

**CENTRO PAULA SOUZA  
ETEC CÔNEGO JOSÉ BENTO  
Técnico em Meio ambiente**

**Daniele dos Reis Silva  
Manuela Teixeira Tonel da Silva  
Sinai de Jesus Bispo Chaves  
Tainá Caparroz Retamiro**

**TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ÚMIDOS EM  
ENERGIA RENOVÁVEL: Uma abordagem sustentável para o futuro  
ambiental.**

**Jacareí  
2024**

**Daniele dos Reis Silva  
Manuela Teixeira Tonel da Silva  
Sinai de Jesus Bispo Chaves  
Tainá Caparroz Retamiro**

**TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ÚMIDOS EM  
ENERGIA RENOVÁVEL: Uma abordagem sustentável para o  
futuro ambiental.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Etm em Meio Ambiente da Etec Cônego José Bento, orientado pela Prof. Aline Oliveira Figueiredo e Prof. Maria Regina Souto, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Meio Ambiente

**Jacareí  
2024**

Dedicamos este trabalho aos profissionais que se empenham pela preservação ambiental e acreditam na transformação de resíduos em energia renovável para um futuro mais limpo. E, especialmente, às próximas gerações, na esperança de que encontrem um Planeta mais equilibrado e saudável, inspirando-as a cuidar e respeitar a natureza.

## **AGRADECIMENTOS**

Registramos aqui nossa profunda gratidão a todos os que, de alguma forma, tornaram possível a realização desse trabalho. Em especial, agradecemos a coordenadora do curso Técnico em Meio Ambiente, Prof. Aline Oliveira Figueiredo e a orientadora de TCC Prof.<sup>a</sup> Maria Regina Souto, por seus direcionamentos rigorosos e motivadores ao longo de todo o processo, sempre incentivando o desenvolvimento de nossa capacidade técnica e crítica.

Nosso sincero reconhecimento ao tecnólogo ambiental Charles, do Viveiro de Jacareí, cujo apoio foi fundamental. Sua colaboração ao nos fornecer informações detalhadas e arquivos relevantes, além de viabilizar o acesso ao aterro sanitário de Jacareí.

Agradecemos também, à gestora do aterro sanitário de Jacareí, Camila Silva por nos proporcionar a oportunidade de conhecer de perto a gestão de resíduos e compartilhar conosco sua experiência e conhecimento prático.

Aos colegas de bancada, com quem compartilhamos ideias, desafios e crescimento ao longo dessa trajetória agradecemos pelo constante apoio e parceria.

Estendemos também nossa mais sincera gratidão aos nossos familiares e amigos, que foram nosso suporte e alicerce nos momentos desafiadores, oferecendo incentivo, compreensão e paciência.

Por último, expressamos nosso apreço, a todas as pessoas e instituições que direta ou indiretamente, contribuíram para a construção desse trabalho, e que acreditam como nós, na importância de práticas sustentáveis.

“A Terra não é herança de nossos pais, é um empréstimo de nossos filhos”.

**Provérbio indígena**

## RESUMO

A transformação de resíduos sólidos úmidos em energia renovável é uma alternativa sustentável que aborda a crescente necessidade de soluções para o descarte adequado de resíduos urbanos. O estudo foi realizado no município de Jacareí – SP, destacando a importância ambiental e econômica dessa tecnologia. O objetivo deste trabalho foi realizar um levantamento indicando como o biogás produzido é uma fonte energética renovável que pode substituir o uso de combustíveis fósseis, contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa e promovendo a economia circular. A metodologia embasou-se em levantamento bibliográfico com análises de arquivos e a realização da visita ao aterro EcoParque, englobando com uma entrevista informal com a gestora do local. O resultado da pesquisa apresenta a viabilidade da produção de biogás em aterros sanitários e o papel dos biodigestores, que possibilitam o uso eficiente dos resíduos orgânicos, durante a visita técnica ao aterro sanitário de Jacareí, no Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, mostrou uma gestão avançada de resíduos, refletindo a infraestrutura robusta e a adaptação de tecnologias europeias às condições brasileiras. Além disso, são discutidos os impactos sociais e econômicos da implementação dessa tecnologia em áreas urbanas, onde o volume de resíduos é elevado. Os resultados apontam que o uso do biogás como energia limpa é fundamental para um futuro mais sustentável.

**Palavras-chave:** Biogás. Resíduos sólidos. Energia renovável. Sustentabilidade. Economia circular.

## ABSTRACT

The transformation of wet solid waste into renewable energy is a sustainable alternative that addresses the growing need for proper urban waste disposal solutions. The study was conducted in the municipality of Jacareí, São Paulo, highlighting the environmental and economic significance of this technology. The objective of this work was to carry out a survey indicating how biogas production serves as a renewable energy source capable of replacing fossil fuels, contributing to the reduction of greenhouse gas emissions and promoting a circular economy. The methodology was based on bibliographic research, file analysis, and a site visit to the EcoParque landfill, which included an informal interview with the site manager. The research results demonstrate the feasibility of biogas production in sanitary landfills and the role of biodigesters in enabling the efficient use of organic waste. During the technical visit to the Jacareí landfill, located in the Paraíba Valley region of São Paulo state, advanced waste management practices were observed, reflecting robust infrastructure and the adaptation of European technologies to Brazilian conditions. Additionally, the study discusses the social and economic impacts of implementing this technology in urban areas, where waste volumes are high. The results indicate that the use of biogas as a clean energy source is essential for a more sustainable future.

**Keywords:** Biogas. Solid waste. Renewable energy. Sustainability. Circular economy.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	Justificativa.....	9
1.2	Objetivos.....	10
1.2.1	Objetivo geral.....	10
1.2.2	Objetivos específicos.....	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1	Definição de resíduos sólidos.....	11
2.2	Disposição de Resíduos Sólidos.....	13
2.3	Gerenciamento de resíduos.....	14
2.4	A globalização na produção de resíduos sólidos.....	17
2.5	Aterros Sanitários.....	19
2.6	Desenvolvimento de políticas e incentivos governamentais para promover a transformação de resíduos sólidos.....	21
2.7	Poluição Ambiental.....	22
2.8	Crises climáticas.....	23
2.9	Benefícios ambientais da transformação de resíduos em energia renovável.....	26
2.10	Biogás ou Gás dos Pântanos.....	28
2.11	Biodigestores e Usinas de Biogás.....	31
2.12	Viabilidade energética no Brasil e a aplicação do biogás.....	34
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	A energia elétrica no Brasil.....	36
3.2	Impacto da Agenda 21.....	38
3.3	Município de Jacareí.....	39
3.4	Aterro Sanitário de Jacareí.....	39
3.5	Produção de biogás.....	40
4	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	42
5	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46



## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de transformação de resíduos sólidos úmidos (RSU) em biogás é uma abordagem inovadora que possui grande relevância ambiental, econômica e social. Esse processo não apenas oferece uma solução para o problema crescente do descarte inadequado de resíduos, mas também transforma o lixo em uma fonte valiosa de energia renovável, atendendo às demandas energéticas de forma sustentável, utilizadas para gerar eletricidade, calor e combustíveis, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a transição energética.

A importância desse processo está fortemente ligada à sua capacidade de mitigar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos. A decomposição dos RSU em aterros sanitários gera emissões significativas de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono e metano, que são responsáveis pelo aquecimento global e a intensificação de eventos climáticos extremos (IPCC, 2023). Ao capturar e utilizar esses gases para produzir energia, a tecnologia de biogás não só diminui a quantidade de resíduos que vai para os aterros, como também reduz as emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente.

Além disso, a transformação de resíduos em biogás desempenha um papel crucial na economia circular, onde o lixo deixa de ser visto como um passivo ambiental e passa a ser um recurso valioso. O biogás pode ser utilizado diretamente em indústrias, sistemas de energia urbana e até mesmo em residências, promovendo a geração local de energia e diminuindo a pressão sobre a rede elétrica. Isso é particularmente relevante em áreas urbanas, onde a geração de resíduos é elevada, proporcionando uma fonte de energia confiável e acessível (Russo, 2005).

De acordo com a GNPW Energia, a transformação de resíduos em biogás contribui significativamente para a diminuição da quantidade de lixo destinado a aterros sanitários, reduz as emissões de gases de efeito estufa e gera energia renovável, promovendo uma economia de baixo carbono e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Portanto, a transformação de resíduos sólidos em biogás é uma estratégia eficaz para alcançar metas globais de sustentabilidade e preservação ambiental.

## 1.1 Justificativa

A globalização tem tido um impacto significativo na produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). Com o aumento do consumo e a expansão das atividades econômicas globais, a quantidade e o tipo de resíduos gerados têm crescido substancialmente.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Decreto Nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022, parágrafo décimo terceiro, aponta que a logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social que viabiliza a destinação dos resíduos sólidos do setor empresarial visando um aproveitamento ambientalmente adequado (Brasil, 2022). No entanto, a falta de acesso sanitário e tratamento de efluentes em que não há locais de descarte de resíduos adequado, tem sido um grande desafio, principalmente para comunidades periféricas onde o acesso é mais limitado e a verba tende a ser reduzida, intensificando problemas ambientais e sociais.

Os impactos provocados pelos lançamentos indiscriminados e sem controle de resíduos de todos os tipos de atividades antropogênicas de várias origens, resíduos de toda espécie, inertes, tóxicos, orgânicos, inorgânicos, perigosos, recicláveis ou não, podem ser encontrados na natureza de forma inadequada sem nenhum tipo de tratamento, provocando contaminação, degradando o ambiente e os cursos d'água expondo a população a sérios riscos de saúde (Abreu e Henke, 2019, p.2).

A produção de biogás a partir da decomposição anaeróbica de materiais orgânicos oferece uma alternativa viável para a utilização de fontes energéticas renováveis, ajudando a diminuir a dependência de combustíveis fósseis e a reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Sendo assim, a implementação desta tecnologia pode trazer benefícios econômicos significativos, ao criar oportunidades de emprego e incentivar o desenvolvimento de tecnologias verdes. A valorização dos resíduos, transformando-os em recursos valiosos, é um passo fundamental para alcançar um modelo de economia circular, onde o desperdício é minimizado e a sustentabilidade é priorizada.

Portanto, a transformação de resíduos sólidos úmidos em energia renovável representa um avanço técnico e ambiental significativo, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) ao promover práticas que reduzem o impacto ambiental, favorecem a economia circular e impulsionam a geração de energia limpa (Organização das Nações Unidas, 2024).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Realizar um levantamento bibliográfico sobre o potencial de produção energética em aterros sanitários, focando na conversão dos gases de decomposição em biogás e destacando o uso de biodigestores como uma alternativa para geração de energia limpa.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Analisar a viabilidade técnica e econômica da transformação de resíduos sólidos úmidos em energia renovável;
- Avaliar o impacto ambiental desta tecnologia na redução de resíduos em aterros sanitários e na mitigação de gases de efeito estufa;
- Realizar visita em campo no aterro do Município de Jacareí-SP;
- Identificar os principais desafios e oportunidades na implementação desta tecnologia em contextos urbanos e rurais.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, a revisão de literatura busca fundamentar teoricamente o estudo sobre a transformação de resíduos sólidos úmidos em energia renovável. Foram adotados critérios que incluem a seleção e análise dos principais conceitos relacionados aos resíduos sólidos, gestão ambiental, biodigestores, aterros sanitários e biogás. Além disso, são discutidos os aspectos técnicos e legislativos que sustentam a viabilidade dessa tecnologia, visando oferecer uma abordagem abrangente e facilitar o entendimento dos leitores.

### 2.1 Definição de resíduos sólidos

De acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas técnicas) n°10.004 na Classificação de Resíduos Sólidos (ABNT, 2004), os resíduos sendo estes sólidos ou semissólidos proveniente das atividades humanas, geram-se todo tipo de material orgânico ou inorgânico como restos de alimento, materiais domésticos, embalagens, materiais biológicos e entre outros provenientes dos setores industriais, comerciais ou até hospitalares. Denominados também como lixo, geram grandes preocupações para a população, esses materiais quando não reaproveitados para reciclagem, por exemplo, são depositados em aterros sanitários, ou mesmo de forma indevida jogados à deriva de rios e bueiros. A Política Nacional de Resíduos Sólidos consta no art. 3 da lei 12.305/10 uma clara definição dos rejeitos:

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

Os materiais rejeitados sem um fim adequado, geram agentes poluentes prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, tornando-se um problema mundial, interferindo na recuperação natural do solo como os agentes físicos químicos, atingindo posteriormente os lençóis freáticos, a água e o ar. Dentro do sistema natural do meio ambiente existe a percolação em que as águas se infiltram nos poros existentes na terra para chegar à área subterrânea mais profunda, nutrindo o solo por todo seu caminho, no entanto, quando o solo encontra-se contaminado, este processo é interferido, não apenas reduzindo a quantidade de água percolada como também a contaminação do solo por meio da decomposição

de materiais orgânicos, atingindo até as áreas pluviais, contaminando a água das nascentes e rios, além da evapotranspiração realizada que atuará como caminho para poluição do ar.

