

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA ELÉTRICA
LUIS MATHEUS BATISTA RIBEIRO

**COMPARATIVO TÉCNICO E ECONÔMICO ENTRE A GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA E BIOGÁS PARA A IMPLANTAÇÃO EM UMA FAZENDA**

Varginha

2018

LUIS MATHEUS BATISTA RIBEIRO

**COMPARATIVO TÉCNICO E ECONÔMICO ENTRE A GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA E BIOGÁS PARA A IMPLANTAÇÃO EM UMA FAZENDA**

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. Adilson Amaro da Silva e coorientação do Engenheiro Eletricista Igor Evandro Nogueira de Oliveira.

Varginha

2018

LUIS MATHEUS BATISTA RIBEIRO

**COMPARATIVO TÉCNICO E ECONÔMICO ENTRE A GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA E BIOGÁS PARA A IMPLANTAÇÃO EM UMA FAZENDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: ____ / ____ / _____

Prof. Adilson Amaro da Silva

Prof. Helciner Ferreira

Prof. João Mário Mendes

OBS:

Dedico este trabalho principalmente a meus pais, minha irmã, meus avós e tios, a minha noiva por todo companheirismo e motivação fornecidos ao longo do período cursado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda proteção, saúde e sabedoria, a minha mãe que sempre me apoiou e me deu força, meu pai por toda dedicação que fez tornar meu sonho possível, a minha noiva que sempre me incentivou e me deu forças, meus amigos pela compreensão, meu orientador Adilson Amaro da Silva e meu coorientador Igor Evandro Nogueira de Oliveira por toda paciência e dedicação.

“Eu não sou quem eu gostaria de ser, eu não sou quem eu poderia ser, ainda, eu não sou quem eu deveria ser. Mas graças a Deus eu não sou mais quem eu era!”

Martin Luther King

RESUMO

A questão da gestão energética atual passa por um processo de modificação do pensamento, tanto crítico como analítico. Devido à crise do petróleo, ao aumento da demanda energética e as mudanças climáticas que afetam todo o cenário mundial, destacam-se as necessidades por pesquisas e estudos sobre fontes de energias renováveis, que agridem menos o meio ambiente, trazendo melhorias socioeconômicas e ambientais. Assim, este trabalho tem como objetivo fazer um comparativo técnico e econômico das fontes renováveis de energia sendo elas a solar e biogás em uma propriedade rural, por meio das tecnologias para conversão em energia elétrica, tema de extrema importância, sabendo que deve haver diversidade na matriz energética do país, que atualmente tem uma maioria advinda pela forma hídrica e com grandes extensões de linhas de transmissão, que, com o crescimento populacional e consequentemente um aumento de demanda, pode ficar sobrecarregada. Com a ajuda do referencial bibliográfico obteve-se a capacidade de produção do sistema de biogás e fotovoltaico, em condições ideais. Após, foi feita a análise Econômica e Avaliado ambos os sistemas quanto à viabilidade financeira. Por meio das análises realizadas foi possível concluir que ambos o sistema tem muito potencial, e os dois sistemas tem retorno financeiro devido ao alto custo da taxa da tarifa paga pelo grande produtor rural.

Palavras-chave: Geração distribuída. Fotovoltaico. Biogás. Energia elétrica.

ABSTRACT

The question of the present goes through a process of modification of thought, both critical and analytical. To the crisis to the oil, the increase in the demand for energy and the changes in the global climate are the global events, will not need for economic and environmental development, and the economic environment and economic environment? Thus, this work aims to make a technical and economic comparison of energy sources that are a solar signal and biogas in a rural property, through the technologies for the emission of electric energy, a subject of extreme importance, knowing that there must be matrix of the country, which has a large number of advent by water form and with large extensions of transmission line, which, with population growth and consequently an increase in demand, may be overloaded. With the help of the bibliographic reference, a production capacity of the biogas and photovoltaic system is obtained, under ideal conditions. Afterwards, an economic and environmental analysis of both machines was made. Through the analysis of applications it was possible that both systems have a financial return potential for the high tariff cost paid by the large rural producer.

Keywords: *Distributed generation. Photovoltaic. Biogas. Electricity.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro.....	21
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira em maio de 2017.	22
Figura 3- Representação do Sistema Interligado Nacional	23
Figura 4 - Representação dos elementos fundamentais do SEP.....	24
Figura 5 - Oferta Interna de Energia Elétrica 2016 (%).	26
Figura 6 - Representação do funcionamento de uma usina hidráulica	29
Figura 7- Atlas Eólico Brasileiro	31
Figura 8 – Gráfico da Matriz de consumo final de energia nos anos de 1973 e 2006.....	32
Figura 9 - Fluxograma de produção de biogás para geração de energia elétrica.	38
Figura 10 - Modelo indiano.....	41
Figura 11 - Representação tridimensional modelo indiano.....	42
Figura 12 - Modelo chinês.	43
Figura 13 -Representação tridimensional modelo chinês.....	44
Figura 14 - Biodigestor modelo Marinha.	45
Figura 15 - Efeito fotovoltaico.	47
Figura 16 - Componentes de uma célula fotovoltaica.	48
Figura 17 - Células monocristalinas.....	48
Figura 18 - Células policristalinas.....	49
Figura 19 - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica	50
Figura 20 - Curva I - V.....	50
Figura 21 - Curva P-V.....	51
Figura 22 - Influência da irradiância na curva I – V.	51
Figura 23 - Influência da temperatura na curva I – V.	52
Figura 24 - Compara de curvas I-V de 4 módulos em série.....	54
Figura 25 - Ângulo da declinação solar (δ).	54
Figura 26 - Representação dos ângulos I	55
Figura 27 - Representação dos ângulos II.	55
Figura 28 - Ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos	56
Figura 29 - Grandeza horas de sol pleno.....	57
Figura 30 - Modelo <i>on-grid</i>	58
Figura 31 - Modelo de Sistema <i>off-grid</i>	60
Figura 32 - Exemplo de um sistema híbrido	61
Figura 33 – Localização geográfica da propriedade de estudo	65
Figura 34 - Tanques de armazenamento de leite.	66
Figura 35 - Confinamento das vacas.	66
Figura 36 – Transformador do local.....	68
Figura 37– Ventiladores e Nebulizadores.	72
Figura 38 – Tanques de resfriamento.....	73
Figura 39 – Painéis de temperatura.	73
Figura 40 - Pista de condução de dejetos.	74
Figura 41 - Biodigestores.	75
Figura 42 - Tanque de armazenamento.	75
Figura 43 - Bomba de Sucção.	76
Figura 44 - Tanques de decantação.	76
Figura 45 - Sugador.....	77
Figura 46 – Biogerador.	77
Figura 47 - Datasheet - Biogerador	78
Figura 48 - Queimador	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parque gerador instalado no Brasil em 2014 e projeções.....	24
Tabela 2 - Total de consumo de eletricidade em GWH nas dez maiores empresas distribuidoras brasileiras em 2015.	26
Tabela 3- As dez maiores usinas em operação, região e potência.....	30
Tabela 4 – Geração de biogás e tipo de animal.....	37
Tabela 5 - Histórico de energia elétrica.....	68
Tabela 6 – Levantamento de consumos das baias.....	69
Tabela 7 – Levantamento de consumo do Armazém.	69
Tabela 8 – Levantamento de consumo da Veterinária.	70
Tabela 9 – Levantamento de consumo da ordenha.	70
Tabela 10 - Levantamento de dados de consumo outros locais.	70
Tabela 11 – Tabela total da potência total de consumo.	71
Tabela 12 - Tabela do local.	80
Tabela 13 – Avaliação de recurso solar.....	80
Tabela 14– Cálculo da produção do biogás.....	88
Tabela 15 – geração de energia para o sistema de Biogás	89
Tabela 16– Economia gerada pelo sistema do biogás	91

LISTA EQUAÇÕES

Equação 1	39
Equação 2	39
Equação 3	39
Equação 4	39
Equação 5	52
Equação 6	57
Equação 7	61
Equação 8	62
Equação 9	62
Equação 10	63
Equação 11	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da energia solar.....	28
Quadro 2 - Pontos positivos e negativos usinas hidrelétricas.....	29
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens – Energia eólica.....	31
Quadro 4 - Vantagens e desvantagem da biomassa.....	32
Quadro 5 - Classificação por estado de geradores distribuídos.....	36
Quadro 6 - Comparativo entre os três modelos de biodigestores	45
Quadro 7 - Dados do local de estudo.....	67
Quadro 8 - Características de fornecimento e consumo	67
Quadro 9 - Exposição do telhado	82
Quadro 10 - Características do gerador	82
Quadro 11 - Características dos módulos	82
Quadro 12 - Dados técnicos dos inversores.....	83
Quadro 13 - Dados dos inversores.....	83
Quadro 14 - Característica do gerador.....	84
Quadro 15 - Características dos módulos	84
Quadro 16 - Dados do inversor do gerador dois.....	84
Quadro 17 - Perdas no sistema de geração 1.....	85
Quadro 18 - Perdas no sistema de geração 2.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Altura da Caixa de Entrada
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanco Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CG	Consumo do Gerador
CM	Consumo Médio de Biogás do Motor Gerador
CN	Congresso Nacional
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
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
DS	Diâmetro Interno da Parede Superior
E	Altura de Entrada do Cano Com Afluente
E	Consumo Diário Médio Anual
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de Capacidade
GD	Geração Distribuída
GW	Giga Watts
H	Altura do Corpo Cilíndrico
H	Altura do Nível do Substrato
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
HSP	Horas de Sol Pleno
HSPMA	Média Diária Anual das Hsp Incidente
IEI	International Energy Initiative
IMP	Corrente de Máxima Potência
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
ISC	Corrente de Curto Circuito
K	Índice de Eficiência de Produção de Biogás
KV	Quilovolt
KW	Quilo Watts
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Mega Watts
NBOV	Número de Bovinos Necessário Para a Produção de Dejetos
OF	Centro da Calota Esférica do Fundo
OG	Centro da Calota Esférica do Gasômetro
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCIBIOGÁS	Poder Calorífico do Biogás
PE	Potência Elétrica
PFV	Potência de Pico do Painel
PMAX	Potência Máxima
PNMC	Política Nacional Sobre Mudança do Clima
PR	Performace Ratio
QBIOGÁS	Vazão Biogás
RF	Raio da Calota Esférica do Fundo
RG	Raio da Calota Esférica do Gasômetro
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
TD	Taxa de Desempenho
TG	Período de Geração Horas Dia
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica

TWH	Terawatt-Hora
VBIO	Volume de Biomassa no Biodigestor
VDEJ	Volume Médio de Dejetos Produzidos por Bovino
VMP	Tensão de Máxima Potência
VOC	Tensão de Circuito Aberto
Y	Energia Produzida no Sistema em Relação ao Seu Tamanho
ΔT	Variação de Temperatura da Célula (Graus Célsius)
ΔVOC	Variação de Tensão de Circuito Aberto (V)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 ENERGIA ELÉTRICA.....	20
2.1 Setor Elétrico Brasileiro.....	20
2.1.1 Estruturas do sistema elétrico de potência	23
2.1.1.1 Geração	24
2.1.1.2 Transmissão.....	25
2.1.1.3 Distribuição	25
2.2 Tipos de fontes de energia.....	26
2.2.1 Energia não renováveis	27
2.2.2 Energia Renováveis.....	27
2.2.2.1 Energia solar.....	27
2.2.2.2 Energia hidráulica	28
2.2.2.3 Energia eólica.....	30
2.2.2.4 Biomassa	31
2.2.2.5 Biogás.....	33
3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	34
3.1 Legislações referente à geração distribuída	34
3.2 Geração distribuída no Brasil	35
4 TECNOLOGIAS APLICADAS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	37
4.1 Biogás	37
4.1.1 Energia do Biogás	37
4.1.2 Biodigestor	40
4.1.2.1 Modelo Indiano	40
4.1.2.2 Modelo Chinês	42
4.1.2.3 Modelo fluxo tubular ou modelo marinha brasileira.....	44
4.1.3 Incentivos de financiamento de projeto de tratamento de dejetos.....	46
4.2 Sistemas fotovoltaicos	46
4.2.1 Radiação solar e o efeito fotovoltaico	47
4.2.2 Células fotovoltaicas	47
4.2.2.1 Células monocristalino.....	48
4.2.2.2 Células policristalinas	49
4.2.2.3 Filmes finos.....	49
4.2.3 Módulos fotovoltaicos.....	49
4.2.4 Inversores fotovoltaico.....	52
4.2.5 Efeito de sombreamento.....	53
4.2.6 Orientação	54

4.2.7 Inclinação dos módulos	56
4.2.8 Horas de sol pleno	57
4.2.9 Equipamentos do sistema fotovoltaico	58
4.2.10 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	58
4.2.10.1 Sistemas <i>on-grid</i>	58
4.2.10.2 Sistema isolados (<i>off-grid</i>)	59
4.2.10.3 Sistemas Híbridos.....	60
4.2.11 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico	61
4.2.12 Índice de méritos	62
4.2.12.1 Yield.....	62
4.2.12.2 Performance Ratio.....	62
4.2.12.3 Fator de capacidade.....	63
5 METODOLOGIA.....	64
6 ESTUDO DE CASO	65
6.1 Levantamento de dados e característica do local.....	65
6.2 Diagnostico inicial.....	69
6.2.1 Levantamento de carga.....	69
6.2.2. Automação do sistema	71
6.2.2.1. Zona de Conforto	71
6.2.3.2 Resfriador de leite	72
6.2.3. Biogás instalado	73
6.3 Diagnostico Final.....	79
6.3.1. Sistema Fotovoltaico.....	79
6.3.1.1. Dimensionamento.....	80
6.3.1.2. Perdas nos sistemas e geração de energia.....	85
6.3.1.3. Análise financeira do fotovoltaico	86
6.3.2. Sistema de Biogás	87
6.3.2.1. Potência gerada pelo sistema do biogás proposto	88
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	92
8 CONCLUSÃO.....	94
REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

Um engenheiro tem o dever social de dar soluções a problemas que fogem da habilidade de outro profissional. Ele é o responsável por executar projetos que facilitem e melhorem a vida das pessoas. Assim, tem um grande papel na sociedade: decifrar impasses gerados por motivo de qualquer natureza (sendo essa, a de seu maior conhecimento) dando a eles um desfecho econômico e sustentável.

A expansão da demanda de energia elétrica é um procedimento natural irreversível devido à necessidade e crescimento populacional, aliado a busca por uma melhor qualidade de vida.

Segundo Ribeiro (2012) tem-se como desafio atual tornar o país menos dependente das fontes fósseis, já que estas são demasiadamente agressivas e de recursos naturais finitos. Estudos comprovam que a maior parte da poluição atmosférica é oriunda da queima desses combustíveis fósseis, causando desde aquecimento global até as chuvas ácidas.

A preocupação gradual com o aquecimento global tem conduzido os governos mundiais a discutirem formas de minimizar as emissões de dióxido de carbono, bem como outros gases encarregados pelo aumento do efeito estufa na terra.

Os sucessivos aumentos dos preços da energia elétrica chamam a atenção dos consumidores para a urgência de obter um uso mais eficaz da eletricidade, evitando desperdícios e utilizando equipamentos mais eficientes. Com a visão do governo voltada para esta área, com a integração das legislações 482/2012 e 687/2015, que visam a geração distribuída de energia através de fontes renováveis de energia e subsequentemente indicam os parâmetros para a compensação desta energia elétrica, que é gerada próxima da carga final, um novo patamar em termos de gerar sua própria energia vem se tornando cada vez mais real.

Com a diminuição do custo de tecnologias de geração distribuída e a criação de incentivos para investimentos em fontes renováveis, a geração distribuída renovável começa a se tornar economicamente competitiva, chamando a atenção do consumidor como forma de minimizar o seu gasto com energia e, assim contribuir para amenizar a agressão ao meio ambiente. E para as concessionárias e permissionárias de energia, assim como o papel do governo neste setor, ainda existe a vantagem da não necessidade de expansão do setor de transmissão de energia, que é oneroso, com maior taxa de risco e com maiores perdas.

Na atualidade, a economia cada vez mais competitiva traz o pensamento de inovação, sustentabilidade e a busca pelo diferencial entre as empresas e indústrias, evidenciando atividades voltadas também para o uso eficiente da energia elétrica, melhoria na qualidade do

ambiente ou no processo produtivo, visto que uma empresa que tem uma boa gestão energética evita custos, capital este que pode ser investido em outras áreas, aumentando a produtividade e consequentemente suas margens no mercado. É válido ressaltar que uma empresa sustentável, além de melhorar em termos de auxílio ambiental e economia interna, também ganha destaque em marketing e publicidade.

Tendo em mente que devemos ter energia de forma sustentável, elevando todas as vantagens citadas acima, o presente trabalho realizou - se um comparativo técnico e econômico entre duas fontes renováveis: biogás e energia fotovoltaica, sendo aplicado na fazenda dos dois correios, localizada na cidade de Jesuânia, sul de Minas Gerais. Este comparativo identificou qual das duas formas de energia limpa teve um custo benefício mais agradável, visto que o consumidor paga uma alta taxa de energia elétrica. As duas formas de energias renovável apresentaram muita eficiência devido ao grande potencial do local em estudo.

Perante as novas tecnologias em busca de energias renováveis, a energia solar fotovoltaica e a energia gerada a partir do biogás ganha ênfase por meio de seus inúmeros efeitos positivos, proporcionando ganhos em termos econômicos, ambientais e sociais.

O trabalho, apresenta como alternativa de diminuição de emissão de gases na atmosfera, e como efeito, demonstra quão importante é optar por fontes limpas de energia limpa.

O estudo realizado neste trabalho, remete as vantagens e ganhos de se incluir sistemas de geração de energia elétrica aplicando o biogás e a energia solar como combustível do mesmo jeito do local onde este pode ser inserido.

O escopo deste trabalho está dividido em 9 capítulos. O Capítulo 1 retoma a introdução do tema e do trabalho a ser feito. O Capítulo 2 retrata como é estruturado o Setor Elétrico Brasileiro, conceituando os componentes principais e citando a função de cada órgão. O Capítulo 3 explica sobre a geração distribuída, legislação referente a mesma. O Capítulo 4 demonstra as tecnologias usadas na geração distribuída focando na energia obtida por meio do biogás e na energia fotovoltaica que é o foco principal deste trabalho. O Capítulo 5 demonstra a metodologia a ser efetuada. O Capítulo 6, aonde é apresentado os resultados esperados. O Capítulo 7, onde é apresentado a avaliação econômica. O Capítulo 8, onde será discutido os resultados e discussões. O capítulo 9, é onde está a conclusão do trabalho.

2 ENERGIA ELÉTRICA

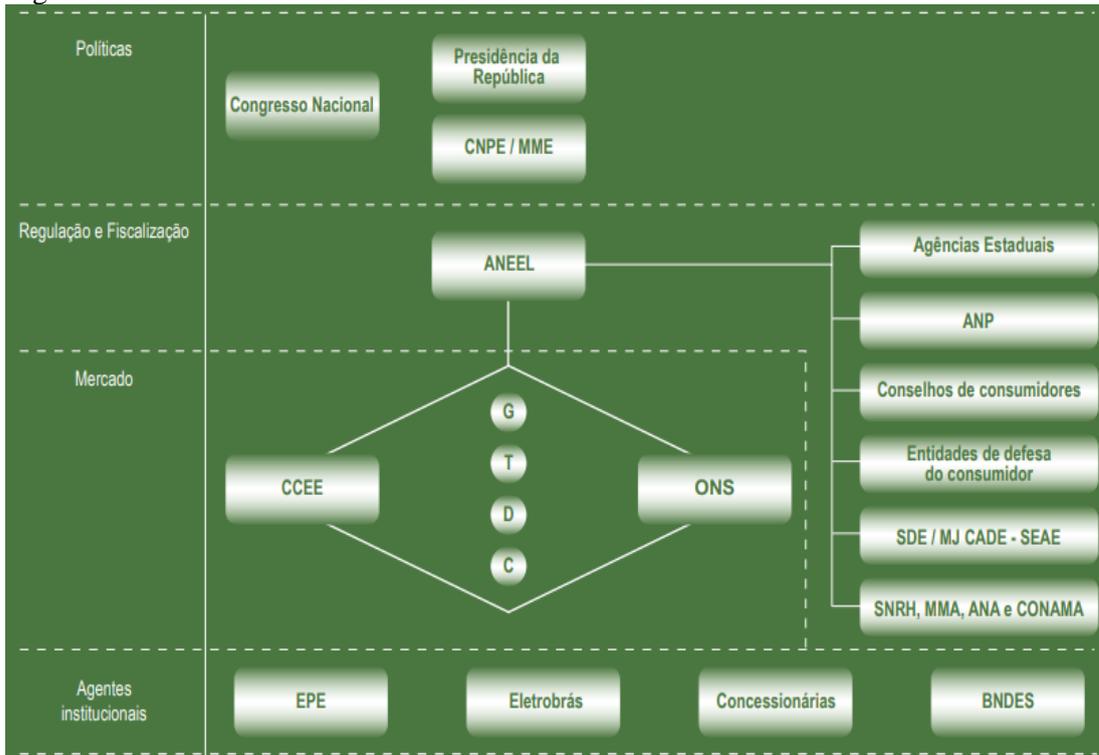
De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2002), nas suas mais variadas formas a energia é fundamental para a sobrevivência da raça humana. O ser humano sempre procurou evoluir buscando formas e fontes alternativas, tentando se adaptar no local em que vive, de modo que a falta de um recurso deve ser suprida pelo surgimento de outros. A eletricidade se transformou essencial para o desenvolvimento socioeconômico de vários países e regiões.

A eletricidade é uma forma de energia que pode ser transformada em outras, como por exemplo, em energia térmica, luminosa, mecânica, química e etc. Ela pode ser formada em várias circunstâncias, como exemplo a queda de água, na qual a energia hídrica está disponível, perto de minas carboníferas ou de refinarias, onde o carvão ou óleo pode ser utilizado de pronto ou próximo dos centros consumidores para onde o combustível pode ser economicamente transportado. (HADDAD, 2004).

