

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**FELIPE ALBERTO CRUZ FERREIRA CORA**

**DIMENSIONAMENTO DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE UMA USINA DE  
BIOGÁS: ESTUDO DE CASO NO ATERRO SANITÁRIO DE VARGINHA-MG**

**Varginha**  
**2020**

**FELIPE ALBERTO CRUZ FERREIRA CORA**

**DIMENSIONAMENTO DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE UMA USINA DE  
BIOGÁS: ESTUDO DE CASO NO ATERRO SANITÁRIO DE VARGINHA-MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas- UNIS como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Rafael Kerner.

**Varginha**

**2020**

**DIMENSIONAMENTO DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE UMA USINA DE BIOGÁS: ESTUDO DE CASO NO ATERRO SANITÁRIO DE VARGINHA-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Sul de Minas como pré requisito para obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em:    /    /

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

OBS:

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por todas as vitórias alcançadas até aqui, pela força de vontade e perseverança de acreditar que sempre é possível, a todos os professores e coordenadores do curso, e a todos os amigos e familiares que sempre me apoiam e me dão forças para continuar.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem o vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar.

## **RESUMO**

Atualmente estamos passando por um processo crítico em questão energética, devido à crise do petróleo o aumento da demanda energética e mudanças climáticas, destaca-se a necessidade de estudos por fontes renováveis que não agridem o meio ambiente, trazendo melhorias econômicas e ambientais. Sendo assim, resulta uma análise sobre a geração de energia elétrica através do biogás a partir de resíduos sólidos urbanos, despejados no aterro sanitário, que não é muito representada na matriz energética brasileira. Assim, trazendo a relação do Aterro Sanitário da cidade de Varginha - MG, sua classificação e quantidade de resíduos que é depositado mensalmente, realizado estes levantamentos, serão feitos a média anual e efetuado cálculos de viabilidade podendo ser recuperado este biogás oriundo do aterro sanitário, sendo feito um cálculo básico do potencial de geração de energia e quantas famílias poderiam se beneficiar dessa fonte de energia.

**Palavras-chave:** Energia Elétrica, Biogás, Aterros Sanitários.

## **ABSTRACT**

*We are currently going through a critical process in energy, due to the oil crisis the increase in energy demand and climate change, we highlight the need for studies by renewable sources that do not harm the environment, bringing economic and environmental improvements. Thus, this article results an analysis on the generation of electricity through biogas from municipal solid waste, dumped in the landfill, which is not much represented in the Brazilian energy matrix. Thus, bringing the relationship of the Landfill of the city of Varginha - MG, its classification and amount of waste that is deposited monthly, these surveys will be carried out, will be made the annual average and feasibility calculations can be recovered and can be recovered this biogas from the landfill, being made a basic calculation of the potential for energy generation and how many families could benefit from this energy source.*

**Keywords:** *Electric Energy, Biogas, Landfills.*

## LISTA DE ABREVIACÕES

- A – Altura de Caixa de Entrada.
- ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica.
- ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica.
- BEM – Balanço Energético Nacional.
- CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.
- CM – Consumo Médio de Biogás do Motor Gerador.
- CN – Congresso Nacional.
- CNPE – Conselho Nacional de Política Energética.
- D – Diâmetro do Corpo Cilíndrico.
- DBIO – Quantidade de Biogás a ser Produzida pelo Biodigestor.
- DE – Diâmetro da Caixa de Entrada.
- DG – Diâmetro do Gasômetro.
- DI – Diâmetro Interno do Biodigestor.
- DS – Diâmetro da Caixa de Saída.
- E – Altura Entrada do Cano com Afluente.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética.
- GD – Geração Distribuída.
- GW – Gigawatts.
- H – Altura do Corpo Cilíndrico.
- H1 – Altura Ociosa.
- H2 – Altura Útil do Gasômetro.
- HE – Altura da Caixa de Entrada.
- HF – Altura da Calota do Fundo.
- HG – Altura da Calota do Gasômetro.
- HS – Altura da Caixa de Saída.
- IEI – International Energy Initiative.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética.
- IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.
- K – Índice de Eficiência de Produção de Biogás

kV – Quilo volt.

kW – Quilowatts.

MMA – Ministério do Meio Ambiente.

MME – Ministério de Minas e Energia.

MW – Mega watts.

OIEE – Oferta Interna de Energia Elétrica.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico.

PE – Potência Elétrica.

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos.

RCD – Resíduos de Construção e Demolição.

SEB – Setor Elétrico Brasileiro.

SEP – Sistema Elétrico de Potência.

SIN – Sistema Interligado Nacional.

TD – Taxa de Desempenho.

TWH – Terrawatt-hora.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro.....	18
Figura 2 – Matriz elétrica brasileira em abril de 2019.....	18
Figura 3 – Sistema Interligado Nacional.....	19
Figura 4 – Representação do Sistema Elétrico de Potência.....	20
Figura 5 – Oferta Interna de Energia Elétrica 2018 (%).....	23
Figura 6 – Representação funcionamento de uma usina hidráulica.....	25
Figura 7 – Perfil esquemático de uma usina biogás.....	28
Figura 8 – Esquema básico de um biodigestor.....	34
Figura 9 – Biodigestor com cúpula fixa (Modelo Chinês).....	35
Figura 10 – Representação tridimensional.....	36
Figura 11 – Biodigestor com campânula flutuante (Modelo Indiano).....	37
Figura 12 – representação tridimensional biodigestor.....	38
Figura 13 – Modelo Biodigestor fluxo tubular.....	39
Figura 14 – Localização da cidade.....	40
Figura 15 – Localização do Aterro Sanitário.....	41
Figura 16 – Vista breve do aterro sanitário.....	42
Figura 17 – Dreno de biogás atual.....	44
Figura 18 –Preenchimento com pedras no dreno.....	44
Figura 19 – Etapas do ciclo Otto.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parque gerador instalado no Brasil em 2014 e projeções para 2024.....	21
Tabela 2 – Total de consumo de eletricidade em GWH nas dez maiores empresas distribuidoras brasileiras em 2017.....	22
Tabela 3 – Definição das classes de energia.....	26
Tabela 4 – Composição básica do Biogás.....	29
Tabela 5 – Classificação dos 3 estados por geração distribuída.....	31
Tabela 6– Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares de Varginha/MG.....	43
Tabela 7 – Consumo Mensal.....	48

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da energia solar.....	25
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens das hidroelétricas.....	26
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens da energia eólica.....	27
Quadro 4 – Vantagens e desvantagens da biomassa.....	27
Quadro 5 – comparativo dos biodigestores.....	39

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação1.....	46
---------------	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 ENERGIA ELÉTRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Setores Elétricos Brasileiro.....</b>	<b>17</b>
2.1.1 Estrutura do sistema elétrico de potência .....	20
2.1.1.1 Geração .....	20
2.1.1.2 Transmissão .....	21
2.1.1.3 Distribuição .....	21
<b>2.2 Tipos de fontes de energia.....</b>	<b>22</b>
2.2.1 Energia não renováveis.....	23
2.2.2 Energias Renováveis .....	23
2.2.2.1 Energia Solar .....	24
2.2.2.2 Energia Hidráulica.....	25
2.2.2.3 Energia Eólica.....	26
2.2.2.4 Biomassa.....	27
2.2.2.5 Biogás .....	28
<b>3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Legislações referentes à geração distribuída.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Gerações distribuídas no Brasil .....</b>	<b>31</b>
<b>4 BIOGÁS – TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Biogás.....</b>	<b>33</b>
4.1.1 Energia do Biogás.....	33
4.1.2 Biodigestor .....	33
<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1 Dados do Município.....</b>	<b>40</b>
<b>5.2 Visitas técnicas .....</b>	<b>41</b>
5.2.1 Uso do biogás .....	45
5.2.2 Cálculos do potencial de metano .....	45
<b>6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A função do engenheiro é executar projetos de melhorias com agilidade para facilitar a vida do cidadão, efetuando seu dever de comprimento com as normas e caráter. Seu papel é demonstrar o que é melhor para o seu cliente, mais econômico e sustentável, pois não basta só querer economia e estar agredindo ao meio ambiente.

Com o passar dos anos a demanda de energia é irreversível devido ao grande crescimento humano, tudo depende da energia para ter uma qualidade de vida estável.

A base energética no Brasil é caracterizada por seus elementos de geração renovável, com distinção para as usinas hidrelétricas, de biomassa e mais atualmente as usinas eólicas. E tratando de usinas de produção de energia por meio dos resíduos sólidos, que é apontada por uma fonte de biomassa em conformidade com a ANEEL (2017), o seu funcionamento na base ainda é de forma relativa bem pequena (pouco menor que 0,07%), pode-se considerar quantia elevada de resíduos desenvolvido cotidianamente no país, cerca de 176,4 mil t/dia (ABRELPE, 2012)

Segundo Ribeiro (2002) o mundo tem que se tornar menos dependente de fontes de energia fósseis, pois são agressivas e demoram a serem restituídas ao meio em que vivemos, com tantas fontes disponíveis e renováveis, estudos comprovam que se continuarmos utilizando desta fonte iremos acabar com o nosso planeta, já estamos vendo isto ultimamente como o aquecimento global até chuvas ácidas.

O governo está procurando fontes alternativas para diminuição desses poluentes, como o metano e o dióxido de carbono que estão em maior concentração na atmosfera de acordo com CETESB (2011), causando assim o aumento do efeito estufa.

Atualmente, são estudadas outras fontes de energia menos agressivas para ajudar o meio ambiente, com esta visão o governo está criando legislações como 482/2012 e 687/2015, que visa à geração distribuída através das fontes renováveis, para incentivar a população a querer diminuir a poluição e conseqüentemente abaixar o valor de suas tarifas, gerando e vendendo sua própria energia, sendo assim, as concessionárias e permissionárias de energia vêm vantagens, pois o setor de transmissão não haverá mais taxas de risco e menos perdas, não necessitando de aumentar sua rede de transmissão.

Com a economia cada vez mais competitiva, empresas e indústrias querem benefícios, buscando um diferencial de cada uma delas, investindo no poder social e ambiental, pois com uma boa gestão de energia e ambiental, seus gastos serão menores e lucros maiores, podendo

investir em mais funcionários, menos multas geradas, maior produção, menos poluição e maior retorno financeiro.

Tendo em mente a questão ambiental, sustentável e energia elétrica, exemplificando todas as vantagens descritas, este trabalho tem como objetivo fazer um dimensionamento de capacidade de geração de uma usina de biogás, através do aterro sanitário da cidade de Varginha - MG, como exemplo o desperdício dessa fonte de energia que está indo pro lixo e poluindo o meio ambiente, e não está sendo dada atenção como merece, e seriam várias famílias carentes ou até mesmo setores públicos que podem estar utilizando desta fonte.

Para realização deste estudo, remete as vantagens de incluir esta fonte de geração de biogás, pois é uma fonte de energia limpa e diminuição dos gases da atmosfera.

O escopo deste trabalho foi dividido em 7 capítulos. Onde o Capítulo 1 refere-se a introdução do trabalho a ser realizado. O Capítulo 2 a estrutura do Setor Elétrico Brasileiro, de como é o sistema, geração, distribuição, transmissão, tipos de fontes de energia, descrevendo suas funções. O Capítulo 3 exemplificando o que é Geração Distribuída e sua legislação. O Capítulo 4 as tecnologias aplicadas a GD, focando no biogás. O capítulo 5 mostra o estudo de caso realizado. O Capítulo 6 discussões e resultados. O Capítulo 7 a conclusão do trabalho.

