



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

AQUILLA JOHN DE OLIVEIRA SILVA

**REVISÃO DE LITERATURA SOBRE O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS PARA A PRODUÇÃO DO BIOGÁS**

MOSSORÓ

2022

AQUILLA JOHN DE OLIVEIRA SILVA

**REVISÃO DE LITERATURA SOBRE O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS PARA A PRODUÇÃO DO BIOGÁS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586r Silva, Aquilla John de Oliveira. Revisão de literatura sobre o aproveitamento de resíduos sólidos urbanos para a produção de biogás / Aquilla John de Oliveira Silva. - 2022. 37 f. : il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2022.

1. Impactos ambientais. 2. Matriz energética.
3. Poluição . I. Batista, Rafael Oliveira , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade

AQUILLA JOHN DE OLIVEIRA SILVA

**REVISÃO DE LITERATURA SOBRE O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS PARA A PRODUÇÃO DO BIOGÁS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 28 / 12 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista - UFERSA
Presidente

Profa. Dra. Ana Beatriz Alves de Araújo - UFERSA
Membra Examinadora

Dra. Danniely de Oliveira Costa – PMM
Membra Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, autor da minha vida, a quem amo acima de todos.

Agradeço à minha esposa, Stephane Cavalcante, a pessoa mais incrível e bela que mora nesse mundo, pela inspiração, parceria, paciência, compreensão e companhia.

Agradeço aos meus pais, Manoel Ivaneudo, e Maria Oliveira, que não mediram esforços na luta por meus estudos.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Rafael Oliveira Batista, por todos os ensinamentos repassados durante todo o processo de construção desse trabalho, por suas aulas e disponibilidade na orientação.

Agradeço à banca examinadora pela disponibilidade e por contribuírem significativamente para o enriquecimento desse trabalho.

A todos os professores do curso de Ciência e Tecnologia da UFERSA, pela contribuição na construção do meu conhecimento.

A todos meu sincero e profundo: **Muito Obrigado!**

“Porque Deus amou o mundo de tal maneira
que deu o seu Filho unigênito, para que todo
aquele que nele crê não pereça, mas tenha a
vida eterna.” (João 3:16)

RESUMO

O processo da crescente urbanização da população brasileira e, conseqüentemente, aumento da demanda por energia e aumento da geração dos resíduos sólidos urbanos, criaram a necessidade de se buscar uma alternativa mais adequada para a destinação desses materiais, focando na minimização dos impactos ambientais causados pelos descartes de resíduos e o desenvolvimento das possibilidades de transformá-los em fonte de energia elétrica. Assim objetivou-se com o presente trabalho realizar uma revisão de literatura sobre o aproveitamento de resíduos sólidos urbanos para a produção do biogás. Para isso, pesquisaram-se informações em artigos, livros, monografias, teses de mestrado, arquivos virtuais, bem como livros de literatura especializada. A geração de energia a partir do biogás provenientes dos resíduos sólidos urbanos é uma maneira de produzir energia elétrica limpa, buscando reduzir os impactos globais do descarte destes resíduos, melhora na matriz energética e aumento da oferta de energia limpa. A contribuição ambiental mais significativa é a da redução de emissões dos gases de efeito estufa, por meio da conversão do metano gerado em dióxido de carbono.

Palavras-chave: impactos ambientais; matriz energética; poluição.

ABSTRACT

The process of growing urbanization of the Brazilian population and, consequently, an increase in the demand for energy and an increase in the generation of urban solid waste, created the need to seek a more suitable alternative for the disposal of these materials, focusing on minimizing the environmental impacts caused by disposal of residues and the development of possibilities to transform them into a source of electrical energy. Thus, the objective of the present work was to carry out a literature review on the use of urban solid waste for the production of biogas. For this, information was researched in articles, books, monographs, master's theses, virtual archives, as well as specialized literature books. The generation of energy from biogas from solid urban waste is a way to produce clean electricity, seeking to reduce the global impacts of disposing of this waste, improving the energy matrix and increasing the supply of clean energy. The most significant environmental contribution is the reduction of greenhouse gas emissions, through the conversion of methane generated into carbon dioxide.

Keywords: environmental impacts; energy matrix; pollution

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	–	Geração de RSU no Brasil	18
Figura 02	–	Coleta de RSU no Brasil	19
Figura 03	–	Lixão.....	20
Figura 04	–	Distância mínima de aterros para residências.....	22
Figura 05	–	Construção de aterros sanitários.....	23
Figura 06	–	Cobertura e compactação dos resíduos.....	23
Figura 07	–	Tanque de tratamento de chorume.....	23
Figura 08	–	Diferença entre lixão e aterro sanitári.....	24
Figura 09	–	Parque das Orquídeas.....	26
Figura 10	–	Esquema de obtenção de biogás de	26
Figura 11	–	Termelétrica Caieiras	30
Figura 12	–	Esquema de geração de energia	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	–	Disposição final adequada x inadequada de RSU no Brasil (T/ANO e %)..	19
Gráfico 02	-	Composição dos resíduos sólidos urbanos.....	20
Gráfico 03	-	Volume esperado de biogás ao longo dos anos	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	–	Composição do biogás	27
Tabela 02	–	Comparação entre biogás e outros combustíveis	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
EPE	Empresa de Pesquisa e Energia
MME	Ministério de Minas e Energia
SINIR	Sistema Nacional de Informações de a Gestão de Resíduos Sólidos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
CIBIOGAS	Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GDL	Gás do Lixo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
COP	Conferência das Partes
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PH	Potencial Hidrogeniônico
TAC	Termos e Ajustamento de Conduta
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólido

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
1.2	Metodologia.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Conceitos sobre os resíduos sólidos urbanos.....	17
2.2	Caracterização dos aterros sanitários	20
2.3	Vantagens e limitações dos aterros sanitários.....	24
2.4	Aproveitamento do biogás nos aterros.....	26
2.5	Potencialidades do biogás.....	30
2.6	Equipamentos utilizados nos aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir do biogás.....	32
2.7	Impactos positivos com aproveitamento do biogás nos aterros	33
3	Considerações finais	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma série de problemas associados aos resíduos sólidos urbanos. A sua geração tem crescido de forma acentuada em função da urbanização crescente nas últimas décadas, do aumento da renda e do consumo e de mudanças nos hábitos de vida da população. Os problemas são os mais diversos, como a falta de coleta em determinadas localidades e, principalmente, a destinação inadequada dos resíduos sólidos na maior parte do território nacional (TONETO JUNIOR et al., 2014).

O crescimento da população implica no aumento, em uma taxa consideravelmente maior, na demanda por energia elétrica e na geração de resíduos sólidos urbanos. No Brasil a população cresceu nos últimos dez anos a uma taxa que variou de 0,7% a 0,9% (BANCO MUNDIAL, 2021), enquanto o consumo de energia cresceu em média 4% ao ano. Já a geração de resíduos urbanos cresceu em média aproximadamente 2,2% ao ano, saltando de 66,7 milhões de toneladas em 2010 para 82,5 milhões de toneladas em 2020 (ABRELPE, 2021). O equivalente a 225.965 toneladas por dia, ou ainda 1,07kg por dia para cada brasileiro. Com o aumento na geração dos resíduos domiciliares, a quantidade de materiais dispostos para coleta junto aos serviços de limpeza urbana, também, cresceu, levando a um total de 76,1 milhões de toneladas coletadas no ano de 2020, o que implica em uma cobertura de coleta de 92,2% (ABRELPE, 2021).

No Brasil, a maior parte dos RSU's (resíduos sólidos urbanos) coletados seguiu para disposição em aterros sanitários, com 46 milhões de toneladas enviadas para esses locais em 2020, superando a marca dos 60% dos resíduos coletados que tiveram destinação adequada no país. Por outro lado, áreas de disposição inadequada, incluindo aterros comuns (lixões) e aterros controlados, ainda estão em operação e receberam quase 40% do total de resíduos coletados, evidenciando uma grande deficiência no tocante a destinação correta destes resíduos e provocando severos danos ao meio ambiente (ABRELPE, 2021).

