

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
BRUNO PORTUGAL ALMEIDA

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM CONSUMIDORES DO
GRUPO TARIFÁRIO A

Varginha
2018

BRUNO PORTUGAL ALMEIDA

**GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM CONSUMIDORES DO
GRUPO TARIFÁRIO A**

Trabalho apresentado de conclusão de curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni.

**Varginha
2018**

BRUNO PORTUGAL ALMEIDA

**GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM CONSUMIDORES DO
GRUPO TARIFÁRIO A**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta por:

Aprovado em 02 / 07 / 2018

Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni (Orientador):

Prof. Hugo Rodrigues Vieira

Prof. Paulo Roberto P. Novo

Obs.:

Dedico este trabalho primeiramente a minha família, aos professores do Centro Universitário do Sul de Minas, aos sinceros amigos de classe e a todos que contribuíram para o bom desenvolvimento deste.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Prof. Eduardo Henrique Ferroni, aos demais professores, e aos colegas de curso que me ajudaram na elaboração deste trabalho.

“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.” (THOMAS EDISON).

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de viabilidade para a implantação de geração fotovoltaica em uma empresa que está enquadrada na modalidade tarifária A . O texto explana primeiramente a situação energética brasileira e as peculiaridades do sistema elétrico nacional. São abordados conceitos básicos referentes à produção de energia elétrica, com maior ênfase na energia solar fotovoltaica. O funcionamento e as partes componentes dos painéis solares fotovoltaicos são explicados. As principais tecnologias presentes no mercado e suas características são citadas na seqüência. Também são consideradas as normas e a regulamentação relacionadas à instalação de painéis fotovoltaicos à rede elétrica. Após a análise teórica, é feito o estudo do local de instalação dos painéis, considerando as características elétricas que são peculiares ao local analisado, como consumo de energia elétrica em horário de ponta e fora de ponta. Realizado o projeto preliminar de instalação, analisa-se o impacto que os painéis fotovoltaicos irão causar na fatura do consumidor em questão, concluindo-se, então, o estudo ao verificar a viabilidade do projeto.

Palavras-chave: Energia Solar. Geração Fotovoltaica. Viabilidade.

ABSTRACT

This work presents the feasibility study for the implantation of photovoltaic generation in a company that is included in the tariff modality. The text first explores the Brazilian energy situation and the peculiarities of the national electricity system. Basic concepts related to the production of electric energy are discussed, with more emphasis on solar photovoltaic energy. The operation and the component parts of the photovoltaic solar panels are explained. The main technologies present in the market and their characteristics are mentioned in the sequence. Also considered are the rules and regulations related to the installation of photovoltaic panels to the grid. After the theoretical analysis, it is made the study of the installation site of the panels, considering the electrical characteristics that are peculiar to the place analyzed, such as consumption of electric energy during peak and off-peak hours. Once the preliminary installation project has been carried out, the impact of photovoltaic panels on the bill of the consumer in question will be analyzed, and the study will be concluded when verifying the viability of the project.

Keywords: Solar Energy. Photovoltaic Power Generation. Viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Energia Elétrica no Brasil	15
Figura 02 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica.....	30
Figura 03 - Potencial Solar no Brasil	30
Figura 04 - Evolução dos Sistemas Fotovoltaicos.....	31
Figura 05 - Componentes da Radiação Solar	32
Figura 06 - Funcionamento das Células Fotovoltaicas.....	33
Figura 7 - Sensibilidade ao Espectro de Luz	33
Figura 8 – Arranjo Sistema Fotovoltaico Isolado.....	35
Figura 9 – Arranjo Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	36
Figura 10 - Painéis de Silício Monocristalino	38
Figura 11 - Painéis de Silício Amorfo	39
Figura 12 - Painéis de Teruleto de Cádmio	40
Figura 13 - Circuito de Controlador Shunt.....	42
Figura 14 - Circuito de Controlador Série	54
Figura 15 - Conversor Bost	44
Figura 16 - Conversor Buck	45
Figura 17 - Histórico de Consumo da Empresa.....	54
Figura 18 - Níveis de Solaridade.....	54
Figura 19 - Local de Instalação dos Painéis.....	56
Figura 20 - Fatura de Energia.....	59
Figura 21 - Levantamento da Usina Fotovoltaica.....	60
Figura 22 - Tempo de Retorno da Usina Fotovoltaica.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos Subgrupos do Grupo A	48
Tabela 2 – Tarifa da Modalidade Convencional (CEMIG, 2017).....	48
Tabela 3 – Tarifa da Modalidade Horo-Sazonal Verde (CEMIG, 2017).....	50
Tabela 4 – Tarifa da Modalidade Horo-Sazonal Azul (CEMIG, 2017).....	51
Tabela 5 – Classificação dos Subgrupos do Grupo B	52
Tabela 6 – Tarifa do Grupo B.....	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 ENERGIA ELÉTRICA NO PROCESSO PRODUTIVO	17
2.1 Situação Energética Brasileira	17
2.2. Matriz Energética Brasileira	26
2.3 Sistema Elétrico Brasileiro	26
2.3.1 Sistema Elétrico Interligado Nacional.....	19
3 FONTES DE ENERGIA ALTERNATIVA	21
3.1. Biomassa	22
3.2 Energia Eólica	23
3.3 Pequenas Centrais Hidrelétricas	23
3.4 Energia Solar	24
4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	25
4.1. Geração Distribuída Fotovoltaica	26
4.2 Vantagens da Geração Distribuída	27
5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	29
5.1 Introdução	29
5.2 Radiação Solar	29
5.3 Energia Solar Fotovoltaica	31
5.4 Efeito Fotovoltaico	32
5.5 Tipos de Células Fotovoltaicas	33
5.6 Configurações Básicas	34

5.6.1 Sistemas Isolados.....	34
5.6.2 Sistemas Conectados a Rede.....	35
5.7 Componentes Basicos	36
5.7.1 Módulo Fotovoltaico.....	36
5.7.2 Silício Cristalino.....	37
5.7.3 Silício Amorfo.....	38
5.7.4 Teruleto de Cádmio.....	39
5.7.5 Baterias.....	40
5.7.6 Controladores de Carga.....	41
5.7.7 Inversores.....	43
5.7.8 Conversores.....	44
5.7.9 Seguidor de Ponto de Potência.....	45
6 TARIFAÇÃO DE ENERGIA.....	46
6.1 Estrutura Tarifária.....	47
6.2 Grupo A.....	47
6.2.1 Estrutura Tarifária Convencional.....	48
6.2.2 Estrutura Tarifária Horo-Sazonal.....	49
6.2.3 Estrutura Tarifária Horo-Sazonal Verde.....	49
6.2.4 Estrutura Tarifária Horo-Sazonal Azul.....	50
6.3 Grupo B.....	51
6.4 Tributos Federais.....	52
6.5 Tributos Estaduais.....	52
6.6 Tributos Municipais.....	53
7 DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO	54
7.1 Determinação do Consumo da Empresa	54

7.2 Níveis de Radiação Solar da Localidade	55
7.3 Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico	55
7.4 Dimensionamento do Gerador, Número de Painéis e o Inversor.....	56
7.5 Resultados Obtidos.....	58
8 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS	63

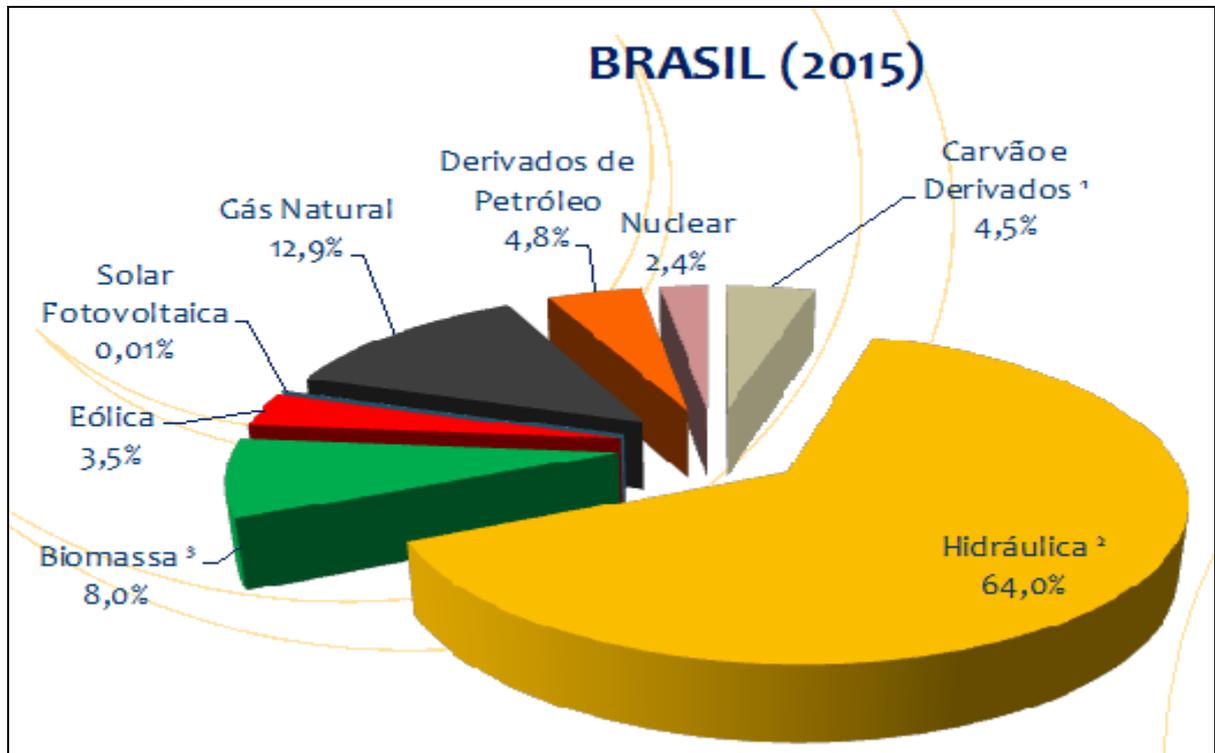
1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos o mundo vem cada vez mais se preocupando em encontrar fontes de energia renováveis, desde as primeiras crises energéticas na década de 1970 quando faltou gás e gasolina até para o aquecimento de residências em pleno inverno, o mundo inteiro vem procurando encontrar soluções para que seja possível suprir uma eventual falta de combustíveis em suas necessidades energéticas futuras. Concomitante a isso, começaram a ser levantadas questões relacionadas à conservação do meio ambiente e os impactos causados pelo homem na procura de combustíveis para energia, entre vários impactos podemos citar a geração de resíduos, a grande emissão de gases na atmosfera devido a queima de combustíveis fósseis, o efeito estufa, chuva ácida, aquecimento global e destruição de ecossistemas. Por conta desses fatores é cada vez mais importante a busca por fontes de energia que sejam não apenas limpas, mas também renováveis, conseguindo isso seria menor o risco de crises energéticas. As fontes renováveis de energia são aquelas formas de produção de energia em que suas fontes são capazes de manter-se disponíveis por um longo tempo, contando com recursos que se regeneram ou que se mantêm ativos permanentemente, em outras palavras, são aquelas fontes de energia que contam com recursos não esgotáveis, existem alguns tipos de fontes renováveis de energia, dentre elas neste trabalho será destacado a energia fotovoltaica, que consiste no aproveitamento da radiação solar emitida sobre a Terra, que é altamente potente pois todos os dias uma grande quantidade de radiação é emitida sobre o planeta, ela vem sendo cada vez mais estudada e aprimorada pois apresenta bons aspectos que a tornam, quando bem analisadas e instalada, um bom investimento para que se consiga melhores resultados com custos menores e sem prejudicar o ecossistema.

Um dos principais desafios hoje em dia é nos tornarmos menos dependentes das fontes de energia fósseis, uma vez que, além de muito prejudicarem o meio ambiente também são finitas, ou seja, se esgotam e poderíamos ficar sem onde encontrar mais combustível. A estrutura de consumo por fontes energéticas é uma das chaves para analisar os desafios com os quais enfrentaremos no futuro, esta estrutura na qual o petróleo e os demais combustíveis fósseis têm um peso significativo, reflete-se na matriz energética de consumo mundial de energia primária. A dependência dessas fontes de energia pode ser muito arriscada, pois algumas estimativas dizem que as reservas de gás e carvão ainda durarão aproximadamente por mais um século e as reservas de petróleo podem durar aproximadamente mais 40 anos antes de se extinguirem. De acordo com a Figura 1, o Brasil ainda tem muito a evoluir no

quesito de energia solar fotovoltaica, pois além de ser uma fonte de energia renovável, o país possui grande capacidade de geração.

Figura 01 - Energia Elétrica no Brasil



Fonte: EPE, 2015.

Por conta desses fatores é de alta relevância um estudo mais detalhado sobre o assunto pois, se bem analisada a estrutura de uma empresa se consegue melhores resultados e por conseqüência um aumento nos lucros com a diminuição da fatura de energia elétrica. Através de um levantamento de dados técnicos e econômicos é possível avaliar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos, uma vez que este investimento traz um retorno a longo prazo. Para que se consiga fazer com que a empresa se enquadre no melhor método de tarifação possível é necessário um estudo de caso ou até uma mudança na modalidade tarifária onde ela se encontra.

2 ENERGIA ELÉTRICA NO PROCESSO PRODUTIVO

Atualmente, com a grande concorrência das empresas, se torna cada vez mais indispensável a redução de custos de uma forma geral na empresa. Esse fato leva a refletir sobre o gasto com energia elétrica, não só no setor industrial, mas também no comércio, na prestação de serviço, nas instituições de ensino, em organizações militares, entre outras. Segundo o Balanço Energético Industrial (BEN, 2016) um sistema de gestão energética, pode ser definido como um conjunto de elementos interligados ou de interação de uma organização para estabelecer a política energética para atingir as metas propostas. O setor industrial responde por 39,8% de toda energia consumida no Brasil. Na indústria, o consumo de energia elétrica representa um dos custos mais elevados para o processo de produção e, diante deste cenário, a economia de energia elétrica obtida em ações de eficiência energética no setor industrial gera benefícios para toda a sociedade. A economia obtida possibilita ao governo e ao empresário direcionar recurso para outras prioridades. Ações de eficiência energética agregam importantes ganhos sociais, ambientais e de competitividade para a indústria. Referir-se ao custo da energia elétrica é algo que, a princípio, pode ser complexo. Mas, quando se inicia um estudo sobre o assunto percebe-se que, com um pouco de esforço, é possível interpretar e analisar o que será melhor para a empresa no que se refere ao contrato de energia elétrica. Apesar de algumas peculiaridades e conceitos, que fogem à contabilidade, mas que são necessários, tem-se a percepção de que a área está sendo pouco explorada por profissionais de maneira geral.