Para minimizar os impactos causados por essa grande quantidade de resíduos, é necessário adotar métodos adequados, sob a responsabilidade da Política de Gestão de Resíduos Orgânicos. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no art. 9, emprega a “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Portanto, é fundamental apresentar propostas sustentáveis para a reutilização e redução de resíduos sólidos que causam graves impactos ambientais.

Para efeito da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) n° 10004, os resíduos são classificados em classes de acordo com o seu grau de periculosidade e nível de impactos ao meio ambiente e à saúde humana, classificados em perigosos e não perigosos.

Figura 1: Classificação de RSU

<p><b>Classe A - Trituráveis</b></p> <p>Tijolo, Telhas, Areia, e outros.</p> 	<p><b>Classe B - Recicláveis</b></p> <p>Papel, Plástico, Madeira, e outros.</p> 
<p><b>Classe C - Não Recicláveis</b></p> <p>Gesso, Isopor, e outros.</p> 	<p><b>Classe D - Resíduos Perigosos</b></p> <p>Tinta, Verniz, Solventes, e outros.</p> 

Fonte: PGRS Brasil, 2018.

Essas classificações de resíduos têm como objetivo identificar a que grupos pertencem e seu grau de periculosidade com base em suas propriedades físicas e químicas, permitindo um gerenciamento eficaz e redirecionamento dos resíduos

sólidos. Dessa forma, é possível destinar os resíduos sólidos urbanos (RSU) adequados para a produção de biogás.

## 2.2 Disposição de Resíduos Sólidos

O art.4 da Política Nacional de Resíduos Sólidos disposto no Decreto 10.938/2022, mediante a Responsabilidade dos Geradores de Resíduos Sólidos e do Poder Público, apresenta a seguinte regulamentação.

Na hipótese de haver sistema de coleta seletiva estabelecida pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou sistema de logística reversa a que se refere o art. 18, o consumidor deverá: I - acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados; e II - disponibilizar adequadamente os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis para coleta ou para devolução (Brasil, 2022).

Em 2021, dados fornecidos pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, apontam que durante a pandemia da Covid-19, houve um aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), isso porque com o acondicionamento populacional em suas residências, diversos setores precisaram se reinventar para continuar trabalhando, aumentando o consumo de *deliverys* e encomendas que chegavam até suas casas, afetando o deslocamento do lixo residual que antes eram redistribuídos em áreas comerciais, trabalhistas, escolares e entre outros setores, onde eram realizados diferentes formas de coleta, concentrando-se então, nas áreas domiciliares que em muitos casos, não possuem coleta seletiva ou sequer algum tipo de coleta (ABRELPE, 2021).

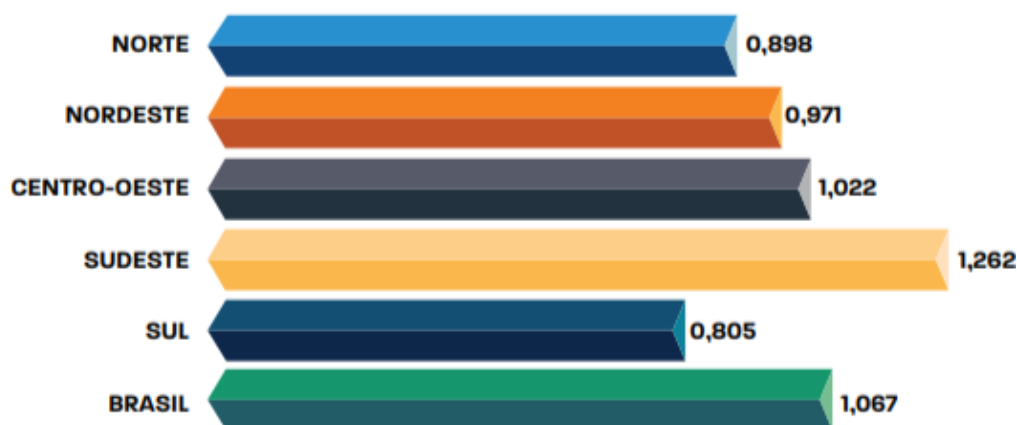
De acordo com o censo de 2022 realizado pelo IBGE, o Brasil tem uma população de aproximadamente 203,1 milhões de habitantes (IBGE, 2022). Cada habitante gera cerca de 390 kg de resíduos descartáveis por ano, resultando em uma média diária de 225.965 toneladas de resíduos, totalizando aproximadamente 82,5 milhões de toneladas anuais, um recorde na produção de lixo e resíduos (ABRELPE, 2021). Comparando com 2010, quando a população era de 190.732.694 pessoas (IBGE, 2010), a ABRELPE registrou 60.868.080 toneladas de RSU por ano, com uma produção per capita de 378,4 kg. Houve, portanto, um aumento significativo de mais de 21 milhões de toneladas na produção de lixo desde o último panorama realizado.

No Brasil, 96% dos resíduos sólidos não foram reaproveitados em 2022. Apenas 4% das 82 milhões de toneladas de resíduos produzidos tiveram alguma destinação reciclável, enquanto o restante foi despejado em aterros sanitários ou em

locais inadequados, próximos a áreas residenciais periféricas.

Por ser a região mais populosa do país, o Sudeste é responsável por produzir a maior geração de resíduos, com cerca de 40 milhões de toneladas por ano, seguido do Nordeste com 16 milhões (ABRELPE, 2021). O gráfico 1 apresenta a produção residual do Brasil por região.

Gráfico 1: Geração de resíduos sólidos por habitante no Brasil (KG/HAB/DIA).



Fonte: ABRELPE, 2021.

Diante das preocupações com a alta produção de lixo e seus impactos, como a degradação ambiental e os efeitos econômicos, foram criados alguns conceitos de consumo. O consumo solidário visa reduzir o consumo compulsivo com propostas específicas. O consumo consciente incentiva a população a comprar de forma mais sustentável e a manejar os resíduos produzidos, tanto por indivíduos quanto por indústrias. Já o consumo sustentável promove a produção de bens que não comprometam a capacidade de atender às necessidades das futuras gerações e que preservem os recursos naturais (das Graças, 2009).

### 2.3 Gerenciamento de resíduos

Mediante as normas gerenciadoras de RSU, como também as NBR que classificam cada tipo existente de resíduo e como devem ser dispostos, junto a PNRS possui como papel principal, manter o equilíbrio ambiental por meio de legislações que empreguem a obrigatoriedade de seu segmento.

A Lei Municipal N° 17.916, de 24 de março de 2023 (Brasil, 2023), aplicada no município de São Paulo, visa aumentar as multas previstas na Lei N° 13.478, de 30 de dezembro de 2002 (Brasil, 2002), que organiza o Sistema de Limpeza Urbana no município. Esta lei autoriza a aplicação de taxas, como a Taxa de Resíduos Sólidos Domiciliares (TRSD), a Taxa de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (TRSS) e a Taxa de Fiscalização dos Serviços de Limpeza Urbana (FISLURB), e criou o Fundo Municipal de Limpeza Urbana (FMLU). Esses órgãos têm como objetivo a punição legal em caso de descumprimento da lei na região. (Brasil, 2002).

Os valores das multas aplicadas a cada grau de infração são estabelecidos na lei n°17.916, sendo que a Lei N°13.478 dispõe no artigo segundo quais devem ser os protocolos seguidos pelo poder público municipal de São Paulo. Cada estado ou município deve assegurar a qualidade ambiental de sua região como no exemplo visto do estado de São Paulo, em que pode-se incluir o Plano Diretor Municipal que visa estabelecer parâmetros de segurança ambiental e social para a cidade.

Art. 2º - O Poder Público Municipal tem o dever de: I - garantir a toda a população o acesso aos serviços de limpeza urbana, em condições adequadas; II - estimular a expansão e melhoria da infraestrutura e dos serviços de limpeza urbana em benefício da população; [...] V - criar condições para que os serviços integrantes do Sistema de Limpeza Urbana propiciem o desenvolvimento social do Município, reduzam as desigualdades sociais e aprimorem as condições de vida de seus habitantes; VI - promover a integração urbana, em conformidade com as políticas estabelecidas no Plano Diretor do Município (Brasil, 2002. art. 2).

É imprescindível que para gestão de resíduos deve-se levar em consideração todos os fatores possíveis para que haja então a viabilização legislativa, sendo estas as condições políticas, econômicas, administrativas, legais, financeiras, ambientais e sociais, tornando-se cada vez mais importante na atualidade levar em conta os aspectos tecnológicos e operacionais para implementação de novos projetos que promovam a saúde e bem estar da população, como por exemplo a implantação de aterros sanitários.

No Brasil, a criação da PNRS desempenhou um papel crucial na evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU). A instituição CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), que visa promover uma logística reciclável mais adequada, publicou em seu panorama as diferenças observadas e depois da nova legislação de 2010. O (quadro 1) demonstra as mudanças visivelmente impactadas por essas alterações.



Quadro 1: Comparação do antes e depois da PNRS 2010.

Aspectos	Antes	Depois
<b>Poder Público</b>	Gerenciamento de resíduos: muitas cidades dependiam de lixões a céu aberto, sem controle adequado de resíduos.	Erradicação dos lixões: lixões foram proibidos com prazos para erradicação e substituição por aterro sanitários que sigam normas ambientais.
	Reciclagem: as taxas de reciclagem eram baixas e pouco incentivadas.	Coleta seletiva e reciclagem: aumentou a implementação de programas de coleta seletiva e incentivo à reciclagem.
	Responsabilidade: a responsabilidade pela gestão de resíduos sólidos estava mal definida entre produtores, consumidores e o governo.	Responsabilidade compartilhada: estabelecimento de responsabilidade compartilhada entre todos os agentes envolvidos na cadeia de resíduos: fabricantes, distribuidores, comerciantes, consumidores e gestores públicos.
	Educação ambiental: poucos programas de educação e conscientização ambiental.	Economia circular: incentivo à prática de consumo consciente e ao desenvolvimento de tecnologias para reutilização e reciclagem de materiais
<b>População e informalização</b>	Predominância na informalidade do setor.	Cooperativas deverão estabelecer parcerias com empresas e prefeituras para realizar a coleta e reciclagem.
	Problema no gerenciamento do local, na qualidade e quantidade do produto destinado.	Aumento do volume e melhora na qualidade dos resíduos que serão reaproveitados ou reciclados.

Fonte: Adaptado de CEMPRE, 2013.

A PNRS foi implementada para erradicar a má gestão de lixo, promover a reciclagem e o tratamento adequado de resíduos sólidos urbanos. Segundo Nascimento (2015), é difícil quantificar a real geração de resíduos devido ao descarte frequente em locais inadequados, o que dificulta a contabilização da produção de lixo. (Nascimento, 2015).

No que tange ao gerenciamento de RSU, a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente e define as providências e mecanismos necessários para regularizar o ambiente urbano em relação ao

ecossistema e à urbanização. Esta lei tem como fundamento a Constituição Federal.

O artigo segundo da Lei nº 6.938, em seu inciso I, determina que as ações governamentais devem garantir a manutenção e o equilíbrio ambiental, assegurando a proteção ambiental com vistas ao uso coletivo. Os incisos III e V promulgam o planejamento e a fiscalização do uso dos recursos ambientais, além do controle de atividades poluidoras (Brasil, 1981). Isso garante um controle adequado do meio ambiente e da sociedade, promovendo o monitoramento da produção e destinação de resíduos sólidos e apresentando a produção de energia renovável, como o biogás, como uma alternativa sustentável.

#### **2.4 A globalização na produção de resíduos sólidos**

O aumento populacional e o consumismo têm gerado um crescimento exponencial na produção de resíduos sólidos, provenientes de setores industriais, comerciais, domésticos, agrícolas e farmacêuticos. Essa geração crescente de resíduos, muitas vezes sem manejo adequado, tem causado grandes impactos ambientais (Oliveira et al., 2009; Recicloteca, 2020).