## **2 ENERGIA ELÉTRICA**

A Energia Elétrica é um insumo indispensável para o desenvolvimento socioeconômico em todo o mundo. No Brasil a principal fonte de geração de E.E são as usinas hidrelétricas, que correspondem por 62% da geração de energia no país, aproximadamente 28% da energia é gerada em termelétricas, e 10% são produzidas por usinas eólicas, fotovoltaicas e importações de outros países (ANEEL, 2018).

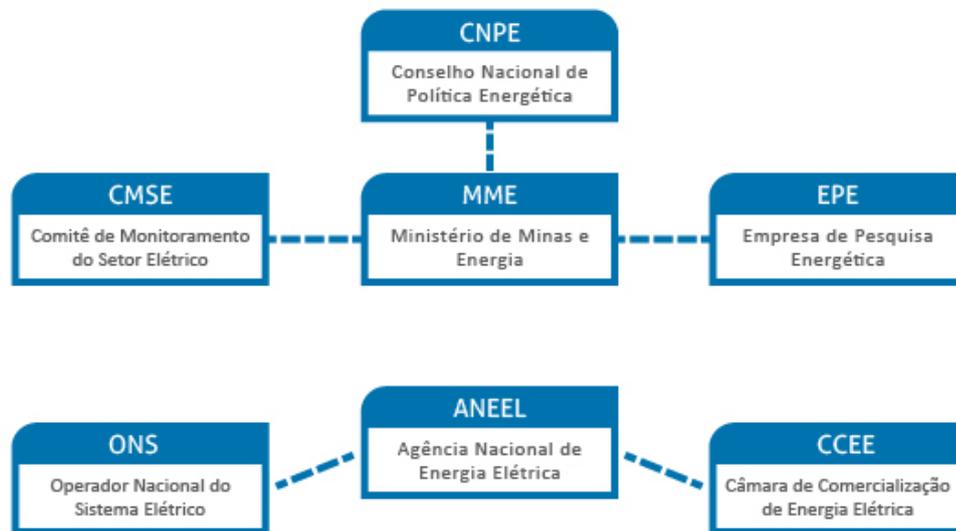
De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, suas mais variadas formas de energia é fundamental para a sobrevivência humana. Com o tempo foi buscando-se várias fontes alternativas, captando-se do local em que se vive de modo com que nunca falem recursos, possibilitando estes vários tipos de fontes existentes. Sendo assim, a eletricidade se transformou essencial para o desenvolvimento socioeconômico de vários países e regiões.

### **2.1 Setores Elétricos Brasileiro**

De acordo com ANEEL (2008), com a implantação do Novo Modelo do Setor Elétrico, o Governo Federal em 2004, através das leis nº 10.847/2004 e nº 10.848/2004, por meio da regulação das políticas para o setor de energia elétrica como competência do poder Executivo Federal, e por meio do Ministério de Minas e Energia (MME) e assistência do Conselho Nacional de Políticas Energética (CNPE) e do Congresso Nacional. Foram criados novos agentes para efetuar estudos do crescimento do nosso sistema elétrico, um destes agentes foi a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). E a criação para negociação da energia no mercado livre, conhecida como Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

O novo modelo do setor elétrico manteve a agência reguladora ANEEL, e o encarregado de supervisionar a operação centralizada do sistema interligado brasileiro, Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Na Figura 1 é mostrada a atual estrutura do setor elétrico brasileiro.

Figura 1 – Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro

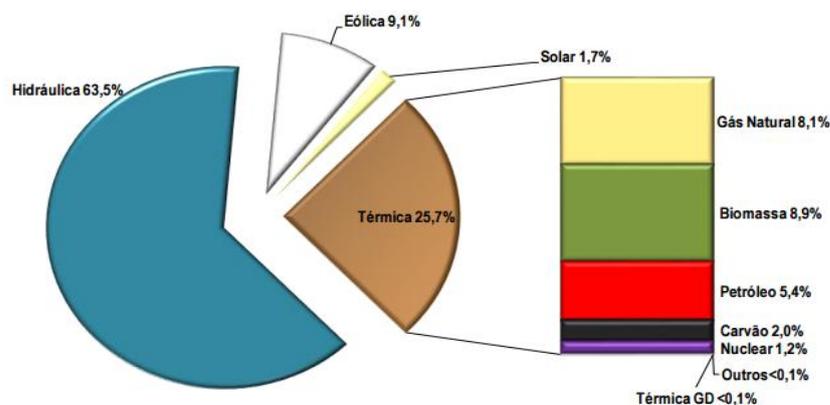


Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Atualmente o sistema elétrico é dependente do sistema hídrico, onde nossa potência de instalação é parcialmente dependente dela, sendo assim é necessário a utilização de extensão de linhas de transmissão e instalações que repartem e distribuem a energia para o consumo. (ANEEL, 2002)

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2019), em abril de 2019, a capacidade total de geração de energia elétrica no Brasil atingiu a marca de 165.709 MW, apresentando um aumento significativo a cada ano de fontes renováveis. O fato pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Matriz elétrica brasileira em abril de 2019.



Fonte : Inpe (2019).

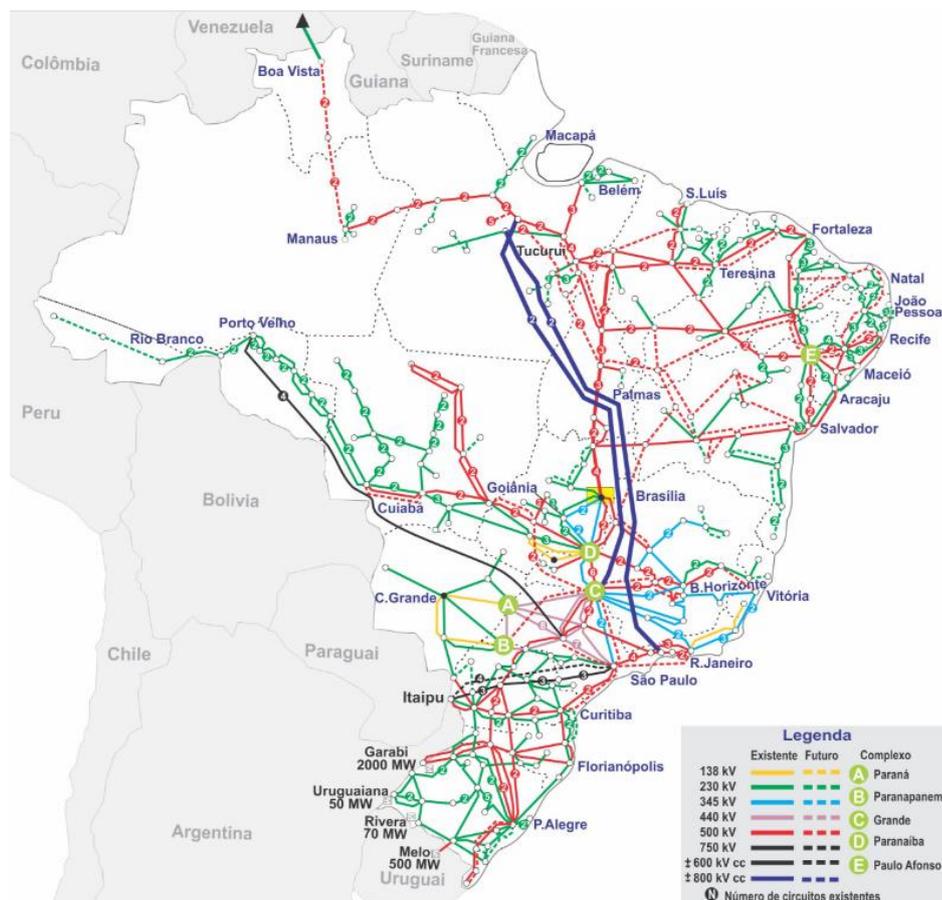
O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) possui uma dimensão que o torna único na escala mundial, ele está quase todo conectado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), ele é formado por empresa de todas as regiões do país, e constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte.

Conforme o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o SIN é responsável na transmissão de 98,4% da total da capacidade de geração brasileira. Não atingindo 100% pois há uma parte isolada no qual corresponde 1,6% restante de transmissão interna na região norte.

O SIN permite, quando ocorrer falta de energia em certas regiões ser transferido de um sistema para o outro, oferecendo eletricidade onde está faltando, e onde há pouca fazer o armazenamento para que não ocorra falta de energia constantemente.

A Figura 3 mostra o mapa do ONS que representa a extensão do SIN.

Figura 3 – Sistema Interligado Nacional

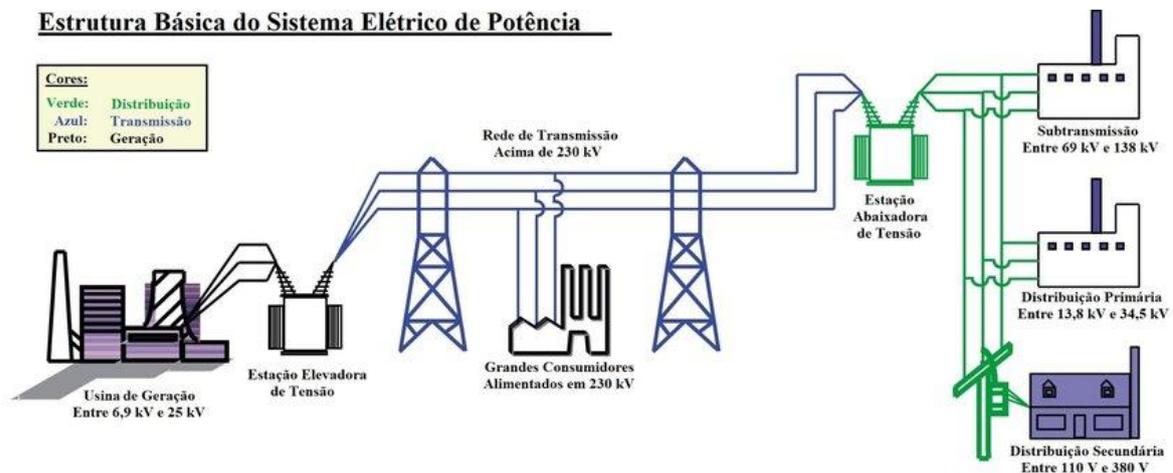


Fonte: ONS (2019).

### 2.1.1 Estrutura do sistema elétrico de potência

O sistema elétrico de potência é uma rede onde engloba a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Segundo Ferreira (2011) é uma rede interconectada para transformar energia não elétrica em energia elétrica, com a possibilidade de carregar esta energia por distâncias incalculáveis, eles chegam a ser definidos como críticos, pois possuem várias falhas e podem acabar com perdas econômicas, danos físicos ou ameaça a vida humana. A representação do Sistema Elétrico de potência (SEP) pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4 – Representação do Sistema Elétrico de Potência



Fonte: Ferreira (2011).