De acordo com o manual de eficiência energética na indústria elaborado pela Copel (COPEL,2016), com o uso eficiente da energia elétrica, a indústria terá uma melhor utilização das instalações e equipamentos elétricos, uma redução no consumo de energia e conseqüentemente uma economia nas despesas com eletricidade. Com o melhor aproveitamento da energia, conseguirá um aumento de produtividade e um padrão de qualidade no produto acabado, isto tudo, mantendo o nível de segurança e diminuindo o tempo de máquinas paradas para a realização de manutenção. Além destas vantagens para a indústria, a sociedade em geral terá uma redução dos investimentos para a construção de usinas e redes elétricas e conseqüentemente redução nos custos da eletricidade, redução dos preços de produtos e serviços e maior garantia de fornecimento de energia. Hoje, uma redução de consumo de energia elétrica afeta toda a cadeia produtiva, incluindo os consumidores finais, que perceberão um reflexo positivo no preço do produto acabado. Pode-se usar vários procedimentos para possibilitar a diminuição do valor pago a título de energia elétrica. Os

principais são: a mudança do tipo de estrutura tarifária, a melhoria do fator de potência, a conscientização pelos colaboradores da entidade, com relação ao consumo e maneira de utilizar a energia elétrica ou a instalação de fontes de energia secundárias, onde a própria empresa gera sua energia e consegue assim uma redução no consumo vindo das distribuidoras. Uma das possibilidades que as empresas hoje possuem para reduzir os custos com a energia elétrica é a procura por fontes de energia própria, neste trabalho será abordado a instalação de uma usina fotovoltaica nas empresas e o impacto causado por isso, além de analisar sua viabilidade bem com o retorno financeiro esperado pela indústria.

2.1 Situação Energética Brasileira

As características geográficas brasileiras e fatores econômicos e históricos moldaram com o passar dos anos a situação energética atual no Brasil. Com as boas condições que o país dispõe para a instalação de usinas hidrelétricas, é natural que a produção majoritária de energia elétrica seja proveniente de quedas d'água. Porém, como já abordado neste trabalho, a diversificação da matriz elétrica é uma preocupação; novas fontes de geração de eletricidade vêm sendo inseridas à Matriz Elétrica Brasileira (COPEL, 2016).

Nos últimos anos, o poder de compra do brasileiro aumentou (Néri, 2016). Esta pode ser uma das justificativas ao aumento do consumo de eletricidade em residências. Somando-se isso ao crescimento da indústria, sendo necessária, assim, expansão do sistema elétrico brasileiro, o que gerou também sua reestruturação para a atual configuração.

2.2 Matriz Energética Brasileira

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) elabora e publica anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN), seguindo a tradição do Ministério de Minas e Energia. O BEN tem por finalidade apresentar a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia.

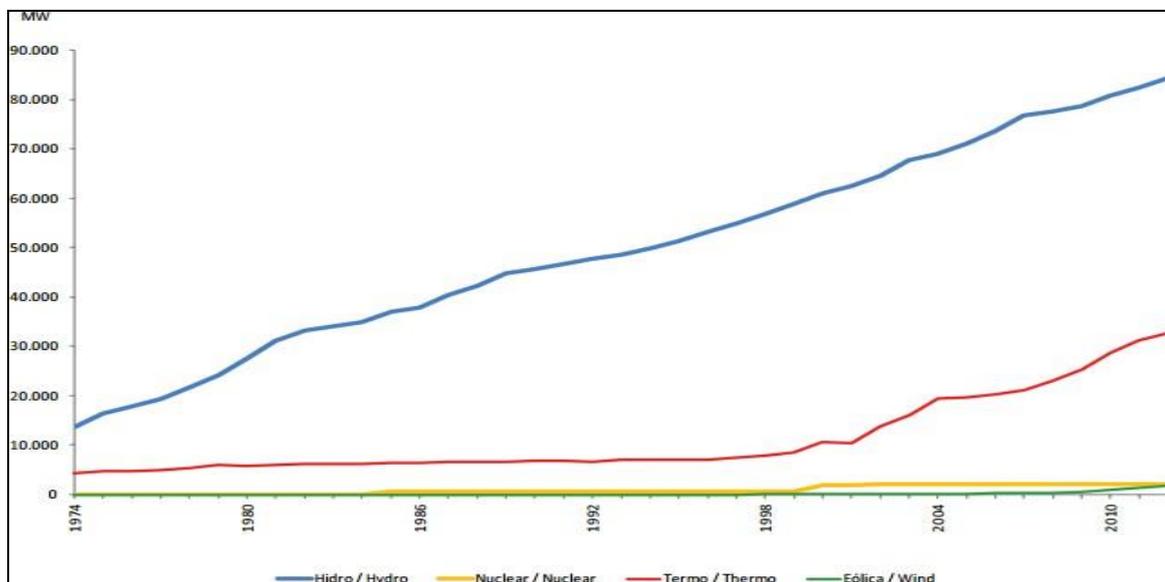
Em 2017, a oferta interna de energia (total de energia demandada no país) aumentou 11,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), alcançando uma taxa de crescimento de 4,1% e atingindo 283,6 Mtep em relação a 2015. Isto se deveu principalmente

à redução na oferta interna de biomassa da cana, notadamente do etanol, e de hidroeletricidade. Também, nota-se a redução da proporção de renováveis na matriz energética. Contudo, essa participação manteve-se em patamar muito elevado, de 42,4%, quando comparado à média mundial, calculada em 13,2% pela Agência Internacional de Energia (EPE, 2017).

A Matriz Elétrica é o retrato da oferta interna de energia elétrica por fonte. No Brasil, o predomínio da geração hidráulica se dá há muitos anos, evidenciado num gráfico comparativo entre as potências instaladas de 4 fontes de energia elétrica: hidrelétrica, nuclear, térmica e eólica. O potencial técnico de aproveitamento da energia hidráulica do Brasil está entre os cinco maiores do mundo; o país tem 12% da água doce superficial do planeta e condições adequadas para exploração. O potencial hidrelétrico é estimado em cerca de 260 GW, contudo, apenas 63% do potencial foi inventariado. A Região Norte, em especial, tem um grande potencial ainda por explorar (ANEEL, 2016).

Na Figura 2, está representada em forma de gráfico a capacidade instalada de geração elétrica no Brasil.

Figura 02 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica



Fonte: EPE, 2017

O Balanço Energético Nacional, 2017 apontou um aumento de 1.835 MW na potência instalada do parque hidrelétrico, entretanto, a oferta de energia hidráulica reduziu-se em 1,9% devido às condições hidrológicas observadas em 2016. Em função da menor oferta hídrica, houve recuo da participação das fontes renováveis na matriz elétrica, de 88,9% em 2015 para

84,5% em 2016. A potência eólica atingiu 1.894 MW, dobrando a fatia desta fonte na matriz elétrica nacional (EPE, 2017).

Houve um aumento do consumo final de eletricidade de 3,8%, puxado pelas famílias e pelo setor de serviços, que foi atendido com aumento da geração térmica convencional, especialmente das usinas movidas a gás natural, cuja participação na matriz cresceu de 4,4% para 7,9%. Como decorrência houve aumento das perdas na transformação, pois o rendimento da planta térmica na conversão para eletricidade é bastante inferior ao da usina hidrelétrica (EPE, 2017).

2.3 Sistema Elétrico Brasileiro

Durante a década de 1990 o sistema elétrico brasileiro passou por uma série de mudanças. Leis foram criadas para reorganizar, reformular e regular o setor elétrico.

Em 1993, a Lei 8.631 reorganizou econômica e financeiramente as empresas, dando a partida para que a indústria da energia elétrica se reestruturasse. Em 1995, a Lei 8.987, também conhecida como Lei de Concessões dos Serviços Públicos, e a Lei 9.074 reformularam o setor elétrico; elas estabeleceram as bases para um novo modelo institucional. Ao mesmo tempo, privatizações e a atração de capitais privados reestruturaram e fizeram expandir o setor. (ONS, 2015).

No ano seguinte, o Decreto 2003 passou a regular a atuação dos Produtores Independentes e Autoprodutores e a Lei 9.427, que regulamenta e fiscaliza a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil. Em 1997 e 1998, novas regulamentações foram criadas, instituindo o Mercado Atacadista de Energia (MAE) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o Poder Executivo promoveu a reestruturação da ELETROBRÁS. A Lei 9648, de 1998, previu a segmentação setorial e definiu a abertura progressiva à competição de mercados. (ONS, 2015).

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) foi criado em 1998, com o intuito de proteger o consumidor em termos de preços, promover o aproveitamento racional de energia, garantir a qualidade e oferta de produtos, proteger o Meio Ambiente, incrementar o uso de fontes renováveis de energia, promover a livre concorrência, ampliar a competitividade, atrair capitais para a produção de energia, entre outros. Desde 1999, o

Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE) é a entidade que planeja a expansão do sistema elétrico. (ONS, 2015).

2.3.1 Sistema Interligado Nacional (SIN)

O SIN abrange as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte e integra mais de 90% de toda a capacidade de produção de energia elétrica do Brasil (tanto a energia oriunda de fontes internas quanto de importações). O ONS coordena e controla a operação do SIN, a partir das companhias geradoras e transmissoras, sob regulação e fiscalização da ANEEL (ONS, 2015).

O Sistema Integrado tem operação coordenada, o que possibilita a troca de energia elétrica entre regiões, fato importante em função do predomínio da geração a partir de usinas hidrelétricas que se localizam em regiões com diferentes regimes hidrológicos. Períodos de seca e períodos chuvosos podem ocorrer simultaneamente no Brasil, interferindo diretamente na produção de energia elétrica e a partir do Sistema Elétrico Nacional essa questão pode ser solucionada através do intercâmbio energético, enviando energia elétrica de uma região que produza em excesso para uma região que sofra de escassez (ONS, 2015).

Na região Norte há também Sistemas Isolados, assim denominados por não estarem ligados ao SIN e, conseqüentemente, não participar do intercâmbio energético. Estes sistemas, predominantemente abastecidos por usinas térmicas movidas a óleo combustível, atendem a uma pequena parcela da população brasileira. Em 2015, os Sistemas Isolados correspondiam a 3,4% do total da energia elétrica produzida no país (ONS, 2015).

3 FONTES DE ENERGIA ALTERNATIVA NO BRASIL

Fontes alternativas de energia podem substituir uma fonte que apresente limitações de uso, por restrições de ordem econômica e/ou técnica. A energia elétrica proveniente das usinas hidrelétricas é a parcela mais significativa na Matriz Elétrica Brasileira e apesar de ser uma fonte renovável e limpa, grandes impactos ambientais são causados na geração desta energia, em função do alagamento de grandes áreas. Estudos mostram que gases do efeito estufa, principalmente o Metano, são emitidos para atmosfera em consequência dos processos de degradação anaeróbica da matéria orgânica que ocorrem em áreas alagadas. Além disso, as principais bacias hidrográficas brasileiras com capacidade de geração hidroelétrica de alta densidade energética já estão praticamente esgotadas nos principais centros consumidores do país (ANEEL, 2016).

A Matriz Elétrica brasileira é majoritariamente composta por energias renováveis. No último BEN publicado pelo EPE notou-se um aumento da geração térmica, mas apesar disso, o setor elétrico brasileiro emitiu, em média, apenas 82 kg de CO₂ para produzir 1 MWh. É um índice ainda muito baixo quando se estabelecem comparações internacionais. Os setores elétricos americano e chinês emitem, respectivamente, 7 e 11 vezes mais, por exemplo (EPE, 2016).

Somando-se estes pontos à preocupação em diversificar a matriz elétrica brasileira, há grande incentivo, inclusive do governo brasileiro, em aumentar a geração de energia elétrica a partir de outras fontes.

O Programa de Incentivo às Fontes de Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) foi criado pelo Governo Federal em 26 de abril de 2002 pela Lei 10.438 e é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). O intuito é promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica.

3.1 Biomassa

Pode ser considerado biomassa todo recurso renovável que provém de matéria orgânica, seja de origem vegetal ou animal, tendo como objetivo principal a produção de energia. A biomassa é também uma forma indireta de aproveitamento da luz solar, a partir da conversão da radiação solar em energia química durante a fotossíntese, que é a base dos processos biológicos dos seres vivos (EPE, 2017).

Uma das principais vantagens da biomassa é que seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por meio da combustão em fornos, caldeiras, etc. Para aumentar a eficiência e reduzir os impactos socioambientais no seu processo de produção, estão sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas tecnologias de conversão mais eficientes como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a cogeração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética (EPE, 2017).

Em termos de geração de energia elétrica, a biomassa vem sendo bastante utilizada, principalmente em sistemas de cogeração e no fornecimento de energia elétrica para demandas isoladas da rede elétrica, outra importante vantagem é que o aumento na sua utilização pode estar associado à redução no consumo de combustíveis fósseis, como o petróleo e seus derivados (EPE, 2017).

O Brasil, por possuir condições naturais e geográficas favoráveis à produção de biomassa, pode assumir posição de destaque no cenário mundial na produção e no uso como recurso energético, já que recebe intensa radiação solar ao longo do ano. Outro aspecto importante é que o Brasil possui grande quantidade de terras cultiváveis, tendo solo com boas características e condições climáticas favoráveis (EPE, 2017).

Existem diversas rotas para a biomassa energética, com grande variedade de fontes - que vão desde os resíduos agrícolas, industriais e urbanos até as culturas plantadas exclusivamente para a obtenção de biomassa. Com o melhor aproveitamento deste tipo de energia, é possível um incremento na geração de energia, principalmente para comunidades isoladas e que não são atendidas pelo sistema elétrico nacional (EPE, 2017).

3.2 Energia Eólica

A migração das massas de ar é provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta e é a partir daí que a energia eólica é gerada. A geração eólica ocorre pelo contato do vento com as pás do cata-vento. O giro das pás dá origem à energia mecânica, acionando o rotor do aereador, produzindo eletricidade. A quantidade de energia mecânica transferida está diretamente relacionada à densidade do ar, à área coberta pela rotação das pás e à velocidade do vento (ANEEL, 2015).

Não existem informações exatas sobre o período em que este tipo de energia começou a ser utilizada, já que desde a Antiguidade dá origem à energia mecânica utilizada na movimentação dos barcos e em atividades econômicas básicas como bombeamento de água e moagem de grãos (ANEEL, 2015).

No Brasil, a produção de eletricidade a partir da fonte eólica chegou a 5.050 GWh em 2016, um aumento de 86,7% em relação ao ano anterior, quando se alcançou 2.705 GWh. Também em 2016, a potência instalada para geração eólica no país cresceu 32,6%. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional cresceu de 1.423 MW, em 2011, para 1.886 MW, ao final de 2016, um aumento de 463 MW (EPE, 2017).

3.3 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

As PCHs são semelhantes às Usinas Hidrelétricas, porém em aspecto reduzido, o que implica em diferentes aspectos construtivos e operacionais, porém com o mesmo conceito.

Em função do porte menor, as PCHs têm menor tempo de implementação, reduzidos impactos ambientais, mais rápido retorno de investimento, além de incentivos legais.

A potência instalada determina o porte da Usina, a divisão é feita em três categorias principais: grande porte, médio porte e PCH. Segundo classificação da ANEEL, usinas com potência instalada entre 1 MW e 30 MW se encaixam na classificação de Pequena Central Hidrelétrica (ANEEL, 2015).

A ANEEL incentiva a utilização de PCHs, com resoluções elaboradas para admitir a energia gerada nas PCHs no sistema elétrico, isentando o empreendedor do pagamento das taxas pelo uso da rede de transmissão e distribuição. Este benefício vale para as centrais que

entraram em operação até 2003. As PCHs também são dispensadas de remunerar municípios e Estados pelo uso dos recursos hídricos (ANEEL,2016).

3.4 Energia Solar

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, é inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz. A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ KW/h de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra. O Sol também é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia, ou seja, que em sua grande maioria são derivadas da energia do Sol. São formas indiretas de energia solar as seguintes fontes de energia: (CRESESB, 2016).

