



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

AGUIZILDO SOARES BRAGANÇA LEOPOLDINO

**ATERRO SANITÁRIO ENERGÉTICO: UM ESTUDO SOBRE O
APROVEITAMENTO DO BIOGÁS ORIUNDO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

ACARAPE

2021

AGUIZILDO SOARES BRAGANÇA LEOPOLDINO

**ATERRO SANITÁRIO ENERGÉTICO: UM ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO
BIOGÁS ORIUNDO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias, Instituto de Energias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenheiro de Energias.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana Alencar Firmo de Araújo.

ACARAPE

2021

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Leopoldino, Aguzildo Soares Bragança.

L587a

Aterro sanitário energético: um estudo do aproveitamento do biogás oriundo dos resíduos sólidos / Aguzildo Soares Bragança Leopoldino. - Redenção, 2021.
67f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientadora: Prof.^a Dra. Juliana Alencar Firmo de Araújo.

1. Aterro sanitário. 2. Biogás - Produção. 3. Energia renovável. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 628.74

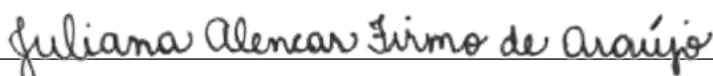
Aguizildo Soares Bragança Leopoldino

ATERRO SANITÁRIO ENERGÉTICO: UM ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO
BIOGÁS ORIUNDO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias, Instituto de Energias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em ____/____/____

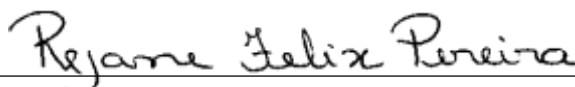
BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Dr^ª. Juliana Alencar Firmo de Araújo (Orientadora)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof^ª. Dr^ª. Ada Amelia Sanders Lopes
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof^ª. Dr^ª. Rejane Felix Pereira
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo sopro Divino e Sua benção. Aos meus pais, Guilhermino Cravid Leopoldino e Izilda Afonso de Barros Soares, pelos primeiros ensinamentos e orientações, durante toda minha trajetória. Em especial aos meus irmãos, Romy, Edimilson, Edite, Hulda e Sinay.

À Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) pela oportunidade da vaga, pelo ensino de qualidade e suporte, também por ter me dado todas as condições no qual me proporcionou a realização deste trabalho. Meus agradecimentos ao Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), ao corpo docente, à coordenação, aos técnicos e toda a equipe que vem dando vida a Universidade.

Agradeço à minha orientadora Prof^a. Dr^a. Juliana Alencar Firmo de Araújo, pela disponibilidade em me orientar, e pela oportunidade que me concedeu, acreditando em mim, passando tantos conhecimentos, ensinamentos que levarei para a vida toda. Agradeço e muito a Prof^a. Dr^a Ada Amelia Sanders Lopes pelas primeiras orientações e direções, que o Nosso Senhor e Salvador, Jesus Cristo, esteja sempre convosco.

Em especial, à minha noiva Maria Tatyane de Lima, mãe da minha filha a caminho até a presente data da defesa, pela compressão, admiração, paciência e principalmente por sempre acreditar no meu potencial e determinação para alcançar os objetivos. Aos seus pais, António Viana de Lima e Socorro de Lima pelo suporte e apoio que vêm me dando, assim como a família toda.

Um agradecimento em particular aos meus amigos e companheiros de conquistas, DJosef, Dimas, Jerio, Angel, Sidney, Heldijoy, Cláudio, Atália, Cátia, Elton, Briyan, Alex, Caike, Suzana, Guilherme, Ítalo, Ivaldo, entre outros que de certa forma sempre contribuíram de forma direta ou indiretamente.

RESUMO

Com o crescimento das cidades, a demanda por bens de consumo também se torna maior, necessitando de atitudes ainda mais invasivas à natureza, proporcionando uma maior produção de resíduos. Nestes casos, considera-se adequado para resíduos produzidos não reutilizáveis serem destinados para algum aterro sanitário. Em um aterro sanitário, o gás produzido não pode ser emitido diretamente à atmosfera devido ao alto teor de metano em sua composição. Desse modo, pode-se assumir que um aterro sanitário é um reator, onde se tem a entrada de resíduos e água e se produz lixiviado e gases, nesse caso, considera-se a nomenclatura de biogás. Para fins de reaproveitamento, muito se tem estudado e aplicado conhecimentos para a utilização de biogás para fins energéticos. Dessa forma, o biogás se apresenta como um potencial de oportunidade para colaborar na oferta de energia do Brasil. Assim, o presente trabalho busca compreender como se dá a disposição de RS em aterros sanitários, bem como a produção de biogás oriundos destes. Para isso, foram utilizadas metodologias de abordagem quali-quantitativa, de natureza básica, com objetivos de caráter descritivos e explicativos e procedimentos pautados em pesquisas de levantamento bibliográfico e documental. Considerando o potencial produtivo de biogás produzidos em aterros dentro da matriz energética brasileira, a capacidade instalada é de 122,25 MW, em outros termos, 0,0745% do rendimento total, isto significa, aproximadamente uma produção de 932000 MWh.mês⁻¹, o que seria suficiente para abastecer 6 milhões de residências, isto é, a manutenção de 9% da população brasileira ou toda a região Norte do país. Deste modo, conclui-se que, mesmo com o alto investimento no Brasil desde 2004, e os dados sejam animadores, cabe ressaltar que o potencial de produção de biogás proveniente de aterros ainda está em seus primeiros estágios de desenvolvimento, uma vez que, além da rentabilidade, garante mecanismos sustentáveis de negócios por meio de caminhos que favorecem autossuficiência energética aliada à versatilidade de aplicação de ferramentas de promoção à saúde e ao saneamento.

Palavras-Chaves: Aterro sanitário energético. Biogás. Energia renovável.

ABSTRACT

The demand for consumer goods becomes greater with the growth of cities, requiring attitudes even more invasive to nature, providing a greater production of waste. In these cases, it is considered appropriate to locate non-reusable sources to be competent for some landfill. In a landfill, the gas produced cannot be emitted directly into the atmosphere due to the author's methane content in its composition. Thus, it can be assumed that a landfill is a reactor, where waste and water enter and leachate and gases are produced, in this case, the biogas nomenclature is considered. For reuse purposes, a lot of knowledge has been studied and applied for the use of biogas for energy purposes. In this way, biogas presents itself as a potential opportunity to collaborate in Brazil's energy supply. Thus, the present work seeks to understand how to dispose of solid urban waste in landfills, as well as the production of biogas originating from these. For that, basic qualitative and quantitative approach methodologies were used, with descriptive and explanatory objectives and procedures based on bibliographic and documentary surveys. Considering the productive potential of biogas produced in landfills within the Brazilian energy matrix, the installed capacity is 122,25 MW, that is, 0,0745% of the total yield, that is, approximately a production of 932000 MWh.month⁻¹, which would be enough to supply 6 million homes, that is, the maintenance of 9% of the Brazilian population or the entire northern region of the country. Thus, it is concluded that, despite the high investment in Brazil since 2004, and the data are encouraging, it is worth noting that the potential for biogas production from landfills is still in its early stages of development, since, in addition to profitability, ensures sustainable business mechanisms through ways that favor energy self-sufficiency combined with the versatility of applying health promotion and sanitation tools.

Keywords: Energy landfill. Biogas. Renewable energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hierarquia para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais.....	20
Figura 2 – Fluxograma apresentando o destino adequado para diferentes classes de resíduos sólidos.....	26
Figura 3 – Ilustração esquemática de um lixão.....	27
Figura 4 – Ilustração esquemática de um aterro controlado.....	28
Figura 5 – Ilustração esquemática de um aterro sanitário.....	29
Figura 6 – Características de biodegradação do material dentro do aterro sanitário por fases.....	38
Figura 7 – Plantas WTE em operação na Europa e quantidade de resíduos tratados termicamente.....	42
Figura 8 – Comparativo da Matriz Elétrica Brasileira entre 2018 e 2019.....	47
Figura 9 – Matriz Energética Brasileira no ano base 2019.....	47
Figura 10 – Comparativo da Matriz Energética Brasileira entre 2018 e 2019.....	48
Figura 11 – Comparação da participação de renováveis na matriz energética.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção e disposição final de resíduos perigosos e não-perigosos no União Europeia de 2004 a 2018.....	33
Gráfico 2 – População, quantidade de resíduos coletados e formas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2010.....	45
Gráfico 3 – Comparação entre a disposição final de RS no Brasil entre 2010 e 2019, por tipo de destinação [ton/ano].....	46
Gráfico 4 – Distribuição anual de projetos MDL no Brasil, por tipo de projeto, registradas até fevereiro de 2021.....	50
Gráfico 5 – Quantidade de plantas e volume de biogás produzido nas plantas em operação no Brasil entre os anos de 2003 e 2019.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição típica do biogás em aterros sanitários.....	36
Tabela 2 – Emissões atmosférica de gases a partir de biogás de aterro e de biodigestores [ton/ano].....	42
Tabela 3 – Distribuição das atividades de projetos MDL no Brasil, por tipo, registradas até fevereiro de 2021.....	51
Tabela 4 – Distribuição dos aterros produtores de biogás do Brasil, por região, tipo de energia produzida, porte e produção, registradas até fevereiro de 2021.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

ABIDES	Associação Brasileira de Integração e Desenvolvimento Sustentável.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
BEN	Balanco Energético Nacional.
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
COPEL	Companhia Paranaense de Energia.
CTR	Centrais de Triagem e Reciclagem.
EUROSTAT	Gabinete de Estatística da União Europeia
FECOMÉRCIO	Federação do Comércio.
GEE	Gases de Efeito Estufa
GRS	Gestão de Resíduos Sólidos.
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
NBR	Norma Brasileira Regulamentar.
ONU	Organização das Nações Unidas.
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos.
RCD	Resíduos da Construção e Demolição.
RS	Resíduo Sólido.
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos.
SENAC	Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial.
SESC	Serviço Social do Comércio.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	14
2.1	Política Nacional de Saneamento Básico	14
2.2	Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	15
2.3	Definição de Resíduos Sólidos.....	16
2.4	Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	17
2.4.1	Classificação de resíduos sólidos conforme a origem.....	17
2.4.1.1	<i>Resíduos industriais</i>	18
2.4.1.2	<i>Resíduos sólidos domésticos</i>	19
2.4.1.3	<i>Resíduos hospitalares</i>	20
2.4.1.4	<i>Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestação de serviços</i>	21
2.4.1.5	<i>Resíduos sólidos agrícolas</i>	22
2.4.1.6	<i>Resíduos de limpeza urbana</i>	23
2.4.1.7	<i>Resíduos sólidos de construção civil</i>	23
2.4.2	Classificação de resíduos sólidos mediante sua característica	24
2.5	Destinação Final de Resíduos Sólidos.....	25
2.5.1	Lixão.....	26
2.5.2	Aterro controlado	27
2.5.3	Aterro sanitário.....	28
2.6	Impactos Ambientais da Disposição de Resíduos Sólidos.....	31
2.7	Panorama Mundial dos Resíduos Sólidos	32
2.8	Energia da Biomassa	33
2.9	Composição do Biogás em Aterros Sanitários	35
2.9.1	Biodegradação dos resíduos em aterros	36
2.9.2	Agentes poluidores do biogás.....	38
2.10	Mecanismos de Conversão Energética do Biogás.....	39
2.10.1	Turbinas e microturbinas.....	39
2.10.2	Biogás em motores de combustão interna.....	40
2.10.3	Biogás em motores ciclo Otto	40
2.11	Potencial de Produção do Biogás no Mundo.....	40
3	METODOLOGIA	42
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	44
4.1	Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil	44
4.2	Panorama das Matrizes Elétrica e Energética Brasileira.....	46
4.3	Agentes Poluidores do Biogás.....	48
4.4	Aproveitamento Energético do Biogás em Aterros Sanitários.....	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

No início do desenvolvimento da civilização humana, percebe-se que o homem, durante a maioria do tempo, viveu da coleta e da caça para obtenção de insumos para atender suas necessidades. Com o crescimento populacional e o fim do nomadismo, deram-se início as primeiras cidades, onde a demanda por bens de consumos tornou-se ainda maior, demandando atitudes ainda mais invasivas à natureza (MIZIARA, 2008).

Eigenheer (2009) trata sobre a perspectiva histórica de limpeza urbana, onde afirma que, durante muito tempo da Idade Média, não havia um espaço regular para o descarte de resíduos, de forma, que os lixos eram dispostos no meio da rua, onde ficariam por muito tempo, ou seja, um ambiente propício para a criação de vetores de doenças. Orlando Junior, Affonso e Stech (2005) complementam sobre a prospecção do mal-uso dos recursos naturais em relatos históricos, seja no que tange a poluição de corpos hídricos ou nos registros decorrentes de pandemia causada por roedores nas cidades.

Durante os séculos XIX e XX, o advento da Revolução Industrial aumentou de forma exponencial a produtividade com o desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas de produção, proporcionando uma maior oferta de produtos, o que ocasionou um aumento gradativo do consumo. Com o aumento da demanda há também uma maior necessidade de consumo de energia, ocasionando uma maior produção de resíduos. Dentre os resíduos mais comuns, pode-se citar os Gases de Efeito Estufa (GEE) para atmosfera, no qual foi possível notar o crescimento de cargas poluentes emitidas em todos os sistemas terrestres, afetando assim, a saúde e o bem-estar de toda a população mundial (MUÑOZ, 2002).

Compreender os parâmetros do crescimento populacional significa também, perceber que existe uma relação quase que proporcional do aumento da produção de resíduos. Dentre os vetores associados a essa expansão, percebe-se que à medida que uma sociedade produz mais lixo, mais se deve ser empregado em gestão e planejamento do território e de mecanismos que facilitem um desenvolvimento respeitando o meio ambiente.

No Brasil, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 001/86, fiscalizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), não só analisa legalmente a questão da poluição, como também se baseia nos impactos ambientais, que abrange qualquer alteração física, química, e/ou biológica nas propriedades comuns daquele ambiente, podendo ser causada por matérias ou energias resultantes de atividades antrópicas que afetam diretamente ou indiretamente “a saúde, a

segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais” (s/p).

Com o aumento da população urbana, considera-se que, no melhor dos casos, os resíduos produzidos não reutilizáveis serão destinados para algum aterro sanitário. Mesmo sendo o melhor panorama possível, o gerenciamento dos Resíduos Sólidos (RS) de maneira ambientalmente adequada ainda gera impactos financeiros, sociais, ambientais e de saúde pública. A degradação de enormes áreas e o custo operacional são, sem dúvidas um dos maiores problemas na articulação e manutenção desses espaços (WAISMANN, 2002).

Segundo Piñas *et al.* (2016), o biogás gerado em um aterro sanitário não pode ser emitido à atmosfera devido ao alto teor de metano em sua composição, gás de efeito estufa que pode chegar a ser dezenas de vezes mais impactante ao meio ambiente do que o dióxido de carbono. Desse modo, um aterro sanitário pode ser considerado um reator, onde se tem a entrada de resíduos e água, e se produz lixiviado e gases. A matéria orgânica vai ser decomposta em duas etapas, a aeróbia e a anaeróbia. A primeira ocorre no momento de sua disposição, em contato com microrganismos que dependem de oxigênio e posteriormente a segunda etapa, na qual há a redução de CO₂ (IBDEM, 2016).

Dessa forma, o biogás se apresenta como um potencial de oportunidade para colaborar na oferta de energia junto ao sistema interligado do Brasil. Dentre seus principais pontos positivos, muitos estudiosos citam a importância de possuir um sistema descentralizado, com múltiplas matrizes de produção, bem como sua relevância econômica e ambiental, porém que é embargado pela falta de políticas que viabilizem investimentos privados (MARÇON; ZUKOWSKI JR.; CAVALCANTE, 2004).

O presente trabalho tem como objetivo analisar a disposição de Resíduos Sólidos (RS) em aterros sanitários, bem como a produção de biogás oriundos destes, e o potencial energético a nível nacional. Para isto, se faz necessário o conhecimento dos diferentes tipos de RS em aterros sanitários, do panorama da situação atual, do processo de produção de biogás nesses espaços, das vantagens deste tipo de aproveitamento e do potencial para produção de energia, observando a literatura disponível pertinente ao tema.

Este trabalho está dividido em cinco partes:

- **Capítulo 1: Introdução.**

Realização de uma breve introdução, contendo os objetivos, justificativa, problemática desta pesquisa, assim como a estruturação do trabalho.

- **Capítulo 2: Fundamentos teóricos.**

Realização de um levantamento sobre a questão do RS, desde a sua definição, classificação e sua destinação final, no que tangem às leis, bem como a literatura disponível e dados apresentados por órgãos governamentais e não-governamentais. Também sobre o tema central, o biogás, acerca dos parâmetros que interferem na produção do biogás e suas vantagens.

- **Capítulo 3: Metodologia de pesquisa.**

Descrição dos caminhos científicos que serão utilizados para viabilizar a produção do conhecimento científico.

- **Capítulo 4: Análise e discussão dos resultados.**

Análise do panorama atual dos resíduos sólidos no Brasil, do uso do biogás gerado em aterros sanitários em diversos espaços, seja na geração de energia elétrica ou térmica. Por fim, será abordado como tem se dado a produção de biogás em aterros sanitários do Brasil como fonte de energia alternativa.

- **Capítulo 5: Considerações finais.**

Breve discussão dos resultados da pesquisa, perspectivas e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Política Nacional de Saneamento Básico

Na Lei nº 11.445/2007 foram estabelecidas diretrizes nacionais para o saneamento básico no País, de forma que no art. 52 determina a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) com o objetivo de mitigar e, por sua vez, promover caminhos que proporcionem uma maior segurança sanitária a população.

Em 2003, apenas pouco mais de 55% das cidades brasileiras poderiam oferecer, em sua totalidade, serviços sanitários adequados, contabilizando cerca de 3 mil municípios.