2.1 Setor Elétrico Brasileiro

De acordo com Aneel (2008) em 2004, com a implantação do Novo Modelo do Setor Elétrico, o Governo Federal, através das leis nº 10.847/2004 e nº 10.848/2004, conservou a formulação de políticas para o setor de energia elétrica como competência do poder Executivo Federal, por meio do Ministério de Minas e Energia (MME) e assistências do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e do Congresso Nacional. Foram criados novos agentes, um deles é a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), ligada ao MME de qual posto é efetuar os estudos necessários ao planejamento do crescimento do sistema elétrico. Também conta com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), cômada a negociação da energia no mercado livre. O Novo Modelo do Setor Elétrico manteve a Aneel, agência reguladora, e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), encarregado por coordenar e supervisionar a operação centralizada do sistema interligado brasileiro. Na Figura 1 é mostrado a atual estrutura institucional do setor elétrico brasileiro

Figura 1 - Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro



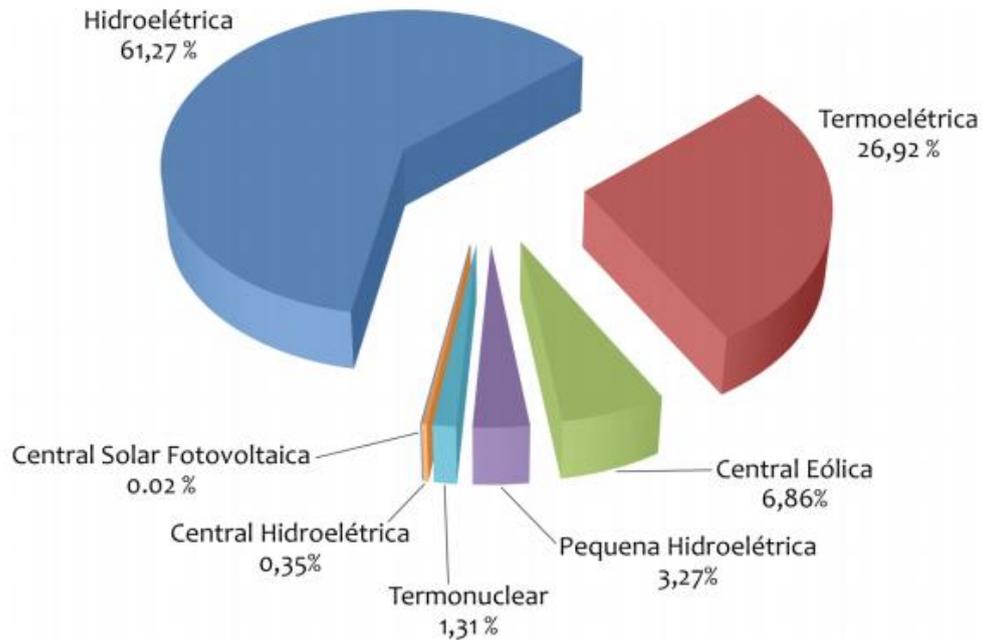
Fonte: Atlas de energia elétrica do Brasil (2008).

Ainda conforme a Aneel (2002) prevê, o sistema elétrico nacional é vigorosamente dependente de energia hídrica e as melhores potência energéticas hidráulicas do país não estão próximos aos grandes centros de consumo, sendo assim necessário a utilização de grandes extensões de linhas de transmissão e instalações que repartem e distribuem a energia para o consumo.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2017) em meados de maio de 2017, a capacidade total de geração de energia elétrica no Brasil chegou perto da marca de 152 GW com presença de várias fontes de energia em menor porcentagem, porém em desenvolvimento. O fato acima pode ser visto na figura 2.

Ainda de acordo com Inpe (2017) outros fatores que chamam a atenção são a grande extensão do território brasileiro e as variações climáticas e hidrológicas do país, o que tende a fornecer excedentes de produção hidrelétrica em certas regiões e períodos do ano.

Figura 2 - Matriz elétrica brasileira em maio de 2017.



Fonte: Inpe (2017).

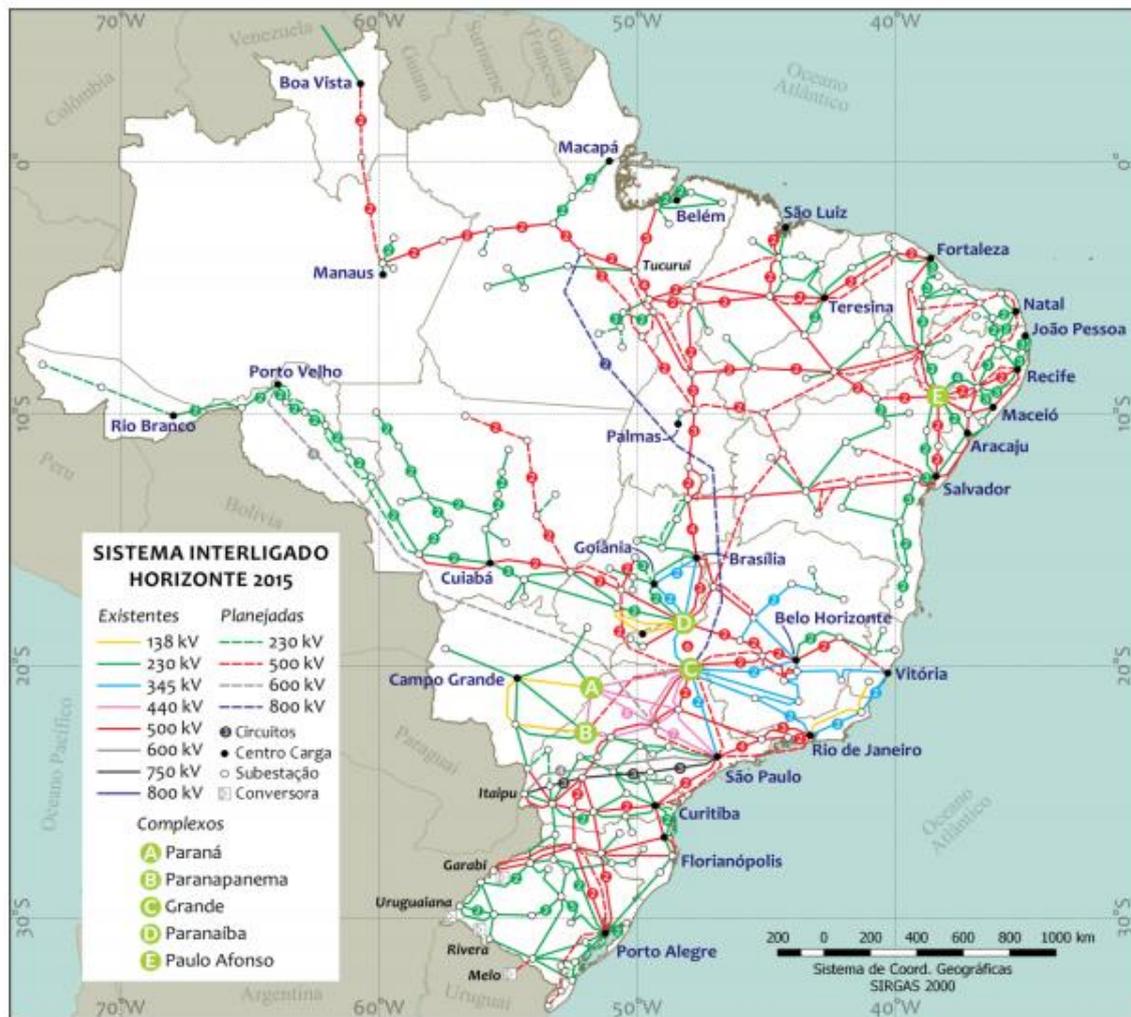
O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) está quase todo conectado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), com característica e tamanho que o torna único em escala mundial. O SIN é formado por empresas das regiões sul, sudeste, centro – oeste, nordeste e parte da região norte (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2015).

Ainda conforme ONS (2015) o SIN é responsável por transmitir 96,6% da total capacidade da geração brasileira. Na região norte do país há o sistema isolado, no qual corresponde 3,4% restante de transmissão interna.

Segundo a *International Energy Initiative* - IEI (2018) a função do SIN é a de interliga e superar as distâncias das usinas, espalhadas pelo país, aos locais de consumo. O SIN permite a transmissão de eletricidade quando existe falta de energia em uma certa região, neste caso, a energia pode ser carregada por esse sistema de um local onde existe mais eletricidade para o outro que tem menos.

A Figura 3 demonstra o mapa do ONS que apresenta a extensão nacional do Sistema Interligado Nacional.

Figura 3- Representação do Sistema Interligado Nacional

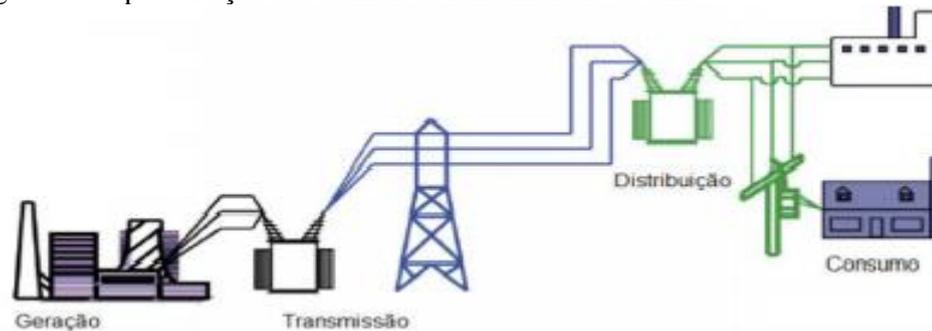


Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2015).

2.1.1 Estruturas do sistema elétrico de potência

Segundo Ferreira (2011) um sistema elétrico de potência é uma rede de componentes interconectados elaborados para transformar constantemente energia não elétrica em energia elétrica, carregar a energia elétrica por distâncias potencialmente grandes, os sistemas elétricos chegam a ser definidos como sistemas críticos sistemas onde falhas podem acabar em grandes perdas econômicas, danos físicos ou ameaças a vida humana. A estrutura simplificada dos componentes que fazem parte do SEP pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4 - Representação dos elementos fundamentais do SEP.



Fonte: Ferreira (2011).

2.1.1.1 Geração

De acordo com a Associação Brasileira De Distribuidores De Energia Elétrica - ABRADDEE (2014) a geração é parte da indústria de eletricidade encarregado por gerar energia elétrica e inseri-la nos sistemas de transmissão e distribuição para que possa chegar até nos consumidores. A capacidade instalada do parque gerador de energia no Brasil segundo a IEI (2018), no final de 2015 era de 140,8 GW (giga watts). A maior parte desse total é de 91,6 GW, cerca de 65% era constituído por usinas hidrelétricas, as usinas termelétricas representam 39,6 GW ou seja 28%, as usinas eólicas a 7,6 GW, ou seja, 5% e as usinas nucleares a 2,0 GW, ou 1%. A tabela 1 demonstra a capacidade instalada da matriz elétrica brasileira planejada para 2024 comparando com a de 2014.

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

Fontes de geração	Capacidade instalada em MW 2014	Capacidade instala em MW 2024	Participação no crescimento, em%
Hídrica	89.789	116.972	36,7
Térmica	8.576	8.416	0,2
GN	11.043	21.219	13,7
Nuclear	1.990	3.395	1,9
Biomassa	11.000	18.000	9,4
Eólica	5.000	24.000	25,6
Solar	480	7.000	8,8
PCHs	5.000	8.000	4,0
Total	132.878	207.002	100,00

Fonte: Adaptado de International Energy Initiative (2018).

2.1.1.2 Transmissão

De acordo com Fontes (2011) a transmissão de energia elétrica é o procedimento de conduzir energia de alta potência (acima de 138 kV), das usinas as subestações. O principal perigo que a transmissora possui é a perda de receita pela indisponibilidade da rede de fato tal risco de descumprimento não existe, já que os usuários são limitados e conhecidos (distribuidoras, consumidores livres).

Segundo a Abradee (2015) a interrupção de uma linha de transmissão pode abalar cidades inteiras e pode afetar até mesmo estados. No Brasil contam com 77 concessionárias, responsáveis pela administração e operação de mais de cem mil quilômetros de linhas de transmissão, ligadas aos geradores consumidores ou, às empresas distribuidoras.

2.1.1.3 Distribuição

De acordo com a Aneel (2015), como regra maior no Brasil, o sistema de distribuição pode ser classificado como um grupo de instalações e equipamentos elétricos que opera, em tensões inferiores a 230 kV.

De acordo com Iei (2018), ao chegar nas redes das empresas distribuídas, a tensão da corrente elétrica diminui, porém, para atingir as casas dos consumidores, ela precisa diminuir ainda mais. Isso acontece graças a ajuda das subestações e dos transformadores, que diminuem a tensão da energia de média para baixa.

Por esse motivo o consumo da energia elétrica residencial é, de grande parte de baixa tensão. Nas redes de distribuições também existem perdas técnicas de eletricidade. E também as perdas comerciais, aquelas que ocorrem por causa dos já conhecidos “gatos”.

Ainda segundo a Aneel (2015) o Brasil possui hoje 63 empresas concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica. Na tabela 2 apresenta as dez maiores empresas concessionárias distribuidoras de energia elétrica no Brasil.

Tabela 2 - Total de consumo de eletricidade em GWh nas dez maiores empresas distribuidoras brasileiras em 2015.

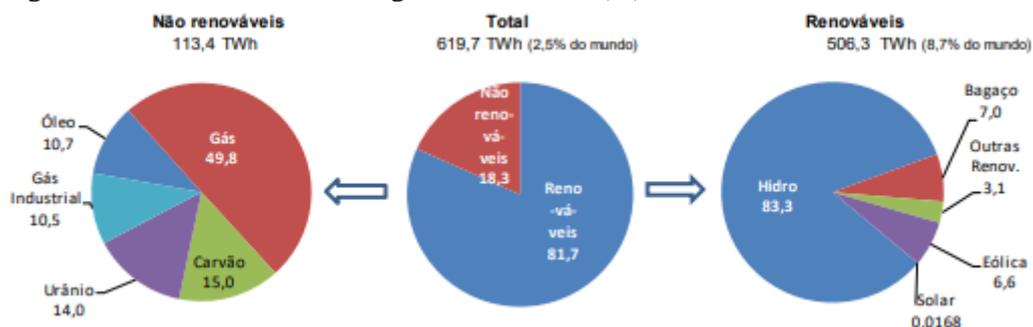
Nº	Distribuidora	GWh	Consumo Brasil (%)
1ª	Cemig	48.058	10.3
2ª	Eletropaulo	44.274	9.5
3ª	CPFL	29.924	6.4
4ª	Copel	27.920	6.0
5ª	Light	26.400	5.7
6ª	Celesc	22.746	4.9
7ª	Coelba	19.766	4.2
8ª	Elektro	16.094	3.5
9ª	Piratinga	14.877	3.2
10ª	Bandeirante	14.391	3.1
Total	Total	264.449	56.8

Fonte:(BRASIL, 2016).

2.2 Tipos de fontes de energia

Nas últimas três décadas, o mundo tem vivenciado com alterações significativas no clima, que foram provocadas por ações atribuídas principalmente à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento. Segundo o Mme (2017), em 2016, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) foi em 619,7 TWh, 0,7% acima de 2015 (615,7 TWh) retrocesso de 1,3% em 2015. Por fonte, requer os aumentos de 54,9% na oferta por eólica, de 44,7% por solar e de 7,7% por nuclear. As ofertas pelo óleo fóssil, gás natural e carvão mineral teve um retrocesso de 52,8%, 28,9% e 9,8%, respectivamente. De acordo com o Mme (2017), em 2016 as fontes renováveis alcançaram a marca de 81,7% de participação na matriz de Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE). A figura 5 ilustra a matriz da OIEE. O gráfico central mostra as vantagens comparativas dos 81,7% das fontes renováveis na matriz brasileira, contra 23,6% na média mundial

Figura 5 - Oferta Interna de Energia Elétrica 2016 (%).



Fonte: Mme (2017).

2.2.1 Energia não renováveis

De acordo com Barquete (2013), os tipos de energia renomeadas não renováveis encontra-se por limitações que vão se extinguir ao passar do tempo de sua utilização. Os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural) tem como sua característica as transformações de restos de materiais orgânicos, fator este que em características temporais demoram milhares de anos para serem realizadas. O urânio, fonte da energia nuclear, é um mineral que também está em quantidade reduzida na terra. Além do mais, essas fontes de energia não renováveis não são achadas homoganeamente distribuídas no mundo, ao invés das fontes renováveis, que são produzidas ao fluxo contínuo de energia da natureza.

2.2.2 Energia Renováveis

Segundo Magalhães (2009) as energias renováveis são aquelas oriundas de ciclos naturais de transformação da radiação solar, fonte primária de quase toda energia acessível na Terra, sendo assim são praticamente inacabáveis e não altera o balanço térmico do planeta.

As fontes de energia renováveis usam-se de recursos não esgotáveis, são divididas em renováveis solar, hidráulica, eólica, biomassa, o calor geotérmico e outros. Algumas dessas energias renováveis estão mais detalhadas focando nas energias solar e biogás.

2.2.2.1 Energia solar

Conforme Garcez & Lucília (2010) o sol é a principal fonte de energia da natureza. Por meio da iluminação natural existe um aproveitamento da energia solar de forma direta. A radiação solar também é absorvida e transformada para gerar calor ou, sendo que por volta de 30 % de radiação solar é refletida de volta para o espaço, 50% é absorvida pela atmosfera, pela superfície terrestre e pelos oceanos e transformada em calor e os 20% restantes pertencentes dos ciclos de evaporação, precipitação e circulação da água. Sobram uma pequena fração causadora dos ventos e das ondas do mar, e menor ainda a fração que se incorpora à biomassa do planeta pelo processo de fotossíntese que acontece nas folhas verdes do planeta.

Ainda segundo Garcez & Lucília (2010) a energia solar pode também ser usada como eletricidade. Pode-se então usar a luz do sol energia elétrica usando células fotovoltaicas feitas de silício. Quando a célula fica exposta ao sol, os elétrons libertam-se do seu núcleo, transitando-se eles vão até a superfície da placa solar, as duas extremidades da célula solar estão

ligadas por um fio condutor elétrico, sendo assim o movimento dos elétrons gera uma corrente elétrica. A energia elétrica da célula solar pode ser usada em:

- a) Bombeamento de água;
- b) Iluminação pública;
- c) Estações de telefonia;
- d) Comunidades isoladas.

Algumas vantagens e desvantagens da energia solar podem visualizar na Quadro 1.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da energia solar

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Não é poluente	Variação nas quantidades produzidas de acordo com a situação climática
Não precisa de turbinas ou geradores para a produção de energia elétrica	As formas de armazenamento da energia solar são poucos eficientes comparadas a energia hidroelétrica
Para cada metro quadrado de coletor solar instalado, evita-se a inundação de 56 metros Quadrados de terras férteis na construção de novas usinas hidrelétricas.	Não existe produção durante a noite

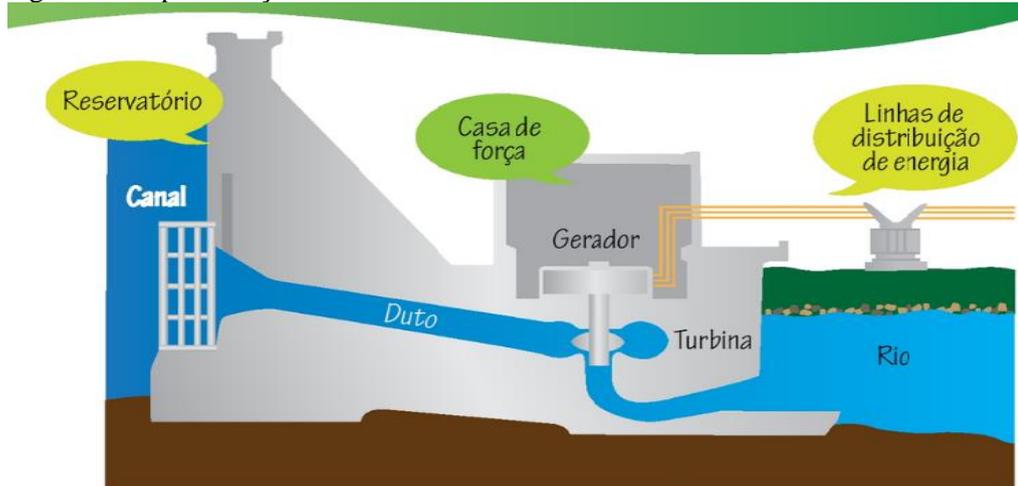
Fonte: Garcez & Lucília (2010).

2.2.2.2 Energia hidráulica

De acordo com Garcez & Lucília (2010) durante muitos anos, o movimento da água foi usado de modo direto nos moinhos. As passagens da água faziam a movimentação das pás de madeira ligadas a uma mó (pedra granítica redonda muito pesada), fazendo girar e moer os grãos de milho, tornando-os em farinha. Hoje, a corrente da água é usada para produzir energia elétrica. A maior parte da energia elétrica disponível do Brasil vem diretamente das grandes usinas hidrelétricas construídas com base nos grandes rios.

Obtém-se a energia elétrica através da geração de energia potencial gravitacional da água contida numa represa elevada em energia cinética, que é convertida em rotação, através de uma turbina. A mesma é formada basicamente em uma roda pás, que gira por causa da passagem da massa de água. O gerador transforma o movimento giratório da turbina em energia elétrica. A água capturada no lago formado pela barragem é transportada até a casa de força canais ou condutores metálicos. Após passar pela turbina hidráulica, a água é restituída ao leito natural do rio através do canal de fuga como pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Representação do funcionamento de uma usina hidráulica



Fonte: Garcez & Lucília (2010).

Ainda segundo Garcez & Lucília (2010) para usar a potência de um rio, é construída uma represa que possibilita controlar a vazão da água de forma contínua, tanto no período das chuvas quanto no período das secas. As represas são obras complexas de engenharia que tem como finalidade armazenar a água de um rio e formar um reservatório, como um lago, de forma que a força da gravidade com que a água passa para voltar ao leito do rio seja considerável para movimentar as turbinas que produzem energia elétrica. Algumas vantagens e também desvantagens podem ser visualizados no Quadro 2.