#### 2.1.1.1 Geração

De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADDEE (2014) a geração é uma etapa de obtenção e transformação da energia oriunda de fontes primárias, sendo parte da indústria de eletricidade encarregada pela geração de energia elétrica e inseri-la no sistema de transmissão e distribuição para que chegue ao consumidor final. A capacidade instalada do parque gerador de energia elétrica no Brasil no final de 2015 era de 140,8 GW, segundo o balanço energético nacional 2016 (EPE/MME, 2016). A maior parte deste total – 91,6 GW, ou seja, 65% eram constituídos por usinas hidroelétricas. Já as termoeletricas correspondem a 39 GW, ou 28%, das usinas eólicas a 7,6 GW, ou 5%, e as

usinas nucleares a 2,0 GW, ou 1%. De acordo com a Tabela 1, o comparativo da capacidade instalada na matriz energética do ano de 2014 ao 2024.

Tabela 1 – Parque gerador instalado no Brasil em 2014 e projeções para 2024

Fontes de geração	Capacidade instalada em MW		Participação no crescimento, em %
	2014	2024	
<b>Hídrica</b>	89.789	116.972	36.7
<b>Térmica</b>	8.576	8.416	-0.2
<b>Gás Natural</b>	11.043	21.219	13.7
<b>Nuclear</b>	1.990	3.395	1.9
<b>Biomassa</b>	11.000	18.000	9.4
<b>Eólica</b>	5.000	24.000	25.6
<b>Solar</b>	480	7.000	8.8
<b>PCH's</b>	5.000	8.000	4.0
<b>Total</b>	132.878	207.002	100.0

Fonte: Adaptado a partir de dados do Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (EPE, 2015)

#### 2.1.1.2 Transmissão

Através das subestações e dos transformadores, que são responsáveis em reduzir a tensão da energia de média para baixa, para os consumidores receberem em suas residências energia para usufruir.

De acordo com Fontes (2011) o passo da condução da energia elétrica de alta potência (acima de 138 kV), das usinas as subestações. O maior perigo da transmissora é a perda de receita pela indisponibilidade de fato, já que os usuários são limitados e conhecidos (distribuidoras, consumidores livres).

#### 2.1.1.3 Distribuição

Segundo a ANEEL (2015) como regra geral no Brasil o sistema de distribuição é considerado um conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam a tensões inferiores a 230 kV.

De acordo com a Lei (2018), este passo ocorre à redução de tensão para níveis mais seguros dentro das subestações. Para este processo dá-se o nome de distribuição primária e

distribuição secundária ocorre depois dos transformadores, onde acontece novo rebaixamento para utilização segura em equipamentos elétricos, sendo esta rede de distribuição de baixa tensão.

Segundo a ANEEL (2018) o Brasil possui atualmente 63 concessionárias de energia do serviço público de distribuição. Na Tabela 2 apresenta as dez maiores concessionárias distribuidoras do Brasil de energia elétrica.

Tabela 2 – Total de consumo de eletricidade em GWh nas dez maiores empresas distribuidoras brasileiras em 2017.

	<b>Distribuidora</b>	<b>GWh</b>	<b>Consumo Brasil (%)</b>
1°	<b>Cemig</b>	50.716	10.9
2°	<b>Eletropaulo</b>	43.019	9.2
3°	<b>CPFL</b>	29.989	6.4
4°	<b>Copel</b>	28.610	6.1
5°	<b>Light</b>	25.061	5.4
6°	<b>Celesc</b>	23.991	5.1
7°	<b>Coelba– Neoenergia</b>	19.623	4.2
8°	<b>Elektro</b>	16.525	3.5
9°	<b>Bandeirante</b>	14.540	3.1
10°	<b>Piratininga</b>	13.730	2.9
	<b>Total</b>	264.449	56.8

Fonte: EPE/MME (2018).

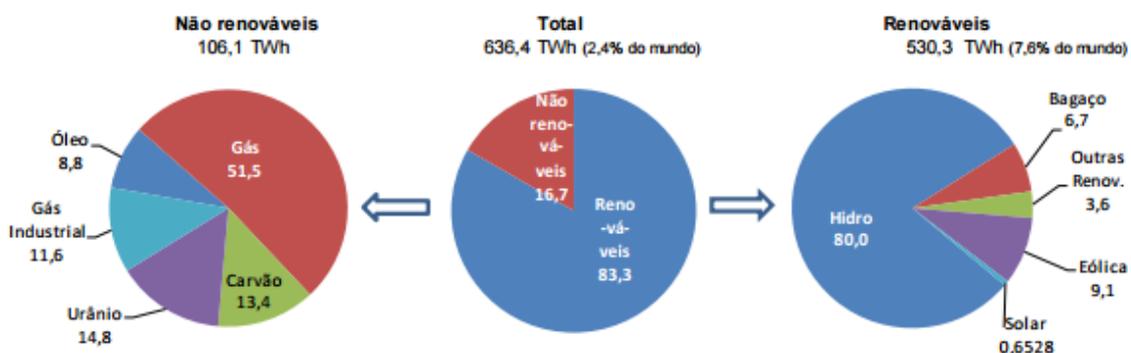
## 2.2 Tipos de fontes de energia

O setor de energia elétrica contribui de forma significativa para as emissões de gases do efeito estufa. Entende-se como questão de eficiência energética e a geração de energia distribuída precisam caminhar juntas para evitar possíveis impactos futuramente.

Pois com o passar dos anos, o mundo está tendo alterações no clima devido á queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento. Segundo MME (2018), a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) foi estimada em 642,2 TWh, mostrando um aumento de 2,8% sobre 2017. A energia eólica continua aumentando sua participação e a solar iniciando um forte processo de incremento, sendo assim as fontes renováveis atingiram no ano de 2018 uma

marca de 83,3% de participação na matriz de Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE). A Figura 5 ilustra a matriz da OIEE, o total mostra as vantagens comparativas dos 83,3% das fontes renováveis na matriz brasileira, contra 16,7% na média mundial.

Figura 5 – Oferta Interna de Energia Elétrica 2018 (%).



Fonte: MME (2018).

### 2.2.1 Energia não renováveis

De acordo com Barquete (2013), energias não renováveis irão extinguir com o passar do tempo com sua utilização, esta fonte de energia são finitas ou esgotáveis, define-se que sua reposição é lenta, pois é de acordo com a natureza, quanto mais usufrirmos dela menos estoque teremos, são exemplos destas fontes de energia, como petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear.

Além do mais, essas fontes de energia não são achadas de forma única distribuídas pelo mundo, ao contrário das fontes de energia renovável que são encontradas com um fluxo contínuo de energia na natureza.

### 2.2.2 Energias Renováveis

Energia renovável, conhecida como energia limpa, vem de fontes naturais ou processos que são constantemente reabastecidos. Por exemplo, a água, luz do sol, o vento, mesmo que sua disponibilidade dependa do tempo e do clima (SOUSA, 2010)

Embora a energia renovável seja frequentemente considerada uma nova tecnologia, o aproveitamento do poder da natureza tem sido usado há muito tempo para aquecimento, transporte, iluminação e entre outros. O vento tem barcos motorizados para navegar pelos

mares e moinhos de vento para moer grãos. O sol forneceu calor durante o dia e ajudou a acender fogos para durar até a noite. Mas nos últimos 500 anos, os seres humanos cada vez mais se voltaram para fontes de energia mais baratas e sujas, como o carvão e o gás fraturado.

Agora que existem formas cada vez mais inovadoras e menos dispendiosas de capturar e reter energia eólica e solar, as fontes de energia renováveis estão se tornando uma fonte de energia mais importante, pelo fato de não afetar o meio ambiente. Sua expansão está acontecendo em grande escala, como a fonte solar que pequenas placas solares no telhado de casa, podem vender sua energia de volta para a rede.

À medida que o uso de recursos renováveis continua a crescer, um objetivo chave será modernizar a rede de eletricidade, tornando-se mais inteligente, mais segura e mais integrada entre as regiões (ANEEL, 2018).

#### 2.2.2.1 Energia Solar

Os seres humanos têm aproveitado a energia solar a milhares de anos - para cultivar, manter-se aquecido e secar os alimentos. Segundo o Laboratório Nacional de Energia Renovável, “mais energia do sol cai sobre a Terra em uma hora do que é usada por todos no mundo em um ano”. Hoje, usamos os raios solares de muitas maneiras - para aquecer casas e empresas, para aquecer a água, ou dispositivos de energia (ANEEL, 2018).

As células solares, ou fotovoltaicas, são feitas de silício ou outros materiais que transformam a luz solar diretamente em eletricidade, que por meio da iluminação natural existe o aproveitamento a partir destas placas solares de forma direta. A radiação solar também é absorvida e transformada para gerar calor, sendo que 30% da radiação é voltada para o espaço, 50% é absorvida pela atmosfera, pela superfície terrestre e oceanos transformada em calor, os 20% restantes pertencente ao ciclo de evaporação, precipitação e circulação da água (Garcez & Lucilia, 2010).

Os sistemas de energia solar não produzem poluentes do ar ou gases do efeito estufa e, desde que esteja localizada de maneira responsável, a maioria dos painéis solares tem poucos impactos ambientais além do processo de fabricação, sendo assim como outras fontes de energia possui suas vantagens e desvantagens como demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da energia solar.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Não há resíduos e nem poluentes	Variação climática
Não necessita de turbinas e geradores	Pouco eficiente sua forma de armazenamento
Para cada metro quadrado instalado, evita-se a inundação de 56 m <sup>2</sup> com novas usinas hidroelétricas	Não existe produção noturna

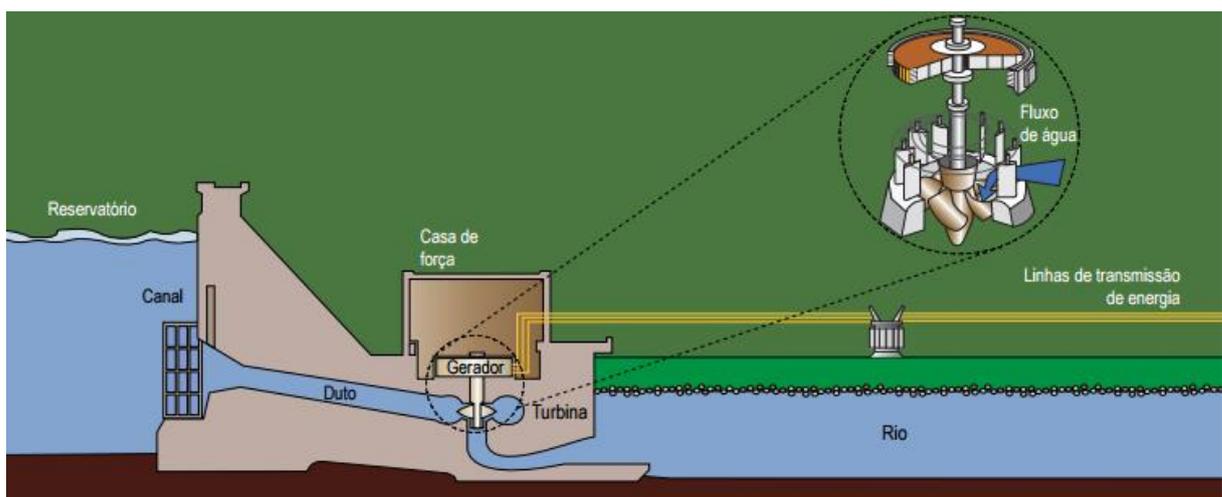
Fonte: Fadigas (2011).

