|----------------|
| <i>Emissões de gases de efeito estufa de um aterro na Amazônia: simulação das emissões de metano no aterro do Aurá – região metropolitana de Belém, Pa</i> | Silva, R.S. (2017)               | O trabalho propôs descrever a dinâmica de emissão do gás estufa metano no aterro do Aurá, na região metropolitana de Belém, Pa.   | BDTD           |
| <i>Desenvolvimento urbano aliado a práticas ambientais: diagnóstico da coleta seletiva em municípios da região metropolitana de Belém</i>                  | Braga, R.L.; Pontes, A.N. (2020) | Esta pesquisa teve como objetivo principal analisar a atual conjuntura da coleta seletiva em quatro municípios da Região Metropolitana de Belém, no sentido de conhecer a cobertura existente desse serviço em cada município, além de verificar quais os principais problemas na logística de execução nos bairros.  | CAPES          |
| <i>Gestão da coleta de resíduos sólidos na cidade universitária Prof. José da Silveira Netto da Universidade Federal do Pará</i>                           | Macêdo, S.L.F. (2014)            | O trabalho buscou avaliar a atual situação operacional da coleta de resíduos sólidos, regular e seletiva, na Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto, da Universidade Federal do Pará, verificando se a coleta seletiva na Cidade Universitária é realizada em conformidade com o Decreto nº 5.940/06, que institui a separação dos resíduos sólidos nos órgãos e entidades públicos, destinando o material coletado para as associações e cooperativas de catadores de matérias recicláveis. | BDTD           |
| <i>Um modelo para o planejamento de estruturas de beneficiamento e armazenagem de biomassa proveniente de cadeias de suprimentos verdes</i>                | Amador, M.S. (2018)              | Neste trabalho, foi proposto e implementado um modelo matemático de localização e alocação para instalações de tratamento e armazenagem de biomassa proveniente da cadeia produtiva do açaí na região metropolitana de Belém.   | Google Scholar |
| <i>Diagnóstico da sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos no município de Marituba, Região Metropolitana de Belém, estado do Pará</i>               | Souza, C. et. al. (2019)         | O trabalho buscou realizar um diagnóstico da sustentabilidade da gestão dos resíduos sólidos no município de Marituba, Região Metropolitana de Belém, estado do Pará.   | CAPES          |

**Tabela 10** – Tabela de extração dos 25 trabalhos selecionadas na RSL (Continuação).

| Título  | Autores - Ano             | Descrição do trabalho  | Base acadêmica |
|---|---------------------------|--|----------------|
| <i>Gestão, geração e aproveitamento dos resíduos das indústrias de base florestal na região metropolitana de Belém, Pará</i>  | Ramos, W.F. (2016)        | O presente trabalho buscou conhecer as principais características das indústrias de base florestal, as formas de gestão, geração e aproveitamento dos resíduos madeireiros, a atuação destes empreendimentos sobre a comunidade circunvizinha e a influência dos períodos mais chuvosos e menos chuvosos sobre os processos de armazenamento e destinação dos resíduos de madeira na Região Metropolitana de Belém (RMB) | Google Scholar |
| <i>Gestão de transferências voluntárias: desafios e oportunidades na captação de recursos federais para o setor de resíduos sólidos do município de Belém/PA</i>            | Pantoja, F.P. (2016)      | O trabalho buscou investigar se o Município de Belém pactuou recursos de transferência voluntárias federais do programa temático resíduos sólidos, avaliando os fatores intervenientes do processo.  | BDTD           |
| <i>Viabilidade da geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos em pequenos municípios do estado do Pará</i>  | Padilha, J.L. (2022)      | Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade financeira da combinação de destinos consolidados para a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos do estado do Pará.  | Google Scholar |
| <i>Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos no município de Belém, Pará, Brasil: Vantagens e desafios da sua implementação</i>  | Cardoso, E. et al. (2020) | Foi realizado uma revisão bibliográfica sobre o tema abordado e uma análise documental das informações presentes no PEGIRS do estado do Pará, propondo estudar a questão dos resíduos sólidos sua gestão e problemática, utilizando dados primários e secundários para a realização da pesquisa.   | CAPES          |
| <i>Proposta de aproveitamento do potencial energético do resíduo sólido urbano e do esgoto doméstico com minimização dos impactos ambientais</i>                            | Lino, F.A.M. (2014)       | Este trabalho propõe técnicas de tratamento de RSU e ED com recuperação de energia e minimização dos impactos ambientais, com base na reciclagem, biodigestão e incineração, aplicadas ao Brasil e em seis municípios de regiões distintas.  | Google Scholar |
| <i>Produção de biocombustível via craqueamento térmico-catalisador de resíduos sólidos de caixas de gordura com carbonato de sódio e lama vermelha ativada termicamente</i> | Almeida, H.S. (2015)      | O trabalho buscou investigar a viabilidade da produção de frações de biocombustíveis semelhantes a Gasolina, Querosene e Diesel via craqueamento térmico catalítico da gordura residual das caixas retentoras de gordura do restaurante universitário da UFPA.   | BDTD           |