Quadro 2- Pontos positivos e negativos usinas hidrelétricas

VANTAGENS	DESVANTAGENS
A maior vantagem é a transformação limpa do recurso energético natural. Não há resíduos poluentes	Causa impacto às populações indígenas e populações tradicionais, que terão suas terras inundadas
A formação de represas proporciona o crescimento do turismo no local	Os peixes são prejudicados principalmente na piracema, pois a construção das barragens os impede de subir o rio
A água é o recurso renovável mais importante da humanidade. Acumular água é acumular riqueza natural	Há perdas de grandes quantidades de água por evaporação

Fonte: Garcez & Lucília (2010).

A maior usina hidrelétrica em funcionamento do mundo é a binacional Itaipu que pertence ao Brasil e ao Paraguai. No ano de 2008 a usina chegou na marca de 94,68 bilhões de quilowatts-hora (kWh) no qual foi o seu recorde, fornecendo 90% da energia consumida pelo Paraguai e 19% da energia consumida pelo Brasil. Na Tabela 3 podemos visualizar as dez maiores usinas hidrelétricas do Brasil.

Tabela 3- As dez maiores usinas em operação, região e potência

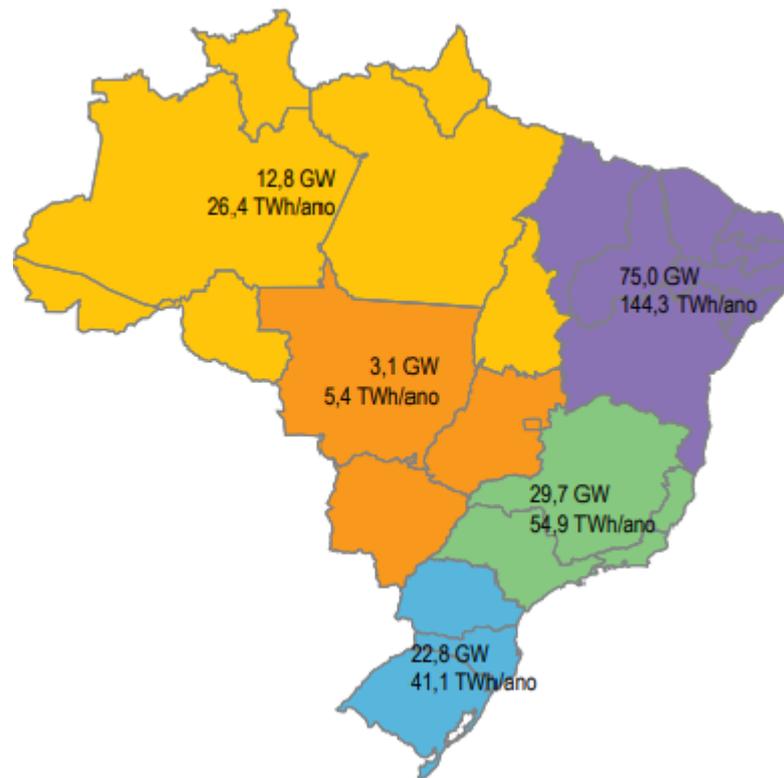
Nome	Potência (kW)	Região
Tucuruí I e II	8370000	Norte
Itaipu (parte brasileira)	6300000	Sul
Ilha Solteira	3444000	Sudeste
Xingó	3162000	Nordeste
Paulo Afonso IV	2462400	Nordeste
Itumbiara	2082000	Sudeste
São Simão	1710000	Sudeste
Foz do Areia	1676000	Sudeste
Jupiá	1551200	Sudeste
Porto Primavera	1540000	Sudeste

Fonte: Aneel (2008).

2.2.2.3 Energia eólica

De acordo com a Aneel (2002) para que seja possível e tecnicamente aproveitável a utilização da fonte eólica como geradora de energia elétrica, é fundamental que sua densidade seja maior ou similar a $500\text{W}/\text{m}^2$, a uma altura de 50 metros, na qual precisa de uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. Os melhores resultados estão no litoral das regiões Norte e Nordeste, onde a velocidade média do vento, a 50 metros do solo, é superior a 8m/s. O potencial eólico brasileiro é mostrado na Figura 7 onde os resultados foram obtidos por meio de simulações computacionais.

Figura 7- Atlas Eólico Brasileiro



Fonte: Aneel (2002).

Como toda fonte de geração de energia tem suas vantagens e desvantagens não é diferente com a energia eólica. O Quadro 3 lista alguns desses parâmetros.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens – Energia eólica.

VANTAGENS	DESvantagens
O vento é renovável pode ser usado indefinidamente e nunca vai acabar, ao contrário das maiores fontes de energia atuais: petróleo, gás e carvão	O vento é imprevisível, em alguns dias não há vento e em outros venta demais.
A área ao redor ainda pode ser cultivada	As turbinas às vezes podem matar pássaros
Uma alternativa limpa para o carvão e o gás. Turbinas de vento não produzem resíduos e, depois de serem construídas, não geram gases do efeito estufa	As turbinas afetam os sistemas de radar e sinal da televisão de quem mora perto

Fonte: Pipe (2015).

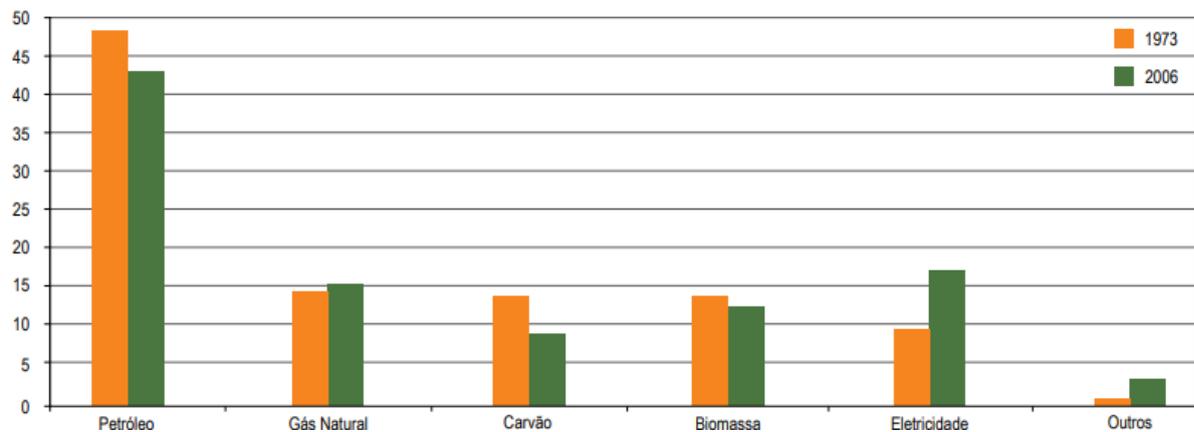
2.2.2.4 Biomassa

De acordo com Aneel (2008) a biomassa é uma das fontes para criação de energia com maior capacidade de crescimento. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é

cogitada a ser uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a decorrente redução da dependência dos combustíveis fósseis.

Desta fonte é possível extrair a energia elétrica e o biocombustível, como o biodiesel e o etanol, de qual consumo é crescente em modificação a derivados de petróleo assim como o óleo diesel e a gasolina. Essa fonte de energia renovável historicamente não tem sido de muita expressão na matriz energética mundial. A suposição mais aceitável indica que apresenta cerca de 13% do consumo mundial de energia primária, como pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 – Gráfico da Matriz de consumo final de energia nos anos de 1973 e 2006.



Fonte: Brasil (2008).

Ainda segundo a ANEEL (2008) o uso da biomassa como fonte de energia elétrica tem aumentado seu uso no Brasil, precipuamente nos sistemas de co-geração. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2008, o volume foi 21% superior à de 2006 e equivalente a 3,7% da oferta total de energia elétrica.

No Quadro 4 pode-se ver algumas vantagens e desvantagens de se utilizar essa forma renovável de energia.

Quadro 4 - Vantagens e desvantagem da biomassa

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixo custo de aquisição de matéria prima	Menor poder calorífico
As cinzas são menos agressivas ao meio ambiente que as de combustíveis fósseis.	Maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera. Isso significa maior custo de investimento para a caldeira e os equipamentos para remoção de material particulado.
Menor risco ambiental.	Dificuldades no estoque e armazenamento.

Fonte: Garcez & Lucília (2010).

2.2.2.5 Biogás

Das fontes renováveis para produção de energia, o biogás está entre as melhores para não afetar o meio ambiente. Seu uso permite a redução dos gases causadores do efeito estufa e colabora com o combate à poluição do solo e dos lençóis freáticos. Isto é possível porque o biogás é cativado através da biomassa composta em dejetos (urbanos, industriais e agropecuários) e em esgotos. Essa biomassa passa do estado sólido para o gasoso através da ação de micro-organismos que decompõe a matéria orgânica em um ambiente anaeróbico (sem ar).

O biogás uma vez que é composto por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2) e gás sulfídrico (H_2S). O uso do lixo para produção de energia permite o encaminhamento e o uso deste gás e a redução do volume dos dejetos em estado sólido.

Existem três formas tecnológicas para o uso do lixo como energético. Uma destas formas é a mais simples e generalizada, é a combustão direta dos resíduos sólido. Outra é a gaseificação por meio da termoquímica (produção de calor através de reações químicas). Por fim, a terceira (mais usada para a produção do biogás) é a representação artificial do processo naturalmente que a ação de micro-organismos em um ambiente anaeróbico cria a decomposição da matéria orgânica e, em consequência, a emissão do biogás.

3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), Geração Distribuída (GD) é uma expressão usada para esclarecer a geração de energia elétrica efetuada junta ou próxima aos consumidores finais, independentemente da fonte de energia a ser usada da tecnologia aplicada ou da potência gerada.

O transporte por mediado do SIN não é necessário devido à proximidade do local onde será consumida a energia produzida, o qual se torna a energia elétrica com uma maior qualidade de fornecimento de energia.

Ainda de acordo com INEE, a geração realizada junto às cargas transforma todo o sistema mais confiável e estável, já que mantém a tensão usada em níveis mais apropriado e possibilita um alívio de sobrecarga e de congestionamento do sistema de transmissão.

O setor de energia contribui de forma expressiva para as emissões de gases do efeito estufa. A evolução de uma economia de baixo carbono dependerá, principalmente, de mudanças no modo de gerar e de usar energia. O equilíbrio da geração distribuída exige transformações no sistema elétrico e principalmente, no setor de distribuição.

Entender sobre o setor elétrico Brasileiro citado acima é fundamental para prever possíveis mudanças que acontecerá na geração distribuída. No Brasil, a geração distribuída que dispõe da tecnologia fotovoltaica, eólica e em energias renováveis de modo geral, se revelou após a publicação da Resolução Normativa nº 482/2012, atualizada pela 687/2015 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012), que incentiva a própria geração de energia por meio de fontes renováveis ou de cogeração qualificada.

3.1 Legislações referente 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, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.

A ANEEL publicou no dia 17 de abril de 2012 a resolução normativa 482, que diz sobre a micro e a minigeração de energia elétrica assim como o sistema de compensação de energia elétrica e toda sua forma de parametrização. A resolução normativa mostra as condições gerais para o acesso de micro e minigeração. Por meio da data de publicação qualquer consumidor pode gerar sua própria energia elétrica logo que cumpra os padrões determinados na norma para micro e minigeradores e cumprindo as etapas estabelecidas pelos processos de distribuição de

elétrica no Sistema Elétrico Nacional. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

A resolução normativa autoriza o uso de qualquer fonte renovável para a produção de energia: solar, eólica, biomassa além da cogeração qualificada. As novas regras definiram como micro geração distribuída a central geradora com até 75kW de potência instalada e para a minigeração distribuída ficou predestinada uma potência acima dos 75kW e menor ou igual a 5 MW sendo MW para a fonte hídrica, ligadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Os recentes aperfeiçoamentos da resolução permitiram ao consumidor ou melhor, a central geradora que no mês em que a quantidade de energia enviada a rede for superior a quantidade de energia consumida o proprietário poderá ficar com créditos para diminuir a fatura dos meses seguintes, contanto que seja respeitado um prazo limite de 60 meses. Os créditos podem ser usados em outras unidades do mesmo titular contanto que esteja na área de atendimento da mesma companhia.

As novas regras do sistema de compensação serão seguidas de perto pela agência que até o ano de 2024 que pressupõe 1,2 milhão de unidades consumidoras gerando sua própria energia resultando em um total de 4,5 GW de potência instalada (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

3.2 Geração distribuída no Brasil

De acordo com o MME (BRASIL, 2016) a ANEEL contabilizou cerca de 3.565 conexões de geração distribuída, na qual a energia elétrica é produzida nos centros de consumo, várias vezes pelo próprio consumidor. Somente em janeiro a maio de 2016, foram realizadas 1781 novas conexões, valor 6,5 vezes maior que o mesmo período de 2015, quando foram realizadas 272 conexões. Com as recentes instalações, o país já produz de forma distribuída 29,7 megawatts (MW), contabiliza a ANEEL.

No meio das energias renováveis a que mais se destaca e cresce é a solar fotovoltaica, com 3.494 conexões, cerca de 98% do total, seguida pela energia eólica, com 37 conexões, cerca de 1,03% do tal e 34 conexões de outras tecnologias. Das instalações de geração distribuídas, 79% foram em residências, seguida por comércio e serviços, com 14%, sobrando 7% para indústria e unidades rurais. Ao se referindo a capacidade total instalada, a energia produzida pelo sol também se sobrepõe com 24,1 MW (mais de 80% do total), acompanhada pela energia eólica, com 2,5 MW. Em terceiro, o biogás soma 1,6 MW instalados.

A classificação por estado em relação ao número de geração destruída presente pode ser visualizada no Quadro 5.

Quadro 5 - Classificação por estado de geradores distribuídos

Estado	Geradores distribuídos
Minas Gerais	859
São Paulo	479
Rio de Janeiro	381
Rio Grande do Sul	369

Fonte: Aneel (2016).

Segundo Martiniano Junior e Oliveira (2016) um dos fatores que influenciaram para o crescimento da micro e mini geração de energia fotovoltaica no Brasil foi a isenção do ICMS sobre a energia inserida na rede e compensa na geração distribuída. Conhecida como convênio ICMS N° 16/15 do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), é o que aprova os estados a isentar o imposto ICMS que incide sobre o que sobra da geração de energia da mini e micro geração distribuída, apropriado para as centrais que estão no contexto da Resolução Normativa N° 482/12. Tal benefício já foi adquirido por 21 estados brasileiros e o distrito federal até outubro de 2016.

4 TECNOLOGIAS APLICADAS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Neste trabalho resolveu-se estreitar as possibilidades de análise em volta das tecnologias de GD, tendo como foco principal as tecnologias do biogás e solar fotovoltaica. Justifica-se a uma análise mais detalhada dessas tecnologias pelas mesmas serem objeto direto de estudo do caso apresentado.

4.1 Biogás

Segundo Nunes (2017) o biogás é um gás resultante de fermentação anaeróbica (na ausência de ar) de dejetos de animais, de resíduos vegetais, lixo industrial ou residencial em situações adequadas. O biogás é obtido por misturas com cerca de 60% do volume total composto por metano, enquanto 40% restantes é composto por gás carbônico e quantidades menores de outros gases.

Para aproveitar o melhor potencial de certos animais, nesse caso em especial o confinamento de bovinos leiteiros, os produtores rurais vêm investindo no confinamento completo da criação, principalmente nas regiões onde as áreas de terras são mais pequenas.

Este método de confinamento facilita a aquisição do esterco do gado leiteiro para a utilização do mesmo como matéria prima para o biogás (SZAMBELAN, 2017).

Na Tabela 4 demonstra alguns tipos de animais que são criados em confinamento.

Tabela 4 – Geração de biogás e tipo de animal

Animal	Kg de dejetos/dia	m³ de gás/KG de dejetos	m³ de gás/animal dia
aves	0,09	0,055	0,0049
Bovinos	10	0,04	0,4
Equinos	6,5	0,048	0,31
Ovinos	0,77	0,07	0,05
Suinos	2,25	0,064	0,14

Fonte: Szambelan (2017).

4.1.1 Energia do Biogás

A conversão energética do biogás em energia elétrica é capaz de ser realizada por meio de diversas formas devido as atuais tecnologias disponíveis. As tecnologias mais usadas são as microturbinas a gás e os motores de combustão interna de ciclo Otto e Diesel. A utilização de

microturbinas ainda apresenta custos elevados e o seu tempo de vida útil operando com biogás ainda é baixo. (NUNES, 2017).

Segundo Nunes (2017) os motores de ciclo Otto precisam de várias modificações para podem usarem o biogás como combustível. Entretanto, os motores de ciclo Otto não são os mais indicados para geração de eletricidade. O mais apropriado é o motor de ciclo Diesel, pela sua maior robustez e menor custo para uma mesma potência comparando-se com o de ciclo Otto.

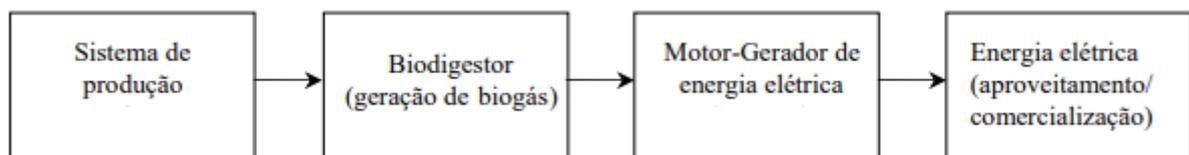
A inserção de biogás em motores de ciclo Diesel pode ser adquirida por meio de duas tecnologias: a ottolização e a conversão bicomcombustível diesel/gás (PEREIRA, 2005 apud NUNES, 2017).

Ainda segundo Nunes (2017) na ottolização, várias modificações nos motores são imprescindíveis. Todo o sistema de injeção a Diesel é removido e, em seu lugar, instala-se um sistema de carburação do gás ao ar de admissão e o sistema elétrico com velas para a ignição, que passa a ser feita por centelha.

Assim como são necessárias alterações nos cabeçotes dos motores para adaptação de sua taxa de compressão, visto que os motores do ciclo Otto trabalham com taxas de compressão inferiores aos motores Diesel. No tratamento bicomcombustível (diesel e biogás) em motores do ciclo Diesel, o gás é inserido juntamente com o ar na fase de admissão e a ignição é realizada por uma pequena injeção - piloto de diesel para realizar a ignição por compressão, dando início à combustão do gás que é admitido no cilindro pelo coletor de admissão.

De acordo com Martins & Oliveira (2010), o sistema de produção produz resíduos (biomassa) que o biodigestor transforma em metano que por vez, é usado como combustível substituindo a gasolina ou diesel no motor que aciona o gerador. A Figura 9 representa o fluxograma de produção de biogás para geração de energia elétrica.

Figura 9 - Fluxograma de produção de biogás para geração de energia elétrica.



Fonte: Adaptado de Martins & Oliveira (2010).

Os dejetos são levados para o biodigestor, que é coberto com vinimanta de PVC. O biogás é conduzido do biodigestor até o conjunto motor – gerador por tubulação que tem pontos de purga de água, para retirar a umidade que se desenvolve na digestão anaeróbica. Com o foco

de evitar o efeito corrosivo do Sulfeto de Hidrogênio H₂S, são usados filtros de limalha de ferro. O gerador de eletricidade utilizado é trifásico (220/380 VAC), 3600 rpm, 60 Hz, capacidade de 120Kva.

Segundo Szambelan (2017) um bovino gera 10kg de dejetos por dia; 1kg de dejetos produz 0,04m³ de biogás, por meio da Equação 1, é possível obter o cálculo de dejetos por dia.

$$T_{biogás/animal} = m_{dejetos/dia} \times f_{produção/animal} \quad (1)$$

Onde T é a quantidade de biogás produzida por animal, oriundo de m que são os dejetos produzidos por dia e f que é a produção de dejetos por animal. Por meio da Equação 2:

$$T1_{biogás/dia} = T_{biogás/animal} \times N \quad (2)$$

No qual T1 é a quantidade de biogás gerada por dia, por meio do produto de T, quantia de biogás gerada por animal, e N, que é a quantia de animais do local através da Equação 3.

$$T1_{biogás/dia} = T1 \times 0,7 \quad (3)$$

Onde T1 é a quantia de biogás gerada por dia, a partir do produto de T, quantia de biogás gerada por animal, e N, que é a quantia de animais do local.

De acordo com SZAMBELAN (2017), a Equação 3, usa-se para dar uma menor margem de erros no dimensionamento do gerador a ser utilizado no qual reduz o valor encontrado em 30%.

De acordo com alguns estudos feitos é possível calcular o potencial elétrico do biogás a partir da quantidade de biogás a partir da quantidade de dejetos tratados no dia, aplicando a Equação 4 (SANTOS, 2009).

$$PE = (pot * T * \eta) \quad (4)$$

No qual:

PE: Produção de eletricidade;

Pot: Potência nominal da planta (kWh);

T: Disponibilidade mensal da planta (horas/mês);

η : rendimento.

4.1.2 Biodigestor

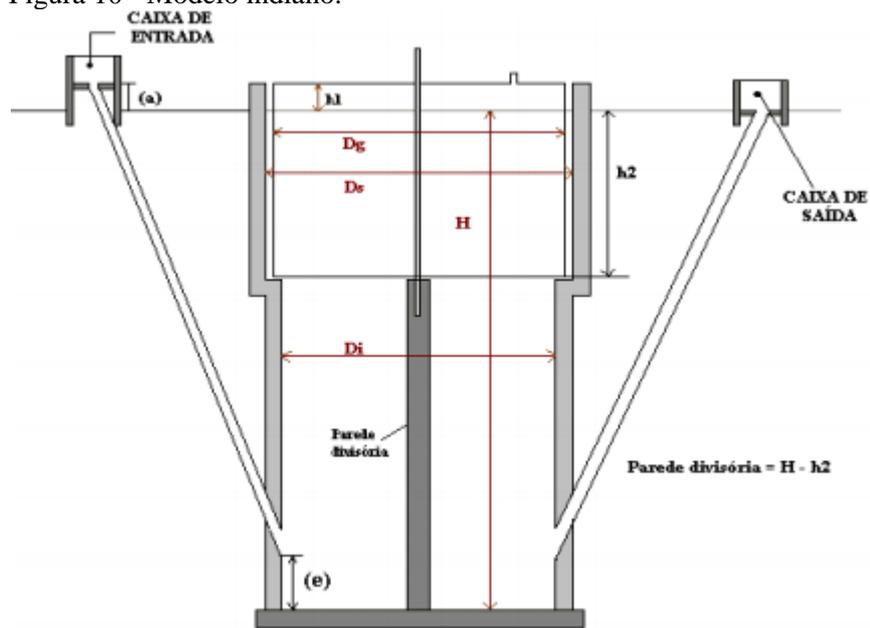
O biodigestor é um excelente equipamento para tratamento do dejetos, já que possibilita a agregação de valor ao dejetos, consolidando a matéria orgânica, gerando biogás que pode ser útil para geração de energia e biofertilizante que pode ser usada para substituir o adubo químico nas lavouras (NUNES, 2017).