Um forte aspecto para o aumento dos impactos ambientais é recorrente da revolução tecnológica, conhecida também como revolução 4.0, junto aos avanços da ciência, os recentes desenvolvimentos tecnológicos apresentam um cenário em que há paulatinamente à procura por produtos inovadores, com mais qualidade, maior complexidade e baixo custo, a ascensão de um novo modelo industrial é inevitável e desejada, fazendo com que o ato de obter um novo recurso seja sucessivamente recorrente na vida da população. Esse avanço tecnológico impactou também a forma na qual a locomoção é gerenciada e realizada, por meio de transportes mais seguros, rápidos e eficazes que possibilitam a exportação de produtos que cheguem a qualquer país. Com isso em vista, percebeu-se um fluxo significativo de mercadorias rodando pelo mundo, trazendo consigo o conceito de “encurtamento do espaço-temporal” que visa acelerar o processo de produção de bens e serviços (Andrade, 2008), afetando os hábitos de toda população.

No entanto, toda revolução industrial e econômica traz consigo desafios e determina novas abordagens dentro das organizações, como reflexo das inovações industriais e dos impactos gerados dentro de empresas de recursos digitais que buscam aprimorar cada vez mais seus produtos como celulares, computadores,

carros recursos utilizados para facilitar o dia a dia das pessoas como os possibilitados por meio de inteligências artificiais (AI), internet das coisas (IoT), Big Data e entre outros meios que atraem cada vez mais os consumidores (Mattos, 2013). À medida que os padrões sociais e econômicos aumentam, o ato da compra se torna ainda mais recorrente de produtos progressivamente estimulados ao hábito do consumismo, por isso, houve um ajuste nas legislações que protegem o meio ambiente e que garantem o gerenciamento adequado e descarte correto de resíduos.

A raça humana, envolta pelo regime capitalista, se multiplica, consome cada vez mais, o que, por consequência, afeta agressivamente o meio ambiente ao causar poluição, degradação ambiental e extração de recursos naturais. Tudo para sustentar seu estilo de vida. Tal postura adotada pelo homem demanda urgente mudança comportamental sob pena de testemunharmos um esgotamento de recursos naturais fundamentais à manutenção da vida humana no planeta (Flores, et al. 2018).

A gestão ineficiente de gerenciamento e manejo dos resíduos cada vez maiores, geram materiais e gases nocivos à saúde, provenientes dos materiais descartados, um exemplo do descarte indevido e que ainda nos dias atuais se mostra recorrente, são os lixões, em que todo material gerado sendo ele orgânico ou inorgânico é despejado em um terreno irregular, podendo causar a proliferação de doenças provocadas por metais pesados, vírus e bactérias, afetando até mesmo o mercado imobiliário regional por alterar negativamente o solo e a flora local.

Segundo o artigo escrito por Natália Fernandes, destaca-se a importância de caminhar para a redução do consumo exacerbado e o descarte indevido de lixo, e aumentar a preocupação a fim de conscientizar o meio socioambiental e constituir “uma ruptura com a visão clássica de meio ambiente, em que era levado em consideração apenas seus aspectos técnico-científicos” (Fernandes, 2014 p. 130).

Diante de um mundo capitalista vivenciado pela humanidade, em sua maior parte e mais influente, nota-se o envolvimento político, comercial e social quando se trata de desenvolvimento socioeconômico e o impacto ambiental, pode-se observar que com a influência da internet no cotidiano, a população se sente cada vez mais estimulada a consumir, a comprar novas peças de roupas para seguir as tendências de moda, a trocar de carro quando o seu se torna “ultrapassado” na visão do consumidor, adquirem um celular a cada lançamento de marcas grandes como a *apple*, empresa essa, assim como tantas outras que trabalham com os estímulos de

sentir necessidade de se inteirar das novas tendências, usando a tática de atualizar seus novos aparelhos e tornar os anteriores mais “ineficiente” ou apenas desatualizado em vista dos modelos mais atuais. Essa sensação de necessidade faz com que a compra de novos produtos seja cada vez mais frequente, impactando na alta produção de resíduos, sejam orgânicos ou inorgânicos.

## 2.5 Aterros Sanitários

Os aterros sanitários são instalações projetadas para o descarte seguro dos resíduos sólidos onde esses resíduos são compactados e cobertos por camadas de terra a fim de reduzir o impacto ambiental (Figura 2). O objetivo de um aterro sanitário é minimizar a poluição do solo, da água e do ar que é causado pelos resíduos. A gestão adequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) depositados no local é de extrema importância para a proteção do meio ambiente.

Figura 2: Aterro Sanitário



Fonte: Conservi, consultoria, 2008.

Lixões são locais onde os resíduos sólidos são depositados de forma inadequada, sem tratamento ou controle, contrastando com os aterros sanitários, que são locais legalizados e em conformidade com as leis ambientais, promovendo uma gestão eficaz.

A gestão inadequada de resíduos nos lixões apresenta sérios riscos à saúde e ao meio ambiente, contaminando solo, água e ar, além de gerar incêndios e emissões de gases de efeito estufa. Políticas eficazes, como coleta seletiva e aterros sanitários controlados, são essenciais para mitigar esses impactos. O Brasil, quarto maior produtor de lixo do mundo, frequentemente descarta resíduos de forma incorreta e em locais inadequados. (Celina, 2002).

A construção de aterros é de extrema importância, pois sua ausência pode causar problemas graves, como a contaminação dos lençóis freáticos e aquíferos, vazamento de líquidos e gases, limites inadequados de camadas de lixo e a presença de animais que podem transmitir doenças. Além disso, a falta de aterros resulta em manutenções constantes e altos custos econômicos, entre outros riscos enfrentados pelas cidades que não possuem esses locais adequados.

A coleta de lixo é crucial tanto em áreas urbanas densamente povoadas quanto em comunidades rurais remotas. Nas cidades, ela mantém a higiene e saúde pública, atendendo residências, empresas e instituições. Nas zonas rurais, apesar dos desafios de infraestrutura, é essencial para evitar poluição e riscos à saúde. Populações vulneráveis, como comunidades de baixa renda, dependem especialmente desse serviço para garantir um ambiente seguro.

A gestão dos aterros sanitários deve seguir a norma ABNT NBR 8419/1992, de forma que a sua vida útil seja de no mínimo dez anos. Após o encerramento das atividades, o aterro deve ser monitorado por mais dez anos, pois a produção de chorume e de gases tóxicos continua acontecendo (Brk, 2020).

Para um município lidar com uma gestão adequada dos aterros sanitários e lidar com lixos especiais e lixos hospitalares, a criação de espaços específicos que minimizam o risco de contaminação, isso inclui que na sua infraestrutura haja a impermeabilização do solo com mantas de plástico que evita a infiltração de substâncias, além da coleta de líquidos percolados (chorume).

A captura de metano e dióxido de carbono durante a decomposição orgânica é crucial para evitar poluentes atmosféricos. Além disso, isolar adequadamente o lixo em cada camada previne a propagação de odores e vetores de doenças.

Para assegurar essas medidas, é crucial criar espaços adequados para o armazenamento temporário dos resíduos e implementar sistemas de drenagem pluvial para evitar a contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

A instalação e manutenção de balanças de caminhão são essenciais para

controlar a quantidade de resíduos depositados e garantir a conformidade regulatória. Portanto, adotar práticas e infraestruturas abrangentes é vital para uma gestão sustentável e segura dos resíduos especiais.

## **2.6 Desenvolvimento de políticas e incentivos governamentais para promover transformação de resíduos sólidos**

O desenvolvimento de políticas e incentivos governamentais é crucial para a gestão ambiental sustentável e para minimizar os impactos negativos dos resíduos sólidos. A PNRS estabelece uma responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e sociedade, visando os 8 R's da sustentabilidade. A falta de políticas públicas nas cidades afeta negativamente as comunidades ao redor dos aterros, especialmente as economicamente desfavorecidas, que sofrem com odores, poluição e degradação ambiental, resultando em qualidade de vida inferior (Lisboa, 2013).

Esses planos fiscais devem incluir a identificação dos tipos e quantidades de resíduos gerados, além de metas para a redução da geração de resíduos, incremento da coleta seletiva e reciclagem, e melhoria na disposição final. A implementação desses planos tem mostrado resultados positivos na melhoria da gestão de resíduos sólidos em várias cidades brasileiras, promovendo um ambiente mais limpo e saudável.

Legislações como a Lei nº 11.445 de 2007 e a Lei nº 14.026 de 2020 atualizam o marco do saneamento básico, sendo fundamentais na transformação de resíduos sólidos. Incentivos fiscais e financeiros do governo federal, através de programas como PPPs e o FNMA, oferecem recursos e apoio técnico para projetos de gestão sustentável de resíduos. Esses incentivos estimulam investimentos privados em tecnologias de reciclagem, compostagem, biodigestão e incineração com recuperação de energia, reduzindo a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários.

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Brasil, 1981, art. 225).<sup>4</sup>

A educação ambiental é fundamental para políticas de resíduos sólidos. Campanhas e programas educativos informam a população sobre redução,

reutilização e reciclagem de resíduos. A Lei nº 9.795 de 1999 estabelece a Política Nacional de Educação Ambiental, promovendo a educação em todos os níveis e em espaços não formais. Sensibilizar a população é crucial para mudar comportamentos e garantir o sucesso das políticas de gestão de resíduos.

O avanço tecnológico e a inovação são cruciais para a transformação de resíduos sólidos. Políticas governamentais que incentivam pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias podem tornar o gerenciamento de resíduos mais eficiente e sustentável. A implementação de tecnologias de ponta na coleta seletiva aumenta a eficiência das operações e reduz os impactos ambientais, promovendo a gestão sustentável de resíduos sólidos no Brasil.

## **2.7 Poluição Ambiental**

A poluição ambiental é o resultado de substâncias e agentes nocivos ao meio ambiente, causando danos à saúde humana, ecossistema e à biodiversidade (Velle; Lage, 2019).

Essas substâncias podem ser poluentes hídricos ou poluentes de solo e são resultados das atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis, a emissão de resíduos industriais e o descarte inadequado de lixo. A poluição ambiental representa uma ameaça significativa à qualidade de vida e à sustentabilidade do planeta.

Considera-se poluição “toda e qualquer alteração das propriedades naturais do meio ambiente que seja prejudicial à saúde, à segurança ou ao bem estar da população sujeita aos seus efeitos, causada por agente de qualquer espécie” (Mano, *et al*, 2005). Ao reconhecer que qualquer alteração prejudicial das propriedades naturais pode ser considerada poluição.

A liberação contínua de poluentes atmosféricos, como óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, contribui para a formação de ozônio troposférico e poluição ambiental, afetando a qualidade do ar respirável e propagação de doenças respiratórias. A contaminação de corpos d’água liberados por efluentes industriais, agrícolas e urbanos acaba introduzindo uma grande quantidade de substâncias químicas (metais pesados, pesticidas) que contaminam o ecossistema aquático (Naturae 2.1 2020: 23-33).

Atualmente, eventos como estes ainda ocorrem em regiões de alta densidade industrial e que as preocupações com as emissões de gases poluentes ainda são incipientes, ou relacionados ao grande número de veículos circulando pelas ruas das grandes cidades. As várias ocorrências de mortalidade em decorrência de eventos críticos de poluição do ar levaram vários países a repensarem a maneira como lidam com as emissões (Da Silva, 2017, p. 171- 172).

A presença de poluentes como o ozônio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre no ar pode causar diversos problemas na saúde humana (Bragança, 2019), como a asma, bronquite, derrame cerebral, infarto, entre outros, em que muitas vezes algumas dessas doenças acabam sendo tratadas, mas não curáveis. Além da poluição está associada ao aumento da mortalidade prematura, especialmente entre crianças, idosos, e pessoas com comorbidade que são os mais vulneráveis ao assunto.

A OMS estima que em 2019, cerca de 37% das mortes prematuras associadas à poluição atmosférica exterior foram causadas por isquemia cardíaca e acidente vascular cerebral; 18% para doenças pulmonares obstrutivas crônicas; 23% para infecções respiratórias agudas; e 11% no câncer do trato respiratórios.

A exposição contínua aos poluentes atmosféricos também pode ter efeitos negativos a longo prazo. Estudos mostram que a poluição do ar pode afetar o desenvolvimento do câncer de pulmão e afetar o sistema nervoso central, levando a problemas cognitivos e neurológicos (Schiel, 2008). Além dos efeitos físicos, há evidências de que a poluição do ar pode afetar a saúde mental, aumentando o risco de depressão e ansiedade. Portanto, o combate à poluição atmosférica não é apenas um problema ambiental, mas também uma prioridade.

