

JOHNNY JOSÉ CAVALCANTE NEVES

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM UMA INDÚSTRIA DE
PEQUENO PORTE**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2021

JOHNNY JOSÉ CAVALCANTE NEVES

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM UMA INDÚSTRIA DE
PEQUENO PORTE**

Projeto de Fim de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Mecatrônica**.

Orientador: Profa. Dra.-Ing. Vera Lúcia Donizeti de Sousa Franco.

UBERLÂNDIA – MG
2021

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha esposa por me apoiarem em todas as minhas escolhas e por sempre me darem suporte durante todo o curso. Vocês foram essenciais para que eu conseguisse concluir essa importante etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a **Deus** por me abençoar durante todos os dias da minha vida e por permanecer sempre à frente, preparando os melhores caminhos para a minha vida.

À minha **mãe** pelo incentivo imensurável e incondicional durante toda minha vida. À minha **esposa** por me acompanhar em toda a trajetória da faculdade e me apoiar durante todos os momentos em que precisei de forças para prosseguir.

Sou grato a todos os **Professores** pela dedicação em formar bons engenheiros. Todos os ensinamentos de vocês, eu levarei para sempre na minha carreira profissional.

Um agradecimento especial à minha orientadora **Profa. Dra. Vera Lucia Franco**, que comprou a ideia desse projeto e me guiou, de modo excepcional, durante todo o processo de construção deste projeto. Muito obrigada também por aceitar ser minha supervisora no estágio.

Aos **funcionários do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD)** pelo conhecimento compartilhado comigo durante a realização do meu estágio supervisionado.

Aos **Professores** que compõem a comissão julgadora deste Trabalho de Conclusão de Curso. Desde já, meus sinceros agradecimentos pelas preciosas contribuições.

À **Universidade Federal de Uberlândia (UFU)** e à **Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC)** pelo ensino de excelência, por ser destaque nacional/internacional e por proporcionar ensino de qualidade. Obrigada pela oportunidade!

Por fim, aos **meus amigos** que ao longo do curso compartilharam comigo momentos de distração e dificuldades. Obrigada por todo o apoio de vocês.

RESUMO

NEVES, J. J. C. Estudo de viabilidade econômica para a implantação de um sistema de geração solar em uma indústria de pequeno porte. 2021. 56 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um estudo de viabilidade econômica para a implantação de um sistema de microgeração fotovoltaico em uma indústria de pequeno porte no município de Iporá, no estado de Goiás. Para o estudo de implantação do sistema de geração de energia solar fotovoltaica e a análise da viabilidade econômica, foi realizado, primeiramente, uma revisão bibliográfica abordando os principais tópicos do tema. Em seguida, foi realizada a análise dos dados de consumo da indústria de pequeno porte através das faturas de energia. Os dados de irradiação solar do local, além do consumo de energia elétrica da indústria, embasaram o dimensionamento do sistema de geração de energia solar fotovoltaica. A partir do projeto dimensionado foi possível obter os valores dos principais componentes de um sistema de geração solar para a implantação do projeto. Por fim, foi calculado o tempo de retorno do investimento para tal projeto. Os resultados deste estudo mostraram que a implantação de um sistema de geração de energia solar, na indústria de pequeno porte, é economicamente viável e apresenta como vantagem a diminuição da dependência de energia elétrica da distribuidora. Este o estudo optou por dimensionar a geração fotovoltaica para atender 93% da demanda de energia necessária para abastecer a indústria. Com isso, a indústria precisará de apenas 7% de energia advinda da distribuidora.

Palavras-chave: Microgeração. Energia solar fotovoltaica. Estudo de viabilidade econômica

ABSTRACT

NEVES, J. J. C. Economic feasibility study for the implementation of a solar generation system in a small industry. 2021. 56 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

This study aimed to develop an economic feasibility study for the implementation of a photovoltaic microgeneration system in a small industry in the municipality of Iporá, in the state of Goiás. For the study of the implementation of the photovoltaic solar power generation system and the analysis of the economic viability, first, a literature review was carried out, covering the main topics of the subject. Next, an analysis of the consumption data of the small industry was carried out through the electricity bills. The location's solar irradiation data, in addition to the industry's electricity consumption, were the basis for the dimensioning of the photovoltaic solar power generation system. From the dimensioned, it was possible to obtain the values of the main components of a solar generation system for the implementation of the project. Finally, the payback time for that project was calculated. The results of this study showed that the implementation of a solar power generation system, in the small industry, is economically viable and has the advantage of reducing the distributor's dependence on electricity. This study chose to scale photovoltaic generation to meet 93% of the electric power demand needed to supply the industry. As a result, the industry will need only 7% of electric power from the distributor.

Keywords: Microgeneration. Photovoltaic solar power. Economic feasibility study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de irradiação global horizontal.....	16
Figura 2 – Fluxograma das gerações de células fotovoltaicas.....	19
Figura 3 – Evolução da capacidade solar fotovoltaica global de 2009 a 2019...	20
Figura 4 – Média anual da irradiação global incidente no plano horizontal na Alemanha.....	21
Figura 5 – Mapa da média anual de irradiação solar global incidente no território brasileiro.....	22
Figura 6 – Projeção da capacidade instalada de GD por fonte em 2030.....	24
Figura 7 – Evolução da legislação de Geração Distribuída no Brasil.....	25
Figura 8 – Fluxo do processo de solicitação de acesso.....	27
Figura 9 – Perdas totais de energia de acordo com o FDI para a região da cidade de Fortaleza.....	30
Figura 10 – Localização da indústria de sorvete.....	31
Figura 11 – Imagem aérea do telhado da indústria de sorvetes.....	32
Figura 12 – Área do telhado da indústria de sorvetes.....	33
Figura 13 – Irradiação solar na cidade de Iporá Goiás.....	34
Figura 14 – Curva de irradiação solar durante o ano na cidade de Iporá Goiás...	35
Figura 15 – Consumo de energia elétrica para o período de janeiro a dezembro de 2019.....	36
Figura 16 – Consumo de energia elétrica para o período de janeiro a dezembro de 2020.....	37
Figura 17 – Diagrama unifilar de conexão para acessantes com transformadores de até 300 kVA.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dos módulos fotovoltaicos pesquisados no mercado.....	38
Tabela 2 – Dados de custo e área ocupada por modelo de módulo fotovoltaico.....	39
Tabela 3 – Dados de inversores trifásico pesquisados no mercado.....	40
Tabela 4 – Dados técnico do inversor escolhido.....	41
Tabela 5 – Custos dos principais itens que compõe o sistema de geração de energia solar.....	44
Tabela 6 – Cálculo do retorno do investimento.....	45