Em 2013, utilizando dados do censo de 2010, foram elaboradas a primeira versão do PLANSAB, sendo atualizado em 2019 considerando as novas abordagens baseado na proposta de revisão anual e revisado a quatro anos. Este documento, contemplado pelo Decreto Presidencial nº 8.141/2013 e pela Portaria Interministerial nº 571/2013, possui um horizonte de 20 anos (2014 a 2033) e aborda o saneamento básico em quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Além das quatro componentes citam-se 7 princípios fundamentais orientadores do PLANSAB (BRASIL, 2019):

- A **universalização** do acesso é a abordagem tributária que defende o acesso de todos aos bens e serviços produzidos na sociedade;
- A **equidade** é a proposição do uso e consumo de serviços e bens baseados nas demandas de determinada população, com o intuito de proporcionar a superação de diferenças evitáveis, desnecessárias e injustas;
- A **intersetorialidade** busca sintetizar visões transversais dos fenômenos, ou seja, aproximando a situação de uma realidade mais próxima que permitem considerar sua complexidade e interdependência de outrem para a tomada de decisão;
- A **sustentabilidade** dos serviços, são um conjunto de atribuições decididas baseadas a partir de quatro dimensões: a ambiental, a social, a da governança, e a econômica.
- A **participação** e **controle social** definem o planejamento e favorecem uma gestão democrática aos serviços de saneamento;
- Por fim, a **matriz tecnológica** orienta o planejamento e a política setorial utilizando prospecção dos rumos que o setor pode – ou deve – trilhar.

Em 2020, por meio da Lei nº 14.026, de 15 de julho, tem-se uma atualização do marco legal do saneamento básico, atribuindo à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, bem como outras demandas, aprimora condições estruturais do saneamento básico no País e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Em 2010, foi promulgada a Lei nº 12.305/2010 em que foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), bem como definidos caminhos e instrumentos com o intuito de permitir o desenvolvimento da gestão integrada¹ e gerenciamento de resíduos sólidos² no território brasileiro. Os principais objetivos da lei são reduzir a produção de resíduos através de hábitos de consumo sustentável; a reutilização dos rejeitos e a destinação final adequada do que é descartado. Segundo Oliveira (2020), na PNRS foi definido RSU “como todo material, substância, objeto ou bem descartado de atividades humanas que podem ser reutilizados e reaproveitados” (p.22). No que diz respeito as medidas restritivas da destinação final da PNRS, Oliveira (2019) afirma que:

A PNRS adota medidas restritivas com proibições nas formas de destinação final dos resíduos sólidos (art. 47): lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos; lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração; queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade; além de outras formas vedadas pelo poder público. Ela delinea o caminho para a reciclagem, reutilização e o uso consciente dos materiais ao responsabilizar as empresas pela logística reversa de seus produtos descartáveis e também à própria sociedade pela geração do lixo.

Dentre os princípios elencados na PNRS estão os da precaução e prevenção; o do poluidor-pagador e o do protetor-recebedor; a visão sistêmica na gestão dos resíduos considerando as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; o desenvolvimento sustentável; a ecoeficiência¹²; a cooperação entre as diversas esferas públicas, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; dentre outros. Esses princípios delinham como as ações devem ser pautadas para a gestão adequada dos resíduos sólidos (art.6º).

Dentre os outros assuntos, essa política enfatiza a “não geração, redução, reutilização, reciclagem e o tratamento dos resíduos bem como a disposição final ambientalmente adequada

¹ A lei determina, em seu art. 3º, inciso XI, que a gestão integrada de resíduos sólidos são um conjunto de práticas e ações com intuito de encontrar artifícios no que tange os resíduos sólidos, considerando todas as suas dimensões, sejam elas políticas, econômicas, ambientais, culturais e/ou sociais, buscando o desenvolvimento sustentável.

² Já no inciso X, do mesmo artigo, fala que o gerenciamento de resíduos sólidos são um conjunto de ações, impactando de forma direta ou indireta, na cadeia de etapas que levam até o destino final do resíduo em um espaço ambientalmente adequado, baseado no que diz o plano municipal de gestão de resíduos sólidos.

dos rejeitos” (inciso II, art. 7º) e bem como o “estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços’. Utilizando-se dos instrumentos legais, nesta dispõe do uso de recursos naturais para a produção de produtos, além do “desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais” (inciso III, art.7º).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos brasileiro foi elaborado em 2011, um dos instrumentos mais importantes da PNRS que tem o intuito de resolver problemas específicos quanto a geração e destinação de resíduos. Este plano mantém estreita relação com outros planos nacionais tais como o de Mudanças do Clima (PNMC), de Recursos Hídricos (PNRH), de Produção e Consumo Sustentável (PPCS) e também se harmoniza com a Política Nacional de Educação Ambiental e com a proposta do PLANSAB.

Estes projetos devem considerar a implementação de atividades que minimizem através de sua implantação, execução e operação, bem como o estabelecimento de programas de monitoramento ambiental, para coleta e tratamento de gases e lixiviados, a fim de não poluir o solo, as águas subterrâneas e águas superficiais.

2.3 Definição de Resíduos Sólidos

Muitos autores discutem sobre a dualidade metodológica para a utilização de uma única definição de resíduos sólidos completa que abarque todas as nuances do que ele representa. Considerando os planos principais dessa pesquisa, a primeira definição a ser levantada é pela PNRS em que se define resíduos sólidos como:

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

Ao invés de utilizar o termo resíduos sólidos, muitas vezes usa a expressão lixo que, em dicionários da língua portuguesa, é definido como sendo: “1 Aquilo que se varre da casa, do jardim, da rua, e se joga fora; entulho. 2. Tudo o que não presta e se joga fora. 3. Sujidade, sujeira, imundície. 4. Coisa ou coisas inúteis, velhas, sem valor. 5. Ralé” (CUNHA; CAIXETA FILHO, 2002) (p. 143). A definição está relacionada a objetos supostamente sem qualquer valor

comercial para quem o descarta, sendo assim está inerentemente acoplado ao ser humano e as suas atividades no ambiente e superfície no qual habita.

2.4 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Para Pascoal (2019) a expressão resíduo vem do latim *residuum*, um termo que indica o material remanescente de uma substância, ao associar ao termo sólido, diferencia as substâncias do estado líquido e gasoso, formando as palavras resíduos sólidos, estando associadas a produção e gestão das sobras oriundas das atividades industriais, domésticas e comerciais. A cultura de uma determinada comunidade ou nação demonstra as rotinas e costumes de consumo de produtos industrializados em que produções em excesso de lixo e o destino final desses resíduos são expostos ou tratados no ambiente, constituindo graves agressões ao meio ambiente, assim como para as regiões urbanas (MUCELIN; BELLINI, 2008).

2.4.1 Classificação de Resíduos Sólidos Conforme a Origem

Segundo IBGE (2015), os produtos industrializados consumidos no cotidiano é um dos fatores representantes pela produção contínua de lixo, o que torna mais preocupante a problemática gerada pelo rejeito, desde o período da geração até a disposição final. No Brasil essa série de problemas se agrava por um lado, pela falta de recursos destinados aos setores, por outro lado, da falta de capacitação e desinteresse no gerenciamento municipais, assim como da falta de cobrança da sociedade.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma 10004, classifica-se como resíduos sólidos como

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

2.4.1.1 Resíduos industriais

Aqueles oriundos de diversas atividades em diversos ramos da indústria tais como, petroquímica, papelaria, metalúrgica, alimentícia entre outras. Philippi Júnior (2005) afirma que, assim como todas as atividades humanas produzem resíduos, na indústria os resíduos são subprodutos gerados do processo industrial, podendo ser gerados “tanto nos processos produtivos quanto nas atividades auxiliares, como manutenção, operação de área de utilidades, limpezas, obras e outros serviços”.

Fontes e Lages Filho (2004) afirmam que o volume de resíduos sólidos industriais produzidos todos os dias tem acarretado diversos problemas ambientais, sociais, econômicos e administrativos, devido à dificuldade crescente de um sistema de gestão adequada, os autores consideram que a solução mais aceita seria a disposição dos resíduos em aterros sanitários.

Para Simião (2011), as principais atividades industriais que resultam na geração de resíduos são:

Projeto do processo: os processos industriais podem ser projetados utilizando tecnologias alternativas. Algumas podem ser mais eficientes, outras menos, e algumas utilizam produtos mais perigosos que outros ou geram resíduos mais perigosos que outros. Por exemplo, a pintura com base d'água gera resíduos menos perigosos que a pintura com base de solvente; processo de recobrimento metálico por galvanoplastia sem cianetos geram resíduos menos perigosos que os processos com cianetos;

Aquisição e armazenamento de matérias-primas: ao se adquirir matérias-primas de qualidade superior, há em geral uma contribuição para a melhoria da eficiência do processo. Além disso, utilizando-se matérias-primas mais puras, são gerados menores quantidades de resíduos e são rejeitados menos lotes com defeitos. A compra de excesso de matérias-primas pode gerar lotes rejeitados por conta de sua data de validade. Tais lotes frequentemente não podem ser reaproveitados, gerando resíduos;

Operações de produção: operações de produção e de controle de processo realizadas de maneira padronizada e com competência evitam acidentes e rejeição de lotes por defeitos, diminuindo a quantidade de resíduos. Esse controle deve incluir o treinamento dos operadores;

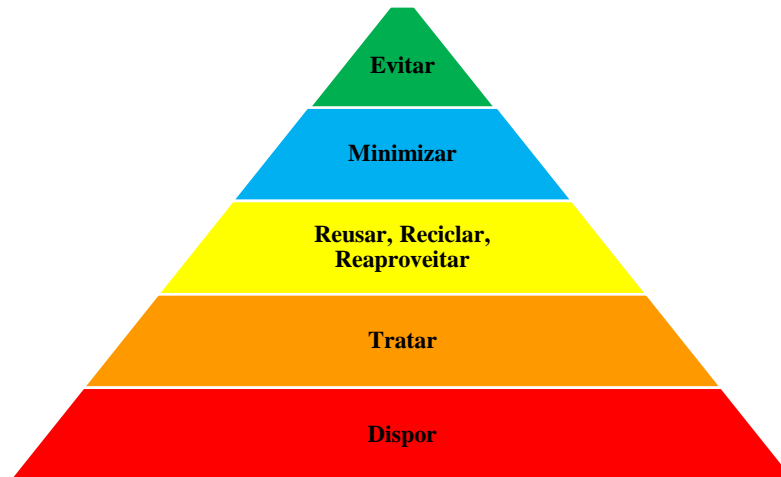
Limpeza e manutenção de equipamentos: os equipamentos industriais devem ser periodicamente limpos, seja todos os dias, todas as semanas, todos os anos ou em intervalos mais longos, contudo, são raros os casos de equipamentos que nunca precisam ser limpos. Na atividade de limpeza são extraídos lodos, lamas, escórias, poeiras, óleos e outros materiais que constituem resíduos;

Derramamentos e vazamentos: líquidos que vazaram ou derramaram de seus contêineres originais precisam ser recolhidos, e em muitos casos não são mais aceitos pelo controle de qualidade para uso na produção. Muitas vezes os panos, estopas, serragem e outros materiais absorventes passam a fazer parte do próprio resíduo. Por isso e por outros motivos ambientais, os derramamentos e vazamentos devem ser evitados. No entanto, não é raro encontrar máquinas com vazamentos crônicos sob as quais a serragem se mantém de forma rotineira, e resíduos sendo transportados em carrinhos ou empilhadeiras sem a tampa do contêiner, provocando derramamentos. (GRIFOS DO AUTOR).

Dessa forma, para evitar questões de acidentes e, principalmente, para mitigar a produção de resíduos altamente poluentes ao meio ambiente, é necessário que haja um sistema

de gerenciamento. No tocante ao gerenciamento, Tocchetto (2005) afirma que a prioridade no gerenciamento de resíduos sólidos industriais deve seguir a hierarquia, de acordo como apresenta a Figura 1.

Figura 1 – Hierarquia para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais.



Fonte: Adaptado de Tocchetto (2005).

Essa hierarquização prevê, segundo a autora, um conjunto de soluções para lidar, de forma decrescente, em eficácia, ou seja, quanto mais alto for na pirâmide o método, melhor será o resultado na produção final de resíduos. Por partirem do conceito em que se elimina o problema evitando-o, terminam com uma produção menor de rejeitos (IBDEM, 2005).

2.4.1.2 Resíduos sólidos domésticos

Além da NBR 10004, a PNRS traz em seu artigo 13 do item I, inciso i, a definição de resíduos sólidos doméstico como aqueles provenientes de atividades advindas do ambiente domiciliar, cuja a residência esteja situada em zonas urbanas. Esses dejetos são produzidos a partir das práticas cotidianas nos lares. Segundo dados da ABRELPE (2019), 50% a 60% de composição dos resíduos sólidos domiciliares são de origem orgânica, também conhecido como lixo úmido.

Dentre os resíduos orgânicos, Polzer (2012) complementa que dentre esses podem ser compreendidos: “restos de verduras, legumes, frutas, vegetais em geral, cascas de ovos, borra de café, papel sujo de comida, jornal molhado ou sujo de comida, esterco de animais, poda de jardim e outros” (p. 39). Ainda segundo a autora, apesar das dificuldades, esses resíduos podem ser reaproveitados, podendo ser utilizado em para seu uso em compostagem ou na produção de biomassa.

Outra fração importante, é a dos resíduos recicláveis, tais como materiais cuja a composição é feita a partir de: plásticos, metais, papéis e papelão e vidros. Mori (2020) afirma que, além de causar prejuízos a sociedade civil, é o tipo de resíduo mais conhecido com fins reutilizáveis, porém, devido ao desserviço do que se refere a separação do resíduo para fins de coleta seletiva, há uma dificuldade de encaminhá-lo para um destino mais adequado. Vale ressaltar que, na PNRS recomenda-se rigorosamente processos que favoreçam a coleta seletiva, determinando que todos os envolvidos – poder público, população, empresas – possuem uma responsabilidade compartilhada para que haja uma destinação final conveniente destes resíduos.

A última parcela é compreendida por resíduos que não deveriam ser considerados, porém acabam por ser descartados de forma incorreta, dentre estes, podem ser citados: equipamentos eletrônicos ou oriundos destes, pilhas e baterias, óleo de cozinha, medicamentos, pneus dentre outros.

2.4.1.3 Resíduos hospitalares

No Manual para Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) publicado em 2015, os resíduos hospitalares ou de saúde, são gerados por qualquer atuação de origem médica assistencial humano. Entre esses resíduos apresentados podem ser subdivididos em:

- **Grupo A:** provavelmente há existência de agentes biológicos (peças anatômicas, agulhas, lâminas e placas de laboratório, órgão e tecidos removidos etc.);
- **Grupo B:** presença de substâncias químicas (reagentes de laboratório, medicamentos com prazo de vencimento vencidos, etc.);
- **Grupo C:** os que contêm radionuclídeos (serviços de medicina nuclear);
- **Grupo D:** esses não apresentam riscos uma vez que assemelham aos rejeitos domiciliares (resto de alimentos, resíduos dos sectores administrativos, etc.);
- **Grupo E:** materiais perfuro-cortantes (ampolas de vidro, agulhas).

Para Cafure e Patriarcha-Graciolli (2015), esses resíduos são heterogêneos, uma vez que, apresentam diferentes classificações por diversas entidades tais como o CONAMA, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), citados na PNRS e na NBR 10004, bem como fundamentações a partir de documentos de governos estaduais e municipais. Dessa forma,

é necessário que haja uma atenção para a legislação vigente na Unidade Federativa e/ou se no município, uma vez que há uma necessidade técnica em termos de classificação e separação desses resíduos, além de medidas de segurança para salvaguardar os manipuladores desse material e o meio ambiente.

2.4.1.4 Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestação de serviços

São aqueles que variam consoante o funcionamento dos estabelecimentos comerciais, quanto aos restaurantes, hotéis e bares os resíduos orgânicos como cascas de frutas e verduras são os que predominam; já em lojas, escritórios e bancos o plástico, descartáveis e papéis são os restos predominantes (COPEL, 2015).

Segundo a cartilha intitulada *Resíduos Sólidos: o que o empresário do comércio e serviços precisa saber* produzido em 2014 pela Federação do Comércio do Estado de São Paulo (FECOMÉRCIO-SP) com apoio do Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial de São Paulo (SENAC-SP), Serviço Social do Comércio de São Paulo (SESC-SP) diz que, na PNRS, além de mecanismos para gerenciamento de resíduos sólidos define, em uma extensa lista, as pessoas jurídicas (públicas e privadas) que devem elaborar um plano de gerenciamento de resíduos particular. São elas:

- Geradores de resíduos dos serviços de saneamento básico;
- Geradores de resíduos industriais;
- Geradores de resíduos de saúde;
- Geradores de resíduos de mineração;
- Estabelecimentos comerciais e de serviços que gerem resíduos perigosos ou que gerem resíduos que por sua natureza, composição ou volume não sejam equiparados a resíduos domiciliares pelo Poder Público Municipal;
- Empresas de construção civil; e,
- Responsáveis por portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários, ferroviários e passagens de fronteira.

A lei também abre possibilidades para criação de um plano conjunto, onde duas ou mais empresas que estejam situadas em uma mesma região e que exerçam atividades do mesmo setor produtivo possam atuar de maneira cooperativa na destinação final ou reaproveitamento

de seus rejeitos. Para isso, o Poder Público poderá tomar medidas que incentivem na execução de atividades, seja por meios fiscais, concessão de terrenos públicos e no transporte de resíduos recicláveis descartados por órgãos e entidades da administração pública federal à cooperativas e associações de catadores.

2.4.1.5 Resíduos sólidos agrícolas

Aqueles provenientes de atividades agrícolas e pecuária, tais como restos de colheita, ração, embalagem de adubos, defensivos agrícolas, fertilizantes, agrotóxicos, esterco animal geradas em fazendas com uma produção significativa da pecuária, entre outros (VILHENA, 2018).

Komatsu, Santos e Sousa (2019) complementam que há maior preocupação em relação a esses rejeitos, em especial com as embalagens de agroquímicos, devido ao alto grau de toxicidade que apresentam, sendo necessário que esse grupo seja alvo de uma legislação específica.

A legislação discutida pelos autores é a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, a conhecida como Lei dos Agrotóxicos, na qual dispõe acerca da pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins (BRASIL, 1989).

Dessa forma, percebe-se que o intuito da lei é regulamentar seu uso e evidenciar os mecanismos de fiscalização e gestão e, por fim, definir os trâmites corretos para seu descarte final adequado. Santana, Lima e Morais (2016) afirma que, na agropecuária, os agrotóxicos tem, como principal função, a proteção contra diversas pragas, o que aumenta grandemente a produtividade agrícola. Dentre os agrotóxicos mais utilizados há os organoclorados, os organofosforados e os carbamatos, sendo estes, produtos capazes de causar infecções em seres humanos e animais.