### 2.2.2.2 Energia Hidráulica

O fluxo das águas é o combustível da geração de energia a partir da fonte hidráulica. Segundo dados da ANEEL (2008) a água é o recurso natural mais abundante do planeta, estima-se o potencia hidráulico do Brasil seja da ordem de 260 GW.

Obtém-se energia elétrica através do potencial gravitacional da água contida em uma represa elevada em energia cinética, através da água que faz girar a turbina. A turbina é ligada por um eixo a um gerador de energia transformando o movimento giratório da turbina em energia elétrica. Após esta transição a água volta pro seu percurso natural através do canal de fuga como pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 – Representação funcionamento de uma usina hidráulica.



Fonte: Atlas de Energia Elétrica, ANEEL (2008).

Igual a outras fontes de energia, a energia hidroelétrica possui vantagens e desvantagens que podem ser visualizadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens das hidroelétricas.

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESvantagens</b>
Não há resíduos e nem poluentes	Impactos a populações indígenas e tradicionais que terão suas terras inundadas
Proporciona o crescimento turístico no local	Na época da piracema os peixes são os mais prejudicados, por conta das barragens
É recurso renovável	Perda por evaporação

Fonte: Fadigas (2011).

### 2.2.2.3 Energia Eólica

Segundo a ANEEL (2002), denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água.

Para que seja aproveitável a utilização da energia eólica como fonte de energia, é fundamental que sua densidade seja maior ou similar a  $500\text{W/m}^2$ , uma altura de 50 metros e uma velocidade média de 6 a 8 m/s.

A definição das classes de energia é mostrada na Tabela 3 onde mostram a velocidade média e sua densidade.

Tabela 3 – Definição das classes de energia.

Classe	Mata		Campo aberto		Zona costeira		Morros		Montanhas	
	$V_m$ (m/s)	$E_m$ ( $\text{W/m}^2$ )	$V_m$ (m/s)	$E_m$ ( $\text{W/m}^2$ )	$V_m$ (m/s)	$E_m$ ( $\text{W/m}^2$ )	$V_m$ (m/s)	$E_m$ ( $\text{W/m}^2$ )	$V_m$ (m/s)	$E_m$ ( $\text{W/m}^2$ )
4	> 6	> 200	> 7	> 300	> 8	> 480	> 9	> 700	> 11	> 1250
3	4,5 – 6	80 - 200	6 – 7	200 - 300	6,5 - 8	250 - 480	7,5 – 9	380 – 700	8,5 – 11	1250
2	3 – 4,5	25 - 80	4,5 – 6	80 - 200	5 – 6,5	100 - 250	6 – 7,5	200 – 380	7 – 8,5	300 -
1	< 3	< 25	< 4,5	< 80	< 5	< 100	< 6	< 200	< 7	< 300

Fonte: Panorama do Potencial Eólico no Brasil, 2003.

Como todas as fontes de energia possuem vantagens e desvantagens segue listados estes pontos no Quadro 3.

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens da energia eólica.

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
O vento é renovável e nunca irá acabar	O vento é imprevisível, pois há dias que ventam demais ou não
Pode haver cultivo na área de instalação ao redor	Pode matar aves
Não produzem resíduos e nem gases do efeito estufa	Afetam o sistema de radar e sinal de televisão em áreas próximas

Fonte: Fadigas (2011).

#### 2.2.2.4 Biomassa

Segundo a Cortez (2008), “qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa”. Pode ser de origem florestal (principalmente madeira), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, etc.) e urbano/industrial (resíduos sólidos ou líquidos).

A biomassa é considerada como um combustível limpo e renovável e uma alternativa barata no poder de aquisição, e a emissões de gases não contribuem para o efeito estufa, pouco agressiva para o meio ambiente do que outras provenientes de combustíveis fósseis diminuindo o risco ambiental.

No Quadro 4 uma diferença entre as vantagens e desvantagens para utilização desta energia renovável.

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens da biomassa.

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Baixo poder de aquisição da matéria prima	Poder calorífico baixo
Menor agressividade das cinzas no meio ambiente do que as dos combustíveis fósseis	Maior custo de investimento para remoção do material particulado
Baixo risco ambiental	Dificuldade de estocagem e armazenamento

Fonte: Cortez (2008).

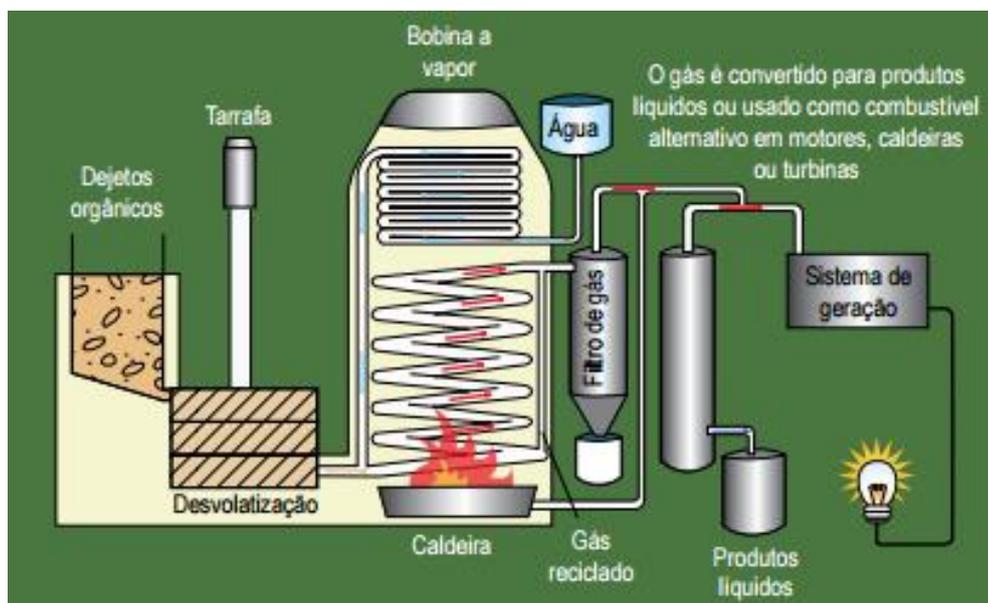
### 2.2.2.5 Biogás

O processo de utilização do biogás gerado em aterros sanitários é o mais simples para explorar o potencial energético dos RSU para geração de energia. Esta é uma alternativa que pode ser aplicada para gerenciar e resolver os problemas relacionados à emissão de gases de efeito estufa.

A transformação do potencial energético do biogás em eletricidade é feita a partir de uma estação central de processo, onde são os equipamentos de captura e potência do biogás geração. A geração de eletricidade a partir do biogás é realizada usando dispositivos que convertem o produto químico energia, presente neste combustível gasoso, em eletricidade (BANCO MUNDIAL, 2005).

Este a conversão pode ser realizada de várias maneiras, contudo, a tecnologia mais utilizada são as turbinas a gás e os motores de combustão interna. Motores de combustão interna são mais usados. A aplicação deste sistema apresenta uma boa relação custo-benefício devido ao seu baixo custo de investimento e facilidade de operação e manutenção, segue como exemplo na Figura 7, o perfil esquemático de uma usina de biogás para geração de energia elétrica.

Figura 7 – Perfil esquemático de uma usina biogás.



Fonte: Atlas de Energia Elétrica, ANEEL (2008).

O biogás uma vez que é composto por metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), na Tabela 4, apresenta-se a composição básica do biogás (MARQUES, 2012). A utilização do aterro na produção de energia permite o encaminhamento e o uso dos gases na redução do volume dos dejetos em estado sólido.

Tabela 4 – Composição básica do Biogás.

<b>Composição</b>	<b>Porcentagem do Volume de Gás Produzido (%)</b>
<b>Metano (<math>\text{CH}_4</math>)</b>	50-70%
<b>Dióxido de Carbono (<math>\text{CO}_2</math>)</b>	25-50%
<b>Nitrogênio (<math>\text{N}_2</math>)</b>	0-7%
<b>Gás Sulfídrico (<math>\text{H}_2\text{S}</math>)</b>	0-3%
<b>Oxigênio (<math>\text{O}_2</math>)</b>	0-2%
<b>Hidrogênio (<math>\text{H}_2</math>)</b>	0-1%
<b>Amoníaco (<math>\text{NH}_3</math>)</b>	0-1%
<b>Monóxido de Carbono (<math>\text{CO}</math>)</b>	0-0,2%
<b>Gases em Menor Concentração</b>	0,01-0,6%

Fonte: CETESB (2011).

O gás carbônico e o sulfídrico devem receber uma atenção especial, pois são um problema direto na viabilização no armazenamento e na produção de energia, alterando a qualidade do biogás. Altas concentrações destes gases acarretam no problema de corrosão no sistema de condução do biogás, no processo de transformação de energia necessitando de tratamento (MAGALHÃES, 1986).

Existem três formas para o uso do lixo como energia, uma delas é a combustão direta dos resíduos sólidos. O meio da gaseificação através da produção do calor pelas reações químicas e a terceira que é utilizada para a produção do biogás onde a representação artificial do processo natural onde o microorganismo em um ambiente anaeróbico cria a decomposição da matéria orgânica, como consequência gera a emissão do biogás.

### **3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Geração distribuída (GD) é utilizada para esclarecer que a geração de energia elétrica efetuada junta ou próxima aos consumidores finais, independente da fonte de energia a ser utilizada ou da tecnologia aplicada e potência gerada, de acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE).

A energia elétrica é um produto comercial e essencial para o conforto e desenvolvimento do homem, com a necessidade e a importância da energia elétrica, foram necessárias as normas para regulamentar a sua qualidade, de acordo com os estudos da ANEEL(2012) aproximadamente de 46% do consumo de energia elétrica é representada por indústrias, e uma grande quantidade dessa energia é perdida.

Ainda de acordo com o INEE, a geração em si transforma o sistema mais confiável e estável junto as as cargas, pois mantém em níveis apropriados a sua tensão, possibilitando um alívio de sobrecarga e congestionamento no sistema de transmissão.

Com incentivos a própria geração de energia através de fontes renováveis ou cogeração, foram criadas Resoluções Normativas nº482/2012 e atualizada pela 687/2015 (ANEEL, 2012). Ficando mais fácil de entender o sistema elétrico Brasileiro e para encontrar possíveis mudanças na geração distribuída (GD), possibilitando a geração de energia.

#### **3.1 Legislações referentes à geração distribuída**

O Decreto 5.163/04 de 30 de julho de 2004 (BRASIL, 2004), é a primeira legislação que regulamenta a comercialização de energia elétrica, por meio desta escritura permite liberações e autorizações de geração de energia elétrica.

Por meio da resolução normativa 482 publicada pela ANEEL em 17 de abril de 2012, mostra as condições gerais para acesso de micro e mini-geração de energia elétrica, com o sistema de compensação de energia e toda sua parametrização. Por meio desta resolução qualquer consumidor poderá gerar sua própria energia elétrica cumprindo com os padrões determinados na norma para micro e mini-geradores, e as etapas estabelecidas nos processos de distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional (ANEEL, 2016).