**Tabela 10** – Tabela de extração dos 25 trabalhos selecionadas na RSL (Continuação).

| Título  | Autores - Ano                                      | Descrição do trabalho  | Base acadêmica |
|---|--|--|----------------|
| <i>Índice de Salubridade Ambiental (ISA) aplicado ao município de Belém do estado do Pará</i>   | Colina, V.A.C. (2018)                              | O trabalho teve como objetivo principal a adaptação e aplicação do Índice de Salubridade Ambiental (ISA) no município Belém do Estado do Pará, utilizando como referência o desenvolvido pela Câmara de Planejamento do Conselho Estadual de Saneamento (CONESAN) do estado de São Paulo, com a finalidade de conhecer as condições de salubridade das áreas urbanas e fornecer uma ferramenta que oriente aos órgãos de gestão para o desenvolvimento de políticas certas, aproveitamento dos recursos e investimento em infraestruturas adequadas e serviços de qualidade. | BDTD           |
| <i>Resíduos sólidos urbanos, mapeamento e educação ambiental: proposta de instrumento para a participação comunitária na questão ambiental no bairro da Marambaia, Belém-PA</i> | Pereira, M.J.M. (2018)                             | Esse estudo apresenta uma plataforma de mapeamento de pontos de despejo irregular de RSU no bairro da Marambaia, utilizando técnicas de geoprocessamento, ferramentas computacionais e estímulo à participação de escolas do bairro via mapeamento participativo e colaborativo, além de pesquisa de campo e aplicação de questionários junto às escolas   | BDTD           |
| <i>Reciclagem como alternativa para a eficiência e sustentabilidade econômica no setor de resíduos sólidos urbanos do município de Belém - PA</i>                               | Sanjad, H.C. (2018)                                | O trabalho analisou o potencial da reciclagem como alternativa para melhorar a eficiência e a sustentabilidade financeira na prestação do serviço e na gestão do setor de resíduos sólidos urbanos do município de Belém.  | BDTD           |
| <i>Sustentabilidade, Políticas Públicas e Interdisciplinaridade no Semiárido</i>  | Silva, J.B.; Alves, L.S.F.; Silva, E.M.M.N. (2018) | O e-book está organizado em seis seções, correspondentes aos grupos de trabalhos: dinâmica urbano-regional; gestão e meio ambiente no semiárido; ambiente, saúde e sociedade no semiárido; desenvolvimento, planejamento e políticas públicas no semiárido; cultura linguagem e identidades regionais; território, ensino e interdisciplinaridade.   | Google Scholar |