- a) Hidráulica: Devido a energia solar que se dá a evaporação, dando origem ao ciclo das águas;
- b) Biomassa: A partir da energia solar, que as plantas realizam a fotossíntese;
- c) Eólica: A radiação solar induz a circulação atmosférica que em larga escala causa os ventos;
- d) Combustíveis fósseis: Foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais, que obtiverem energia para seu desenvolvimento através da radiação solar. Também por causa das reações químicas que a matéria orgânica foi submetida, teve como sua fonte de energia o Sol;

A radiação solar também pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. A radiação solar sobre determinados materiais pode ser usada para conversão direta de energia elétrica, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (CRESESB, 2016).

4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD)

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2015) Geração Distribuída (GD) é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores independente da potência, tecnologia e fonte de energia. Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se do micro e da mini geração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e auto-sustentabilidade. As tecnologias de GD têm evoluído para incluir potências cada vez menores. A GD inclui;

- a) Geradores que usam como fontes de energia resíduos combustíveis de processo;
- b) Geradores de emergência;
- c) Geradores para produção no horário de ponta;
- d) Painéis fotovoltaicos;
- e) Pequenas Centrais Hidrelétricas- PHCs;

O conceito envolve, ainda, equipamentos de medida, controle e comando que articulam a operação dos geradores e o eventual controle de cargas (ligamento/desligamento) para que estas se adaptem à oferta de energia. A GD tem vantagem sobre a geração central pois economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas nestes sistemas, melhorando a estabilidade do serviço de energia elétrica. A geração elétrica perto do consumidor chegou a ser a regra na primeira metade do século, quando a energia industrial era praticamente toda gerada localmente. A partir da década de 40, no entanto, a geração em centrais de grande porte ficou mais barata, reduzindo o interesse dos consumidores pela GD e, como consequência, o desenvolvimento tecnológico para incentivar esse tipo de geração também parou. (INEE, 2015)

Ainda de acordo com (INEE, 2015) as crises do petróleo introduziram fatores perturbadores que mudaram irreversivelmente este panorama, revelando a importância, por exemplo, da economia de escopo obtida na co-geração. A partir da década de 90, a reforma do setor elétrico brasileiro permitiu a competição no serviço de energia, criando a concorrência e estimulando todos os potenciais elétricos com custos competitivos. Com o fim do monopólio da geração elétrica, em meados dos anos 80, o desenvolvimento de tecnologias voltou a ser incentivado com visíveis resultados na redução de custos. O crescimento da GD nos próximos anos parece incontestável e alguns autores fazem uma analogia com o crescimento do micro-

computador com relação aos grandes computadores centrais. Com a GD, torna-se possível obter maior eficiência energética. Por isso, o INEE tem trabalhado para derrubar eventuais imperfeições do mercado que dificultam o desenvolvimento desta forma de geração elétrica.

Em 2004, ocorre um grande avanço quando a GD é mencionada na Lei 10.848/04 como uma das possíveis fontes de geração de energia. O detalhamento do Decreto 5.163/04 fornece características que ajudaram as empresas distribuidoras, que até então se opunham a esta forma de geração, a enxergarem na GD uma das formas de mitigar riscos de planejamento, podemos classificar a GD de:

- a) Micro GD – capacidade menor ou igual a 75 kW;
- b) Mini GD ou Pequena escala – capacidade superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW
3MW – hidráulica e 5 MW para outras fontes.

4.1 Geração Distribuída Fotovoltaica

Acompanhando o desenvolvimento internacional do setor fotovoltaico, o Brasil, embora ainda com pequena capacidade instalada, tem buscado superar as barreiras, através de um conjunto de elementos, para inserção da fonte fotovoltaica na matriz brasileira. Os avanços alcançados nos últimos anos contemplaram ações oriundas de múltiplos agentes, em diversas esferas, destacando-se a regulatória, tributária, normativa, de pesquisa e desenvolvimento. O Brasil dispõe de um dos maiores potenciais do mundo de fontes renováveis de energia, principalmente a energia solar, uma fonte inesgotável e ecologicamente correta. Por isso, nos últimos anos, é crescente o incentivo de projetos públicos e privados visando à utilização dessa energia, o que atrai o interesse de fabricantes para o mercado nacional.

De acordo com a Empresa de Pesquisas Energética, em sua nota técnica (EPE, 2017) por conta desses fatores, ao longo da última década foi possibilitada a inserção em sistemas conectados à rede, de forma que em 2012 cerca de 99% da potência acumulada total correspondia a este tipo de aplicação. Destes, mais de 60% são de sistemas descentralizados. A modalidade desta tecnologia a confere grande possibilidade de aplicação distribuída, principalmente na escala de micro e minigeração para atendimento domiciliar e comercial.

4.2 Vantagens da Geração Distribuída (GD)

De acordo com (COPEL, 2015) as vantagens atribuídas à GD são nesse estudo contempladas pela temática da sociedade, do meio ambiente e do setor elétrico. Do lado da sociedade foram identificados:

- a) qualidade e confiabilidade superiores do abastecimento por meio de tecnologias de GD, porque seu sistema elétrico não aceita variações de frequência e/ou tensão;
- b) aumento da confiabilidade do suprimento aos consumidores próximos à geração local, por adicionar fonte não sujeita a falhas na transmissão e distribuição;
- c) a eletricidade gerada pela GD tem menor custo para o consumidor;
- d) contribuição para o aumento do mix da geração, levando a um maior segurança do suprimento energético;
- e) geração de empregos e estabilidade na produção pela indústria nacional gerando desenvolvimento econômico;
- f) contribuição para o desenvolvimento local (social e econômico), devido ao uso de recursos próprios da região na qual está inserida a instalação elétrica;

Analisando pela parte do meio ambiente percebemos as seguintes vantagens;

- a) contribuição na redução das emissões de gás para efeito estufa e para a mitigação da mudança climática devido ao uso de recursos energéticos distribuídos;
- b) minimização dos impactos ambientais, pela redução das necessidades de grandes instalações de geração de cargas e extensas linhas de transmissão;
- c) diminuição do uso de fontes de energia não renováveis;
- d) diminuição do desmatamento;
- e) possibilidade de melhorar a eficiência energética;
- f) uso adequado dos recursos renováveis;

Ainda de acordo com (COPEL,2015) pelo lado do setor elétrico destacamos as seguintes vantagens:

- a) a GD é economicamente atraente na medida em que reduz os custos, adia investimentos em subestações de transformação e em capacidade adicional para transmissão, além de reduzir perdas nas linhas de transmissão e distribuição, perdas reativas de potência e estabilidade na tensão elétrica;
- b) a diversidade de investimentos privados gerados pela GD, tende a ampliar o número de agentes geradores e participantes do setor elétrico, distribuídos regionalmente;

- c) atendimento mais rápido ao crescimento da demanda (ou à demanda reprimida) por ter um tempo de implantação inferior ao de acréscimos à geração centralizada e reforços das respectivas redes de transmissão e distribuição;
- d) diminuição da dependência do parque gerador despachado centralizadamente, mantendo reservas próximas aos centros de carga;
- e) agilização no atendimento ao crescimento da demanda, inserindo menor prazo e menor complexidade no licenciamento e na liberação para implantação dos projetos;
- f) aumento da estabilidade do sistema elétrico, pela existência de reservas de geração distribuída;
- g) redução das perdas na transmissão e dos respectivos custos, e adiamento no investimento para reforçar o sistema de transmissão;
- h) redução dos investimentos para implantação, inclusive os das concessionárias para o suprimento de ponta, dado este que passa a ser compartilhado (“*peak sharing*”), e os de todos os produtores para reservas de geração (que podem ser alocadas em comum);
- i) redução dos riscos de planejamento;
- j) o uso de unidades de menor capacidade propicia o equilíbrio na busca de melhores taxas variáveis de crescimento de demanda, contribuindo na redução de risco associados a erros de planejamento e oscilações de preços ao sistema elétrico;
- k) contribuição para a abertura do mercado energético, com a criação de regulamentação jurídica própria, que podem representar uma grande oportunidade comercial;

5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

5.1. Introdução

No início o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica era voltado para o setor de telecomunicações é também para o fornecimento de energia elétrica para localidades remotas. Em função do elevado custo de fabricação, sua utilização prática só se tornou útil para aplicações especiais, como em sistemas autônomos de fornecimento de energia elétrica para satélites. Nesse caso, o custo não era um fator decisivo, e sua confiabilidade e leveza fizeram das células fotovoltaicas a maneira mais segura e conveniente, até os dias de hoje, para a geração de eletricidade no espaço. Anos mais tarde, com a crise energética de 1973, a indústria de petróleo se transformou em um negócio menos lucrativo. Com isso, a diversificação se tornou uma opção para manter o crescimento, e assim, a energia solar atraiu o interesse de empresas de petróleo como, por exemplo, a *British Petroleum Company* (BPC). Com a possibilidade de esgotamento das reservas petrolíferas, essas empresas resolveram investir na produção de energia a partir da radiação solar. Entretanto, era necessário reduzir significativamente o custo de produção das células solares para que essa fonte de energia pudesse se tornar economicamente viável. tos a fim de alcançar o nível de qualidade e a vida útil comparáveis aos das células solares. (CAPELLI, 2013).

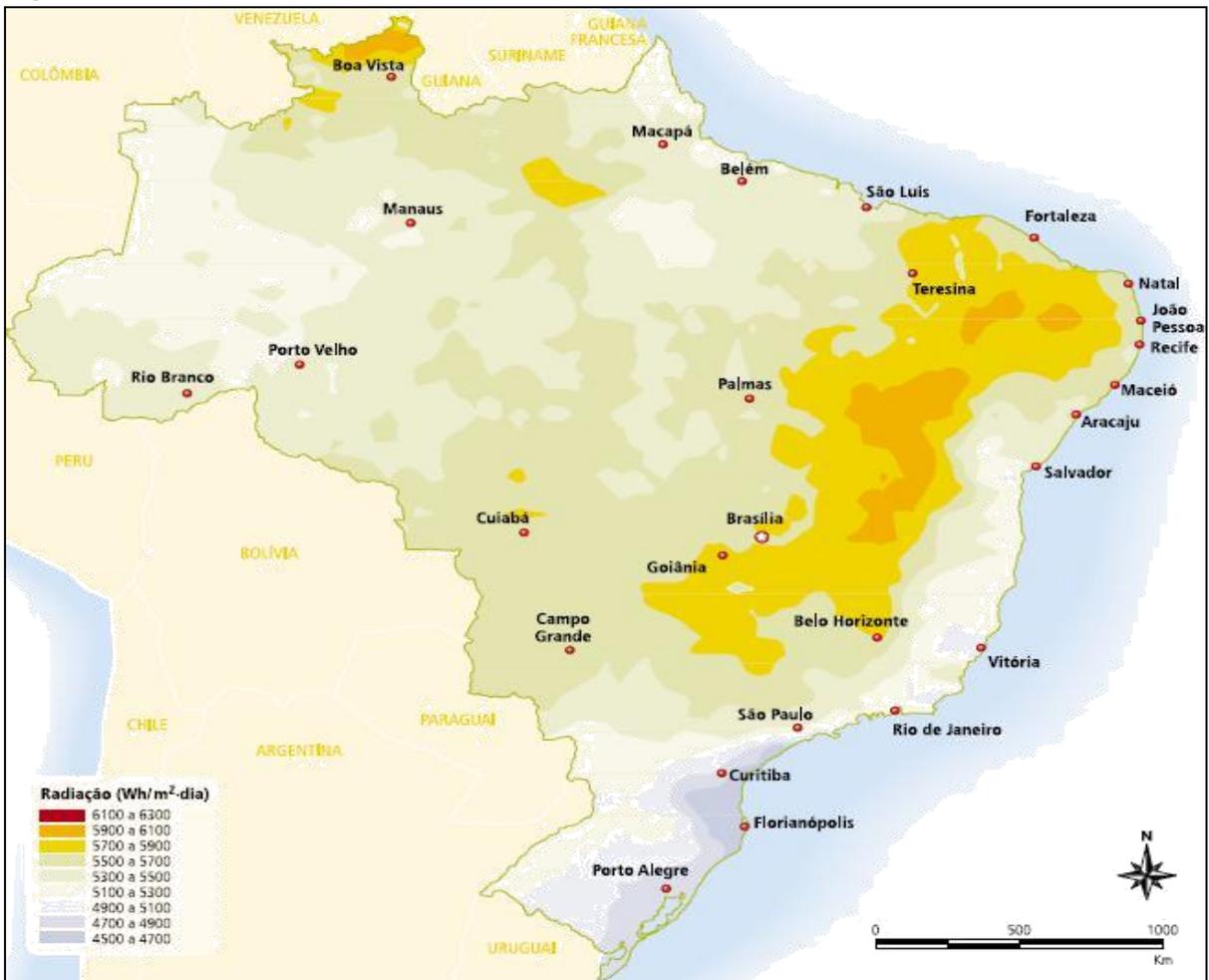
Após a crise do petróleo muitas empresas petrolíferas abandonaram os projetos de desenvolvimento de células fotovoltaicas. Contudo, o fortalecimento do movimento de defesa do meio ambiente e a criação de programas de eletrificação de regiões isoladas continuaram impulsionando a indústria que, na década de 90, deu um grande salto de crescimento. Atualmente os empecilhos à difusão, em larga escala, dos sistemas fotovoltaicos estão ligados ao custo das células solares e dos demais equipamentos pertencentes a tais sistemas. Os mesmos necessitam de melhoramentos a fim de alcançar o nível de qualidade e a vida útil comparáveis aos das células solares. (CAPELLI, 2013).

5.2 Radiação Solar

A disponibilidade de radiação solar é determinada pela hora do dia, pelo dia do ano é também pela latitude local. Isso se deve à inclinação do eixo imaginário, em torno do qual a Terra gira em seu movimento de rotação, e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do sol em seu movimento de translação. Além disso, condições atmosféricas, como

nebulosidade e umidade relativa, influenciam o nível de radiação solar que atinge uma determinada região da Terra. Desse modo, a duração solar do dia chega a variar de zero a vinte e quatro horas. As variações são mais intensas nas regiões polares e nos períodos de solstício. Devido aos elevados índices de radiação solar encontrados no território brasileiro, mostrado na Figura 3, o potencial do país com relação a esse tipo de energia é muito grande. (CICLO VIVO, 2014).