## **2.8 Crises climáticas**

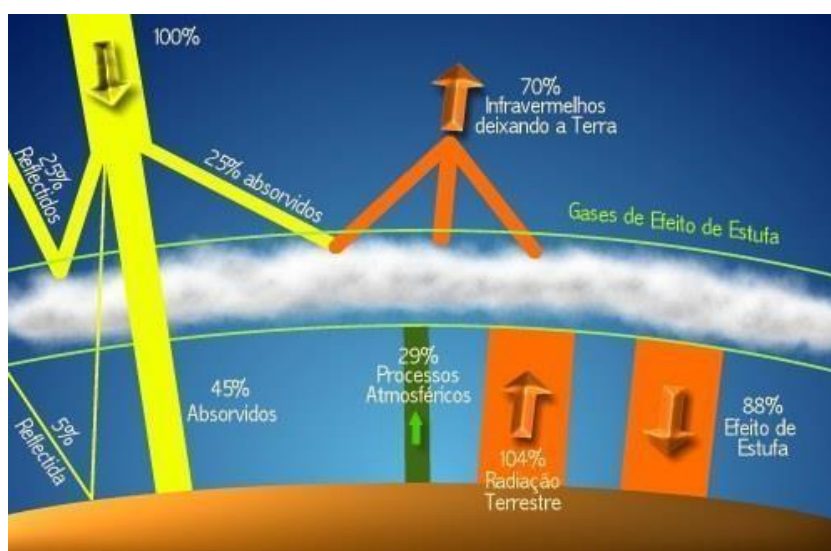
A crise climática é uma das ameaças mais urgentes do século XXI, manifestando-se por meio de mudanças abruptas e significativas nos padrões climáticos globais, fortemente influenciadas por atividades humanas.

Estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C. Nota-se também que, é provável que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual (IPCC, 2018. p.7).



As mudanças climáticas estão intrinsecamente ligadas a ação dos gases como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxidos de nitrogênio e clorofluorcarbonetos (CFCs) que retêm parte da radiação infravermelha refletida na superfície terrestre. Esses gases denominados GEE (gases de efeito estufa) permitem que a radiação solar penetre na atmosfera e aqueça a superfície do planeta. Quando a Terra irradia parte desse calor de volta ao espaço na forma de radiação infravermelha, os GEE (Figura 3), absorvem e emitem essa radiação, reenviando-a novamente para a superfície terrestre e para atmosfera inferior, criando assim um efeito de aquecimento.

Figura 3: Efeito Estufa



Fonte: Schiel, 2008.

O dióxido de carbono tem desempenhado um papel crucial na regulação da temperatura global do planeta, e ao longo dos anos, sua concentração na atmosfera dobrou. “Com o tempo, o dióxido de carbono continuará a se proliferar, levando ao aumento da temperatura global. Mesmo um pequeno aumento pode causar o derretimento das calotas polares e grandes alterações topográficas e geológicas no planeta” (Schiel, 2008).

O metano é um composto químico simples, formado por um átomo de carbono e quatro átomos de hidrogênio, sendo o principal componente do biogás. Sua produção ocorre principalmente em processos anaeróbios.

O metano é um dos gases que intensificam o efeito estufa (Figura 5), sendo mais nocivo que o  $\text{CO}_2$ . Devido às ações humanas, o aumento da absorção desses

gases na atmosfera está causando um aumento na temperatura média global.

Quadro 2: Gases de efeito estufa.

Gás de Efeito Estufa	Fórmula	Potencial de Aquecimento Global (PAG) em tCO <sub>2</sub> e	Fontes de Emissão
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1	Desmatamento, veículos, equipamentos industriais e extintores de incêndio
Metano	CH <sub>4</sub>	25	Lixo, veículos e equipamentos industriais
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	298	Fertilizantes, equipamentos industriais e veículos
HCFC-141b	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> F	725	Equipamentos de refrigeração
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1.430	Equipamentos de refrigeração, aerossóis e solventes
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	4.750	Equipamentos de refrigeração, aerossóis e solventes

Fonte: Adaptado de GHG Protocol (2021).

Nos aterros sanitários, a produção de biogás ocorre por meio da decomposição anaeróbica, liberando metano. Esses sistemas evitam a emissão direta de metano na atmosfera, um gás com potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o dióxido de carbono.

Os drenos verticais nos aterros sanitários queimam gases antes de direcioná-los para combustão, liberando substâncias poluentes. Embora comum, essa prática é ineficaz e prejudicial ao ambiente e à saúde. A captura e uso adequado desses gases são essenciais para mitigar impactos negativos e aproveitar o potencial energético, propondo a utilização de biodigestores para controlar a produção de metano e utilizá-lo como energia renovável, evitando sua dispersão na atmosfera.

As mudanças climáticas resultantes dessas emissões têm impactos significativos na saúde humana, ecossistemas e economia global. No Brasil implementou-se o Art.1 da LEI N.º 354, DE 2007, o qual institui a Política Brasileira de Atenuação do Aquecimento Global, que tem por objetivos reduzir a emissão de

gases causadores do efeito estufa no Brasil, maximizar os benefícios resultantes de mudanças na matriz energética do País, sem retardar o processo de crescimento econômico nacional. O Brasil tem a capacidade de contribuir significativamente para a mitigação do aquecimento global através da redução das emissões de gases de efeito estufa.

As propriedades do metano permitem que a redução das suas emissões tenha um impacto rápido e significativo no aquecimento global, além de gerar benefícios econômicos e energéticos. Capturar e usar o metano dos aterros sanitários diminui os danos ambientais e transforma esse gás em uma fonte útil de energia.

## **2.9 Benefícios ambientais da transformação de resíduos em energia renovável**

O mundo está em constante evolução e sem dúvidas a energia foi uma das grandes soluções para beneficiar a população, trazendo a possibilidade de gerar luz, abastecer reservas energéticas que fazem as geladeiras funcionarem e assim conservarem os alimentos, o chuveiro a esquentar por meio da condução elétrica, fazer carros elétricos rodarem nas rodovias, ter acesso a internet e dentre muitas outras vantagens que revolucionaram o modo como o mundo interage, fazendo com que este recurso se tornasse indispensável para o movimento socioeconômico, sendo que, com o aumento populacional a demanda por este recurso tem se tornado cada vez mais utilizado, necessitando de novos meios de geração de energia renovável (Walker, 2009).

O biogás se trata de uma energia gerada por meio de rejeitos derivados de matéria prima como o bagaço de plantações de milho, de cupiaçu, dejetos de animais, materiais orgânicos como restos provenientes de residências, tendo sua reação realizada pela decomposição anaeróbica, trazendo uma solução para estes rejeitos que poluem o ecossistema por não adequar suas liberações de gases nocivos à saúde do meio ambiente e do ser humano, mas que são capazes de gerar mais energia como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), podendo alterar aquela antes gerada de forma menos sustentável e que pode se tornar escassa com o tempo.

Países desenvolvidos como os dispostos nos continentes europeu e norte da América, já utilizam dessa fonte mais natural de geração de resíduos por apresentar

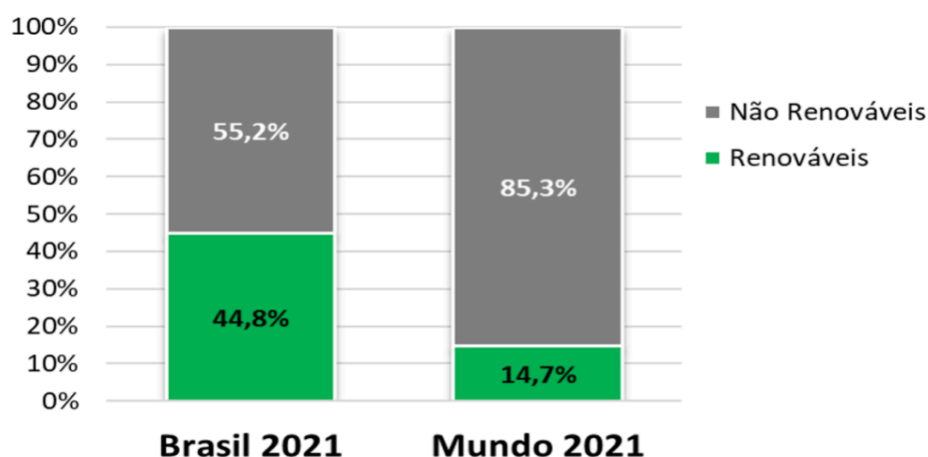
soluções mais adequadas, tornando a recuperação do solo como um de seus focos, cerca de 1.000 aterros realizam a produção de biogás por meio dos biodigestores, e um dos objetivos do biogás é diminuir a produção de combustíveis fósseis. Na Índia, um programa do governo incentivou a prática da utilização dos biodigestores e resultou na criação de cerca de 3,4 milhões de biodigestores domésticos, também havendo um forte crescimento em ambientes rurais (Zanette, 2009).

Se o Brasil utilizasse toda sua capacidade energética derivada do biogás, ele seria responsável por cerca de 24% da produção de energia demandada no Brasil (Brasil, 2020), além de minimizar os gastos com reforma e tratamento de efluentes utilizados em hidrelétricas para gerar energia, oferecendo mais benefícios ao meio ambiente por destinar os resíduos sólidos em forma de geração de energia renovável.

A capacidade elétrica instalada mais do que dobrou entre 2013 e 2018, passando de 70.473 KW para 153.090 KW, alta de 117%. Entre 2016 e 2017, o setor apresentou um crescimento de 14%. As 35 usinas cadastradas no sistema ampliaram a potência instalada de 118,6 megawatt (MW) para 135,3 MW. A perspectiva é que a produção do biometano deve chegar a 32 milhões m<sup>3</sup> diários, volume um pouco maior que a capacidade de importação de gás natural da Bolívia pelo Brasil (Fernandes, et. al. 2019).

O Brasil já utiliza de fontes renováveis, segundo o Ministério de Minas e Energias (Brasil, 2023), o relatório divulgado em março de 2023 alega que cerca de 85% da energia produzida no Brasil é renovável como as hidrelétricas que são as mais utilizadas no país, a eólica e a solar, no entanto ainda há algumas falhas ao que se refere à produção e utilização do biogás. O gráfico referente ao consumo de energia, retrata em porcentagem a utilização de energia renovável utilizada no Brasil e a comparação com restante do mundo.

Gráfico 2: Consumo de energia



Fonte: Empresa de pesquisa energética, 2021.

O relatório do IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas de 2023, relata que as atividades humanas modificam as estruturas climáticas do planeta por meio das emissões de gases do efeito estufa (GEE), causando o aquecimento global, alcançando em 2021 o aumento da temperatura do planeta em 1,1°C. Cerca de 1750 dos gases emitidos no planeta são provenientes de ações antrópicas e ainda houve um impulso na gradatividade do aumento do nível do mar, que possui crescimento de 3,7mm ao ano desde 2018 (IPCC, 2023). Este mesmo relatório traz medidas mitigadoras para solucionar os casos de aumento do aquecimento global e diminuir a produção de GEE e mostra aplicações de tecnologias capazes de solucionar esses problemas que se mostram em um nível crescente alarmante.

As políticas e leis que abordam a mitigação têm se expandido consistentemente desde o AR5. As emissões globais de GEE em 2030, implicadas pelas contribuições determinadas nacionalmente (NDCs) anunciadas até outubro de 2021, tornam provável que o aquecimento exceda 1,5°C durante o século 21 e torne mais difícil limitar o aquecimento abaixo de 2°C. Há lacunas entre as emissões projetadas das políticas implementadas e as das NDCs, e os fluxos financeiros ficam aquém dos níveis necessários para atingir as metas climáticas em todos os setores e regiões (IPCC, 2023).

A energia do biogás beneficia as regiões ao destinar resíduos que antes causavam doenças e contaminação do solo. Pode ser adaptada conforme a disponibilidade local, utilizando matéria orgânica como restos de alimentos, excrementos e bagaços de plantas. Com maior geração de biogás, a demanda por energias mais pesadas diminui, promovendo sustentabilidade e trazendo benefícios sociais e econômicos.