Os danos provenientes da má destinação dos RSU's são difíceis de mensurar, pois se mostram de forma multifacetada, prejudicando os recursos hídricos, solos, fauna e flora (TELLES, 2022).

Para se estabelecer um equilíbrio, o governo e a iniciativa privada tem se juntado na busca por alternativas e imprimido esforços para aumentar a produção de energia que seja suficiente para atender uma demanda cada vez mais crescente. Existe também grande preocupação sobre o impacto ambiental dessa produção (GREENPEACE, 2016).

O Brasil possui uma matriz energética variada, e a energia limpa tem ganhado cada vez mais espaço, como a energia eólica e a energia solar. A energia produzida a partir do biogás, tem se destacado também, aumentando sua representação e importância na matriz energética. Estima-se que a geração de energia obtida pelo biogás já representa 8,9% da matriz energética do Brasil. E a expectativa é de um crescimento de 40% no mundo todo nos próximos 20 anos (JORNAL DA USP, 2022).

O aproveitamento de resíduos urbanos pode ser de grande importância para o aumento da produção de energia limpa. E pode possibilitar, também, aumento da oferta de empregos e cuidado como o meio ambiente, pois reduzirá a quantidade de resíduos dispostos a céu aberto. De acordo com O Jornal da USP (2022), o principal insumo usado na produção do biogás é o bagaço de cana-de-açúcar. Outros insumos têm sido explorados na sua produção, e merece destaque o uso da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.

A crescente urbanização e industrialização das sociedades modernas têm originado uma grande produção de resíduos sólidos, o que tem causado diferentes problemas ambientais que necessitam ser minimizados (TELLES, 2022).

No Brasil, os RSU's ainda são um dos principais problemas ambientais. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), definida pela Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, determina que todo resíduo seja processado apropriadamente antes da destinação final. As alternativas como a coleta seletiva, a reciclagem e a compostagem são bons exemplos de soluções utilizadas para o processamento correto dos resíduos. O que não é aproveitado, os resíduos sólidos denominados “rejeitos”, deverá ser encaminhado aos aterros sanitários (TELLES, 2022).

A importância que vem sendo dada aos resíduos sólidos é consequência da contaminação de cursos d'água e lençóis subterrâneos, das questões sociais ligadas aos catadores, atrativos turísticos e da transmissão de doenças (TONETO JUNIOR et al., 2014).

Quando não é tratado corretamente, o resíduo sólido urbano (lixo) pode ser altamente poluente e afetar, diretamente, a saúde da população, promovendo doenças como a febre tifoide, diarreias, giardíase, leptospirose, entre outras. Poderá acarretar, também, impactos ao meio ambiente, visto que o produto final decorrente da decomposição da matéria orgânica presente no RSU, o chamado chorume, líquido altamente poluente, de cor escura e odor nauseante, originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos, é capaz de contaminar o solo e lençóis freáticos, prejudicando dessa forma os cursos de água da região (TONETO JUNIOR et al., 2014).

Diante desse contexto, constitui-se a questão central do estudo: o aproveitamento do biogás obtidos dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários pode impactar positivamente no aumento da quantidade de energia ofertada e na mitigação dos impactos ambientais negativos?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho consiste em expor conceitos relacionados ao aproveitamento energético do biogás obtido dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários para a geração de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Compreender a importância e os conceitos referentes ao aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, à potencialidade deste aproveitamento, a tecnologia existente para este aproveitamento e o seu impacto na sociedade e meio ambiente.
- Comparar os impactos social e ambiental quando é realizado o aproveitamento energético do biogás obtido nos aterros sanitários proveniente dos resíduos sólidos urbanos.
- Descrever as vantagens do aproveitamento energético do biogás proveniente dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários.

1.2 Metodologia

A presente pesquisa, quanto à natureza, pode ser classificada como básica, pois busca levantar conhecimentos que possam ser aplicados nas cidades brasileiras. Quanto à abordagem, pode ser classificada como qualitativa, pois foi pautada na literatura. E descritiva, quanto ao objetivo (GIL, 2019).

Em relação aos procedimentos a pesquisa é caracterizada como uma revisão bibliográfica, tendo como fonte: artigos, livros, monografias, teses de mestrado, arquivos virtuais, bem como livros de literatura especializada dentre outros recursos disponíveis. No primeiro momento, foi feita a pesquisa e a coleta de dados, que foi seguida da análise e exposição dos dados, de forma a possibilitar um maior esclarecimento e entendimento do

assunto em questão, mostrar conceitos relacionados à geração dos resíduos sólidos urbanos e o aproveitamento energético destes nos aterros sanitários brasileiros (GIL, 2022; WILL, 2012).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conceitos básicos sobre os resíduos sólidos urbanos

Os resíduos sólidos podem ser entendidos, resumidamente, como aquilo que sobra ou é rejeitado após as atividades. Ou ainda, aqueles materiais que perdem sua utilidade para a fonte geradora. São, também, substâncias de origem orgânica e inorgânica, no estado sólido ou semissólido, tais como alimentos, cinzas ou restos de animais mortos, sobras de demolição e/ou construção e outros resultantes de atividades industriais, comerciais, agrícolas e residenciais (TONETO JUNIOR et al., 2014).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na Norma Brasileira (NBR) 10004/2004 (ABNT, 2004a) define os resíduos sólidos como resíduos em estado sólido e semissólido, oriundos de atividades de procedência doméstica, industrial, de serviços, de varrição, comercial, agrícola e hospitalar. A referida norma, ainda, inclui na definição os lodos originários de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, os líquidos cujas características tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

De acordo com a Lei nº 12.305 de 2010, que instituiu a PNRS os resíduos sólidos são definidos como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Para Barros (2012), a definição de resíduos sólidos é muito mais abrangente do que a sua terminologia.

A definição compreende muito mais do que realmente a terminologia resíduos sólidos encerra, como restos de diversas atividades desde a domiciliar até a industrial, de serviços de saúde, lodos, entre outros. No entanto, por meio de definição na legislação brasileira, tal definição torna-se mais ainda abrangente, uma vez que compreende, além do que já fora abrangido pela NBR 10004 (ABNT, 2004a), os gases (BARROS, 2012, p. 1).

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU's) possui relação direta com o local onde se desenvolvem atividades humanas, tendo em vista que o descarte de resíduos é resultado direto do processo de aquisição e consumo de bens e produtos das mais diversas características. Assim, são RSU's aqueles resultados das atividades urbanas (TELLES,2022).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) a geração de RSU's no país sofreu influência direta da pandemia da COVID-19 durante o ano de 2020, tendo alcançado um total de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas geradas, ou 225.965 toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro gerou, em média, 1,07 kg de resíduo por dia. Uma possível razão para esse aumento expressivo foi as novas dinâmicas sociais que, em boa parte, foram quase que totalmente transferidas para as residências, visto que o consumo em restaurantes foi substituído pelo delivery e os demais descartes diários de resíduos passaram a acontecer nas residências (ABRELPE, 2021), como evidenciado na Figura 01.

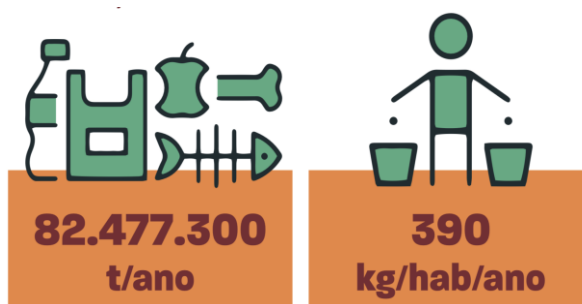


Figura 01: Geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano).

Fonte: ABRELPE (2021).

Dados do Panorama dos Resíduos Sólidos de 2021 apontam que regionalmente é o sudeste que apresenta maior quantidade de geração de resíduos sólidos urbanos, quase 50% de tudo que é gerado (ABRELPE, 2021). O que não causa estranheza, visto que, também, é a região mais populosa, com aproximadamente 42% da população, o que equivale a mais de 90 milhões de pessoas (IBGE, 2021). Enquanto a região Norte aparece em último, com 7,4% da geração de RSU's no país. Calcula-se que aproximadamente 92,2% de todos os RSU's gerados no Brasil são coletados, o que equivale a quase 76,1 toneladas, como apresentado na Figura 02.