2.4.1.6 Resíduos de limpeza urbana

No Brasil, os resíduos de limpeza urbana ou de varrição, são provenientes de atividades de manutenção e garantia da saúde através de conjunto de serviços. Segundo dados apresentados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), os serviços podem ser descritos como:

[...] conjunto de serviços destinados a promover a limpeza de vias públicas e logradouros públicos, pavimentados ou não, tais como: varrição manual ou mecânica; capina e/ou roçada; raspagem de terra e outros resíduos carreados para as vias e/ou logradouros por causas naturais, como chuvas, ventos, enchentes etc.; limpeza de bueiros; limpeza de praias marítimas, fluviais ou lacustres; poda de arborização pública; lavagem das ruas; ou outras atividades complementares, como, por exemplo, pintura de meios-fios, limpeza de monumentos, e retirada de faixas e cartazes colocados em locais públicos de forma irregular.

Barbosa e Moura (2020) destacam a importância da limpeza urbana, considerando os mecanismos de recolhimento de resíduos de limpeza como parte do processo básico, corroborando para uma maior qualidade ambiental e propiciando melhores condições de vida nas cidades, pois, “garante a existência de um ambiente limpo, com menor probabilidade de se tornar lócus de vetores de doenças, habitat de insetos e animais peçonhentos, além de proporcionar maior conforto e bem-estar para a população” (p. 404).

2.4.1.7 Resíduos sólidos de construção civil

Segundo COPEL (2015) os resíduos de construção são gerados através das atividades de demolições, construção, reparos, escavação de solo sendo caracterizados por classes:

- **Classe A:** recicláveis e reutilizáveis (tijolos, telhas, solo, etc.);
- **Classe B:** recicláveis (plástico, gesso, materiais, papel, etc.);
- **Classe C:** não recicláveis (lã de vidro);
- **Classe D:** perigosos (tintas, solventes, amianto, etc.).

Jonh (2000), além de ressaltar a alta aplicabilidade desses resíduos em diversos meios, em seu ensaio afirma que, tanto no Brasil como em outros países estudados, mais de 50% da massa dos RS coletados são advindos de atividades de construção.

2.4.2 Classificação de resíduos sólidos mediante sua característica

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004a), os resíduos sólidos possuem classificações mediante as suas características:

- **Resíduos classe I – perigosos:**

São aqueles que apresentam periculosidade como, risco a saúde pública, causando mortalidade, ocorrência de doenças, riscos ao meio ambiente, requerendo um tratamento adequado devido as suas características, segundo a NBR 10007, de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (ABNT, 2004b).

- **Resíduos classe II – não perigosos:**

É definida pelos que não apresentam características da classe I, porém oferecem perigos ao ser humano ou meio ambiente, por exemplo restos de alimentos, resíduos de papel e plástico polimerizado, resíduos de minerais não-metálicos, etc.

- **Resíduos classe II A – não inertes:**

Definem aqueles que não apresentam periculosidade, embora não sejam inertes e podem apresentar propriedades, tais como: combustibilidade ou dissolubilidade em água, biodegradabilidade, características essas semelhantes ao lixo doméstico.

- **Resíduos classe II B – inertes:**

Podem ser compreendidos por todos resíduos que, ao serem sujeitos aos testes de dissolubilidade na água em temperatura ambiente, não apresentam alterações em nenhum dos seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Sendo assim a água mantém potável em contato com o resíduo.

Oliveira (2020) complementa a diferenciação dos Classe II A e Classe II B:

Os resíduos da Classe II-B se destacam por não apresentarem qualquer grau de solubilidade em água, excetuando-se os aspectos cor, turbidez, dureza e sabor, como entulhos, vidros e tijolos. Os resíduos Classe II-A são aqueles que não se enquadram na classe I e II-B, assim, apresentam propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água, ou seja, podem-se exemplificar materiais orgânicos, papéis e lodos.

A PNRS traz ainda mais uma classificação para a distinção dos RS de acordo com sua natureza física, seja ela úmida ou seca. Assim, aqueles chamados de resíduos secos são aqueles

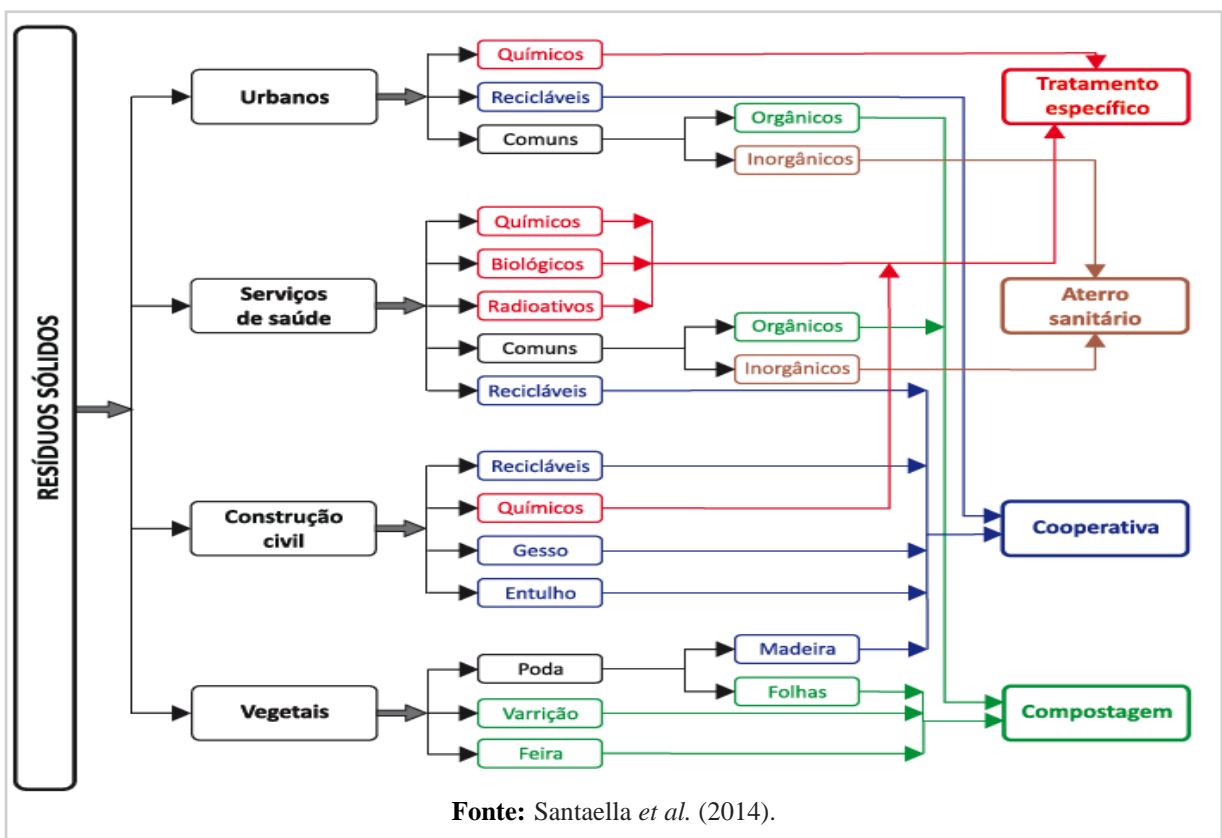
que não apresentam contaminações por quaisquer outras substâncias, bem como apresentam potencial para reciclagem, reaproveitamento e reutilização. Já os úmidos, são materiais que apresentam características de biodegradação e podem ser transformados em adubos orgânicos através de compostagem.

2.5 Destinação final de resíduos sólidos

Um dos problemas ambientais é a consequência da Gestão de Resíduos Sólidos (GRS), considerando o planeta Terra como um sistema fechado, no qual não há troca de matérias com o meio, embora ocorre troca de energias, sendo assim, o resíduo resulta no processo de transformação do ambiente. O conjunto de problemas relacionados a GRS, não se resume a quantidade resíduos sólidos (RS) formado, mas sim, sobretudo na condição do destino final.

Embora a PNRS expresse a necessidade de tratamento adequado aos diferentes tipos de RS antes da destinação final, na maioria das vezes são descartados em regiões a céu aberto, o que ocasiona poluição ambiental, causando contaminação tanto do solo quanto dos recursos hídricos. Pensando nisso, Santaella *et al.* (2014) apresenta um fluxograma com a destinação adequada para os diferentes tipos de RS, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma apresentando o destino adequado para diferentes classes de resíduos sólidos.



Prevista na PNRS, a disposição final é uma alternativa ambientalmente aceita desde obedecidas as normas operacionais afim de diminuir riscos à segurança e saúde de funcionários e da população próxima.

A destinação final dada aos rejeitos se concentra principalmente em lixões, aterro controlado, aterro sanitário, quanto aos principais tipos de tratamento consistem em reciclagem, compostagem, incineração, pirólise, vermicompostagem e gaseificação (PRATES *et al.*, 2019; SANTAELLA *et al.*, 2014).

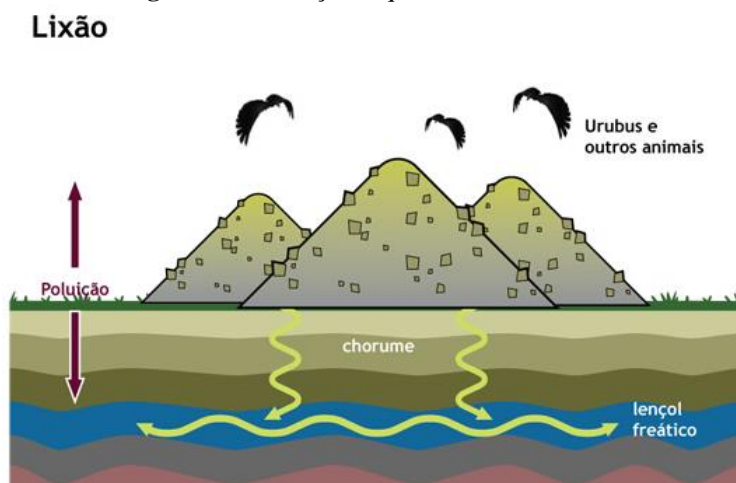
2.5.1 Lixão

Para Santaella *et al.* (2014, p. 25), lixão é definido como:

Forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos que se caracteriza pela simples descarga destes sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. No lixão, os resíduos são depositados sem preparação alguma do local, sem planejamento para escoar o chorume que penetra no solo, carregando poluentes para o lençol freático. Geralmente, insetos, aves e roedores co-habitam esses locais com seres humanos de todas as idades, que catam materiais recicláveis para vender ou para se alimentar.

Nascimento (2007) aponta que o lixão é apenas um terreno em que o RS é lançado sob o solo sem que haja qualquer medida de segurança a saúde e ao meio ambiente. Além disso, não há fiscalização “sobre o tipo, volume ou grau de periculosidade dos resíduos depositados. Os resíduos são simplesmente lançados sobre o solo natural sem receber qualquer tipo de tratamento mecânico para redução de seu volume” (p. 40). Para facilitar a visualização de um exemplo de lixão, pode-se observar na figura 3, o esquema de um elaborado por Buglia (2015).

Figura 3 – Ilustração esquemática de um lixão.



Fonte: Buglia (2015).

Pela Figura 3 pode-se observar que esse ambiente é propício para a proliferação de vetores de doenças, tais como insetos e roedores, bem como marcado por um mau odor característico e pela contaminação de solos, lençóis freáticos e corpos hídricos próximos, se houver.

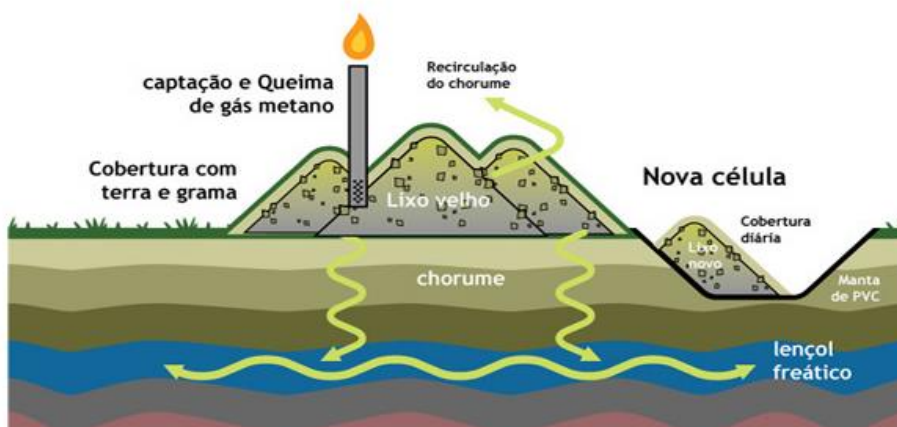
2.5.2 Aterro controlado

O aterro controlado é uma prática tecnicamente inconveniente, embora seja melhor que o lixão, também apresenta ameaças ao meio ambiente e a saúde uma vez que se dispõe apenas de uma cobertura dos RS com uma camada de terra, o que minimiza apenas os impactos ambientais e não previne a poluição, visto que não há extravasores para gases produzidos, assim como do lixiviado gerado.

Apoiado pela definição da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB SP) em relatório intitulado *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos*, o aterro controlado é um ambiente em resíduos são dispostos, porém, diferente dos lixões, há algum controle, ainda que, mesmo dessa forma, seja inadequado de acordo com as normas ambientais vigentes. Nesses casos, percebe-se que há, ao menos, alguma preocupação com a gestão ambiental, tais como isolamento, acesso restrito, cobertura dos resíduos com terra e controle de entrada de resíduos.

Um exemplo claro de proposta de aterro controlado é o esquema produzido por Buglia (2015), disposto na Figura 4.

Figura 4 – Ilustração esquemática de um aterro controlado.



Fonte: Buglia (2015).

Através da Figura 4 é possível perceber que há uma ação de cobertura das valas de resíduos, também chamados de células. Essa cobertura é feita a partir de solo, ou seja, com terra e vegetação. Dentre as principais vantagens dessa cobertura é que há, dessa forma, uma diminuição de vetores de doenças, porém não protege o solo e os corpos hídricos próximos.

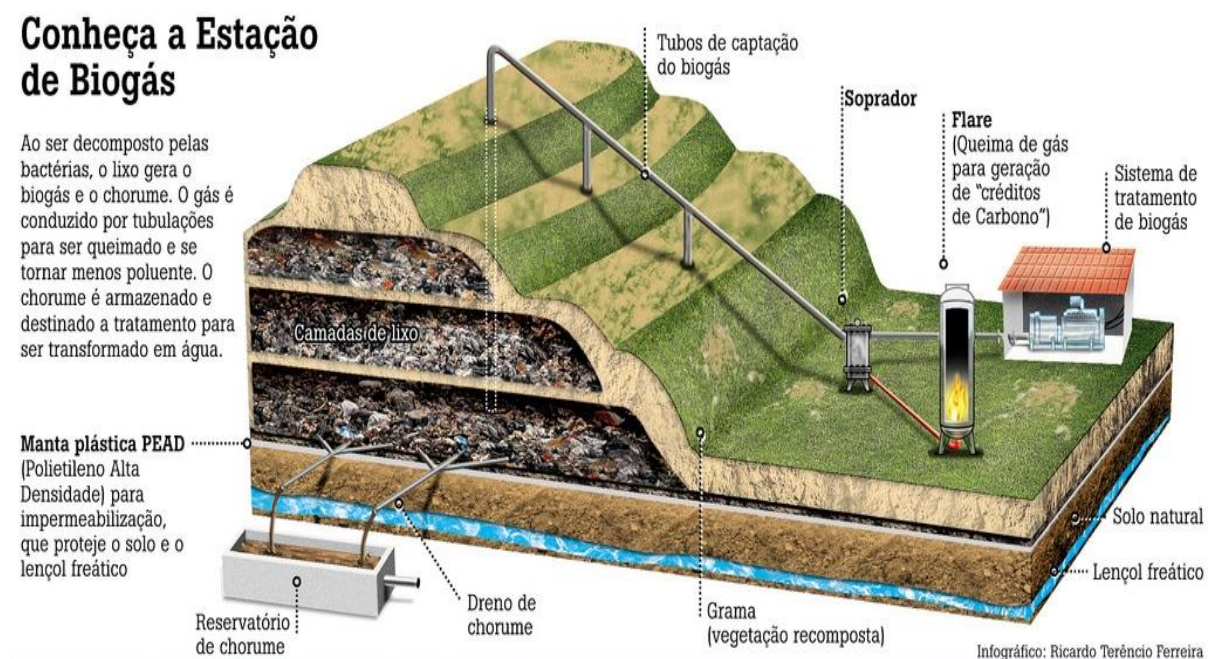
2.5.3 Aterro sanitário

Segundo a NBR 8.419/1992, o aterro sanitário pode ser definido como uma

[...] técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário.

Entretanto, alguns critérios fundamentados pela engenharia e normas operacionais específicas, a fim de minimizar de forma segura os impactos ambientais são estabelecidos a preparação do solo com uma camada de argila ou coberto com mantas poliméricas antes de recolher os rejeitos para a impermeabilização no solo, portanto, o lixiviado escorrido é coordenado a uma estação específica de tratamento de efluentes, conforme pode ser visto pela Figura 5.

Figura 5 – Ilustração esquemática de um aterro sanitário.



Fonte: Vgresíduos (2018).

Na Figura 5 percebe-se que, para uma disposição ecologicamente adequada, é necessário que haja duas etapas iniciais. A primeira se refere a preparação do solo e seu nivelamento, já a segunda é o selamento da base com argila e mantas de PVC. Segundo Andreoli *et al.* (2015), as principais características encontradas em aterro sanitário são:

- **Impermeabilização da base do aterro:**

Evita a interação entre o lixiviado e os lençóis freáticos;

- **Sistema de coleta de chorume:**

Drena-se o líquido resultante da decomposição da matéria orgânica, que, posteriormente, é transportado ao sistema de tratamento de rejeito;

- **Sistema de tratamento de chorume:**

Para que haja um tratamento, o chorume é enviado, comumente para estações de tratamento de esgoto, lagoas anaeróbias ou lagoas de estabilização;

- **Sistema de drenagem de águas pluviais:**

Capta e drena as águas de chuva e envia para locais adequados, com a finalidade de evitar a infiltração e contato com o chorume.

