

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DANIELA CRISTIANO RUFINO**

**BIOGÁS: o aproveitamento energético do gás metano gerado em aterros sanitários**

**Varginha**  
**2018**

**DANIELA CRISTIANO RUFINO**

**BIOGÁS: o aproveitamento energético do gás metano gerado em aterros sanitários**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Professor Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha  
2018**

**DANIELA CRISTIANO RUFINO**

**BIOGÁS: o aproveitamento energético do gás metano gerado em aterros sanitários**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica avaliada pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Professor (a)

---

Professor (a)

---

Professor (a)

OBS.:

Dedico este trabalho a aquela que sempre foi o pilar em minha vida que sem ela nada disso teria o mesmo sentido: minha mãe, Ana Maria. Obrigado pelos seus incentivos, por nunca ter desistido de mim e ter ficado ao meu lado em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me dar forças para não desistir e assim conquistar mais uma etapa em minha vida. À minha família pelo incentivo e valorização. Aos meus colegas por sempre terem me apoiado. Obrigado a todos que acreditaram no meu trabalho e confiaram em minha determinação.

"Estabeleça metas que você pode alcançar, pois se a gente fica querendo o impossível a frustração cedo ou tarde bate na porta. Decida o que você não quer mais na sua vida. Esse é um bom jeito de abrir espaço para tudo aquilo que você sonha. Ou tudo que você nem sabe que deseja. "

– Clarissa Corrêa

## RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de analisar a implantação de um sistema de captação do biogás em aterros sanitários para geração de energia, como uma das alternativas para a diminuição dos impactos gerados pelos resíduos sólidos urbanos que são descartados de maneira inadequada. Também será estudado a viabilidade da utilização do Evaporador de Percolado EVC-1.900 da empresa BTS. Um equipamento que é considerado inovador, pois quando esse produto foi importado para o Brasil ele usava como combustível o GLP e não teve uma boa performance com o percolado (chorume) brasileiro, mas após passar por otimizações o equipamento foi projetado dentro dos parâmetros do chorume brasileiro e o evaporador funciona através da queima direta do biogás. Esse tema aborda diretamente a necessidade de diminuição dos problemas gerados pelo o descarte inadequado dos resíduos sólidos urbanos. Assim a busca por novas alternativas que minimizem os efeitos causados pelos resíduos sólidos no solo, nas águas e na atmosfera como o aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera terrestre, essa captação do biogás nos aterros sanitários, irá reduzir significativamente a emissão dos gases de efeito estufa como o metano na atmosfera. A pesquisa tem como intuito analisar e avaliar a viabilidade de implantação de um sistema de aproveitamento energético do biogás e estudar a viabilidade da utilização do Evaporador de Percolado EVC-1.900 da empresa BTS em aterros, através de uma pesquisa bibliográfica.

**Palavras-chave:** Biogás. Aproveitamento energético. Resíduos sólidos. Evaporador.

## **ABSTRACT**

*This work has the purpose of analyzing the implantation of a biogas collection system in landfills for power generation, as one of the alternatives for the reduction of the impacts generated by the urban solid waste that are discarded in an inadequate way. Also, will be studied the feasibility of using the Percolation Evaporator EVC-1,900 from the company BTS. An equipment that is considered innovative, because when this product was imported to Brazil it used as LPG fuel and did not perform well with Brazilian leachate, but after going through optimizations the equipment was designed within the parameters of the leachate and the evaporator works through the direct burning of the biogas. This theme directly addresses the need to reduce the problems generated by the inadequate disposal of urban solid waste. So the search for new alternatives that minimize the effects caused by solid waste in the soil, water and atmosphere as the increase of greenhouse gases in the Earth's atmosphere, this capture of biogas in landfills will significantly reduce the emission of greenhouse gases. greenhouse gases such as methane in the atmosphere. The aim of the research is to analyze and evaluate the viability of implementing a biogas recovery system and to study the feasibility of using the BTS company EVC-1.900 Percolation Evaporator in landfills, through a bibliographical research.*

*Keywords: Biogas. Energetic use. Solid waste. Evaporator.*



## LISTA DE SIGLAS

ABIOGAS	Associação Brasileira de Biogás e Biometano
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BTS	Empresa Brasileira de Termodinâmica de Sistemas
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos e Efluentes
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GWh	Giga Watt Hora
ICLEI	Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais
KW	Kilo Watt
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MW	Mega Watt
NBR	Norma Brasileira
PDE	Plano Decenal de Expansão
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SOLVÌ	Soluções em resíduos, saneamento, valorização energética e engenharia

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Classificação dos Resíduos Sólidos. ....	16
Figura 2. Esquema de Funcionamento do Lixão. ....	18
Figura 3. Esquema de Funcionamento do Aterro Controlado. ....	19
Figura 4. Esquema de Funcionamento do Aterro Sanitário.....	20
Figura 5. Participação das regiões do Brasil no total de RSU coletado. ....	22
Figura 6. Sistema para extração do biogás em aterros sanitários. ....	26
Figura 7. Evaporador de chorume. ....	28
Figura 8. Evaporador de Percolado do Aterro de São Leopoldo-RS.....	29
Figura 9. Alternativas de Aproveitamento do Biogás. ....	31
Figura 10. Etapas de Funcionamento do Motor Ciclo Otto.....	32
Figura 11. Microturbina a gás. ....	33
Figura 12. Alternativas para recuperação de energia térmica do biogás. ....	34
Figura 13. Ciclo Rankine.....	35
Figura 14. Posto de abastecimento de Biometano.....	36
Figura 15. Poste de Iluminação a Gás. ....	37

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Custo para Instalação do Sistema de Captação do Biogás. ....	38
Tabela 2. Custos para Operação e Manutenção do Sistema de Captação do Biogás .....	39
Tabela 3 . Custos para Registro e Monitoramento para o Sistema de Captação do Biogás. ....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos. ....	17
Quadro 2. Vantagens e Desvantagens do Evaporador de Chorume. ....	30
Quadro 3. Vantagens e Desvantagens do Motor Ciclo Otto. ....	33
Quadro 4. Vantagens e Desvantagens da Microturbina á Gás. ....	34
Quadro 5. Vantagens e Desvantagens do Ciclo Rankine. ....	35
Quadro 6. Vantagens e Desvantagens do Biogás para uso Veicular. ....	36
Quadro 7. Vantagens e Desvantagens da Iluminação a Gás. ....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (Ton./Dia).....	23
Gráfico 2. Comparativo da disposição final dos RSU coletados no Brasil (Ton./ Ano). .....	23
Gráfico 3. Composição média do Biogás. ....	24

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Resíduos Sólidos.....	16
2.2 Classificação dos Resíduos Sólidos.....	16
2.3 Destinação dos Resíduos Sólidos .....	18
2.4 Lixão .....	18
2.5 Aterros Controlados .....	19
2.6 Aterros Sanitários.....	20
<b>3 BALANÇO ENERGÉTICO BRASILEIRO .....</b>	<b>21</b>
<b>4 BIOGÁS.....</b>	<b>24</b>
4.1 Sistema de operação, extração e tratamento do biogás do aterro.....	25
<b>5 EVAPORADOR DE CHORUME.....</b>	<b>27</b>
5.1 Processos do Sistema de Evaporação de Chorume .....	27
5.2 Benefícios Ambientais e Econômicos do Evaporador de Percolado .....	30
<b>6 ALTERNATIVAS PARA USO DO BIOGÁS .....</b>	<b>31</b>
6.1 Geração de energia elétrica .....	32
6.1.1 Motor Ciclo Otto .....	32
6.1.2 Microturbinas a Gás .....	33
6.2 Geração de energia térmica.....	34
6.2.1 Ciclo Rankine .....	35
6.3 Combustíveis para uso Veicular.....	36
6.4 Iluminação a gás .....	37
<b>7 CUSTOS .....</b>	<b>38</b>
7.1 Custos para Instalação do Sistema de Captação do Biogás.....	38
7.2 Custos para Operação e Manutenção do Sistema de Captação do Biogás .....	38
7.3 Custos de Registro e Monitoramento para o Sistema de Captação do Biogás .....	39
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento do descarte irregular dos resíduos sólidos urbanos ao longo dos últimos anos tem provocado o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. O aterro sanitário é um dos recursos para o tratamento desses resíduos, pois eles dispõem de técnicas mais seguras para a saúde da população do que os lixões a céu aberto. Nos aterros possuem o solo impermeabilizado para que não haja a contaminação do solo e também acontece a monitoria das emissões de gases, são utilizados procedimentos para armazenar os dejetos na menor área possível para se obter um menor volume, sendo assim cobertos frequentemente com camadas de terra.

A decomposição da matéria orgânica acontece em duas etapas. A primeira é a decomposição aeróbia que acontece na presença de oxigênio esse processo é o princípio básico da compostagem, e a segunda fase é a de decomposição anaeróbia que acontece na ausência de oxigênio, onde os responsáveis por essa fase são as bactérias que quebram as moléculas da matéria orgânica transformando essa quase que totalmente em gases como o gás metano que tem seu percentual de energia térmica podendo ser assim chamado de biogás. Para se realizar a coleta do biogás produzido no aterro, é necessário que se siga etapas e medidas de retirada do produto, enquanto que o chorume é captado e transportado para ser tratado no evaporador de chorume, o biogás é extraído e queimado e utilizado para fins energéticos.

Com a substituição dos lixões por aterros sanitários haverá diminuição na degradação dos lençóis freáticos, entretanto será capaz de aumentar a emissão de gás metano na atmosfera. Dessa forma é necessário a captação desse gás metano que por sua vez tem um percentual térmico que pode ser aproveitado como energia elétrica, energia térmica, uso veicular e iluminação a gás. Conseqüentemente a implantação da técnica de aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários, possibilita a redução de gases de efeito estufa na atmosfera. O estudo a seguir trata-se de uma pesquisa bibliográfica, onde será apresentado a viabilidade de um sistema de aproveitamento energético do biogás como alternativa para a diminuição dos GEE, e será estudado a viabilidade da utilização do Evaporador de Percolado EVC-1.900 da empresa BTS em aterros sanitários, um equipamento que é considerado inovador, pois ele utiliza o próprio biogás do aterro como combustível.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O biogás se mostra competitivo quando comparado com os combustíveis fósseis utilizados na indústria e no setor de transporte. Apesar dos mecanismos de incentivo existentes ao aproveitamento energético do biogás, como o MDL e os incentivos às fontes alternativas renováveis de energia no Brasil, há diversas barreiras institucionais, econômicas e tecnológicas dificultam o efetivo aproveitamento desta fonte no Brasil (MONTEIRO, 2001).

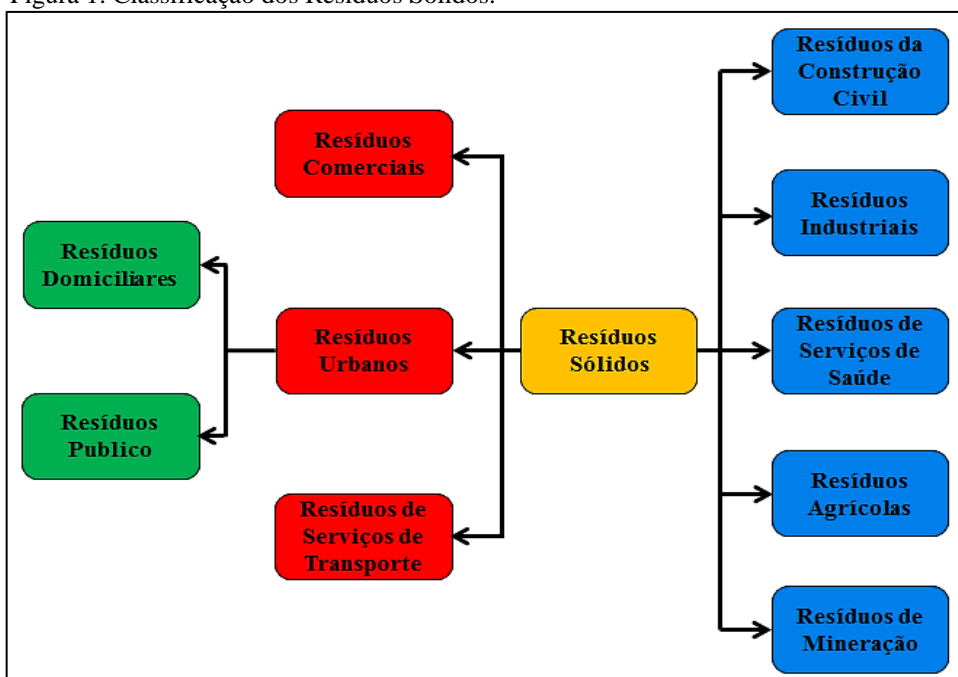
### 2.1 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos apresentam uma grande diversidade e complexidade, sendo que suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com a fonte ou atividade geradora (GONÇALVES, 2004)

### 2.2 Classificação dos Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a origem, tipo de resíduo, composição química e periculosidade. Esta classificação permitirá a escolha mais adequada para a destinação final do lixo (MARCHEZETTI, KAVISKI, BRAGA, 2011).