Segundo Nunes (2017) o biodigestor é um equipamento de engenharia onde possui basicamente uma câmara fechada onde a biomassa é fermentada e o biogás resultante é canalizado para ser utilizado para as mais variadas intenções. Conforme Nunes (2017) os biodigestores são imensos moldes estimados para digerir biomassas de diversas origens, como dejetos animais, efluentes industriais, resíduos sólidos orgânicos de várias origens que soltos na natureza, demonstram sérios impactos ambientais causando poluição hídrica e atmosférica. Os modelos de biodigestores mais encontrados na literatura são: indiano, chinês e o fluxo tubular (canadense).

4.1.2.1 Modelo Indiano

O biodigestor indiano é definido por apresentar uma campânula como gasômetro que pode estar afundada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo de água externo e uma parede central que separa o tanque de fermentação em duas câmaras. O papel da parede divisória constitui que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. O modelo Indiano dispõe de pressão de operação constante, isto é, à proporção que o volume do gás gerado não é gasto de imediato, o gasômetro conduz a ir verticalmente, aumentando o volume do mesmo, porém, mantém a pressão em seu interior ininterrupto. O fato do gasômetro está colocado ou sobre o substrato ou por cima do selo de água diminui as perdas ao longo do processo de produção de gás. Este modelo indiano tem como vantagem que sua campânula flutuante, que concede manter a pressão de escape de biogás estável, não sendo assim obrigatório regular de forma constante. De outra forma existe uma desvantagem, que é o preço da construção da campânula, geralmente moldada em ferro. (CÉSAR; SANTOS ;CARVALHO, 2016). Este modelo pode ser visualizado na Figuras 10 e 11:

Figura 10 - Modelo indiano.

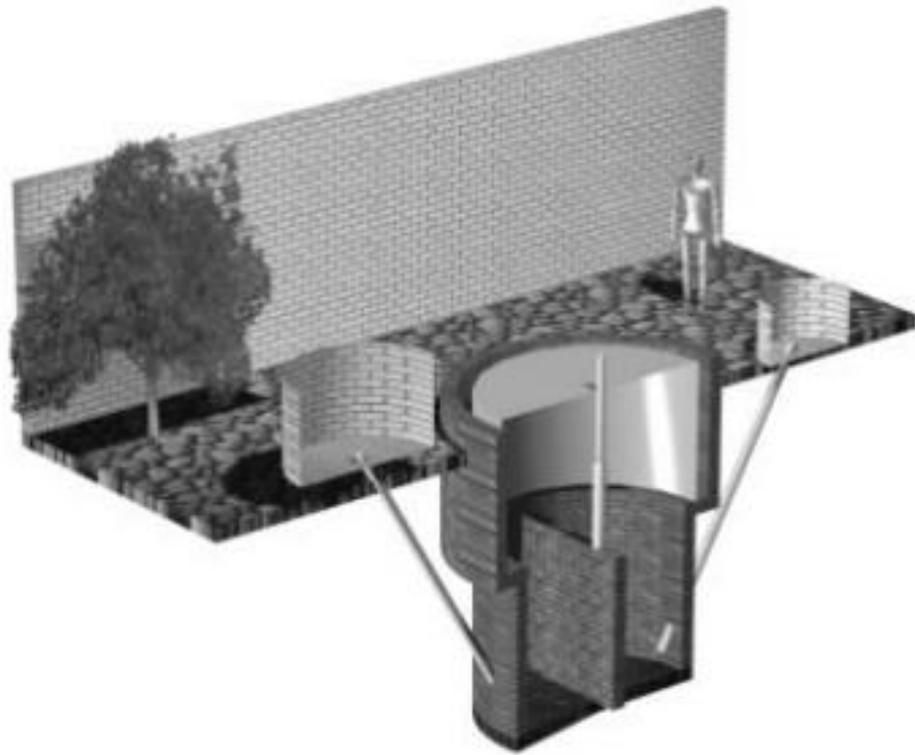


Fonte: Adaptado de Oliveira (2009).

Sendo:

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

Figura 11 - Representação tridimensional modelo indiano.

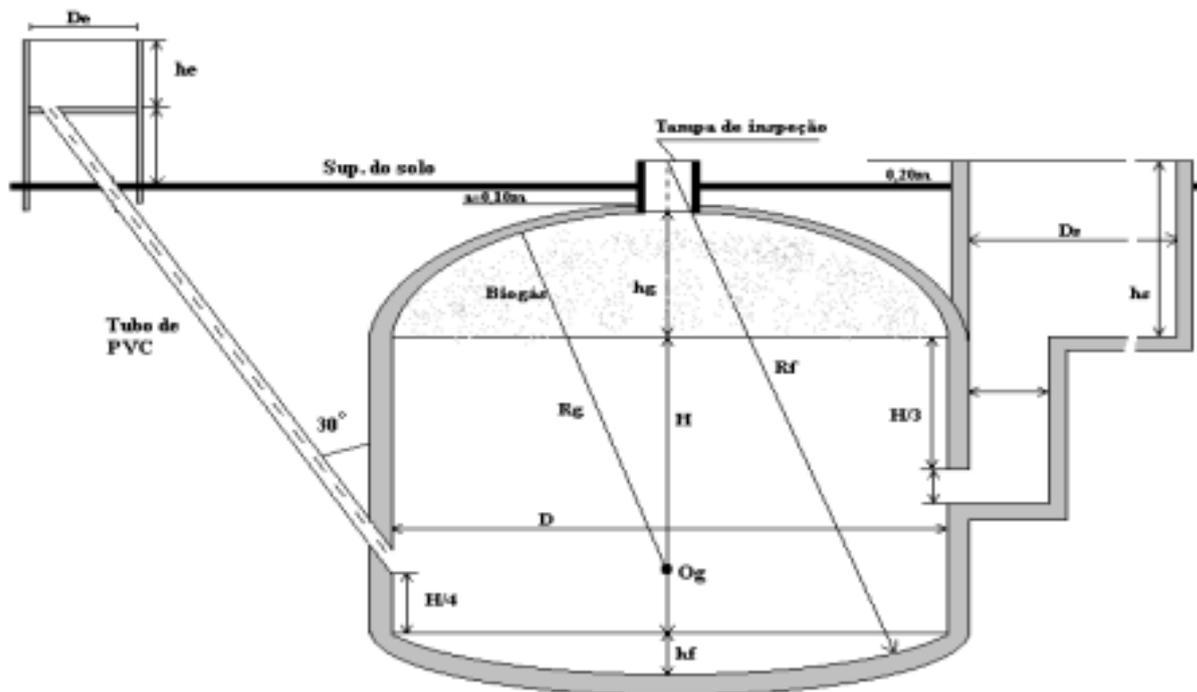


Fonte: Oliveira (2009).

4.1.2.2 Modelo Chinês

O modelo Chinês de biodigestor foi criado para as pequenas propriedades rurais. É um modelo de uma única peça, produzido em alvenaria e enterrado no solo, para ocupar um pequeno espaço. Tal modelo tem um custo mais barato em relação aos demais, já que sua cúpula é feita em alvenaria. Este modelo é mais rústico e funciona com alta pressão que é diversificada em função da produção e aproveitamento do biogás, não existe uma forma de contar com uma câmara de regulação, que autorizaria trabalhar com baixa pressão. A criação desse biodigestor em solos superficiais não é recomendada e o sistema de diálogo entre o biodigestor e as caixas de carga e descarga é realizada por meio de pequenas passagens fazendo que o sistema permanece submetido a entupimentos. Este modelo é mais usado para produção de biofertilizante por ter uma cúpula fixa tornando-o assim não apropriado para o acúmulo de biogás devido a sua área de reserva (CÉSAR; SANTOS; CARVALHO, 2016). As Figuras 12 e 13 ilustram como é o modelo chinês.

Figura 12 - Modelo chinês.

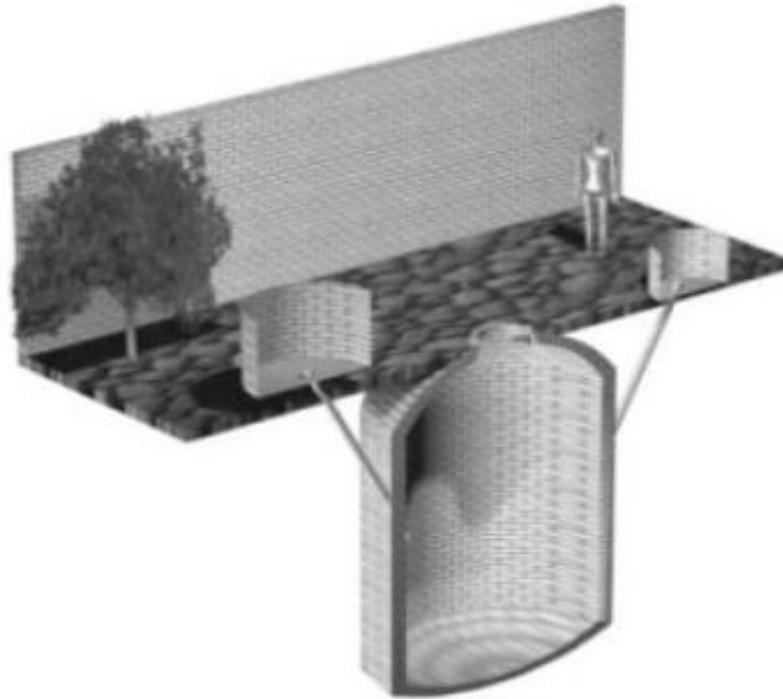


Fonte: Adaptado de Oliveira (2009).

Onde:

- a) D : diâmetro do corpo cilíndrico;
- b) H : altura do corpo cilíndrico;
- c) h_g : altura da calota do gasômetro;
- d) h_f : altura da calota do fundo;
- e) O_f : centro da calota esférica do fundo;
- f) R_f : raio da calota esférica do fundo;
- g) O_g : centro da calota esférica do gasômetro;
- h) R_g : raio da calota esférica do gasômetro;
- i) h_e : altura da caixa de entrada;
- j) D_e : diâmetro da caixa de entrada;
- k) h_s : altura da caixa de saída;
- l) d_s : é o diâmetro da caixa de saída.

Figura 13 -Representação tridimensional modelo chinês.



Fonte: Oliveira (2009).

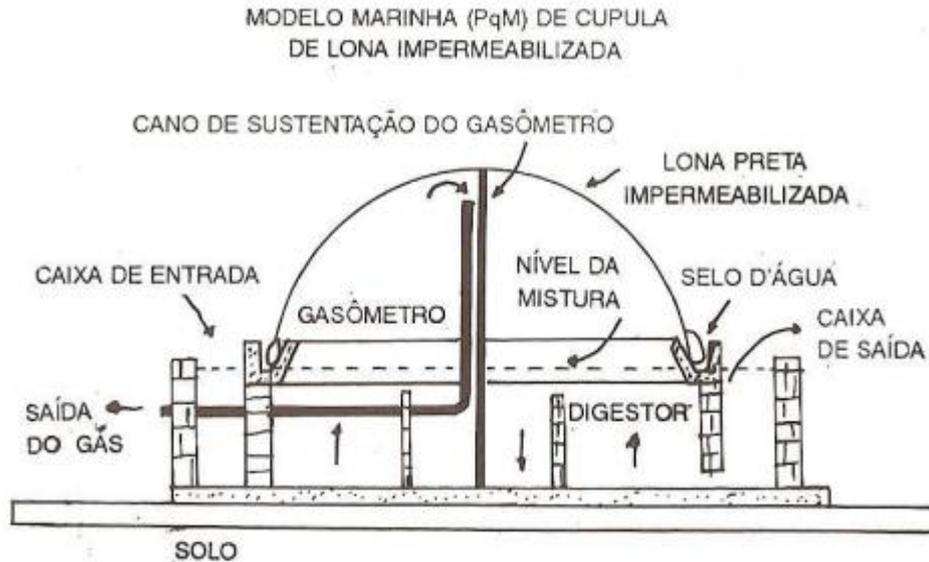
4.1.2.3 Modelo fluxo tubular ou modelo marinha brasileira

O biodigestor de fluxo tubular, foi elaborado pela marinha do Brasil, na década de 1970, exhibe uma base quadrangular, com paredes revestidas por lona impermeável e uma cúpula de lona preta. Este modelo consiste em ser mais raso e longo, o que lhe assegura uma maior eficiência, de gás por massa fermentada. Em seu uso existe uma limitação em relação ao espaço para sua instalação, por exhibir uma menor profundidade, existe a necessidade de uma grande área superficial para manter uma grande quantidade de resíduos. Tal modelo é o mais apropriado para instalações industriais e agroindustriais por ser multifuncional e pode-se usar diferentes resíduos orgânicos e ser capaz de guarda uma imensa quantia de resíduos passíveis sobre fermentação anaeróbica, formando assim uma grande quantidade de biogás e firmando os dejetos que podem ser usados como biofertilizantes (CÉSAR, SANTOS; CARVALHO, 2016).

Comparando ao modelo indiano, o modelo da Marinha apresenta a vantagem de poder receber imensas quantidades de resíduos. Já em comparação ao modelo Chinês, a vantagem pode ser vista no fato de aquele modelo sofrer rachaduras na sua estrutura devido a composição do solo do Brasil que sofre muita acomodação, o que várias vezes tem como consequência

perdas de gás e necessita monitoramento e manutenção constante. Na Figura 14 é possível visualizar em corte o biodigestor modelo Marinha.

Figura 14 - Biodigestor modelo Marinha.



Fonte: Adaptado de Portal do biogás (2016).

O Quadro 6 apresenta um comparativo dos biodigestores de modelo indiano, chinês e marinha.

Quadro 6 – Comparativo entre os três modelos de biodigestores

	Chinês	Indiano	Marinha
Materiais	Tijolo, cimento, pedra e areia	Tijolo, cimento, pedra, areia, ferro ou alumínio.	Tijolo, cimento, pedra, areia e plástico
Isolamento térmico	Feito dentro da terra: Excelente isolamento natural, temperatura constante.	Possui perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar. Pouco indicado para climas frios.	Não tem problema de perda de calor
Perdas de gás	A parte superior deve ser revestida com matérias impermeáveis e não porosas; difícil obter construção estanque.	Nenhum problema	Nenhum problema
Manutenção	Limpeza uma ou duas vezes no ano	A câmara de gás deve ser pintada uma vez no ano	Deve ser limpo uma vez no ano.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2009).

4.1.3 Incentivos de financiamento de projeto de tratamento de dejetos

O Brasil foi um dos países que sempre se mostrou sensível a esta questão, valorizando ações no âmbito nacional e internacional que propiciassem a mitigação das negativas consequências, pois, entende que existem elementos suficientes para concretização de mudanças do clima oriunda das atividades humanas, o que leva a preocupações em torno da qualidade de vida de toda a população. No caso específico da agricultura, o Brasil estruturou o Plano ABC, oficialmente denominado "Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura", que é um dos planos setoriais estabelecidos em conformidade com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) como parte da estratégia do Estado Brasileiro na mitigação da emissão de GEE e no combate ao aquecimento global. Segundo Brasil (2016) um dos principais objetivos do plano ABC é ampliar o uso de tecnologias para tratamento de 4,4 milhões de m³ de dejetos de animais para geração de energia e produção de composto orgânico. (NUNES, 2017, p.8)

4.2 Sistemas fotovoltaicos

As células fotovoltaicas são formadas por um material semicondutor – silício, que são complementados por uma substância chamada dopantes, de forma que cria um meio conveniente ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, sendo assim a transformação direta da potência ligada a radiação solar em potência elétrica DC. A célula é o menor elemento de um sistema fotovoltaico, criando potências elétricas de ordem de 1,5 W (equivalente à uma tensão de 0,5 V e uma corrente de 3 A). Para produzir correntes maiores, as células são interligadas em série ou em paralelo, gerando módulos (com potências de 50 a 370 W) e painéis fotovoltaicos com potências maiores (STANQUEVISKI, 2016).

Apesar do Brasil possuir um grande potencial solar comparado com outros países, essa fonte de energia elétrica é pouco aproveitada, devido ao alto investimento necessário. Ressalta-se que atualmente os valores estão cada vez se tornando mais acessíveis, onde o tempo de retorno da implementação de uma usina solar fotovoltaica está próximo a 5 anos (este tempo de retorno varia de acordo com o consumo médio e o valor da tarifa paga). Porém com a resolução normativa nº 482, proporcionou-se aos consumidores a geração da sua própria energia, tornado uma alternativa de implantação para os consumidores residenciais e comerciais

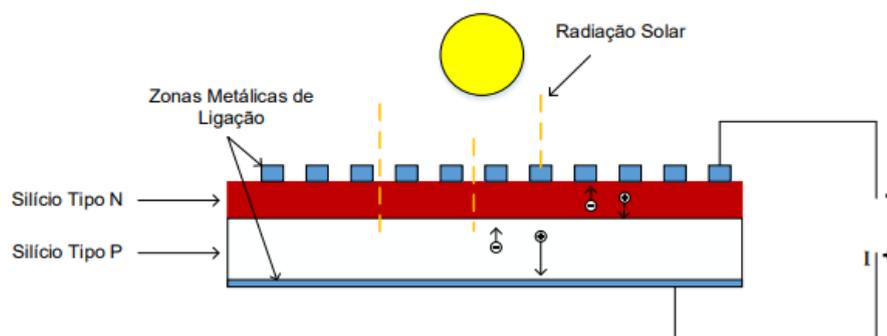
de um modo geral, e por efeito, podendo proporcionar uma redução significativa no valor da fatura de energia elétrica desses consumidores.

4.2.1 Radiação solar e o efeito fotovoltaico

O sol disponibiliza energia em forma de radiação, energia essa que é vinda de uma forma atômica, que transforma os núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio e através deste processo, parte da massa é transformada em energia. A ponto que a distância entre a terra e o Sol é cerca de 150 milhões de quilômetros, e uma pequena quantidade de radiação atinge a superfície terrestre, tal radiação condiz a uma quantidade de energia de 1×10^{18} kWh/ano. Se toda a radiação que atinge a superfície terrestre fosse utilizada para a geração de energia elétrica, a energia produzida seria dez mil vezes superior ao consumo anual de energia mundial (GALDINO; PINHO 2014 apud STANQUEVISKI, 2016).

O efeito fotovoltaico é o aparecimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor quando mostrado a luz, transformando a luz em energia elétrica, esse efeito pode ser adquirido através de efeitos de radiação (luz calor) diante de determinados materiais. Os principais materiais semicondutores usados na fabricação de células solar são o silício, o arsenieto de gálio e o telurieto de cádmio (GALDINO; PINHO 2014 apud STANQUEVISKI, 2016). Na Figura 15 é possível visualizar o efeito fotovoltaico.

Figura 15 - Efeito fotovoltaico.



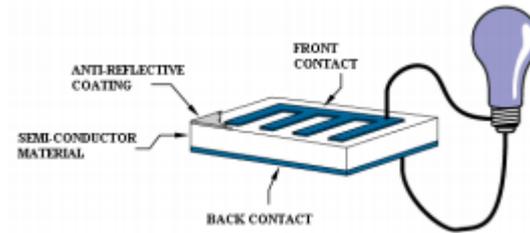
Fonte: Stanqueviski (2016).

4.2.2 Células fotovoltaicas

De acordo com Maestri (2018) as células fotovoltaicas constam em todos os tipos de sistema fotovoltaicos e é através dela que ocorre o efeito fotovoltaico, realizando a conversão da energia solar em elétrica. Na sua superfície contém uma grade metálica e na sua base existe

um plano metálico onde os terminais das células permitem que a corrente elétrica transcorra da célula para a carga, de acordo com a Figura 16.

Figura 16 - Componentes de uma célula fotovoltaica.



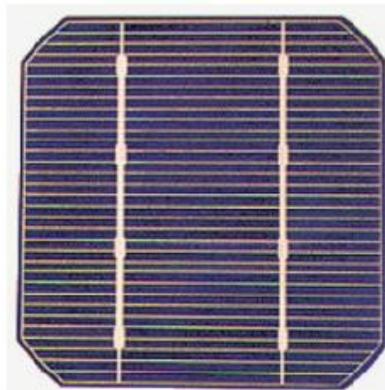
Fonte: Maestri (2018).

As células fotovoltaicas possuem uma camada de material antirreflexivo em sua superfície, de forma a reduzir as perdas por reflexão. Na atualidade existem três tecnologias que se destacam na produção de células fotovoltaicas: silício monocristalino, silício policristalino e filme fino.

4.2.2.1 Células monocristalino

Segundo Goetze (2017) o silício monocristalino é o material mais utilizado na composição das células fotovoltaicas, alcançando cerca de 60% do mercado. A homogeneidade da estrutura molecular consequente do uso de um cristal perfeito e ideal para potenciar o efeito fotovoltaico. As células monocristalinas foram as primeiras a serem elaboradas a partir de um bloco de silício cristalizado num único cristal. Mostram-se sob a forma de placas redondas, quadradas. A Figura 17 apresenta o aspecto visual das células monocristalina.

Figura 17 - Células monocristalinas.

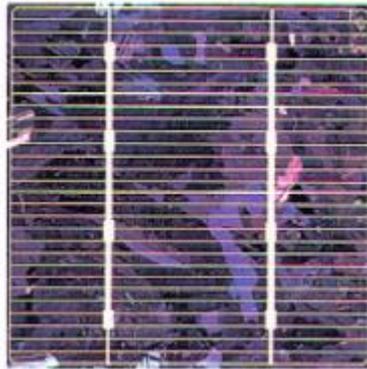


Fonte: Goetze (2017).