**Tabela 10** – Tabela de extração dos 25 trabalhos selecionadas na RSL (Final).

| Título  | Autores - Ano            | Descrição do trabalho   | Base acadêmica |
|---|--------------------------|---|----------------|
| <i>Manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais: O (des)controle social em Belém, Pará</i>  | Brito, D. et. al. (2020) | O estudo propôs a caracterizar quantitativa e qualitativamente a atuação dos conselhos gestores de políticas públicas ligadas ao saneamento, no que tange ao manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais, no município de Belém.   | CAPES          |
| <i>Estimativa do aproveitamento energético do biogás gerado por resíduos sólidos urbanos no Brasil</i>  | Filho, F.E.S. (2013)     | Essa dissertação visou estimar o potencial de energia elétrica do biogás, conhecido também como gás de aterro, gerado por resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil.   | Google Scholar |
| <i>Reciclagem como alternativa para a eficiência e sustentabilidade econômica no setor de resíduos sólidos urbanos do município de Belém - PA</i>           | Sanjad, H.C. (2018)      | O trabalho analisou o potencial da reciclagem como alternativa para melhorar a eficiência e a sustentabilidade financeira na prestação do serviço e na gestão do setor de resíduos sólidos urbanos do município de Belém  | BDTD           |
| <i>O aterro sanitário de Marituba: estimativa e dispersão das emissões de biogás e a percepção da mudança da qualidade do ar pela população do entorno.</i> | Espírito, J. (2019)      | Este trabalho propôs avaliar a quantidade e a dinâmica de emissão e dispersão do gás de efeito estufa metano na CPTR Marituba, na região metropolitana de Belém, Pará, Brasil e entender a percepção dos habitantes do entorno do aterro quanto a influência do aterro na qualidade do ar e o impacto na saúde. | BDTD           |

Fonte: Autor (2023).

A evolução de uma nação está intrinsicamente ligada ao aumento do uso de energia e, como resultado, à escalada na produção de lixo urbano por pessoa. A gestão de resíduos torna-se problemática quando a capacidade de tratamento adequado é ultrapassada, o que significa que gerar uma quantidade de resíduos que ultrapassa a capacidade de tratamento é um estado insustentável.

Vários países do mundo já adotaram o uso de RSUs para produção de energia, o que ainda não foi implementado no Brasil. Para que isto se concretize, devem ser tomadas medidas iniciais. O primeiro passo seria modificar o cenário de gestão de resíduos existente no país e

garantir o descarte adequado das RSUs. Os resíduos têm usos potenciais antes de serem descartados, e o processo de descarte de RSU envolve reutilização, reciclagem, tratamento e, por fim, disposição em aterro.

A cidade de Belém possui potencial para revolucionar a forma como os resíduos urbanos são geridos, convertendo-os numa fonte viável de energia. Essa transformação não beneficiaria apenas a economia regional, mas também contribuiria para a melhoria da comunidade, promovendo o desenvolvimento sustentável e salvaguardando o meio ambiente na capital paraense (ABREN, 2021).

A Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos (Abren) informou que na região metropolitana de Belém existem 2,5 milhões de habitantes que geram 803 mil toneladas de resíduos urbanos anualmente, com uma geração diária de 2,2 mil toneladas por dia. Segundo a Abren, estima-se que esta quantidade de resíduos poderia gerar 53 MW de potência instalada através de usinas *Waste-To-Energy* (WTE) (ABREN, 2021).

Além disso, o caroço do açaí, predominante na Amazônia e especificamente no Pará, é uma fonte de energia viável (MONTEIRO; COSTA; PINHEIRO, 2017). Esses caroços podem ser reutilizados proporcionando a cogeração a partir da queima, gerando vapor e alimentando uma pequena usina termelétrica. Esse processo já é real, pois já existe tratamento para o bagaço da cana de açúcar, utilizando o mesmo mecanismo de cogeração (ARAUJO; FILHO, 2018).