Figura 03 - Potencial Solar no Brasil



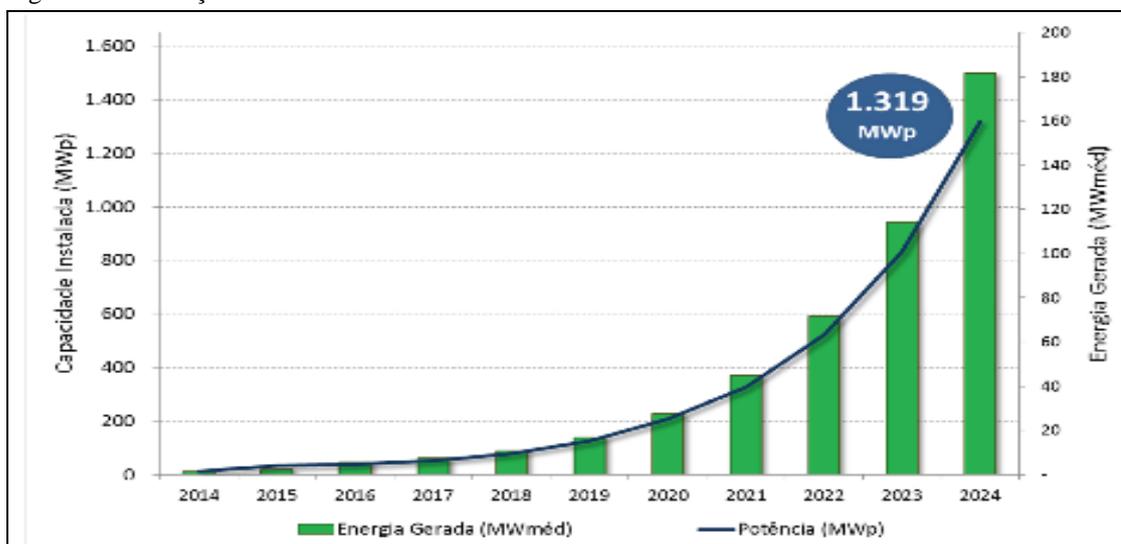
Fonte: Resenha Energética, 2015.

De acordo com (BETWEEN, 2015) o crescimento, ao longo dos anos, da potência total instalada de sistemas fotovoltaicos conectados à rede é visível mundialmente.

Segundo (ANEEL, 2016) os mercados de energia solar fotovoltaica desde de 2014 mostraram um equilíbrio entre as instalações de grande porte (leilões de grandes usinas solares) e a geração distribuída (sistemas instalados em telhados de casas e empresas). Ainda de acordo com ANEEL 2016 em agosto de 2016 as unidades de geração distribuídas

ultrapassaram a casa dos 4000 acessos solicitados, este fato se deve a capacidade única que só a energia fotovoltaica tem, que é o poder de oferecer uma solução para múltiplas necessidades, desde ligar uma lâmpada de um poste de iluminação com alguns Watts, até oferecer uma alternativa de produção de energia para uma casa ou mesmo uma grande usina solar produzindo energia para milhares de famílias e empresas. Na Figura 4 é possível observar uma projeção que demonstra que a energia solar fotovoltaica tem um grande potencial para crescimento.

Figura 04 - Evolução dos Sistemas Fotovoltaicos

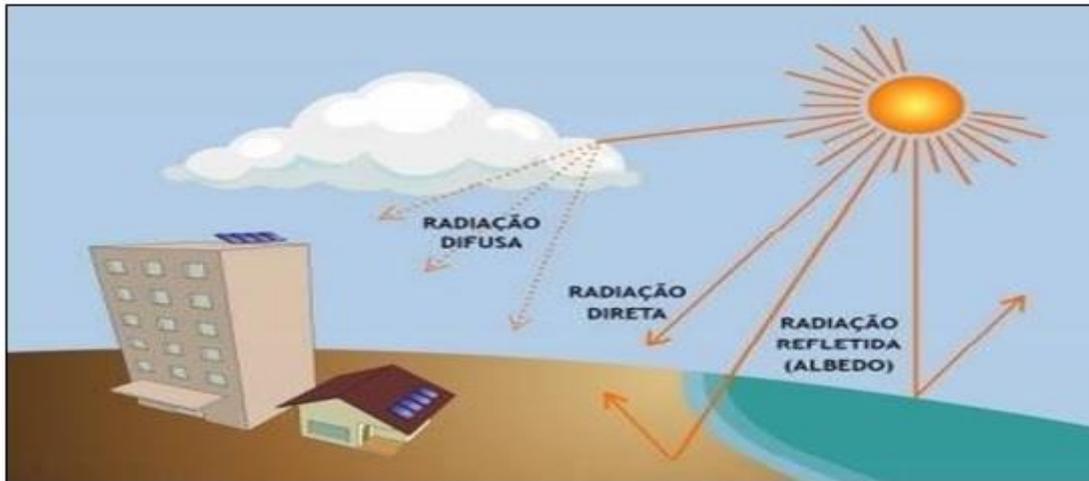


Fonte: EPE, 2016.

5.3 Energia Solar Fotovoltaica

Para o aproveitamento fotovoltaico, a de maior interesse é a Irradiação Global Horizontal (GHI), que quantifica a radiação recebida por uma superfície plana horizontal, composta pela Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e pela Irradiação Normal Direta (DNI), representadas na Figura 5. Em dias nublados, a principal parcela é a DIF, enquanto que em dias claros prevalece a DNI (EPE, 2016). As células fotovoltaicas convertem a energia solar diretamente em energia elétrica (corrente contínua), a geração direta via radiação solar é obtida através de células fotovoltaicas, constituídas por materiais semicondutores, dispostos em uma junção p-n. Quando a radiação solar incide sobre essas células ocorre o efeito fotovoltaico, que gera uma diferença de potencial entre a junção P-N afim de alcançar o nível de qualidade e a vida útil comparáveis aos das células solares. (CAPELLI, 2013).

Figura 05 - Componentes da Radiação Solar

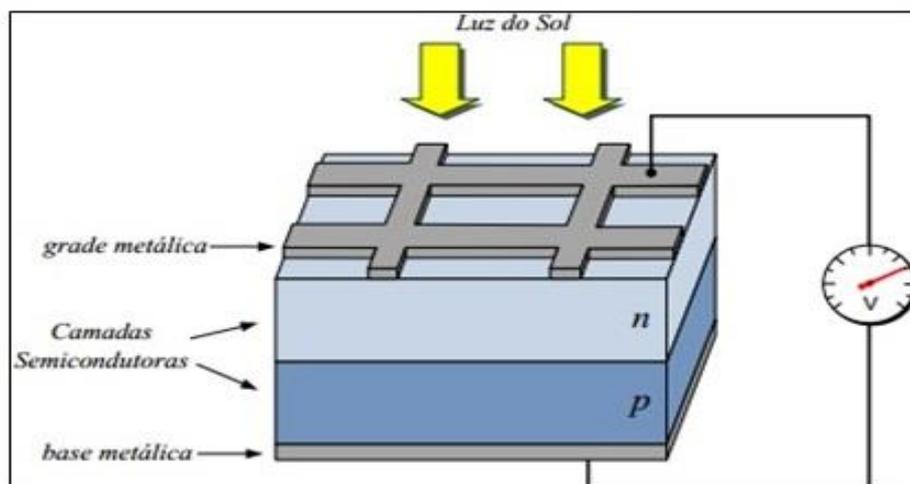


Fonte: EPE, 2016.

5.4 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra onde totalmente “vazia” (banda de condução). Se uma junção P-N for exposta a fótons com energia maior que o *gap*, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna. Se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, será gerada uma corrente através da junção, assim criando uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito Fotovoltaico. Se as duas extremidades das camadas semicondutoras forem conectadas a um voltímetro, terá uma medição aferida em seu visor. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas, conforme apresentado na Figura 6. (CRESESB, 2015).

Figura 06 - Funcionamento das Células Fotovoltaicas



Fonte. EPE 2016

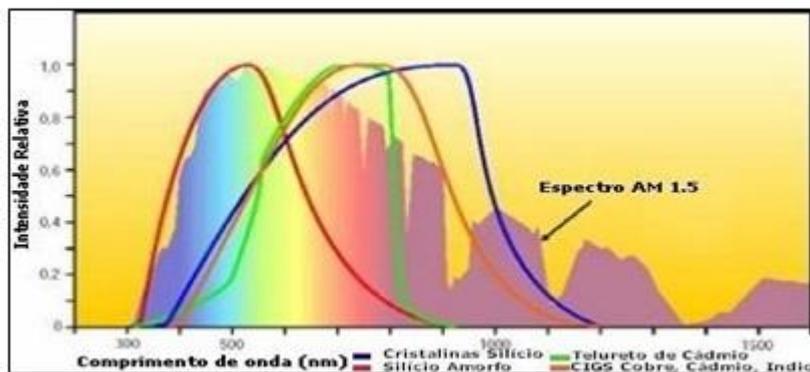
5.5 Tipos de Células Fotovoltaicas

Para (RUTHER, 2015) dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células solares fotovoltaicas, são ordenados por ordem decrescente de maturidade e utilização:

- a) Silício Cristalino;
- b) Silício amorfo hidrogenado;
- c) Telureto de cádmio;
- d) Compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio;

Na Figura 7 pode-se observar a sensibilidade ao espectro de luz, de acordo com a tecnologia fotovoltaica escolhida.

Figura 07 - Sensibilidade ao Espectro de Luz



Fonte: EPE;2016

Segundo (RUTHER, 2015) as células fotovoltaicas são divididas em mais dois grupos, as de lâminas cristalinas e as de filmes finos. A única que utiliza de lâminas cristalinas (diâmetro~10cm) é a de silício cristalino, por ser relativamente espessa (300-400mm) limita em termos de redução o seu custo de produção. As demais utilizam a tecnologia de filmes finos que possuem espessura da ordem de 1mm, por isso essa tecnologia demonstra grande potencial de redução de custos. Os elementos que são ou altamente tóxicos, ou muito raros ou ambos, inicialmente se mostraram um obstáculo considerável ao uso mais intensivo destas tecnologias. Os painéis solares que possuem elementos tóxicos devem ser descartados de forma apropriada (RÜTHER 2015).

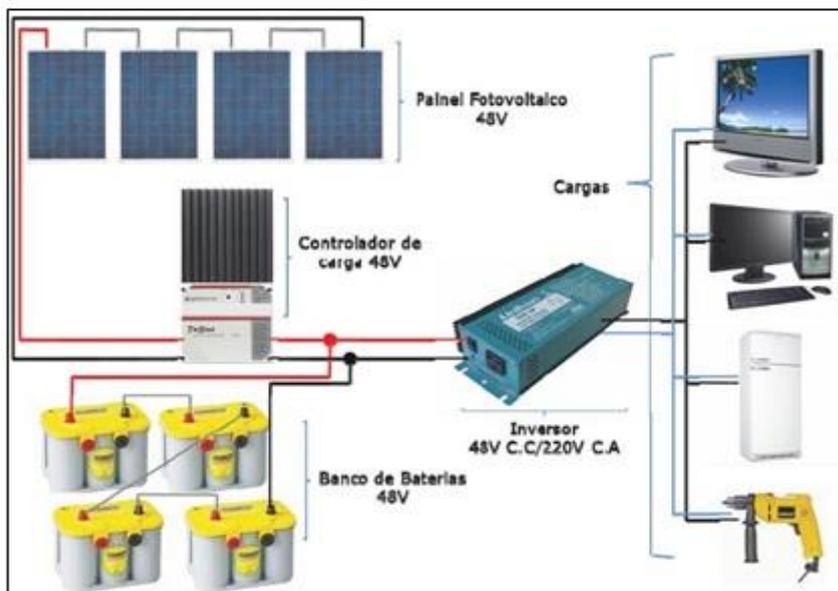
5.6 Configurações Básicas

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em dois tipos: isolados ou conectados à rede. A escolha do sistema que melhor atenderá às necessidades de cada projeto dependerá da aplicação e/ou da disponibilidade de recursos energéticos. De acordo com as restrições impostas para cada projeto, existe uma variação de complexidade. (RÜTHER 2015).

5.6.1 Sistemas Isolados

Os sistemas isolados têm grande aplicação em locais onde não há fornecimento de energia elétrica por razões técnicas e/ou econômicas. Esse sistema pode atender cargas em corrente contínua ou alternada. Além disso, as opções mais comuns de fazer o armazenamento de energia são através de baterias ou na forma de energia potencial gravitacional, que consiste no bombeio de água para tanques em sistemas de abastecimento. Na maioria das situações em que é necessário o armazenamento de energia, ele é feito através da utilização de baterias. Em conjunto com as baterias, é recomendável a utilização do controlador de carga, o qual tem como função proteger as baterias contra sobrecarga ou descarga profunda, aumentando o seu tempo de vida. Se o sistema alimentar uma carga em corrente alternada, é imprescindível a utilização de um inversor. Sendo assim, o arranjo de um sistema isolado composto por painéis fotovoltaicos, baterias, controlador de carga e inversor é mostrado na Figura 8. (GREENPRO,2013).

Figura 08 - Arranjo Sistema Fotovoltaico isolado

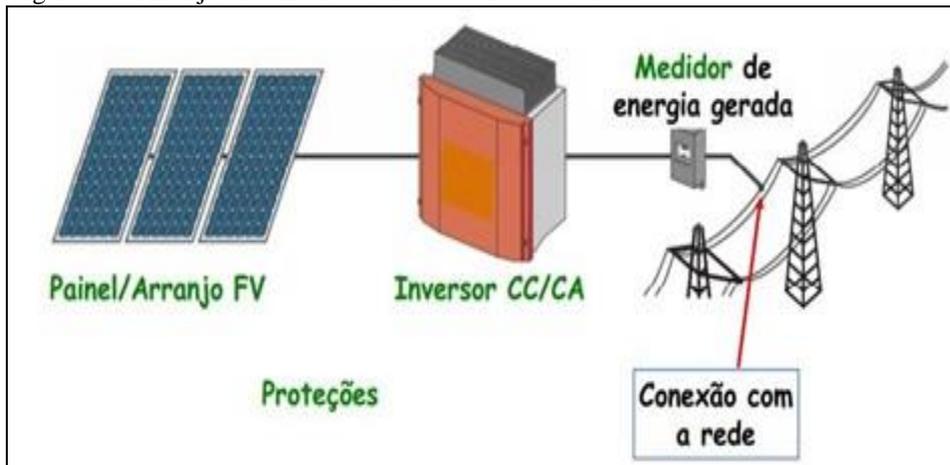


Fonte: O autor, adaptado de Between, 2015.

5.6.2 Sistemas Conectados à Rede

Ao contrário dos sistemas isolados, os sistemas conectados à rede, normalmente, não necessitam de armazenamento de energia porque toda a energia excedente gerada é injetada na rede. Os painéis fotovoltaicos são ligados ao inversor, e este é conectado diretamente à rede elétrica. Para sistemas residenciais, existem algumas alternativas de conexão para a realização da medição de energia que devem atender algumas exigências; são elas: qualidade de energia, limites de distorção, desvio de frequência e fator de potência. Além disso, deve-se levar em consideração a segurança. Logo, o sistema fotovoltaico deve ser facilmente isolado pela concessionária, evitando, assim, riscos aos funcionários sempre que seja necessário realizar manutenção (CRESESB, 2016). Na Figura 9 é mostrado o arranjo de um sistema conectado à rede, composto por painéis fotovoltaicos e um inversor.

Figura 09 - Arranjo Sistema Fotovoltaico conectado á rede



Fonte: O autor, adaptado de Between, 2015.

5.7 Componentes Básicos

Os componentes básicos de um sistema fotovoltaico são: painéis fotovoltaicos, baterias, controlador de carga, inversor, conversores CC-CC e seguidor de ponto de máxima potência (MPPT). De acordo com a configuração escolhida, será necessária a utilização de parte ou todos esses equipamentos. A seguir serão detalhados esses equipamentos.