4.2.2.2 Células policristalinas

De acordo com Maestri (2018) o silício policristalino, é composto por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano, possui uma parte no mercado de 30%. As interrupções da estrutura molecular dificultam o movimento de electros e estimulam o rearranjo com as lacunas, o que diminui a potência de saída. O processo de fabricação é mais barato do que o do silício cristalino. A Figura 18 demonstra o visual deste tipo de células.

Figura 18 - Células policristalinas.



Fonte: Maestri (2018).

4.2.2.3 Filmes finos

De acordo com Maestri (2018) vários estudos produzidos nesta área têm direcionamento a produção dos filmes finos, a usarem diferentes materiais semicondutores e métodos de deposição. Em comparação às outras tecnologias fotovoltaicas esta tecnologia demonstra uma grande vantagem de consumir menos matéria prima e menos energia na sua produção, tornando muito baixo o seu custo e reduz a complexidade na produção tornando os processos automatizados mais simples, contribuindo para a produção em grande escala.

Apesar dessas vantagens aqui citadas este tipo de material possui uma menor eficiência na conversão de energia solar em elétrica.

4.2.3 Módulos fotovoltaicos

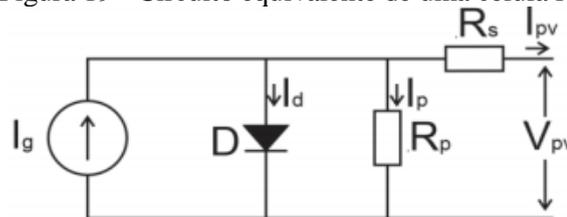
De acordo com Maestri (2018) um módulo fotovoltaico é a junção de várias células fotovoltaicas podendo ser associados em série ou paralelo. Uma célula sozinha possui uma tensão de saída muito pequena, por volta de 0,6 V. Sendo assim, várias células em série de

forma a construir um módulo. Os módulos mais comuns possuem 36, 60 e 72 células conectadas em série.

Segundo Goetze (2017) as características básicas de um módulo fotovoltaico são correntes, tensão e potência nominal. A corrente e tensão podem ser indicada graficamente em uma curva característica do módulo.

Para entender o funcionamento dos padrões elétricos de saída de um módulo fotovoltaico, é preciso conhecer o circuito equivalente de uma célula fotovoltaica, exibido na figura 19. A fonte de corrente I_g muda de acordo com a irradiação solar. Olhando a Figura 19 pode-se notar que a tensão de saída de um módulo fotovoltaico necessita da corrente de saída e da impedância da carga. Essa associação entre tensão e corrente cria uma forma única de curva. Chamada de curva I-V exibida na Figura 20. Na curva característica existe três pontos fundamentais: I_{sc} , corrente de curto circuito, na qual é a máxima corrente de saída de módulo; V_{oc} , tensão de circuito aberto, na qual é a máxima tensão do módulo; P_{max} , potência máxima, na qual é a máxima potência do módulo que tem um valor de corrente e tensão relacionados; V_{mp} , tensão de máxima potência e I_{mp} , corrente de máxima potência. Para mais, cada curva I-V do módulo, há uma curva P-V relacionada, exibida na Figura 21. No momento que a carga é ligada diretamente no módulo fotovoltaico, a impedância da carga que definirá o ponto de operação do módulo fotovoltaico, nas curvas I-V e P-V.

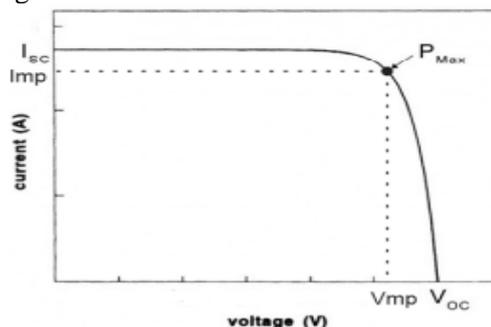
Figura 19 - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: Maestri (2018).

A Figura 20 observa-se a curva entre a tensão e a corrente.

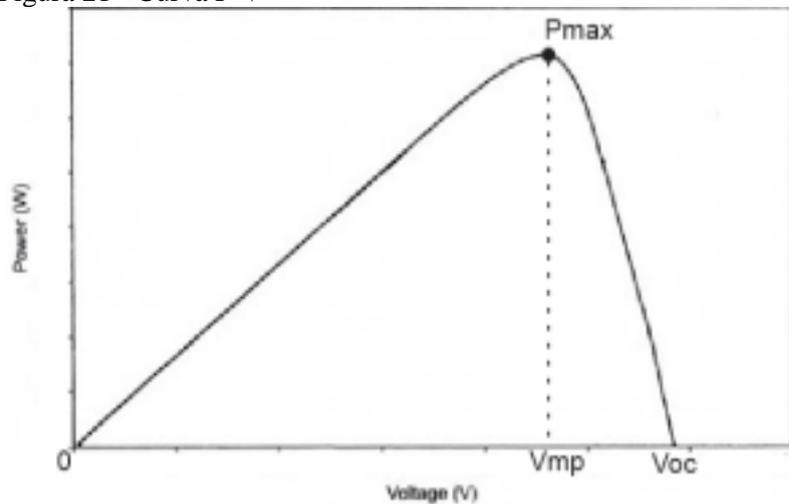
Figura 20 - Curva I - V



Fonte: Maestri (2018).

Na Figura 21 é possível visualizar o momento que a carga é ligada diretamente no módulo fotovoltaico.

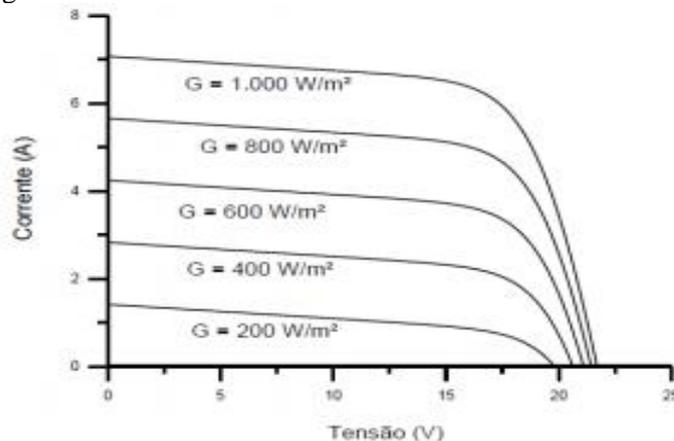
Figura 21 - Curva P-V



Fonte: Maestri (2018).

De acordo com Goetze (2017) o desempenho de um módulo fotovoltaico é vinculado a irradiância e da temperatura. A irradiância tem influência em cima da corrente de geração e, quanto mais forte sua intensidade, maior será a corrente de geração, sendo assim a corrente de geração é restringida pela corrente do módulo. A importância que a radiação solar possui na corrente do módulo é exibida na Figura 22, percebe-se que a tensão de maior potência é pouco influenciada pelos outros níveis de irradiância.

Figura 22 - Influência da irradiância na curva I – V.

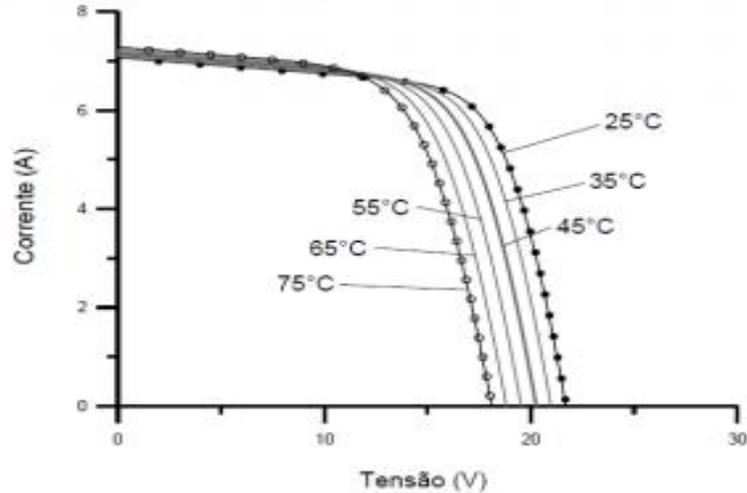


Fonte: Goetze (2017).

Logo a tensão de saída do módulo fotovoltaico é influenciada por meio da temperatura das células, que muda de conforme a temperatura ambiente e irradiância a qual está sujeita. De

acordo que a temperatura aumenta, a tensão do módulo fotovoltaico diminui, de acordo com a Figura 23. A corrente sofre um aumento muito pequeno que não compensa a perda sofrida pela queda de tensão (GOETZE, 2017).

Figura 23 - Influência da temperatura na curva I – V.



Fonte: Goetze (2016).

Para responder esse efeito de queda de tensão ou aumento de tensão de acordo com a temperatura, os datasheets dos módulos apresentam o valor do coeficiente de variação da tensão de circuito aberto, chamado de βV_{oc} . Tal coeficiente pode ser obtido por meio da Equação 5.

$$\beta v_{oc} = \frac{\Delta v_{oc}}{\Delta T} \quad (5)$$

No qual:

- a) ΔV_{oc} : a variação de tensão de circuito aberto (V);
- b) ΔT é a variação de temperatura da célula (graus célsius).

4.2.4 Inversores fotovoltaico

Segundo Machado & Correa (2015) o inversor é um conversor CC – CA que transforma a energia gerada nos módulos fotovoltaico, a grande parte das cargas de residências, comércios e indústrias são alimentadas em corrente alternadas. Para que essa energia gerada possa ser utilizada é preciso fazer a conversão de tensão e corrente contínua (CC) em tensão e corrente alternada (CA), tal fato é possível usando um inversor. Este equipamento é de uso obrigatório

tanto nos sistemas *on-grid* e de uso opcional nos sistemas *off-grid*, dependendo das características da carga.

Ainda conforme Machado (2015) hoje em dia já contam com vários modelos de inversores, os quais são estabelecidos de acordo com o sistema a ser usado. No caso de sistemas *off-grid*, o inversor recebe a energia armazenada nas baterias, transforma a tensão contínua em uma onda senoidal.

Um outro modo de utilização destes equipamentos é em sistema *on-grid*, nos quais tem uma conexão entre o inversor e a rede pública. Sendo assim a tensão CA de saída do inversor deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico próprios as cargas a serem alimentadas (MACHADO;CORREA, 2015).

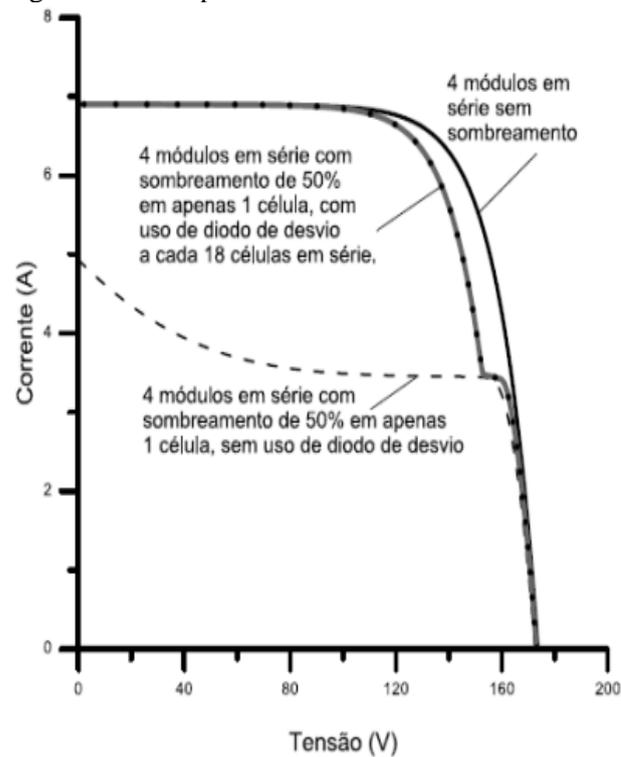
O tempo passou e a dificuldade dos sistemas aumentou e o processo de fabricação desses equipamentos ficou mais fácil, de modo que, hoje em dia, existem inversores com 97% de eficiência que é viável a vários tipos de aplicações.

4.2.5 Efeito de sombreamento

O decréscimo da taxa de radiação recebida pelo módulo pode ser provocado por sombreamento das células, sujeira e alguns outros fatores. Além da perda de potência do módulo fotovoltaico, tem o risco de danos aos módulos moderadamente sombreados, sempre que a potência elétrica é gerada não está sendo entregue para o uso ela é perdida no módulo afetado. Tal problema pode causar um intenso calor sobre a célula afetada, sendo capaz de causar a ruptura do vidro e fusão de polímeros e metais, este problema também é chamado como ponto quente da célula fotovoltaica.

Conforme Maestri (2018) além da temperatura e da irradiância, outro fator que impacta na curva $I - V$ do módulo é o sombreamento, conforme ilustrado na Figura 24. Já que nos módulos fotovoltaicos, as células estão interligadas em série, caso uma célula receba menos irradiação, sua corrente ficará menor e reduzirá a corrente de todo o conjunto série. Para diminuir os efeitos causados pelo sombreamento, usa-se diodos de by-pass nos módulos. Tais diodos são colocados em antiparalelo com várias células e disponibiliza um caminho secundário para a passagem de corrente quando acontece o sombreamento de alguma célula, interrompendo assim que uma célula sombreada limite a corrente de todas as outras.

Figura 24 - Compara de curvas I-V de 4 módulos em série.

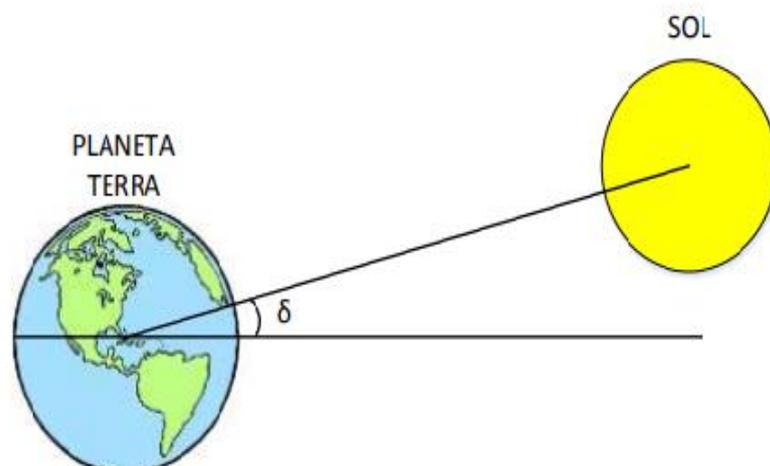


Fonte: Maestri (2018).

4.2.6 Orientação

De acordo com Stanqueviski (2016) em consequência a inclinação da terra, o Sol não alcança a Terra na mesma inclinação sempre. A posição angular do Sol, ao meio dia solar em comparação ao plano do Equador é chamada declinação solar (δ) e que diversifica conforme os limites $23,5^\circ \leq \delta \leq 23,5$. A apresentação do ângulo (δ) pode ser visualizada na Figura 25.

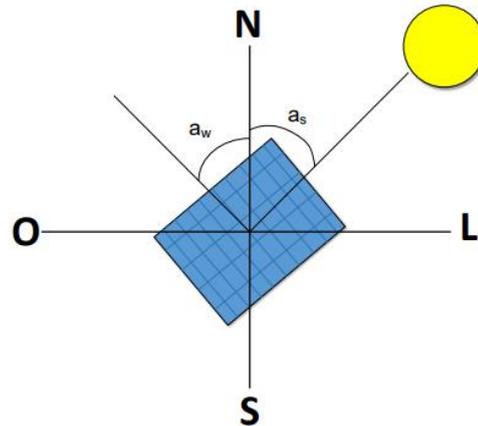
Figura 25 - Ângulo da declinação solar (δ).



Fonte: Stanqueviski (2016).

Ainda segundo com Stanqueviski (2016) conforme a movimentação do Sol, as ligações geométricas entre os raios solares conseguem ser descritas por meio de vários ângulos. Esses ângulos podem ser visualizados nas Figuras 26 e 27.

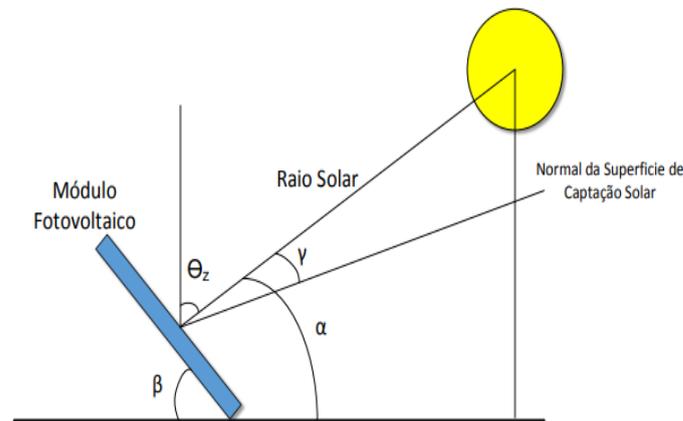
Figura 26 - Representação dos ângulos I



Fonte: Stanqueviski (2016).

Na Figura 27 é possível visualizar a representação dos ângulos.

Figura 27 - Representação dos ângulos II.



Fonte: Stanqueviski (2016).

Prosseguindo, mostra-se a descrição dos ângulos demonstrados nas Figuras 26 e 27.

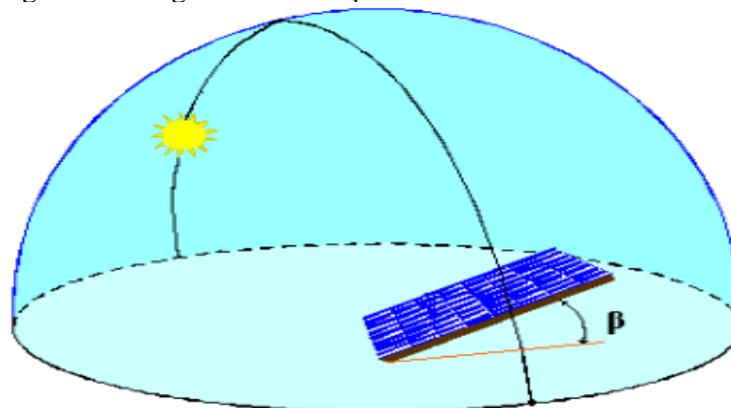
- Ângulo de incidência (γ): Este ângulo é formado por meios dos raios do Sol e a normal de superfície de captação.
- Ângulo Azimutal da Superfície (a_w): Este ângulo é formado pela projeção da normal à superfícies no plano horizontal e a direção Norte-Sul, a_w se diversifica de -180 até 180 .
- Ângulo Azimutal do Sol (a_s): É o ângulo por meio de projeções dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte – Sul.

- d) Inclinação (β): Este ângulo é dado entre o raio solar e a projeção sobre o plano horizontal.
- e) Ângulo Horário do Sol (ω): Ângulo formado pelo deslocamento angular leste- Oeste do Sol, por meio do meridiano local, sendo assim, cada hora condiz a um deslocamento de 15° , por esse motivo assume valores negativos no período matutino $\omega = 0$ para o meio dia e valores positivos no período da tarde.
- f) Ângulo Zenital (Θ_z): Ângulo formado entre os raios solares e a vertical.

4.2.7 Inclinação dos módulos

Para-se obter a máxima geração de energia ao decorrer do ano, o ângulo de inclinação fotovoltaico (apresentado na Figura 28) tem de ser idêntico à latitude do local onde o sistema será implantado. Contudo, poucas variações na inclinação não geram grandes mudanças na energia produzida anualmente e a inclinação do gerador fotovoltaico pode ficar por volta dos 10° ao redor da latitude do local. Para áreas que se localizam muito próximas ao equador, com latitudes diversificando entre -10° e $+10^\circ$, recomenda-se uma inclinação mínima de 10° , para beneficiar a autolimpeza dos módulos, visto que a sujeira atrapalha o desenvolvimento do mesmo. Toda via, é recomendando tomar cuidado tem que tomar cuidado para os módulos não sofrer danos nos vidros ou qualquer outro material de cobertura. Para a limpeza recomenda-se apenas água e um pano macio. Tal procedimento deve ser feito no início da manhã ou ao entardecer, assim o gerador fotovoltaico está frio e sua produção é pequena (GALDINO; PINHO, 2014).

Figura 28 - Ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos



Fonte: CRESESB (2014).

Em períodos de inclusão menores, o ângulo de inclinação que aumenta a geração de energia (instantânea ou diária) muda de acordo com a época do ano e com a latitude do local o

sistema será implantado. De acordo com a aplicação e das condições climáticas ao decorrer do ano, inclinações que privilegiem a geração podem ser utilizadas.

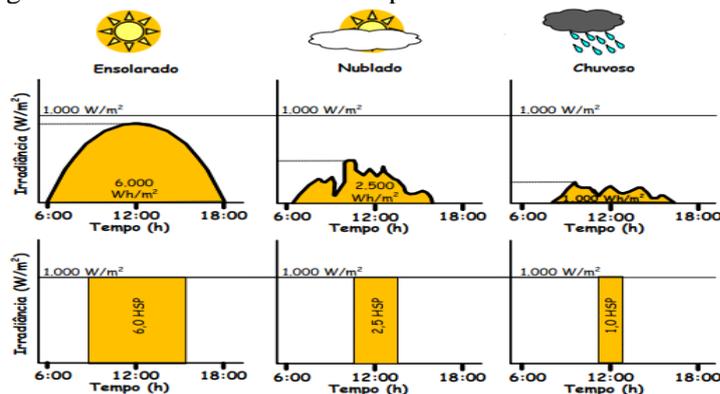
4.2.8 Horas de sol pleno

Certo gerador fotovoltaico tem suas propriedades elétricas submetido basicamente da irradiância e da temperatura dos módulos. A irradiância solar é mais influente do que a da temperatura. A irradiância pode mudar drasticamente em curtos intervalos de tempo, principalmente em dias com nuvens, mais a variação da temperatura é minimizada pela capacidade térmica dos módulos. Para a produção de energia elétrica é importante ignorar os efeitos de variação da irradiância a cada instante e levar em consideração a totalidade da energia elétrica transformada em intervalo de tempo. Como existe uma forte ligação direta entre a produção de energia e a irradiação horária, tal conceito pode ser estendido, criando uma forma bastante adequada de se mostrar o valor acumulado de energia solar ao decorrer de um dia: o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Tal grandeza apresenta o número de horas em que a irradiância solar deve manter constante e igual a 1 kW/m² (1.000 W/m²), de modo que a energia resultante seja correspondente à energia cedida pelo sol no local em que se trata, armazenada no decorrer do dia. A Equação 6 é um exemplo de cálculo do número de HSP para um caso em que a irradiação é de 6 kWh/m² (GALDINO; PINHO, 2014).

$$HSP = \frac{6[\text{kWh}/\text{m}^2]}{1[\text{kW}/\text{m}^2]} = 6[\text{h}/\text{dia}] \quad (6)$$

A Figura 29 ajuda a entender melhor a grandeza horas de sol pleno.