Figura 1. Classificação dos Resíduos Sólidos.



Fonte: O autor (2018).



De acordo com a classificação que foi definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) normatizou e categorizou todos os tipos de resíduos manipuláveis perigosos e não perigosos, exemplificando como esses resíduos podem e/ou devem ser armazenados ou descartados segundo a norma da ABNT, NBR 10.004:2004 da seguinte forma:

Quadro 1. Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos.

RESÍDUOS	DESCRIÇÃO
Classe I – (Perigosos)	<p>São resíduos com propriedades físico-químicas e infectocontagiosas podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente. Os resíduos perigosos pedem mais atenção da população, já que são os causadores dos acidentes mais graves e de maior impacto ambiental. Esses resíduos podem ser condicionados, armazenados temporariamente, incinerados, tratados ou dispostos em aterros sanitários próprios para receber resíduos perigosos.</p> <p>Exemplos: Borra de tinta, latas de tinta, óleos minerais e lubrificantes, resíduos com thinner, serragem contaminadas com óleo, graxas ou produtos químicos.</p>
Classe II – (Não perigosos)	<p>Dividem-se em A e B, são aqueles que não se enquadram na Classe I.</p>
Classe II A – (Não inertes)	<p>São resíduos que não possuem os aspectos de periculosidade, podendo apresentar características como a combustibilidade, a biodegradabilidade e a solubilidade em água. Basicamente, esse resíduo é classificado por exclusão: são todos aqueles que não se enquadram na Classe I e na Classe II B.</p> <p>Exemplos: Materiais orgânicos da indústria alimentícia, lamas de sistemas de tratamento de águas, fibras de vidro, resíduos provenientes de limpeza de caldeiras e lodos provenientes de filtros.</p>
Classe II B –(Inertes)	<p>São aqueles que, uma vez submetidos a testes de solubilização, não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados.</p> <p>Exemplo: entulhos, sucata de ferro e aço.</p>

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

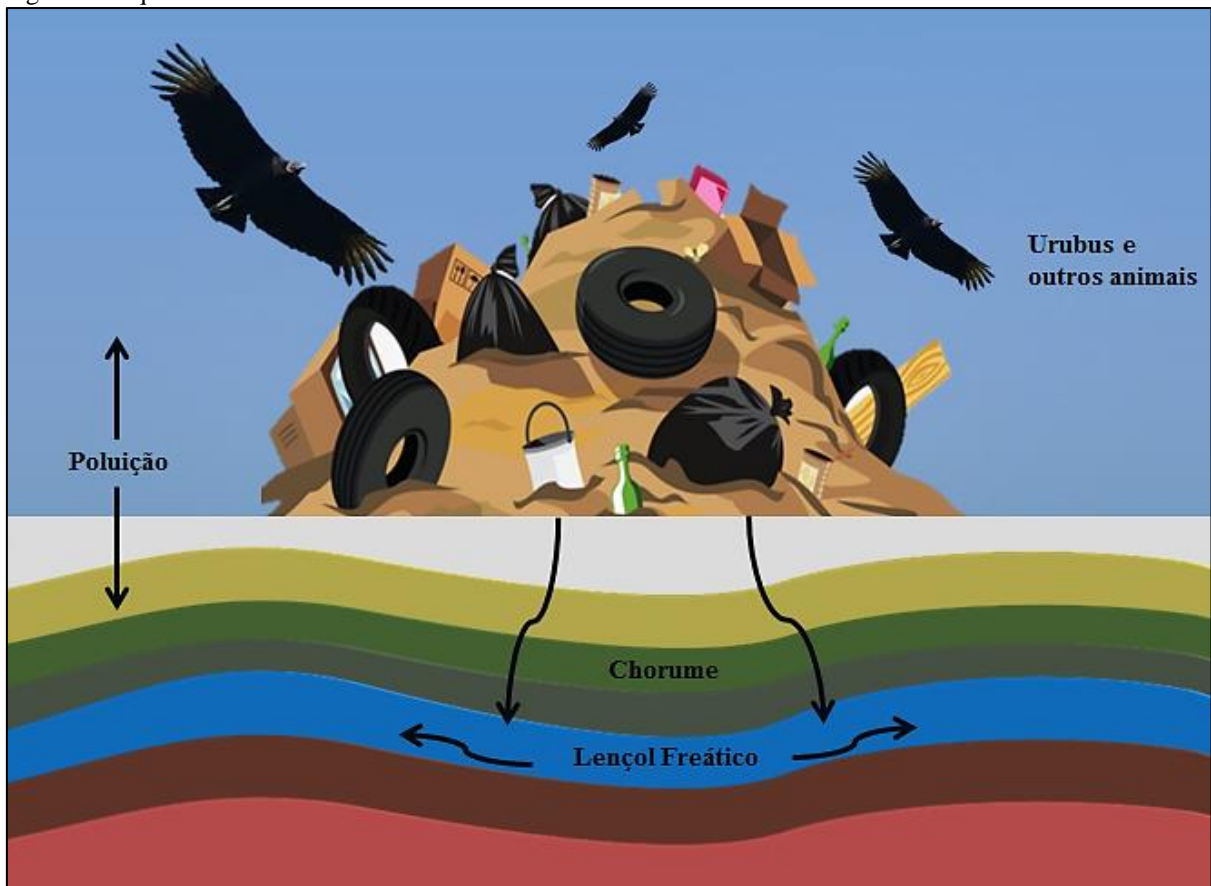
### 2.3 Destinação dos Resíduos Sólidos

A partir da classificação dos resíduos que se pode determinar a destinação adequada para cada tipo de resíduo. Existe também normas específicas sobre reciclagem, incineração e outras formas de tratamento desses resíduos (GOUVEIA, 2012).

### 2.4 Lixão

É a área de disposição final de resíduos sólidos urbanos sem nenhuma preparação do solo, não tem nenhum sistema de tratamento do chorume (líquido preto que escorre do lixo), este penetra no solo levando substâncias contaminantes para o lençol freático (SILVA, 2011). Urubus, moscas e ratos disputam o lixo com crianças, adolescentes e adultos que recolhem comida e materiais recicláveis para vender, uma cena insalubre para a saúde humana. O lixo fica exposto sem nenhum procedimento que evite as consequências ambientais e sociais negativas (GONÇALVES, 2004).

Figura 2. Esquema de Funcionamento do Lixão.



Fonte: O autor (2018).

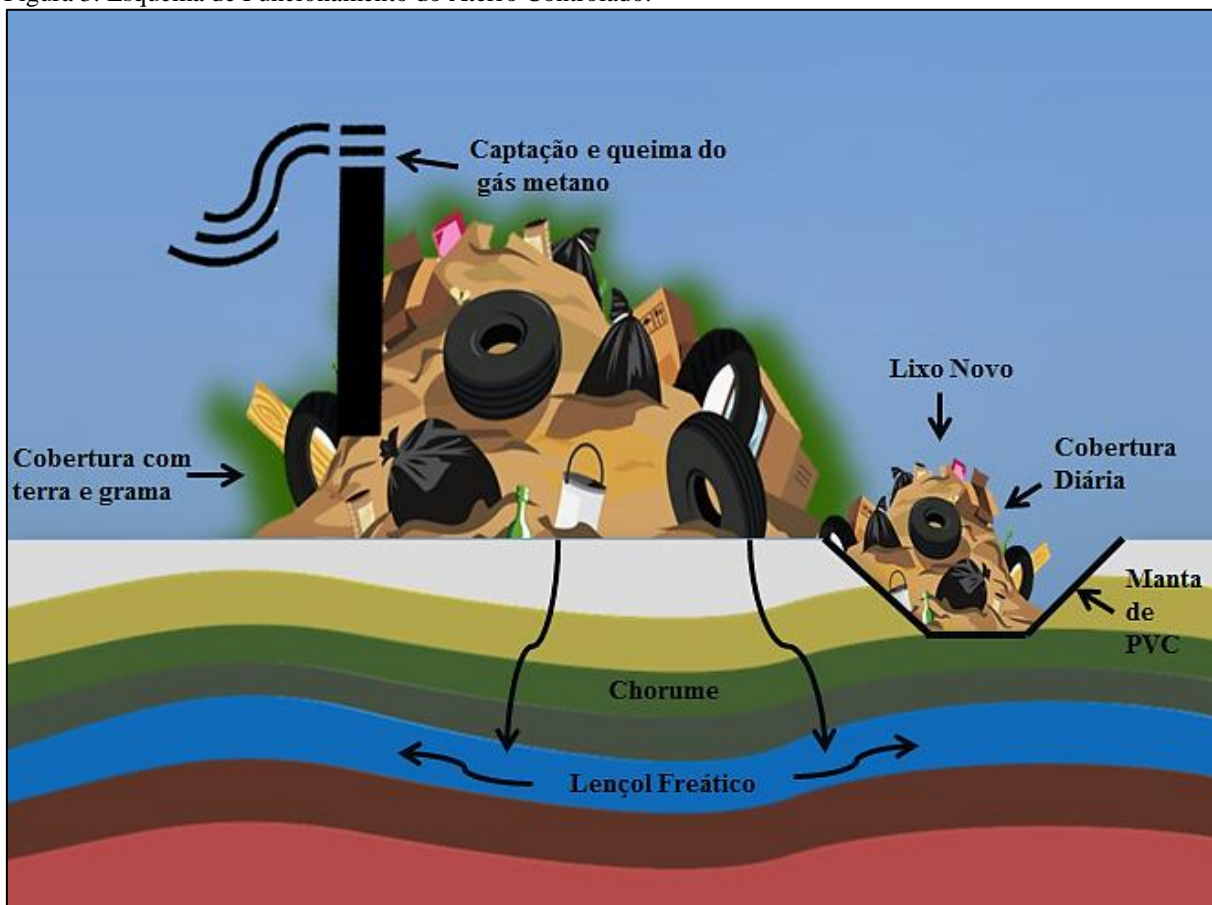
## 2.5 Aterros Controlados

Os aterros controlados são similares aos aterros sanitários, pois neles também ocorre a cobertura dos resíduos sólidos com uma camada inerte, mas nos aterros controlados não há impermeabilização da base do solo nem tratamento dos gases ou chorume (NOVI, 2013).

Como não possui um sistema de coleta de chorume, o líquido fica retido no interior do aterro é de suma importância que a água da chuva que infiltra no aterro seja o menor possível, para reduzir a quantidade de chorume, para isso se realiza uma cobertura provisória feita com um material argiloso e uma camada de impermeabilização superior quando o aterro atingir a cota máxima permitida (CAVALCANTI, 2008, p.26).

Esta técnica reduz os impactos gerados pelos resíduos, mas não resolve os problemas gerados pelo chorume e pelo gás metano (GOUVEIA, 2012).

Figura 3. Esquema de Funcionamento do Aterro Controlado.