Com a impermeabilização do solo, há medidas de contenção para que o chorume não infiltre no solo e contamine os corpos hídricos. Portella e Ribeiro (2014) complementam com as etapas de atividade do aterro, onde há a “recirculação do chorume que é coletado e levado para cima da pilha de lixo, diminuindo a sua absorção pela terra ou, eventualmente, outro tipo de tratamento para o chorume como uma estação de tratamento desse efluente” (p. 121).

Em termos de técnicas de destinação final dos RS, o aterro sanitário é a mais divulgada no mundo, embora a facilidade operacional e ao baixo custo, não é a mais recomendada, uma vez que as regiões territoriais destinadas a essa técnica faz-se cada vez mais insuficiente, tendo em vista que o espaço não poderá ser reutilizado com outro propósito em consequência do grande armazenamento e produção contínua de RS e gás metano. Costa e Ribeiro (2013) complementam que esse tipo de obra de engenharia,

[...], apresenta baixo custo operacional, se comparado às alternativas existentes, oportunizando a associação de outras tecnologias, além de ser uma amplamente conhecida, que potencializa a geração de empregos, permitindo também a possibilidade de gestão consorciada entre Municípios. Nesse caso, os custos podem ser reduzidos significativamente.

Ainda segundo os autores, os aterros sanitários também retratam algumas inconveniências, como a geração de odores característicos, a possibilidade de exposição e riscos aos trabalhadores, a necessidade de grandes áreas para o empreendimento e ainda a resistência por parte da comunidade do entorno, e a emissão de Gases de Efeito Estufa.

Outra questão levantada por Albuquerque (2016) é que, como qualquer obra de engenharia, ela tem um tempo para a finalização das atividades e com o crescimento exponencial dos grandes centros urbanos, há cada vez menos espaços disponíveis para ser usado para esse fim. Ressalta-se o tempo de vida limitado e custos operacionais ao fim das atividades, considerando que se deve atentar a presença microbiana e as águas subterrâneas (BARROS, 2012). Ribeiro (2020, p.33) acrescenta:

Após a deposição dos resíduos orgânicos nos aterros sanitários a digestão anaeróbia desenvolve-se naturalmente [...] a grande variedade de resíduos dispostos no aterro, ocasiona uma numerosa diversidade de microorganismos em simbiose, incluindo bactérias hidrolíticas e fermentativas, acidogênicas, acetogênicas e arqueas metanogênicas, além de BRS e protozoários [...] estes microorganismos fazem com que os resíduos orgânicos sofram diversas reações bioquímicas.

Quanto aos gases gerados, são coletados através de extravasores de modo que adiante sejam usados como combustível no próprio aterro ou então queimados. Diariamente os resíduos armazenados são compactados por trator e coberto com cerca de vinte centímetros de solo, com a finalidade de evitar atração de insetos, assim como o surgimento de maus odores (SANTAELLA *et al.*, 2014; ANDREOLI *et al.*, 2015).

Ainda segundo Waisman (2002) existem diversas formas de se reaproveitar os RS em aterros sanitários, dentre essas pode-se citar: “a compostagem e a vermicompostagem, que transformam os resíduos em composto orgânico que podem ser utilizados na agricultura e paisagismo; e o tratamento térmico, que através da incineração permite a redução significativa do volume original e pode gerar energia térmica” (IBDEM, 2002, p. 11).

Além das propostas sugeridas pelo autor, tem a reciclagem PRADO FILHO; SOBREIRA (2007), que se caracteriza como a reutilização de materiais que, após etapas de preparação, pode voltar ao mercado, separa geralmente do lixo comum em Centrais de Triagem e Reciclagem (CTR); e a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos.

Entre diversos tipos de tratamentos alternativos, de acordo com os que atualmente existem, são apresentados no Quadro 1 alguns tipos de tratamento, assim como os seus benefícios e dificuldades existentes nas suas implementações.

Quadro 1 – Comparativo entre alternativas para tratamento de RS.

TRATAMENTO	BENEFÍCIOS	DIFICULDADES
Compostagem	<ul style="list-style-type: none"> - Converte os rejeitos orgânicos em composto possibilitando diversas aplicações; - Tecnologia acessível e comprovada; - Aceitável em diversas escalas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reprodução de insetos na redondeza, também podem causar mau cheiro; - Indispensabilidade de triagem dos RSU; - Necessidade de mercado para negociar o composto.
Digestão anaeróbia	<ul style="list-style-type: none"> - Converte os resíduos orgânicos em composto e biogás para fonte energética; - Facilidade de venda de créditos de carbono. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vulnerável a composição heterogênea RSU; - Volume de biogás variável;
Incineração	<ul style="list-style-type: none"> - Gera maior quantidade de energia; - Maior redução de volume e massa dos resíduos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contem maior potencial de geração de furanos e dioxinas; - Existe maior complexidade de tratamento de gases.
Plasma	<ul style="list-style-type: none"> - Maior redução de volume e massa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Existe maior complexidade de operação e implantação; - Elevado consumo de energia; - Relevante somente em larga escala.
Pirólise	<ul style="list-style-type: none"> - Produção de produto carbonizado combustível. 	<ul style="list-style-type: none"> - Operação em batelada; - Consumo adicional de combustível para garantir a manutenção da temperatura.
Gaseificação	<ul style="list-style-type: none"> - Produção de gás combustível; - Possibilita o tratamento de resíduos industriais; - Não necessita de combustíveis auxiliares, 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior custo de operação e implantação; - Maior ação de processos corrosivos nos equipamentos.

Fonte: Prates, Pimenta e Ribeiro (2019).

2.6 Impactos Ambientais da Disposição de Resíduos Sólidos

Dentre os principais problemas da disposição de resíduos sólidos é a produção de lixiviado, também conhecido como chorume ou líquido percolado. Esse composto é formado a partir de processos, físicos químicos e biológicos da acumulação de resíduos sólidos e da água da chuva (KE *et al.*, 2018). Esta mistura de cor escura e de odor geralmente nauseante, possui diferentes formulações devido a heterogeneidade da disposição do lixo e, por isso, é considerada extremamente perigosa devido a sua capacidade de contaminar o solo, quando este recebe resíduos com alto potencial poluente, dentre os quais podem ser citados os metais pesados (MANAHAN, 2013; KORF *et al.*, 2008).

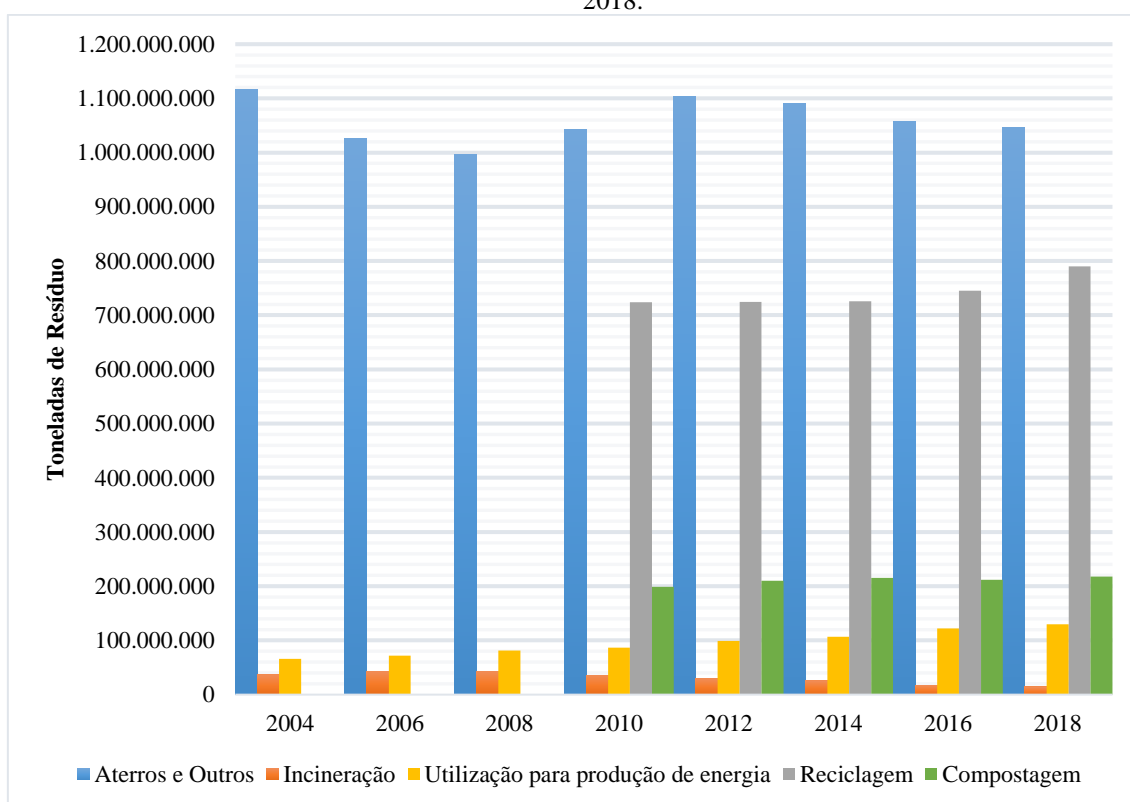
Mustafa *et al.* (2016) e Zanon (2014) citam que, além do impacto ao solo, o lixiviado possui também uma alta capacidade de infiltração no solo e permeando lençóis freáticos, nos quais, na grande maioria das vezes, o resultado se apresenta de forma em que não se pode avaliar o impacto total àquele ambiente.

2.7 Panorama Mundial dos Resíduos Sólidos

Kaza *et al.* (2018) afirmam que, no mundo todo, aproximadamente 2 bilhões de toneladas de resíduo sólido foi produzido em 2016, destes 36,6% são dispostos em aterros sanitários, ou seja, revelando-se como a técnica mais empregada como destinação final de RS. Ainda segundo os autores, estima-se que, em 2050, haverá um aumento de 70% na disposição de rejeitos, porém, haverá uma diminuição do uso de lixões e aterros clandestinos.

Segundo dados do Gabinete de Estatística da União Europeia (EUROSTAT³), mais de 1 bilhão de toneladas foram descartadas em aterros somente na União Europeia. No Gráfico 1 é possível analisar a geração de toneladas de resíduo e a disposição final dos 28 países que ainda compunham a União Europeia, considerando que a saída do Reino Unido foi somente em 2020.

Gráfico 1 – Produção e disposição final de resíduos perigosos e não-perigosos no União Europeia de 2004 a 2018.



Fonte: Adaptado de EUROSTAT (2021).

Pelo Gráfico 1, é possível identificar que até 2010 não haviam dados acerca da destinação de resíduos e compostagem. Outro tópico que vale ser ressaltado é que, no tocante

³ Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen/settings_1/table?lang=en. Acesso em: 10 fev. 2021.

da reciclagem, a Áustria que destinou a esta rota e a compostagem cerca 70% dos resíduos gerados em 2016, seguido pela Alemanha e França, que destinam entre 60% a 65% de seus resíduos no mesmo ano. A análise de 2018 ainda apresentam valores provisórios, dificultando uma análise mais próxima da realidade.

Paes *et al.* (2019) afirma que é importante compreender que o RS tem um valor econômico, considerando que alguns destes retornam a cadeia produtiva como matéria prima para ser reutilizado em processos industriais, podendo produzir produtos com a utilização do rejeito da população. Cobo, Dominguez-Ramos e Irabien (2018) defendem que a definição de monetarização dos resíduos pode render lucros, melhorar a gestão, além da redução substancial do consumo de recursos naturais.

2.8 Energia da Biomassa

Com a redação do Protocolo de Quioto ficou estabelecido, dentre outras demandas, a redução da emissão de GEE, em especial o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o dióxido de nitrogênio (NO₂). O CO₂ é considerado o maior GEE emitido pelos países desenvolvidos, principalmente veiculado à queima de combustíveis fósseis (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

O Protocolo de Quioto estabelece três “mecanismos econômicos de flexibilidade” que permitem aos países cumprirem as exigências de redução de emissões fora de seus territórios. Dois desses mecanismos correspondem somente aos países do Anexo I (desenvolvidos) do Protocolo de Quioto e se referem à Implementação Conjunta (Joint Implementation) e ao Comércio de Emissões (Emission Trading). O terceiro mecanismo, chamado de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (Clean Development Mechanism – CDM), surgiu de uma proposta brasileira à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [...] através desse mecanismo, os países do Anexo I do Protocolo de Quioto podem ampliar as possibilidades de cumprirem suas metas de redução de emissões de GEE, adquirindo Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), também conhecidas como Créditos de Carbono, originadas por projetos implementados nos países que não fazem parte do Anexo I, como o Brasil (GUEDES, 2018).

Em aproximadamente 100 anos, a biomassa foi caindo no ranque como fonte de energia para o carvão, posteriormente com o crescimento constante do petróleo e do gás natural. O setor energético mundial, de forma geral, utiliza em larga escala fontes fósseis como principal alternativa de combustível, porém, atualmente, muitos países vêm mudando esse cenário pela necessidade de redução do uso de petróleo e seus derivados, assim como a dependência desses países em relação aos exportadores dessa matéria prima (CORTEZ; LORA; AYARZA, 2008).

Considerando que a crise ambiental está relacionada diretamente com o crescimento populacional, o que gera consequentemente o aumento da demanda energética e a poluição, há necessidade de fontes energéticas autossustentáveis que contribuam na redução da emissão de gases agentes do efeito estufa, que diversifiquem a matriz energética.

A biomassa, por apresentar condições adequadas de produção energética, se engloba as fontes de alternativas inesgotáveis. Para ANEEL o termo biomassa é definido como:

Todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2005).

Segundo Fernandes, Nogueira e Jimenez (2020), o aproveitamento energético do biogás tem como objetivo tornar, de alguma forma, útil os resíduos produzidos pela degradação de RS em aterros sanitários na produção de energia como a eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade.

Independentemente do modo em que será utilizado esse biogás, deve-se planejar um “sistema padrão de coleta, tratamento e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento (inclusive para desumidificar o gás), compressor e flare com queima controlada para garantia de maior eficiência de queima do metano” (PIÑAS *et al.*, 2016, p. 177).

Um desafio para a humanidade ao longo da história da civilização em meados do século XX, com o crescimento exponencial dos RS é de lidar com o chamado lixo que vem se agravando devido a urbanização e as mudanças climáticas, em razão à escassez dos recursos naturais, os cidadãos vêm mudando a maneira de ver o lixo de incômodo para recurso.

Uma das maiores taxas de urbanização do mundo está na América latina e região do Caribe, com uma estimativa de 500 milhões de pessoas vivendo em cidades, o que significa cerca de aproximadamente 80% da população, o que origina diversos problemas tais como, saúde, mobilidade, gerenciamento adequado de RS e saneamento. Aproximadamente 354.000 toneladas de resíduos são produzidas diariamente devido aos hábitos culturais e poder de compra, dessa forma a estimativa feita é que cerca de 50% (ou mais) dos RS produzidos são derivados de materiais orgânicos e alimentos (THEMELIS *et al.*, 2013; ONU, 2017).

2.9 Composição do Biogás em Aterros Sanitários

Embora haja resíduos orgânicos e diferentes tipos de matérias presentes em aterros a produção do biogás é oriundo da decomposição anaeróbica da matéria presente nos resíduos sólidos, aonde detém de aproximadamente 50% de CH₄ (metano), sendo um gás de efeito estufa que favorece o aquecimento global, além de ser incolor, inodoro e muito inflamável, 45% de CO₂ (dióxido de carbono), além de resquícios de outros gases como 3% de N₂ (nitrogênio), 1% de O₂ (oxigênio) e 1% de outros gases (AGOSTINI, 2019).

Ainda segundo Agostini (2019), o quantitativo dos gases gerados em aterros no decorrer da produção depende de alguns parâmetros, tais como tipologia da matéria orgânica, o quantitativo da matéria orgânica presente, a pluviometria do local, condições de operação do aterro sanitário, entre outros que serão posteriormente apresentados.

Na Tabela 1 é possível observar a composição típica do biogás em aterros sanitários.

Tabela 1 – Composição típica do biogás em aterros sanitários

FÓRMULA QUÍMICA	GÁS	VOLUME (%)
CH ₄	Metano	55 - 75
CO ₂	Dióxido de carbono	25 - 45
N ₂	Nitrogênio	0 - 3
H ₂	Hidrogênio	0 - 2
O ₂	Oxigênio	0 - 0.1
H ₂ S	Gás sulfídrico	0 - 1

Fonte: Agostini (2019).

Moreira (2018) afirma que, além dos gases citados, há enxofre, mercaptanas (0,1% – 1%), amônia (0,1% – 1%), monóxido de carbono (0% - 0,2%) e gases de baixa concentração (0,01% – 0,6%). Tchobanoglous e Kreith (2002) determina que, em condição metanogênica estável, os gases com maior volume produzido em aterros são o metano e o dióxido de carbono, com variações entre 45% - 60% e 40% - 60%, respectivamente.

Cassini *et al.* (2003) explica que, devido a condições de biodigestão, os gases podem oscilar de proporção, sendo também afetado pelo tipo de RS depositado, colônias de microrganismos, pressão, dentre outros.