Figura 29 - Grandeza horas de sol pleno



Fonte: CRESESB, (2014).

4.2.9 Equipamentos do sistema fotovoltaico

Nas últimas décadas, o Brasil limitava suas instalações de sistemas fotovoltaicos, principalmente, na utilização de sistemas remotos. Porém, no cenário internacional houve uma baixa dos custos de investimentos e expansão da capacidade instalada da fonte fotovoltaica nos últimos anos.

4.2.10 Tipos de sistemas fotovoltaicos

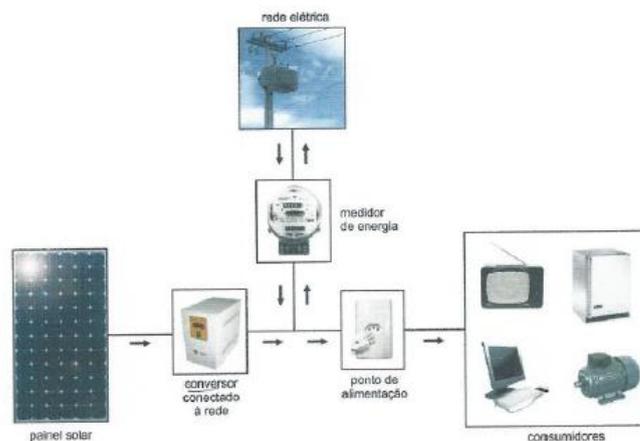
No geral um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três tipos:

- a) Sistemas conectados à rede nomeados *on-grid*;
- b) Sistemas não conectados à rede conhecidos como sistemas isolados chamados de *off-grid*;
- c) Sistemas híbridos consiste na combinação de outros sistemas com outras fontes de energia.

4.2.10.1 Sistemas *on-grid*.

O Sistema *on-grid* é um sistema onde é conectado à rede elétrica, isto é, um sistema mais seguro, já que se nesse tipo de sistema fotovoltaico não produzir a energia elétrica necessária para suprir a necessidade do consumidor ele automaticamente irá receber a energia da distribuidora. Porém se o sistema fotovoltaico gerar energia elétrica de modo que exceda a demanda da residência, o que foi ultrapassado é transmitido para a rede elétrica gerando um crédito para o proprietário. Na Figura 30 demonstra tal modelo.

Figura 30 - Modelo *on-grid*.



Fonte: Ribeiro (2012).

Para que o sistema fotovoltaico seja conectado à rede é preciso que o consumidor (proprietário) da central geradora qualifica como micro ou minigeradora e siga os procedimentos especificados na seção 3.7 do modulo 3 do PRODIST (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Para fazer o pedido de acesso o acessante é responsável pela regularização do pedido para enviar a documentação, dados e informações pertinentes, bem como dos estudos realizados. Os dados e informações requeridos encontram-se no formulário cedido pela distribuidora.

É de responsabilidade da distribuidora o recebimento do pedido de acesso incluído no formulário de solicitação disponível no site da distribuidora para que o acessante preencha com seus dados.

Os dados e informações solicitados pelas distribuidoras deverá estar com situação regularizada para que prossiga com o andamento do processo.

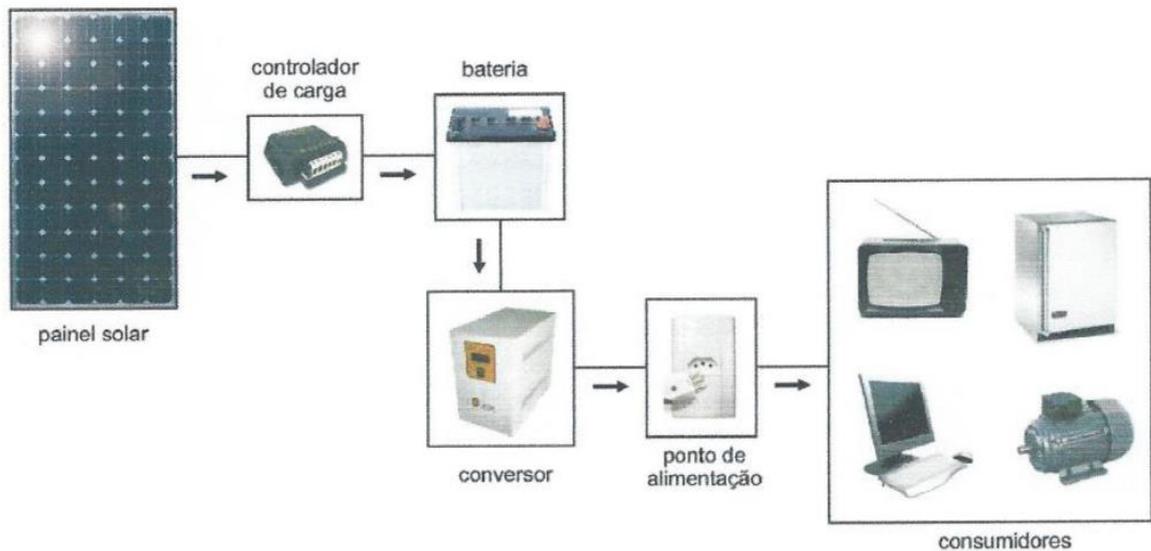
Com forme a ação referente ao item 2,5 da seção 3.7 do PRODIST (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016), a distribuidora deve emitir o parecer de acesso com a definição das condições. O prazo deve ser de 15 dias para central geradora classificada como microgeração distribuída.

Para central geradora definida como minigeração distribuída, quando não existe a necessidade de realização de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição o prazo é de até 30 dias, se existir a necessidade o prazo aumenta para 60 dias.

4.2.10.2 Sistema isolados (*off-grid*)

Estes sistemas *off-grid* são sistemas fotovoltaicos não conectados à rede, ou melhor, usa se em lugares onde são afastados, lugares remotos onde o consumidor não possua ligação com a distribuidora de energia, ou por opção do consumidor. O sistema *off-grid* por não possuir ligação com a concessionária necessita de baterias onde é realizado o armazenamento de energia elétrica para ser usada em período noturno ou em período onde não há sol. Na Figura 31 demonstra -se um modelo de sistema *off-grid*.

Figura 31 - Modelo de Sistema *off-grid*.



Fonte: Ribeiro (2012).

Esses sistemas *off-grid* possuem uma desvantagem relacionados com os sistemas *on-grid*, pela ocorrência de precisar de controladores de carga e baterias, levando assim cerca de 30% menos eficiente se comparado aos sistemas *on-grid*. Também seu valor de instalação é mais elevado que o *on-grid*.

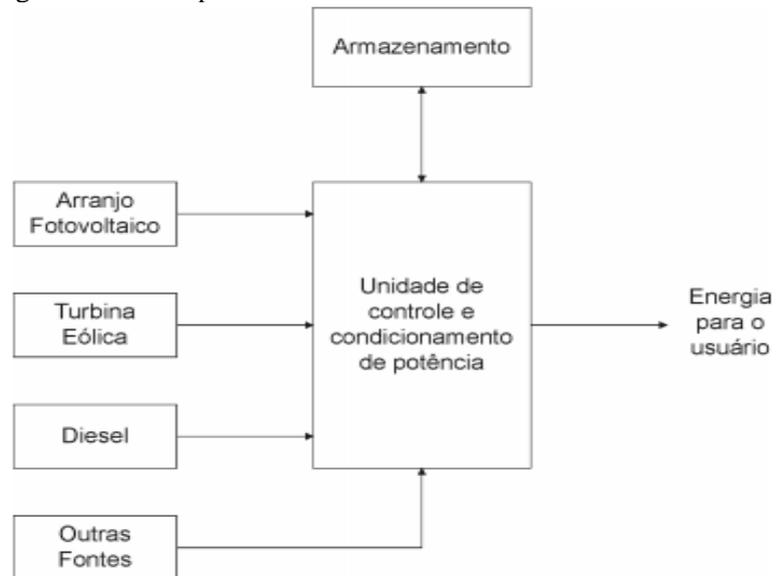
4.2.10.3 Sistemas Híbridos

De acordo com Machado (2015) sistemas híbridos são utilizados para sistemas de médio a grande porte, visando atender um grande número de usuários. Trabalhando com correntes contínuas esse sistema também conta com um inversor.

Ainda conforme Machado (2015) por ser um sistema com arranjos complexos e multiplicidade de opções, sua forma de otimização torna-se um estudo particular para cada caso.

Um exemplo de configuração pode ser demonstrado na Figura 32 onde é possível perceber a existência de bloco chamado “Unidade de controle e condicionamento de potência” que possui a função de integrar os vários geradores otimizando a operação de todo o sistema.

Figura 32 - Exemplo de um sistema híbrido



Fonte: (GALDINO; PINHO,2014).

4.2.11 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico

Para se dimensionar o gerador fotovoltaico de forma aperfeiçoada, é recomendado levantar o consumo médio diário anual da edificação (Wh/dia) subtraindo o valor da disponibilidade mínima de energia. Tal dado pode ser obtido pelo histórico de faturas mensais de consumo de energia elétrica geradas pela distribuidora local. A potência de um microgerador que constitui um sistema *on-grid* da Equação 7 (GALDINO; PINHO, 2014).

$$P_{Fv}(Wp) = \frac{E/TD}{HSP_{MA}} \quad (7)$$

No qual:

- a) PFV (Wp): potência de pico do painel FV;
- b) E (Wh/dia): Consumo diário médio anual da edificação ou fração deles;
- c) HSPMA(h): Média diária anual das HSP incidente no plano do painel FV;
- d) TD (adimensional): Taxa de desempenho.

O item TD será apresentado no item 4.2.12.2 deste trabalho.

4.2.12 Índice de méritos

Os índices de méritos são cálculos individuais para cada sistema por meio dos valores de energia produzida, potência instalada e irradiação incidente. São utilizados para fazer um comparativo entre o sistema *on-grid* com diferentes potências ou que esteja instalado em outra localidade.

4.2.12.1 Yield

É a associação da energia gerada (kWh) em um dado tempo medido por (kW) e a potência instalada (kWp) de cada módulo fotovoltaico do sistema. Tal índice está vinculado a um limite de tempo e quando calculado para um ano é obtido por meio da Equação 8:

$$y = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV}} \left(\frac{\text{KWh}}{\text{KWp}} \right) \quad (8)$$

Onde Y é a energia produzida no sistema em relação ao seu tamanho, sendo assim ela é capaz de comparar energia produzida pelos sistemas de diferentes tamanhos. (URBANETZ JUNIOR, 2015).

4.2.12.2 Performance Ratio

É a associação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a 1.000W/m² incidentes no painel FV, geralmente sujeito a um ano de operação. Tal grandeza é expressa em porcentagem e segundo a Equação 9 (URBANETZ JÚNIOR, 2015).

$$Pr = \frac{Y_F}{H_{(t)} / G_{ref}} = \frac{\text{Yield}}{\text{irradiação} / 1000} (\%) \quad (9)$$

De outro modo pode-se dizer que este valor demonstra o desempenho descontando as perdas efetivas nos sistemas como: perdas nas conexões, nos inversores, e principalmente perdas devido ao aumento de temperatura nos módulos em relação a temperatura ambiente, entre outras perdas significativas. (MACHADO & CORREA, 2015).

4.2.12.3 Fator de capacidade

Representa o índice em percentagem que representa a capacidade de produzir energia sobre a energia nominal em um período de tempo, geralmente em um ano em horas. É o encarregado pela comparação das diversas fontes de energia e suas gerações. Pode-se ver que existe uma ligação entre o fator de capacidade e a produtividade, esta associação é direta, sendo assim conseguindo o valor da produtividade tem-se o valor do fator de capacidade conforme Equação 10.

$$F_c = \frac{\text{Energia gerada}}{\text{potência } Fv \times 24 \times \text{dias}} (\%) \quad (10)$$

No Brasil os sistemas *on-grid* o CF possui 13% e 18% alternando de acordo com a disposição do recurso solar e da tecnologia e forma de se dimensionar o sistema (MAESTRI, 2018).

5 METODOLOGIA

Inicialmente o trabalho se limita em pesquisas bibliográficas onde foi adquirido conhecimento sobre o assunto e as características dos métodos a serem utilizados, assim como o dimensionamento das usinas de biogás e fotovoltaica. A metodologia aplicada será dividida em três partes fundamentais para chegar aos resultados esperados.

- a) Análise preliminar: Etapa onde será verificada o local, assim como será analisado a área útil, instalação elétrica, atividades exercidas, parâmetros de consumo elétrico (análise da fatura). Nesta primeira análise será feito um levantamento geral do local, analisando toda área construída.
- b) Análise para aplicação das tecnologias: Etapa onde será verificada se as tecnologias de biogás e fotovoltaica atende a necessidade do local realizando um projeto de usina no local. Nesta segunda etapa será realizado uma simulação de duas usinas, uma de biogás e outra usina fotovoltaica.
- c) Análise comparativa das duas fontes utilizadas: Etapa onde será feito uma comparação técnica e econômica entre os resultados apresentados pelas usinas de biogás e fotovoltaico. Nesta terceira etapa será onde veremos quais das tecnologias será mais adequada perante o consumo do local em estudo.

6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado na Fazenda Santo Antônio dos Dois Córregos localizada em Jêsuânia, na região do vale Paranaíba, Sul de Minas Gerais. A metodologia acima citada será relatada neste capítulo expondo os dados obtidos.

6.1 Levantamento de dados e característica do local

Para desenvolver este trabalho foram coletadas informações na fazenda Santo Antônio dos Dois Córregos localizada no município de Jesuânia, estado de Minas Gerais. A propriedade está localizada no endereço estrada Jesuânia-Bananal, Km 36, com latitude e longitude de -21 graus e -45 graus respectivamente. A Figura 33 mostra a localização da propriedade.

Figura 33 – Localização geográfica da propriedade de estudo



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

A propriedade possui atividades de bovinocultura leiteira. A fazenda acomoda um total de 2.500 vacas da raça holandesa. O número de vacas em período de lactação é de 520 fêmeas, que, são ordenhadas três vezes ao dia, sendo responsáveis pela produção diária de 13.500 litros de leite exclusivamente vendidos para a fabricação de iogurtes. A produção é buscada duas vezes ao dia por caminhões próprios para esse tipo de transporte. Os litros de leite, quando na fazenda, são armazenados em 3 tanques de 15 mil, 10 mil e 5 mil que pode ser visualizados na imagem 34.

Figura 34 - Tanques de armazenamento de leite.



Fonte: O autor (2018).

Na propriedade, as vacas ficam confinadas em uma estrutura chamada de *free-stall*, que consiste em um sistema de baias com camas individualizadas, corredores de acesso e pistas de trato que possibilita controlar melhor as condições do ambiente, melhorando o conforto do animal e evitando flutuações de produção entre o inverno e verão. Na Figura 35 exibe as baias de confinamento das vacas.

Figura 35 - Confinamento das vacas.



Fonte: O autor (2018).

No Quadro 7 é apresentado os dados do local a ser analisado.

Quadro 7– Dados do local de estudo

Nome fantasia:	Fazenda Santo Antônio dos dois Córregos
Proprietário	Carlos Raimundo dos Santos
Endereço:	Fazenda Santo Antônio 99997 FZ
Cidade / CEP:	Jesuânia / 37485-000
Estado	Minas Gerais
Telefone de contato:	(35) 99133-1069
Característica lucrativa:	Bovinocultura leiteira
Ramo de atividade:	Pecuária leiteira

Fonte: O autor (2018).

No local de estudo possuem 6 edificações, sendo elas:

- a) **Baias:** lugar onde as vacas se encontram contendo: baias, berçário e terminação. Recebem todo o tratamento como comida, água e etc. Este galpão possui uma área total de 9.600m² com sistema de climatização automatizado, composto por 48 ventiladores que possuem um motor de 1 cv de potência em cada e 20 ventiladores que possuem um motor de 3 cv de potência em cada que são acionados quando a temperatura ambiente atinge acima de 20°C.
- b) **Ordenha:** local onde as vacas são encaminhadas para a retirada do leite onde possuem as ordenhadeiras.
- c) **Armazenamento de leite:** estabelecimento onde os leites que são reservados para a empresa uma única empresa do ramo de iogurtes, contendo 3 tanques, sendo eles: o maior contendo 15 mil, 10 mil e 5 mil litros de capacidade.
- d) **Veterinária:** lugar onde as vacas são examinadas e vacinadas, também onde é feito também inseminação nas vacas.
- e) **Outros lugares:** lugares variados onde contém bombas de água, triturador de alimentos e alguns outros motores e equipamentos.

O Quadro 8 informa as características energéticas de fornecimento do local de análise, obtendo também seu histórico de consumo e demanda dos últimos 12 meses.

Quadro 8– Características de fornecimento e consumo

Local:	Fazenda Santo Antonio dos Dois Corregos
Concessionária:	Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG
Nº de Instalação:	3010696745
Nº do Cliente:	7003599635
Medidor:	BAC129004255
Nível de Tensão:	Tensão Nominal: 13,8 kV
Modalidade Tarifária:	Convencional B2 – Agropecuária Rural

Horário de Funcionamento	24 horas
---------------------------------	----------

Fonte: O autor (2018).

Na tabela 5 é possível observar o histórico da fatura de energia elétrica.

Tabela 5 - Histórico de energia elétrica.			
HISTÓRICO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA			
MÊS/ANO	CONSUMO kW/h	MÉDIA kWh/Dia	Dias
OUT/2018	30.240	945,00	32
SET2018	30.600	1.020,00	30
AGO/2018	37.800	1.181,25	32
JUL/2018	26.280	906,20	29
JUN/2018	32.160	1.072,00	30
MAI/2018	25.680	802,50	32
ABR/2018	25.920	864,00	30
MAR/2018	24.360	840,00	29
FEV/2018	27.480	947,58	29
JAN/2018	25.800	781,81	33
DEZ/2017	25.560	912,85	28
NOV2017	22.080	669,09	33
OUT/2017	25.800	921,42	28
Média:	27.674	912,59	

Fonte: CEMIG (2018).

A fazenda em estudo é abastecida por um transformador de 300kVA, sendo a tensão de utilização 220 V trifásico (fases-neutro). Na Figura 36 é possível visualizar o poste com o transformador.

O transformador de 300 kVA já está operando no seu limite, para possível aumento de demanda seria necessário a troca do mesmo.

Figura 36 – Transformador do local



Fonte: O autor (2018).

6.2 Diagnostico inicial

De acordo com a metodologia, efetuou-se o levantamento de carga de todas as edificações que compõe a Fazenda Santo Antônio dos Dois Córregos, caracterizando assim suas tipologias reais de consumo.

6.2.1 Levantamento de carga

Todos equipamentos consumidores de energia elétrica foram catalogados referentes a dados técnicos (potência unitária, potência total, horário de funcionamento, consumo mensal) sendo previamente divididas nas tabelas.

Na tabela 6 é possível visualizar todos os equipamentos de consumos localizados nas baias.

Tabela 6 – Levantamento de consumos das baias.

Local	Equip.	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total (W)	Tempo (Horas)	Consumo (kWh/mês)
Baias	Vent. 1cv	48	745,7	35.793,6	8	8.590,46
	Vent.3cv	20	2.237,1	44.742	8	10.738,08
	Lâmpadas 25w	30	25	750	4	90
Total		68	3.007,8	81.285,6		19.418,54

Fonte: O autor (2018).

Na tabela 7 é possível visualizar todos os equipamentos de consumo localizados no armazenamento de leite.

Tabela 7 – Levantamento de consumo do Armazém.

Local	Equip.	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total (W)	Tempo (H)	Consumo (kWh/mês)
Armaz.	Comp. 60cv	1	44.741,99	44.741,99	12	16.107,11
	Comp. 30cv	1	22.371	22.371	12	8.053,56
	Comp. 5cv	1	3.728,5	3.728,5	12	1.342,26
Total		3	70.841,49	70.840,99		25.502,93

Fonte: O autor (2018).

Na tabela 8 é possível visualizar todos os equipamentos de consumo da veterinária.

Local	Equip.	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total (W)	Tempo (H)	Consumo (kWh/mês)
Veterinária	CPU	1	1.200	1.200	8	288
	Lâmpadas 25 w	6	250	1.500	8	360
Total		7	1.350	2.000		648

Fonte: O autor (2018).

Na tabela 9 é possível visualizar todo levantamento de consumo da ordenha.

Local	Equip.	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total (W)	Tempo (H)	Consumo (kWh/mês)
Ordenha	Bomba de 10 cv	1	7.457	7.457	4	894,84
Total			7.457	7.457		894,84

Fonte: O autor (2018).

Na tabela 10 é possível observar todo o levantamento de dados de consumo de diversos locais, onde não tem um lugar em específico.

Local	Equip.	Qtd.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total (W)	Tempo (h)	Consumo (kWh/mês)
Outros Lugares	Bomba do rio 15 cv	1	11.185,5	11.185,5	4	1.342,26
	Máquina de triturar alimento 60 cv	1	44.441,99	44.441,99	1	1.333,25
	Bomba de agitação 30 cv	1	22.371	22.371	5	3.355,65
	Misturador de ração 50cv	1	37.284,99	37.284,99	4	4.474,19
	Picadeira 15 cv	3	11.185,5	33.556,5	3	3.020,08
	Cerca elétrica	1	600	600	24	432
Total		8	127.068,98	149.439,98		13.525,43

Fonte: O autor (2018).

Por meio do levantamento de consumo foi possível obter o total do consumo do local em estudo a tabela 11 mostra a potência total de consumo.