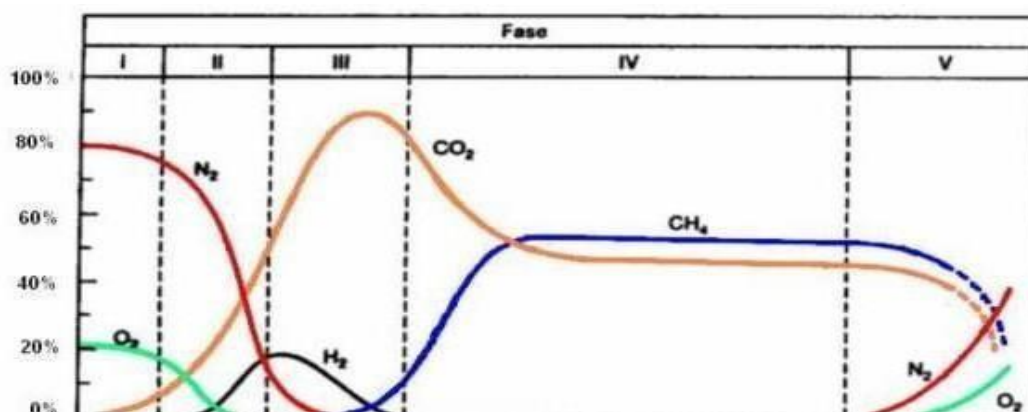
## 2.10 Biogás ou Gás dos Pântanos

O biogás é uma mistura gasosa composta principalmente por metano e dióxido de carbono, foi originalmente descoberto por Shirley em 1667. Em 1776 Alessandro Volta identificou o metano no “gás dos pântanos”. A coleta de biogás proveniente da digestão anaeróbica foi documentada em uma estação de tratamento de esgoto na Inglaterra em 1895, já o estudo de digestão anaeróbica começou em 1960. No Brasil, os estudos do biogás começaram durante a crise do petróleo em 1979 (Cetesb, 2020).

Entre as décadas de 1990 e 2000, o biogás foi reconsiderado no Brasil para reduzir as emissões de gases do efeito estufa, especialmente por meio de projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e créditos de carbono (Biogás, 2020). Conforme Freitas et al. (2019), a tecnologia de biogás não recebeu a devida atenção entre 1970-2010, retardando seu desenvolvimento. Somente a partir de 2010, o biogás passou a ser significativamente utilizado na geração de energia e reconhecido como ativo energético ambiental.

A digestão anaeróbica envolve microrganismos decompondo matéria orgânica sem oxigênio, dividida em hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Prabhu et al., 2020). Segundo Tchobanoglous et al. (1994), a geração de gás em aterros é descrita em cinco fases, ou quatro se a segunda for considerada uma transição, levando em conta a heterogeneidade dos resíduos e as condições ambientais do aterro.

Gráfico 3: Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos.



Fonte: (Apud Tchobanoglous et al, 1994).

**Fase I: Ajuste inicial** - Na fase inicial também afamada como fase hidrolítica,

as bactérias hidrolíticas decompõem a matéria orgânica complexa encontrada em resíduos sólidos em compostos mais simples, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. Essa etapa transforma macromoléculas em moléculas solúveis, que outros microrganismos podem facilmente usar para preparar o substrato para as etapas posteriores.

**Fase II: Transição** - A fase Acidificante, avança para que os produtos da hidrólise sejam transformados pelas bactérias fermentativas na fase acidogênica, em ácidos orgânicos, álcoois, álcool hidrogênio e dióxido de carbono. Predominantemente, são ácidos graxos voláteis, como ácido butírico, ácido propiônico e ácido acético. Ao longo dessa fase há um aumento na concentração de ácidos e uma diminuição de pH, criando um ambiente ácido que será necessário para a próxima fase.

**Fase III: Ácida** - Na fase acetogênica as bactérias acetogênicas transformam os ácidos orgânicos e álcoois criados na fase anterior em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Como o acetato e hidrogênio são precursores essenciais para a produção de metano na fase metanogênica, esse processo é vital. Ao converter compostos intermediários, a acetogênese ajuda a equilibrar o sistema.

**Fase IV: Metanogênica** - A fase metanogênica, na qual arqueas metanogênicas transformam acetato, hidrogênio e dióxido de carbono em metano e água. Essa fase é fulcral, para a produção de biogás com alto valor energético, onde o metano é o principal constituinte o pH do chorume nesta fase ascenderá a valores na faixa de 6,8 a 8,0.

**Fase V: Maturação** – Após a biodegradação significativa do material em metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) durante a fase metanogênica, a umidade continua a se mover pela massa de lixo, permitindo que partes anteriormente não disponíveis do material biodegradável comecem a reagir. A taxa de geração de gás diminui consideravelmente devido ao consumo da maioria dos nutrientes nas fases anteriores, restando apenas substratos de degradação lenta no aterro. Pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás de aterro, dependendo das medidas tomadas durante o fechamento do aterro.

Segundo a afirmação de Borba (2006, p. 11). “A duração de cada fase de geração de gás varia conforme a distribuição dos componentes orgânicos no aterro, a disponibilidade de nutrientes, a umidade dos resíduos, a passagem de umidade pelo processo e o grau de compactação inicial”.

Normalmente, a decomposição nos aterros atinge seu pico de produção de gás nos dois primeiros anos, diminuindo lentamente ao longo de 25 anos ou mais. As fases de um aterro variam conforme novos resíduos são adicionados. Enquanto algumas áreas passam pela fase aeróbia, outras com resíduos mais antigos estão na fase de geração de metano. O biogás gerado pode ser usado para energia elétrica, com concentrações de metano estabilizando-se entre 60% e 65% após um a dois anos (Ensinas, 2003).

Os biodigestores que produzem biogás ajudam a diminuir a poluição ambiental ao evitar a emissão de gases de efeito estufa. O Decreto Nº 11.003, de 21 de março de 2022, institui a Estratégia Federal de Incentivo ao uso Sustentável de Biogás e Biometano no Brasil, promovendo essas fontes de energia renovável para reduzir emissões de metano e cumprir compromissos climáticos internacionais. O decreto define biogás como gás obtido de matéria-prima renovável e resíduos orgânicos.

## **2.11 Biodigestores e Usinas de Biogás**

O Biodigestor é um equipamento que tem por incumbência estimular a decomposição de matéria orgânica, por meio da ausência de oxigênio, captar seus gases liberados metano, dióxido de carbono, encaminhar esses gases para serem armazenados, filtrados ou queimados, para assim serem convertidos em energia que só ocorre por meio da combustão, sendo elas elétrica, mecânica ou térmica, impedindo a emissão direta do outrossim que polui cerca de 25 vezes mais que uma molécula de carbono.

Os biodigestores apresentam uma solução ecologicamente correta e economicamente viável para o tratamento de resíduos orgânicos, ao mesmo tempo que contribuem para a geração de energia renovável. Essa tecnologia tem um papel fundamental na transição para um futuro mais sustentável e na diminuição da dependência de combustíveis fósseis (Machado *et al*, 2023).

Além de gerar energia renovável, os biodigestores ajudam a diminuir a poluição ambiental ao impedir a emissão de gases de efeito estufa, resultantes da decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos em condições naturais. As usinas de biogás desempenham a mesma função que os biodigestores, mas em uma escala maior, focando na quantidade e qualidade de maneira comercial. A classificação de um biodigestor depende da demanda do material que se utilizará,

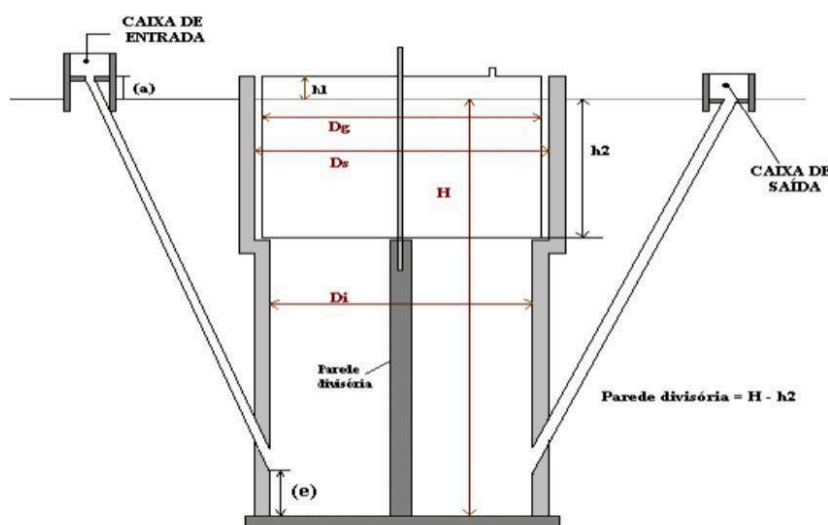


qual a quantidade de resíduos orgânicos gerados diariamente e que atende a necessidade do local.

A classificação dos biodigestores é realizada quanto à forma de abastecimento que pode ser em batelada e contínuos. Os diferentes modelos de biodigestores encontrados na literatura são Indianos, Chinês, Canadense e Batelada. Os biodigestores são a melhor opção pelo fato de existirem muitos modelos que podem ser adaptados de acordo com a necessidade da propriedade e produtor (Damanis *et al.*, 2015, p 57).

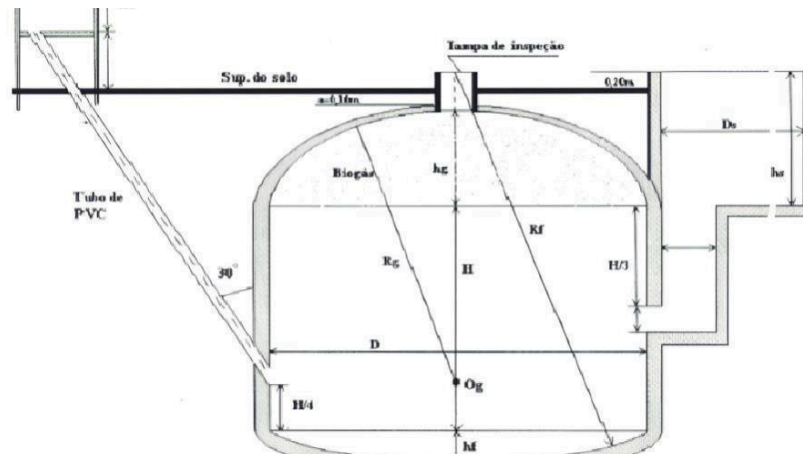
O biodigestor indiano (Figura 4) tem uma cúpula de metal, móvel, o que mantém a pressão interna estável. Enquanto que o biodigestor chinês (Figura 5) tem a cúpula geralmente feita em alvenaria e é fixa, o que faz com que a pressão interna varie de acordo com o volume de gás produzido, diminuindo o custo de fabricação podendo apresentar vazamentos de gás se não permanecer bem vedado e impermeável. Esses biodigestores são apropriados para rendimento baixo: casas e fazendas.

Figura 4: Biodigestor Indiano



Fonte:(Deganutti *et al.*, 2002).

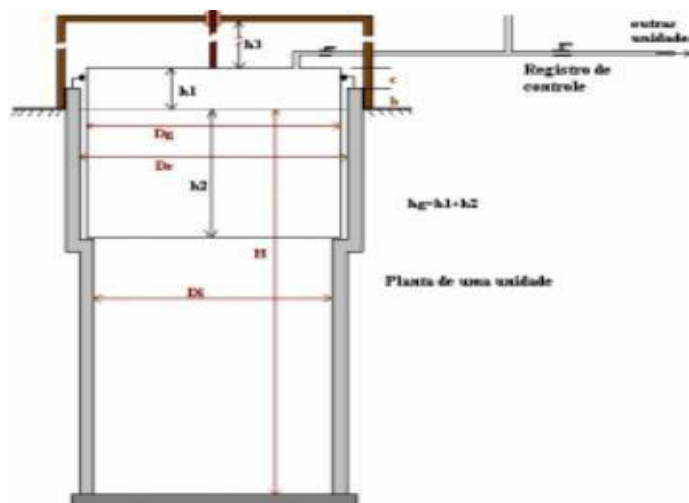
Figura 5: Biodigestor Chinês



Fonte: (deganutti *et al.*, 2002)

Este biodigestor (Figura 5) é simples comparado com os demais, pois necessita de um tanque isolado ou vários tanques em afluência, juntamente com seus resíduos, afora oxigênio durante 30 a 40 dias, e por último e não menos importante o contínuo, onde não ocorre esse isolamento para que ocorra a fermentação, é contínuo a deposição de matéria nunca para como diz em seu próprio nome sua fermentação é contínua e a geração de gás também.

Figura 6: Biodigestor Batelada.