2.9.1 Biodegradação dos resíduos em aterros

Os processos de biodegradação de RS estão relacionados intrinsecamente ao modelo de aterro à constituição do resíduo. Tchobanoglous e Kreith (2002) determinam existir 5 fases de biodegradação de um RS em um aterro:

- **Ajuste inicial, fase I:** A biodegradação do lixo começa no momento em que é colocado na lixeira através da ação de microrganismos. A partir do momento em que o RS é descartado nas células dos aterros, inicia o que o autor reconhece como fase operacional, onde o material é despejado e misturado por equipamentos.
- **Fase de transição, fase II:** Até o momento em que o RS é misturado e soterrado na célula, todas as etapas que compõe a fase I, foram realizadas sob ação de oxigênio. Porém, a partir de fechada, a célula começa a apresentar decaimento de oxigênio devido ao seu consumo por microrganismos decompositores, bem como por reações químicas. Com isso, as colônias que antes eram responsáveis pela biodegradação do RS e começa a ter um maior número de seres anaeróbios, ou seja, aqueles que não demandam de oxigênio para sua respiração. Nesse momento, reações com liberação de elétron se tornam mais constantes produzindo, assim, gases como hidrogênio (H_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S). Sá, Jucá e Sobrinho (2012) acrescenta que nessa fase há uma diminuição do potencial de oxido-redução, produzindo ácidos orgânicos de material orgânico complexo, diminuindo o pH do lixiviado.
- **Fase ácida, fase III:** é plausível separar essa fase em 3 etapas principais: a primeira é a clivagem enzimática (hidrólise) de lipídios, polímeros orgânicos e proteínas, facilitando seu uso para fins energéticos de microrganismos; após a ingestão desse produto, inicia-se a etapa 2, onde há a produção de compostos intermediários, tais como ácido acético e quantidades menores de ácidos fúlvicos e outros ácidos orgânicos mais complexos; e, por último, há a acidificação geral do solo devido a liberação desses produtos. Ao final dessa fase, vale salientar o aumento significativo da demanda bioquímica (DBO) e química de oxigênio (DQO) e a condutividade do chorume.
- **Fase metanogênica, fase IV:** É nesse momento em que se inicia a produção de metano por meio de fermentação. Com isso, há uma redução da formação de ácidos, de forma que, desse momento em diante o chorume passa a possuir um pH mais alcalino. O

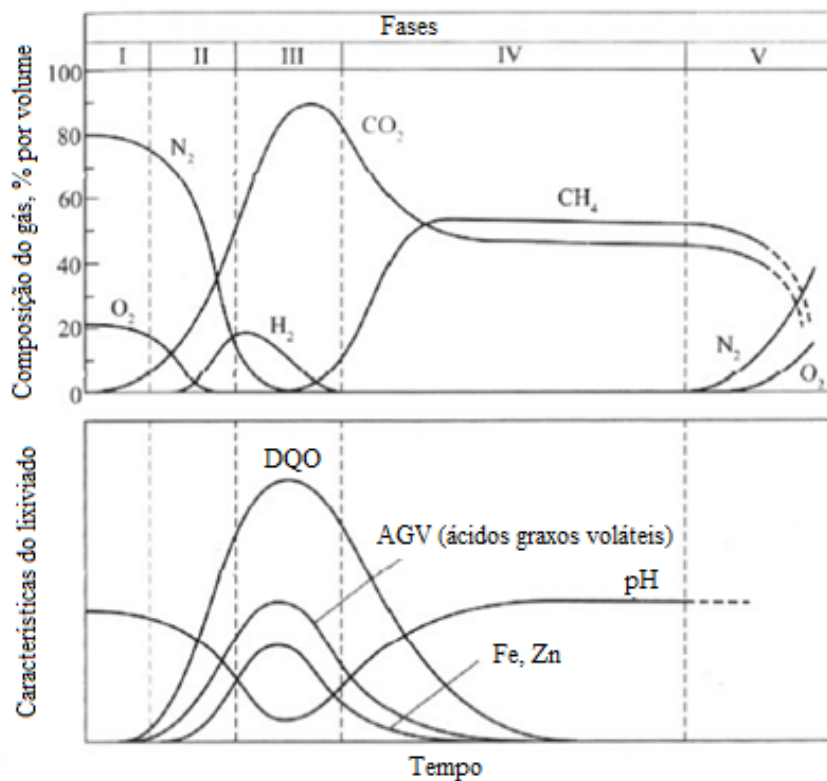
principal reflexo disso é a diminuição de materiais orgânicos presente na constituição, afetando diretamente a condutividade (SCHIRMER *et al.*, 2014).

- **Fase de maturação, fase V:** Após uma grande parte do RS degradado durante a fase anterior, há uma maior facilidade de a umidade do aterro permear no interior do compensado de resíduos, de forma que, começa a reagir, reduzindo a geração de metano, pois a maioria dos nutrientes já foi consumida e os demais resíduos demandam mais tempo para se degradar (REGATTIERI, 2009).

Em conformidade com a estrutura de fechamento do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas em análises de gás.

Na figura 6 tem-se o resumo das fases com suas respectivas composições de gás.

Figura 6 – Características de biodegradação do material dentro do aterro sanitário por fases.



Fonte: Souza (2020).

Esse é um processo baseado em análises médias, de forma que as padronizar, segundo Tchobanoglous e Kreith (2002) seria imprudente, uma vez que as características físicas, químicas e de estrutura podem interferir nos tempos em cada uma das fases. Souza (2020) complementa afirmando que, em uma condição onde há uma maior compactação do lixo e houver

uma situação em que afete a percolação de água, pode acontecer que haja uma retardação ou um prolongamento nas fases intermediárias.

A composição gravimétrica do lixo influencia diretamente na quantidade de metano produzida pelo aterro, pois, quanto maior a taxa de material biodegradável, maior será a taxa de geração de gases. A umidade é também muito importante para o equilíbrio das reações, sendo que a umidade de 60 a 90% pode aumentar a geração de biogás. A construção do aterro com baixa permeabilidade para controle da formação do chorume mantém a umidade baixa, o que prejudica a formação do biogás (SOUZA, 2020).

Assim, percebe-se a importância de procedimentos bem estabelecidos para uma produção ótima de biogás. Regattieri (2009) compreende que a grande maioria das operações em aterros são processos de melhoria de fatores abióticos.

2.9.2 Agentes poluidores do biogás

Santos e Lima (2016) debatem sobre os impactos da produção de energia elétrica por meio de fontes de energia renováveis, afirmando que sua combustão afere menos GEE para atmosfera, sendo estes, principalmente dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água, metano (CH_4), óxidos nitrosos (NO_x), material particulado (MP), óxido de nitrogênio (N_2O) e óxido de enxofre (SO_x).

Luning e Trent (1993 *apud* REGATTIERI, 2009) afirmam que muitas vezes o biogás era queimado em *flares*, de forma que havia um desperdício da sua produção, sendo este pouco utilizado como forma de energia. Fernandes, Nogueira e Jimenez (2020) afirmam que esses *flares* eram uma alternativa em que se utiliza a combustão do metano, principal constituinte do biogás para sua transformação em gás carbônico, gás com potencial de aquecimento global cerca de 20 vezes menor. Ainda segundo os autores, hoje há um maior aproveitamento da energia advinda da queima do metano.

Regattieri (2009) define que, dentre os principais problemas, o uso de *flares* causa: riscos de incêndio, riscos para saúde, danos a vegetação circundante, efeitos globais no clima e odores desagradáveis.

2.10 Mecanismos de Conversão Energética do Biogás

Muito é estudado acerca de mecanismos de aproveitamento de biogás em plantas de aterro, dentre essas, pode citar o uso em turbinas e microturbinas, em motores de combustão interna e em motores de ciclo Otto (SOUZA, 2020).

2.10.1 Turbinas e microturbinas

As turbinas e microturbinas são comumente utilizadas em projetos de energia de recuperação de gás de aterro (LFG) e em projetos de cogeração, conforme Kopanos, Georgiadis e Pistikopoulos (2013) possibilita a redução de 23 tipos de impactos ambientais como redução GEE, contaminação do lençol freático, entre outros. A escolha na utilização de qual modelo depende do dimensionamento e do fluxo de gás produzido, sendo turbinas recomendadas para maiores vazões e microturbinas para menores. Segundo Hirano e Silva (2018), a utilização *in natura* de biogás em microturbinas é uma ideia para melhoramento do rendimento e simplificação do sistema.

As microturbinas a gás funcionam a partir da entrada do ar nos compressores que aumenta a pressão e temperatura e com um bocal aumenta a velocidade. Na turbina, ocorre uma expansão, então diminui a pressão e temperatura “forçado para seu interior à alta velocidade e pressão, na câmara de combustão é misturado com o biogás e então queimado; resultando em gases de exaustão com alta temperatura, sua expansão faz com que as aletas de saída do gás tenham força e possam dar continuidade ao ciclo” (SOUZA, 2020).

Correia Junior *et al.* (2018) afirmam que o tipo da composição orgânica no qual é produzido o biogás pode afetar diretamente o sistema, de forma que este deverá ser dimensionado a partir das necessidades do usuário, valendo-se de alterações na temperatura do combustor e emissor, além de modificações claras no ruído. Os autores complementam que a utilização de microturbina de 250 kW de potência, pode trabalhar em uma planta de até 1200 °C.

2.10.2 Biogás em motores de combustão interna

Souza (2020) afirma que motores a combustão interna como do ciclo Otto, são largamente utilizados na transformação de energia térmica oriunda de um processo de combustão em energia mecânica, de forma que, quando acoplado a geradores, podem permitir soluções para produção de energia elétrica. Dessa forma, muitos têm se estudado a respeito da utilização de energias renováveis para fins de diminuição do uso de combustíveis fósseis (TORRES *et al.*, 2020).

De acordo com Bertinatto *et al.* (2017), a utilização de óleos lubrificantes minimiza os danos causados por atrito na utilização do biogás *in natura*, uma vez que, com o aumento de sulfeto de hidrogênio durante a combustão, pode gerar desgastes no motor.

2.10.3 Biogás em motores ciclo Otto

Atualmente há uma ampla utilização de motores ciclo Otto na conversão de energia a partir do biogás para a geração de energia elétrica no Brasil, isto se dá devido seu baixo custo inicial e baixo custo de manutenção, demandando poucos ajustes para a injeção desse tipo de biomassa como combustível (SOUZA, 2020). Hotta, Sahoo e Mohanty (2019) defendem o uso do ciclo Otto na geração de energia elétrica através do biogás devido a sua baixa emissão de poluentes, alterando algumas características do motor que, em muitos casos, incrementa a eficiência do motor.

A utilização do biogás como combustível se inicia na sua inserção na entrada de ar do motor através de um mecanismo dosador de ar. Arkharov, Simakova e Navasardyan (2016) definem que a utilização de biogás como combustível único acarreta um menor torque que quando comparado ao mesmo teste utilizando gasolina, uma vez que o primeiro possui menos energia concentrada por volume.

2.11 Potencial de Produção do Biogás no Mundo

A produção de RS é considerada como um dos principais subprodutos do atual estilo de vida em sociedade. Hoornweg *et al.* (2012) estimam que, em 2025, haverá um aumento de 2,2 bilhões de toneladas de resíduos produzidos nas cidades, o que representa um crescimento de

18,3% em comparação com 2018, aproximando a $1,42 \text{ kg.dia}^{-1}$ de resíduos produzidos por habitante.

Willumsen (2001) relata a existência de 950 plantas, em 2003, em todo o mundo, com a utilização de biogás de aterro para geração de energia, sendo os três países com maior número de plantas os Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha, respectivamente. Barrak (2018) afirma que, em comparação de 2003, há um aumento de 131,6% na quantidade de plantas ativas no mundo até 2015, e calcula que até 2024 haverá 550 novas usinas de biogás em aterros. Ainda segundo o autor:

Em uma escala global, a Europa é líder no número de plantas, na recuperação energética e expertise em pelo menos três campos: incineração, digestão anaeróbia e recuperação de gás de aterro. Fora da Europa, o Japão pode ser apontado como referência na incineração e tecnologias alternativas como a gaseificação. Com o incentivo do governo em plantas WTE, a China tem implementado instalações de incineração (IBDEM, 2018, p. 45).

Na Europa, dentre os países representados, percebe-se que a França é aquela com possui maior número de usinas de geração de energia a partir do lixo – usinas “*waste-to-energy*” (WTE) – enquanto a Alemanha é a que possui maior quantidade de resíduos tratados termicamente, como pode ser visto a partir da Figura 7.

Figura 7 – Plantas WTE em operação na Europa e quantidade de resíduos tratados termicamente.



Fonte: CEWEP (2014, *apud* BARRAK, 2018).

Na Figura 7 percebe-se que a energia produzida em 2013, a partir de biogás, foi de 13,4 Mtoe (155,8 TWh), sendo que desta energia, 2,89 Mtoe (33,6 TWh) foi gerada pelo biogás de aterro sanitário.

Como um dos países com maior produção de resíduos sólidos urbanos, os EUA produziram, em 2013, aproximadamente 254 milhões de toneladas de resíduos, dos quais 34,5% tiveram como destino final a reciclagem e a compostagem, 53,8% foram encaminhados aos aterros e 11,7% foram incinerados para recuperação energética. Em 2015, um total de 77 plantas WTE em funcionamento em todo o território nacional, dessas, 59 produzem energia elétrica para as redes, 15 são plantas de cogeração e 3 produzem vapor sem geração de energia elétrica (BARRAK, 2018).

3 METODOLOGIA

Os mecanismos de pesquisa científica são de grande importância para definir os passos a serem dados. Para isso, segundo Silveira e Córdova (2009), antes de começar a empreitada é preciso compreender que tipo de pesquisa você quer fazer e quais resultados você pretende obter. Para isso, é necessário responder quatro perguntas: Qual o tipo de abordagem melhor se encaixa seu trabalho? É de natureza básica ou aplicada? Seu objetivo, como pretende alcançá-lo? E, por fim, quais os procedimentos que utilizará para encontrar suas respostas?

De acordo com Souza e Kerbauy (2017), o estudo de abordagem quali-quantitativa

[...] considera que quantidade e qualidade não estão totalmente dissociadas na pesquisa, na medida em que de um lado a quantidade é uma tradução, um significado que é atribuído à grandeza com que um fenômeno se apresenta e do outro lado ela precisa ser interpretada qualitativamente, pois sem relação a algum referencial não tem significação em si. A realidade é multifacetada e, como tal, não é superficial afirmar que dados gerados por métodos distintos podem ser agregados, na perspectiva de compreensão das várias faces da realidade.

Ou seja, esta investigação atua em diversos níveis com a intenção é compreender o valor dos dados, indicadores e tendências observáveis e os resultados adquiridos podem ser generalizados para o conjunto da comunidade (SERAPIONI, 2000).

Quanto à natureza, essa pesquisa se encaixa como uma pesquisa básica, pois não tem como interesse produzir uma solução para um problema, mas sim, a divulgação ou a geração de novos conhecimentos científicos. Para Gil (2010), a pesquisa básica busca compreender partes, questões ou situações que ainda precisam ser melhores discutidas em conhecimentos já construídos e propagados.

Ainda no que se refere a taxionomia das pesquisas, Gil (2007) afirma que os objetivos, de uma pesquisa podem ser divididos em três grupos: pesquisa exploratória, pesquisa descritiva e pesquisa explicativa; podendo estes se encaixar em mais de uma dessas categorias. Neste trabalho, compreende-se que as intenções são voltadas para as duas últimas categorias.

No que concerne as pesquisas do tipo descritiva, Kincheski, Alves e Fernandes (2015) afirmam que estas estão voltadas em pormenorizar as características de uma determinada população, assim como discernir suas possíveis relações entre as variáveis das situações estudadas.

Já para as pesquisas explicativas, Vergara (2013) defende que esta modalidade busca tornar o leitor mais familiar ao problema, bem como explorar o máximo possível de alternativas dentro do seu estudo. Em concomitância, Silva (2014) complementa:

Tem por natureza o objetivo de determinar, por meio do confronto de variáveis, os fatores ou causas que determinam ou influenciam a manifestação de determinados fenômenos. Visa explicar por que o fenômeno ocorre, quais os fatores que o causam ou contribuem para sua ocorrência, ou qual é a explicação para a relação existente entre dois ou mais fenômenos (p. 22).

Com o intuito de permitir abordagem mais segura e compor resultados mais fidedignos a realidade, este trabalho buscou compreender as publicações científicas na área, seja através de livros, dissertações, teses ou artigos publicados nas últimas três décadas. Deste modo, este trabalho se encaixa como uma pesquisa bibliográfica.

Porém, somente esse tipo de publicações não seriam suficientes para compreender os questionamentos levantadas nesta pesquisa. Assim, para permitir uma melhor visibilidade, esse estudo procurou documentos veiculados pelas empresas de gestão de aterros sanitários, órgãos regulamentadores e em jornais e noticiários confiáveis.

Fonseca (2002) (p. 32) afirma que a pesquisa documental “recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc.”

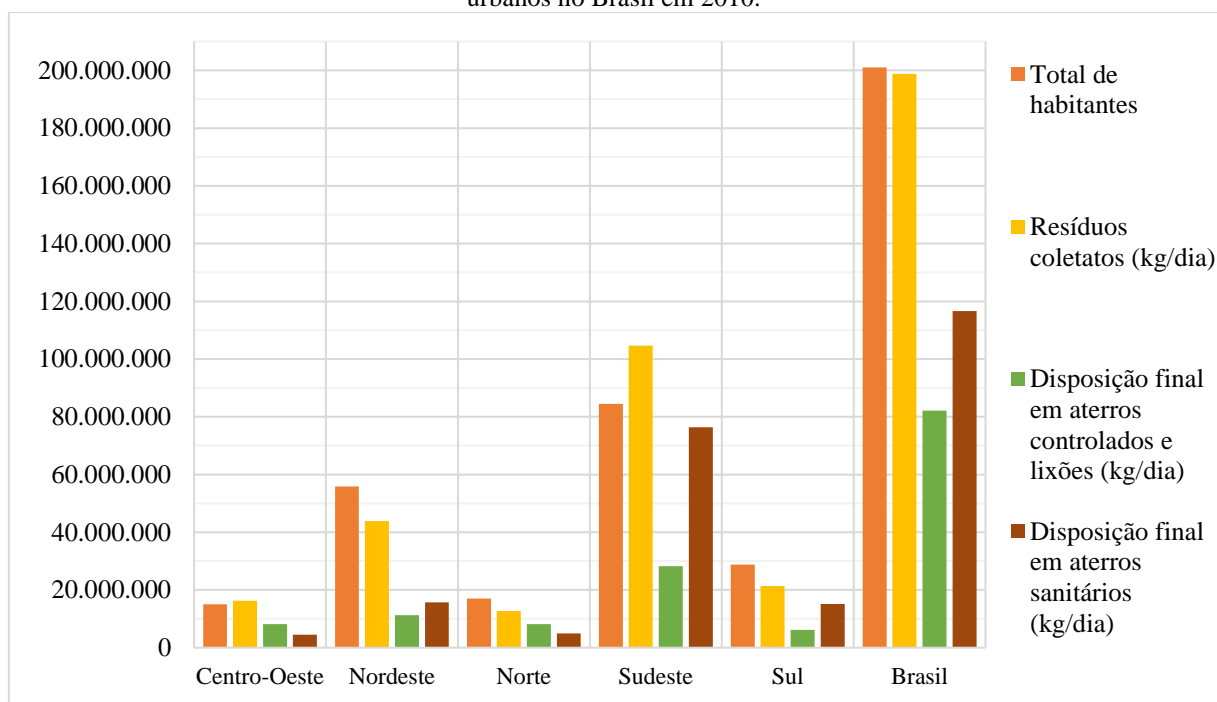
Deste modo, o presente estudo se pauta através de metodologias de abordagem quali-quantitativa, com natureza básica, com objetivos de caráter descritivos e explicativos e com procedimentos pautados em pesquisas de levantamento bibliográfico e documental.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil

Segundo dados divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos (ABRELPE), em 2019, foram produzidos por volta de 79 milhões de toneladas de RS, 9,1% a mais que 2010, sendo produzido mais de 216 mil toneladas diárias de RS e, aproximadamente, mais de 1 quilo de resíduos por dia/habitante, como pode ser visto no Gráfico 2.