5.7.1 Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é a unidade mais importante de um sistema fotovoltaico. Por ser constituído basicamente por material semicondutor, é o responsável pela conversão de

energia solar em energia elétrica. Ele é composto por pequenas células conectadas em arranjos série e/ou paralelo, devido a sua reduzida potência, produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia. As células possuem pequenas espessuras, sendo necessária a proteção contra esforços mecânicos, agentes atmosféricos e umidade. Na maioria dos casos, é utilizado o vidro, que também assegura o isolamento elétrico entre as células. Os principais tipos de células fotovoltaicas serão apresentados mais adiante. A curva característica de corrente e tensão ($I \times V$) de um determinado módulo fotovoltaico é obtida através da aquisição de valores de tensão e corrente para diversas condições de carga. Há diversas curvas para um módulo fotovoltaico, sendo que cada curva está associada às condições em que foi obtida, tais como a intensidade de radiação solar e temperatura de operação. Dessa maneira, dentre os diversos pontos que formam essas curvas, existe um que é denominado ponto de potência máxima (MPP). Assim, dois parâmetros que especificam um módulo fotovoltaico estão localizados no MPP; são eles: a tensão no ponto de potência máxima (V_{MPP}) e a corrente no ponto de potência máxima (I_{MPP}). Os demais parâmetros para especificação são a tensão de circuito aberto (V_{OC}) e a corrente de curto-circuito (I_{SC}) do módulo fotovoltaico. A partir dessas quatro informações, é possível calcular o fator de forma (FF), apresentado na Equação 1, uma grandeza que indica o quanto a curva característica se aproxima da forma retangular. Uma maior aproximação demonstra, por sua vez, uma maior qualidade da célula fotovoltaica (CRESESB, 2016).

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (1)$$

Onde:

FF é o fator fora de forma;

I_{mpp} é a corrente no ponto de potência máxima;

V_{mpp} é a tensão no ponto de potência máxima;

I_{sc} é a corrente de curto-circuito;

V_{oc} é a tensão de circuito aberto;

5.7.2 Silício Cristalino

A maioria das células fotovoltaicas disponíveis no mercado é constituída de silício cristalino. Essa é a tecnologia mais tradicional e teve sua consolidação no mercado internacional devido a sua robustez e confiabilidade e, a partir dela, é possível produzir

células de silício monocristalino e policristalino. Apesar do seu elevado custo, essa tecnologia continua na liderança do mercado para aplicações terrestres. A célula de silício monocristalino é conseguida a partir de um monocristal que recebe um banho de silício fundido de alta pureza. Esse processo é realizado em reatores sob atmosfera controlada e em temperaturas em torno de 1400°C (GREENPRO,2013). Em seguida, o monocristal passa por etapas de usinagem, corte de lâminas, lapidação, ataque químico, polimento e dopagem para, finalmente, obter-se a célula fotovoltaica. Enquanto o rendimento alcançado em experiências de laboratório para esse tipo de célula encontra-se por volta de 27%, os produtos comerciais possuem rendimento na faixa de 12 a 16%. A produção de células fotovoltaicas com esse material é cara devido à quantidade de material utilizado e à energia necessária para sua fabricação. Por isso, essa tecnologia apresenta dificuldades para redução de custos e, inclusive, para produção em escala. A célula de silício policristalino é constituída por uma grande quantidade de pequenos cristais, com uma menor perfeição cristalina se comparada à da célula de silício cristalino. Isso torna a conversão de energia solar em energia elétrica menos eficiente. Em contrapartida, a produção de células fotovoltaicas de silício policristalino é mais barata e seu processamento é mais simples, gastando menos energia para sua produção. (CRESESB, 2016). A Figura 10 mostra um exemplo de painéis de silício monocristalino.

Figura 10 - Painéis de Silício Monocristalino



Fonte: Cresesb, 2016

5.7.3 Silício Amorfo

O silício amorfo é uma tecnologia fotovoltaica em filmes finos que teve seu primeiro emprego em células solares na década de 70 e tornou-se ideal para aplicações em produtos de baixo consumo elétrico. Devido à resposta espectral mais próxima ao azul, o mesmo é mais

eficiente que o silício cristalino sob iluminação artificial. No início da década de 80, o silício amorfo já era considerado comercialmente viável. Por não possuir estrutura cristalina, o silício amorfo apresenta defeitos estruturais. No entanto, através do processo de hidrogenação, os átomos de hidrogênio minimizam os defeitos estruturais devido às combinações químicas. Sua produção é realizada em temperaturas em torno de 300°C, em processos a plasma e ele é, posteriormente, depositado sobre substratos de baixo custo como, por exemplo, vidro e aço inox. Assim, foi possível desenvolver painéis solares flexíveis, inquebráveis, leves e semitransparentes, possuindo aparência mais atraente. A utilização do silício amorfo pode trazer vantagens interessantes. A primeira delas é a de que a absorção da radiação solar, quando feita através dele, é mais eficiente do que a conseguida através do silício cristalino. Já a segunda vantagem relaciona-se com o custo-benefício, uma vez que o processo de fabricação é mais barato que os anteriores. Entretanto, ele possui rendimentos menores que o silício cristalino, também se deteriora com o tempo, tornando-o ainda menos eficiente. (CRESESB, 2016). A Figura 11 mostra um exemplo de painéis de silício amorfo.

Figura 11 - Painéis de Silício Amorfo



Fonte: Cresesb, 2016

5.7.4 Telureto de Cádmio

O Telureto de Cádmio (CdTe) é outra tecnologia fotovoltaica em filmes finos que há bastante tempo é utilizada em aplicações de baixa potência. Para aplicações em módulos fotovoltaicos geralmente tem a forma de placas de vidro com tonalidade marrom/azul escuro, o que representa uma vantagem estética. A fabricação dessas células é feita sobre um substrato de vidro com uma camada de condutor transparente, normalmente, Óxido de Estanho-Índio (ITO). Em seguida, é revestido por uma camada transparente, do tipo N, de Sulfeto de Cádmio (CdS) e, depois, por uma camada absorvente, do tipo P, de Telureto de Cádmio (CdTe). Para a produção em escala, seus custos se mostram mais atrativos, o que o torna um competidor no mercado para grande geração de energia. Outra vantagem está relacionada a sua eficiência, já que essa tecnologia se apresenta mais eficaz na conversão fotovoltaica do que o silício amorfo. Entretanto, há duas desvantagens para o seu uso: a baixa disponibilidade dos elementos químicos envolvidos e, também sua toxicidade, apresentando risco para o ambiente e para a saúde quando está em forma de gás (GREENPRO,2013). A figura 12 mostra um exemplo de painéis de teruleto de cádmio.

Figura 12 - Painéis de Teruleto de Cádmio



Fonte: Cresesb, 2016

5.7.5 Baterias

Uma bateria pode ser descrita, basicamente, como dois eletrodos imersos em um eletrólito. Por meio dela, é possível armazenar energia para, posteriormente, através de transformações eletroquímicas, gerar corrente contínua pela conversão de energia química em energia elétrica. As baterias são classificadas como recarregáveis ou não-recarregáveis. Às baterias não-recarregáveis são compostas por células primárias. Essas células têm sua vida útil finalizada quando são descarregadas completamente. Normalmente, esse tipo de bateria é utilizado como fonte de energia de baixa potência, como por exemplo, em calculadoras, relógios e controles remotos. Entretanto, existem baterias de células primárias que admitem recargas leves, prorrogando seu tempo de vida útil. No que tange às baterias recarregáveis, elas são compostas por células secundárias que, por meio de uma fonte externa, podem recuperar sua composição química. Cabe ainda ressaltar que tais baterias se subdividem em dois grupos. Quanto ao confinamento do eletrólito, elas podem ser classificadas em abertas ou seladas, com a ressalva de que somente as baterias abertas precisam ser periodicamente verificadas em relação ao nível do eletrólito. Quanto a sua aplicação, as baterias recarregáveis dividem-se em automotivas, de tração, estacionárias ou fotovoltaicas. Esse último tipo é projetado para suportar ciclos diários rasos e descargas profundas esporádicas. O primeiro caso ocorre devido ao consumo em horário diferente da produção de energia, enquanto o segundo acontece graças à ausência de geração de energia em dias contínuos nublados. Para aplicações fotovoltaicas, as características principais a serem observadas na escolha da bateria adequada são: elevada vida cíclica para descargas profundas, pouca ou nenhuma necessidade de manutenção, eficiência de carregamento, baixa taxa de auto descarga, confiabilidade e reduzidas variações de desempenho quando trabalham fora da faixa de temperatura de operação. Além dessas características, alguns fatores que também devem ser considerados são: disponibilidade dos fornecedores; distância, duração e custo do transporte para o local; custo da capacidade útil para um ciclo; custo da capacidade útil para o ciclo de vida; necessidade de manutenção durante o armazenamento; peso; densidade de energia; disponibilidade e custo nas unidades de controle (RÜTHER 2015).

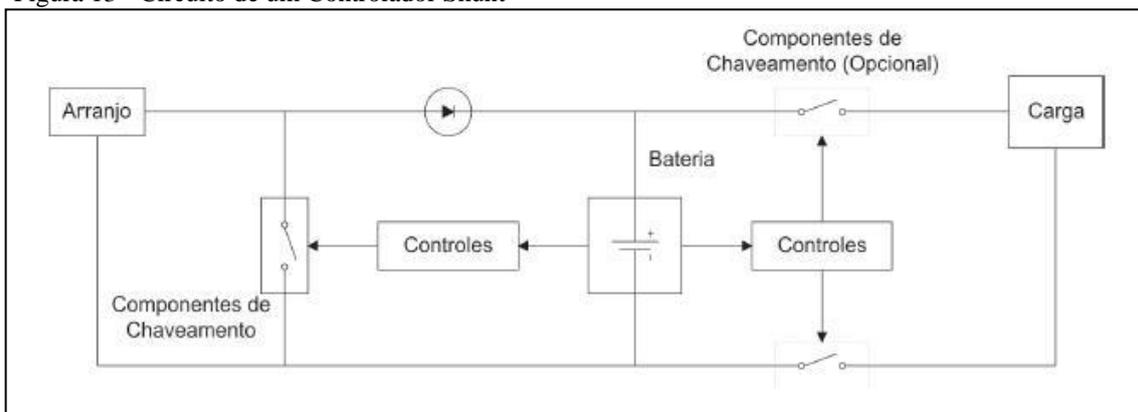
Devido à grande quantidade de opções no mercado, a escolha da bateria que atende às necessidades de cada projeto envolve a análise de todas as características mencionadas. Entre as alternativas disponíveis, as baterias de níquel-cádmio são as que apresentam características mais próximas da ideal. No entanto, o seu alto custo é um fator limitante para sua utilização e, por isso, as baterias de chumbo-ácido são as mais utilizadas atualmente. (CRESESB, 2016).

5.7.6 Controladores de Carga

A maioria dos sistemas fotovoltaicos possui controlador de carga. Sua finalidade é maximizar a transferência de energia dos painéis fotovoltaicos para o banco de baterias, permitir a otimização do dimensionamento do banco de baterias, também protegê-las de sobrecargas e descargas profundas, aumentando, assim, a sua vida útil. Todavia, existem dois casos em que o controlador de carga pode ser dispensado. O primeiro deles tem como motivação a grande capacidade de armazenamento de energia se comparado com a capacidade de geração do sistema. No segundo caso, o instrumento em questão se torna dispensável na medida em que os módulos fotovoltaicos apresentam uma curva $I \times V$ com característica de baixa corrente, estando a bateria com tensão de carga plena. Nesse caso, portanto, haverá desperdício de energia quando as baterias estiverem próximas da carga plena.

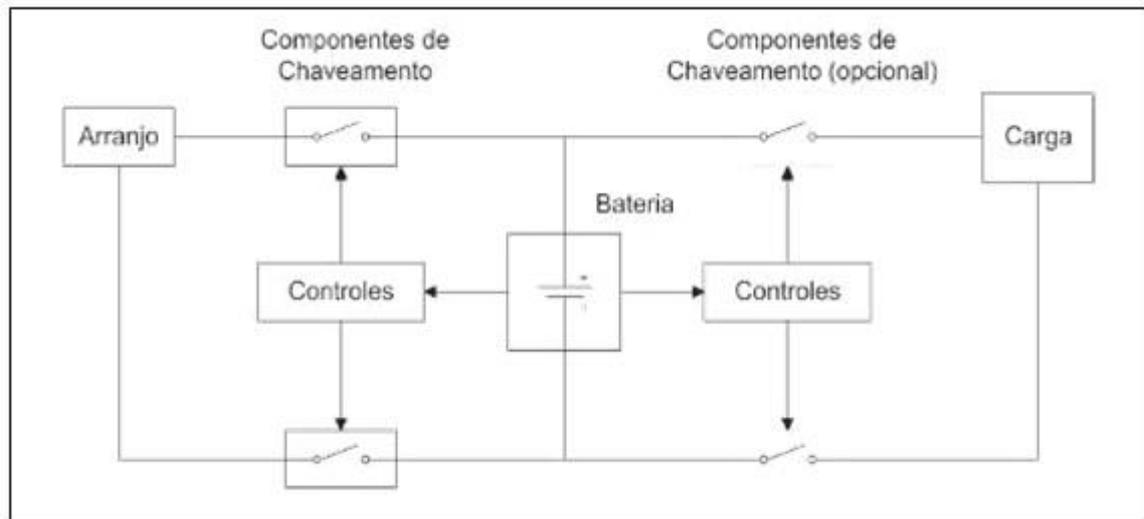
Os controladores de carga operam de forma a isolar o arranjo fotovoltaico do circuito quando a bateria atinge carga plena. Também, para evitar a descarga profunda das baterias, tais controladores tendem a interromper o fornecimento de energia através das baterias quando elas atingem o nível mínimo de segurança (RÜTHER 2015). Existem duas maneiras para o controlador de carga desconectar o arranjo fotovoltaico do sistema; são elas: *Shunt* ou *Série*, mostrados na Figura 13 e na Figura 14, respectivamente. O método mais utilizado é o *shunt* porque tem um menor consumo de energia. Já a interrupção do fornecimento de energia através das baterias é feita pelo monitoramento da corrente e da tensão da bateria e da carga.

Figura 13 - Circuito de um Controlador Shunt



Fonte: Cresesb, 2016.

Figura 14 - Circuito de um Controlador Série



Fonte: Cresesb, 2016.

O chaveamento dos controladores é feito com um dispositivo de estado sólido ou um relé eletromecânico. Enquanto o controlador série mantém o arranjo fotovoltaico em circuito aberto, o controlador *shunt* aplica um curto-circuito no arranjo fotovoltaico. Dessa maneira, um controlador *shunt* ideal tem o comportamento de uma carga variável, dissipando, sob forma de calor, a energia desperdiçada e, com isso, mantendo constante a tensão entre os terminais do arranjo fotovoltaico. Além disso, para o controlador *shunt*, é necessária a utilização de um diodo de bloqueio, com a finalidade de evitar um curto-circuito entre os terminais do banco de baterias. Para o controlador série, pelo contrário, não é necessária a utilização de um diodo de bloqueio. Por fim, é possível encontrar modelos de controladores mais sofisticados que possuam algumas características extras, tais como: estratégias de controle especiais, *set points* ajustáveis, proteção contracorrente reversa, desconexão da carga, compensação térmica, alarmes e indicações visuais, desvio da energia do arranjo, seguidor do ponto de máxima potência, proteção contra inversão de polaridade e terminais exclusivos para modificação de tensão das baterias. (RÜTHER 2015).