Qualquer fonte renovável para produção de energia a resolução normativa autoriza sua instalação. As regras definem como micro geração distribuídas a central geradora com até 75 kW potência instalada e pra mini-geração com potência acima de 75kW e menor a 5 MW,

sendo MW para fonte hídrica, interligadas na rede de distribuição através das unidades consumidoras (ANEEL, 2016).

Como os modelos de gerações distribuídas têm crescido com o passar do tempo desde as primeiras instalações, a estimativa é que até 2024 mais de 1,2 milhões de consumidores passem a produzir sua própria energia, totalizando um total de 4,5 GW de potência instalada (ANEEL, 2016).

### 3.2 Gerações distribuídas no Brasil

Regulamentos possibilitaram o avanço da geração distribuída nos estados brasileiros, no ano de 2019, o Brasil superou a marca de 1GW em geração distribuída, pelo fato de viabilizar a mudança do consumidor com a energia elétrica. Como órgão regulador precisou manter o equilíbrio e sempre visar novas tecnologias a geração distribuída (ANEEL, 2019).

Os consumidores brasileiros estão utilizando como fonte de micro e mini-geração distribuída, a fonte de energia solar fotovoltaica que possui 82,6 mil instaladas nestas duas opções, e cerca de 870 megawatts (MW) de potência instalada. Em segundo lugar aparecem as centrais geradoras hidrelétricas (CGHs), com 86 usinas instaladas e 81,3 MW de potência (ANEEL, 2019).

Os estados que mais aderiram à micro e mini geração, superando 10 mil unidades, foram de acordo com a Tabela 5, essas unidades consumidoras são as que recebem créditos pela energia gerada.

Tabela 5 – Classificação dos 3 estados por geração distribuída.

<b>Estado</b>	<b>Potência Instalada</b>	<b>Unidades distribuídas</b>
Minas Gerais	212,3 MW	16,7 mil
Rio Grande do Sul	144,4 MW	12 mil
São Paulo	117,4 MW	14,5

Fonte: ANEEL (2019).

É importante ressaltar que a ANEEL não responsabiliza pelo financiamento e nem pelos geradores das instalações, o consumidor deverá arcar e ver relação custo x benefício na instalação, com base nas fontes de energia. Ainda que sua energia seja injetada na rede sua conta não será zerada, pois consumo mínimo para baixa tensão é de 30 kWh (monofásico), 50

kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Em caso de alta tensão, a fatura poderá ser zerada, caso a energia injetada seja maior que a consumida devido à demanda contratada.

## **4 BIOGÁS – TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO**

Atualmente, os maiores problemas mundiais são a necessidade de energia e o aumento da produção de lixo, o biogás chega como uma fonte alternativa e acaba se tornando uma saída viável para geração de energia.

### **4.1 Biogás**

O biogás é resultante de uma fermentação anaeróbica (na ausência de ar) através de resíduos sólidos urbanos (RSU) e dejetos de animais. O biogás é obtido por misturas com cerca de 60% do volume total composto por metano, e os 40% restante composto por gás carbônico e outros gases (NUNES, 2017)

Para aproveitar melhor o potencial destes gases gerados pelos aterros sanitários, investir em confinamento destes gases para geração de energia causando uma diminuição de poluentes evitando o efeito estufa.

#### **4.1.1 Energia do Biogás**

A conversão do biogás em energia elétrica possui várias formas devido às novas tecnologias existentes. Atualmente, as tecnologias mais utilizadas são micro turbinas a gás e motores de combustão interna de ciclo Otto e Diesel. Com o alto custo as micro turbinas e o tempo de vida útil operando com biogás ainda é baixo (NUNES, 2017).

#### **4.1.2 Biodigestor**

O biodigestor está se consolidando uma ótima solução em equipamento para o tratamento dos resíduos, pois possibilita a agregação de valor ao dejetos, estabelecendo a matéria orgânica, e produzindo biogás que pode ser útil na geração de energia e biofertilizante que substituindo o adubo químico nas plantações (NUNES, 2017).

Segundo Nunes (2017) o biodigestor é uma central onde possui uma câmara fechada passando por um processo de fermentação da biomassa e o biogás é canalizado para ser separado e apropriado para geração de energia. Como mostra a Figura 8, o biodigestor anaeróbico é composto, por uma caixa de entrada do material orgânico, o recipiente para

abrigar e permitir a digestão da biomassa, o gasômetro para armazenar o biogás e a caixa de saída.

Figura 8 – Esquema básico de um biodigestor.



Fonte: Oliveira (2009).

As etapas de digestão anaeróbia, em geral, podem ser descritas em quatro estágios (BNDES,2014):

- a) Pré-tratamento;
- b) Fermentação dos resíduos;
- c) Recuperação do biogás,
- d) Tratamento dos resíduos digeridos;

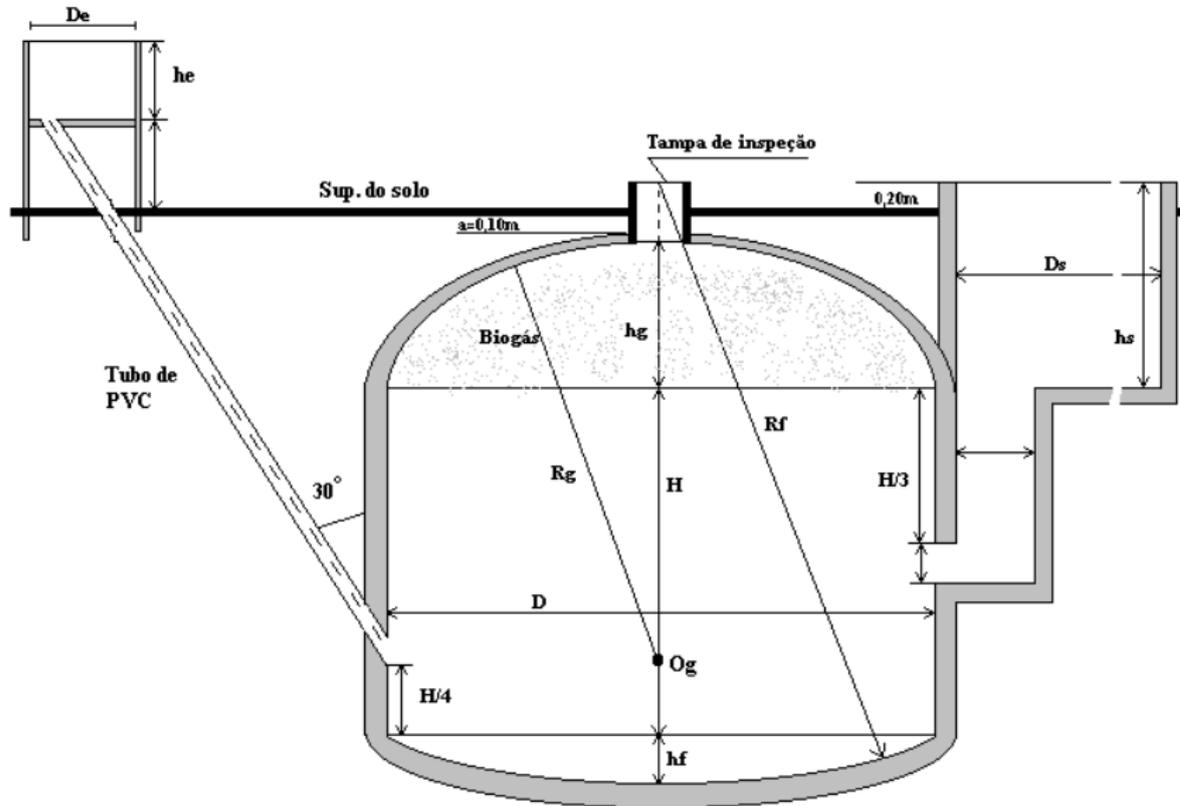
Os biodigestores são moldes gigantes estimados para digerir a biomassa de diversas origens, como os RSU, que demonstram sérios impactos ambientais caso não forem tratados do modo correto, causando poluição no lençol freático e na atmosfera. Os modelos de biodigestores encontrados são os modelos indiano, chinês e o fluxo tubular canadense.

#### 4.1.2.1 Biodigestor com cúpula fixa (Modelo Chinês)

Produzido em alvenaria para fermentação e enterrado no solo com a intenção de ocupar menos espaço, este modelo criado tem efeito para pequenas propriedades rurais, além de mais barato em relação aos outros modelos. Seu funcionamento é como uma prensa hidráulica, de modo com que o aumento da pressão no seu interior resulta no acúmulo do biogás resultando deslocamentos efluentes da câmara de fermentação para a caixa de saída e pro lado ao contrario quando ocorre a descompressão. Este modelo é mais utilizado para produção de biofertilizante por ter uma cúpula fixa tornando não apropriado para o acúmulo de biogás devido á sua área de reserva (OLIVEIRA, 2009).

A Figura 9 mostra a vista frontal em corte do biodigestor, e a Figura 10 mostra o modelo tridimensional, mostrando os elementos para sua construção.

Figura 9 - Biodigestor com cúpula fixa (Modelo Chinês)

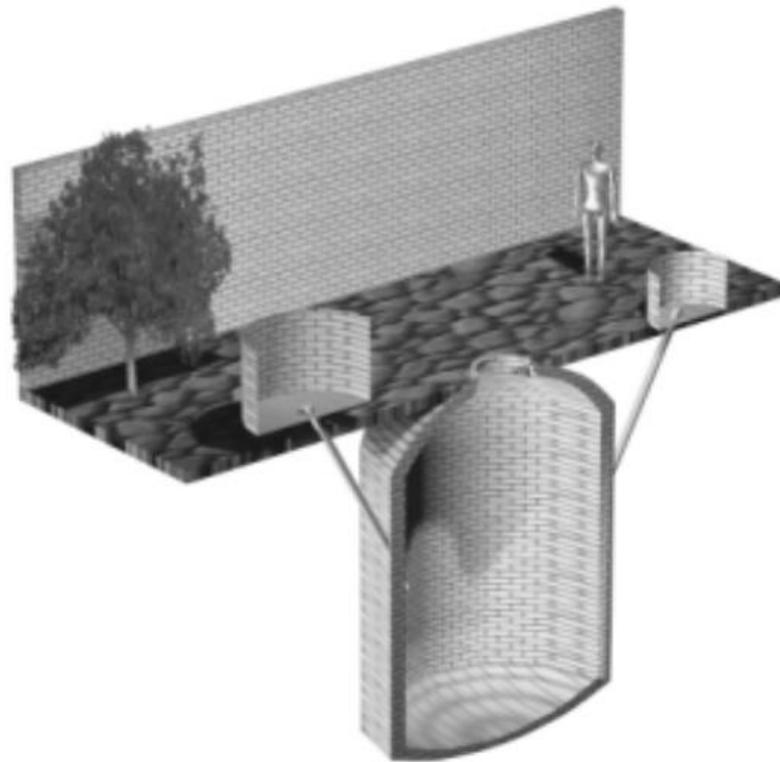


Fonte: Oliveira (2009).