Fonte: O autor (2018).

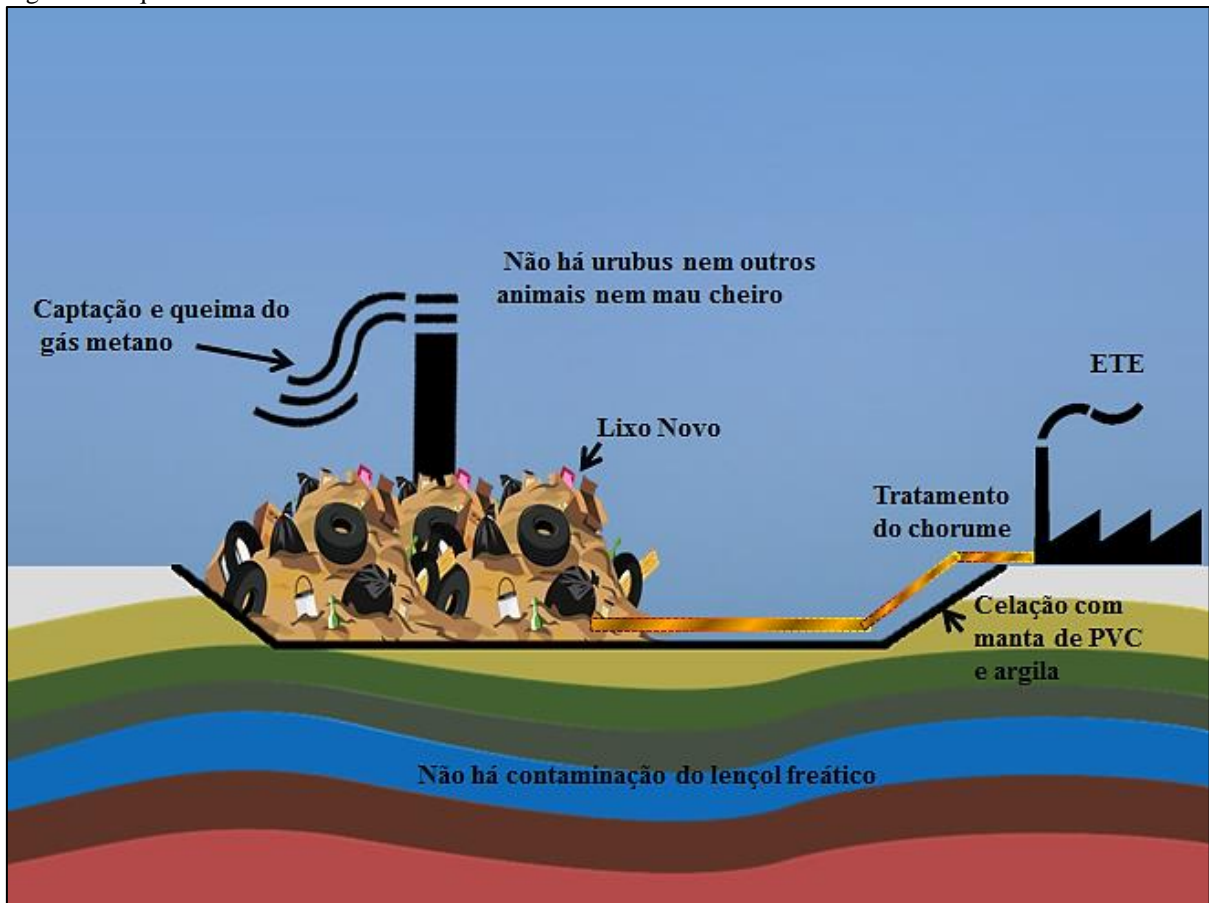
## 2.6 Aterros Sanitários

Aterro sanitário é uma espécie de depósito no qual são descartados resíduos sólidos provenientes de residências, indústrias, hospitais e construções. Grande parte deste lixo é formada por materiais não recicláveis (BIDONE, 2001).

O aterro sanitário é uma das alternativas de tratamento para esses resíduos sólidos, os aterros possuem um solo impermeabilizado para que não haja a contaminação das áreas do entorno e também acontece a monitoria das emissões de gases, são utilizados métodos para armazenar os dejetos na menor área possível para se obter um menor volume, sendo assim cobertos frequentemente com camadas de terra (FERREIRA, 2011, p.13).

Nos aterros as técnicas de disposição dos resíduos no solo são fundamentadas sobre fatores de engenharia e normas específicas, para evitar riscos à saúde pública e danos ambientais. (MAZZER, CAVALCANTI, 2004)

Figura 4. Esquema de Funcionamento do Aterro Sanitário.



Fonte: O autor (2018).

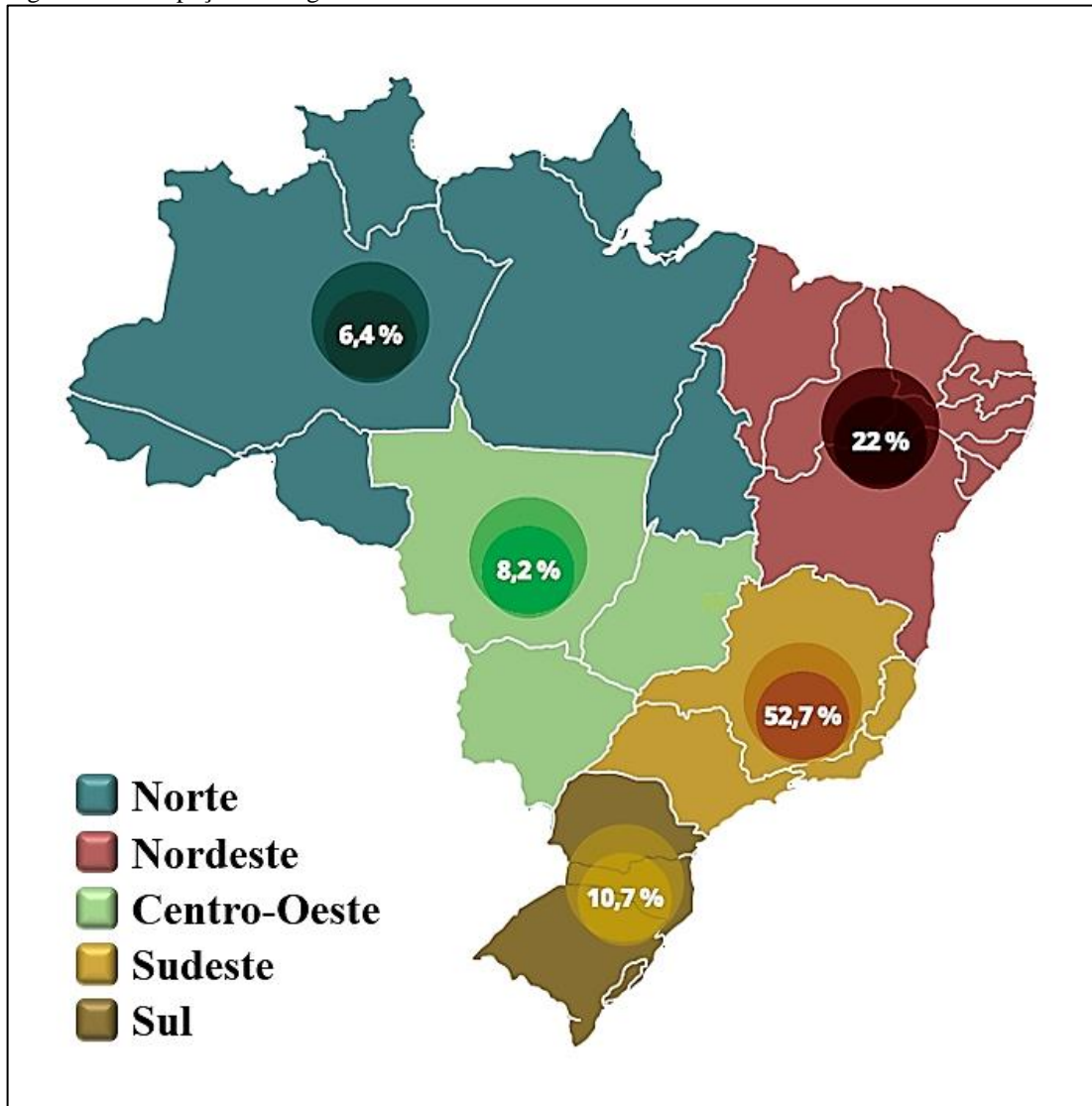
### **3 BALANÇO ENERGÉTICO BRASILEIRO**

O panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016 mostra que 3.326 municípios brasileiros destinam seus resíduos sólidos para locais impróprios. Isso equivale a 59,7% dos municípios (ABRELPE, 2016). O mesmo documento registra que 76,5 milhões de pessoas sofrem os impactos negativos causados pela destinação inadequada dos resíduos. De acordo com Carlos Silva Filho, Diretor Presidente da ABRELPE, 80% dos resíduos que chegam aos nossos oceanos têm origem nas cidades. As fontes terrestres de lixo marinho plástico são numerosas. Elas incluem descarte direto de resíduos bem como a liberação de partículas de plástico através de águas residuais e efluentes.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a produção de energia elétrica a partir do biogás cresceu 14% em 2017 comparado ao ano de 2016. Esse crescimento se deve ao volume distribuído de 35 usinas que aproveitam os rejeitos urbanos, da pecuária e da agroindústria para transformar em eletricidade. Isso corresponde à capacidade de abastecer uma cidade com 470 mil pessoas apenas com o biogás, conforme cálculos realizados pela Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABIOGÁS). Entretanto, isso ainda equivale a 0,0817% da matriz energética do Brasil, sendo que são deixados de gerar 115 mil GWh com o não aproveitamento do biogás, ou seja, isso poderia abastecer 25% da energia consumida em 2016.

O Plano Decenal de Expansão em 2026 (PDE) contemplou pela primeira vez o biogás no plano de expansão energética e a previsão é de que até 2025 o Brasil produza diariamente 10,7 milhões de m<sup>3</sup>/dia. A quantidade de RSU coletados no país em 2016 apresentou índices negativos condizentes com a queda na geração de RSU, tanto no total quanto no per capita e na comparação com o ano anterior (ABRELPE, 2016). No entanto, a cobertura de coleta nas regiões e no Brasil apresentou ligeiro avanço e a região Sudeste continua respondendo por cerca de 52,7% do total e apresenta o maior percentual de cobertura dos serviços de coleta do país (ABIOGÁS, 2016).

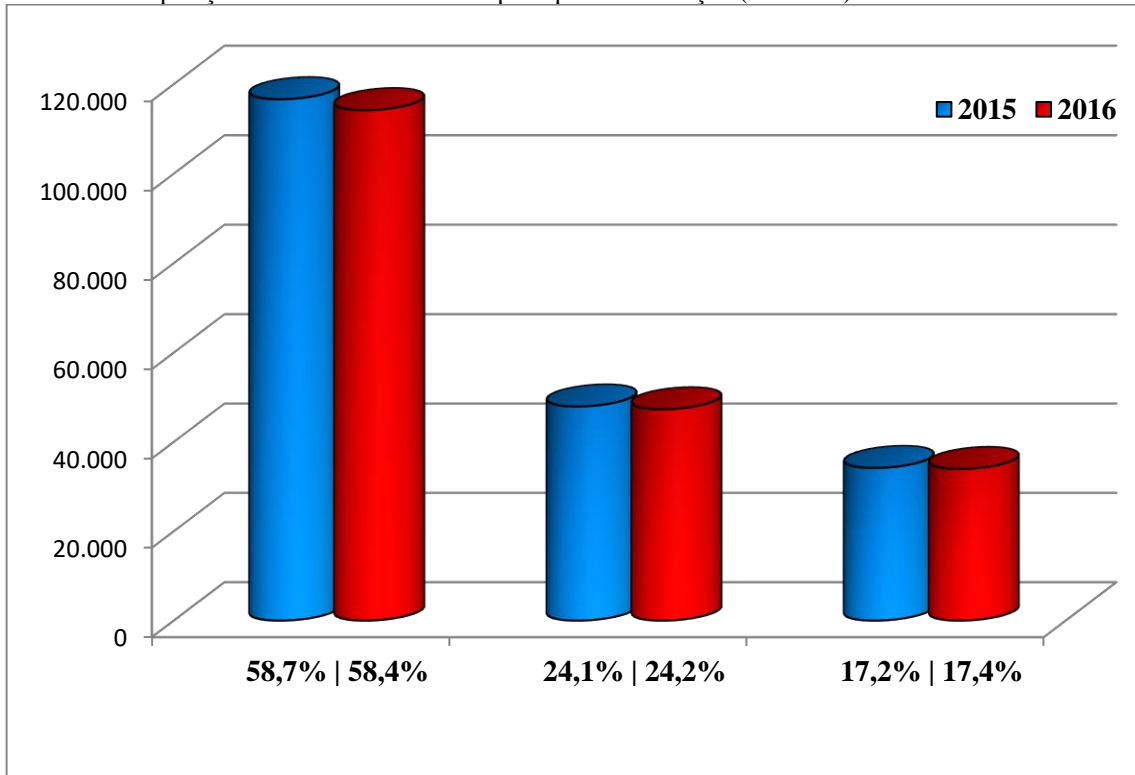
Figura 5. Participação das regiões do Brasil no total de RSU coletado.