5.7.7 Inversores

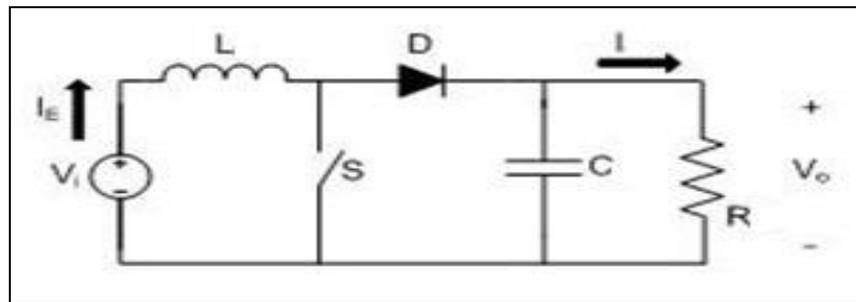
O inversor é um equipamento de um sistema fotovoltaico responsável pela conversão de corrente contínua em corrente alternada. Existem dois tipos de inversores: o de comutação natural e o de comutação forçada. No primeiro, a inversão é controlada pela tensão da rede e deve produzir tensões sincronizadas com a rede e com baixo teor de harmônicos, ao passo

que, no segundo, a inversão é controlada pelo próprio inversor. Contudo, os dois tipos de inversores têm em comum a necessidade de dissipar o mínimo de potência possível a fim de evitar perdas. (CRESESB, 2016).

As características básicas de um inversor são: a tensão de entrada, a potência nominal e as características de saída. Alguns parâmetros devem ser considerados para a especificação dos inversores, os mais comuns são: a característica de saída (forma de onda, frequência, amplitude e distorção), a eficiência, a potência nominal, a potência máxima, a taxa de utilização, a tensão de entrada (nominal e faixa permitida), modularidade, fator de potência, consumo permanente, tamanho, peso, ruído, indicadores visuais (*leds, displays, medidores* etc), proteções. Por fim, têm-se as características adicionais: operação em mais de um quadrante (inversor bi-direcional) e capacidade de interconexão com a rede (RÜTHER 2015).

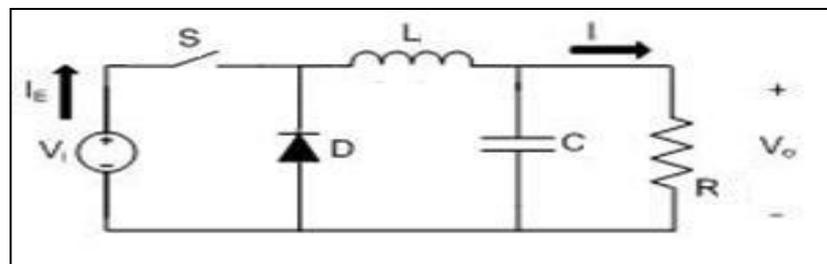
5.7.8 Conversores CC-CC

De acordo com (CRESESB, 2016) o conversor CC-CC fornece tensões contínuas reguladas a partir de fontes de tensão contínuas não-reguladas. Em aplicações de fotovoltaica, ele é utilizado para alterar o nível de tensão contínua dos painéis fotovoltaicos para o banco de baterias. Assim, ele controla a corrente e tensão aplicadas às baterias, de forma a aumentar sua vida útil e tornar mais eficiente a transferência de energia entre o painel solar e a bateria. Quando utilizado para elevar a tensão, é feito o uso de um conversor tipo *boost*; que apresenta comportamento de fonte de tensão na saída, como ilustrado na Figura 15. Com a chave (S) em condução o indutor (L) armazena a energia recebida da fonte de entrada, fazendo com que haja o aumento da corrente no mesmo, enquanto isso a corrente da carga (R) é fornecida pelo capacitor (C). Já para a chave (S) aberta o diodo (D) entra em condução fazendo com que a fonte de entrada e o indutor (L) forneçam energia para a carga, desmagnetizando o indutor (L). A tensão de saída é regulada pelo tempo de duração de cada etapa (chave aberta/chave fechada), que é determinado por circuito de controle e comando.

Figura 15 – Conversor *Boost*

Fonte: Cresesb, 2016.

Quando utilizado para abaixar elevar a tensão, é feito o uso de um conversor tipo *buck*; que apresenta comportamento de fonte de corrente na saída, como ilustrado na Figura 16. Com a chave (S) em condução o diodo (D) fica cortado e a corrente flui através do indutor (L) até o capacitor (C), e este produz sobre a carga (R) uma tensão de saída. Já para a chave (S) aberta a energia armazenada no indutor (L) força que mantenha a corrente circulando na carga (R). Da mesma maneira que ocorre com o conversor *boost*, a tensão de saída é regulada através do controle da chave (S). (CRESESB, 2016).

Figura 16 – Conversor *Buck*

Fonte: Cresesb, 2016.

A eficiência de um conversor CC-CC depende de alguns fatores, tais como: semicondutores utilizados, potência nominal e fator de multiplicação de tensão. Há ainda conversores que produzem um isolamento galvânico entre entrada e saída, o qual é muito útil para aplicações em que a tensão de saída é elevada. As chaves semicondutoras mais utilizadas são os transistores de potência em suas várias versões (PBJTs, PMOS, IGBTs). (RÜTHER 2015).

5.7.9 Seguidor de Ponto de Potência Máxima

Os painéis fotovoltaicos estão submetidos a diferentes níveis de radiação solar, que variam ao longo dos dias e períodos do ano. Em função disso, o ponto de potência máxima da

curva $I \times V$ sofre variações. Por isso, em alguns sistemas fotovoltaicos, é utilizado o seguidor do ponto de máxima potência, também conhecido como MPPT. Esse dispositivo regula a tensão e corrente de operação do sistema fotovoltaico, com a finalidade de operar sempre na máxima potência disponível. Como alternativa à utilização do MPPT, é possível fixar a tensão de saída do arranjo fotovoltaico. Essa opção é mais simples e econômica para controlar o ponto de operação do sistema. Tal técnica é chamada também de BFV, sigla de *Best Fixed Voltage* e, segundo a mesma, é escolhido um valor de tensão que, ao longo do ano, retorne o máximo de geração de energia. Porém, não é uma tarefa tão fácil encontrar a melhor tensão fixa, necessitando-se, pois, de um estudo apurado, visto que a tensão depende de vários fatores, como o tipo do módulo, a configuração do arranjo, a localização geográfica e os aspectos climáticos (RÜTHER 2015).

Para grandes projetos, é indicado avaliar o custo-benefício da utilização do MPPT, uma vez que o BFV, mesmo apresentando eficiência um pouco menor, pode se tornar uma alternativa vantajosa em algumas situações, devido ao menor custo, isto sempre atento ao modelo tarifário a ser aplicado no local.

6 TARIFICAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA

O preço da energia elétrica difere nas mais diversas regiões do país. Dependendo da localidade, tanto as tarifas como a metodologia de cálculo podem variar um pouco. Segundo Calças (2016), até a década de 1980, antes da publicação da constituição federal, as empresas públicas de energia elétrica, na maioria pertencente ao governo federal, estadual ou municipal recebiam do poder concedente, a autorização para explorar os serviços de energia elétrica sem necessidade de participar de leilões e muitas das concessões não tinham prazos estabelecidos. Existia uma tarifa única de energia elétrica no Brasil, que garantia a remuneração das concessionárias, independentemente de seu nível de eficiência. Esse sistema não incentivava a busca pela eficiência por parte da distribuidora, uma vez que a integralidade de seu custo era transferida ao consumidor.

O processo de determinação das tarifas das distribuidoras de energia elétrica ocorre em dois estágios. Na primeira fase calcula-se a receita requerida total que a empresa poderá obter para manter seu equilíbrio econômico-financeiro no período de um ano, definindo então o nível tarifário. Na segunda, as tarifas a serem cobradas dos diversos tipos de usuários são determinadas de modo a produzir a receita almejada, supondo que os consumidores adquiram as quantidades estimadas do produto. O conjunto desses preços é denominado estrutura tarifária.

Para que se possa ter uma maior economia em projetos de eficiência energética, alguns entendimentos são necessários a respeito do modelo de tarifação brasileiro. Sendo assim, um dos pontos mais importantes a serem estudados relaciona-se com a maneira como é realizada a cobrança da energia elétrica, com posterior análise aprofundada acerca da forma como o cálculo dos valores são apresentados na fatura de energia. Ambos os estudos são fundamentais para que decisões sejam tomadas visando à diminuição de gastos referentes à energia elétrica.

Partindo-se do princípio de que a conta de luz é o reflexo da maneira como a energia elétrica é utilizada, algumas relações importantes entre hábitos e consumo podem ser estabelecidas. Uma análise apurada por um período adequado, é possível chegar a conclusões esclarecedoras sobre o assunto. Para algumas unidades consumidoras, por exemplo, existe a opção de outras modalidades de enquadramento tarifário. Portanto, o conhecimento detalhado dos hábitos de consumo permite a escolha da forma de tarifação mais adequada e, conseqüentemente, influencia a redução de despesas com energia elétrica.

Este capítulo abordará, detalhadamente, o sistema de tarifação de energia elétrica para unidades consumidoras a única ressalva a ser feita, contudo, é que os valores tarifários utilizados neste estudo serão aqueles cobrados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) essa adoção tornou-se necessária na medida em que os valores cobrados são diferentes para cada concessionária de distribuição de energia elétrica. Cabe ressaltar, ainda, que o instrumento que fundamentou a análise foi a Resolução 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual foi publicada no Diário Oficial no dia 9 de setembro de 2010.

6.1 Estrutura Tarifária

Estrutura tarifária é definida como o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, de acordo com a modalidade de fornecimento (ANEEL, Resolução nº 414/2010). No Brasil, as tarifas de energia elétrica estão estruturadas em dois grandes grupos de consumidores: “grupo A” e “grupo B”.

6.2 Grupo A

Este grupamento é composto por todas as unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV. Também estão incluídas nesse grupo as unidades consumidoras do sistema subterrâneo de distribuição com tensão inferior a 2,3 kV, desde que sejam respeitados um dos seguintes fatores: a fixação, em contrato, do fornecimento de demanda acordada igual ou superior a 150 kW; ou, a verificação de um consumo de energia elétrica ativa mensal igual ou superior a 30 MWh em, no mínimo, três ciclos completos e consecutivos. Tais ciclos devem ocorrer nos seis meses anteriores à opção ou ao contrato de fornecimento (ANEEL, Resolução nº 414/2010). A estrutura tarifária binômica, constituída por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica e demanda faturável, é o modelo de tarifação utilizado por esse grupamento. O “grupo A” é constituído por três modalidades de tarifação. Cada uma delas possui suas peculiaridades, as quais serão detalhadas a seguir. Suas classificações são: tarifa convencional, tarifa horo-sazonal verde e tarifa horo-sazonal azul, ele ainda é dividido em subgrupos de acordo com o nível de tensão de fornecimento, como mostra a Tabela 1 (ANEEL, Resolução nº 414/2010).

Tabela 1 – Classificação dos Subgrupos do Grupo A

Subgrupo	Nível de Tensão
A1	Igual ou superior a 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kVa 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Sistema Subterrâneo

Fonte: O autor, adaptado de ANEEL, Resolução nº 414/2010.

6.2.1 Estrutura Tarifária Convencional

A estrutura tarifária convencional é entendida como aquela cuja aplicação de tarifas abrange tanto o consumo de energia elétrica quanto a demanda de potência (ANEEL, Resolução nº 414/2010). É interessante salientar, todavia, que esse tipo de tarifação não depende das horas de utilização do dia nem dos períodos do ano. Essa estrutura tarifária é opcional para as unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV e com contrato de demanda de potência menor que 300 kW (ANEEL, Resolução nº 414/2010). Os valores cobrados pela concessionária local de energia elétrica para cada subgrupo da modalidade tarifária em questão, sem a incidência de impostos, estão mostrados na Tabela 2 (CEMIG,2016).

Tabela 2 – Tarifa da Modalidade Convencional

Subgrupo	Demanda (KW/H)	Bandeira	Bandeira	Bandeira
		Verde Consumo (R\$/kWh)	Amarela Consumo (R\$/kWh)	Vermelha Consumo (R\$/kWh)
A3A	31,86	0,30433	0,31933	0,33433
A4	31,86	0,30433	0,31933	0,33433
AS Subterrânea	51,39	0,32330	0,33830	0,35330

Fonte: O autor, adaptado de CEMIG, 2016.

Na hipótese de a demanda medida superar a demanda contratada, é cobrada uma tarifa de ultrapassagem, correspondente a três vezes o valor da tarifa normal. Para esses casos, existe tolerância de 10% da demanda contratada. Já a ocorrência de três registros consecutivos ou seis alternados de demanda medida igual ou superior a 300 kW, nos últimos onze ciclos de faturamento, implica a transferência compulsória da estrutura tarifária para o modelo horo-sazonal (ANEEL, Resolução nº 414/2010).

6.2.2 Estrutura Tarifária Horo-Sazonal

Ao contrário da estrutura tarifária estudada anteriormente, a estrutura chamada de horo-sazonal caracteriza-se por aplicar tarifas diversificadas segundo o consumo de energia elétrica e a demanda de potência. As taxas referentes ao consumo de energia elétrica variam de acordo com as horas de utilização do dia e com os períodos do ano. Através dessa diferenciação de valores, esse tipo de estrutura motiva o consumo da energia elétrica nos horários do dia e nos períodos do ano em que ela for mais barata. Com isso, o objetivo de racionalização do consumo é atingido. Durante o dia são estabelecidas duas faixas horárias. O horário de ponta, que corresponde ao período de maior consumo de energia elétrica, ocorre entre 17h30min e 20h30min dos dias úteis. O horário fora de ponta, por sua vez, possui tarifas menores, compreendendo as demais horas dos dias úteis, sábados, domingos e feriados nacionais (ANEEL, Resolução nº 414/2010). Durante o ano também são estabelecidos dois períodos. O período seco, que tem a duração de maio a novembro, quando a incidência de chuvas é menor. Conseqüentemente, as tarifas tornam-se mais altas devido à eventual necessidade de complementação da geração, através das usinas termelétricas. Por outro lado, o período úmido compreende os meses restantes, quando há um maior volume de chuvas (ANEEL, Resolução nº 414/2010).

Por fim, a demanda de potência é fixada em contrato firmado entre a concessionária e o cliente, de maneira que, havendo excedentes, faz-se necessário o pagamento da tarifa de ultrapassagem. Tal tarifa é aplicável, apenas, sobre a diferença positiva entre a demanda medida e a demanda contratada (ANEEL, Resolução nº 414/2010).

6.2.3 Tarifa Horo-Sazonal Verde

A modalidade tarifária conhecida como horo-sazonal verde caracteriza-se pela aplicação de quatro tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, as quais variam

segundo as horas do dia e os períodos do ano. Ademais, existe uma tarifa única de demanda de potência, independente de horário de utilização. Essa estrutura tarifária é uma alternativa oferecida às unidades consumidoras cujo atendimento pelo sistema elétrico interliga-se com tensão de fornecimento inferior a 69 kV. Na Tabela 3 podem ser encontrados os valores taxados pela concessionária local de energia elétrica, excluídos os impostos, para essa modalidade de tarifação. Caso haja uma superação da demanda medida em relação à que foi contratada, uma tarifa de ultrapassagem será cobrada. Quando tal atividade ocorre, existe uma tolerância de 10% da demanda ajustada. A apresentação dessa tarifa encontra-se na Tabela 3 considerando apenas a bandeira tarifária verde. (ANEEL, Resolução nº 414/2010).