Figura 02: Coleta de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano).

Fonte: ABRELPE (2021).

No Brasil, a maior parte dos RSU's coletados seguiu para disposição em aterros sanitários com 46 milhões de toneladas enviadas para esses locais em 2020, superando a marca dos 60% dos resíduos coletados que tiveram destinação adequada no país. Por outro lado, áreas de disposição inadequada, incluindo aterros comuns (lixões) e aterros controlados, ainda estão em operação e receberam quase 40% do total de resíduos coletados (ABRELPE, 2021), como mostra o Gráfico 01.

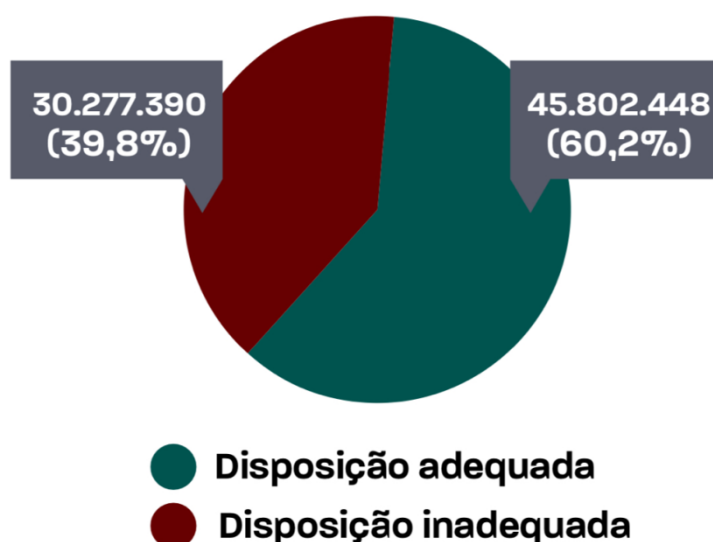


Gráfico 01: Disposição final adequada x Inadequada de RSU no Brasil (t/ano e %)

Fonte: ABRELPE (2021).

A análise dos componentes dos RSU's é fundamental para que ocorra a correta gestão e destinação desses resíduos. Dados do Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) apontam que a fração orgânica, abrangendo sobras e perdas de

alimentos, resíduos verdes e madeiras, é a principal componente de RSU, com 45%. Os resíduos recicláveis secos somam 33,6%, sendo compostos principalmente pelos plásticos (16,8%), papel e papelão (10,4%), vidros (2,7%), metais (2,3%), e embalagens multicamadas (1,4%). Outros resíduos somam 21,1%, dentre os quais resíduos têxteis, couros e borrachas representam 5,6% e rejeitos, estes compostos principalmente por resíduos sanitários, somam 15,5% (SINIR, 2020). Ver o Gráfico 02.

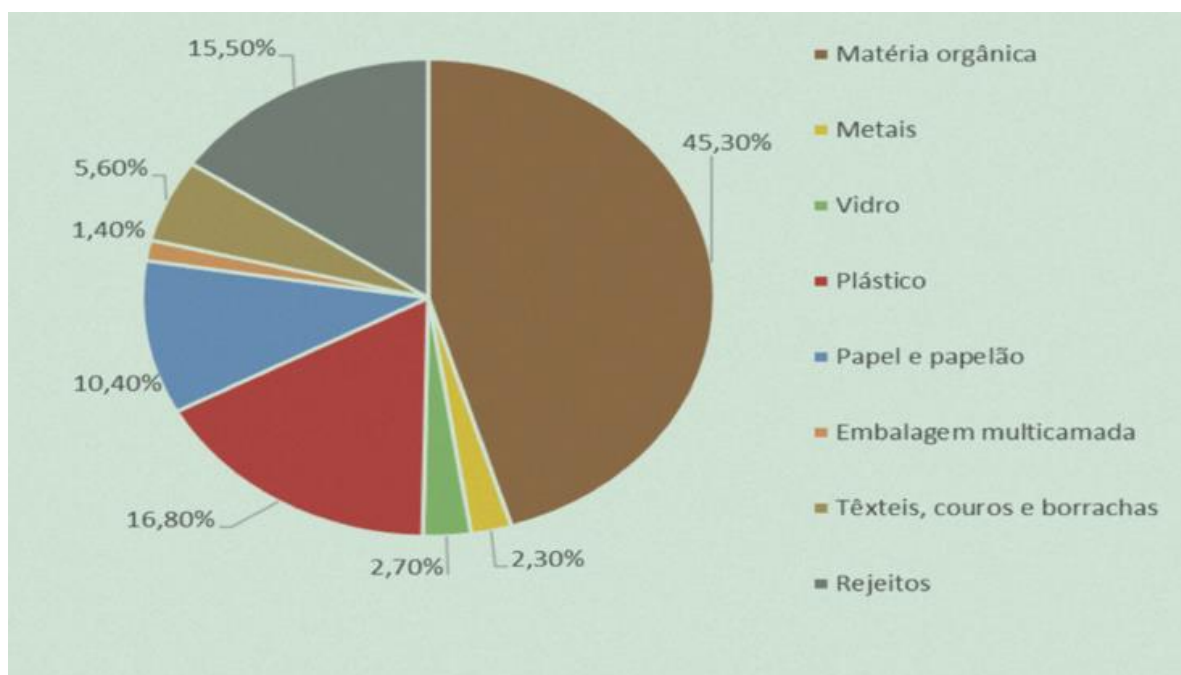


Gráfico 02: Composição dos RSU no Brasil (%).

Fonte: SINIR (2020).

2.2 Caracterização dos aterros sanitários

Os aterros sanitários são os substitutos dos antigos lixões. Estes ainda presentes em aproximadamente 2.600 unidades no território brasileiro (EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO, 2021). Segundo o Marco de Saneamento, sancionado em julho de 2020, os lixões deverão ser encerrados até 2024 (BRASIL, 2020). Essa não é a primeira tentativa de extinguir os lixões, representado na Figura 03. Em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), previu a obrigatoriedade do encerramento dos lixões até 2014 (BRASIL, 2010). Desde então esse prazo vem sendo prorrogado.



Figura 03: Lixão.

Fonte: Portal Pensamento Verde (2018).

O aterro é uma forma de disposição de resíduos no solo que, fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, garante e possibilita um confinamento seguro em termos de poluição ambiental e de proteção à saúde pública. É uma estrutura cuidadosamente projetada dentro do solo ou sobre ele, onde o lixo é isolado do ambiente à sua volta (lençol freático, ar e chuva). Esse isolamento é obtido através de um revestimento e uma cobertura diária de terra (BARBOSA, 2014).

O aterro sanitário é um aprimoramento de uma das técnicas mais antigas utilizadas pelo homem para descartes de seus resíduos. É uma obra de engenharia que tem como objetivo acomodar, no solo, resíduos sólidos no menor espaço prático possível, causando o menor impacto possível à saúde pública e ao meio ambiente, cobrindo-os com uma camada de terra ou outro material inerte, na conclusão da jornada de trabalho ou intervalos menores, se necessário conforme NBR 13896 (ABNT, 1997).

A escolha da localização de um aterro sanitário deve atender a condições favoráveis do ponto de vista hidrogeológico, geotérmico e topográfico, de modo que haja segurança sanitária e ambiental. Além disso, deve estar distante de centros populacionais, em concordância com a NBR 13896 (ABNT, 1997) e a NBR 15849 (ABNT, 2010) que definem uma distância mínima de 500 metros das residências, conforme Figura 04.



Figura 04: Distância mínima de aterros sanitários para residências.

Fonte: Portal Gazeta do Povo (2016).

No que tange à normalização dos critérios de projeto de um aterro sanitário, a NBR 13896 (ABNT, 1997) recomenda que o projeto desta obra contemple, no mínimo, uma vida útil de 10 anos. Para os de pequeno porte, a vida útil deve ser de no mínimo 15 anos.