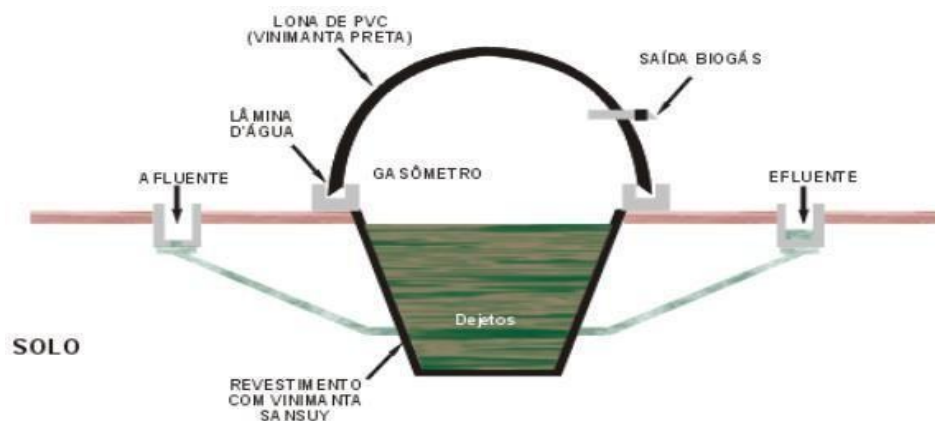


Fonte: (Deganutti *et al.*, 2002).

O modelo canadense se diferencia pelo fato de ser do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga feita em alvenaria e com largura maior que a profundidade, possuindo, então, uma maior área de exposição ao sol, possibilitando

em uma grande produção de biogás e também evitando o entupimento (Castanho & Harruda, 2008).

Figura 7: Imagem Biodigestor Canadense



Fonte: (Deganutti *et al*, 2002).

Por meio de sua classificação é necessário realizar o dimensionamento do biodigestor:

O tamanho do digestor de biogás depende do tipo de biomassa, quantidade e qualidade disponível, e da temperatura de digestão. O Dimensionando do digestor: O tamanho do digestor ou o volume do digestor  $V_d$  ( $m^3$ ) é determinado com base no tempo de retenção escolhido TRH (número de dias) e na quantidade diária de entrada de substrato  $S_d$  ( $m^3$  /dia). • Volume digestor = quant. Biomassa/dia x tempo retenção  $V_d = S_d \times TRH$  [ $m^3 = m^3/dia \times$  número de dias] Definição: Substrato = resíduos de biomassa que entram no digestor (Zang *et al.*, cvt-apinajé, 2021.p.35).

As usinas de biogás, implementadas através de biodigestores, tornaram-se empreendimentos de média a alta escala, comercializando seus rendimentos. Biodigestores são uma opção sustentável para a produção de energia, incentivando o uso eficaz de resíduos orgânicos e ajudando a reduzir os impactos ambientais negativos dos combustíveis fósseis.

Embora os biodigestores apresentem vantagens significativas, como a produção de biogás e biofertilizantes, sua implementação enfrenta desafios, especialmente relacionados à viabilidade econômica em áreas com infraestrutura limitada e dificuldades de acesso a financiamento. Além disso, a operação eficiente desses sistemas depende da disponibilidade de matéria-prima orgânica adequada e da capacitação técnica de pessoal para gerenciá-los. Esses fatores limitam a

expansão dos biodigestores em muitos contextos, exigindo soluções como políticas públicas específicas e incentivos financeiros (Canal Bioenergia, 2024).

## **2.12 Viabilidade energética no Brasil e a aplicação do biogás**

A Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 1059/2023, estabelece condições e proporciona um Sistema de Compensação de Energia Elétrica, beneficiando até mesmo de forma econômica empresas distribuidoras de energia que integrem os programas de microgeração e minigeração de energias elétricas renováveis como o biogás, por compensar o valor das contas de energia, como descrito no inciso XLV-A (45-A) desta mesma lei.

XLV-A -Sistema de Compensação de Energia Elétrica - SCEE: sistema no qual a energia elétrica ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local, cedida a título de empréstimo gratuito e posteriormente utilizada para compensar o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema (Aneel, 2023).

O incentivo a políticas públicas para o uso de energia elétrica renovável é crucial para a utilização recorrente de fontes sustentáveis como o biogás. Minas Gerais exemplifica esse incentivo, conforme a Lei nº 20.824 de 2013, que promove a utilização de biogás e oferece redução de tarifas e ICMS para empresas de energia que usam fontes limpas e participam do sistema de compensação de energia da ANEEL. Isso destaca a importância dos incentivos públicos.

Dentre os incentivos a projetos sustentáveis, a Lei nº 13.576 institui a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), estabelecendo metas anuais para redução de emissões de gases do efeito estufa. Em 2016, o Brasil assinou o Acordo de Paris, comprometendo-se a reduzir em até 37% as emissões de carbono até 2025. No entanto, a ONU indica que essas metas não são suficientes e que são necessárias reduções anuais de 28% a 42% para evitar um aumento global de 2,0°C. Essas informações reforçam a urgência de medidas para mitigar emissões de GEE, aproveitando o biogás e destinando corretamente os RSU, promovendo projetos e incentivos financeiros.

Para aumentar a implementação de projetos que utilizem o biogás reaproveitados dos RSU, podem ser financiados após um estudo financeiro de viabilidade, por políticas públicas que facilitem o processo de instalação de

biodigestores por meio de órgãos como os citados por Gustavo Gomes, membro do Departamento de Engenharia Ambiental.

Financiadora de Estudos e Projetos (Finep); do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); do CT-Energia; do Financiamento à Infraestrutura e ao Saneamento (Finisa) da Caixa Econômica Federal; do Fundo Nacional de Meio Ambiente (FNMA); do Banco Internacional de Desenvolvimento; do Banco do Brasil (Gomes, 2022, p.39).

A utilização de fontes renováveis como o biogás, apresentam propostas mais sustentáveis e mais econômicas, embora haja a necessidade da criação de novas construções de biodigestores, a longo ou médio prazo, poderá se sentir as vantagens econômicas tanto para a indústria quanto para a população ao reduzir as tarifas de energia e propiciar ambientes mais limpos ao destinar os resíduos sólidos, para isso, tecnologias para o setor produtivo que sejam mais eficientes devem ser adquiridas (Martins, 2017).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu em explicar o problema gerado pelos resíduos sólidos urbanos (RSU) com base nas referências teóricas analisadas, bem como em obras e documentos relacionados ao tema pesquisado, utilizando como ferramenta o Google Acadêmico destacando arquivos fornecidos pelo governo do Estado de São Paulo e do município de Jacareí-SP e também a visita em campo, assim obteve-se um levantamento e análises qualitativas a partir desses artigos sobre a destinação de resíduos sólidos e consequentemente a produção de biogás.

Como parte do desenvolvimento, os integrantes realizaram uma prática de campo no aterro sanitário do município, em 16 de maio de 2024. O objetivo era observar diretamente o funcionamento da gestão de resíduos sólidos e o uso de usinas de biogás. Isso incluiu uma conversa informal com a gestora local, Camila, realizando perguntas sobre as usinas em fase de adaptação e configuração. No entanto, devido à legislação de privacidade, não foi permitido fotografar o aterro.

#### 3.1 A energia elétrica no Brasil

No Brasil, o tratamento de RSU enfrenta desafios. Dados do Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos do Brasil, da ABRELPE (2023), mostram que em 2022 cerca de 93% dos RSU foram coletados adequadamente, totalizando aproximadamente 196 mil toneladas diárias (ABREMA, 2023).

Infográfico 1: Participação regional na geração de RSU em 2022



Fonte:(ABREMA, 2023).

Em relação a gestão de RSU para a geração de energia no Brasil, percebe-se que a região sudeste é responsável por quase metade da produção de resíduos sólidos, com 49,4%, seguido do Nordeste com 24, %, sul com 11,0%, centro-oeste responsável por 7,7% e com menos impacto, a região norte com 7,3% (ABREMA, 2023).

O quadro 4 fornece um levantamento de Usinas de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos instalados no Brasil desde 2018, em que alguns países ainda estão em fases de adaptação e instalação (Gomes, 2018).

Quadro 3: Usinas de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos instalados ou em fase de instalação no Brasil em 2018.

NOME	CIDADE	CONDIÇÃO
Aterro Sanitário Nova Gerar	Nova Iguaçu, RJ	Fase de implantação
Aterro Sanitário de Salvador	Salvador, BA	Em operação
Aterro Sanitário Marca Ambiental	Carícias, ES	Fase de implantação
Aterro Sanitário Lara	Mauá, SP	Fase de implantação
Aterro Sanitário Bandeirantes	São Paulo, SP	Em operação
Aterro Sanitário São João	São Paulo, SP	Em operação
Usina Verde	Rio de Janeiro, RJ	Em operação
Aterro Sanitário Tecipar - PROGAT	Santana de Parnaíba, SP	Fase de implantação
Termoverde Caieiras	Caieiras, SP	Em operação
Recuperação Energética (URE)	Barueri, SP	Fase de Implantação
Aterro Dois Arcos	Rio de Janeiro, RJ	Fase de Implantação
Usina em Boa Esperança	Boa Esperança, MG	Fase de implantação

Fonte: Adaptada (2024), Gomes, 2018.

Segundo o Panorama de Biometano, disposto pelo Ministério de Minas e Energia, a produção de biogás segue em expansão no país. O volume em expansão produzido cresceu cerca de 87% nos últimos 10 anos, o que demonstra o interesse do mercado nacional pelo setor (CIBiogás, 2023). São Paulo lidera na geração de energia renovável a partir de resíduos sólidos, mas o Brasil, em comparação com países desenvolvidos, ainda avança lentamente na produção de energia a partir do

lixo. Embora produza muitos resíduos, grande parte do país carece de tratamento adequado e investimentos inteligentes. Segundo Bergamaschi (2018), os RSU são uma fonte inesgotável de energia, já que a produção de lixo cresce com o aumento das cidades.

### **3.2 Impacto da Agenda 21**

No dia 14 de junho de 1992, o documento da Agenda 21 foi assinado no Rio de Janeiro, por 179 países, resultado da “Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento” – Rio 92, podendo ser definida como um “instrumento de planejamento participativo visando o desenvolvimento sustentável”.

Segundo o estabelecido pelo Ministério do meio Ambiente, um dos objetivos da Agenda 21 é a gestão de resíduos sólidos urbanos por meio de um conjunto de atividades, infraestruturas e a implementação de coleta seletiva, transporte adequado de resíduos, triagem e reciclagem, tratamento como a compostagem e a limpeza de ruas (Brasil, 2012).

Com a promulgação da Agenda 21, surgiram mudanças e legislações ambientais, influenciando a criação da lei 12.305/10, focada na redução da poluição e do aquecimento global. Essa lei proíbe lixões a partir de 2014, mas apenas 10% dos municípios adotaram um plano municipal ambiental, resultando em muitas cidades fora do prazo de regulamentação (De Lorena, 2014).

A Agenda 21 teve maior desenvolvimento no Sul e Sudeste, especialmente em capitais como Rio de Janeiro, São Paulo e Porto Alegre, enquanto era pouco conhecida em outras cidades. Em 2005, foi criada a Rede Brasileira de Agendas 21 Locais (REBAL), que fornece informações para estados e municípios sobre novas abordagens sustentáveis, facilitando a implementação do documento.

A Agenda 21 Brasileira passou por dois períodos e embora o Brasil tivesse assinado o compromisso de implementar a Agenda 21, o processo de criação da mesma, correspondente ao primeiro período, começou somente em 1996, quatro anos após a convenção onde a mesma foi discutida, terminando em 2002.[...]Em outros países, assim como no Brasil, a Agenda 21 se encontra em grande parte não implantada, ou em fase de elaboração. Para tanto, em 2010 a Organização das Nações Unidas emitiu um documento para lembrar/reforçar àqueles países de seus compromissos com as políticas ambientais discutidas na conferência. Com o objetivo de prepará-los para as convenções futuras (Santos, 2020. p.16).



O novo acordo para um planeta mais sustentável, conforme documento do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2012), busca a transição para fontes de energia renováveis como solar, biomassa e eólica, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis. A Agenda 21 apoia o desenvolvimento de tecnologias para gerar energias limpas e menos poluentes, desempenhando um papel crucial na redução da poluição, preservação dos recursos naturais e mitigação das mudanças climáticas.