Tabela 3 – Tarifa da Modalidade Horo-Sazonal Verde

Grupo	Demanda (R\$/kW)	Demanda de Ultrapassagem	Consumo (R\$/kWh)			
			Ponta		Fora de Ponta	
			Seca	Úmida	Seca	Úmida
A3a	9,06	18,12	1,18991	1,18991	0,29357	0,29357
A4	9,06	18,12	1,18991	1,18991	0,29357	0,29357
AS	21,59	43,18	1,44438	1,44438	0,31254	0,31254

Fonte: O autor, adaptado de CEMIG, 2016.

6.2.4 Tarifa Horo-Sazonal Azul

A tarifa classificada como horo-sazonal azul diferencia-se da explicitada anteriormente por apresentar duas tarifas vinculadas à demanda de potência. As tarifas de consumo de energia elétrica variam de acordo com as horas de utilização do dia e com os períodos do ano, assim como acontece no modelo horo-sazonal verde. Já a demanda de potência possui um valor contratado para o horário de ponta e outro para o horário fora de ponta. Essa estrutura tarifária é aplicável obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV. Por outro lado, é opcional às unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado com tensão de fornecimento inferior a 69 kV (ANEEL, Resolução nº 414/2010). Os valores cobrados pela concessionária local de energia elétrica para essa modalidade de tarifação podem ser observados na Tabela 4, onde os impostos não estão inclusos e considerando apenas a bandeira tarifária verde.

Existe a cobrança de uma tarifa de ultrapassagem para quando a demanda medida superar a demanda contratada. Para as unidades consumidoras com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV, a tolerância é de 5%, ao passo que, nas unidades consumidoras com tensão de fornecimento inferior a 69 kV, a tolerância é de 10% (ANEEL, Resolução nº 414/2010).

Tabela 4 – Tarifa da Modalidade Horo-Sazonal Azul

Grupo	Demanda De ponta e F.Ponta (R\$/kW)	Demanda de Ultrap.Ponta e F.Ponta (R\$/kW)	Consumo (R\$/kWh)			
			Ponta		Fora de Ponta	
			Seca	Úmida	Seca	Úmida
A1	0000	0000	00000	00000	00000	00000
A2	6,21/ 2,06	12,42/ 4,12	0,41070	0,41070	0,28157	0,28157
A3	18,6/ 5,26	37,28/ 10,52	0,42178	0,42178	0,29265	0,29265
A3a	31,67/9,06	63,34/18,12	0,42270	0,42270	0,29357	0,29357
A4	31,67/9,06	63,34/18,12	0,42270	0,42270	0,29357	0,29357
AS	41,39/21,59	82,78/43,18	0,44167	0,44167	0,31254	0,31254

Fonte: O autor, adaptado de CEMIG, 2016.

6.3 Grupo B

Este grupamento é composto por unidades consumidoras com fornecimento de tensão inferior a 2,3 kV. Há, ainda, a possibilidade do enquadramento de unidades consumidoras atendidas por tensão superior a 2,3 kV. Para tal situação é necessário que um dos seguintes critérios seja obedecido: as unidades devem estar localizadas em área de veraneio ou turismo, onde existam serviços de hotelaria e pousada; a potência instalada em transformadores deve ser igual ou inferior a 112,5 kVA; as instalações devem ser constantemente utilizadas para a prática de atividades esportivas ou em parques de exposições agropecuárias, com a ressalva de que 2/3 (dois terços) da carga total destinar-se-ão à iluminação (ANEEL, Resolução nº 414/2010).

O “grupo B” é caracterizado pela estrutura tarifária monômnia, estabelecida somente para o componente de consumo de energia elétrica, considerando que o custo da demanda de potência está incorporado ao custo de fornecimento de energia. A divisão em subgrupos, de

acordo com o tipo de atividade exercida, está mostrada na Tabela 5(ANEEL, Resolução nº 414/2010).

Tabela 5 – Classificação dos Subgrupos do Grupo B

Subgrupo	Classe
B1	Residencial
B1	Residencial Baixa Renda
B2	Rural
B3	Demais Classes
B4	Iluminação Publica

Fonte: ANEEL, Resolução nº 414/2010.

Portanto cada subgrupo desses citados acima são aplicados valores tarifários diferentes, cabe ao engenheiro analisar qual grupo seria melhor para se encaixar cada cliente, por isso é muito importante uma análise bem feita e elaborada para que não se enquadre em uma modalidade tarifária errada pois o local em questão poderá ter prejuízos oriundos desse erro a Tabela 6 indica os valores cobrados na média para essa modalidade tarifária, retirados os impostos, pela concessionária local de energia elétrica que aplica.

Tabela 6 – Tarifa do Grupo B

Subgrupo	Consumo (R\$/kWh)
B1	0,49951
B1	0,15243
B2	0,35865
B3	0,49951
B4	0,28823

Fonte: O autor, adaptado de CEMIG, 2016.

6.4 Tributos Federais

O governo federal, para manter programas voltados ao trabalhador e para atender a programas sociais, realiza cobrança através da conta de luz como a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e o Programa de Integração Social (PIS). De acordo com as Leis nº 10.637/2002, 10.833/2003 e 10.865/2004, os valores do PIS e do

COFINS têm suas alíquotas de 1,65% e 7,6%, respectivamente, sendo apurados de forma não-cumulativa (ANEEL, 2015).

6.5 Tributos Estaduais

Na esfera estadual, por sua vez, incide o Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Esse imposto é regulamentado pelo código tributário de cada estado, isto é, estabelecido em lei pelas casas legislativas. Por esse motivo, ocorre variação entre os estados. A concessionária é obrigada a realizar a cobrança do ICMS diretamente na fatura de energia elétrica e, em seguida, a repassá-lo integralmente ao governo estadual (ANEEL, 2015).

6.6 Tributos Municipais

No âmbito municipal, existe a cobrança da Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP), prevista no artigo 149-A da Constituição Federal de 1988, cuja arrecadação é feita pela concessionária local de energia elétrica e repassado ao Poder Público Municipal. Assim sendo, a responsabilidade pelos serviços. No sistema de arrecadação brasileiro, os tributos estão embutidos no preço dos bens e serviços.

Depois de verificar todos os aspectos relacionados a tarifação de energia, analisando qual modelo tarifário seria melhor para se enquadrar o cliente pode buscar alternativas para que se consiga melhores resultados na sua fatura de energia e uma alternativa que vem se mostrando eficiente é a instalação de usinas fotovoltaicas nas localidades.

7 DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

No projeto de um sistema fotovoltaico é necessário conhecer algumas características meteorológicas de onde o sistema será implementado e o consumo de carga alimentar, já que esses fatores influenciam diretamente no correto dimensionamento do sistema. Em relação as condições meteorológicas, estas serão obtidas através do banco de dados da instalação solarimétrica mais próxima localizada na cidade de Lavras-MG, pois possui uma menor distancia em relação à cidade de Boa Esperança, onde se encontra a empresa que será estudada. O consumo de energia diária esperada será definido considerando um sistema fotovoltaico autônomo, destinado basicamente para a utilização de uma pequena empresa. De acordo com o caso de estudo definido serão dimensionados todos os componentes do sistema, visando obter um bom casamento entre a energia fornecida pelo sol e a demanda esperada de energia, requerimento necessário de qualquer projeto fotovoltaico (CRESESB, 2016).

7.1 Determinação do Consumo da Empresa

Para determinar o consumo de energia elétrica da empresa é necessário fazer uma média de consumo entre os meses anteriores, para sistemas on-grid a demanda e o consumo podem ser levantados diretamente na conta de energia da instalação a ser beneficiada, pois ela traz consigo dados relativos aos últimos doze meses que deverão definir os parâmetros do projeto do sistema fotovoltaico. (CRESESB,2016). A figura 17 mostra os dados relativos aos últimos doze meses da empresa em questão.

Figura 17 - Histórico de Consumo da Empresa

Histórico de Consumo				
Mês	Energia (kWh) HFP	Energia (kWh) HP	Demanda (kW) HFP	Dias
dez/16	23134	3116	160	
nov/16	24928	1886	121	
out/16	25748	164	111	
set/16	30176	82	117	
ago/16	23534	574	125	
jul/16	26896	492	114	
jun/16	29520	574	133	
mai/16	34440	410	132	
abr/16	35342	410	155	
mar/16	22550	0	89	
fev/16	22960	656	88	
jan/16	22796	656	90	
dez/15	28946	902	141	
Média:	26997,7	763,2	121,2	

Taxa de Disponibilidade		
Tipo	Taxa	Unid.
Monofásico	30	kWh/mês
Bifásico	50	kWh/mês
Trifásico	100	kWh/mês

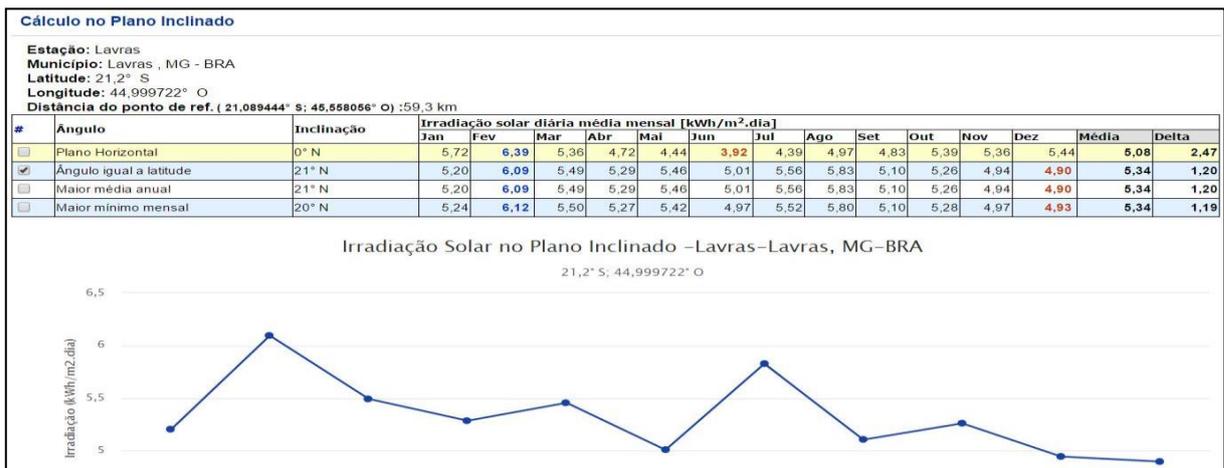
Valores de Compensação		
Mensal	28035,7	kWh/mês
Diária	934,52	kWh/dia
Anual	336428	

Fonte: Minas Eletro Solar (Adaptação), 2017.

7.2 Níveis de Radiação Solar da Localidade

Além do conhecimento do consumo de energia elétrica da empresa e a potencia instalada, outro dado indisponível para um bom projeto de sistema fotovoltaico são os índices de incidência de radiação solar na localidade onde o sistema vai ser instalado. O banco de dados do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) fornece os índices de radiação solar para três ângulos diferentes de instalação dos módulos solares que são: para o plano horizontal, para o plano no qual se obtém a maior media diária de incidência solar e para o angulo que fornece o menor valor mensal de radiação solar. De acordo com a figura 18 o valor de hora de sol pico (HSP) é de 5,34 kW/h m² considerando a estação solarimétrica mais próxima de Lavras- MG a uma distância de 59,3 Km, considerando valor médio pelo ângulo igual a latitude.

Figura 18 – Níveis de Solaridade

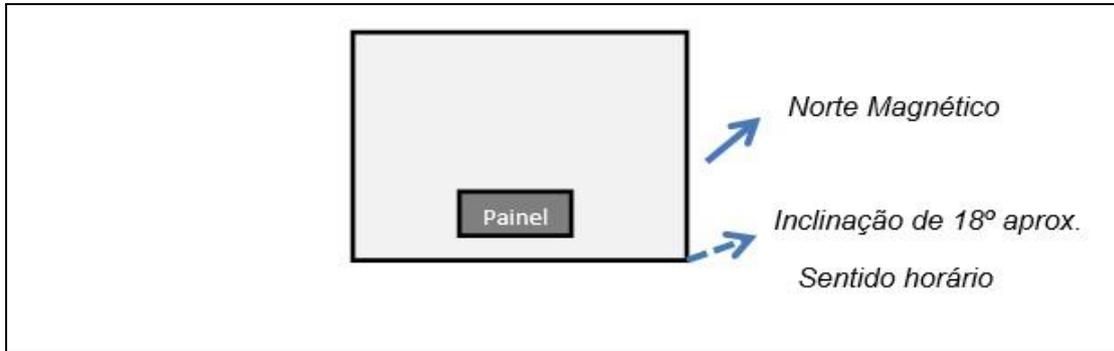


Fonte: Cepel, 2017.

7.3 Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico

Para fazer um correto dimensionamento dos painéis fotovoltaicos como os demais componentes do sistema, é importante conhecer, além das condições de radiação da localidade no qual o sistema vai ser implantado e das características da carga, outros parâmetros são importantes, como o local onde serão implantados os painéis e se possui algum tipo de sombreamento sobre eles, neste caso os painéis serão instalados sobre um telhado de amianto com estrutura de madeira e não possui qualquer tipo de sombreamento conforme mostra a figura 19. (CRESESB, 2016).

Figura 19 – Local de Instalação dos Painéis



Fonte: Manual Geração Fotovoltaica (Adaptação), CEPEL- 2016.

7.4 Dimensionamento do Gerador, Número de Painéis e o Inversor

Para que se possa obter o correto dimensionamento do gerador do sistema fotovoltaico é necessário a utilização do cálculo entre o consumo médio de energia elétrica a quantidade de horas de sol pleno (HSP) e a taxa de disponibilidade, como mostra a fórmula 2. (CRESESB, 2016).

$$Pg = \frac{C_{méd} - Td}{(HSP * 30 * Pr)} \quad (2)$$

Onde:

Pg - Potência do gerador em kWp;

C_{méd} - Consumo médio anual, dado em kWh;

HSP - Hora Sol pico, dado em kWh/m². dia;

Pr – *Performance Ratio*, considerado neste projeto 0,75;

Td – Taxa de Disponibilidade, de acordo com o tipo de ligação, 50 kWh;

Portanto pela fórmula obtém:

$$Pg = \frac{26997,7 - 50}{5,34 * 30 * 0,75}$$

Logo Pg= 221,21 kWp

Para o cálculo do número de painéis é utilizado é necessário a escolha do painel que neste caso será utilizado o painel Canadian Solar CS6p-280P, que possui tipo de célula de silício policristalino com potencia máxima de 265W, suas dimensões possuem 1638 x 982 x 40 (mm) com peso de 18kg, o valor máximo da corrente é 8,66 A e tensão máxima de 30,6 V. A partir desses valores se obtém o número de painéis através da fórmula 3. (CRESESB, 2016).

$$N_p = \frac{P_g}{P_{m\acute{a}x}} \quad (3)$$

Onde:

N_g - Número de Painéis;

P_g - Potência do gerador em kWp;

P_{max} - Potencia do Painel;

Portanto pela fórmula obtém:

$$N_p = \frac{221,21 \times 10^3}{280}$$

Logo $N_p = 788.8$ portando o número de painéis necessários seriam 790 painéis.