Conterato et al. (2018) destaca a forma que ocorre a degradação da matéria orgânica:

Os aterros sanitários consistem na forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos, construídos dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando confinamento seguro de resíduos. A degradação da matéria orgânica ocorre de forma anaeróbica (sem presença de oxigênio) (CONTERATO et al., 2018, p. 52).

Segundo Conterato et al. (2018), as etapas de construção e funcionamento de um aterro sanitário são estas:

- Uma vala é escavada e tem o fundo revestido com uma manta. Essa vala deve estar afastada de um lençol freático (Figura 05);
- Os resíduos são lançados sobre o terreno e recoberto com solo do próprio local, de forma a isolá-lo do ambiente, formando câmaras/células (Figura 06);
- Pela própria movimentação das máquinas de terraplanagem na execução do aterro, o lixo é compactado e seu volume substancialmente reduzido;
- Nas câmaras ou células, a degradação tem início com a fase aeróbia. A biodegradação aeróbia cessa com o esgotamento do pouco oxigênio existente;
- Processa-se então a biodegradação anaeróbia, com a liberação de gás e uma substância escura, constituída pelos resíduos orgânicos apenas parcialmente biodegradados, denomina chorume;
- O chorume se acumula no fundo das câmaras e tende a se infiltrar-se no solo, podendo alcançar o lençol freático, o que pode ocasionar sua contaminação. Assim, é fundamental realizar o revestimento adequado das câmaras (Figura 07);
- A decomposição da matéria orgânica gera gás metano, que se acumula nas porções superiores das câmaras. Logo, deve-se instalar tubulações responsáveis pela drenagem e posterior queima ou beneficiamento e utilização do gás. (sem presença de oxigênio) (CONTERATO et al., 2018, p. 52).



Figura 05: Construção de aterro sanitário.

Fonte: Portal Escola Educação (2020).



Figura 06: Cobertura e compactação dos resíduos.

Fonte: Terra Orgânica (2020).



Figura 07: Tanque de tratamento de chorume.

Fonte: Portal Ambiente Legal (2015).

Existem pelo menos três tipos de aterros sanitários (REVISTA CREA PR, 2008), que se diferenciam pela presença de estruturas de controle de poluição: 1) Aterro controlado: diferente do que ocorre no lixão, nesse tipo de aterro o resíduo é coberto por material inerte, que pode ser terra ou argila. Porém não há impermeabilização do solo, tornando vulnerável à infiltração e à contaminação do lençol freático; 2) Aterro sanitário convencional: segue as normas de projeto e operação da ABNT, conta com controle de impacto ambiental e é monitorado constantemente. Além da cobertura dos resíduos, há também a impermeabilização do solo; e 3) Aterro sanitário com Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): além de todas as estruturas previstas para o controle da poluição, nesse tipo de aterro há o aproveitamento energético de gases produzidos pela decomposição anaeróbica (sem a presença de oxigênio), além da geração de créditos de carbono.

2.3 Vantagens e limitações dos aterros sanitários

O aterro sanitário é uma opção muito mais adequada e ambientalmente correta quando comparada com os lixões, conforme ilustrado na Figura 08. Nos lixões, também chamados de vazadouros a céu aberto, os materiais são descartados sem planejamento ou critério técnico para reduzir os impactos ambientais acusados pela decomposição do lixo. A ausência de controle na disposição dos resíduos nesses favorece a proliferação de ratos e insetos, vetores de doenças. A contaminação nos lixões é bastante elevada, com comprometimento do solo, das águas do lençol freático e também do ar (VIANA et al., 2018).

Segundo Diaz et al. (2005), os aterros sanitários possuem diversas vantagens em relação aos lixões, como:

- Construção em local adequado sob os aspectos hidrológicos, geológicos, sociais, entre outros;
- Impermeabilização com camada natural (argila) ou sintética (manta de polietileno de alta densidade), que impossibilita a percolação de líquidos;
- Dispositivos de coleta de chorume e biogás, com posterior manejo adequado e possibilidade de geração de energia;
- Uso de dispositivo de monitoramento das águas subterrâneas;
- Uso de cobertura diária do solo, tanto intermediária como final dos resíduos;
- Planejamento da desativação após sua vida útil.

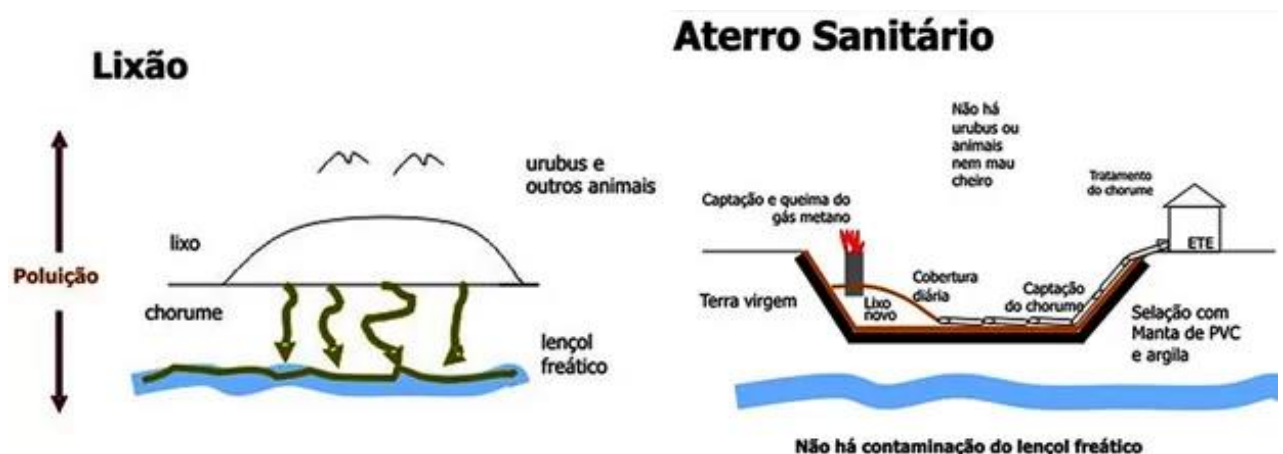


Figura 08: Diferença entre lixão e aterro sanitário.

Fonte: Portal Ambiente Sustentável (2022).

A utilização dos aterros sanitários para a disposição final de resíduos sólidos é uma prática observada no mundo todo, por ser uma alternativa mais viável do ponto de vista econômico. Além disso, quando os aterros são construídos e operados de maneira correta, é significativo o quanto eles reduzem a contaminação e os danos ambientais. Em muitos municípios brasileiros, o problema é a incompreensão da finalidade dessa forma de destinação. Pois segundo as normas, nesses locais devem ser acondicionados apenas os materiais cujas tecnologias atuais não possibilitem a reciclagem ou demais alternativas ambientalmente adequadas (Lei nº 12.305/2010), porém verifica-se que, em boa parte dos municípios, todos os resíduos gerados são encaminhados para destinação final, sem a separação daquilo que ainda pode ser aproveitado. Tal comportamento reduz a vida útil e a eficiência dos aterros (SHALCH et al., 2002).

Para Barros (2012) os aterros apresentam algumas desvantagens, como por exemplo, o aterro possui vida útil limitada e a área deve continuar a ser avaliada pelo sistema de monitoramento de água subterrânea e os gases drenados, mesmo após a desativação do aterro, pois mesmo após o término da vida útil do aterro, ainda há atividade microbiológica no interior do mesmo. A NBR 13896 (ABNT, 1997) denomina isto como vida ativa do aterro.

Outro problema, ainda segundo Barros (2012), é que essa área não pode ser utilizada, após o término da vida útil dos aterros para edificações de casas ou prédios, por exemplo. Uma das razões para esse impedimento é o fato de o solo não apresentar propriedades para sustentar as fundações destas edificações, além do risco de parcela não drenada do biogás poder migrar para caixas ou estruturas subterrâneas. Também há uma dificuldade em se encontrar áreas disponíveis para instalação dos aterros sanitários, uma vez que demanda conciliação entre diversos critérios socioeconômico-ambientais.