### **3.3 Município de Jacareí**

O município de Jacareí, localizado no Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, destaca-se como um dos polos industriais da região, com uma estratégia de gestão de resíduos sólidos superior à de outras cidades do Vale. Com uma população de aproximadamente 240.275 habitantes (IBGE, 2022) e uma área de 460,21 km<sup>2</sup>, Jacareí experimenta forte crescimento econômico e industrial, enfrentando desafios significativos na gestão do volume diário de resíduos urbanos e industriais gerados

O município de Jacareí produz, em média, 4.400 toneladas de resíduos sólidos domiciliares por mês. Esse alto volume deve-se, em parte, à localização estratégica da cidade ao longo da Rodovia Presidente Dutra, que conecta os maiores centros urbanos do país, como São Paulo e Rio de Janeiro, favorecendo o desenvolvimento industrial e logístico. O rápido crescimento populacional e econômico aumentou a demanda por soluções sustentáveis e sistemas eficientes de gestão de resíduos.

### **3.4 Aterro Sanitário de Jacareí**

O Aterro Sanitário de Jacareí, localizado no bairro Cidade Salvador, foi projetado em 1985 pela CETESB, como um aterro controlado. Suas características incluem variações de 2,5 a 4 metros de argila e grama entre suas camadas, assemelhando-se a um lixão, porém sendo um aterro sanitário em processo de evolução. Diferente do lixão, o aterro controlado possui captação e queima do gás metano, além de infiltração de chorume, junto a outras substâncias tóxicas no solo e lençóis freáticos, diferenciando-se do projeto de um aterro comum.

O aterro adaptou-se conforme a PNRS, migrando para um aterro sanitário e agora ocupa 140 mil metros quadrados, integrado ao Eco Parque, com uma Usina

de Reciclagem de Entulhos, Usina de Biogás e LEV de recicláveis. A adaptação incluiu a instalação de manta PEAD para drenagem de chorume e captação de biogás.

O sistema de drenagem direciona o chorume para lagoas de tratamento, garantindo que o efluente tratado atenda aos padrões ambientais antes de ser liberado ou reutilizado (Figueiredo, 2011).

Segundo a prefeitura de Jacareí-SP, em 2024 o aterro sanitário recebeu nota máxima da CETESB pelo Índice de Qualidade de Aterro e de Resíduos (IQR), com nota 10, enquadrando-se na categoria adequada (7,1 a 10). O IQR avalia as condições de tratamento e disposição de resíduos.

Apesar da gestão eficiente de resíduos, o aterro de Jacareí ainda enfrenta desafios relacionados à emissão de odores, especialmente perceptíveis pela população das áreas vizinhas durante os períodos de chuvas intensas. A prefeitura, em resposta às queixas, organizou um abaixo-assinado com os moradores para abordar o problema do mau cheiro, que é causado pela decomposição de resíduos orgânicos e pela produção de chorume.

### 3.5 Produção de biogás

O Governo federal brasileiro disponibiliza um Guia prático do Biogás, sendo este mais voltado ao biogás produzido por meio da agricultura, no entanto é possível identificar quais as faixas de concentração de micronutrientes necessárias para produzir o biogás.

Tabela 1: Faixa de concentração do biogás.

Micro-nutriente	Faixa de concentração [mg/l]			
	conforme [2-18]	conforme [2-19]	conforme [2-16] <sup>a</sup>	conforme [2-17] <sup>b</sup>
Co	0,003-0,06	0,003-10	0,06	0,12
Ni	0,005-0,5	0,005-15	0,006	0,015
Se	0,08	0,08-0,2	0,008	0,018
Mo	0,005-0,05	0,005-0,2	0,05	0,15
Mn	N.E.	0,005-50	0,005-50	N.E.
Fe	1-10	0,1-10	1-10	N.E.

Fonte: Guia Prático do Biogás, 2013.

Durante a digestão anaeróbia, é crucial manter concentrações adequadas de

micronutrientes para a atividade microbiana. Nitrogênio (N) é essencial para a síntese de proteínas, fósforo (P) para o metabolismo energético e síntese de ácidos nucleicos, e potássio (K) para a pressão osmótica e ativação enzimática. Enxofre (S) é ativação enzimática. Enxofre (S) é necessário para aminoácidos e vitaminas, mas o excesso pode gerar gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S). Micronutrientes metálicos (ferro, cobalto, níquel e molibdênio) são essenciais para reações enzimáticas e metabolismo mutagênico.

A produção de biogás é influenciada por vários parâmetros, como a temperatura, o pH e a relação carbono-nitrogênio, que devem ser otimizados para melhorar a eficiência do processo de digestão anaeróbica (Santos, J. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2013).

O pH ideal para a produção de biogás é entre 6,8 e 7,4, com flutuações extremas inibindo acidogênese e metanogênese. A digestão ocorre em faixas de temperatura psicrófila (até 20°C), mesófila (20-40°C) e termófila (acima de 40°C), sendo a mesófila a mais comum. O tempo de retenção hidráulica (TRH) e de sólidos (TRS) varia com o substrato e a configuração do digestor, com TRH típico entre 20 e 30 dias para digestores mesófilos.

A tecnologia de detecção de biogás no aterro de Jacareí é essencial. O biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, é gerado pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Drenos verticais coletam o biogás e o direcionam para queimadores tipo flare, onde é realizado tratamento por combustão controlada, evitando a emissão direta de metano e ajudando a mitigar os gases de efeito estufa (GHG Protocol, 2024).

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

A transformação de resíduos sólidos úmidos (RSU) em energia renovável destaca-se como uma estratégia crucial para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos. Esse processo utiliza tecnologias como biodigestores para converter matéria orgânica em biogás, proporcionando uma alternativa sustentável ao uso de combustíveis fósseis. Durante nossa pesquisa e visita técnica ao aterro sanitário de Jacareí, foi possível observar como essa abordagem pode mitigar problemas ambientais e sociais, além de oferecer benefícios econômicos.

A decomposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários é uma das principais fontes de emissão de metano, um gás com potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o dióxido de carbono (IPCC, 2023). A captura e utilização desse gás por meio do biogás transformam um passivo ambiental em ativo energético. Em Jacareí, sistemas avançados de captação e tratamento desses gases garantem a redução das emissões, contribuindo diretamente para o combate ao aquecimento global e ao cumprimento de metas climáticas nacionais e internacionais, conforme preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2022).

O biogás produzido nos aterros sanitários, como o de Jacareí, tem aplicações variadas: geração de energia elétrica, térmica e até como combustível veicular. Além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, esse processo promove a economia circular, ao reintegrar os resíduos no ciclo econômico como recursos úteis (Russo, 2005). A produção local de energia também diminui a pressão sobre as redes elétricas, tornando-se uma solução viável para áreas urbanas com alta densidade populacional. No Brasil, estima-se que o biogás poderia suprir até 24% da demanda nacional de energia, caso sua capacidade fosse totalmente utilizada (Brasil, 2020).

O avanço da transformação de resíduos em energia está intimamente ligado às políticas públicas, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa legislação incentiva a reciclagem, o reaproveitamento e a geração de energia renovável, mostrando-se essencial para a sustentabilidade (Brasil, 2022). Além disso, programas de educação ambiental desempenham um papel importante ao sensibilizar a população sobre a necessidade de reduzir, reutilizar e reciclar resíduos. Segundo a Lei nº 9.795/1999, a educação ambiental é indispensável para

que a gestão integrada de resíduos seja efetiva (Lisboa, 2013).

Em Jacareí, a eficiente gestão de resíduos solidifica o município como referência na área. A adaptação do aterro às normas da PNRS e a implementação de tecnologias europeias comprovam a viabilidade de ações sustentáveis no Brasil. Com um volume médio de 4.400 toneladas de resíduos domiciliares por mês, o município demonstra que, com planejamento e investimento, é possível reduzir significativamente os impactos ambientais e sociais do descarte inadequado (ABRELPE, 2023).

A visita técnica ao aterro sanitário de Jacareí (Figura 8) , realizada em maio de 2024, evidenciou o potencial da infraestrutura existente. A adaptação do aterro ao modelo de Eco Parque, que inclui uma usina de biogás, reforça a capacidade da cidade de inovar na gestão de resíduos. Apesar de ainda haver desafios, como a emissão de odores em períodos chuvosos, o modelo de Jacareí apresenta uma previsão promissora para a ampliação de tecnologias que possam ser replicadas em outros municípios (Figueiredo,2011).

Figura 8: Aterro sanitário de Jacareí



Fonte: (Google Earth, 2024).

O Centro de tratamento de resíduos de Jacareí, atualmente não realiza liberação da queima do biodigestor. Para viabilizar o biogás como fonte energética, seria necessária uma queima de aproximadamente 40% do gás gerado, mas o

aterro atinge atualmente apenas 7% de metano (CH<sub>4</sub>). A falta de incentivos públicos e o apoio restrito para infraestrutura energética renovável, influenciados pelas grandes empresas de energia, representam uma barreira para o aumento da produção de biogás.

Por fim, os custos elevados associados à construção e manutenção de aterros, manejo de resíduos perigosos e a implementação de tecnologias avançadas, como instalações de reciclagem e compostagem, podem representar um bônus econômico considerável para as prefeituras para que o biogás se torne uma alternativa viável, é fundamental investir em infraestrutura adequada, melhorias nos processos de separação e um maior incentivo governamental.

## 5 CONCLUSÃO

A transformação de resíduos sólidos úmidos em energia renovável, por meio da implementação de biodigestores e da conversão dos gases de decomposição em biogás, apresenta-se como uma solução sustentável para a gestão de resíduos em aterros sanitários. Além de contribuir significativamente para a mitigação das mudanças climáticas ao capturar e converter o metano em uma fonte limpa de energia, essa estratégia promove a redução de resíduos acumulados, gerando impactos ambientais positivos e alinhando-se às metas globais de sustentabilidade.

O levantamento bibliográfico realizado destaca a viabilidade técnica e econômica dessa tecnologia, especialmente quando apoiada por incentivos governamentais, políticas públicas bem estruturadas e parcerias público-privadas. Os benefícios econômicos e sociais incluem a geração de empregos, a promoção da economia circular e o fortalecimento de práticas ambientais. Entretanto, o sucesso dessa implementação depende de superar desafios como a adequação de infraestrutura, capacitação de profissionais e a garantia de disponibilidade de matérias-primas.

Por fim, ao analisar a habilidade técnica e econômica, impacto ambiental, observação prática no aterro de Jacareí-SP, e identificação de desafios e oportunidades.

É evidente que a transformação de resíduos sólidos úmidos em energia renovável não apenas reduz os impactos ambientais e promove a sustentabilidade, mas também oferece um modelo promissor para uma gestão integrada de resíduos em contextos urbanos e rurais. Essa estratégia reforça o potencial de um futuro mais verde e resiliente, pautado pela inovação tecnológica e pela responsabilidade socioambiental.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Carlos Donizetti; HENKES, Jairo Afonso. Uma análise sobre o tratamento de resíduos sólidos urbanos: Proposta de sistema alternativo, transformando resíduos sólidos em carvão e energia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 1015-1042, 2019. Acesso em: 20 Jun. 2024.

**Agroenergia da Biomassa Residual: Perspectivas Energéticas, Socioeconômicas e Ambientais.** 2. ed. Foz do Iguaçu: FAO, 2009. Acesso em: 10 Jun. 2024.

ANDRADE, Tainá Pereira Matos de. **Levantamento dos aterros sanitários licenciados na Paraíba.** Disponível em: <<https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/1866/1/LEVANTAMENTO%20DOS%20ATERROS%20SANIT%3%81RIOS%20LICENCIADOS%20NA%20PARAIBA%20-%20Tain%C3%A1%20Pereira%20Matos%20de%20Andrade.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ANEEL - **Resolução Normativa. Nº 1059 DE 07 de fevereiro de 2023** - Federal.. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=442297>>. Acesso em: 18 jun. 2024.

**BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL BRAZILIAN ENERGY BALANCE.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

**BIODIGESTORES: Modelo Indiano, Chinês e Batelada.** Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/328889884\\_BIODIGESTORES\\_RURAIIS\\_MODELO\\_INDIANO\\_CHINES\\_E\\_BATELADA](https://www.researchgate.net/publication/328889884_BIODIGESTORES_RURAIIS_MODELO_INDIANO_CHINES_E_BATELADA)>. Acesso em: 10 abr. 2024.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 2022. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF;** Presidência da República, 2022. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022.** Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm)>. Acesso em: 10 abr. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.478, de 30 de dezembro de 2002. Dispõe sobre a organização do Sistema de Limpeza Urbana no município de São Paulo.** Disponível em: <<https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-13478-de-30-de-dezembro-de-2002>>. Acesso em: 08 maio 2024.

BRASIL. Lei Nº 20.824, de 31 de Julho de 2013 - SEF/MG - **GOVERNADOR DO ESTADO DE MINAS GERAIS,**. Disponível em: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agenda 21 global. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>>. Acesso em: 17 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental. Departamento de Cidadania e Responsabilidade Socioambiental. **Coordenação da Agenda 21. Agenda 21 brasileira: avaliação e**



**resultados. Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, 2012. Disponível em:<https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21.html>. Acesso em: 08 de set. 2024.