Fonte: Adaptado de (ABRELPE, 2016).

Os índices de disposição final de RSU apresentaram retrocesso no encaminhamento ambientalmente adequado dos RSU coletados, passando a 58,4% do montante anual disposto em aterros sanitários. As unidades inadequadas como lixões e aterros controlados ainda estão presentes em todas as regiões do país e receberam mais de 81 mil toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos na saúde (ABRELPE, 2016).

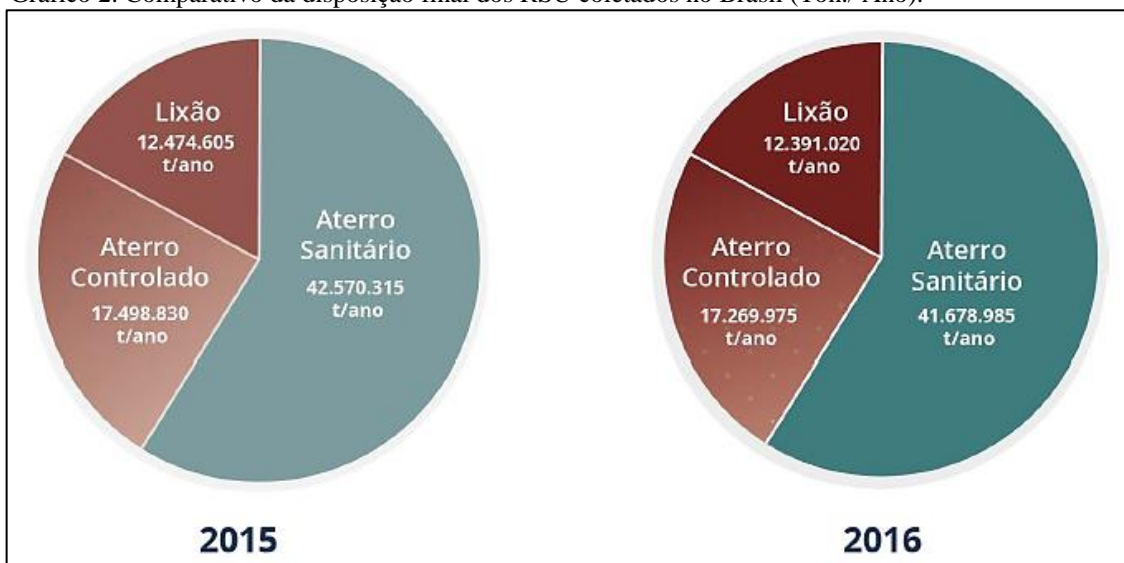
Gráfico 1. Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (Ton./Dia).



Fonte: Adaptado de (ABRELPE, 2016).

Todos os indicadores relacionados aos RSU foram negativos em relação ao ano anterior, o relatório da Abrelpe atribui à crise econômica o principal motivador destes resultados (ABRELPE, 2016).

Gráfico 2. Comparativo da disposição final dos RSU coletados no Brasil (Ton./ Ano).



Fonte: (ABRELPE, 2016).

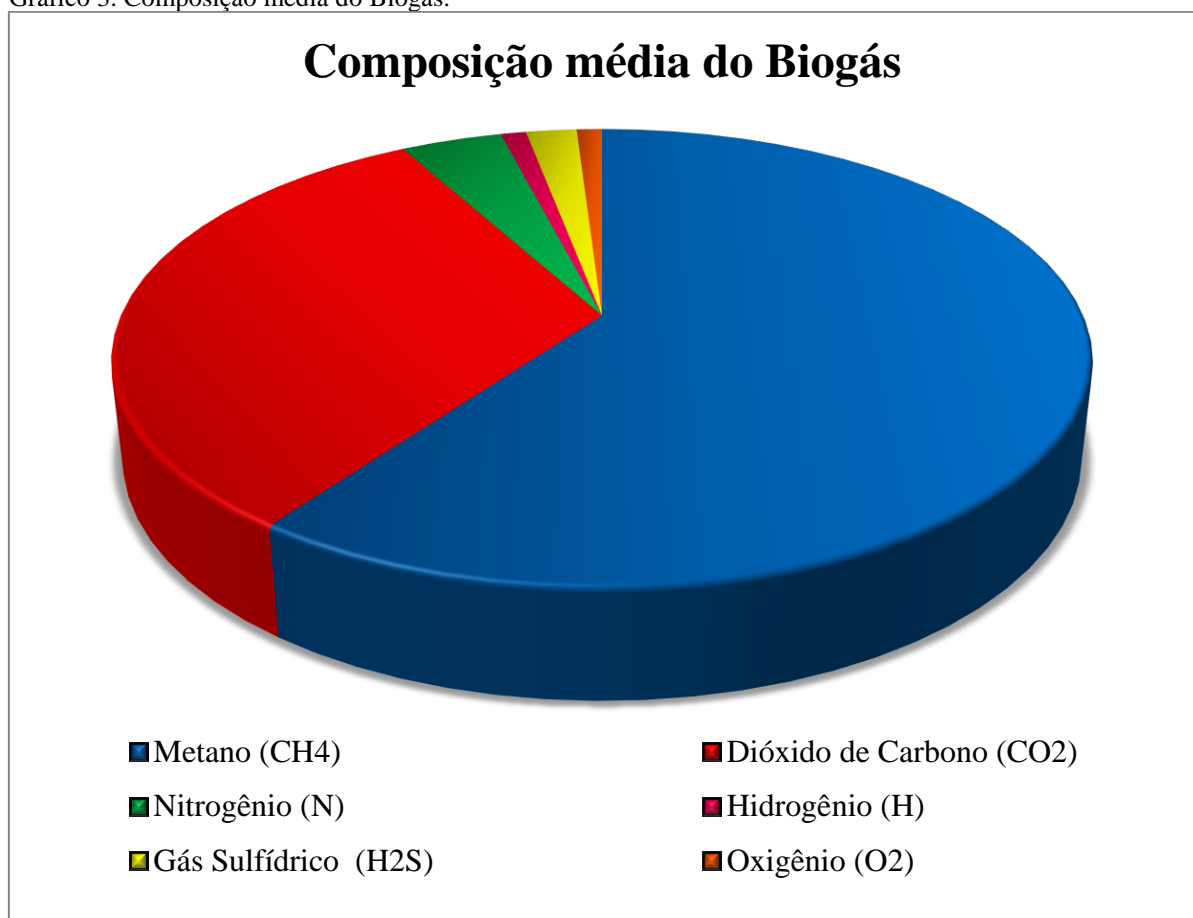


## 4 BIOGÁS

A decomposição da matéria orgânica é um processo natural que ocorre em duas formas. A primeira é a decomposição aeróbia que acontece na presença de oxigênio esse processo é o princípio básico da compostagem, e a segunda fase é a de decomposição anaeróbia que acontece na ausência de oxigênio, onde os responsáveis por essa fase é uma série de microrganismos (bactérias) que quebram as moléculas da matéria orgânica transformando essa quase que totalmente em gases como o gás metano que tem um percentual de energia térmica (BRITO FILHO, 2005).

Biogás é um tipo de gás inflamável produzido a partir da mistura de dióxido de carbono e metano, formado a partir da degradação da matéria orgânica. A fermentação acontece em determinados patamares de temperatura, umidade e acidez. O biogás é composto por uma mistura de gases, o metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ) (SALOMON, 2007).

Gráfico 3. Composição média do Biogás.



Fonte: Adaptado de (ABIOGÁS, 2016).



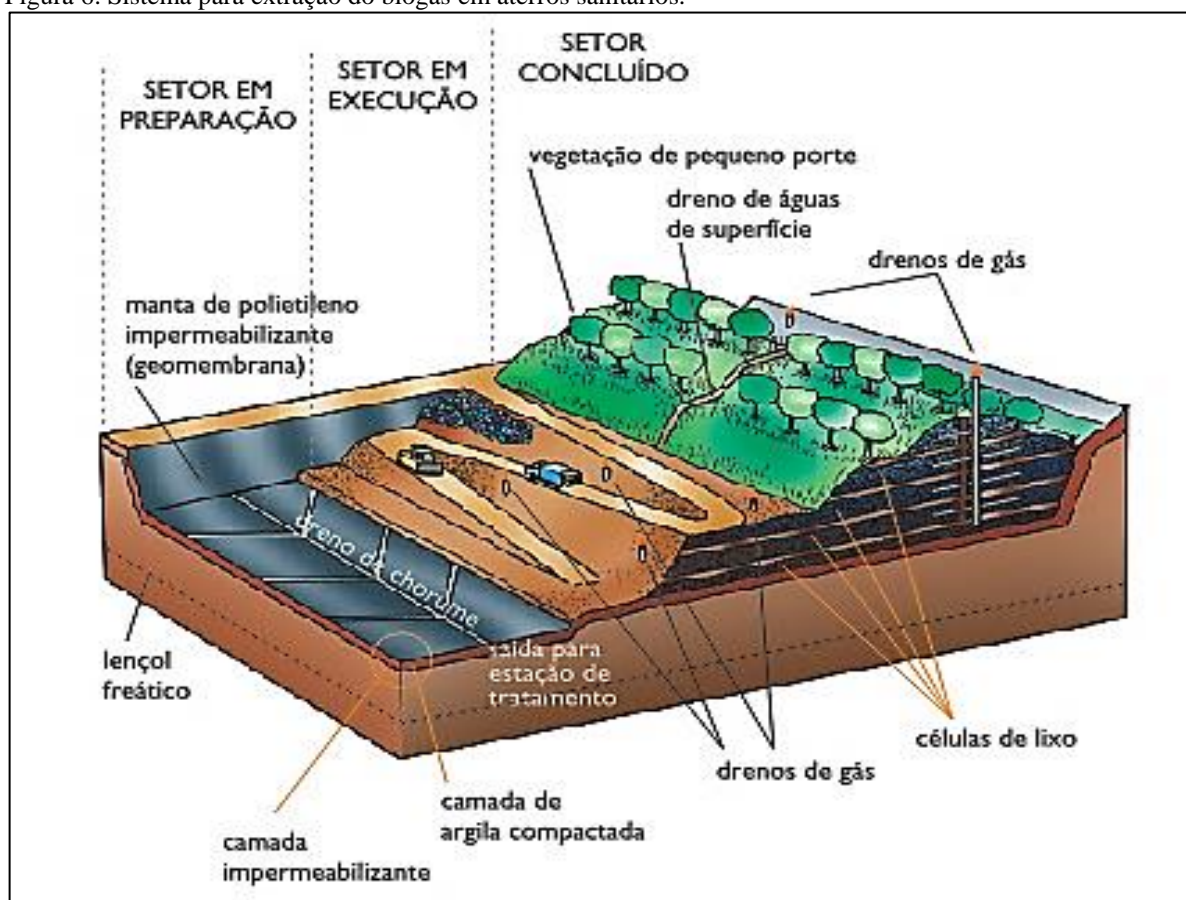
#### 4.1 Sistema de operação, extração e tratamento do biogás do aterro