Observando a Figura 9, define-se:

- a)  $D$  - é o diâmetro do corpo cilíndrico;
- b)  $H$  - é a altura do corpo cilíndrico;
- c)  $H_g$  - é a altura da calota do gasômetro;
- d)  $h_f$  - é a altura da calota do fundo;
- e)  $O_f$  - é o centro da calota esférica do fundo;
- f)  $O_g$  - é o centro da calota esférica do gasômetro;
- g)  $h_e$  - é a altura da caixa de entrada;
- h)  $D_e$  - é o diâmetro da caixa de entrada;
- i)  $h_s$  - é a altura da caixa de saída;
- j)  $D_s$  - é o diâmetro da caixa de saída;
- k)  $A$  - é o afundamento do gasômetro;

Figura 10 – Representação tridimensional.



Fonte: Oliveira (2009).

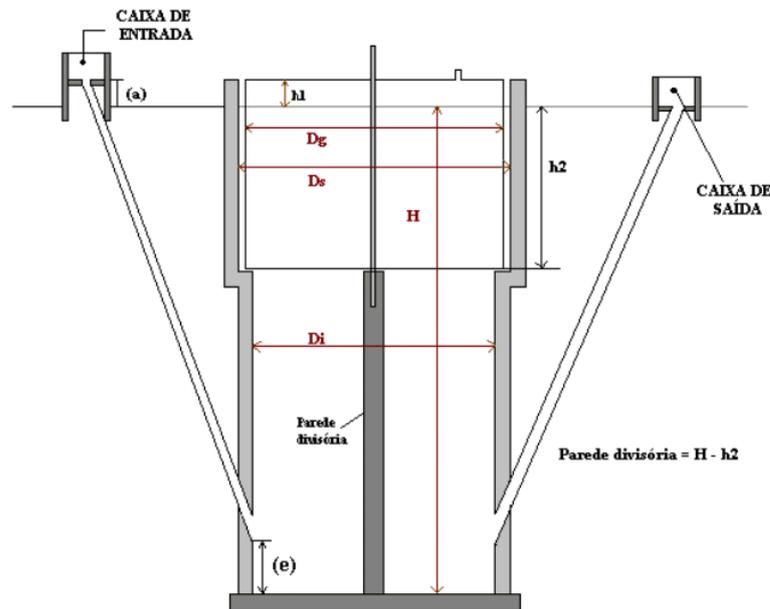
#### 4.1.2.2 Biodigestor com campânula flutuante (Modelo Indiano)

A referência deste biodigestor apresenta uma campânula flutuante, pois é constituído de uma câmara de digestão e de um depósito de gás móvel. A parede central que separa o tanque de fermentação em duas câmaras tem como função fazer com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. Este modelo possui uma pressão de operação constante, de acordo com que o volume do gás gerado não é gasto de imediato, ocorre a interrupção fazendo com que a pressão se mantenha. Como o gasômetro esta sobre o substrato ou em cima do selo de água, suas perdas diminuem ao longo do processo de produção de gás.

Como sua campânula flutuante consegue manter a pressão de escape de biogás estável, não precisando regular de forma constante isso se torna vantajoso em comparação aos outros biodigestores, porém sua construção que é feita em metal seu custo sai um pouco maior em comparação aos outros pois além de necessitar de reparos constantes por conta da oxidação do metal, tornando um ponto fraco neste quesito (ORTOLANI, 1991).

A Figura 11 mostra a vista frontal em corte do biodigestor, mostrando os elementos para sua construção.

Figura 11 – Biodigestor com campânula flutuante (Modelo Indiano)



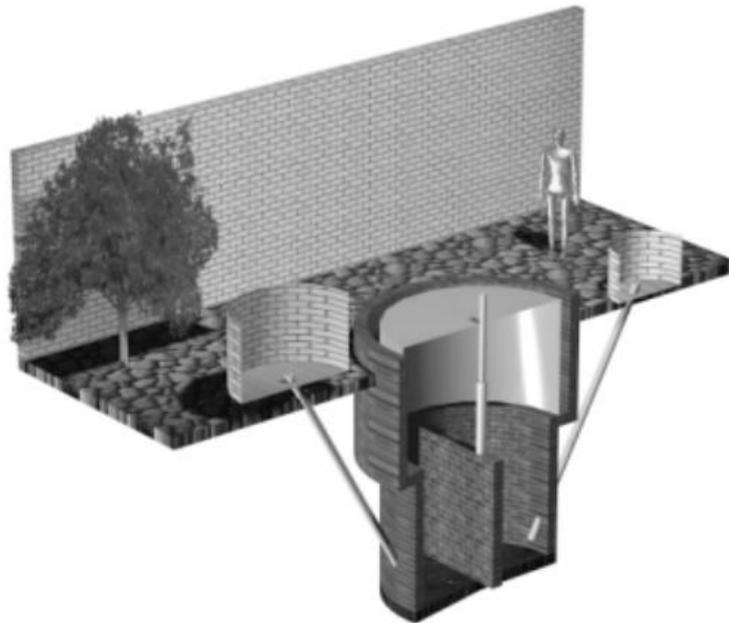
Fonte: Oliveira (2009).

Observando a Figura 11, define-se:

- a) H - é a altura do nível do substrato;
- b) Di - é o diâmetro interno do biodigestor;
- c) Dg - é o diâmetro do gasômetro;
- d) Ds - é o diâmetro interno da parede superior;
- e) h1 - é a altura ociosa (reservatório do biogás);
- f) h2 - é a altura útil do gasômetro.
- g) a - é a altura da caixa de entrada.
- h) e - é a altura de entrada do cano com o afluente.

A Figura 12 mostra a representação tridimensional em corte mostrando todo o interior do biodigestor.

Figura 12 – representação tridimensional biodigestor.



Fonte: Oliveira (2009).

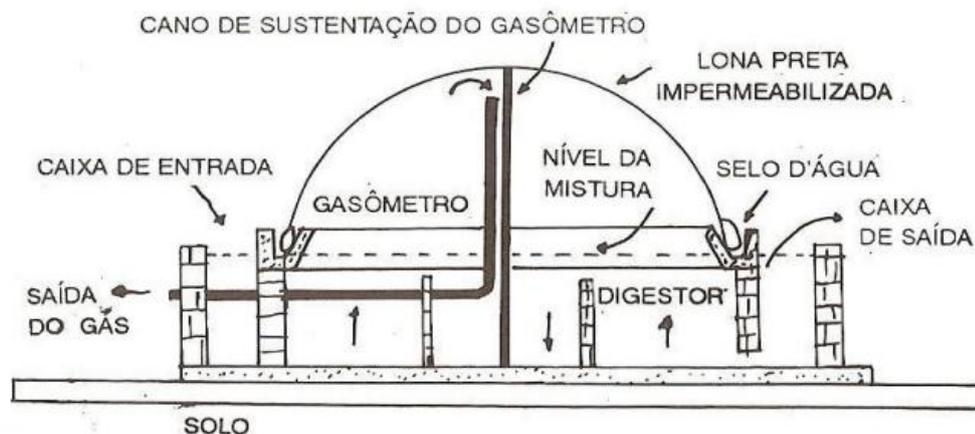
#### 4.1.2.3 Biodigestor fluxo tubular

Este biodigestor foi elaborado pela Marinha na década de 1970, onde exibe uma base quadrangular, com paredes revestidas por lona impermeável e uma cúpula de lona preta. Para uma maior eficiência ele precisa ser raso e um longo comprimento, e gás por massa fermentada. Seu uso existe uma limitação em relação ao espaço para sua instalação, por exigir uma profundidade pequena existe a necessidade de um longo comprimento de área para manter uma grande quantidade de resíduos. Este modelo é apropriado para aterros sanitários, pois se utiliza de vários resíduos orgânicos e pela imensa quantidade de resíduos sofrendo uma fermentação anaeróbia, possibilitando uma grande quantidade de biogás. (JUNQUEIRA, 2014).

Comparando este modelo ao indiano, a sua vantagem é de poder receber inúmeras quantidades de resíduos sólidos. Em comparação ao modelo Chinês, pode ser visto no fato do modelo sofrer rachaduras na sua estrutura devido a composição do solo Brasileiro que sofre muita acomodação, como consequência perdas de gases e monitoramento diário.

A Figura 13 mostra a vista frontal em corte do biodigestor, mostrando os elementos para sua construção.

Figura 13 – Modelo Biodigestor fluxo tubular.



Fonte: Oliveira (2006).

O Quadro 5 apresenta a comparação dos três tipos de biodigestores mencionados.

Quadro 5 – Comparativo dos biodigestores.

	<b>Chinês</b>	<b>Indiano</b>	<b>Fluxo Tubular</b>
<b>Materiais</b>	Tijolo, cimento, pedra e areia.	Tijolo, cimento, pedra, areia, ferro ou alumínio.	Tijolo, cimento, pedra, areia e plástico.
<b>Isolamento Térmico</b>	Feito dentro da terra, ótimo isolamento e temperatura constante.	Possui perda de calor pela câmara de gás, difícil isolamento, não indicado para clima frio.	Não possui perda de calor.
<b>Perda de gás</b>	Revestimento superior com materiais impermeáveis e não poroso, não possui estocagem.	Não há.	Não há.
<b>Manutenção</b>	Limpeza bimestral.	Pintura anual.	Limpeza anual.

Fonte: Oliveira (2009).

## 5 ESTUDO DE CASO

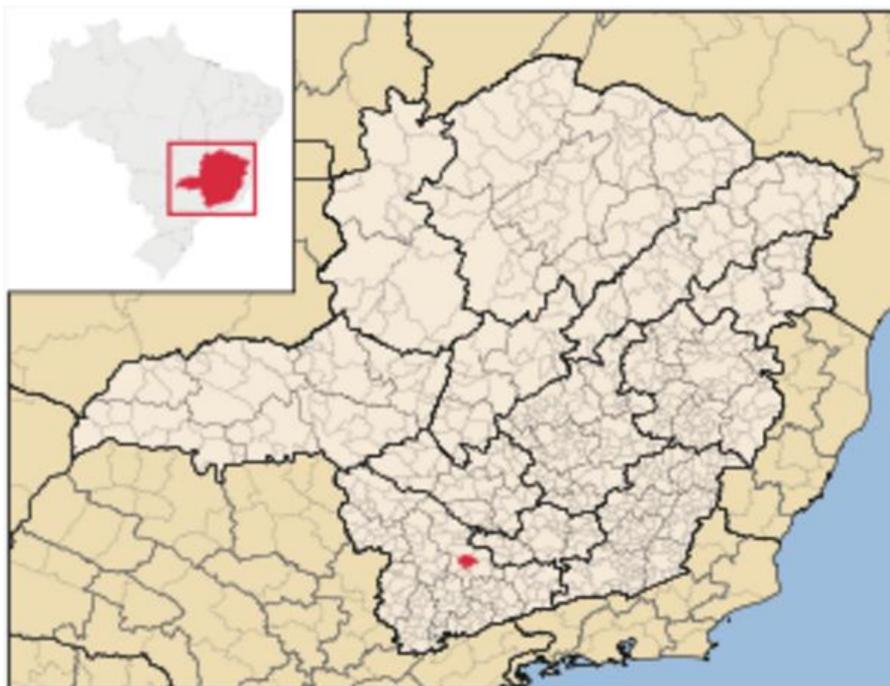
Neste trabalho resolveu-se mostrar a possibilidade em volta das tecnologias de geração distribuída, tendo como foco principal as tecnologias do biogás oriundas do aterro sanitário. Justifica-se a uma análise de viabilidade e estudos futuros para implantação de uma usina da cidade de Varginha - MG, para objeto direto de estudo do caso apresentado.