Entretanto, a área de um aterro, após seu encerramento, pode ser reutilizada para alguns fins. Foi o que ocorreu com o aterro sanitário de Várzea Paulista, agora chamado de Parque das Orquídeas. Seis cidades depositaram lixo no local durante 20 anos: Várzea Paulista, Jundiaí, Campo Limpo Paulista, Vinhedo, Louveira e Cajamar. Esses municípios constituem o Consórcio Intermunicipal para Aterro Sanitário (CIAS) e, em 2004, assinaram o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), tratando do encerramento do aterro sanitário, sua manutenção e a construção de obras de compensação na região (AGÊNCIA BRASIL, 2016). Então foi criado um parque com quadras de recreação, brinquedos, áreas de convivência e um jardim que dá nome ao parque, conforme apresentado na Figura 09.



Figura 09: Parque das Orquídeas (antigo aterro sanitário).

Fonte: Portal Várzea Paulista (2020).

2.4 Aproveitamento do biogás nos aterros

A geração de biogás, a partir da degradação em ambiente predominantemente anaeróbico em aterro sanitário de RSU, pode acarretar dois problemas principais: 1) A possibilidade de combustão do metano, ou, no pior dos casos, uma autoignição; e 2) O aumento do efeito estufa, em razão da emissão de metano para a atmosfera (BARROS, 2012).

De acordo com Toneto Junior et al. (2014), existem diversos procedimentos para a produção de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos. Os referidos autores destacam três procedimentos: 1) Incineração; 2) Processamento biológico associado à compostagem; e 3) Utilização do biogás emitido de aterros sanitários. E é esse ultimo que destaca no presente trabalho.

A Lei nº 12.1305 estabeleceu, em seus artigos 3º, 15 e 17, a necessidade da adoção de medidas para o aproveitamento energético do biogás gerado pela decomposição dos resíduos em aterros sanitários.

O biogás é composto em percentual molar por 50% de metano, 45% de dióxido de carbono, 5% de uma mistura de nitrogênio, de gás sulfídrico e outros gases (THEMELIS; ULLOA, 2007). Esses percentuais variam de acordo com a composição da matéria fermentada. Estudos brasileiros mostraram que o percentual médio de metano presente no biogás de aterros no Brasil é da ordem de 60%, atingindo uma taxa de cerca de 5.500 kcal m⁻³ de poder calorífico (POMPERMAYER; PAULA JUNIOR, 2000). Na Tabela 01 é apresentada a composição de um biogás, com destaque para o metano.

Gás	Símbolo	Concentração no biogás (%)
Metano	CH ₄	50-80
Dióxido de carbono	CO ₂	20-40
Hidrogênio	H ₂	1-3
Nitrogênio	N ₂	0,5-3
Gás sulfídrico e outros	H ₂ S, CO, NH ₃	1-5

Tabela 01: Composição do biogás

Fonte: La Farge (1979).

A conversão energética do biogás pode ser apresentada como uma possível solução econômica e ambiental para o intenso volume de resíduos produzidos por atividades agrícolas e pecuárias, urbanas de esgotos domésticos e aterros sanitários (ABREU, 2011).

Na Conferência das Partes (COP) que trata das mudanças climáticas ,edição 26, ocorrida em novembro de 2021, foi firmado um acordo entre os países para a redução do metano na atmosfera. E uma das medidas incentivadas na busca para este fim foi o aproveitamento do biogás nos aterros. Além da oportunidade de gerar energia diversificando a matriz energética como uma alternativa descentralizada, a utilização do biogás do aterro contribui para diminuir as consequências das mudanças climáticas, pois o gás metano é extremamente nocivo na formação do efeito estufa.

A capacidade de um aterro gerar gás depende de muitos fatores, como a composição do resíduo, umidade, potencial hidrogeniônico (pH), entre outros. A formação e taxa de geração dos principais constituintes do biogás é variável ao longo do tempo. Em condições normais, a taxa de decomposição atinge um pico entre o primeiro e o segundo ano e diminui continuamente por alguns anos. A previsão é que a geração do biogás após o encerramento da célula se prolongue por cerca de 20 anos (FIGUEIREDO, 2011).

A fração orgânica dos RSU's contém energia que pode ser aproveitada de diversas formas. A mais simples seria por queima direta. Apesar de simples, é pouco eficiente. A forma mais conveniente é a de se usar a matéria orgânica disponível em uma instalação adequada chamada digestor, onde, sob a ação de micro-organismos em condição anareóbica, ocorre a fermentação com a formação de uma mistura de gases, chamada biogás por sua origem biológica (ANTUNES, 2005).

Segundo Barros (2012), a digestão anaeróbica se dá por meio de dois caminhos, a saber: a oxidação e a fermentação. Na fermentação da matéria orgânica, há a formação do

precursor do metano, o acetato. Por essa razão, denomina-se metanogênese acetotrófica. Desse processo obtém-se o metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

De acordo com Toneto Junior et al. (2014), um aspecto relevante é que o aproveitamento energético dos resíduos sólidos contribui para a redução da emissão de gases do efeito estufa, tanto que projetos de produção de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos podem ser enquadrados como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), segundo o Protocolo de Quioto. Assim, o aproveitamento energético é um procedimento que gera créditos de carbono, pois diminui as emissões de metano e, ao mesmo tempo, é uma fonte renovável que substitui as fósseis.

Além das receitas da venda direta da energia elétrica produzida, empreendimentos que utilizam os resíduos sólidos para a produção de energia têm, como fonte adicional de recursos, a venda de créditos de carbono. Um crédito de carbono é um certificado que atesta que 1 (uma) tonelada de carbono deixou de ser emitida na atmosfera. E está sendo negociado no mercado voluntário entre US\$ 1,2 a US\$ 19 cada (FGV, 2022).

A conversão do biogás para energia elétrica se dá em três passos. Após a digestão anaeróbica dos resíduos feita por um biodigestor, a decomposição da energia química que gera o gás é transformada em energia mecânica que acaba por ativar um gerador, este que permite a produção de energia elétrica (CIBIOGÁS, 2020).

Conforme Gerardi (2003) existem quatro rotas que descrevem o processo de digestão anaeróbica. No início ocorre a hidrólise, reduzindo-se os polímeros orgânicos complexos a moléculas solúveis simples por meio de enzimas extracelulares. Polímeros de proteínas, lipídios e carboidratos são hidrolisados a aminoácidos, ácidos graxos de cadeia longa e açúcares, respectivamente. Os compostos reduzidos são, então, convertidos pelas bactérias fermenta uma mistura de ácidos graxos voláteis de cadeia curta e outros produtos menores, como o dióxido de carbono, hidrogênio e ácido acetato. Posteriormente ocorre a metanogênese, onde o acetato, o dióxido de carbono e o hidrogênio são consumidos para produzirem o metano, como mostra a Figura 10.

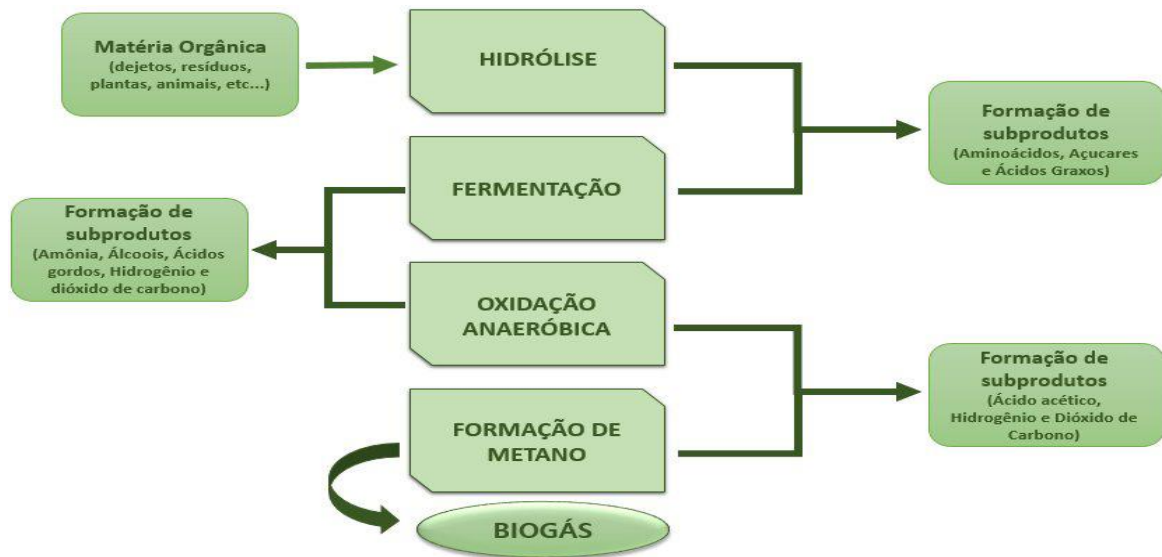


Figura 10: Esquema de obtenção do biogás de RSU.