Segundo Montagna (2016), para a operação do aterro ele deve atender diferentes especificações e ter alguns elementos para que aconteça o monitoramento e a operação correta nesse aterro, especificações e elementos como:

- a) Estudo da área: Para a escolha deve se levar em conta dados como os aspectos físicos, ambientais, operacionais e sociais, através de levantamentos topográficos, geológicos, geotécnicos e climatológicos;
- b) Sistemas de drenagem das águas superficiais: Tem como objetivo impedir a entrada de água de escoamento superficial no aterro;
- c) Sistemas de impermeabilização de fundo e de laterais: Tem por objetivo proteger e evitar a infiltração do chorume para o subsolo;
- d) Sistema de drenagem do chorume: O chorume pode ser provocado pela umidade natural dos resíduos, água da chuva, superficiais e de mananciais subterrâneos. Uma rede de drenos internos composta de tubos perfurados e preenchidos com brita, leva o chorume drenado para um sistema de tratamento;
- e) Sistema de tratamento do chorume: O chorume é altamente contaminante e ele pode ser mantido em lagoas de tratamento e depois encaminhado para os evaporadores de chorume;
- f) Sistema de drenagem dos gases: Os drenos têm como objetivo impedir que os gases escapem pelos meios porosos do subsolo, são formados, por uma coluna de tubos perfurados de concreto e envolvidos por uma camada de brita, sendo fixada na coluna de tubos por uma tela metálica;
- g) Sistema de queima em flares: É recomendada a instalação do flare enclausurado, pois em caso de falha no sistema de geração de energia ou outro tipo de aproveitamento, evita-se a emissão de metano para a atmosfera;
- h) Cobertura intermediária e final: O sistema de cobertura diário tem o intuito de reduzir a formação de chorume, diminuir a exalação de odores e impedir a saída descontrolada do biogás.

O sistema de extração é constituído por drenos horizontais e verticais, sopradores, filtros para remoção do material particulado e tanques separadores de condensado, este pré-tratamento tem a função de proteger os sopradores, aumentando sua vida útil (MELLO, 2016).

Figura 6. Sistema para extração do biogás em aterros sanitários.



Fonte: (FIGUEIREDO, 2007).

O tratamento do biogás extraído ocorre pela passagem dele por um filtro, para a remoção de material particulado que foi arrastado com o gás (ALMEIDA, 2016). Depois o biogás é encaminhado a um tanque separador de líquidos, denominado desumidificador que têm a finalidade de separar eventuais gotículas de líquidos contidos no biogás (REZENDE, 2016). Essa fase líquida deverá ser drenada por gravidade para um tanque de coleta de condensado e depois ser bombeado para o sistema de coleta de chorume para ser tratado (BORGES, 2008). O biogás, já isento de partículas sólidas e de gotículas líquidas, passa então pelo soprador e é encaminhado para a queima controlada no flare e/ou para outros sistemas de aproveitamento energético. A vazão de biogás é controlada por uma válvula borboleta e indiretamente por um inversor de frequência acoplado ao motor do soprador, o qual é acionado por um transmissor de pressão, instalado na linha de sucção. O soprador tem a finalidade de succionar o biogás do interior do aterro (DOS SANTOS, 2011; VICENTE, 2011; MARTINS, 2012). Os resíduos que sobram da queima do biogás, é uma substância com aspecto de lodo que contém água, sais minerais e microrganismos, que pode ser utilizada como fertilizantes (ALMEIDA, 2016).

## **5 EVAPORADOR DE CHORUME**

O chorume (percolado) é um líquido escuro e tóxico gerado da decomposição dos resíduos e do acúmulo de água da chuva que se infiltra no solo e nos resíduos, compõe-se de substâncias recalcitrantes, amônia, cloretos e compostos orgânicos e inorgânicos (LESSA, 2017). Quando o chorume entra em contato com águas subterrâneas as consequências para o meio ambiente e para a saúde pública são sérias, pois o chorume tem em sua composição substâncias altamente tóxicas (SERAFIM, 2003).

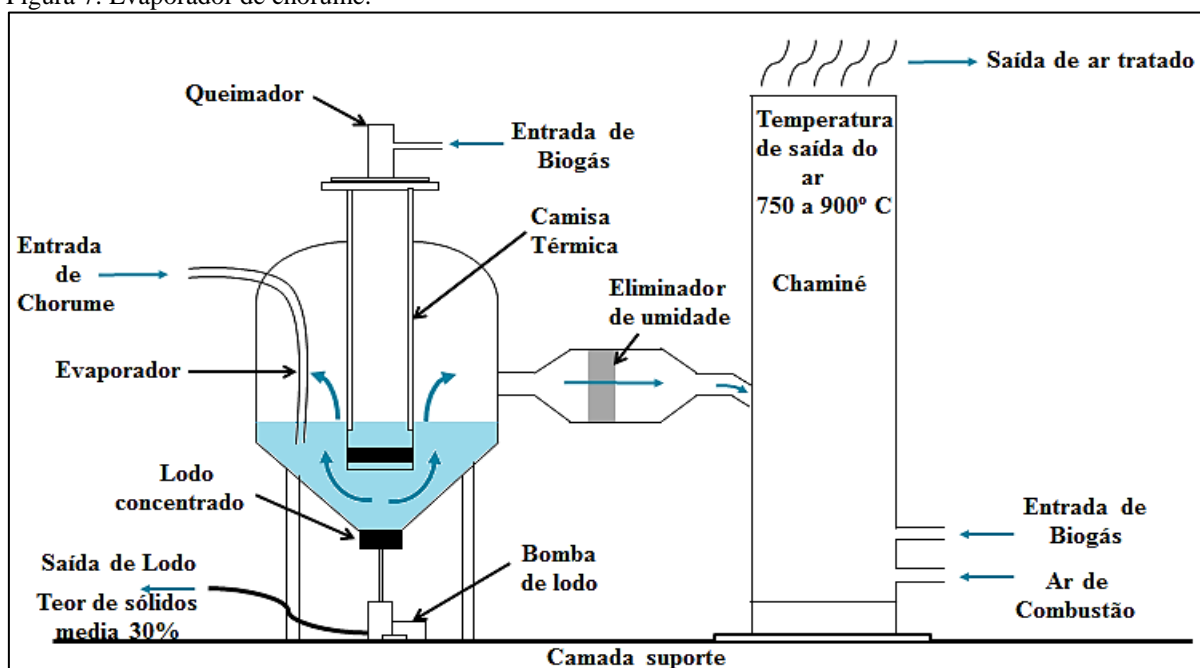
Para resolver o problema gerado pelo chorume nos aterros, a empresa SOLVÌ importou um evaporador de chorume para instalar no Aterro de Salvador, mas o equipamento usava como combustível o GLP e não teve um bom desempenho com o chorume brasileiro por ele ter muito detergente (PILEGGI, 2011). Após isso, a empresa BTS em parceria com a SOLVÌ e levou o equipamento e ele foi otimizado e montado sobre uma carreta especial, ele foi testado e obteve máxima evaporação com a máxima eficiência térmica e foi implantado no Aterro de São Leopoldo, Rio Grande do Sul (LESSA, 2017).

O Evaporador de Percolado EVC-1.900, foi planejado e fabricado dentro dos aspectos operacionais do Brasil utilizando como combustível o próprio biogás produzido no aterro, o evaporador possibilita a queima do metano e a otimização da capacidade das lagoas de tratamento do chorume. Montado sobre uma carreta especial, o evaporador bombeia para o interior do tanque o chorume acumulado nas lagoas de tratamento do aterro e o líquido é aquecido e evaporado, a uma razão de até 1 m<sup>3</sup>/h (PILEGGI, 2011).

### **5.1 Processos do Sistema de Evaporação de Chorume**

O Evaporador de Chorume foi elaborado com o objetivo de utilizar o biogás gerado no próprio aterro como combustível, o biogás que movimenta o evaporador é o gás que antes era lançado na atmosfera e nele contém uma alta taxa de metano. Consequentemente a eficiência da evaporação irá depender do poder calorífico do biogás, assim tendo o máximo fluxo do biogás terá o evaporador com máxima eficiência térmica (BALESTIERI, 2018). O processo de evaporação do chorume é uma das técnicas utilizada para controlar a poluição causada pelo chorume, esse processo pode reduzir até 70% do volume do chorume (BOCCHIGLIERI, 2010).

Figura 7. Evaporador de chorume.



Fonte: O autor (2018).

Segundo Pileggi (2011), as etapas do processo do sistema de evaporação de chorume se resumem em:

- Sistema de Coleta do Biogás: Para o biogás ser aceito no evaporador ele precisa passar por um tratamento que vai diminuir sua umidade e a quantidade de resíduos. Depois de ser tratado o biogás é succionado dos poços verticais que existem no aterro, através de tubos de polietileno;
- Sistema de Alimentação de Percolado: O evaporador utiliza uma bomba que succiona o percolado da lagoa de tratamento, para a câmara de combustão. O sistema é composto por válvulas solenóides e dois filtros em paralelo, esses filtros são ligados a bomba de alimentação do percolado. O sistema funciona continuamente, sendo monitorado através do sensor de nível do tanque principal, quando atingi o nível máximo o sistema aciona o fechamento da válvula solenóide da linha principal e a abertura da válvula solenóide instalada na linha de retorno a lagoa de percolado;
- Sistema de circulação de percolado: Quando o sistema atingi o normal de operação no tanque principal do evaporador o sistema de circulação é acionado, através da bomba de circulação e ao atingir o volume ideal do tanque superior onde estão instalados os queimadores aciona o sensor de nível de percolado neste tanque e permitirá que os queimadores sejam ligados;

- d) Sistema de Combustão: A combustão do biogás e ar inicia com o sistema de piloto automático com detector de chama, e a energia liberada é puxada pelos gases de combustão, e passam por um tubo com ranhuras no interior do evaporador e submerso por percolado. E os gases ao passar por essas ranhuras sofre uma turbulência e a transferência de energia. A energia térmica pode chega a aquecer o percolado em 80°C, ou seja, não alcança o ponto de ebulição. Ao sofre a transferência de energia, os gases se umidificam e saturam na forma de vapor de água assim evaporando o percolado;
- e) Sistema de Spray: No processo de aquecimento do percolado pode ocorrer o problema de formação de espuma, para evitar problemas foi inserido um sistema adicional de spray de percolado frio no interior da câmara de combustão com objetivo de destruir a espuma;
- f) Sistema de descarga de lodo: Assim atingir o nível mínimo de operação no tanque principal, deve ser acionada as roscas de descarga do lodo que se assenta no fundo da câmara de combustão, o concentrado líquido que sai do lodo deve voltar para o tanque de percolado e a parte sólida sai em forma de lodo e deve ser encaminhada ao aterro.

Figura 8. Evaporador de Percolado do Aterro de São Leopoldo-RS.



Fonte: (BTS, 2007).

Basicamente o processo se resume no chorume ser aquecido em altas temperaturas utilizando como combustível o biogás, a fração líquida é evaporada e a sólida retorna para o aterro. O vapor quente é transportado para um sistema de purificação para que possa ser lançado na atmosfera ou ser usado para geração de energia térmica (DOS SANTOS, 2011).

## 5.2 Benefícios Ambientais e Econômicos do Evaporador de Percolado

Um dos benefícios do evaporado é a diminuição da emissão de GEE, já que o equipamento permite a queima do biogás, reduzindo assim o metano (CH<sub>4</sub>) nele presente outro benefício do evaporador é que ele não necessita de grandes áreas para implantação de tanques de percolado, assim pode se evitar a contaminação do solo e do lençol freático (PILEGGI, 2011).