Tabela 11 – Tabela total da potência total de consumo.

Local	Pot. Total (W)	Consumo (kWh/mês)
Baias	81.285,6	19.418,54
Armazém. De leite	70.840,99	25.502,93
Veterinária	2.700	648
Ordenha	7.457	894,84
Outros Lugares	149.439,98	13.525,43
Total	311.723,57	59.989,74

Fonte: O autor (2018).

Assim, verifica-se que a carga total do local está estimada em 311,723 kW de potência, deixando o transformador quase que sobrecarregado (ressalta-se que transformadores suportam até 20% acima da sua potência nominal).

Outro dado importante é que seu consumo estimado mensal de energia elétrica está em média de 59.989,74 kWh/mensal. Este levantamento é importante para avaliar se a geração do sistema de biogás, que será visto com maiores detalhes no item 6.2.3, está dentro do esperado.

A média dos 12 últimos consumos de energia elétrica está em 27.674 kWh/mês, ou seja, o biogerador em suas 16 horas de funcionamento, teoricamente 32.315,74 kWh/mês.

6.2.2. Automação do sistema

A fazenda possui algumas atividades que foram automatizadas. A automação da produção leiteira ajuda a diminuir custos como mão-de-obra, pois facilita as atividades e custos e reduz erros. Na propriedade os sistemas automatizados foram os sistemas de temperatura e os sistemas de armazenamento.

6.2.2.1. – Zona de Conforto

As vacas, essencialmente as de raça holandesa se sente aconchegadas termicamente a uma temperatura ambiente de 18°C a 22°C.

O Brasil é um país que se tem altas temperaturas, onde a maior parte do ano se encontra a cima dos 22°C, todos os aparelhos economicamente viáveis que melhorem o conforto e bem-estar térmico das vacas serão de extrema importância para a produção de leite e, principalmente, para o desempenho fértil do bando. O conjunto ventiladores e nebulizadores existente na fazenda pode ser visualizado na Figura 37.

Figura 37– Ventiladores e Nebulizadores.



Fonte: O autor (2018).

6.2.3.2 – Resfriador de leite

A refrigeração nas fazendas leiteira é um dos fatores mais importantes para a qualidade do leite. Quanto mais veloz for reduzida a temperatura, melhor será a preservação do leite. Sendo assim, utilizam-se tanques de expansão, que apresentam melhores circunstâncias para um acelerado resfriamento além de preservar a temperatura a 4°C. O leite deve chegar a 4°C em um tempo igual ou inferior a duas horas.

Os tanques de armazenamentos possuem dispositivos que, quando a temperatura do leite chega a 4°C, ele desliga automaticamente.

Dentro dos tanques de refrigeração, a pá mistura constantemente o leite durante o resfriamento e, após o desligamento a pá é acionada em intervalos de tempo mantendo a gordura misturada aos outros ingredientes do leite. Nas Figuras 38 e 39 é possível visualizar os tanques de resfriamento e o painel de informação de temperatura.

Figura 38 – Tanques de resfriamento



Fonte: O autor.

Na Figura 39 é possível visualizar o painel que mostra a temperaturas dos tanques.

Figura 39 – Painéis de temperatura.



Fonte: O autor (2018).

6.2.3. Biogás instalado

No local de estudo, já existe um sistema de biogás instalado desde o ano de 2010. Este é um sistema mais robusto e que está abatendo cerca de 55% do consumo atual. Ele possui um

sistema de captação dos dejetos bovinos que passam por diversas etapas até chegar ao biodigestor, onde o gás é canalizado e levado até o biogenerador de 120 kVA, que opera cerca de 16 horas por dia. Será demonstrado com maiores detalhes todos os processos do sistema já existente.

Os dejetos das vacas são conduzidos, conforme a Figura 40, por meio das pistas para os biodigestores do modelo fluxo tubular da marinha brasileira, de acordo com a Figura 40, instalado sendo o maior com 20 m de largura x 40 m de comprimento x 6 m de profundidade e o menor sendo 15 m de largura x 35 m de comprimento x 6m de profundidade. Toda a água utilizada para a limpeza diária das baias de confinamento, terminação, e berçário também é encaminhado para o biodigestor em conjunto com os dejetos dos animais.

Figura 40 - Pista de condução de dejetos.



Fonte: O autor (2018).

Na Figura 41 é possível visualizar os biodigestores com identificações de maior e menor.

Figura 41 - Biodigestores.



Fonte: O autor.

Como o produto da biodigestão é obtido o biogás, e como efluente é retirado o biofertilizante, este último é encaminhado para um tanque de armazenamento de 500 mil litros que pode ser visualizado na Figura 42.

Figura 42 - Tanque de armazenamento.



Fonte: O autor (2018).

O tanque possui um agitador de 30 cv para deixar homogêneo o dejetos com a água. Uma bomba de 3 cv externa faz a sucção da mistura, separando a parte líquida da sólida. A Figura

43 demonstra a bomba de sucção.

Figura 43 - Bomba de Sucção.



Fonte: O autor (2018).

A parte sólida e líquida são separadas por meio do sistema mostrado acima, onde toda parte sólida é utilizada como “cama das vacas”, e a parte líquida é encaminhada para 3 pequenos tanques de decantação mostrados na Figura 44.

Depois que o processo de decantação foi realizado o líquido, já quase puro, é encaminhado para o biodigestor, onde é realizado a parte anaeróbica e assim é produzido o biogás.

Figura 44 - Tanques de decantação.



Fonte: O autor (2018).

Já na casa de máquinas, local onde abriga os equipamentos de conversão e geração de

energia, o biogás chega no gerador através de um sugador de 1cv de potência, que puxa o gás até o gerador para fazer a conversão em energia elétrica. É possível visualizar o sugador na Figura 45.

Figura 45 - Sugador.



Fonte: O autor.

O biogerador que a fazenda já possui é do modelo GMWM120, com potência de 120 kVA, com tensão de saída de 127V – 380V e pode ser visualizado na Figura 46.

Figura 46 – Biogerador.



Fonte: O autor (2018).

Na Figura 47 é apresentado o datasheet com as informações do biogerador.

Figura 47 - Datasheet - Biogerador

GRUPO GERADOR - GMWM120 e GAUT120			
Potência	Emergência 120 kVA / 96 kW	Principal 108 kVA / 87 kW	Contínua 96 kVA / 77 kW
Combustível	BIOGÁS (ideal - concentração de metano > 55%) GÁS NATURAL		
Consumo (Nm3)	Biogás @ 6500 kcal 56 Nm3/h	GÁS NATURAL 49 Nm3/h	
Saída	127V / 220V AC	-	220V / 380 V AC
Controle de Rotação	Eletrônico do tipo isócrono com controle por sensor eletromagnético e proteção contra sub e sobrevelocidade.		
Chassi	Perfis de chapa de aço carbono, dobrados em "U", frios ou laminados, soldados com tecnologia MIG, com pintura esmaltada.		
Dimensões Alt./Larg./Comp.	1500mm X 960mm X 2550mm		
Peso (Kg)	1150		
MOTOR - MWM			
Modelo	6.12 T - 6 cilindros / 12 válvulas		
Tensão de Operação	24VCC / Bateria Chumbo ácida 150 AH		
Refrigeração	A água com radiador, ventilador e bomba d' água		

Fonte: (MWM, 2018).

A estimativa de geração mensal deste biodigestor pode ser vista no cálculo, como:

(Potência do Gerador em Estado Contínuo [W] * Horas de Operação * Dias no Mês) /

1000

Assim: $(77.000 \times 16 \times 30) / 1000 = 36.960 \text{ kWh/mensal}$

Isto mostra que a geração máxima prevista a ser realizada pelo biogerador está próxima a estimativa de carga realizada no item 6.2.1.

Por se tratar de um biogerador trabalhando de forma contínua, o fabricante recomenda a utilização de no máximo 16 horas por dia, para que não cause desgaste excessivo nos componentes rotativos e dinâmicos. Assim, 8 horas diárias de gás é queimado por um queimador de biogás que pode ser visualizado na imagem 48.

Figura 48 - Queimador



Fonte: O autor.

6.3 Diagnostico Final

Depois de todo o levantamento feito em campo sobre o consumo do local, o próximo estudo é propor melhorias que aumente o nível de eficiência do local, através da utilização de fontes renováveis de energia, em específico a fotovoltaica e o biogás, exemplificando suas avaliações em termos técnicos-econômicos para que o cliente compense perto de 95% do seu consumo de energia. O primeiro estudo se deve ao projeto de um sistema fotovoltaico, dimensionado através de visita técnica para verificação de azimute, área disponível, tipo do telhado, inclinação, sombreamento e pontos de conexão. O segundo estudo é verificar a viabilidade de implementar um novo biodigestor para atender ao consumo do local, levando em consideração que já existe a planta instalada.

6.3.1. Sistema Fotovoltaico

Conforme citado no item acima o próximo passo é fazer um projeto de uma usina fotovoltaico que supre toda necessidade do cliente. A quantidade de energia produzível é calculada com base nos dados radiométricos, conforme a fonte NASA, o atlas Solarimétrico do Brasil e utilizando os métodos descrito neste trabalho. Para iniciar o projeto, com o uso do programa Google Earth foi possível obter-se a latitude, longitude, ângulo de inclinação e a altitude conforme a tabela 12.

Tabela 12 - Tabela do local.

DADOS DA LOCALIZAÇÃO	
Localidade:	Jesuânia Fazenda Santo Antônio
Latitude:	-021° -59' -52''
Longitude:	-045° -17' -27''
Altitude:	900m
Fonte dados climáticos:	Nasa
Albedo:	60% Superfícies claras de edifícios

Fonte: O autor (2018).

A avaliação do recurso solar disponíveis no local de instalação, foi efetuada de acordo com o levantamento dos dados com a fonte Nasa e o Atlas Solarimétrico do Brasil retirados pela plataforma da SICES – SOLAR. A tabela 13 mostra a avaliação do recurso solar.

Tabela 13 – Avaliação de recurso solar.

	Latitude: -21	Longitude: -45
	Radiação Global Horizontal	Temperatura Ambiente
	KWh/m ² /dia	°C
Janeiro	5,46	22,18
Fevereiro	5,48	22,34
Março	5,07	21,66
Abril	4,79	20,44
Mai	4,16	17,99
Junho	4,11	16,85
Julho	4,33	17,12
Agosto	5,01	18,9
Setembro	5,05	20,63
Outubro	5,5	21,57
Novembro	5,56	21,35
Dezembro	5,32	21,63
Média	4,99	20,22
Fonte:	Nasa	

Fonte: Nasa (2018).

6.3.1.1. Dimensionamento

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico *on-grid* usou-se a média de irradiação solar de 4,99 kWh/m²/dia, enunciado na tabela acima.

Para dar andamento no dimensionamento do sistema fotovoltaico *on-grid* usou-se a Equação 7 deste trabalho do item 4.2.1. O consumo médio do local de estudo sem considerar já desconsiderando a taxa de disponibilidade (100 kWh/mês) é de 27.574 kWh/mês. Outro parâmetro que foi utilizado no dimensionamento é o fator de Performance Ratio (PR), já apresentado no item 4.2.12.2. Neste caso, levando em consideração um dimensionamento inicial, o valor da PR é de 80%, ou seja, as diversas perdas no sistema somadas dão o montante de 20%.

É apresentado o cálculo da potência da usina a ser instalada:

$$P_{Fv}(kWp) = \frac{27.574}{4,99 \times 30 \times 0,80} = \mathbf{230,24 kWp}$$

Então, verificou-se para suprimir toda demanda energética do local de estudo necessita-se de uma usina de 230,24 kWp. Assim, toda a geração de energia do local seria dada através de duas fontes de geração de energia, a biogás (já instalada) e a fotovoltaica (proposta de projeto).

Para dar andamento ao projeto deve-se verificar a quantidade de módulos. Em contato com fornecedores, foram adotados critérios como, preços, tempo de entrega dos produtos e qualidade. O módulo com o melhor custo benefício no mês de outubro de 2018 é o módulo de 355 W policristalino, da marca Canadian Solar in.

Assim, para uma usina 230,24kWp necessita-se de aproximadamente 650 módulos, sendo o valor final de potência da usina dado em:

$$650 \text{ módulos} \times 355W = 230,75 \text{ kWp de potência instalada.}$$

O dimensionamento do inversor se dá através da sua potência unitária, levando em consideração a informação repassada pelos fornecedores que cada inversor suporta até 30% de sobrecarga em relação a sua potência nominal. Neste caso, o sistema fotovoltaico foi dividido em dois geradores fotovoltaicos.

O primeiro gerador utiliza 3 inversores da marca Sungrow modelo SG60KTL-M com potência unitária de 60kWp. Já o segundo gerador utiliza 1 inversor da marca Sungrow modelo SG36KTL-M com potência unitária de 36 kWp. Portanto, serão 216 kWp de potência nominal instalada. O dimensionamento extratificado será apresentado ao decorrer do trabalho proposto.

Com os dados técnicos do local e dos equipamentos a ser dimensionados, foi utilizado o software Solergo para cálculos mais específicos sobre os sistemas fotovoltaicos. Este software é disponibilizado no mercado apenas na versão paga, disponibilizado sem custos por uma empresa parceira que é integradora do ramo de energia solar. Ressalta-se que este é o primeiro software da área com interface totalmente em português. Neste software foi colocado as características do local, dados elétricos dos equipamentos escolhidos e os dados gerados serão apresentados.

O sistema fotovoltaico é composto por 2 geradores, distribuídos no telhado metálico, orientado a noroeste existente na fazenda, com características de orientação, inclinação e sombreamento apresentados de acordo com a Quadro 9.

Quadro 9 - Exposição do telhado

Descrição	Tipo de instalação	Orientação	Inclinação	Sombreamento
Telhado Noroeste	Ângulo fixo	145°	15°	0%

Fonte: Solergo (2018).

O primeiro gerador é composto de 540 módulos fotovoltaicos de silício policristalino com uma vida útil estimada além dos 25 anos e queda na produção devido ao envelhecimento de 0.8% ao ano. O Quadro 10 mostra as características do gerador fotovoltaico e o Quadro 11 mostra as características técnicas dos módulos que foram utilizados.

Quadro 10 - Características do gerador

CARACTERÍSTICAS DO GERADOR FOTOVOLTAICO	
Número de módulos:	540
Número de inversores:	3
Potência nominal:	191700 W
Performace ratio:	78,3%

Fonte: Solergo (2018).

Quadro 11 – Características dos módulos

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS	
Fabricante:	CSI CANADIAN SOLAR INC
Modelo	CS3U KuMax CS3U 355P
Tecnologia de const.:	Silício Policristalino
Características elétricas	
Potência Máxima:	355 W
Rendimento:	17,9 %
Tensão nominal:	39,4 V
Tensão em aberto:	46,8
Corrente nominal	9 A
Corr. de curto-circuito	9,6 A
Dimensões	
Dimensões:	992 mm x 2000mm
Peso:	22,6 Kg

Fonte: Solergo (2018).

O sistema de conversão é formado por um grupo de conversores estáticos (inversores). A escolha dos inversores é feita de acordo com as especificações do sistema ao qual está conectado. A máxima potência do inversor deve ser igual ou superior a potência da demanda. Também deve-se atentar a capacidade de sobrecorrente, principalmente com a presença de motores no sistema. Os dados técnicos dos inversores podem ser visualizados no Quadro 12.

Quadro 12 – Dados técnicos dos inversores

DADOS TÉCNICOS DO INVERSOR	
Fabricante:	SUNGROW
Modelo:	SG SG60KTL M
Número de rastreadores:	1
Entrada para rastreador	14
Características elétricas	
Potência nominal:	60 kW
Potência Máxima:	60 kW
Potência máxima por rastreador:	60 kW
Tensão nominal:	620 V
Tensão máxima:	1000 V
Tensão mínima por rastreador:	570
Tensão máxima por rastreador:	950
Tensão máxima de saída	380 Vac
Corrente nominal:	120 A
Corrente máxima:	120 A
Corrente máxima por rastreador:	120 A
Rendimento:	0,98

Fonte: Solergo (2018).

Já o Quadro 13 mostra como ficou dividido fisicamente os arranjos dos módulos fotovoltaicos para que atendam as especificações máximas de projeto, que levam em consideração parâmetros elétricos de entrada dos inversores.

Quadro 13 - Dados dos inversores

Inversor 1	MPPT 1
Módulos em série	18
Conjunto de módulos em paralelos	10
Exposições	Telhado Noroeste
Tensão MPPT (STC)	709,2V
Número de módulos:	180
Inversor 2	MPPT 1
Módulos em série	18
Conjunto de módulos em paralelos:	10
Exposições	Telhado Noroeste
Tensão MPPT (STC)	709,2 V
Número de módulos	180
Inversor 3	MPPT
Módulos em série	18
Conjunto de módulos em paralelos	10
Exposições	Telhado Noroeste
Tensão MPPT (STC)	709, V
Número de módulos:	180

Fonte: Solergo (2018).

O segundo gerador é composto por 110 módulos fotovoltaicos de silício policristalino com uma vida útil estimada de mais de 25 anos e degradação da produção devido ao envelhecimento de 0.8% ao ano. No Quadro 14 verifica-se as características deste segundo gerador. Já no Quadro 15 é possível visualizar as características dos módulos, ressaltando ser os mesmos utilizados no primeiro gerador.

Quadro 14 - Característica do gerador

CARACTERÍSTICAS DO GERADOR FOTOVOLTAICO	
Número de módulos:	110
Número de inversores:	1
Potência nominal:	390500 W
Performace ratio:	78,3%

Fonte: Solergo (2018).

Quadro 15 – Características dos módulos

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS	
Fabricante:	CSI CANADIAN SOLAR INC
Modelo	CS3U KuMax CS3U 355P
Tecnologia de const.:	Silício policristalino
Características elétricas	
Potência Máxima:	355 W
Rendimento:	17,9 %
Tensão nominal:	39,4 V
Tensão em aberto:	46,8
Corrente nominal	9 A
Corr. de curto-circuito	9,6 A
Dimensões	
Dimensões:	992 mm x 2000mm
Peso:	22,6 Kg

Fonte: Solergo (2018).

No Quadro 16 é possível visualizar os dados do inversor utilizado no gerador dois.

Quadro 16 - Dados do inversor do gerador dois.

DADOS TÉCNICOS DO INVERSOR	
Fabricante:	SUNGROW
Modelo:	SG SG36KTL M
Número de rastreadores:	3
Entrada para rastreador	3
Características elétricas	
Potência nominal:	36 kW
Potência Máxima:	36 kW
Potência máxima por rastreador:	12 kW
Tensão nominal:	585 V
Tensão máxima:	1100 V
Tensão mínima por rastreador:	200

Tensão máxima por rastreador:	1000		
Tensão máxima de saída	380 Vac		
Corrente nominal:	88 A		
Corrente máxima:	88 A		
Corrente máxima por rastreador:	33 A		
Rendimento:	0,98		
Inversor1	MPPT 1	MPPT 2	MPPT 3
Módulos em série	19	18	18
Conjunto de módulos em paralelos:	2	2	2
Exposições	Telhado Noroeste	Telhado Noroeste	Telhado Noroeste
Tensão MPPT (STC)	748,6 V	709,2	709,2
Número de módulos	38	36	36

Fonte: Solergo (2018).

6.3.1.2. Perdas nos sistemas e geração de energia

Nesta seção serão abordadas e quantificadas as perdas previstas em um sistema conectado à rede, para uma segura estimativa de geração fotovoltaica conectada à rede, é de suma importância a consideração desses valores diante a representação negativa que a mesma possui no estudo de viabilidade econômico.

As perdas são constituídas por vários motivos, sendo os principais: os sombreamentos, aumento de temperatura, corrente contínua e perdas na conversão.

No Quadro 17 é possível visualizar as perdas do sistema de geração 1.

Quadro 17 - Perdas no sistema de geração 1.

Perdas por sombreamento totais	5,0%
Perdas por aumento de temperatura	5,6%
Perdas por descasamento	4,0%
Perdas de corrente contínua	1,5%
Outras perdas:	4,0%
Perdas na conversão:	3,5%
Perdas totais	21,4%

Fonte: Solergo (2018).

No Quadro 18 é possível visualizar as perdas no sistema de geração 2.

Quadro 18 - Perdas no sistema de geração 2

Perdas por sombreamento totais	5,0%
Perdas por aumento de temperatura	5,6%
Perdas por descasamento	5,0%
Perdas de corrente contínua	1,5%

Outras perdas:	5,0%
Perdas na conversão:	3,7%
Perdas totais	23,2%

Fonte: Solergo (2018).

Assim, após o dimensionamento e a verificação das perdas no sistema, pode-se verificar os valores de energia anual (kWh) geradas por ambos geradores:

- a) Gerador de 191,7 kWp: Geração de 285.096,9 kWh/ano;
- b) Gerador de 39,05 kWp: Geração de 56.753,8 kWh/ano;

Totalizando assim, que o sistema fotovoltaico de 230,75 kWp terá como previsão de geração anual o montante de 341.850,7 kWh, ou seja, 28.487,55 kWp. Este valor de geração está acima da média de consumo atual do cliente, o que mostra a eficiência no sistema dimensionado.

Outro aspecto importante são os dados referentes a redução na emissão de poluentes, vistos que o apelo ambiental é algo corriqueiro na nossa sociedade.

6.3.1.3. Análise financeira do fotovoltaico

Após avaliação técnica, se faz necessário a avaliação financeira. Ela se deu por meio de um orçamento solicitado ao integrador fotovoltaico parceiro no projeto.

O sistema proposto já projetado, instalado, comissionado, com todos os laudos, documentação de acesso a concessionária tem o valor de investimento de R\$ 875.952,00 (oitocentos e setenta e cinco mil, novecentos e cinquenta e dois reais).

Utilizando o valor da tarifa de R\$ 0,57968298 por kWh e sabendo que o consumo médio é de 27.573,8 kWh/mês, apenas de energia elétrica o local de estudo tem um custo médio mensal de R\$ 15.984,09. Este valor anual já aumenta para R\$ 191.808,75. Com base nestes dados e também levando em consideração um reajuste tarifário de 4% ao ano e uma depreciação na geração de energia de 0,8% ao ano, foi realizado o cálculo do *payback* simples do sistema, que pode ser verificado no Gráfico 1:

Gráfico 1 – Tempo de retorno do sistema fotovoltaico.