Fonte: <https://infoescola.com>.

Deve-se levar em consideração, ainda, que a geração do biogás em aterros e, conseqüentemente, a capacidade de produção de energia elétrica, varia ao longo do tempo: enquanto o aterro está em atividade e os resíduos forem depositados, a geração de biogás é crescente; porém, após o encerramento do aterro, essa geração passa a declinar. Seguindo a metodologia do IPCC48 (IPCC, 2018) e considerando como parâmetro um aterro com vida útil de 20 anos, o Gráfico 03 apresenta a evolução do volume esperado do biogás gerado em aterros sanitários. O eixo vertical representa o volume esperado, que depende do montante de resíduos sólidos depositados e de sua composição.

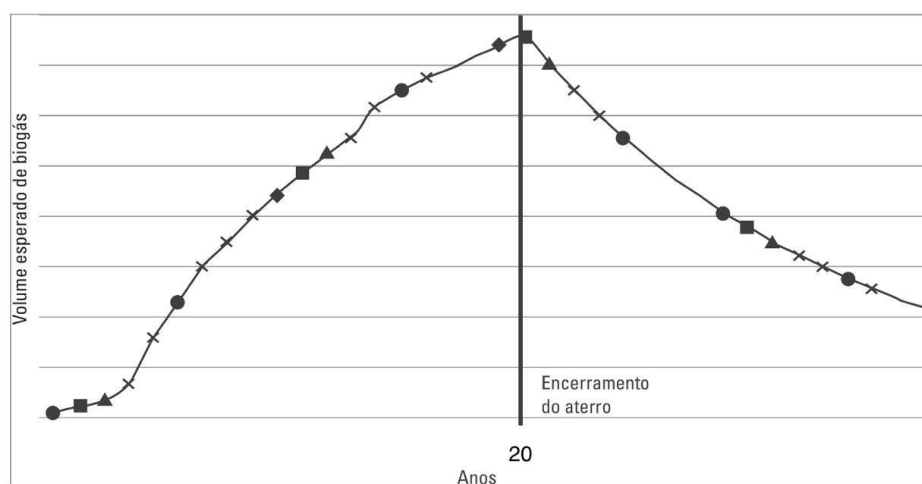


Gráfico 03: Volume esperado de biogás ao longo dos anos.

Fonte: Adaptado IPCC (2018).

2.5 Potencialidades do biogás

Os sistemas de captura e aproveitamento do biogás em aterros sanitários no Brasil ainda não são uma realidade em todos os Estados. Segundo a plataforma da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Clima (COP 26,2021), existem atualmente 49 projetos de recuperação de biogás registrados no país (AGAZETA,2022).

Segundo estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2007), do Ministério de Minas e energia a quantidade de biogás produzida depende de diversos fatores, como a tecnologia adotada no processo de digestão. O biogás, que é composto por metano e dióxido de carbono, entre outras substâncias, produz energia elétrica ao ser inserido em motores de combustão interna.

Na cidade de Caieiras, no estado de São Paulo, foi instalada a maior termelétrica movida a biogás de aterro sanitário do Brasil (Figura 11). A usina é um investimento de mais de R\$ 100 milhões do grupo SOLVÍ, tem potência instalada de 29,5 Megawatts (MW), suficiente para atender uma cidade de 300 mil habitantes. E gera energia limpa a partir dos resíduos depositados no aterro sanitário, que libera o gás metano, utilizado como combustível para a termelétrica (PORTAL TEMOVERDE, 2022).



Figura 11: Termelétrica Caieiras.

Fonte: Portal Termoverde (2022).

Estimativas do Ministério de Minas e Energia sinalizam que, em um processo de digestão anaeróbica, são produzidos, em média, entre 60 e 75 m³ de biogás por tonelada de resíduos sólidos urbanos. Partindo desses dados conseguimos estimar o potencial de geração em uma cidade semelhante a cidade de Mossoró no estado do Rio Grande do Norte. Com uma população estimada em aproximadamente 304 mil pessoas (IBGE, 2021) e cerca de 355kg/ano/hab de RSU (ABRELPE, 2021), tem-se 107.920 toneladas de resíduos. Com o potencial de produzir entre 6.475.299 e 8.094.000m³ de biogás ao ano, que poderia ser convertido em 9.250MW/ano, segundo a Tabela 02 de comparação de Kuns et al. (2014).

Combustível	Biogás (1 m ³) equivalente a
Gasolina (L)	0,613
Querosene (L)	0,579
Óleo diesel (L)	0,553
Gás de cozinha-GLP (L)	0,454
Lenha (kg)	1,536
Álcool hidratado (L)	0,790
Eleticidade (kW)	1,428

Tabela 02: Comparação entre biogás e outros combustíveis

Fonte: Kuns et al. (2014).

Para Abreu (2014), uma boa previsão das taxas de geração e de emissões é importante, não somente na avaliação técnica e econômica que determinará a viabilidade da implantação de projetos de captação de gás nos aterros sanitários, mas, também, terminada a etapa de projeto, durante a operação, auxiliando a gestão dos aterros e o controle de emissões.

Um dos modelos mais usados na previsão de taxas de geração do biogás é o modelo do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006). Esse método utiliza dados estatísticos da população e características dos resíduos sólidos urbanos. A equação 1 utilizada pelo método do IPCC (2006) é a seguinte:

$$CH_4 = (PopUrb \cdot TaxaRSU \cdot RSDf \cdot L0 - R) \cdot (1 - OX) \quad (1)$$

Sendo que:

CH₄ - Quantidade de gás metano emitido em toneladas de CH₄/ano;

PopUrb - Número de habitantes residentes na área urbana;

Taxa RSU - Resíduos sólidos urbanos gerados, dado em toneladas de RSU/habitante.
ano;

- RSDf - Fração dos resíduos que é coletada e depositada no aterro sanitário;
 L0 - Potencial de geração de metano dos resíduos em toneladas de CH₄/toneladas de resíduo;
 R - Metano que é captado e aproveitado em toneladas de CH₄/ano; e
 OX - Fator de oxidação do metano na superfície do aterro sanitário.

Algumas ressalvas devem ser feitas a respeito da produção de energia elétrica a partir do GDL de aterros. A primeira é que, ao contrário de outras tecnologias, o aproveitamento do biogás de aterros não significa reduzir significativamente o volume de resíduos acumulados, o que, se ocorresse, poderia diminuir a quantidade de aterros necessários ou suas dimensões, além de aumentar suas vidas úteis. A segunda refere-se ao fato de que, apesar de facilitar a disposição dos resíduos sólidos em uma única área, é difícil coletar todo o biogás gerado (OLIVEIRA, 2000). Estima-se que entre 30 e 50% do biogás gerado em aterros seja passível de recuperação (RIBEIRO, 2008).

Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) evidenciam que o Brasil teria potencial para produzir, no ano de 2020, por meio de usinas termoelétricas que aproveitam o biogás, energia suficiente para atender uma população superior a 17 milhões de pessoas. Esses dados consideram o potencial de geração com base na quantidade de resíduos nos aterros, não nas usinas já em operação.