### 5.1 Dados do Município

O Município de Varginha está localizado na região do Sul de Minas (Figura 14), com cerca de 340.11 hab/km<sup>2</sup>, às margens do Lago de Furnas, e ao mesmo tempo equidistantes a três capitais do Brasil: São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro. Sua altitude máxima é de 1.239 m, no morro do Chapéu, e altitude mínima é de 868 m, na foz do córrego do Tijuco. O clima da região é tropical, e possui cerca de 137.477 habitantes de acordo com o IBGE (2018).

O relevo é bem diversificado, sendo: 4% plano, 80 % ondulado e 16% montanhoso. Situada na bacia do rio Grande, o município é banhado pelo Rio Verde que é formador do braço sul da represa de Furnas, juntamente com o Rio Sapucaí.

Figura 14 – Localização da cidade.

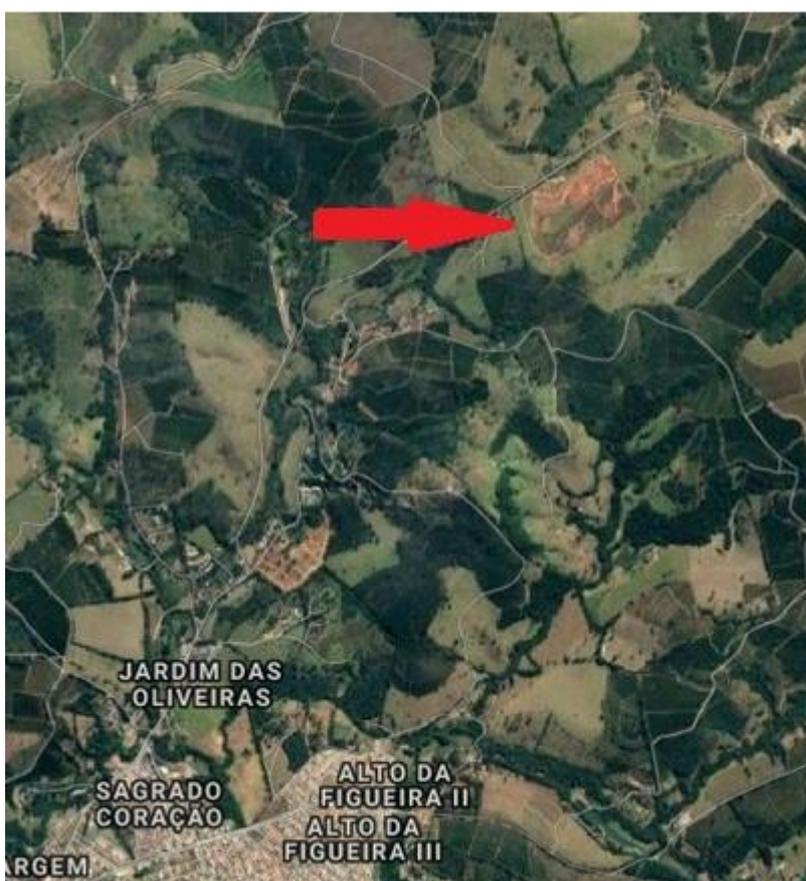


Fonte: Wikipédia (2019).

## 5.2 Visitas técnicas

Para realização deste estudo considerou-se importante e estratégico a realização de uma visita técnica ao Aterro Sanitário da cidade de Varginha está localizado a 10 km do centro da cidade de acordo com a Figura 15, que fica na rodovia MG-157, sentido Carmo da Cachoeira – MG, o acesso se dá a partir da Avenida dos Tachos, esta abordagem permitiu o conhecimento técnico aprofundado, do aterro sanitário.

Figura 15 – Localização do Aterro Sanitário.



Fonte: Google Maps (2019).

Resumidamente, as características construtivas e operacionais do aterro de Varginha:

- a) A área total do terreno é de 20 hectares, com utilização direta de 150.000 m<sup>2</sup> e outros 8.000 m<sup>2</sup> destinado à área de preservação;
- b) Início das operações 7 de julho de 2017;
- c) Altura do maciço de aproximadamente 40 metros, contando com 8 plataformas de 5 metros. (Figura 16).

Figura 16 – Vista breve do aterro sanitário.



Fonte: O autor (2019).

- a) A quantidade atual de resíduos diariamente destinados ao aterro é de aproximadamente 2800 toneladas;
- b) A taxa per capita de geração de resíduos sólidos urbanos de 0,678 kg/hab.dia;
- c) Adotando a população do município projetada pelo IBGE (2018), o município conta com 137,477 habitantes;
- d) Composição gravimétrica média conforme a Tabela 6, a seguir:

Tabela 6 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares de Varginha/MG

<b>Material</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Composição (%)</b>
Papel	215,53	10,10
Papelão	68,29	3,20
Vidros	102,43	4,80
Plástico Duro	70,47	3,30
Plástico Fino	128,73	6,03
Plástico PET	44,81	2,10
Alumínio	2,13	0,10
Ferrosos	49,94	2,34
Outros Metais	27,74	1,30
Ossos	26,63	1,25
Borrachas	21,08	0,99
Couro	22,19	1,04
Cerâmica	34,4	1,61
Madeiras	26,63	1,25
Pedra	34,4	1,61
Trapos	27,19	1,27
Outros	38,84	1,82
Matéria Orgânica	1.192,91	55,89
<b>Total</b>	<b>2.134,34</b>	<b>100,00</b>

Fonte: RCA, 2003

- a) Impermeabilização da base com uma camada de argila compactada com espessura aproximada de 1m;
- b) Impermeabilização nas encostas executada com manta de PEAD com espessura de 1,5 mm;
- c) Resíduos dispostos em camadas com aproximadamente 5 metros de espessura;
- d) Operação do aterro pelo método de rampa, com compactação por trator de esteira;
- e) A cobertura diária dos resíduos com argila e resíduos de construção e demolição (RCD), com uma camada de cobertura entre 20 e 30 cm de espessura aproximadamente;
- f) A drenagem pluvial no entorno da área do aterro realizada por um sistema de canalização;
- g) Inclinação das bermas responsável pela drenagem pluvial no maciço;
- h) Distanciamento médio entre os drenos de biogás existentes é de aproximadamente 40 m;
- i) Perfil construtivo dos drenos em manilhas de concreto com diâmetro de 1 metro conforme a Figura 17 e preenchidos com pedras, conforme a figura 18;

Figura 17 – Dreno de biogás atual.



Fonte: O autor (2019).

Figura 18 –Preenchimento com pedras no dreno.



Fonte: O autor (2019).

- a) Drenos de gás são interligados aos drenos horizontais de drenagem de líquidos;
- b) Rotina de inspeção nos drenos para verificação da queima apropriada de biogás e acendimento daqueles que se apagaram, com frequência;
- c) Total de 15 drenos de biogás instalados;
- d) Fração de CH<sub>4</sub> no gás do aterro de 50% v/v;
- e) Aproximadamente 70% dos drenos de biogás apresentam vazão de gás suficiente para manterem-se acesos permanentemente;

### 5.2.1 Uso do biogás

Com diversas tecnologias para conversão energética do biogás, o processo efetua a transformação de um tipo de energia em outra, no caso biogás a energia química em suas moléculas. (Silva, 2008).

### 5.2.2 Cálculos do potencial de metano

Para análise potencial de gás metano, os parâmetros utilizados são a partir da digestão anaeróbia, e do tempo que o resíduo permanece aterrado. Parâmetros como temperatura, pH e concentração de substâncias tóxicas estão presentes na decomposição da matéria orgânica, quando a equação apresentar algum, e a concentração de matéria orgânica entram em outro fator cinético (ALVES, 2000).

Existem métodos para o cálculo de geração de biogás e metano em aterros sanitários, de acordo com o Cepea (2014), há dois conjuntos de parâmetros que a legislação recomenda para geração de metano em aterros sanitários: AP42 e CAA.

- a) AP42 utiliza os parâmetros de potencial de geração de biogás ( $L_0$ )=100 m<sup>3</sup>/ton ou 0,1m<sup>3</sup>/kg de lixo e da constante de geração de metano ( $k$ )=0,04 1/ano. Essa produção de metano é conservadora.
- b) CCA utiliza os parâmetros de  $L_0$ =170 m<sup>3</sup>/ton ou 0,17 m<sup>3</sup>/kg de lixo e de  $k$ =0,091/ano. A matéria orgânica ( $L_0$ ) varia de 140 até 190 m<sup>3</sup>/ton no Brasil.

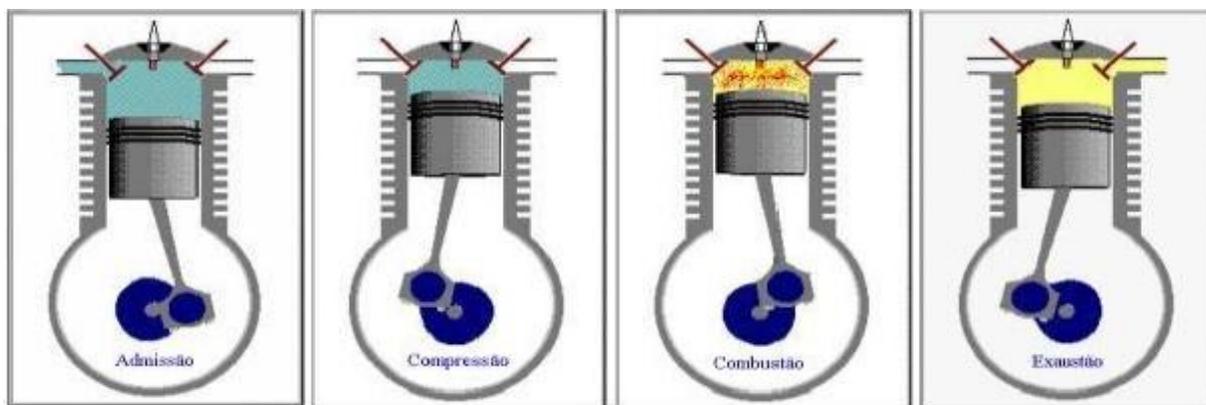
Estes parâmetros  $L_0$  e  $k$  são os mais importantes na equação, pois demonstram variações de acordo com o local a ser realizado o cálculo. O fator  $k$  varia de 0,003 a 0,21 (1/ano), porém, nas condições brasileiras o fator pode ser aplicado com magnitudes de 0,04 até 0,15 de acordo com os dados do CEPEA( 2014).

Já para o parâmetro  $L_0$ , de acordo com o IPCC de 1996, indicam a variação de menos de 100 para mais de 200  $m^3$  de  $CH_4$  por tonelada de resíduos. Nosso resíduo tem uma quantidade de matéria orgânica de aproximadamente 60% segundo dados do CEPEA (2004). Por essa razão, este estudo adotou 160  $m^3$  de  $CH_4$ /ton de resíduos.

Considerando-se a composição dos resíduos do aterro de Varginha/MG, segundo informações colhidas no aterro sanitário da cidade, estima-se o valor de  $k=0,091$ /ano para equação do guia IPCC de 1996. O coeficiente de degradação foi adaptado de acordo com o clima e o índice pluviométrico da cidade. De acordo com *Environmental Protection Agency* (EPA) recomendam-se valores entre 0,04 a 0,15 por ano.