BRASIL. RenovaBio - Planilha RenovaCalc versão 7.0. 2021. Disponível em: Acesso em: 18 de jun. 2024.

CANAL BIOENERGIA. Os desafios do mercado de biodigestores. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br>. Acesso em: 12 abr. 2024.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. Disponível em: <<https://conselho.saude.gov.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2024.

DE LORENA DINIZ CHAVES, Gisele; DOS SANTOS JR, Jorge Luiz; ROCHA, Sandra Mara Santana. Os desafios para a gestão de resíduos sólidos de acordo com a Agenda 21: Uma revisão do caso brasileiro. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 9\_suppl, p. 19-31, 2014. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X14541987>. Acesso em: 08 de set. 2024.

DA SILVA, Alexandre Fernando; VIEIRA, Carlos Alexandre. **Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras**. Ciência e Sustentabilidade, v. 3, n. 1, p. 166-189, 2017.

DAS GRAÇAS ROTH, Caroline; GARCIAS, Carlos Mello. **A influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano**. Redes. Revista do Desenvolvimento Regional, v. 13, n. 3, p. 5-13, 2008. EMBRAPA.

FERNANDES, Gláucia; MARIANI, Leidiane. **O alto potencial de produção e uso fará do biogás a próxima fronteira da energia renovável no Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/1d0d5155-6cb1-4d84-912f-6724682e69e8/content>>. Acesso em: 29 maio 2024.

FERNANDES, Natália. Os reflexos da modernidade na geração de resíduos: uma análise do fenômeno da globalização à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Resíduos Sólidos e Políticas Públicas: Diálogos entre Universidade, Poder** p. 125, 2014. Disponível em: <<https://gpda.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/02/Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-e-Pol%C3%ADticas-P%C3%ABlicas.pdf#page=125>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

FERREIRA, João Alberto. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 6, n. 1, mar. 2011. ISSN 1982-5528. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/118>>. Acesso em: 21 maio 2024.

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Verdi de. Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica-estudo de caso. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-11082011-092549/publico/NatalieFigueiredo.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

FLORES, Guilherme; VIEIRA, Ricardo Stanziola; XAUBERT, Raphaela. Globalização

econômica, consumo e gestão integrada de resíduos sólidos: desafios da governança socioambiental no contexto da região da foz do rio Itajaí. **Revista Eletrônica Direito e Política**, v. 7, n. 2, p. 867-898, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.univali.br/index.php/rdp/article/view/5610/3012>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

GOMES, Gustavo Silva Magalhães. **Avaliação econômica da produção de biogás a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos gerados na região de Ouro Preto-MG**. 2022. Disponível em <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/3911>. Acesso em 17 de jun. 2024.

GOMES, T. M. A. **Levantamento dos aterros sanitários licenciados na Paraíba**. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/47504/1/2018\\_tcc\\_tmagomes.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/47504/1/2018_tcc_tmagomes.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2024.

GOMES, Tayná Maria de Andrade. **Geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos: uma revisão da leitura**. 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/47504/1/2018\\_tcc\\_tmagomes.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/47504/1/2018_tcc_tmagomes.pdf). Acessado em 04 set. 2024.

GNPW Energia. **O papel do biogás na revolução da economia circular**. Disponível em: <https://www.gnpw.com.br/energia-limpa/o-papel-do-biogas-na-revolucao-da-economia-circular/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

**Guia Prático do Biogás Geração e Utilização**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>>.

GUIMARÃES, Renan Eschiletti Machado. **Incentivos fiscais no direito ambiental e a efetivação do princípio do protetor-recebedor na política nacional de resíduos sólidos (Lei nº 12.305/2010)**. Buqui Livros Digitais, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Documentação do Censo 2010**. Brasil: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/13937-asi-censo-2010-populacao-do-brasil-e-de-190732694-pessoas#:~:text=Censo%202010%3A%20popula%C3%A7%C3%A3o%20do%20Brasil,694%20pessoas%20%7C%20Ag%C3%Aancia%20de%20Not%C3%ADcias>>. Acesso em: 26 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Documentação do Censo 2022**. Brasil: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 26 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Acesso em: 10 abr. 2024.

KANAYAMA, Paulo Helio. **Resíduos sólidos**. 2017. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-12052017-104706/publico/PauloHelioKanayama.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2024.

LANGE, Liséte Celina et al. **Estudo do transporte de contaminantes em meios porosos Aplicado a aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos. Alternativas para disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades: coletânea de trabalhos técnicos.** Rio de Janeiro, ABES/RIMA, p. 85-92, 2002. Acesso em: 10 Jun. 2024.

MACHADO, Cristiano Paulo. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana e no meio ambiente: uma revisão de literatura.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Acesso em: 15 Abr. 2024.

MARTA, D. et al. **RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2012/04/gerenciamento-de-residuos-solidos-industriais.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2024.

MARTINS, Luís Oscar Silva; SILVA, Leandro Teixeira; CARNEIRO, Roberto Antônio Fortuna. **Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de usina de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de Santo Antônio de Jesus–BA.** Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 2, n. 2, p. 142-166, 2017. Disponível em: <https://www.relise.eco.br/index.php/relise/article/view/76> . Acesso em: 18 jun. 2024.

MATTOS, Sérgio. **A revolução digital e os desafios da comunicação.** Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2013. Disponível em: <<http://ri.ufrb.edu.br/jspui/handle/123456789/766>>. Acesso em: 21 maio 2024.

MOTA, José Carlos et al. **Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual.** Águas Subterrâneas 2009. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21942/14313>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

NATURA. **Modelo de Negócios da Natura.** Disponível em: <[https://static.natura.com.br/static/relatorio/5\\_2\\_modelo\\_de\\_negocios.html](https://static.natura.com.br/static/relatorio/5_2_modelo_de_negocios.html)>. Acesso em: 10 abr. 2024.

NASCIMENTO, Victor Fernandez et al. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 4, p. 889-902, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/NrqL6pPNpMRShCvQbKPWDhg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 31 de jul. 2024.

NETO, Paulo Nascimento; MOREIRA, Tomás Antonio. **Política nacional de resíduos sólidos-reflexões a cerca do novo marco regulatório nacional.** Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB), n. 15, p. 10-19, 2010. Acesso em: 24 Set. 2024.

OLIVEIRA, R. A.; SOUZA, A. M.; SILVA, F. G. **Gestão de resíduos sólidos no contexto do crescimento urbano e populacional.** Revista Brasileira de Gestão Urbana, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org>. Acesso em: 24 set. 2024

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento**

**Sustentável.** Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/pt/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC).

**Relatório de Avaliação do IPCC 2023.** Disponível em: <[https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy\\_of\\_IPCC\\_Longer\\_Report\\_2023\\_Portugues.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2024.

PORTAL DO BIOGÁS. **A importância de escolher a tecnologia correta de biodigestores.** Disponível em: <<https://www.portaldobiogas.com.br/importancia-tecnologia-correta-biodigestores/>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

REIS, M. B.; NASCIMENTO, A. A.; MENDES, J. A. **Contribuição da compostagem para a destinação sustentável de resíduos orgânicos urbanos: uma revisão.** Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 10, n. 3, p. 458-480, 2021. Acesso em: 16 Jun. 2024.

RUSSO, Mário Augusto Tavares. **Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade do Minho (Portugal). Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/27d84dc6fe1ee6396bde0db34ac357d9/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y> . Acesso em: 17 ago. 2024.

SANTOS, Daniel Medina Corrêa; MEDEIROS, T. A. **Desenvolvimento sustentável e agenda 21 brasileira.** Revista Científica Multidisciplinar da Uni São José, Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Medina-Correa-Santos/publication/339181696\\_DESENVOLVIMENTO\\_SUSTENTAVEL\\_E\\_AGENDA\\_21\\_BRASILEIRA/links/5e43049c92851c7f7f2fac94/DESENVOLVIMENTO-SUSTENTAVEL-E-AGENDA-21-BRASILEIRA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Medina-Correa-Santos/publication/339181696_DESENVOLVIMENTO_SUSTENTAVEL_E_AGENDA_21_BRASILEIRA/links/5e43049c92851c7f7f2fac94/DESENVOLVIMENTO-SUSTENTAVEL-E-AGENDA-21-BRASILEIRA.pdf). Acesso em: 17 ago. 2024

SÃO PAULO, Prefeitura Municipal de Jacareí. Secretaria de Meio Ambiente e Zeladoria Urbana. **Nota 10! Aterro Sanitário de Jacareí recebe nota máxima em Qualidade da CETESB-** Jacareí, 2024. Disponível em: <https://www.jacarei.sp.gov.br/nota-10-aterro-sanitario-de-jacarei-recebe-nota-maxima-em-qualidade-da-cetesb/>. Acesso em: 10 de set. 2024.

SÃO PAULO (SP). **Decreto nº 58.701, de 4 de abril de 2019.** Disponível em: <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/servicos/abastecimento/prefeitura/interno.asp?print=1&subp=193>>. Acesso em: 08 maio 2024.

SANTOS, Daniel Medina Corrêa; MEDEIROS, T. A. Desenvolvimento sustentável e agenda 21 brasileira. **Revista Científica Multidisciplinar da Uni São José, Rio de Janeiro**, v. 15, n. 1, p. 10-27, 2020. Acesso em: 18 Jul. 2024.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA-SP). Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2024.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Cartilha do Biogás:** Alternativa Sustentável para o Brasil. 2017. Disponível em: <<https://sna.agr.br/cartilha-do-biogas-alternativa-sustentavel-para-o-brasil/>>. Acesso em: 10 abr. 2024.

SOUSA, Luís Fernando et al. Biogás: Uma alternativa para o tratamento de resíduos sólidos e geração de energia. **Energia na Agricultura**, v. 27, n. 1, p. 1-18, 2012. Acesso em: 23 Set. 2024.

SUCROENERGÉTICO, S. **PANORAMA DO BIOMETANO**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-781/Panorama%20de%20Biometano.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2024.

TCHOBANOGLIOUS, George. **Solid waste management. Environmental engineering: environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry**. Wiley, New Jersey, p. 177-307, 2009. Acesso em: 19 ago. 2024.

TÉCNICA, N. SAE-**LOUVEIRA IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://louveira.sp.gov.br/painel/dbanexos/dbarquivo/05-2023/91768d5999151542fce33bdf763e6a0384dbfa02.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2024.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA EP -FEA -IEE -IF NATALIE JIMENEZ VÉRDI DE FIGUEIREDO UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA -ESTUDO DE CASO SÃO PAULO 2011**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-11082011-092549/publico/NatalieFigueiredo.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2024.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE SOBRAL CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA TAYNÁ MARIA DE ANDRADE GOMES GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRAL 2018**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/47504/1/2018\\_tcc\\_tmagomes.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/47504/1/2018_tcc_tmagomes.pdf)>. Acesso em: 11 set. 2024.

VASCONCELOS, Fernando Siqueira. Avaliação dos impactos ambientais causados por aterros sanitários: Estudo de caso do aterro metropolitano de Salvador. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 152-159, 2006. Acesso em: 5 Jun. 2024.

VASCONCELOS, Letícia; SILVA, Ricardo. Gestão de resíduos sólidos em áreas urbanas: desafios e oportunidades para cidades sustentáveis. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 2, p. 221-239, 2019. Acesso em: 05 Jun. 2024.

VIEIRA, Mariana da Silva; ALVES, Juliana dos Santos. Panorama da gestão de resíduos sólidos no Brasil: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, n. 3, p. 350-367, 2020. Acesso em: 03 Jun. 2024.

WALKER, Eliana. **Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais**. Ijuí, RS, 2009. Disponível em:

<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/server/api/core/bitstreams/37bdf562-ba21-4c40-9562-3a6ca7df9cdf/content>. Acesso em: 03 jun. 2024.

ZANCHETTA, Tiago; PINHEIRO, Antônio Carlos; SANTOS, Vanessa Costa. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: práticas e desafios na cidade de Curitiba. **Revista de Administração Pública**, v. 44, n. 2, p. 369-391, 2010.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rap/a/xVZx9qzP4HQmPTNfBxWBR6N/?lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ZANETTE, Andre Luiz. Potential for energy production and use from biogas in Brazil; Potencial de aproveitamento energetico do biogas no Brasil. 2009 Acesso disponível em: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21429297>. Acesso em 10 abr. 2024.

w