2.6 Equipamentos utilizados nos aterros sanitários para a geração de energia elétrica a partir do biogás

Segundo Zulauf (2004), além do aterro adaptado, uma usina de geração de energia a partir do biogás deve ser composta por sistemas de captação, de secagem e filtragem, de produção e de injeção nas redes de distribuição, como apresentado na Figura 12.

De acordo com Branco (2008), alguns procedimentos e equipamentos são necessários para que seja possível a recuperação energética do biogás dos aterros sanitários:

- Sistema de impermeabilização superior, o qual é feito com argila de baixa permeabilidade compactada e tem como objetivo evitar a fuga do gás para a atmosfera;
- Poços de drenagem, que são perfurações realizadas no solo do aterro, podendo ser verticais e horizontais ou mistas;
- Rede de coleta (ligada aos poços de drenagem) e bombas de vácuo, que levam o biogás à estação de geração de energia e garantem uma vazão regular;

- Grupos geradores, que são equipamentos desenvolvidos para utilizar biogás como combustível e gerar energia elétrica, como motores de combustão interna e turbinas.

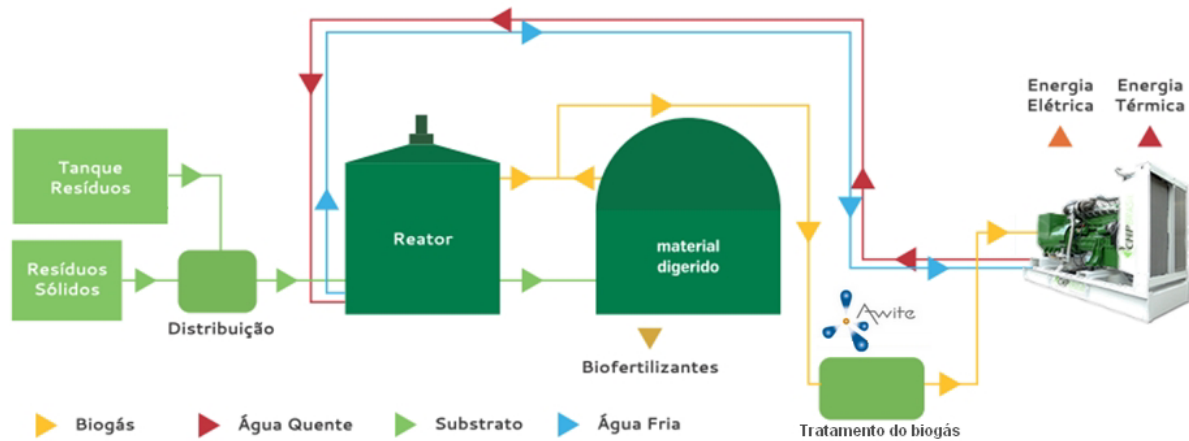


Figura 12: Esquema de geração de energia elétrica no aterro.

Fonte: Portal CHPBrasil (2022).

2.7 Impactos positivos com o aproveitamento do biogás nos aterros

Segundo Jornal da USP (2022), o aproveitamento da energia nos aterros pode possibilitar a maior participação do biogás na matriz energética brasileira, tornando cada vez mais limpar e menos dependente de fontes poluentes.

Para Barbosa (2014) o aproveitamento da energia do biogás proveniente de aterros sanitários representa uma destinação mais sustentável e inteligente para os resíduos. Usar o biogás para gerar energia, também, impede que o metano proveniente da decomposição da matéria orgânica seja liberado para a atmosfera ao se transformar em água e gás carbônico pelo processo de queima. Dessa forma, a energia do biogás é apresentada como uma alternativa que não gera tantos impactos ambientais quanto o gás natural.

As vantagens da utilização do biogás para geração de energia elétrica, também, estão relacionadas às emissões evitadas, pela utilização de uma fonte renovável, e à eficiência dos sistemas de conversão (CENBIO, 2005). E aqui entra também um importante incentivo a esse aproveitamento energético, que é o incentivo financeiro obtido com os créditos de carbonos, valores recebidos por tonelada de CO₂ que deixa de ser lançada na atmosfera. O Brasil, por exemplo, pode vender um crédito de carbono para outro país que, pelo Protocolo de Kyoto, assumiu a obrigação internacional de reduzir suas emissões de carbono, como por exemplo, o

Japão (BARBOSA et al., 2014). Os créditos são negociados na Bolsa Mercantil e Futuros (BM&F), dentro do Mercado de Carbono.

As receitas obtidas com a geração de energia e com os créditos de carbono podem ser aplicadas na melhora do sistema de coleta e processamentos dos resíduos sólidos urbanos, tendo em vista o alto custo atual pra essa atividade. De acordo com a ABRELPE (2021), são gastos, em média, R\$ 80 por tonelada na coleta convencional, e o custo médio do aterro é de R\$ 70 por tonelada, totalizando R\$ 150 por tonelada coletada e aterrada. A estimativa da CIBiogás é que até 2030, 100 milhões de toneladas de carbono deixem de ser emitidas, podendo gerar mais de 1,9 bilhão de dólares de receita, segundo dados da Fundação Getúlio Vargas (FGV).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao aumento da população e aumento da geração dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e o aumento da demanda por energia, se faz necessário avaliar alternativas que possam proporcionar o equilíbrio no sentido de se aumentar a oferta de energia limpa e melhoramento da matriz energética brasileira. Nos últimos anos, uma série de esforços vem sendo tomados em direção a esse objetivo.

Devido a fatores como variação da composição dos resíduos sólidos urbanos a quantidade de biogás obtido e a consequente geração de energia elétrica nos aterros sanitários pode variar de acordo com a localização e do sistema de separação dos RSU's.

Os métodos alternativos na geração de energia têm evoluído bastante nos últimos anos e despontam como uma alternativa viável. Porém, ainda possuem pouca representatividade na matriz energética brasileira diante do potencial de geração observado.

O aproveitamento do biogás obtido dos RSU's nos aterros sanitários pode ser uma alternativa viável do ponto de vista ambiental, energético e econômico para um aumento considerável da oferta de energia limpa no Brasil. Comprova-se a importância do assunto abordado neste trabalho, pois se trata de alternativas criativas para redução de emissões de gases que provocam o efeito estufa e para criação de oferta de emprego para as pessoas que hoje trabalham nos lixões.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. V. **Biogás de lixo em aterros sanitários: uma análise de viabilidade técnica e econômica do seu aproveitamento energético**. 1. ed. São Paulo: Blücher, 2011. 166p.
- ABREU, F. V. **Biogás: economia, regulação e sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2014. 196p.
- AGAZETA. 2022. **Lixo vira energia limpa e conta de luz fica até 15% mais barata**. Disponível em: < <https://www.agazeta.com.br/especial-publicitario/marcaambiental/lixo-vira-energia-limpa-e-contade-luz-fica-ate-15-mais-barata-0421> >. Acesso em 12 nov 2022.
- AGÊNCIA BRASIL. **Maior termelétrica com combustível renovável é inaugurada em São Paulo**. 2016. Disponível em: < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-09/maior-termeletrica-com-combustivel-renovavel-e-inaugurada-em-sao-paulo> >. Acesso em 25 out. 2022.
- ANTUNES, P. de B. **Política Nacional do Meio Ambiente: comentários à Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2005. 229p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS-ABRELPE. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2021. 54p. Disponível em: < <https://abrelpe.org.br/download/37197> >. Acesso em 01 nov. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. **NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. **NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. **NBR 15849: Resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários de pequeno porte: diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 24p.
- BARBOSA, R. P.; IBRAHIM, F. I. D. **Resíduos sólidos: impactos, manejo e gestão ambiental**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 176p.
- BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 374p.
- BRANCO, A.; BONFANTE, T.M.; OLIVEIRA, S. V. W. B. **Retenção do metano para a produção de bioenergia e obtenção de créditos de carbono pelo Aterro Bandeirantes**. In: ENCONTRO NACIONAL DE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE. Porto Alegre 2008. **Anais ...** Porto Alegre: UFRS, 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DOU, 2010.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, DOU, Edição 135, Seção 1, p. 1 2020.