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como foco elaborar uma revisão sistemática da literatura sobre a gestão dos resíduos sólidos em Belém do Pará, e verificar o potencial energético para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos, além de apresentar os principais assuntos abordados nos trabalhos que apresentam essa temática.

Percebe-se que, atualmente, não há um tratamento desses resíduos sólidos urbanos com o intuito de aproveitamento para a geração de energia em Belém do Pará. Além disso, a busca por esse aproveitamento do lixo como fonte de energia elétrica na capital do Pará está tendo sua importância e apoio do governo brasileiro devido ao COP30, já que a cidade será a sede desse encontro.

Embora a implementação de mecanismos para gerar energia elétrica a partir de RSUs fosse uma solução viável para eliminar os lixões, ainda faltam incentivos políticos, tornando estas implementações dispendiosas sem retornos econômicos, não conseguindo assim atrair as indústrias privadas.

Por fim, propõe-se para trabalhos futuros uma análise dos mecanismos existentes para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos em outras cidades brasileiras e até mesmo mundial e verificar a viabilidade econômica de Belém para a instalação dessas tecnologias em seu território.

## 6 REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama Dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 23 maio. 2023.

ABREN. **Lixo urbano pode gerar energia em Belém/PA (O Liberal)**. Disponível em: <<https://abren.org.br/2021/05/11/lixo-urbano-pode-gerar-energia-em-belem-o-liberal/>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

ARAÚJO, G. J. F. DE; FILHO, A. R. **A utilização do bagaço de cana de açúcar para a geração de energia elétrica: o estudo de caso em uma usina sucroenergética de grande porte**. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/335703279\\_A\\_UTILIZACAO\\_DO\\_BAGACO\\_D\\_E\\_CANA\\_DE\\_ACUCAR\\_PARA\\_A\\_GERACAO\\_DE\\_ENERGIA\\_ELETRICA\\_O\\_ESTUDO\\_DE\\_CASO\\_EM\\_UMA\\_USINA\\_SUCROENERGETICA\\_DE\\_GRANDE\\_PORTE](https://www.researchgate.net/publication/335703279_A_UTILIZACAO_DO_BAGACO_D_E_CANA_DE_ACUCAR_PARA_A_GERACAO_DE_ENERGIA_ELETRICA_O_ESTUDO_DE_CASO_EM_UMA_USINA_SUCROENERGETICA_DE_GRANDE_PORTE)>. Acesso em: 22 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS DE BIOMASSA BIOENERGIA (ABIB). **Fornecimento dos tipos de biomassa como fonte energética e descarbonização industrial**. , 16 ago. 2022. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/fornecimento-dos-tipos-de-biomassa-como-fonte-e-celso-oliveira?originalSubdomain=pt>>. Acesso em: 25 jul. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR. 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: 2004, [s.d.]. Disponível em: <<https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2023.

BÄHR, M. **Mauricio Bähr: O Brasil não pode prescindir da geração hídrica**. Engie, 18 out. 2022. Disponível em: <<https://www.alemdaenergia.engie.com.br/mauricio-bahr-o-brasil-nao-pode-prescindir-da-geracao-hidrica/>>. Acesso em: 30 jul. 2023

BRASIL. **Lei nº 7404**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm)>. Acesso em: 23 maio. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 23 maio. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 23 maio. 2023.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Consumo de energia elétrica cresce 4,1% em 2021, aponta CCEE.** Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/consumo-de-energia-eletrica-cresce-4-1-em-2021-aponta-ccee>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Alternativas energéticas: Uma Visão Cemig.** Belo Horizonte: Gerência de Alternativas Energéticas, 2012.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Lixo municipal - manual de gerenciamento integrado.** Disponível em: <<https://cempre.org.br/manuais/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. **Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. Gestão & Produção,** ago. 2002. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/gp/v9n2/a04v09n2.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2023

DIANA, J. **Energia Eólica.** Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/energia-eolica/>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Fontes de energia.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz energética.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Expansão da Geração. Fontes.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>>. Acesso em: 30 jul. 2023.