Quadro 2. Vantagens e Desvantagens do Evaporador de Chorume.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
O chorume pode ser tratado no próprio aterro, assim sem ter gastos com transportes para outros locais.	Elevado consumo do biogás.
Utiliza-se o biogás como combustível, assim tendo um baixo custo com combustível.	Os vapores têm que ser tratados antes do lançamento na atmosfera.

Fonte: (ICLEI, 2009).

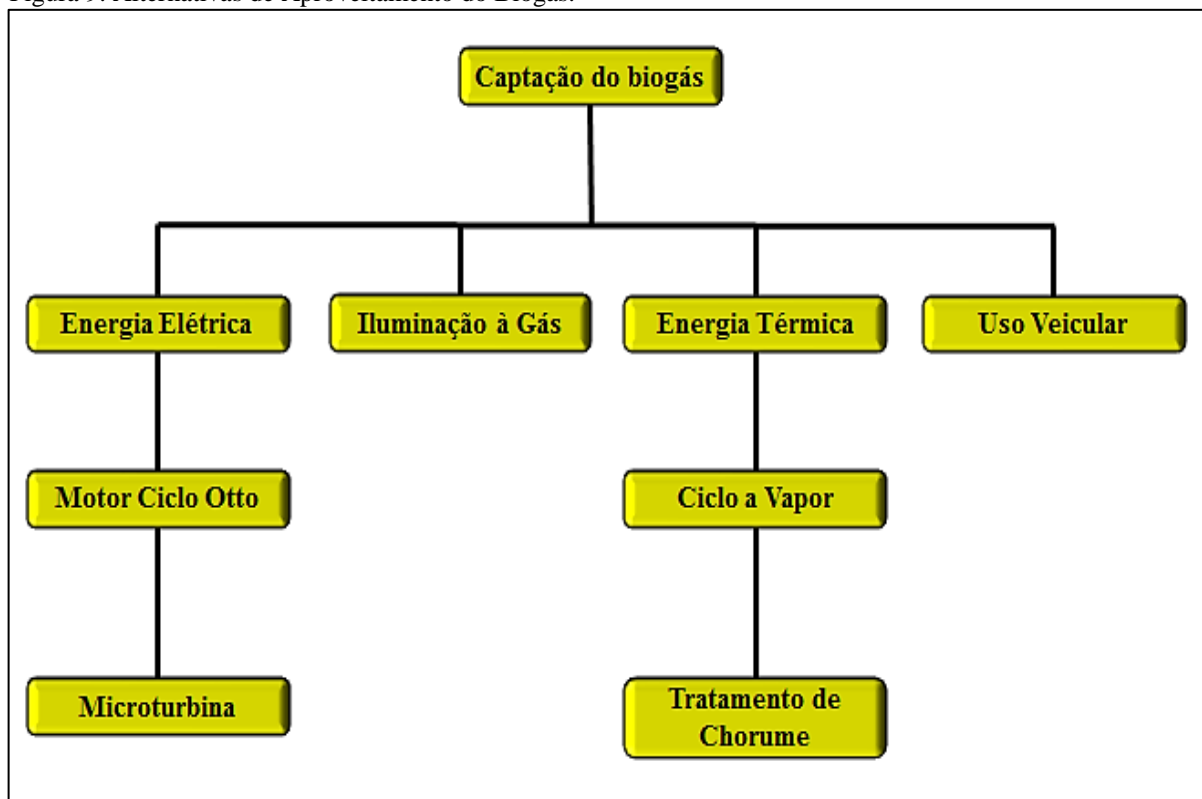
Segundo a SOLVÍ, o aterro que tiver o evaporador implantado reduziu seu custo de tratamento de percolado, que antes era transportado e tratado em outras unidades. De acordo com a BTS o preço do evaporador pode variar em função da capacidade e dos materiais utilizados, mas o valor está na faixa de R\$ 1.800.000,00. Mesmo com as vantagens ambientais, a utilização do evaporador de percolado não pode ser utilizada em todos os aterros, este equipamento é adequado para aterros de pequeno e médio porte, para aterros de grande porte é necessário a adoção de outras técnicas (DOS SANTOS, 2011).

## 6 ALTERNATIVAS PARA USO DO BIOGÁS

Para algumas aplicações, entretanto, o biogás deve ser tratado, pois existem diferenças consideráveis entre os requerimentos para as aplicações estacionárias do biogás e como combustível ou para a distribuição em tubulações (CANEVER, 2017). As aplicações mais comuns para o biogás são o aquecimento e a geração de eletricidade. Além dessas aplicações, a utilização como combustível veicular e a injeção na rede de gás natural são aplicações que vêm atraindo um interesse cada vez maior (ZANETTE, 2009).

Para geração de energia mecânica o biogás é usado em motores de combustão interna substituindo os combustíveis convencionais que serão necessários apenas para dar a partida uma vez que a mistura de ar e biogás (OBANDO DIAZ, 2006). O biogás também é um combustível adequado para a geração de energia elétrica ou cogeração. Diversas tecnologias estão disponíveis, sendo as principais aplicações em geradores com combustão interna e as turbinas a gás (PECORA, 2006).

Figura 9. Alternativas de Aproveitamento do Biogás.



Fonte: O autor (2018).



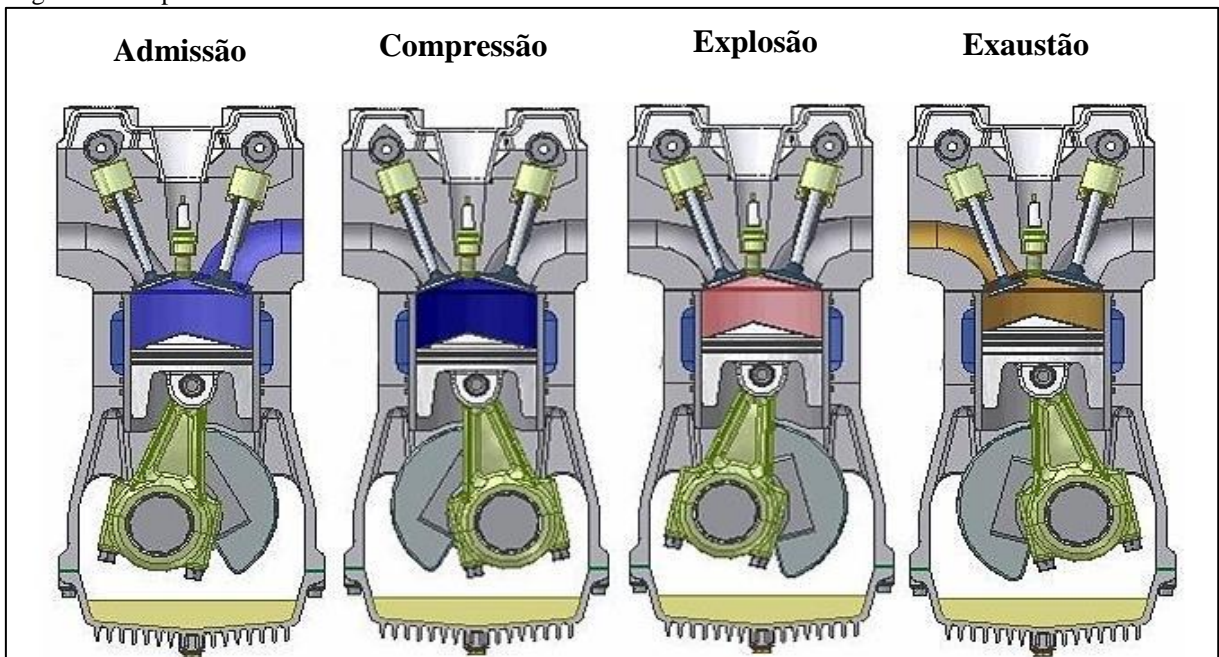
## 6.1 Geração de energia elétrica

Na geração de energia do biogás, ocorre a conversão da energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão. Essa energia mecânica ativa um gerador que produz energia elétrica (MARQUES, 2012).

### 6.1.1 Motor Ciclo Otto

As máquinas à combustão interna do tipo Otto, foram inventadas no final do século XIX, elas são compostas de no mínimo um cilindro, as principais partes de uma máquina Otto é um êmbolo móvel (pistão), vela, duto de escape, válvula de escape, duto de admissão, válvula de admissão, biela e virabrequim (SEARS, 1973).

Figura 10. Etapas de Funcionamento do Motor Ciclo Otto.



Fonte: (SEARS, 1973).

O motor ciclo Otto para queima do biogás é o mais utilizado devido ao maior rendimento elétrico e menor custo quando comparado às outras tecnologias. Para acontecer essa queima são necessárias pequenas modificações no sistema de alimentação, ignição e taxa de compressão (PECORA, 2006). O motor ciclo Otto aspira a mistura ar-combustível antes de ser comprimida no interior dos cilindros e a combustão da mistura é dada por centelha produzida na vela de ignição (MARTINELLI, 2003).



Quadro 3. Vantagens e Desvantagens do Motor Ciclo Otto.

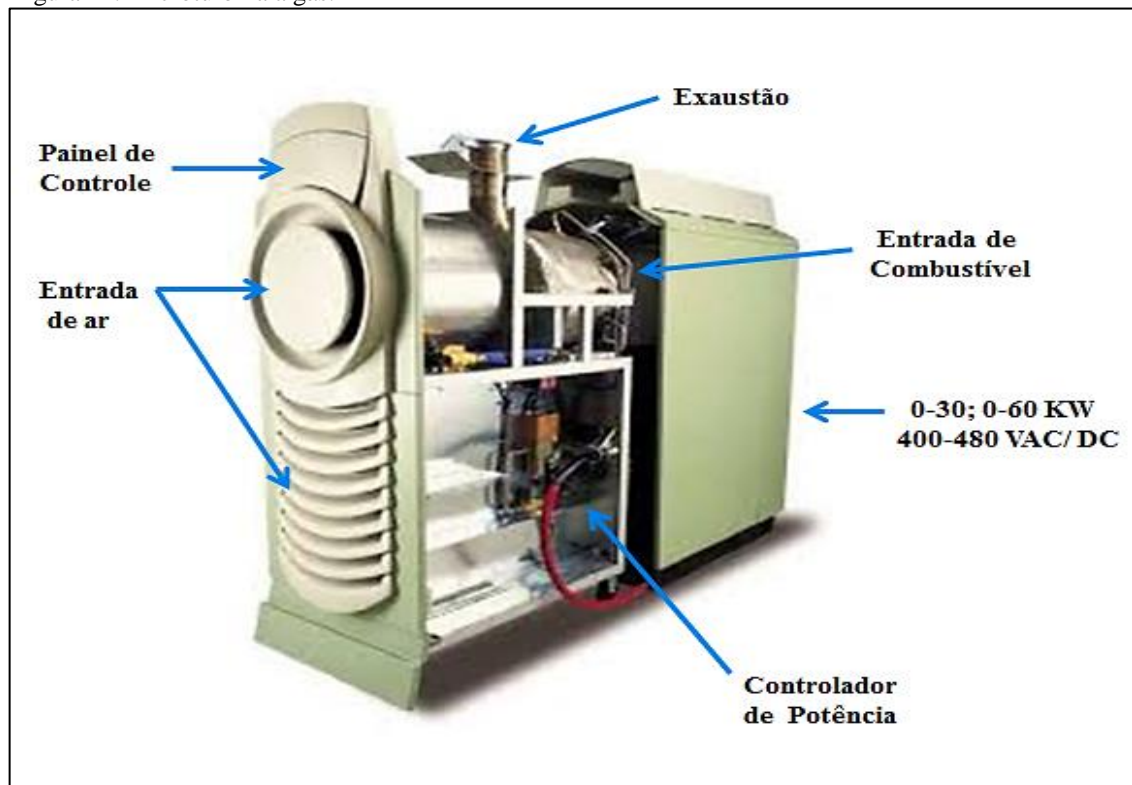
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Geração de energia elétrica para o próprio consumo do aterro;	Investimento inicial elevado, pois, os motores de grande porte são importados;
Possui maior rendimento elétrico;	Altos valores de emissão de gases de grandes impactos ambientais;
Menor custo em comparação com as outras tecnologias;	Baixo rendimento: aproximadamente 28%;

Fonte: Adaptado de (SENRA, 2014).