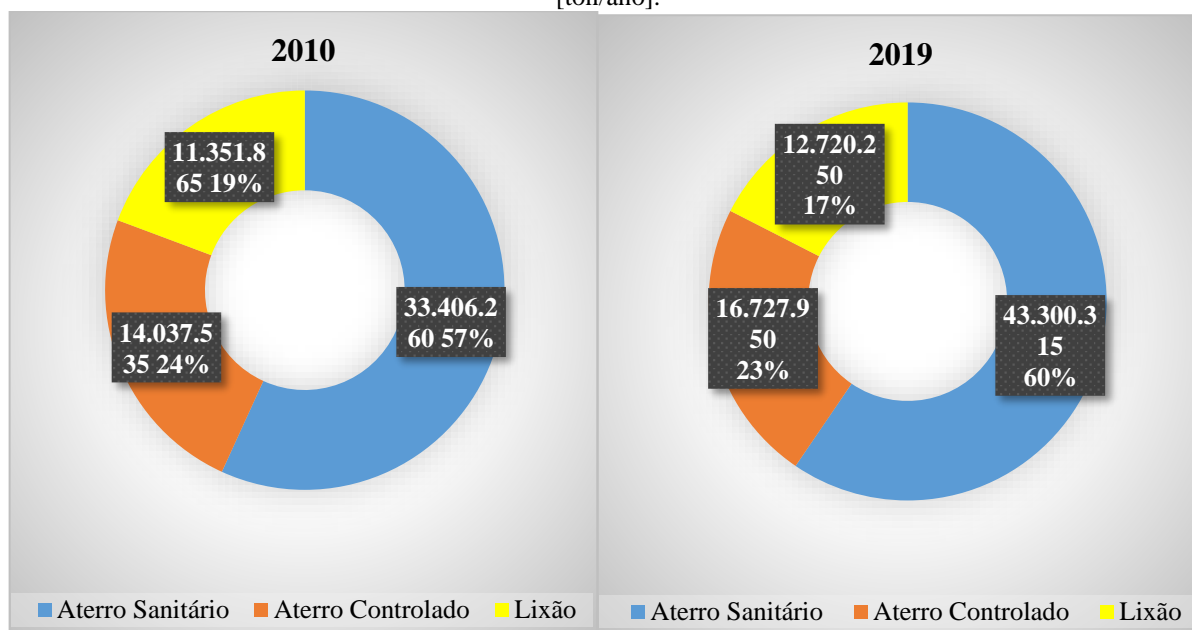
Gráfico 2 – População, quantidade de resíduos coletados e formas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2010.



Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.* (2019).

No Brasil, registrou-se um aumento na disposição final de aproximadamente de 14 milhões de toneladas de RS entre 2010 e 2019, como pode ser visto no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Comparação entre a disposição final de RS no Brasil entre 2010 e 2019, por tipo de destinação [ton/ano].



Fonte: ABRELPE (2019).

Percebe-se um aumento expressivo de quase 10 milhões de toneladas para aterros sanitários em menos de uma década, passando de 33 milhões de toneladas por ano para 43 milhões de toneladas. Por outro lado, o valor para aterros controlados e lixões também apresentou um crescimento, o que comprova que, mesmo com a PNRS, ainda há muitos depósitos clandestinos e que não há ainda mecanismos úteis para a diminuição de destinações clandestinas e prejudiciais ao meio ambiente,

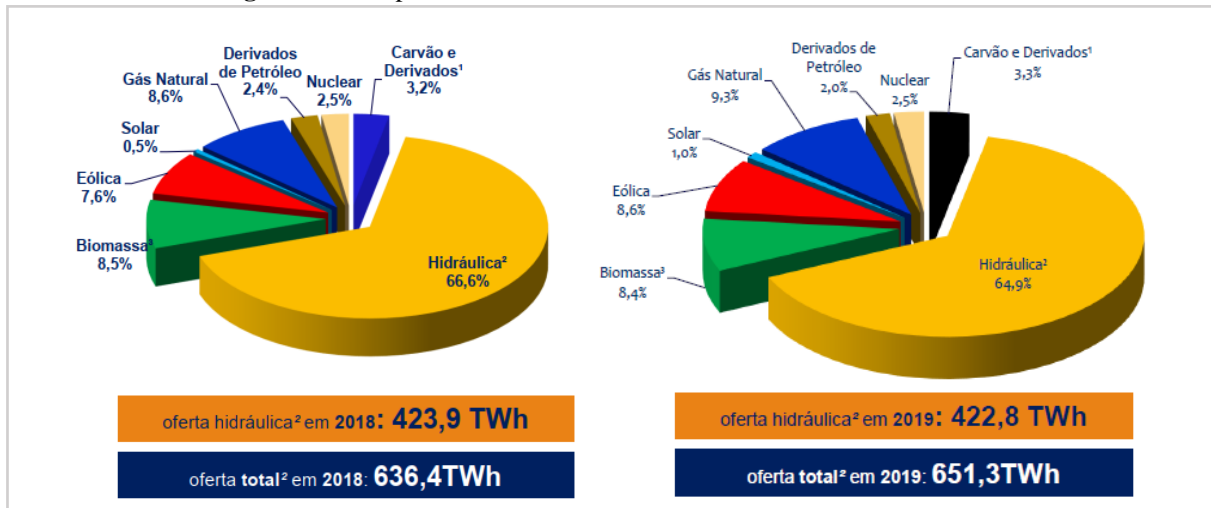
[...] até o presente momento, não foram registradas iniciativas e programas consistentes para cessar tais práticas, com o encerramento das unidades de destinação inadequada ainda em operação, que atualmente recebem mais de 40% do total de RS coletados no país. Ao considerar a manutenção do cenário vigente, seriam necessários 55 anos para que aterros controlados e lixões sejam encerrados (ABRELPE, 2019).

Nesse sentido, estima-se que, durante a próxima década se iniciará medidas de incentivo a inutilização de destinação final clandestinas, dessa forma, haverá uma queda linear de 7,2 por década, de forma que, em 2070, a situação na disposição inadequada no país chegará no patamar dos 3% (ABRELPE, 2019).

4.2 Panorama das Matrizes Elétrica e Energética Brasileira

Segundo dados do Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2020, a matriz elétrica brasileira é composta maioritariamente de fontes renováveis, com oferta total de produção 651,3 TWh, registado no ano de 2019 como é ilustrado na Figura 8.

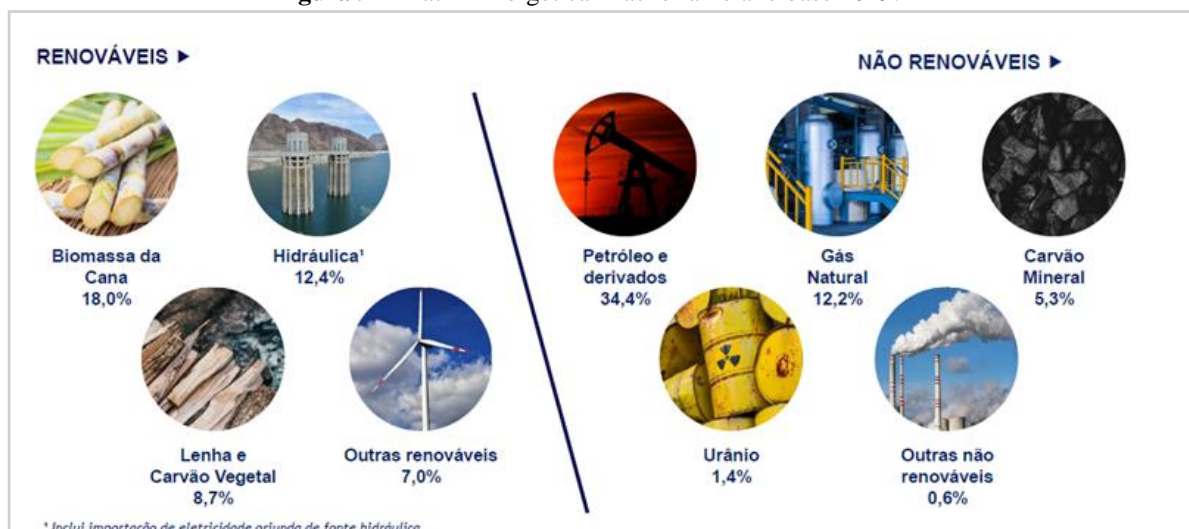
Figura 8 – Comparativo da Matriz Elétrica Brasileira entre 2018 e 2019.



Fonte: Brasil (2020).

Já a matriz energética brasileira é composta maioritariamente de fontes não renováveis, 53,9%, como pode ser observado na Figura 8. Dentre as principais matrizes energética brasileira, destaca-se a biomassa, sendo responsável, em 2018, pela produção de aproximadamente de 8,5% da oferta, sendo superior a todas as formas não-renováveis de energias com exceção do gás natural.

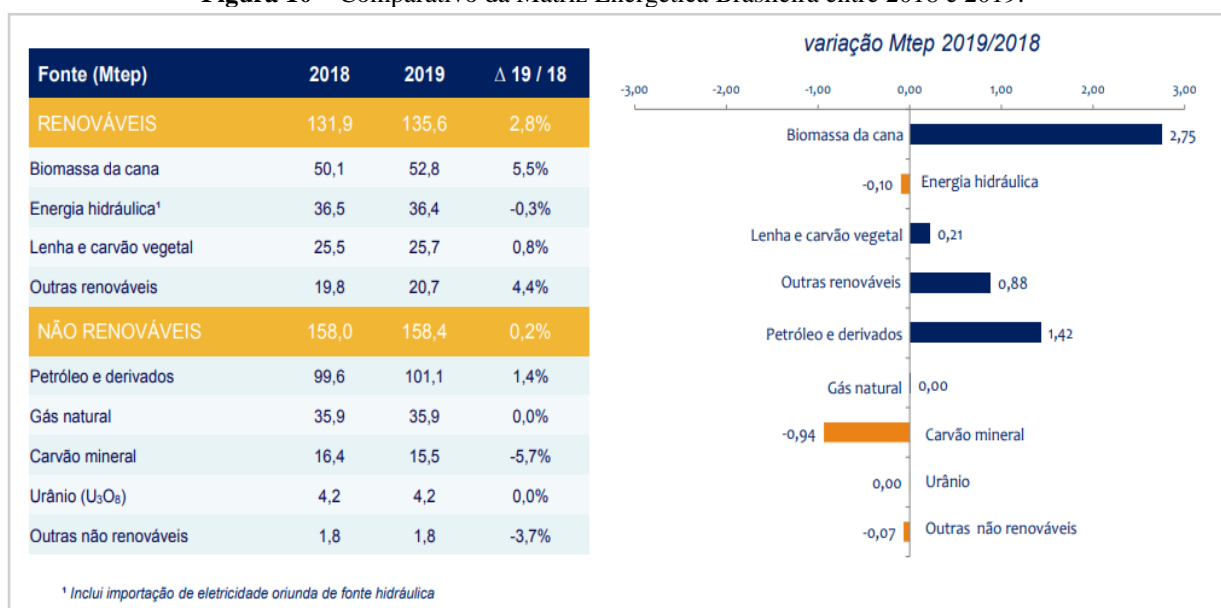
Figura 9 – Matriz Energética Brasileira no ano base 2019.



Fonte: Brasil (2020).

Na Figura 10 verifica-se, com maior detalhamento, que a oferta interna de energia das fontes não-renováveis corresponde a 158,4 MTEP, com destaque no petróleo e derivados (101,1 MTEP) registado no ano de 2019. No caso das fontes renováveis, destaque para a biomassa da cana com 52,8 MTEP. Esta fonte teve um aumento de 5,5% em relação ao ano de 2018. Também é possível verificar o crescimento do uso das renováveis na matriz energética brasileira.

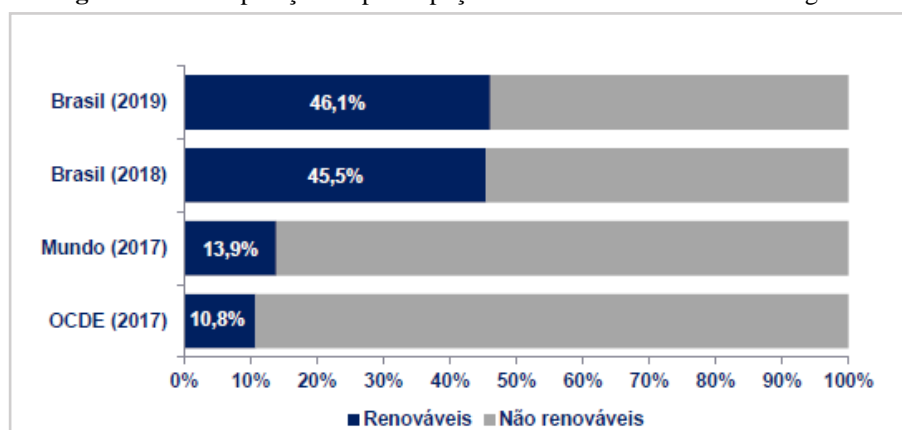
Figura 10 – Comparativo da Matriz Energética Brasileira entre 2018 e 2019.



Fonte: Brasil (2020).

Pela Figura 11 percebe-se como o Brasil tem investido fortemente em produção de energias renováveis, de forma que em 2019, mais de 46% da matriz energética é renovável. Essa independência do país em relação aos combustíveis fósseis para a geração de energia mostra o potencial e a necessidade de se investir cada vez mais em energias renováveis.

Figura 11 – Comparação da participação de renováveis na matriz energética.



Fonte: Brasil (2020).

4.3 Agentes Poluidores do Biogás

Na Tabela 2 pode-se visualizar a distribuição do volume desses gases lançados a atmosfera por ano.

Tabela 2 – Emissões atmosférica de gases a partir de biogás de aterro e de biodigestores [ton/ano].

EMISSIONES ATMOSFÉRICAS	MP	CO₂	CH₄	NO_x	GEE	N₂O	SO_x
Biogás de Aterro	9,91	543.949,02	232.327,58	349,97	5.422.831,54	0,01	33,99
Biogás de biodigestores	3,92	251.211,74	102.584,67	613,83	2.405.457,9	0,10	15,38

Fonte: Santos e Lima (2016).

De acordo com a Tabela 2, percebe-se que o biogás proveniente de aterros identifica os GEE como principal poluente da atmosfera durante sua combustão com 5.422.831,54 toneladas/ano, valor bastante discrepante se comparado com o biogás proveniente de biodigestores, com 2.405.457,9 toneladas/ano. A presença de maior concentração de CO₂ (aterro) reduz a eficiência do processo de queima, pois absorve parte da energia gerada na combustão, sendo assim o biogás oriundo do biodigestor tem o maior poder calorífico e menos gases tóxicos. Observa-se, também, que biogás de aterro apresenta uma maior emissão de metano com 232.327,58 toneladas/ano, um valor mais do que duas vezes superior ao de biodigestor. O metano potencializa o efeito estufa numa proporção 21 vezes maior que o CO₂, logo, aumentando o aquecimento global. Assim, este metano produzido através da digestão anaeróbica, quando liberado diretamente a atmosfera causa grande impacto. Com exceção de óxidos nitrosos e óxido de nitrogênio, todos os demais valores são, pelo menos, duas vezes maiores quando se compara a produção de gases oriundos de aterros e biodigestores.

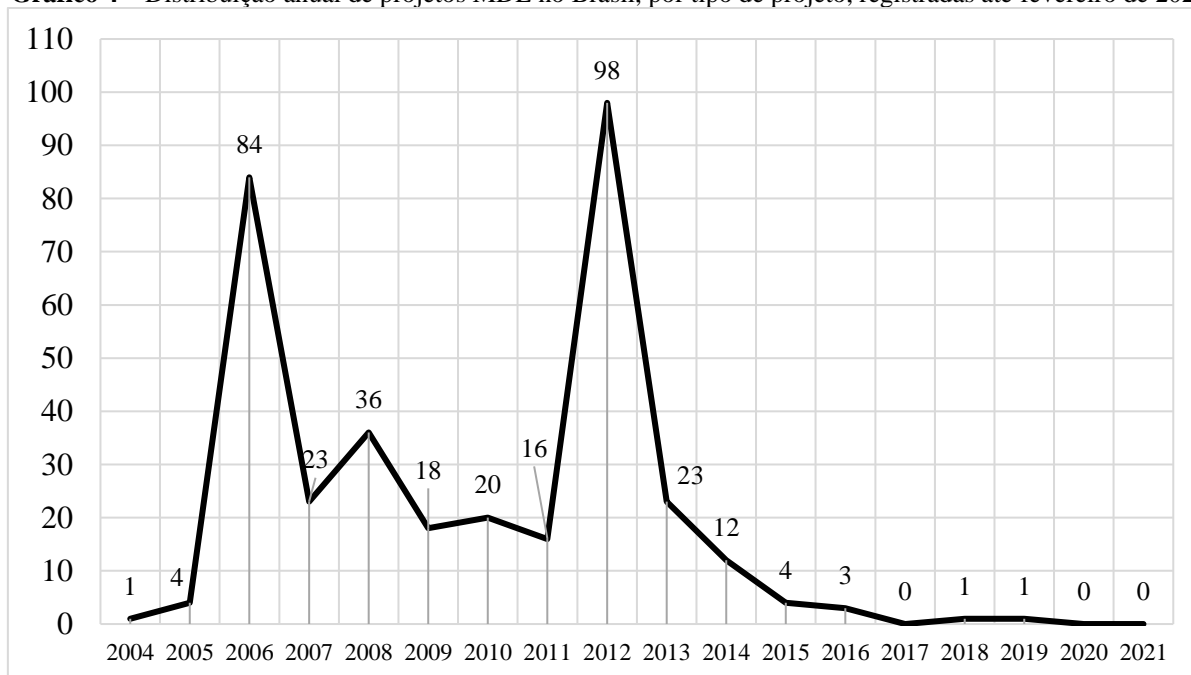
O presente trabalho se concentrou na utilização de digestão anaeróbica com o intuito da produção de biogás como recurso energético.