De acordo com (CRESESB, 2016) para a escolha dos inversores é preciso levar em consideração algumas características que são necessárias para um sistema fotovoltaico que são:

- a) Alta eficiência de conversão, tanto na carga nominal quanto nas cargas parciais;
- b) Alta confiabilidade e baixa manutenção;
- c) Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;
- d) Boa regulação na tensão de saída;
- e) Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico;
- f) Baixa emissão de ruídos;
- g) Baixa emissão de interferência eletromagnética;
- h) Tolerância ao surto de partida das cargas alimentadas;

- i) Segurança tanto para as pessoas quanto para a instalação;
- j) Grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;
- k) Garantia de fábrica de pelo menos dois anos;

Além disso existem três critérios para adequar o inversor a potencia dos painéis que devem ser respeitados em conjunto. O primeiro deles é em relação a faixa de potencia do gerador fotovoltaico onde que a potencia do gerador deve ser igual ou 20% superior a potencia do inversor. Esse valor é um valor estimado para gerar um sistema de melhor qualidade e menor custo, alguns estudos mostram que o valor pode ser até 30% superior, porem implica em um numero maior de painéis aumentando os custos com a instalação. O segundo critério é que os painéis fotovoltaicos deve trabalhar dentro da faixa MPPT do inversor. Porém se trabalharmos nos limites inferior e superior ocorrem riscos de sair da faixa de atuação do equipamento, portanto deve-se acrescentar 20% a mais no valor de tensão do limite inferior e 10% a menos no valor de tensão do limite superior (CRESESB, 2016).

Portanto para este trabalho serão utilizados cinco inversores modelo ABB PRO33.0 - TL – OUTD e um inversor modelo ABB PVI10.0 - TL – OUTD (CRESESB, 2016). De base com todos os valores obtidos a geração mensal de energia gerada pelo sistema fotovoltaico é dado pela formula 4 onde:

$$Gr = P_{m\acute{a}x} * N_p * N_{vm\acute{e}d} * Pr * 30 \quad (4)$$

Onde:

Gr - Capacidade de geração mensal, em kWh/mês;

$N_{vm\acute{e}d}$ - O nível médio de radiação solar, considerado 5 pelo fabricante do painel;

Portanto:

$$Gr = 0,280 * 790 * 5 * 0,75 * 30$$

A geração mensal de energia varia de 19.047 a 37.081 kWh/mês.

7.5 Resultados Obtidos

A empresa que foi feito o estudo de caso é LATICÍNEOS POLIMINAS, ela produz produtos derivados do leite, encontra-se na cidade de Boa Esperança possuindo em suas

dependências vários refrigeradores e motores para a produção de seus procedimentos. Ela está classificada na modalidade de tarifação tarifa hora sazonal (THS) A4, com uma fatura de energia elétrica na média de R\$ 16.700,00 com um consumo médio de 20,083 kW/h por mês. A Figura 20 apresenta a fatura do consumidor, nela percebe-se que o consumo mensal de energia é de 26.646 kW/h sendo 23.448 kW/h consumidos fora de ponta e 3.198 kW/h no horário de ponta, com uma demanda de 160 kW/h.

Figura 20 – Fatura de Energia

CEMIG www.cemig.com.br/atendimento
 Distribuição S.A. Emergências: 0800 727 7520

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 08.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 042.322136 0087 Tarifa Social de Energia Elétrica – TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002
 Av. Barbacena, 1.200 – 17º andar – Ala A1 – CEP 30190-131 – Belo Horizonte – MG

Referente a **DEZ/2017** **Nº DO CLIENTE**
 CÍCINIO ITAMAR PIMENTA Código de Débito Automático

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIEU - Nº001010763 - PTA Nº16.000114527.70

Classe	Subclasse	Datas de Leitura			Datas da Nota Fiscal		Nº DA INSTALAÇÃO
Industrial	Industrial	Anterior	Atual	Próxima	Emissão	Apresentação	
		15/11	15/12	15/01	15/12	20/12	

Modalidade Tarifária THS Verde A4

Informações Técnicas

Descrição	Valores Faturados		Valor(R\$)
	Quantidade	Tarifa/Preço	
Demanda Ativa kW HFP/Único	160	11,63178842	1.861,06
Energia At kWh HFP/Ún Verde	10.988	0,41761458	4.588,72
Energia At kWh HFP/Ún Amarela	12.136	0,43687251	5.301,86
Energia Ativa kWh HP Verde	1.394	1,56840416	2.186,34
Energia Ativa kWh HP Amarela	1.722	1,58766209	2.733,92
Energia Reativa kWh HFP/Único	164	0,32447041	53,16
Energia Reativa kWh HP	82	0,32447041	26,58
Encargos/Cobranças			
Contrib. Custeio Ilum. Pública			36,22
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-2,88
ICMS Demanda não utilizada(BC -R\$ 372,18)			66,98

Informações Gerais
 Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 2.076, de 24/05/2017. Conforme DECRETO Nº48.213, DE 11 DE ABRIL DE 2013, não será exigido o recolhimento do ICMS sobre a parcela de Demanda de Potência não utilizada.
 AGENTE DE RELACIONAMENTO: CEMIG MAIS
 E-MAIL: cemigmals@cemig.com.br

NOV/2017 Band. Amarela - DEZ/2017 Band. Verde

Indicadores de Qualidade de Energia

Fonte: O autor, adaptado de CEMIG, 2017

De acordo com esses dados com a implantação de um sistema fotovoltaico a empresa conseguiria uma redução em sua tarifa de energia elétrica, porém ela continuaria a pagar a demanda contratada em questão, que no caso é de 160 kW/h com uma tarifa de R\$ 11,63 gerando um valor mensal de R\$ 1.861,06, mas cabe ao engenheiro responsável analisar todos os fatores possíveis para que se consiga um melhor resultado, e analisando a empresa em questão e depois de uma consulta à concessionária de energia (CEMIG) é possível que a empresa opte por mudar de bandeira tarifária, tornando-a consumidora da modalidade tarifária do tipo B, ou seja possuindo uma tarifa monômnia. Com a instalação de uma usina fotovoltaica com capacidade de geração de 19.047 a 37.081 kWh/mês, potência da usina fotovoltaica 221,21 kWp em uma área de 1.293,1 metros quadrados ficaria por volta de R\$ 528.198,25 conseguindo uma energia gerada de 341.825 kWh/ano economizando cerca de R\$ 158.070,94

por ano, a Figura 21 nos descreve um levantamento total da usina fotovoltaica a ser instalada na empresa em questão.

Figura 21 – Levantamento da Usina Fotovoltaica

Sistema Dimensionado		Equipamentos Escolhidos		
Consumo Médio [kWh/mês]:	28035,69	Equipamento	Quantidade	Marcas
Taxa de Disponibilidade [kWh/mês]:		Painel Solar	790,0	Canadian CSI CS6K 280m
Valor de Dimensionamento [kWh/mês]:	28035,68615	Inversor 1	5	PRO-33.0-TL-OUTD
Irradiação Solar Diária [kWh/m ² .dia]:	5,300	Stringbox	1	ABB 2 Cordas 2 Saídas
Dados do Gerador		Inversor 2	1	ABB PVI 10.0 - TL - OUTD - FS
Potência da Usina - Sem PR [kWp]:	166,88	Sistema Escolhido		
Potência da Usina - PR 75% [kWp]:		Sistema de Aquisição:		2 x Kit Sices
Potência da Usina - PR 80% [kWp]:		Quantidade de Kits:		01 de 210kWp e 01 de 11,2kWp
Potência da Usina - PR 85% [kWp]:		Tipo de Kit:		Completo
Número de Módulos Totais:	790,0	Potência da Usina Fotovoltaica [kWp]:		221,2
Número de Módulos por String:	25	Valor do Wp:		R\$ 2,39
Número de String por Inversor:	6	Valor de PR referente a nova Pot. Da Usina [%]:		79,71
Número de Inversores:	5	Máx. Capacidade Mensal de Geração [kWh/mês]:		35170,8
Número de String Box:	6	Média Capacidade Mensal de Geração [kWh/mês]:		28034,6
Valor de Economia Anual [R\$]:	R\$ 158.070,94	Média Energia Gerada Anual [kWh/ano]:		336415,7
Valor de Economia Anual Total [R\$]:		Área Média Ocupada [m ²]:		1293,1
Valor de Fatura Anual A Ser Pago [R\$]:	-R\$ 16.921,57			
Levantamento Financeiro				
				Lucro Adicional
Valor do Sistema de Aquisição:	R\$	528.198,95	R\$	-
Valor Estabelecido - R\$ 4,00/Wp:	R\$	884.800,00	R\$	356.601,05
Valor Estabelecido - R\$ 4,50/Wp:	R\$	995.400,00	R\$	467.201,05
Valor Estabelecido - R\$ 5,00/Wp:	R\$	1.106.000,00	R\$	577.801,05
Valor Estabelecido - R\$ 5,50/Wp:	R\$	1.216.600,00	R\$	688.401,05
Valor Estabelecido - R\$ 6,00/Wp:	R\$	1.327.200,00	R\$	799.001,05
Valor Estabelecido - R\$ 6,50/Wp:	R\$	1.437.800,00	R\$	909.601,05
Valor Estabelecido - R\$ 7,00/Wp:	R\$	1.548.400,00	R\$	1.020.201,05
Valor Estabelecido - R\$ 7,50/Wp:	R\$	1.659.000,00	R\$	1.130.801,05
Valor Estabelecido - R\$ 8,00/Wp:	R\$	1.769.600,00	R\$	1.241.401,05

Fonte: Minas Eletro Solar (Adaptação), 2017.

Já a Figura 22 mostra o tempo de retorno deste investimento.

Figura 22 – Tempo de Retorno da Usina Fotovoltaica



Fonte: Minas Eletro Solar (Adaptação), 2017.

8 CONCLUSÃO

O constante aumento da demanda de energia elétrica no Brasil faz com que o país tenha que investir cada vez mais na geração de energia elétrica, onde a procura por fontes alternativas se faz cada vez maior. Procuram-se fontes que sejam renováveis e que tenham pouco impacto ao meio ambiente, ao mesmo tempo que o fator financeiro também pesa, visto que é necessário que haja viabilidade econômica para a implantação destas novas formas de geração de eletricidade.

A matriz elétrica brasileira é composta majoritariamente pela geração hidrelétrica. Devido à dependência de fatores hidrológicos, as usinas hidrelétricas podem ter sua produção variando ano a ano. Em 2015, por exemplo, devido a um menor volume de chuvas, a geração hidrelétrica diminuiu, o que fez acionar as usinas térmicas, que supriram o aumento da demanda naquele ano. A geração térmica, por ser mais cara no Brasil, pode fazer o preço da conta de luz do consumidor subir em uma situação como essa.

Dentro desta perspectiva, a energia solar apresenta bom potencial no Brasil, apesar de pouco explorada. No município de Boa Esperança, local onde o estudo foi realizado, constatou-se que há ótimas condições para a instalação de um sistema de geração solar fotovoltaica, podendo gerar quantidade considerável de energia elétrica durante o ano, visto que a geração estimada nesta região é em torno de 50% maior que o potencial na Alemanha, país com a maior capacidade instalada em SFVCR. Escolheu-se então um consumidor comercial para o estudo, que tem como característica possuir sistemas de máquinas e câmaras frias que demandam grande quantidade de energia, especialmente nos períodos mais quentes do dia, que são os momentos de maior radiação solar, fazendo dos painéis fotovoltaicos uma opção bastante interessante, uma vez que a geração de energia solar se dá justamente nos períodos de maior consumo destes estabelecimentos

Com a instalação de um sistema de geração fotovoltaica a empresa consegue uma redução na sua fatura de energia e a cada ano que se passa o investimento se mostra vantajoso, cabe à empresa fazer uma análise de mercado comparando quais tipos de investimentos são mais rentáveis no momento. Na questão energética, a implantação do sistema fotovoltaico sempre tem um resultado positivo já que diminui os custos com a fatura de energia elétrica sem prejudicar o ambiente. Com esse estudo percebe-se que é de fundamental importância que as empresas se atentem para uma melhor maneira de uso da

energia elétrica, ou seja, é necessário uma preocupação com o que se gasta na fatura de energia pois geralmente são custos altos que, se bem organizados e bem gasto, podem gerar também lucro para as mesmas.

Concluiu-se que a cidade tem ótimo potencial de geração de energia solar, quando comparada a outras regiões no mundo que fazem bom aproveitamento dessa energia. Acredita-se que a utilização de geração fotovoltaica em grandes consumidores comerciais na região de Boa Esperança seja viável economicamente. Faz-se necessário um estudo mais aprofundado e específico para cada consumidor para que de fato um sistema desses seja considerado viável ou não. A condição de viabilidade pode variar dependendo do consumidor, principalmente no que diz respeito ao tempo de investimento, pois cada consumidor poderá exigir diferentes prazos para recuperar o capital investido.

REFERÊNCIAS

- BEN. Balanço Energético Nacional, 2013. EPE. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf> Acessado em: Junho de 2016.
- COPEL, Taxas e Tarifas. 2016 . Disponível em: < http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpa_gcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F0a363cf546237cc203257488005939ce>. Acesso em: 19 dez. 2017.
- NERI, M. C. A nova classe média. Rio de Janeiro: FGC/IBRE, CPS, 2016. 131pg
- EPE. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira Balanço Energético Nacional. MME, maio 2017. Disponível em : <<https://ben.epe.gov.br/downloads>> Acessado em: Fevereiro de 2017.
- Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica, Universidade de campinas – Unicamp, Campinas,2010.
- CAPELLI, A. Energia Elétrica: Qualidade Eficiência Para Aplicações Industriais. São Paulo: Erica, 2013. 272 p
- CALCAS, Geraldo Pereira. Concessões de Serviços Públicos de Energia Elétrica face à Constituição Federal de 1988 e o Interesse Público. 2.ed. Curitiba: Juruá, 2016. 276 p.
- DUGAN, R. C, et al. Electrical Power Systems Quality. 2. ed.New York:McGrawHill, 2002. 521 p.
- GREENPRO. Energia Fotovoltaica / manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Disponível em: <<http://www.greenpro.de/po/index.html>> Acessado em: março de 2017.
- CicloVivo Plantando Notícias, Site, Disponível em: <http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/992/brasil_ nao_ aproveita_ potencial_ de_ energia_ solar_ e_ eolica/> Acessado em: abril de 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 482, de abril de 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 03 março 2017.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 547, de 16 de abril de 2013, disponível em: <<http://www.ANEEL.gov.br/cedoc/ren2013547.pdf>>. Acesso em: 14 de maio de 2017
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 414 DE 9 de Setembro de 2010. Disponível em: <<http://www.ANEEL.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 11 de setembro de 2015.
- CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. Tarifas, 2015. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/tarifas.aspx>>. Acesso em: 20 de maio 2017.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos / Rio de Janeiro, CRESESB, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10899 - Julho de 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 15 maio 2017.

BETWEEN. Energia Fotovoltaica / manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Disponível em: <http://www.ieapvps.org/index.php.html> Acessado em: março de 2017.

RUTHER. December 2015, ISBN 0471712329. Disponível em: <http://www.pspb.org/e21/media/HOMERModelingInformation.pdf> Acessado em: Janeiro de 2017.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/entidadesvinculadaseafins/afins/ons> Acessado em: Agosto de 2017.