FELIZARDO, K. R. et al. **Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software:**, v. 1, 2017.

FONTES RENOVÁVEIS . **Fontes Renováveis. blogspot**, 2014. Disponível em: <<https://fontesrenovaveis1.blogspot.com/2014/09/fontes-de-energias-renovaveis.html>>. Acesso em: 30 jul. 2023

GOMES, T. M. DE A. **Geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos: uma revisão da leitura.** , 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47504>>. Acesso em: maio. 2023

GOUVEIA, R. **Usina Hidrelétrica. Toda Matéria.**, Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/usina-hidreletrica/>>. Acesso em: 30 jul. 2023

GOV. ONU **confirma Belém (PA) como sede da COP-30, a conferência para o clima.** Disponível em: <<https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/05/onu-confirma-belem-pa-como-sede-da-cop-30-conferencia-para-o-clima>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GOV. GOVERNO FEDERAL. **Brasil sobe para a sexta posição em ranking internacional de energia eólica. Ministério de Minas e Energia**, 8 abr. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-sobe-para-a-sexta-posicao-em-ranking-internacional-de-energia-eolica#:~:text=O%20Brasil%20ocupa%20a%20sexta%20posi%C3%A7%C3%A3o%20no%20ranking>>. Acesso em: 30 jul. 2023

IBGE. **Cidades e Estados do Brasil.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>>. Acesso em: 21 nov. 2023.

INFOENEM. **Entenda a diferença entre aterro sanitário e lixão.** Disponível em: <<https://infoenem.com.br/entenda-a-diferenca-entre-aterro-sanitario-e-lixao/>>. Acesso em: 5 jul. 2023.

KHAN ACADEMY. **Usinas termelétricas.** Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/8-ano/fontes-de-energia/produzindo-energia-eletrica/a/usinas-termeletricas>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

LEBREGO CARDOSO, E. et al. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos no município de Belém, Pará, Brasil: vantagens e desafios da sua implementação. **Sistemas & Gestão**, v. 15, n. 2, p. 93–102, 25 ago. 2020.

MANHAGO, S. R. **Técnicas de revegetação de talude de Aterro Sanitário**, 2008.

MINÉU, H. F. S. **O custo de oportunidade do aterro sanitário de Ituiutaba, MG: componentes e repercussão econômica em longo prazo.** Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia: Universidade Federal De Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/18910>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR), SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. **Panorama do saneamento básico no Brasil 2021.** Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/panorama-do-saneamento-basico-do-brasil#:~:text=O%20Panorama%20do%20Saneamento%20B%C3%A1sico%20no%20Brasil%202021,quadro%20geral%20da%20presta%C3%A7%C3%A3o%20dos%20servi%C3%A7os%20no%20pa%C3%ADs>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Reciclagem e Reaproveitamento.** Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento.html>>. Acesso em: 23 maio. 2023.

MONTEIRO, L. H. O.; COSTA, R. O. S. DA; PINHEIRO, P. F. V. **resíduos produzidos pelos processadores de açaí na região metropolitana de Belém e avaliação do seu potencial energético.** Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/resduos->

produzidos-pelos-processadores-de-aa-na-regio-metropolitana-de-belm-e-avaliacao-do-seu-potencial-energetico-26823>. Acesso em: 22 nov. 2023.