4.4 Aproveitamento Energético do Biogás em Aterros Sanitários

Do ano de 2004 até fevereiro de 2021 foram cadastrados 8213 projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) na UNFCCC⁴, um aumento de quase 7% se comparado com 2018. Destes, 344 são registrados pelo Brasil, como pode ser observado a partir do Gráfico 4. Os maiores volumes de registro ocorreram em dois períodos (2006 e 2012).

Bittencourt, Busch e Cruz (2018) afirmam que há duas grandes fases na produção de projetos, a primeira começa no último trimestre de 2006, quando o MDL começou a se estabelecer no mercado de carbono, e o segundo em 2012, marcando o final do primeiro período de cumprimento dos compromissos do Protocolo de Quioto.

Gráfico 4 – Distribuição anual de projetos MDL no Brasil, por tipo de projeto, registradas até fevereiro de 2021.



Fonte: UNFCCC (2021).

Percebe-se que nos anos apontados pelos autores há um pico de registros de projetos com intenção de cumprir os prazos estabelecidos. No Relatório de Gestão Exercício de 2019, além da proposta aceita em 2019, há ainda a intenção registrar mais 15 durante os anos seguintes (BRASIL, 2020).

A Tabela 3 mostra a distribuição quanto aos tipos de projetos aceitos no Brasil.

⁴ UNFCCC. **Project Search**. 2021. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em: 18 mar. 2021.

Tabela 3 – Distribuição das atividades de projetos MDL no Brasil, por tipo, registradas até fevereiro de 2021.

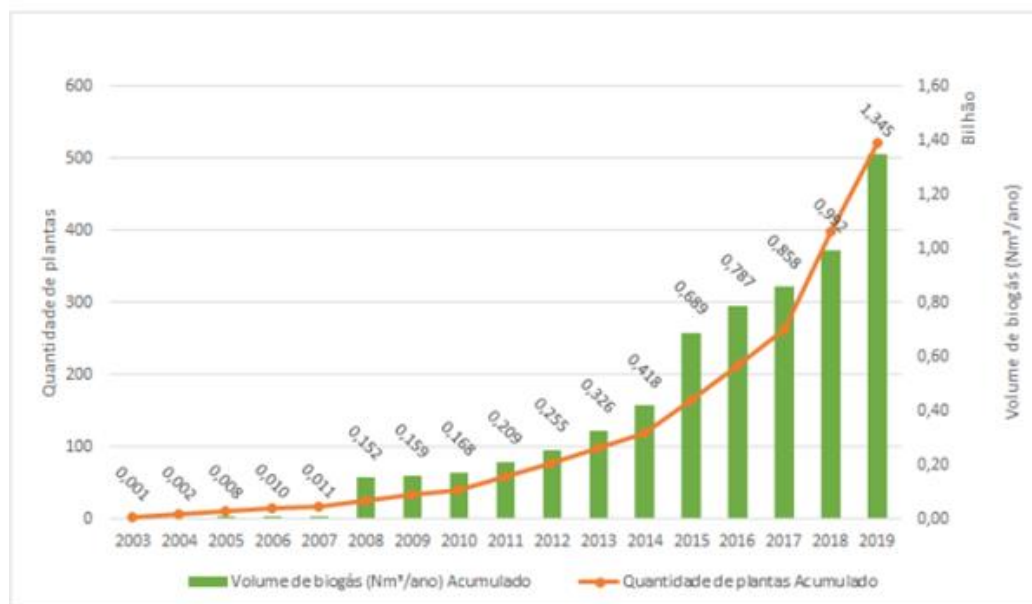
Tipos de Projeto	Atividades de Projeto MDL		Redução estimada de emissão de GEE para o 1º período de contabilização	
	Quantidade	% em relação ao total	(tCO ₂ e)	% em relação ao total
Hidrelétrica	96	27,9	138.473.463	36,5
Biogás	63	18,3	24.861.823	6,5
Usina eólica	57	16,6	44.306.593	11,6
Gás de aterro	52	15,1	91.367.345	24,1
Biomassa energética	41	11,9	16.091.394	4,2
Substituição de combustível fóssil	09	2,6	2.664.006	0,7
Metano evitado	09	2,6	8.627.473	2,3
Decomposição de N ₂ O	05	1,4	44.660.882	11,8
Utilização e recuperação de calor	04	1,2	2.986.000	0,8
Reflorestamento e florestamento	03	0,9	2.408.842	0,6
Uso de materiais	01	0,3	199.959	0,1
Energia solar fotovoltaica	01	0,3	6.594	0,0
Eficiência energética	01	0,3	382.214	0,1
Substituição de SF ₆	01	0,3	1.923.005	0,5
Redução e substituição de PFC	01	0,3	802.860	0,2
TOTAL	344	100	379.762.453	100,0

Fonte: Adaptado de Brasil (2019) e UNFCCC (2021).

Percebe-se através da Tabela 3 que o segmento de geração de energia através de centrais hidroelétricas possui uma grande maioria dos projetos em execução no Brasil com 27,9% do total. Na quarta posição, em quantidade de projetos, a utilização de gases de acervo totaliza mais de 91 milhões de toneladas de CO₂ que foi reduzido dos GEEs produzidos em território nacional. Nesse sentido, percebe-se que desde 2004, muitos projetos foram inseridos, e com o biogás não foi diferente.

O Gráfico 5 demonstra o crescimento anual de plantas de biogás e o volume produzido de 2003 a 2019 no Brasil.

Gráfico 5 –Quantidade de plantas e volume de biogás produzido nas plantas em operação no Brasil entre os anos de 2003 e 2019.



Fonte: CIBIOGÁS (2020).

Observando o Gráfico 5 percebe-se que ele segue a mesma conjuntura do Gráfico 4, porém, considerando o tempo de produção de um projeto desse porte, sua construção e, por fim, seu funcionamento, demanda aproximadamente 3 anos, de forma que, há um crescimento mais aparente nos anos de 2008 e 2015. Há também, segundo dados do Panorama do Biogás no Brasil em 2019 (CIBIOGÁS, 2020) que, outro ponto que alavanca o crescimento nos últimos 5 anos são a implementação de novas plantas de pequeno porte, como as de produção agropecuária.

Guedes (2018) afirma que, dentro da matriz energética brasileira, a capacidade instalada em MW de biogás produzidos em aterros é de 122,25, ou seja, 0,0745% do rendimento total.

Segundo dados da ANEEL, mais de 78% das plantas em atividades são de pequeno porte, porém são responsáveis por menos de 10% de todo o biogás produzido no Brasil. Em compensação, as plantas de grande porte, que no total chegam a quase 6% do quantitativo geral, são responsáveis por cerca de 80% de todo o biogás produzido (BRASIL, 2019).

Quando se refere a origem do biogás, este pode ser dividido em três grupos: agropecuária, indústria, aterro sanitário e estações de tratamento de esgoto. No Brasil, a principal fonte de produção de biogás no país são as plantas de aterros sanitários e estações de esgoto, totalizando em 2019, 76% de todo o volume de biogás produzido (CIBIOGÁS, 2020).

Na Tabela 4 é possível analisar a quantidade de aterros produtores de biogás em atividade segundo CIBIOGÁS através da extensão *Biogás Map* (2021).

Tabela 4 – Distribuição dos aterros produtores de biogás do Brasil, por região, tipo de energia produzida, porte e produção, registradas até fevereiro de 2021.

Região	Nº Total	Tipo de Produção de Energia				Porte			Produção por Ano (Nm ³)
		Biometano	Elétrica	Mecânica	Térmica	P	M	G	
Centro-Oeste	1	0	1	0	0	0	1	0	3.829.991,5
Nordeste	10	1	9	0	1	3	3	4	169.401.543,4
Norte	1	0	1	0	0	0	0	1	26.280.000,0
Sudeste	29	3	25	0	10	3	9	17	761.893.173,5
Sul	13	1	12	0	0	5	3	5	121.041.630,9
BRASIL	54	5	48	0	11	11	16	27	1.082.446.339,3

Fonte: Adaptado CIBIOGÁS (2021).

Observando a Tabela 4, percebe-se que as regiões Sudeste e Sul se encontram as principais atividades de aterros produtores de biogás, sendo os Estados de São Paulo e Minas Gerais aqueles com o maior número, com 10 cada. Outro ponto pertinente é que, mesmo a região Sul tendo mais aterros, a região Nordeste possui uma produção maior. Vale ressaltar que, nem todos os aterros quantificados na tabela anterior foram aceitos no MDL da UNFCCC, bem como não quantifica os que estão em fases iniciais de projetos e construção.

Apesar do crescimento nos últimos anos, Guedes (2018) define que o uso do biogás proveniente dos RS na geração de energia elétrica, mesmo que impulsionada pela PNRS “a capacidade instalada de energia por essa fonte ainda é reduzida quando comparada ao potencial de geração estimado para o Brasil, de 1,3 GW de energia elétrica”. Considerando esse quantitativo, ainda segundo o autor, seria aproximadamente uma produção de 932.000 MWh.mês⁻¹, o suficiente para abastecer 6 milhões de residências, ou seja, a manutenção de 9% da população brasileira ou o toda a região Norte do país.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a preocupação geral da população em mecanismos que promovam o crescimento urbano e o desenvolvimento sustentável, a emissão de poluentes tem se tornado motivo de debate junto a sociedade civil. O reaproveitamento de direto ou indireto de rejeitos é um processo de otimização da utilização da matéria prima, uma vez que se debita algum valor monetário ao que normalmente seria descartado como lixo.

Nesse sentido, políticas públicas que favorecem e dão suporte a esse tipo de atitude, tem estado em alta no Brasil, em especial, desde o Pró-álcool e o Protocolo de Quioto. Nascidos dessa demanda, o PLANSAB e a PNRS são os principais responsáveis pelas tomadas de decisão acerca de protocolos de saneamento básico, esgoto e destinação final de RS, ganhando seu devido destaque ao longo dos últimos anos, apesar de alguns retrocessos e aumentos de prazos.

O uso de lixões e aterros controlados vem diminuindo se considerar a primeira e a segunda década do século XXI, mas devido entraves políticos, essa diminuição tem se tornado mais discreta, mas ainda assim, o futuro é encaminhado para inexistência desse tipo de local. Esse panorama permite ser assemelhado o que tem ocorrido na Europa, uma vez que há a diminuição de lixões e com o aumento de aterros sanitários, há um aumento na quantidade de usinas de produção de biogás originadas desses espaços, favorecendo uma melhor utilização dos resíduos orgânicos em destinação final.

Nesse sentido, o biogás, um subproduto de um conjunto de reações de anaeróbicas de material orgânico que produzem, dentre outros gases, metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), nesse caso, oriundos de atividades de destinação final de RS, despontam como um promissor produto, uma vez que, sua utilização, nada mais é, que o aproveitamento de um produto eficaz e de forma ecológica. Devido suas características ímpares, o biogás pode ser utilizado em natura para a produção de energia, seja ela mecânica, elétrica ou térmica, bem como aproveitado para a produção de um produto de valor agregado maior, como o caso do biometano.

Dessa forma, no Brasil, a energia produzida através de biogás em usinas WTE tem se tornando cada vez mais viável graças aos investimentos na área, que minimizam o impacto social e ambiental da disposição final de resíduos. Um ponto que vale ressaltar é o alto potencial de crescimento desse tipo de polo produtor na Região Norte e Nordeste, uma vez que o clima tropical é marcado por chuvas pontuais, não muito fora de escala, calor e com o menor número de municípios com protocolos adequados para a destinação final de seus RS.

Porém, mesmo o cenário sendo otimista e apresentando um crescimento constante ano após ano, as limitações de produção no Brasil se iniciam pela falta de políticas públicas que favoreçam o investidor privado a ter interesse em trabalhar em solo tupiniquim. Outro ponto que vale ser ressaltado é a falta de interesse do Brasil em investir em pesquisa de ponta, uma vez que, apesar de possuir uma base sólida em pesquisa, múltiplos climas e variedades geográficas e dimensões continentais, há pouca pesquisa realmente bem financiada pelo governo. Esse desenvolvimento em tecnologia depende de fatores estruturais que permeiem outros espaços.

Diante desse quadro, há uma excelente oportunidade para o governo brasileiro incentivar fontes de energia não sazonais, uma vez que há a coleta de RS anualmente, bem como favorecer a descentralização da matriz energética que, por sua vez, a permite ser mais limpa. O Brasil tem, por natureza, as características necessárias para se tornar um dos principais centros de energias renováveis, bem como um dos maiores produtores de biogás a partir de usinas de WTE, se tornando um *portfólio* para possíveis soluções nacionais para investimento em créditos de carbono.

Assim, percebe-se que pesquisas que se preocupam com os processos de produção de resíduos, transporte e destinação final ou tratamento para reuso, tem ganhado muito destaque nas últimas décadas. Porém, percebe-se poucos trabalhos que se preocupem dar uma dimensão mais interdisciplinar aos estudos, uma vez que se focam somente em sua área de estudo. Propõe-se, ao fim, estudos mais detalhados das funções e processos de otimização da produção de biogás, mas que também se preocupem com os impactos nas esferas ambientais e sociais do seu uso.

Também se sugere como proposições de trabalhos futuros, a investigação de mecanismos eficazes para despoluição e reutilização segura desses espaços ao fim de suas atividades, uma vez que os espaços urbanos têm se tornado cada vez mais cheios e o aproveitamento de ambientes se tornam cada vez mais importantes na contemporaneidade.

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, Ronan. Marca Ambiental. **Geração de Energia: biogás de aterro sanitário.** Biogás de aterro sanitário. 2019. Disponível em: <https://www.marcaambiental.com.br/geracao-de-energia-biogas-de-aterro-sanitario/>. Acesso em: 02 fev. 2021.

ARKHAROV, I. A.; SIMAKOVA, E. N.; NAVASARDYAN, E. S.. Landfill Gas as Feedstock for Energy and Industrial Processes. **Chemical And Petroleum Engineering**, [S.L.], v. 52, n. 7-8, p. 547-551, nov. 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10556-016-0229-y>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2018/2019.** São Paulo: ABRELPE, 2019. 68 p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 05 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ABIDES). **Aterro sanitário no Ceará começa a produzir biogás gerado pelo lixo.** 2016. Disponível em: <http://abides.org.br/aterro-sanitario-no-ceara-comeca-a-produzir-biogas-gerado-pelo-lixo/>. Acesso em: 21 jan. 2021.

ANDREOLI, Cleverson V. *et al.* **Resíduos sólidos: origem, classificação e soluções para destinação final adequada.** Paraná, 2015. 22 slides, color. Disponível em: <https://www.agrinho.com.br/materialdoprofessor/residuos-solidos-origem-classificacao-e-solucoes-para-destinacao-final-adequada>. Acesso em: 15 abr. 2020.

ANGULO, Sérgio Cirelli *et al.* Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 299-306, set. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v16n3/v16n3a13>. Acesso em: 09 fev. 2021.

ALBUQUERQUE, Luziane Bartolini. **Resíduos sólidos urbanos: uma abordagem da relevância, caracterização e impactos em três lagoas**, ms. 2016. 140 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/2790/1/Luziane%20Bartolini%20Albuquerque.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8419/1992.** Dispõe sobre as normas técnicas para implantação de Aterro Sanitário. 1992. Disponível em: <https://www.observatorioderesiduos.unb.br/painel/assets/uploads/files/996de-nbr-8.419-nbr-843-apresentacao-de-projetos-de-aterros-sanitarios-rsu.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2021..

_____. **NBR 10004: Resíduos Sólidos.** 2004a. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

_____. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos.** 2004b. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021.

BARBOSA, Jessica Oliveira; MOURA, Gerusa Gonçalves. A relação de limpeza urbana e qualidade ambiental: um estudo sobre as condições de limpeza urbana no bairro Nova Ituiutaba I, na cidade de Ituiutaba/MG. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 21, n. 73, p. 399-414, 9 mar. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/rcg217348613>. Acesso em: 08 fev. 2021.

BARRAK, Érika. **Análise técnica e econômica da recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos através da incineração e do gás de aterro sanitário**. 2018. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, 2018, 2018. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1496/dissertacao_2018097.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 29 mar. 2021.

BERTINATTO, Rovian *et al.* Analysis of lubricant oil contamination and degradation and wear of a biogas-fed otto cycle engine. **Acta Scientiarum. Technology**, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 409, 15 set. 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3032/303252893004.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BIDONE, Francisco Antônio (Org.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Brasília: FINEP/PROSAB, 2001. 216 p. Disponível em: https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/643/4/Res%20aduos%20s%20b3lidos%20proveni%20de%20coletas%20especiais_elimina%20a7%20a3o%20e%20valoriza%20a7%20a3o.pdf. Acesso em: 29 jan. 2021.

BITTENCOURT, Sonia Regina Mudrovitsch de; BUSCH, Susanna Erica; CRUZ, Márcio Rojas da. O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NO BRASIL. In: FRANGETTO, Flavia Witkowski; VEIGA, Ana Paula Beber; LUEDEMANN, Gustavo (org.). **Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do mecanismo de desenvolvimento limpo no brasil**. Brasília: Ipea, 2018. p. 43-53. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/181228_livro_mdl.pdf. Acesso em: 16 mar. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: <http://www.palmares.gov.br/wp-content/uploads/2018/09/res-conama-01-1986.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2021.

BUGLIA, F. Entenda a Diferença entre Aterro Sanitário e Lixão. Disponível em: <https://infoenem.com.br/entenda-a-diferenca-entre-aterro-sanitario-e-lixao/>.

_____. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. **Lei dos Agrotóxicos**. Brasília, 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17802.htm. Acesso em: 23 out. 2018.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b. Acesso em: 02 fev. 2021.

_____. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio

de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 29 mar. 2021.

_____. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Altera A Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; dá outras providências. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 01 fev. 2021.

_____. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico: Plansab**. Brasília, 2013. Disponível em: http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf. Acesso em: 30 mar. 2021.

_____. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Plano Nacional de Saneamento Básico: Plansab**. Brasília, 2019. Disponível em: http://www.agersa.ba.gov.br/wp-content/uploads/2019/03/Versaoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf. Acesso em: 30 mar. 2021.