Então se considera a eficiência dos equipamentos de conversão de energia elétrica, que como no Brasil o mais utilizado é o motor de ignição por faísca mais conhecido ciclo Otto, onde este tipo de motor ocorre a mistura combustível/ar que é admitida no interior dos cilindros e inflamada por uma faísca que ocorre entre os eletrodos de uma vela, demonstrado na Figura 19, este será o conversor considerado e sua eficiência é estimada em 34%, segundo CEPEA (2004).

Figura 19 – Etapas do ciclo Otto.



Fonte: Figueiredo (2007).

De acordo com Silva (2008) baseado no estudo de Bracknell, 1996, a metodologia recomendada leva em consideração “a degradação anaeróbia do resíduo gera grande quantidades de metano logo após seu aterramento e esta geração se estende por anos tornando cada vez mais reduzida”. A Equação 1 representa este comportamento:

$$E = 2 \cdot L_0 \cdot R \cdot k \cdot e^{-k \cdot idade} \quad (1)$$

Onde:

- a) E = emissões (metano gerado por m<sup>3</sup>)
- b) L0= potencial de geração de biogás (m<sup>3</sup> por kg de resíduo)
- c) R = resíduos depositados no ano (kg)
- d) k = Constante de geração de metano
- e) Idade = idade média do resíduo (ou do aterro)

Aplicando a equação 1 para o aterro na cidade de Varginha - MG, com dados de 2019.

- a) L0=0,19
- b) R= (137.477\*0,678\*365) = 34.021.433,19 kg
- c) k=0,09
- d) Idade = 10 anos
- e) E = m<sup>3</sup>/ano

Estima-se um valor de 473.057,22 m<sup>3</sup>/ano, de emissão de biogás. Depois de calculada a emissão de metano por ano no aterro, deve-se considerar o poder calorífico do biogás, que varia de 8.500 kcal/m<sup>3</sup> a 12.000 kcal/ m<sup>3</sup>, chega-se a produção de:

$$E * 10000 \text{ kcal/m}^3 = 473.057,22 \text{ m}^3/\text{ano} * 10000000 \text{ cal/m}^3$$

$$E = 4,730 \times 10^{12} \text{ cal/ano}$$

$$E = 19790,32 \times 10^{12} \text{ J/ano}$$

Corrigindo este valor pela eficiência dos equipamentos, considera-se 34%,  
Wh/ano\*0.34 = 6.728,70 MWh/ano.

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Segundo dados obtidos através da cartilha da Cemig, podemos observar através da Tabela 7, o consumo médio de uma família constituída de 4 pessoas.

Tabela 7 – Consumo Mensal.

Ambiente	Equipamentos	Uso	Consumo (kW/h)
<b>Sala</b>	Iluminação	23W x 3h/dia x30 dias	2.07 kW/h
	Tomadas (TV LCD 32'')	170W x 5 h/dia x 30 dias	25.5 kW/h
<b>Dormitório 1</b>	Iluminação	23W x 1h/dia x30 dias	0.69 kW/h
	Tomadas (computador)	100W x 2h/dia x 30 dias	6 kW/h
<b>Dormitório 2</b>	Iluminação	23W x 2h/dia x30 dias	1.38 kW/h
	Tomadas (ventilador)	90 W x 2h/dia x 30 dias	5.4 kW/h
<b>Cozinha</b>	Iluminação	23W x 4h/dia x30 dias	2.76 kW/h
	Tomadas (liquidificador)	300W x 0.25h x 30 dias	2.25 kW/h
	Geladeira	120 W x 24h x 30 dias	86.4 kW/h
	Microondas	1200 W x 1h x 30 dias	36 kW/h
<b>Área de serviço</b>	Iluminação	23W x 1h/dia x30 dias	0.69 kW/h
	Máquina de lavar roupas	500 x 6h/dia x 4 dias	12 kW/h
	Ferro	1000 x 2h/dia x 4 dias	8 kW/h
<b>Banheiro</b>	Iluminação	23W x 2h/dia x30 dias	1.38 kW/h
	Secador de cabelo	1400Wx0.5h/dia 30 dias	21 kW/h
	Chuveiro	5000Wx 2h/dia x 30 dias	300 kW/h
<b>TOTAL</b>			<b>511.52 kW/h</b>

Fonte: Adaptado Cartilha Cemig (2019).

Com base nos dados da tabela 6, e utilizando os resultados do potencial de metano, pode-se chegar à conclusão que:

$$E = 6.728,70 \text{ MWh/ano} * 1000 = 6.728.700 \text{ kWh/ano}$$

$$E = 6.728.700 / 12 = 560.725 \text{ kWh/mês}$$

A quantidade de famílias que esta fonte de energia seria capaz de sustentar seria de aproximadamente 1096 famílias.

$$E/\text{consumo famílias} = 1096 \text{ famílias aproximadamente.}$$

## 7 CONCLUSÃO

Pode-se observar, a partir dos dados expostos que, a cidade de Varginha - MG possui um potencial de geração energética bastante interessante sendo desperdiçado no Aterro Sanitário da cidade e poluindo a atmosfera, junto à adequação do aterro e implantação de projetos de geração elétrica o problema da gestão dos resíduos se resolve juntamente com o da poluição do ar e possibilita uma fonte de energia renovável.

Espera-se que com a criação por meio do biogás através dos resíduos sólidos se torne uma fonte efetivamente competitiva, se forem desenvolvidas e melhoradas os recursos regulatórios, fiscais, sendo capaz de atender os recursos socioambientais.

Através deste potencial da cidade de 137 mil habitantes podemos abrir os olhos para todo o Brasil que esta fonte de energia é bastante importante na diversificação da matriz energética e que temos soluções para diminuir a poluição e gerar energia.

Após toda análise apresentada no estudo de caso, onde se aplicou o dimensionamento juntamente a fonte de energia do biogás, o objetivo foi demonstrar que estamos jogando energia fora e que isso poderia ser usufruído em vários locais, como o exemplo levar energia para 1096 famílias aproximadamente.

Como estudo futuro propõe-se a viabilidade de instalação de uma usina na cidade, e até mesmo uma usina de incineração para diminuir a quantidade de resíduos gerados na cidade e aproveitamento energético, pois é uma solução alternativa vantajosa.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos** no Brasil, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA 2012. ANEEL. **Resolução Normativa N° 482**. 17 de abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA 2015. ANEEL. **Resolução Normativa N° 687**. 24 de novembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração 2019**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em 01 de abril de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA- ANEEL, **Registro de micro e mini-geradores distribuídos efetivados na ANEEL 2016**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/rcMicro.asp>. Acesso em 01 de abril de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADDEE, 2015. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica/>. Acesso em 03 de abril de 2019.

BANCO MUNDIAL. **Estudo de pré-viabilidade para recuperação de biogás no aterro Muribeca**, Pernambuco, Brasil. Relatório Técnico. 2005.

BARQUETE, A.; **O avanço e as melhorias com o uso de energias renováveis, 2013**. 118 f.TCC (Graduação) –Curso de Engenharia Elétrica, Universidade, Universidade de São Carlos, 2013. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-03022014-135847/?&lan=br/>. Acesso em 20 de abril de 2019.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018, ano base 2017**. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf/>. Acesso em: 16 de junho de 2019.

BRASIL. **Decreto n. 5.163 Regulamenta a comercialização de energia elétrica**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm). Acesso em: 05 de junho de 2019.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf/>. Acesso em: 16 de junho de 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME – **Oferta e Demanda de Energia, Instalações Energéticas, Energia no Mundo, ano base 2018**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2019+v2.pdf/66a837a8-4164-4b37-be4a-59a5ad270c50?version=1.0/>. Acesso em: 22 de junho de 2019.

BRASIL. Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. **Mapa de extensão do Sistema Interligado Nacional**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas/>. Acesso em 10 de julho de 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB: **Composição básica do Biogás**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/>. Acesso em 12 de junho de 2019.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Com quem se relaciona o Setor Elétrico Brasileiro**. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/ondeatamos/com\\_quem\\_se\\_relaciona?\\_adf.ctrlstate=17cjtlln7z\\_1&\\_afLoop=1014414757457467#!%40%40%3F\\_afLoop%3D1014414757457467%26\\_adf.ctrl-state%3D17cjtlln7z\\_5/](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/ondeatamos/com_quem_se_relaciona?_adf.ctrlstate=17cjtlln7z_1&_afLoop=1014414757457467#!%40%40%3F_afLoop%3D1014414757457467%26_adf.ctrl-state%3D17cjtlln7z_5/). Acesso em: 30 de julho de 2019.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa, LORA, Electo Eduardo Silva, GÓMEZ, Edgardo Olivares, 2008, **Biomassa para Energia**. 1 ed. Campinas, Editora da Unicamp.

ECYCLE. “**O que é a energia do biogás? Entenda como é produzido e transformado em energia elétrica**”. Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/2972-biogasenergia-eletricidadecombustivel-tratamento-esgoto-aterrobiodigestoresdomestico-comunidade-indiano-chinesvantagensdesvantagens.html/>. Acesso em: 10 de julho de 2019.

FADIGAS, Eliane A. F. Amaral. **Energia Eólica**. Barueri, SP: Manole, 2011.

FERREIRA, Bruno Henrique Montenegro. **Sistema de apoio a prevenção de falhas humanas da operação de SEP em tempo real**, 2011. TCC – Curso Engenharia da Computação, Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, dezembro de 2011

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC - **Quantidade de geração de metano por m<sup>3</sup>**. Referencia Manal, Bracknell, 1996.

LUCAS JÚNIOR, J. Estudo comparativo de biodigestores modelos Indiano e Chinês. Botucatu, 1987, 114p. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista.

MAGALHÃES, Murilo Vill. **Utilização da energia do Biogás como fonte geradora de energia**, 2009 – TCC – Curso de Ciências Econômicas, Universidade Estadual de São Paulo - USP.

OLIVEIRA, Rafael Deléo. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**, 2009 – TCC – Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2009.

ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores rurais: modelo Indiano, Chinês e Batelada. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 3p.

RELATÓRIO DE CONTROLE AMBIENTAL – RCA, **Relatório composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares de Varginha/MG**. Disponível em: [http://www.varginha.mg.gov.br/Pdfs\\_e\\_arquivos\\_de\\_leis/article/10027/Dec6560\(AnexoPlanoMunicipalGIRS\).pdf/](http://www.varginha.mg.gov.br/Pdfs_e_arquivos_de_leis/article/10027/Dec6560(AnexoPlanoMunicipalGIRS).pdf/). Acesso em: 10 de setembro de 2019.

SOUSA, C. S. D. **Proposta de otimização do modelo feed-in português: Comparação dos modelos português, espanhol e alemão**. Dissertação (Mestrado). Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa, 2010.

SILVA, C.L; RABELO, J.M.O; BOLLMANN, H.A.**Energia no lixo: uma avaliação da viabilidade do uso do biogás a partir dos resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT4-1043-947-20080518202346.pdf>. Acesso em: 05 de agosto de 2019.

WIKIPEDIA – Enciclopédia Livre,**Localização da Cidade de Varginha – MG**. Disponível em : <https://pt.wikipedia.org/wiki/Varginha/>. Acesso em 20 de setembro de 2019.