MOREIRA, J. R. S. et al. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Rio de Janeiro: LTC, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/directbitstream/54537231-7f01-4b86-a1b0-8b81e8b3b555/Sim%C3%B5es%20Moreira-2021-Energias%20renovaveis%20gera%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

NAZAROFF, W. W.; ALVAREZ-COHEN, L. **Environmental engineering science**. New York: Wiley, 2001.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Evolução da capacidade instalada no SIN - outubro 2023/ dezembro 2027**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

PAVAN, M. DE C. O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil**. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10102011-120843/en.php>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. **Aterros Sanitários**. Disponível em: <<https://saneamentobasico.com.br/acervo-tecnico/aterros-sanitarios/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PORTAL SOLAR. **Como Funciona a Energia Solar?** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-energia-solar.html>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

PREFEITURA DE BELÉM. **Portal da Transparência Belém**. Disponível em: <<http://portaltransparencia.belem.pa.gov.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

PREFEITURA, M. **Usina de Biogás gerado através do lixo é inaugurada em Macaé**. Disponível em: <<https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/usina-de-biogas-gerado-atraves-do-lixo-e-inaugurada-em-macae>>. Acesso em: 7 nov. 2023.

REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.** , 2022. Disponível em: <[https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2023

REZENDE, L.; DE OLIVEIRA, A. Brazilian Journal of Development. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 21961–21974, 2022.

RIBEIRO, H.; BESEN, G. **Panorama da coleta seletiva no Brasil: Desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso.** Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente: 1 ago 2007, 1 ago. 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Helena-Ribeiro/publication/242243074\\_A\\_PANORAMA\\_OF\\_SELECTIVE\\_WASTE\\_COLLECTION\\_IN\\_BRAZIL\\_CHALLENGES\\_AND\\_PROSPECTS\\_TAKEN\\_FROM\\_3\\_CASE-STUDIES/links/5661c26a08ae4931cd5b3ef3/A-PANORAMA-OF-SELECTIVE-WASTE-COLLECTION-IN-BRAZIL-CHALLENGES-AND-PROSPECTS-TAKEN-FROM-3-CASE-STUDIES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Helena-Ribeiro/publication/242243074_A_PANORAMA_OF_SELECTIVE_WASTE_COLLECTION_IN_BRAZIL_CHALLENGES_AND_PROSPECTS_TAKEN_FROM_3_CASE-STUDIES/links/5661c26a08ae4931cd5b3ef3/A-PANORAMA-OF-SELECTIVE-WASTE-COLLECTION-IN-BRAZIL-CHALLENGES-AND-PROSPECTS-TAKEN-FROM-3-CASE-STUDIES.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2023.

RIBEIRO, S. et al. **Literature Review on the Theory of Constraints Applied in the Software Development Process.** Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8795116>>. Acesso em: 7 nov. 2023.

ROCHA, S. M. DA; ROCHA, R. R. DE C.; LUSTOSA, K. B. Política brasileira de resíduos sólidos : reflexões sobre a geração de resíduos e sua gestão no município de Palmas - TO. **REVISTA ESMAT**, v. 9, n. 13, p. 29–44, 19 dez. 2017.

RORIZ, T. R. S.; CASTRO, J. D. B. **Coleta seletiva como instrumento de gestão sustentável para o aterro sanitario de Anápolis.** [s.l.] Revista Administra- Ação, 2011. Acesso em: 25 maio. 2023.

SCANNAVINO, K. R. F. et al. Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software: teoria e prática. **repositorio.usp.br**, 2017.

SEGEP. **Equipamentos Públicos – Anuário 2020 - Anuário Estatístico do Município de Belém** . Disponível em: <<https://anuario.belem.pa.gov.br/equipamentos-publicos/>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

SOARES, F. R.; MIYAMARU, E. S.; MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos - Caieiras. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 993–1003, out. 2017.

SOUZA, P. A. S. **Diagnóstico do plano de gestão de resíduos sólidos do município de Osasco (SP)**. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/d06463ee-f9cd-47d2-a379-ebdb0241880f>>. Acesso em: 5 jul. 2023.

TAVARES, L. A. **Matriz elétrica brasileira e as tendências futuras. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, 2023. Disponível em: <<https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3135>>. Acesso em: 23 jul. 2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP). **Aterro Sanitário - Definição e Configuração**. Disponível em: <<http://www1.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res13.html>>. Acesso em: 20 jun. 2023.