Fonte: O autor (2018).

Este gráfico indica que com o investimento realizado, o tempo de retorno do sistema é de 4 anos e 4 meses. Além disso, verifica-se que após a inversão da curva, o local ainda tem um lucro estimado em 25 anos com energia elétrica em torno de R\$ 6.273.582,46.

6.3.2. Sistema de Biogás

Este segundo projeto é mais simples, onde verifica-se a possibilidade de colocar mais um biogenerador para suprir a necessidade energética do cliente.

Através dos dados coletados na propriedade pode-se calcular a produção de biogás e a capacidade de geração do local. Por meio da Equação (1) localizada no item 4.1.1 deste trabalho e do referencial teórico e técnicas aplicadas, ressalta-se que a cada 1 kg de dejetos bovinos são gerados 0,04 m³ de biogás e que cada bovino produz cerca de 10 kg de dejetos por dia, temos o cálculo.

$$T1_{biogás}/dia = 10 \times 0,04 = 0,4m^3/dia$$

Sendo assim a Equação (2) localizada no item 4.1.1 deste trabalho se obtém a quantidade de biogás por dia, que é a multiplicação da quantidade de biogás unitário pela quantidade de animais na localidade com área de coleta de dejetos.

$$T1_{biogás}/dia = 0,4 \times 2.500 = 1.000m^3/dia$$

Para dar um percentual de erro menor no dimensionamento do gerador a ser usado usou-se a Equação (3) deste trabalho localizada no item 4.1.1, que leva em consideração a produção diária.

$$T1_{\text{biogás}/\text{dia}} = 1000 \times 0,7 = 700\text{m}^3/\text{dia}$$

Por meio dos dados obtidos, foi permitido definir o potencial de geração de biogás no local, que foi de 700m³ por dia. Dentro desse conceito, segundo Szambelan (2017), 0,6m³ de biogás equivale a 1kWh, através dessa informação foi montado a tabela 14.

Tabela 14– Cálculo da produção do biogás

Característica	Bovinos de leite
Total de animais	2.500
Total de dejetos/dia	25.000 kg
Total de biogás/dia	700 m ³ /dia
Total de biogás/mês	21.000 m ³ /mês
Energia elétrica/mês	35.000 kWh/mês

Fonte: O autor (2018).

Este valor está de acordo com o cálculo do biodigestor já em operação, onde o mesmo em regime contínuo de trabalho (máximo de 16 horas), tem como capacidade máxima de geração de 36.960 kWh/mês. Ressalta-se que se utilizou o fator de erro de dimensionamento, sem ele a geração seria de aproximadamente 50.000 kWh/mês.

De acordo com valores expostos na tabela 14, é possível observar que a propriedade de que se trata possui um grande potencial de geração energética proveniente da bovinocultura de leite.

Porém, como informado no local de estudo, o sistema de biogeração ainda queima cerca de 8 horas por dia de biogás. Assim, busca-se um sistema que utilize essas horas de queima para abater o consumo do cliente. Isto também só é possível caso a quantidade de animais ultrapassem as 4.000 cabeças de gado, valor este estimado pela fazenda chegar até o final 2.020.

6.3.2.1. Potência gerada pelo sistema do biogás proposto

Para estabelecer a produção de energia elétrica, será utilizada a Equação 4 localizado no item 4.1.1 deste trabalho.

$$PE = (pot * T * \eta)$$

No qual:

PE: Produção de eletricidade;

Pot: Potência nominal da planta (kW);

T: Disponibilidade mensal da planta (horas/mês);

η : rendimento.

Levando em consideração um biogerador de 150 kW, que de forma contínua utiliza um rendimento de 0,8, pode-se calcular a geração média do sistema, com 8 horas de operação;

É possível visualizar a tabela 15 de geração de energia para o sistema de biogás.

Tabela 15 – geração de energia para o sistema de Biogás

Mês	Dias	Pot. do Motor- Gerador (kW)	Tempo de operação do motor (hora/dia)	Rendimento do Gerador (%)	Energia produzida mensalmente (kWh)
Janeiro	31	150	08	80	29.760
Fevereiro	28	150	08	80	26.880
Março	31	150	08	80	29.760
Abril	30	150	08	80	28.800
Maio	31	150	08	80	29.760
Junho	30	150	08	80	28.800
Julho	31	150	08	80	29.760
Agosto	31	150	08	80	29.760
setembro	30	150	08	80	28.800
Outubro	31	150	08	80	29.760
Novembro	30	150	08	80	28.800
Dezembro	31	150	08	80	29.760
Total					350.400

Fonte: O autor (2018).

Pode-se concluir que ao supor as 8 horas de operação do motor-gerador a ser instalado (150 kVA) com um rendimento de 80%, o sistema irá produzir anualmente uma potência de 350.400 kWh.

Disposto a prosseguir com a análise, dentre os valores já alcançados foram feitos cálculos para energia gerada pelo sistema e sua economia em um ano. Segue o cálculo dos meses de janeiro a dezembro.

Janeiro

$$G_{ss} = [25.800 * 0,57968298] = \text{R\$ } 14.955,82$$

$$Ca = [29760 + 0 - 25.800] = 3.960 \text{ kWh}$$

Fevereiro

$$G_{ss} = [27.480 * 0,579668398] = \text{R\$ } 15.929,28$$

$$Ca = [26880 + 3960 - 27480] = 3.360 \text{ kWh}$$

Março

$$G_{ss} = [24360 * 0,579668398] = \text{R\$ } 14.120,72$$

$$Ca = [29760 + 3360 - 24360] = 8.760 \text{ kWh}$$

Abril

$$G_{ss} = [25.920 * 0,579668398] = \text{R\$ } 15.025,00$$

$$Ca = [28800 + 8760 - 25.920] = 11.640 \text{ kWh}$$

Mai

$$G_{ss} = [25.680 * 0,579668398] = \text{R\$ } 14.885,88$$

$$Ca = [29760 + 11.640 - 25.680] = 15.720 \text{ kWh}$$

Junho

$$G_{ss} = [32.160 * 0,579668398] = \text{R\$ } 18.642,13$$

$$Ca = [28800 + 15.720 - 32.160] = 12.360 \text{ kWh}$$

Julho

$$G_{ss} = [26.280 * 0,579668398] = \text{R\$ } 15.233,68$$

$$Ca = [29760 + 12.360 - 26280] = 15.840 \text{ kWh}$$

Agosto

$$G_{ss} = [37.800 * 0,579668398] = \text{R\$ } 21911,46$$

$$Ca = [29760 + 15840 - 37800] = 7800 \text{ kWh}$$

Setembro

$$G_{ss} [30.600 * 0,579668398] = \text{R\$ } 17.737,85$$

$$Ca = [28800 + 7800 - 30.600] = 6000 \text{ kWh}$$

Outubro

$$G_{ss} = [30.240 * 0,579668398] = \text{R\$ } 17.529,58$$

$$Ca = [29769 + 6000 - 30.240] = 5529 \text{ kWh}$$

Novembro

$$G_{ss} = [25.560 * 0,579668398] = \text{R\$ } 14.816,32$$

$$Ca = [28.800 + 5529 - 25560] = 8769 \text{ kWh}$$

Dezembro

$$G_{ss} = [22.080 * 0,579668398] = \text{R\$ } 12799,07$$

$$C_a = [29760 + 8769 - 22.080] = 16449 \text{ kWh}$$

A tabela 16 expõe a economia gerada pelo sistema do biogás.

Tabela 16– Economia gerada pelo sistema do biogás

Mês	Consumo (kwh)	Injetado (kW)	Crédito acumulado (kWh)	Fatura sem o sistema (R\$)	Fatura com o sistema	Economia
Janeiro	30.240	29.760	3960	14.955,82	57,96	14.897,86
Fevereiro	30.600	26.880	3360	15.929,28	57,96	15.871,32
Março	37.800	29.760	8760	14.120,72	57,96	14.062,76
Abril	26.280	28.800	11640	15.025,00	57,96	14967,04
Maió	32.160	29.760	15720	14.885,88	57,96	14.827,92
Junho	25.680	28.800	28.800	18.642,13	57,96	18.584,17
Julho	25.920	29.760	29760	15.233,68	57,96	15.175,72
Agosto	24.360	29.760	29760	21911,46	57,96	21.853,50
setembro	27.480	28.800	28.800	17.737,85	57,96	17.679,89
Outubro	25.800	29.760	29760	17.529,58	57,96	17.471,62
Novembro	25.560	28.800	28.800	14.816,32	57,96	14.758,36
Dezembro	22.080	29760	29760	12799,07	57,96	12.741,11
Total	333.960	350.400	248.880			192.891,27

Fonte: O autor (2018).

Pode-se observar que na tabela 16 que a economia gerada pelo sistema do biogás e economia são respectivamente R\$ 192.891,27.

Para a implementação da adequação deste sistema, foi solicitado em uma empresa parceira um orçamento. Investimento Total: R\$ 252.400,00. Este valor conta os custos com o biogerador, tubulações, cabeamentos, equipamentos de simultaneidade (automação), serviço de alvenaria e mão de obra para instalação.

Outro dado importante recolhido no estudo de caso foi que o projeto do biogás em 2014 custou aos cofres do local de execução o montante de R\$ 490.000,00, distribuídos em R\$ 270.000,00 dos biodigestores, R\$ 140.000,00 do biogerador e R\$ 80.000,00 de alvenaria em geral e motores.

Em resumo, em uma hipótese onde no local de estudo não houvesse nenhuma infraestrutura já realizada para a utilização do biogás, o custo total ficaria em torno de R\$ 724.000,00.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após toda análise apresentada no estudo de caso, onde se aplicou as técnicas de projeto de duas importantes fontes de energia renovável, a energia solar fotovoltaica e o biogás, onde o objetivo foi calcular uma viabilidade para que o local não tenha custos diretos com energia elétrica, ou seja, que sua fatura seja reduzida ao máximo, sendo faturado apenas a disponibilidade e encargos como iluminação pública e bandeiras tarifárias. Pode-se apresentar os resultados do estudo.

Para o dimensionamento dos sistemas a serem implementadas, usou como dado base a fatura de energia elétrica da edificação, onde se verificou a média do consumo do último ano do consumidor, que resultou em uma média de 27.674 kWh/mês, sendo esse o valor mínimo a ser compensado pelos sistemas. Ressalta-se que em termos financeiros, utilizando a tarifa de R\$ 0,57968298 por kWh, o local de estudo tem um custo estimado de R\$ 192.504,69.

No estudo da implementação do sistema fotovoltaico, foi determinado que a edificação que seria implantado as células fotovoltaicas seria a mesma que abrigava 2.500 bovinos de leite em confinamento na propriedade, tendo uma área de 1.287 m², com seu telhado com boa orientação geográfica, angulação necessária e sem sombreamento – fatores estes que garantem o máximo de geração fotovoltaica. Por meio das Equações 7, 8 e 9 foi possível estabelecer o número de módulos fotovoltaicos (650 módulos de 355W cada, dando uma usina de 230,75 kWp), usina está com resultado de geração em um ano por volta de 341.850,7 kWh, atendendo a demanda do cliente. Já com base nos dados de viabilidade financeira e com um investimento de R\$ 875.952,00, o *payback* simples do sistema se dá em 4 anos e 4 meses, cálculo esse que levou em consideração o reajuste tarifário e a depreciação do sistema, tornando assim o sistema viável para instalação.

Para se iniciar o estudo do biogás, foi verificado que a propriedade já encontra com um modelo instalado, com 16 horas de funcionamento diário, que compensa diretamente cerca de 55% do consumo total. Esta geração se dá através da coleta dos dejetos dos 2.500 bovinos de leite confinados. Verificou-se que para esta quantidade de bovinos a geração já está em seu limite, ou seja, para utilizar o biogás como fonte de compensação para o consumo atual, o número de bovinos deveria ser no mínimo aumentado para 4.000 cabeças. Os biodigestores atuais estão superdimensionados, o que implica em uma futura instalação apenas de um biogenerador, alvenarias de pequeno porte para ampliar algumas áreas do processo e dutos. Por meio das Equações 1, 2 e 3 respectivamente foi possível determinar a quantidade de biogás produzida por animal, por dia e estimando uma margem de erro menor de 30% a menos. O

potencial de geração de biogás na fazenda foi de 700 m³/dia, no qual representa 21.000m³/mês e 35.000kWh mês de energia elétrica. Assim, o estudo levou em consideração já dimensionado em animais produtores de dejetos em uma hipótese futura. Por isso, foi dimensionado um biodigestor de 150 kVA para que atue de forma sincronizada com o já instalado, funcionando as 8 horas em que o sistema está queimando o gás. Este sistema intercalado gera em torno de 350.400 kWh/ano, suprimindo a necessidade do cliente. O investimento seria em torno de R\$ 252.400,00 para esta melhoria, valor este com uma viabilidade econômica excelente, com payback de 1 ano e 4 meses. Este tempo só é aplicado por causa do local já ter uma estrutura operante que precisaria de poucas modificações.

Em meio ao comparativo, alguns fatores não foram levados em consideração como: homem-hora do processo do biogás, manutenções gerais, trocas de equipamentos devido a vida útil, utilização dos insumos gerados pelo biogás para fertilização, adubo e assentamento na propriedade e redução na emissão de gases poluentes.

8 CONCLUSÃO

O trabalho em questão se constituiu em uma abordagem a uma fazenda localizada em Jêsuania, na região do vale Paranaíba, Sul de Minas Gerais, onde foram usados métodos comparativos que demonstrassem qual das duas fontes de energia elétrica alternativa, biogás ou solar fotovoltaica, demonstraria um melhor investimento para o cliente, tanto em termos financeiros, tecnologia aplicada e parâmetros ambientais.

A propriedade foi escolhida devido ao seu duplo potencial energético, pois além de a mesma já conter um sistema de geração de energia por meio do biogás a mesma possui um forte potencial para a geração de energia elétrica por meio dos painéis fotovoltaico. A cobertura que foi analisada para a instalação dos painéis e a mesma que comporta os 2.500 animais.

Neste estudo, a análise focou-se na capacidade de geração de energia elétrica tendo como fonte o biogás e fotovoltaica. Sendo assim, informações da edificação, orientação solar, capacidade de irradiação (HSP), inclinação do telhado, perdas nos sistemas, quantidade de animais na propriedade, área necessária e disponível, sistema já em operação e suas fases foram analisadas. Assim, verificou-se através de todos os métodos que ambos os projetos são viáveis.

Conclui-se então que, para suprir a demanda do cliente em questão, o sistema de biogás tem um tempo de retorno melhor, afinal, já existe uma estrutura atuante no local. Porém, este investimento deve ser considerado em parâmetros futuros, visto que foi demonstrado que a quantidade atual de cabeças de gado não supriria a necessidade, sendo necessário um aumento de 60% na quantidade de animais. Já o fotovoltaico, com um investimento maior, não tem restrições e o mesmo já atenderia as necessidades.

Em resumo, o investimento em energia renovável se escolheria de acordo com as projeções de ampliação da produção do local.

Além de toda viabilidade financeira apresentada, ressalta-se a importância em utilizar energias renováveis, que não agredem o meio ambiente e trazem benefícios não só para o local de instalação, mas como para toda a sociedade. Projetos assim devem sempre serem incentivados e para isso, existem estratégias do governo e de bancos para financiamentos com baixas taxas de juros.

REFERÊNCIAS

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

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/dados/distribuicao> > Acesso em 25 de Abril 2018.

ANEEL, **Registros de micro e minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL**.2016 Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/rcgMicro.asp>>. Acesso em 20 de abril 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADÉE.2015. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica/> > Acesso em 02 de Maio de 2018.

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, São Carlos, 2013. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-03022014-135847/?&lang=br> / > Acesso em 25 de abril 2018.

BRASIL. Agência Nacional De Energia Elétrica. **Atlas Brasileiro De Energia Solar**. 2. Ed. Brasília 2008. 236p: il. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/livros/-/asset_publisher/h7XLbEoPgAF8/content/atlas-de-energia-eletrica-do-brasil/656835?inheritRedirect=false /> Acesso em 20 de abr. 2018

BRASIL, **Decreto n. 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM>. Acesso em: 20 de abril. 2018.

BRASIL. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. **Atlas De Energia Elétrica do Brasil**. 2. Ed. Brasília 2017. 80p: il. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/livros/-/asset_publisher/h7XLbEoPgAF8/content/atlas-de-energia-eletrica-do-brasil/656835?inheritRedirect=false /> Acesso em 20 de abr. 2018

BRASIL. Agência Nacional De Energia Elétrica. **Atlas De Energia Elétrica do Brasil**. 2. Ed. Brasília 2002. 153p: il. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/livros/-/asset_publisher/h7XLbEoPgAF8/content/atlas-de-energia-eletrica-do-brasil/656835?inheritRedirect=false /> Acesso em 20 de abr. 2018.

BRASIL. **International Energy Initiative** 1Ed – Campinas, 2018. 303p. Disponível em < <http://iei-brasil.org/>> Acesso em 21 de Abr. 2018.

BRASIL. Ministério Das Minas E Energia. **Balanco nacional de energia útil. Ano base 2015. Brasília**, 2016 Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 22 fev. 2018.

BRASIL. Ministério Das Minas E Energia. **Balanco nacional de energia útil. Ano base**

2017. **Brasília**, 2017 Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 25 fev. 2018

CÉSAR, Nogueira G; SANTOS, Souza B; CARVALHO, **Uso de Biodigestores para Fins Energéticos em Propriedades Rurais**. 2016. 11 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Centro Universitário Una, Betim, 2016. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/versao_final_tcc.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2018.

CRESESB. **CENTRO DE REFÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO**.2014. Componentes de um sistema fotovoltaico. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=341>. Acesso em: 13 jun. 2018.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Plano ABC – Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-agricultura-de-baixo-carbono/nota-tecnica> > Acesso em 14 jun. 2018.

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

FREITAS, Marcos A. V.; ROSA, Luiz Pinguelli. **O Uso De Energia De Biomassa No Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 196 p.

FERREIRA, Bruno Henrique Montenegro. **Sistemas De Apoio A Prevenção De Falhas Humanas Na Operação De Sistemas Elétricos De Potência Em Tempo Real**. 2011. 84 f. Monografia. Curso de Engenharia da Computação, Escola Politécnica de Pernambuco Universidade de Pernambuco, Recife, dezembro, 2011.

FONTES, Rodolfo Moraes Fontes Lima. **Oportunidades De Melhoria Nos Processos De Distribuição De Energia Elétrica**. 2011. 66 f. Monografia. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São paulo, São Carlos, 2011.

GALDINO, PINHO. **Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro:CEPEL – CRESESB, 2014 Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf> Acesso em: Jul 2018.

GARCEZ, Lucília; **Energia**. São Paulo: Callis, 2010. 28 p.

GOETZE, Felipe. **Projeto De Microgeração Fotovoltaica Residencial: Estudo De Caso**.2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

HADDAD, Jamil. **Energia Elétrica: Conceitos, Qualidade e Tarifação** – Rio de Janeiro, dezembro/2004.

LIMA, Rodolfo Moraes Fontes. **Oportunidades De Melhoria Nos Processos De Distribuição De Energia Elétrica**. 2011. 66 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, Universidade de São Carlos, São Carlos,

2011.

MACHADO, Karla Suzane Van-dall; CORREA, Nicoli. **Análise Do Desempenho De Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica Em Curitiba.** 2015. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MAESTRI, Hugo Guilherme. **Dimensionamento De Um Sistema Fotovoltaico Autônomo Para Alimentação De Um Dispositivo De Monitoramento De Parâmetros Elétricos Em Linhas De Transmissão.** 2018. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MAGALHÃES, Murilo Vill. **Estudo De Utilização Da Energia Eólica Como Fonte Geradora De Energia No Brasil.** 2009. 50 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MARTINIANO JUNIOR, José Roberto; OLIVEIRA, Luis Henrique Carvalho de. **Viabilidade Da Micro E Minigeração De Energia Fotovoltaica No Brasil.** 2016. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Faculdade, Faculdade de Pindamonhangaba, São Paulo, 2016.

MARTINS, Franco M. Martins, OLIVEIRA, Paulo A. V. de. **Análise Econômica Da Geração De Energia Elétrica A Partir Do Biogás Na Suinocultura.** Revista engenharia agrícola, Jaboticabal, V.31, n3 p.477-486, 2011.

NUNES, Angelo Pereira. **Análise De Viabilidade Econômica De Geração De Energia Elétrica A Partir De Biogás De Suinocultura.** 2017. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017.

OLIVEIRA, Rafael Deléo e. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono.** 2009. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2009.

ONS. **Operador Nacional do Sistema Elétrico.** 2015. Disponível em < <http://ons.org.br> > Acesso em 14 jul. 2018.

PIPE, Jim. **Energia Eólica.** SÃO Paulo: Callis, 2015. 32 p.

PRODIST 8/3, módulo 3, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 2016. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.** 2016

RIBEIRO, Uirê Guimarães Vieira. **Estudo De Viabilidade Econômica De Instalação De Fontes De Energia Renováveis Baseadas Em Células Fotovoltaicas Para O Uso Residencial.** 2012. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2012.

SANTOS, Neila Santana dos. **Geração De Energia Elétrica A Partir Do Biogás Produzido Na Estação De Tratamento De Esgotos De Madre De Deus- Bahia.** 2009. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Aplicáveis À Bioenergia, Universidade Federal, Universidade Federal de Bahia, Salvador, 2009.

SOLERGO. Software de Dimensionamento fotovoltaico conectados à rede. 2018.

STANQUEVISKI, Lucas Luan da Fonseca. **Dimensionamento E Análise Da Viabilidade Da Implantação De Um Sistema De Microgeração Fotovoltaica No Câmpus Da Utfpr.** 2016. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

Urbanetz Junior, **Energia Solar Fotovoltaica E O Desempenho Do Sfvcr Do Escritório Verde Da Utfpr SET.** 2015. 49 slides. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Instituto de Engenharia do Paraná – IEP

SZAMBELAN, Nadine Lambrecht. **Avaliação da Implatação de Energia Solar E Biogás como Fontes Alternativas de Energia Elétrica para uma Pequena Propriedade Rural.** 2017. 109 f TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regionaldo Noroeste do Estado do Rio grande do Sul, Ijuí, 2017.