CENBIO. **Centro Nacional de Referência em Biomassa.** Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/>. Acesso em 09 nov 2022.

CHPBRASIL. **O biogás é um combustível limpo, de fonte renovável, proveniente da decomposição de matéria orgânica, com propriedades semelhantes às do gás natural.** Disponível em :<<http://dev.chpbrasil.com.br/biogas>. Acesso em 12 nov. 2022.

CONTERATO, E.; STEIN, R. T.; ESPARTEL, L.; ELTZ, M. K. de F. **Saneamento.** Porto Alegre: SAGAH, 2018. 212p.

ECOGEN BRASIL. **O Potencial Sustentável na Geração de Biogás em Aterros Sanitários.** Disponível em:<<https://ecogenbrasil.com.br/blog/o-potencial-sustentavel-na-geracao-de-biogas-em-aterros-sanitarios>. Acessado em 01 nov 2022.

ESCOLA EDUCAÇÃO. **Aterro sanitário.** Disponível em:<<https://escolaeducacao.com.br/aterro-sanitario/>. Acesso em 13 nov.2022.

ECYCLE. **Biogás: o que é? Tipos e vantagens.** Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/biogas/>. Acesso em 15 nov. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030.** EPE 2007.

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Vérdi. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica-**Estudo de caso. São Paulo, 2011. 148 f-Dissertação de Mestrado-Universidade de São Paulo,2011.

ESTADÃO. **Crédito de carbono: preço no mundo varia de US\$ 1,20 a US\$ 19 a tonelada, mostra nova ferramenta da FGV.** Disponível em:<<https://www.estadao.com.br/economia/carbono-esg-sustentabilidade-bioeconomia/> > Acesso em 9 nov 2022.

GERARDI, M. H. **Wastewater microbiology series: The microbiology of anaerobic digesters**. New York: John Wiley and Sons Inc, 2003. 176p.

GERARDI, M. H. **The microbiology of anaerobic digesters**. New York: Wiley, John & Sons; 2003.

GIL, Antônio Carlos. 7.ed. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2022. 208p.

GIL, Antônio Carlos. 7.ed. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2019. 248p.

GLOBO EDUCAÇÃO. **Poluição do solo**. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/biologia/assunto/ecologia/poluicao-do-solo.html>. Acesso em 17 nov. 2022.

GREENPEACE. **Relatório revolução energética**. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-brasil-stateless/2018/07/Relatorio_RevolucaoEnergetica2016_completo.pdf> Acesso em 27 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Estimativa da população**.2022. Disponível em :< <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 20 out. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national greenhouse gas inventories programme**. Tokyo: Global Environment and Society, 2006. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>> Acessado em 01 nov 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Forty-eighth session of the ipcc (ipcc-48) and first joint session of working groups I, II and III**. Incheon: WMO/UNEP, 2018. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/meeting-doc/ipcc-48/>> Acessado em 01 nov 2022.

JORNAL DA USP. **Geração de energia através do biogás já representa 8,9% da matriz elétrica no Brasil**. 2022.Disponível em:< <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-geracao-de-energia-atraves-do-biogas-ja-representa-89-da-matriz-eletrica-no-brasil/>.Acesso em 22 out. 2022.

KUNS, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o tratamento de resíduos de animais: biodigestão e compostagem**. In: PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L. Gestão ambiental na agropecuária. Brasília: EMBRAPA, Cap.6, 2014. p.235-284.

LA FARGE, B. **Le Biogaz: procedes de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1979. 233p.

NEXO JORNAL. **O papel do metano no aquecimento global e a COP 26**.Disponível em:< <https://pp.nexojournal.com.br/perguntas-que-a-ciencia-ja-respondeu/2022/O-papel-do-metano-no-aquecimento-global-e-a-COP26>. Acesso em 7 nov.2022.

OLIVEIRA, L. B. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos e abatimento de emissões de gases do efeito estufa**. Rio de Janeiro: 2000. 100 f - Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

PENSAMENTO VERDE. **Problemas causados pelos lixões**. 2018. Disponível em:<<https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/descubra-quais-sao-os-problemas-causados-pelos-lixoes-ao-meio-ambiente/>. Acesso em 25 out. 2022.

POMPERMAYER, R. de S.; PAULA JUNIOR, D. R. de. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas.

Proceedings online... Available from:

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200055&lng=en&nrm=abn>. Acess on: 21 Nov. 2022.

PORTAL AMBIENTE LEGAL. 2015. **Lixo e chorume: tratamento caro**. Disponível em:<<https://www.ambientelegal.com.br/lixo-e-chorume/> . Acesso em 14 nov. 2022.

PORTAL VÁRZEA PAULISTA. 2020. **Parque das orquídeas é um dos destaques de Várzea Paulista**. no Disponível em:<
<https://portal.varzeapaulista.sp.gov.br/2020/01/02/parque-das-orquideas-e-um-dos-destaques-de-varzea-paulista/>

REVISTA CREA PR. **E o lixo?** Curitiba: CREA-PR, 2008. 44p.

RIBEIRO, L. A. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos com geração de energia: o projeto Ecoparque de Porto Alegre**. Porto Alegre: 2008. 100f. Dissertação de Mestrado -. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SCHALCH, VALDIR; LEITE, W. C. de A.; JÚNIOR, J. L. F; CASTRO, M. C. A. A. de. **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. São Carlos Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos e Departamento de Hidráulica e Saneamento, 2002. Disponível em:<http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos-PTGTGA/Apostila_Gestao_e_Gerenciamento_de_RS_Schalch_et_al.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

SILICUP. 2020. **Aterro sanitário:entenda como funciona**. Disponível em:<
<https://blog.silicup.com.br/aterro-sanitario-entenda-como-funciona/>. Acesso em 13 nov. 2022.

SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO/ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA- SELUR/ABLP. **Gestão da Limpeza Urbana. Um investimento para o futuro das cidades**. São Paulo: SELUR/ABLP, 2010. Disponível em:< <http://www.selurb.com.br/>. Acessado em: 5 nov. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS-SINIR. **Resíduos sólidos urbanos**. 2020. Disponível em:<
<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/>. Acesso em 12 nov. 2022.

TELLES, D. D. **Resíduos sólidos: gestão responsável e sustentável**. São Paulo: Blucher, 2022. 174p.

TERRA ORGÂNICA. **Aterros sanitários, lixões e o papel da compostagem comunitária na gestão de resíduos**. Disponível em: < <https://compostagemterraorganica.com.br/aterros-sanitarios-lixoes-e-o-papel-da-compostagem-comunitaria-na-gestao-de-residuos/> . Acesso em 13 nov. 2022.

TERMOVERDE.2022. **O Futuro se Constrói com a Nossa Energia**. Disponível em: < <https://termoverde.com.br/> > .Acesso em 16 nov.2022

TONETO JUNIOR, R.; SAIANI, C. C. S.; DOURADO, J. **Resíduos sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da lei federal nº 12.305 (lei de resíduos sólidos)**. Barueri: Minha Editora, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.usp.br/item/002441387> > Acesso em 25 out. 2022.

THEMELIS, N. J., ULLOA, P. A. Methane generation in landfills. **Renewable Energy**, v. 32, n.7, p.1243-1257, 2007.

VIANA, E; SILVEIRA, A.I.; MARINHO, G. **Caracterização dos resíduos sólidos: uma abordagem metodológica e propositiva**. 1. ed. São Paulo: Editora Biblioteca 24 Horas, 2015. 202p.

WILL, Daniela Erani Monteiro. 2.ed. **Metodologia da pesquisa científica**: livro digital. Palhoça: UnisulVirtual, 2012. 126p.

WORD BANK. 2021. **World Development Indicators**. Disponível em:< <http://wdi.worldbank.org/tables> > Acesso em 27 out. 2022.

ZULAUF, M. **Geração com biogás de aterros sanitários**: dossiê energia positiva para o Brasil. [S.l.: s.n.], 2004. Estudo promovido pelo Greenpeace.