_____. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2019: Ano base 2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

_____. **Lei nº 14.026, de 15 julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984 e dá outras providências. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 30 mar. 2021.

_____. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2020: ano base 2019**. Rio de Janeiro: Epe, 2020. 264 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.

CAFURE, Vera Araújo; PATRIARCHA-GRACIOLLI, Suelen Regina. Os resíduos de serviço de saúde e seus impactos ambientais: uma revisão bibliográfica. **Interações (Campo Grande)**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 301-314, dez. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/inter/v16n2/1518-7012-inter-16-02-0301.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2021.

CASSINI, Sérgio Túlio. (coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, Rima - Projeto PROSAB, 2003. 210 p. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS BIOGÁS (CIBIOGÁS) (Nota Técnica: N° 002/2010). **PANORAMA DO BIOGÁS NO BRASIL EM 2019**. Foz do Iguaçu: [S.E.], 2020. 12 p. Disponível em: <https://biblioteca.cibiogas.org/biblioteca/notatecnica/pdf/panorama-do-biogas-no-brasil-em-2019.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

_____. **Biogás Map**. 2021. Disponível em: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

COBO, Selene; DOMINGUEZ-RAMOS, Antônio; IRABIEN, Angel. From linear to circular integrated waste management systems: a review of methodological approaches. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 135, p. 279-295, ago. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917302422>. Acesso em: 12 mar. 2021.

CORRÊA JÚNIOR, Paulo Sérgio Pedroso *et al.* Experimental study on applying biomass-derived syngas in a microturbine. **Applied Thermal Engineering**, [S.L.], v. 146, p. 328-337, jan. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431118318714?via%3Dihub>. Acesso em: 14 mar. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB SP). Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2018/06/inventario-residuos-solidos-urbanos-2017.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2021.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). **Manual para Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Curitiba, 2015. 78 p. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual_gerenciamento_residuos_solidos/\\$FILE/Manual%20para%20Gerenciamento%20de%20Res%20C3%ADduos%20v1.88.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual_gerenciamento_residuos_solidos/$FILE/Manual%20para%20Gerenciamento%20de%20Res%20C3%ADduos%20v1.88.pdf). Acesso em: 02 jan. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO Ambiente (CONAMA). **Resolução n ° 307, de 05 de julho de 2002**: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/legislacao/residuos2/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf. Acesso em: 08 fev. 2021.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; AYARZA, Juan Arturo Castañeda. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares (Org). **Biomassa para energia**. Campinas: Unicamp, 2008. Cap. 1. p. 15-28. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8290243-Biomassa-para-energia.html>. Acesso em: 02 fev 2021.

COSTA, Beatriz Souza; RIBEIRO, José Cláudio Junqueira. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**: direitos e deveres. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/16271357.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2021.

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José Vicente. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **Gestão & Produção**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 143-161, ago. 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2002000200004&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 05 fev. 2020.

DIAS, Ildênia Maria; ALVARENGA, Cristiane Bom Conselho Sales; SALES, Rosemary Bom Conselho. Denim resíduo sólido da indústria têxtil brasileira: ações sustentáveis sob o olhar do

design. **Blucher Design Proceedings**, [S.L.], p. 1-13, maio 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5151/cid2017-18>. Acesso em: 31 jan. 2021.

EIGENHEER, Emílio Maciel. **Lixo: a limpeza urbana através dos tempos**. Porto Alegre: Gráfica Pallott, 2009. 144 p. Disponível em: <http://www.lixoeducacao.uerj.br/imagens/pdf/ahistoriadolixo.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2021.

EPE – Empresa de pesquisa Energética. **Projeção da demanda de energia elétrica**. Rio de Janeiro. Fevereiro, 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 10 mai.2020.

EREC. EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL. **Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020**. Bruxelas: Erec, 2008. 24 p. Disponível em: http://www.eufors.org/fileadmin/eufors/Projects/REPAP_2020/EREC-roadmap-V4.pdf. Acesso em: 03 jun.2020.

EIGENHEER, Emílio Maciel. **Lixo: a limpeza através do tempo**. Porto Alegre: Gráfica Pallotti, 2009. Disponível em: <http://www.lixoeducacao.uerj.br/imagens/pdf/ahistoriadolixo.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

FEDERAÇÃO DO COMÉRCIO DO ESTADO DE SÃO PAULO (FECOMERCIO-SP). **Resíduos Sólidos: o que o empresário do comércio e serviços precisa saber**. São Paulo: FECOMERCIO-SP, 2014. 56 p. Disponível em: <https://www.fecomercio.com.br/upload/pdf/2015/13/Guia-residuos-solidos.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2021.

FERNANDES, Rodrigo Pascarelli Rebouças; NOGUEIRA, Melissa de Andrade; JIMENEZ, Italo Jorge Tavares. Estudo de caso no aterro de resíduos sólidos urbanos de Manaus/AM. **Editorial do BIUS**, [S.L.], v. 23 n. 17, dez. p. 36-47, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/BIUS/article/view/8344>. Acesso em: 03 mar. 2021.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

FONTES, Fabiana Dantas; LAGE FILHO, Frederico Almeida. **GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: CASO DE UMA EMPRESA DE PRODUTOS HIGIÊNICOS**. **Revista Oswaldo Cruz**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-12, abr. 2014. Trimestral. Disponível em: http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Fabiana_Fontes_Dantas.pdf. Acesso em: 05 fev. 2021.

GABINETE DE ESTATÍSTICA DA UNIÃO EUROPEIA (EUROSTAT). **Database**. 2021. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>. Acesso em: 10 fev. 2021.

GUEDES, Maria Josicleide Felipe. **ESTUDO DAS EMISSÕES DE BIOGÁS EM ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. 2018. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/250089145.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 176f. Disponível em:

http://www.uece.br/nucleodelinguasitaperi/dmdocuments/gil_como_elaborar_projeto_de_pesquisa.pdf. Acesso em: 01 mar. 2021.

_____. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. Disponível em: http://www.uece.br/nucleodelinguasitaperi/dmdocuments/gil_como_elaborar_projeto_de_pesquisa.pdf. Acesso em: 27 jan. 2021.

HOTTA, Santosh Kumar; SAHOO, Niranjana; MOHANTY, Kaustubha. Comparative assessment of a spark ignition engine fueled with gasoline and raw biogas. **Renewable Energy**, [S.L.], v. 134, p. 1307-1319, abr. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327723726_Comparative_assessment_of_a_spark_ignition_engine_fueled_with_gasoline_and_raw_biogas. Acesso em: 14 mar. 2021.

HIRANO, Marcio Y.; SILVA, Celso L. da. Dairy cattle biogas usage in microturbines for energy generation and thermal exploitation. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 526-535, ago. 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162018000400526. Acesso em: 10 mar. 2021.

HOORNWEG, Daniel; BHADA-TATA, Perinaz. **What a waste: a global review of solid waste management**. Washington: Urban Development & Local Government Unit, World Bank, 2012. 98 p. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>. Acesso em: 30 mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010: Características da população e dos domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf. Acesso em: 02 jan. 2021.

_____. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015**. – Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 352 f. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

JONH, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos de construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: https://ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf. Acesso em: 06 fev. 2021

KAZA, Silpa *et al.* **What a Waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. Washington: World Bank, 2018. 295 p. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 07 fev. 2021.

KE, Han *et al.* Analytical solution of leachate flow to vertical wells in municipal solid waste landfills using a dual-porosity model. **Engineering Geology**, [S.L.], v. 239, p. 27-40, maio 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.03.016>. Acesso em: 05 fev. 2021.

KINCHESCKI, Geovana Fritzen; ALVES, Rosângela; FERNANDES, Tânia Regina Tavares. Tipos de metodologias adotadas nas dissertações do Programa de Pós-Graduação em

Administração Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina, no período de 2012 a 2014. In: Colóquio Internacional de Gestão Universitária –, 16., 2015, Mar del Plata. **Anais [...]**. Florianópolis: INEPEAU, 2015. p. 1-16. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/136196/102_00127.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 02 fev. 2021.

KOMATSU, Rodrigo Kenji; SANTOS, Cristy Handson Pereira dos; SOUSA, Josiano Cesar de. Gestão de Resíduos: Hábitos de descarte de Resíduos derivados da Produção Agrícola das propriedades em Assentamentos Rurais. **Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, [S.L.], v. 13, n. 44, p. 700-722, jan. 2019. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/viewFile/1645/2470>. Acesso em: 07 fev. 2021.

KORF, Eduardo Pavan *et al.* Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo – RS. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 2, n. 2, p. 43-49, jul. 2008. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/119/134>. Acesso em: 07 fev. 2021.

MANAHAN, Stanley E. **Química ambiental**. 9 .ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MARÇON, R. O.; ZUKOWSKI JR., J. C.; CAVALCANTE, I. R. L. Avaliação de planta térmica com biomassa (briquete de casca de arroz) – Caso Real Fazenda experimental do centro universitário Luterano de Palmas. In: 5º Encontro de Energia no Meio Rural. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000002200>. Acesso em: 27 jan. 2021.

MIZIARA, Rosana. Por uma história do lixo. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, [s. l.], v.3, n.1, jan. 2008. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/art-6-2008-6.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

MORI, Giane Fátima Dranka. **Percepção da população rural sobre os resíduos sólidos domésticos**: estudo em distritos do município de Toledo - PR. 2020. 57 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2020. Disponível em: http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5121/2/Giane_Mori_2020.pdf. Acesso em: 08 fev. 2021.

MUCELIN, Carlos Alberto; BELLINI, Marta. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Scielo Analytics**. Paraná, p. 01-12. 25 fev. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/sn/v20n1/a08v20n1>. Acesso em: 01 fev. 2021.

MUÑOZ, Susana Inés Segura. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP**: avaliação dos níveis de metais pesados. 2002. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Enfermagem em Saúde Pública, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-25072003-084308/publico/tese.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2021

MUSTAFA, Shaymaa *et al.* Modelling contaminant transport for pumping wells in riverbank filtration systems. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 165, p. 159-166, jan.

2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715302784>. Acesso em: 05 fev. 2021

NASCIMENTO, Maria Cândida Barbosa, *et al.* Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 143–155, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1413-41522019000100143&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 01 fev. 2021.

OLIVEIRA, Benone Otávio Souza de. **Análise de cenários de gestão dos resíduos sólidos urbanos baseado na transição de ecoeficiência, na sub-região da Amazônia ocidental, Brasil**. 2020. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/192949/oliveira_bos_dr_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 09 fev. 2021.

OLIVEIRA, Letícia Miguel Fontoura de. **Geração de energia através da biomassa dos resíduos sólidos urbanos: um caminho para o desenvolvimento sustentável?** 2019. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração Pública, Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <http://tede.fjp.mg.gov.br/bitstream/tede/437/2/FJP05-000455.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2020.

ORGANIZAÇÃO DA NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Organic Waste Management in Latin America: Challenges and Advantages of the Main Treatment Options and Trends**. 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/onu-meio-ambiente-ingles/>. Acesso em: 24 jul. 2020.

ORLANDO JUNIOR, Valcir; AFFONSO, Adriana Gomes; STECH, José Luiz. Análise da dinâmica do lixão clandestino no município de Barueri, no estado de São Paulo através de imagens do Landsat 5 TM nos anos de 1992, 1993, 1996, 2001 e 2004. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Inpe, 2005. p. 3879-3885. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.12.46/doc/3879.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

PAES, Michel Xocaira *et al.* Transition to circular economy in Brazil. **Management Decision**, [S.L.], v. 57, n. 07, p. 1-12, abr. 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/MD-09-2018-1053/full/html?skipTracking=true>. Acesso em: 08 fev. 2021

PASCOAL, Leonardo Francisco. **Querido Lixo**. 2019. 73 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Audiovisual e Multimédia, Escola Superior de Comunicação Social, Instituto Politécnico de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em: https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/11192/1/%ef%80%a0Querido_Lixo%ef%80%a0_Out_2019.pdf. Acesso em: 01 fev. 2021.

PHILIPPI JR., Arlindo. (Ed.). **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. 842p.

PIÑAS, Jean Agustin Velásquez *et al.* Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos landgem (EPA) e biogás (CETESB). **Revista Brasileira de Estudos de População**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 175-188, 10

maio 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbepop/v33n1/0102-3098-rbepop-33-01-0175.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2021.

POLZER, Verônica Rosária. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos domiciliares em São Paulo e Vancouver**. 2012. 229 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/bitstream/tede/303/1/Veronica%20Rosaria%20Polzer.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2021.

PORTELLA, Márcio Oliveira; RIBEIRO, José Cláudio Junqueira. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos sólidos. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 115-134, jan. 2014. Disponível em: <http://ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/viewFile/3687/2110>. Acesso em: 08 fev. 2021.

PRADO FILHO, José Francisco do; SOBREIRA, Frederico Garcia. Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiadas pelo ICMS Ecológico de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 52-61, mar. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000100007>. Acesso em: 20 fev. 2021.

PRATES, Luisa Ferolla Spyer.; PIMENTA, Cristiane Ferreira.; RIBEIRO, Henrique Ferreira. Alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos. **Apprehendere: Aprendizagem & Interdisciplinaridade**, Guarapuava, v. 1, n. 2, p. 1-6, jan. 2019. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/05/40-Texto-do-artigo-110-1-10-20190130.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2021.

PEREIRA, Adriana Soares, *et al.* **Metodologia da pesquisa científica**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, NTE, 2018. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/358/2019/02/Metodologia-da-Pesquisa-Cientifica_final.pdf. Acesso em: 24 jan. 2021.

REGATTIERI, Carlos Roberto. **Quantificação da emissão de biogás em aterro sanitário: estudo de caso do aterro sanitário de São Carlos**. 2009. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-13012011-144938/publico/CarlosRobertoRegattieri.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.

SÁ, Lidiane Freire; JUCÁ, José Fernando Thomé; MOTTA SOBRINHO, Maurício Alves da. Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 204-217, 30 abr. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n1/v7n1a16.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SANTAELLA, Sandra Tédde *et al.* **Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira**. 7. ed. Fortaleza: UFC/LABOMAR/NAVE, 2014. 232 p. Disponível em: <http://www.repositoriobib.ufc.br/000011/00001121.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

SANTANA, Fernanda Borges; LIMA, Regina Oliveira Santos de; MORAIS, Waldir Aparecido. **A lei dos agrotóxicos perante a PNRS**. In: JusBrasil, 2016. Disponível em: <https://reginaoslima.jusbrasil.com.br/artigos/347863488/a-lei-de-agrotoxicos-perante-a-pnrs#comments>. Acesso em: 04 fev. 2021.

SANTOS, Raimar Barbosa; LIMA, Ana Katerine de Carvalho. Análise Comparativa Do Biogás: Processo Em Biodigestores E De Aterro Sanitário. **Revista Eletrônica de Energia**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 48-57, dez. 2006. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/download/4285/3062>. Acesso em: 18 mar. 2021.

SCHIRMER, Waldir Nagel *et al.* Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluation in refuse of different ages. **Brazilian Journal Of Chemical Engineering**, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 373-384, jun. 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322014000200010. Acesso em: 02 fev. 2021.

SERAPIONI, Mauro. Métodos qualitativos e quantitativos na pesquisa social em saúde: algumas estratégias para a integração. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.187-192, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-81232000000100016&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 23 jan. 2021.

SIMIÃO, Juliana. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa**. 2011. 170 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13072011-100539/pt-br.php>. Acesso em: 08 fev. 2021.

SILVA, Antônio João Hocayen da. **Metodologia de pesquisa: conceitos gerais**. Santa Cruz: Unicentro, 2014. 57 p. Disponível em: <http://repositorio.unicentro.br:8080/jspui/bitstream/123456789/841/1/Metodologia-da-pesquisa-cient%C3%ADfica-conceitos-gerais.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. A pesquisa científica. In: GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Cap. 2. p. 31-42. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2021.

SIQUEIRA, Mônica Maria; MORAES, Maria Silvia de. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 2115-2122, dez. 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232009000600018. Acesso em: 01 fev. 2021.

SOUZA, Kellcia Rezende; KERBAUY, Maria Teresa Miceli. Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. **Educação e Filosofia**, Uberlândia, v. 31, n. 61, p. 21-44, jan./abr. 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/EducaoFilosofia/article/view/29099>. Acesso em: 23 jan. 2021.

SOUZA, Abel Alves de. **Estudo de caso de geração distribuída com biogás no aterro municipal de Cascavel – PR**. 2020. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2020. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4952/5/Abel%20Alves%20de%20Souza.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

TCHOBANOGLIOUS, George; KREITH, Frank. **Handbook of solid waste management**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2002. 834 p. Disponível em: <https://sanitarac.pro/wp-content/uploads/2017/07/Solid-Waste-Management.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

THEMELIS, Nikolas J, *et al.* **Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America and The Caribbean**. 2013. Disponível em: http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/pressreleases/Guidebook_WTE_v5_July25_2013.pdf. Acesso em: 24 jan. 2021.

TOCCHETTO, Marta Regina Lopes. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais**. 2005. Disponível em: http://www.pgdra.unir.br/uploads/11523232/arquivos/Gerenciamento_de_Res_S_lidos_Ind__UFSM_743252446.pdf. Acesso em: 07 fev. 2021.

TORRES, Leandro Marques *et al.* Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. **Naturae**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 23-33, 26 ago. 2020. Disponível em: <https://www.sapientiae.com.br/index.php/naturae/article/download/CBPC2674-6441.2020.001.0003/54/>. Acesso em: 14 mar. 2021.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 2013. v. 1. 104p.

VG RESÍDUOS. Tratamento de resíduos, Biodigestor. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/biodigestor/#tipos-de-biodigestores>.

VICHI, Flavio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300019. Acesso em: 03 mar. 2021.

VILHENA, André. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 4. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2018. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 02 fev 2021.

WAISMANN, Moisés. **Estudo da viabilidade econômica do reaproveitamento de resíduos orgânicos via suinocultura**. 2002. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronegócios, Centro de Estudos e Pesquisa em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6908/000449017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jan. 2021.

WILLUMSEN, H. C. **Energy Recovery from Landfill Gas in Denmark and Worldwide**. LFG Consult, 9p., 2001.

ZANON, Thiago Villas Bôas. **Avaliação da contaminação de um solo laterítico por lixiviado de aterro sanitário através de ensaios de laboratório e análise de dados de campo**.

2014. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-21102014-113317/publico/Dissertacao_Zanon.pdf. Acesso em: 07 fev. 2021.