### 6.1.2 Microturbinas a Gás

Somente a partir da década de 30, a turbina a gás tornou-se um produto comercial devido à necessidade da indústria aeronáutica de desenvolver propulsão com menor relação peso/potência (MARTINELLI, 2003). O seu desenvolvimento veio até os dias atuais, e hoje as turbinas a gás têm múltiplas utilidades e são usadas para propulsão aeronáutica, naval, na geração de eletricidade, acionamento de equipamentos e são utilizadas em ciclos combinados (PECORA, 2006).

Figura 11. Microturbina a gás.



Fonte: (SEARS, 1973).

Na turbina a gás o ar atmosférico é comprimido até à câmara de combustão utilizando parte do trabalho mecânico da turbina, o combustível que é queimado na câmara de combustão aumenta a temperatura dos gases. Estes gases entram na turbina e se expandem realizando trabalho mecânico, que aciona o compressor e a carga e finalmente, os gases da saída da turbina são jogados de volta para a atmosfera que os esfria (ROCHA, 2012; QUARESMA, 2010).

Quadro 4. Vantagens e Desvantagens da Microturbina á Gás.

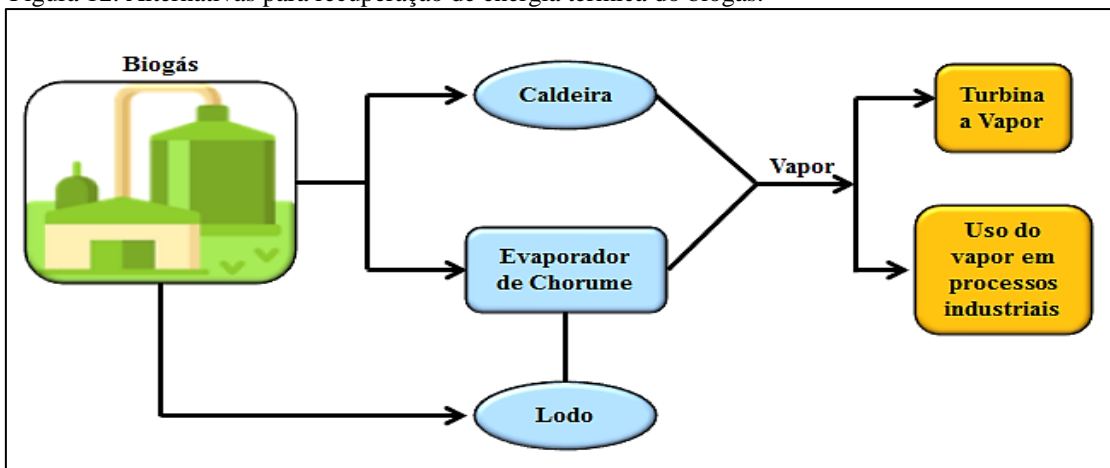
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixos níveis de ruídos e vibrações;	Alto custo de operação e manutenção, em comparação a outras tecnologias existentes;
Dimensões reduzidas e simplicidade de instalação, podendo ser instaladas em locais cobertos ou ao ar livre;	Necessidade de um rígido sistema de limpeza do biogás e remodelação da microturbina para sua queima, já que é um gás de baixo poder calorífico.
Flexibilidade de combustível, dentre eles o biogás;	Investimento inicial elevado necessita de equipamentos importados.

Fonte: Adaptado de (RODRIGUES, 2014).

## 6.2 Geração de energia térmica

O processo de tratamento anaeróbico produz biogás, um combustível gasoso que pode ser convertido em energia limpa e renovável. O biogás pode ser usado para gerar calor assim pode ser utilizado na geração de vapor nas caldeiras, economizando com isso óleo combustível (TORRES, 2017).

Figura 12. Alternativas para recuperação de energia térmica do biogás.

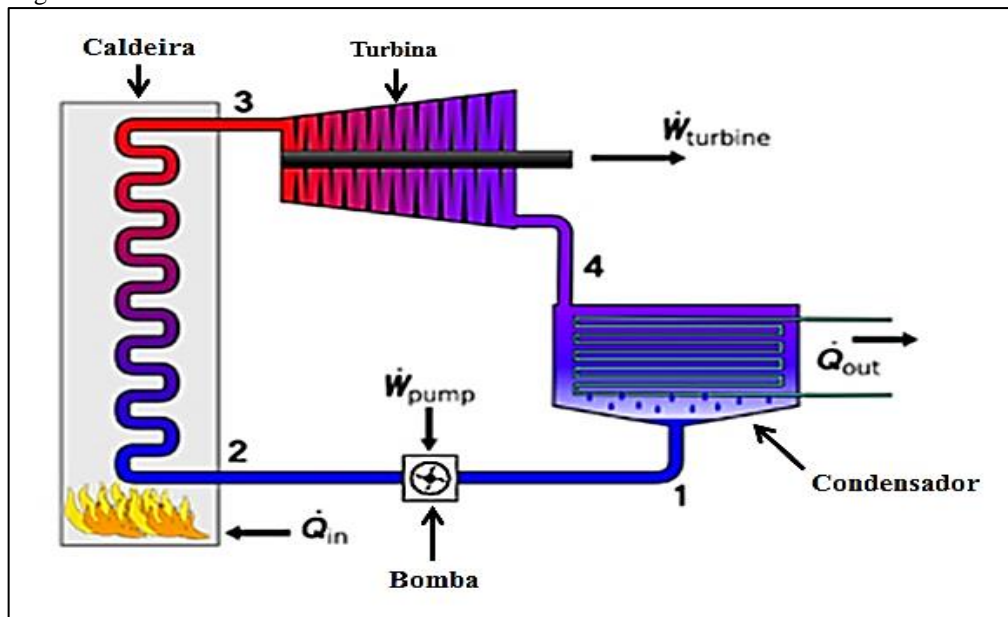


Fonte: Adaptado de (NOVI, 2013).

### 6.2.1 Ciclo Rankine

O ciclo Rankine é usado principalmente em instalações de turbinas movidas a vapor, entretanto, se nota que o ciclo Rankine invertido é um ciclo comum de refrigeração, tendo no lugar da bomba o compressor, da turbina, a válvula de expansão e da caldeira, o evaporador/ congelador (KALOGIROU, 2016).

Figura 13. Ciclo Rankine.



Fonte: (MARTINELLI, 2003).

Ao acionar a turbina a vapor acoplada a um gerador que converte o calor proveniente da combustão de biogás em trabalho útil (vapor), que poderá ser utilizado para processos industriais, aquecimento direto ou geração de energia elétrica. É necessário a pequenas modificações nos equipamentos para uso do biogás buscando a adequação às características do novo combustível (FERRAZ, 2018).

Quadro 5. Vantagens e Desvantagens do Ciclo Rankine.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
O processo da cogeração agrega benefícios como a diminuição emissão de gases poluentes como o carbono.	Devido à adaptação da caldeira para o uso do biogás, a corrosão acaba se tornando um problema. É necessária a manutenção regular para se evitar a formação de depósitos de componentes corrosivos nos equipamentos.

Fonte: Adaptado de (RODRIGUES, 2014).

### 6.3 Combustíveis para uso Veicular

Ainda que o biogás possa ser utilizado em qualquer aplicação destinada ao gás natural, para seu uso veicular necessita de adaptação e remoção de alguns de seus componentes, tais como: umidade, ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e partículas (CENBIO, 2016).

Figura 14. Posto de abastecimento de Biometano.



Fonte: (ANP, 2001).

Para se utilizar o biogás em veículos é necessária a remoção do CO<sub>2</sub> nesse processo de purificação do biogás a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular, deve ser de 86% e máxima de CO<sub>2</sub> de 5% (ANP, 2001).

Quadro 6. Vantagens e Desvantagens do Biogás para uso Veicular.

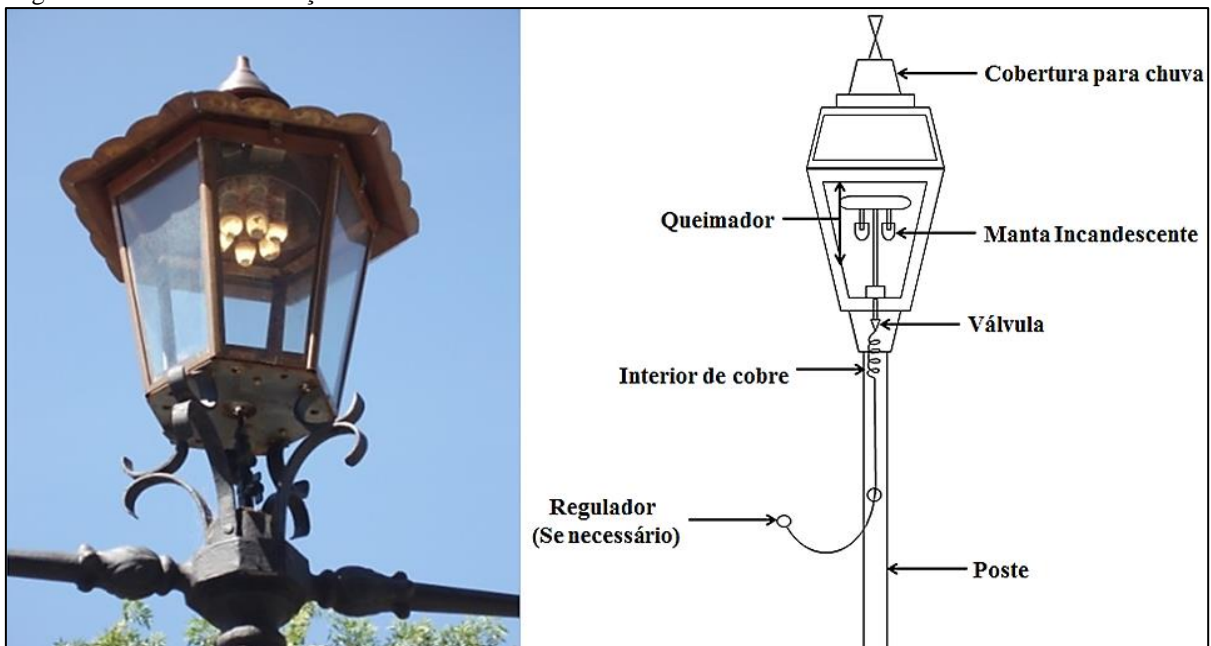
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Os caminhões de coleta que transitam pelo aterro utilizam o biogás, reduzindo o gasto com outros combustíveis.	Baixa escala de produção e elevados custos de implantação;
Baixo impacto ambiental, pois reduz a emissão de particulados.	Os equipamentos são importados e necessitam de adaptações para as características do biogás nacional.

Fonte: (PECORA, 2006).

## 6.4 Iluminação a gás

O biogás também pode ser usado para iluminar e aquecer áreas urbanas e rurais, é relevante destacar que os postes de iluminação não podem ser instalados perto de dutos de biogás em um aterro, pois se acontecer algum vazamento o biogás é altamente inflamável (ICLEI, 2009).

Figura 15. Poste de Iluminação a Gás.



Fonte: Adaptado de (CENBIO, 2016).

O gás passa pela tubulação dentro do poste chega até a válvula que por sua vez libera o gás, e quando ele é liberado o gás passa pelo queimador e pela manta incandescente que produz luz e cor ao sistema (ICLEI, 2009).

Quadro 7. Vantagens e Desvantagens da Iluminação a Gás.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Economia em relação à energia da concessionária.	No Brasil essa tecnologia ainda está na fase de teste e adequações, os sistemas já instalados apresentaram falhas operacionais e defeitos constantes.

Fonte:(ENSINAS, 2003).

## 7 CUSTOS

Para os aspectos econômicos do projeto, foram considerados os custos de capital para o desenvolvimento do projeto de aproveitamento do biogás em aterros. Também foi estimado os custos anuais para a operação, manutenção e as taxas de registro e monitoramento (SILVA, 2015).

### 7.1 Custos para Instalação do Sistema de Captação do Biogás

Para a instalação do sistema de captação do biogás em aterros sanitários os custos são estimados em R\$ 19.804.860,00. Esses custos estão ligados a todos os equipamentos necessários para a implantação do sistema de coleta e queima do biogás (VANZIN, *et al.* 2006).

Tabela 1. Custo para Instalação do Sistema de Captação do Biogás.

Itens	Custo Total Estimado (R\$)
Mobilização e Gestão do Projeto	202.576,00
Tubulação principal de coleta de gás	9.116.933,00
Tubulação lateral	701.723,00
Passarelas	191.637,00
Gestão do Condensado	110.606,00
Poços de Drenagem Vertical	1.308.641,00
Coletores Horizontais	239.868,00
Equipamentos de Ventilação e Queima	5.672.128,00
Engenharia, Contingência e Custos Iniciais de Transação do MDL.	2.260.748,00
<b>Custo Total Estimado</b>	<b>R\$ 19.804.860,00</b>

Fonte: Adaptado de (SCS ENGINEERS, 2005).

### 7.2 Custos para Operação e Manutenção do Sistema de Captação do Biogás

Esses custos incluem valores relativos à operação e a manutenção do sistema de coleta do biogás, nele inclui trabalhos como verificações, manutenção de rotina, peças, e substituição de poços (MELLO, 2016).

Tabela 2. Custos para Operação e Manutenção do Sistema de Captação do Biogás

<b>Itens</b>	
Mão de Obra	
Monitoramento dos custos de equipamentos	
Peças e componentes	
Poços de drenagem adicionais, coletor horizontal, reparação e substituição.	
Engenharia	
<b>Custo Total Estimado (R\$)</b>	<b>R\$ 1.189.470,00</b>

Fonte: Adaptado de (SCS ENGINEERS, 2005).

### 7.3 Custos de Registro e Monitoramento para o Sistema de Captação do Biogás

Alguns Custos anuais adicionais são os custos associados com o ciclo do projeto do MDL, incluindo taxas de registro e monitoramento (SILVA, 2015).

Tabela 3 . Custos para Registro e Monitoramento para o Sistema de Captação do Biogás.

<b>Itens</b>	
Custos administrativos anuais com taxas de registro e monitoramento	
<b>Custo Total Estimado (R\$)</b>	<b>R\$ 161.284,00</b>

Fonte: Adaptado de (SCS ENGINEERS, 2005).

## 8 CONCLUSÃO

Este trabalho possui o intuito de analisar a viabilidade do aproveitamento do biogás em aterros sanitários, como uma das alternativas mais viáveis para se resolver os problemas causados pela disposição irregular dos resíduos sólidos e gases provenientes da decomposição do mesmo, bem como os problemas de contaminação do solo e dos lençóis freáticos.

Dessa forma confirma-se a viabilidade ambiental, técnica e econômica, os investimentos iniciais para implantação possuem um alto custo, no entanto, possuem um bom retorno financeiro. Mas para que se desenvolva o projeto de aproveitamento do biogás é necessário um maior investimento nos aterros sanitários do Brasil.

Tendo como base os evaporadores convencionais fabricados no exterior, é possível concluir que o Evaporador de Percolado EVC-1.900 da empresa BTS seja equipamento inovador, mas como ele só pode ser implantado em aterros de pequeno porte, acaba se tornando um investimento inviável.

A utilização do biogás pode trazer benefícios para o governo e para a população, pois esse aproveitamento energético do biogás pode gerar impactos econômicos e ambientais positivos, e assim diminuir a sobrecarga das concessionárias de energia elétrica. Mas é necessário que o governo apoie e estimule a adoção de técnicas que aumentem a geração e a coleta do biogás. O Brasil defasado na criação de novas tecnologias no setor de reciclagem, por esse motivo é necessário um maior investimento em pesquisas e tecnologias para se expandir o setor.



## REFERÊNCIAS

ABIOGAS – Associação Brasileira de Biogás e Biometano.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos. Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABREU, F. V.; AVELINO, M. R.; MONÁCO, D. P. **Estudo Técnico, Econômico e Ambiental da geração de energia através do biogás de lixo-o caso do aterro sanitário de Gramacho.** Duque de Caxias, 2017.p. 37-43.

ALMEIDA, Lêdo Ivo José de. **Potencial de produção de biogás e energia elétrica a partir da remoção da matéria orgânica oriundo de tratamento de esgotamento sanitário na ETE Norte.** 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

ALVES, I. R. F. S. **Análise experimental do potencial de geração de Biogás em Resíduos Sólidos Urbanos.** 1. ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível.

BALESTIERI, J. A. P. **Geração de energia sustentável.** 1. ed. São Paulo: UNESP, 2018.

BIDONE, Francisco Antônio. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização.** Brasília: FINEP/PROSAB, 2001.

BOCCHIGLIERI, Miriam Moreira. **O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos.** 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

BORGATTO, André Vinícius Azevedo. **Estudo do efeito fibra e da morfologia na estabilidade de aterros de resíduos sólidos urbanos.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BORGES, Marisa Soares. **Tratamento de água e efluentes industriais.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRITO FILHO, Luiz Fernandes. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos.** 2005. Tese de Doutorado da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BTS – Empresa Brasileira de Termodinâmica de Sistemas.

CANEVER, Víctor Bruno. **Estudo de filtragem de biogás para fins energéticos utilizando como método de filtragem lavador de gases de baixo custo.** 2017. Dissertação(Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

CAVALCANTI, Alessandro Sampaio. **Estudo da aplicação de foto-fenton solar como tratamento de chorume proveniente do aterro sanitário de Cachoeira Paulista-SP.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Cachoeira Paulista.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa.

DOS SANTOS, Guilherme Garcia Dias. **Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ENSINAS, A. V. **Estudo da Geração de Biogás no Aterro Sanitário Delta em Campinas – SP**. Campinas – SP, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FERRAZ, Vanderleia Contini et al. **Termelétricas-uma visão geral: combustíveis, ciclos térmicos, arranjos, eficiência**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERREIRA, MAVA. **Injustiça ambiental associada à disposição final de resíduos sólidos urbanos em Macaé/RJ - Do vazadouro em Águas Maravilhosas ao aterro sanitário na BR-101**, 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal da Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás**, 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

GONÇALVES, Raquel de Souza. **Catadores de materiais recicláveis: trajetórias de vida, trabalho e saúde**, 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. 1. ed. São Paulo: Ciência & saúde coletiva, 2012.

ICLEI, Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais. **Manual para Aproveitamento do Biogás: Volume Um, Aterros Sanitários**. 1. ed. São Paulo: Sustentabilidade de Governos Locais, 2009.

KALOGIROU, S. **Engenharia de Energia Solar: Processos e Sistemas**. 1. ed. São Paulo: Elsevier Brasil, 2016.

LESSA, Ana Carolina Vilar. **Caracterização do chorume do Centro de Gerenciamento de Resíduos de Sergipe**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo em Saneamento Ambiental) - Instituto Federal de Sergipe, Aracaju.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. **Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo, 2011.p. 173-187.

MARQUES, Cleber Aimoni. **Microgeneration of electricity on a farm using biogas as a primary source of electricity**, 2012. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

MARTINELLI, L. C. **Máquinas Térmicas I–Motores de Combustão Interna**. 1. ed. Rio Grande do Sul: UNIJUÍ–Campus, 2003.

- MARTINS, Luiz Fernando Guarenti et al. **Metodologia para despacho de fontes de GD a biogás em redes de distribuição utilizando lógica Fuzzy**, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MAZZER, C.; CAVALCANTI, O. A. **Introdução à gestão ambiental de resíduos**, 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Maringá.
- MELLO, Andrielle Rimoldi. **Avaliação do potencial energético do biogás gerado em aterros sanitários que atendem diferentes faixas populacionais**, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- MONTAGNA, Tainara Bruna. **Biogás oriundo de aterro sanitário como fonte alternativa e renovável de energia**. 1. ed. Paraná: Revista Técnico-Científica, 2009.
- MONTEIRO, José Henrique Penido et al. Gestão integrada de resíduos sólidos: manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos. In: **Gestão integrada de resíduos sólidos: manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. IBAM, 2001.
- NOVI, Juliana Chiaretti. **Avaliação legal, ambiental e econômica da implantação de sistema próprio de tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde para geração de energia em hospital-escola do Estado de São Paulo**, 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- OBANDO DIAZ, Giancarlo. **Análise de sistemas para o resfriamento de leite em fazendas leiteiras com o uso do biogás gerado em projetos MDL**, 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- PECORA, Vanessa. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP**, 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- PILEGGI, Flávia Gonzaga. **Inovação Tecnológica no Setor de Aterros Sanitários: O Caso do Evaporador de Percolado (chorume) com a Queima de Biogás**. 1. ed. Rio de Janeiro: Sustentabilidade e Tecnologias de Baixo Carbono no Brasil, 2011.
- QUARESMA, Pedro Miguel Reis. **Efeito da Composição do Combustível no Desempenho de uma Câmara de Combustão com Baixas Emissões de NOx para Aplicação a Turbinas a Gás**. 2010. Tese de Doutorado. Tese apresentada para o título de Mestre em Engenharia Mecânica, da Universidade Técnica de Lisboa.
- REZENDE, Andrea das Graças Oliveira Brynner. **Avaliação do potencial energético e econômico do tratamento, destinação e reutilização de resíduos sólidos urbanos (RSU)**. 1. ed. Rio de Janeiro: Conexão Ciência (Online), 2016.
- ROCHA, Quéssia de Noronha. **Gestão de energia de resíduos de biomassa: otimização da distribuição geográfica das unidades industriais de geração de energia**. 2012. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília.
- RODRIGUES, Fernando de Resende. **Análise da geração distribuída em aterros sanitários**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SALOMON, Karina Riberio. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente do biodigestor da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**, 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

SCS ENGINEERS - Stearns, Conrad & Schmidt, Consulting Engineers, Inc.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. **Curso de Física-Licenciatura**. 2. ed. Brasília: *Física*, 1973.

SENRA, F. O, *et, al.* **Estudo da aplicação de hidrogênio e gasolina em motor ciclo Otto**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SERAFIM, Aline Camillo et al. **Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento**. 1. ed. Rio Claro: III Fórum de Estudos Contábeis. Rio Claro: Centro Superior de Educação Tecnológica, 2003.

SILVA, Frederico Pinto da. **Possibilidade de autonomia e soberania energética através do biodigestor anaeróbica em assentamento da reforma agrária: estudo de caso no projeto de assentamento Pequeno Willian-DF**. 2015. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA, José Irivaldo. **A dimensão ambiental como política pública e condicionante para o desenvolvimento**, 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SOLVÌ - Empresa Brasileira Atuante nos Segmentos de Resíduos, Saneamento e Valorização Energética e Engenharia.

TORRES, Pedro Jessid Pacheco. **Avaliação Técnico-Econômica de Diferentes Tecnologias de Geração de Eletricidade Para o Aproveitamento Energético de Resíduos de Biomassa em Comunidades Isoladas**, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá,

VANZIN E.; PANDOLFO A.; LUBLO R.; STEFFENON B.; PANDOLFO L. M. **Uso do Biogás em Aterro Sanitário como Fonte de Energia Alternativa: Aplicação de Procedimento para Análise da Viabilidade Econômica no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla**, 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Maringá.

VICENTE, A. C. P. M. et al. **Análise ambiental na indústria do biogás em belo horizonte, minas gerais, brasil: estudo de caso empresa ASJA (PARTE II)**. 2. ed. São Paulo: Revista Geográfica de América Central, 2011.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.