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
EPE	Empresa Brasileira de Pesquisa Energética
FDI	Fator de Dimensionamento dos Inversores
GD	Geração Distribuída
IGH	Irradiação Global Horizontal
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kWh	Quilowatts hora
kWp	Quilowatts pico
REN	Resolução Normativa
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TUSD	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos específicos	14
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Energia solar fotovoltaica	15
3.2 Gerações das células fotovoltaicas	17
3.3 Potencial da energia solar no Brasil em relação a outros países	19
3.4 Geração distribuída	23
3.5 Regulatório para a conexão ao sistema de distribuição	25
3.6 Indicadores de viabilidade econômica na implantação de um sistema de energia solar	27
3.7 Fator de Dimensionamento dos Inversores – FDI	29
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DO LOCAL	31
4.1 Local de instalação	31
4.2 Avaliação da irradiação solar no local	33
CAPÍTULO 4 – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	36
5.1 Dados de consumo de energia elétrica	36
5.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos	38
5.3 Dimensionamento do inversor	40
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS	43
6.1 Viabilidade econômica	43
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO	47
CAPÍTULO 7 - TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXO A - Datasheet do módulo fotovoltaico	53
ANEXO A - Datasheet do inversor	54

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial para a vida moderna e, por isso, é preciso produzi-la em larga escala para atender a população cada vez mais crescente. Atualmente, a maioria das atividades industriais voltadas para a geração de energia tem um impacto negativo sobre o meio ambiente uma vez que são provenientes, principalmente, de fontes não renováveis, o que gera serias preocupações em relação ao aquecimento global e à poluição do ar (SILVA, 2015).

A hegemonia da geração de energia a partir de fonte hidráulica traz consigo enormes prejuízos ambientais devido a construção de grandes barragens que ocasiona alagamentos de florestas e vegetação, e o agravamento do efeito estufa ocasionado pela decomposição dos sedimentos orgânicos das regiões alagadas. Adicionalmente, deve-se mencionar os impactos sociais da implantação das hidrelétricas, que na maioria das vezes determina a realocação e reassentamento de núcleos urbanos, ribeirinhos e da população isolada (SILVA, 2014). Vale ressaltar também, que as construções de CGH – Centrais de Geradoras Hidrelétricas se dão em regiões afastadas dos grandes centros de cargas, o que torna mais elevado o custo da conexão dos geradores de energia elétrica (CGH) até os centros de cargas, como: indústrias e regiões metropolitanas.

Como exemplos de fontes não renováveis, pode-se citar a energia gerada a partir das termelétricas, que é gerada a partir da queima de carvão, óleo ou outras fontes não renováveis. As termelétricas são as principais fontes de energia na maioria dos países desenvolvidos. Essas fontes de energia contribuem também para o efeito estufa, aquecimento global e de catástrofes climáticas (JARDIM, 2007).

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no Brasil em 2019 apresentou a produção de 626,3 TWh em centrais de serviço público e autoprodutores, sendo a produção originada das seguintes fontes: hidráulica (64,9%); gás natural (9,3%); eólica (8,6%); biomassa (7,6%); carvão e derivados (3,3%); nuclear (2,5%); derivados de petróleo (2,0%); solar (1,0%) (EPE, 2020). Dessa forma,

é possível verificar que a principal fonte de energia elétrica ainda advém da geração hidráulica (ANEEL, 2020).

No Brasil, a biomassa é um exemplo de energia renovável que vem sendo utilizada com sucesso há mais de uma década. A energia elétrica é gerada a partir do processo de produção do álcool das usinas sucroalcooleiras e também das indústrias de beneficiamento de arroz, onde a casca do arroz é utilizado como combustível. Os recursos financeiros recebidos pela venda de energia elétrica representam um percentual considerável no faturamento dessas empresas (DASSI et al., 2015).

Frente a necessidade de se combater o aquecimento global e diminuir os diversos impactos ambientais na produção de energia, os países têm cada vez mais adotado políticas de incentivo ao uso de fontes alternativas em substituição às fontes de origem fóssil, que liberam CO₂ na atmosfera, um dos gases causadores do efeito estufa (SILVA, 2015). A utilização de energias renováveis vem crescendo a cada ano, entre 2003 e 2013 houve um aumento de 395% da produção primária de energia solar. Nesse mesmo período, houve um crescimento de 17% na produção total de energia, enquanto as fontes renováveis tiveram um crescimento de 56%. A energia solar só foi superada pela energia eólica (SILVA, 2015). A energia solar é uma energia limpa e de geração sustentável, uma vez que a produção de eletricidade ou calor utiliza apenas a irradiação solar, sem liberar gases poluentes durante o processo de conversão de energia (MORAIS, 2020).

Apesar da energia solar ser uma fonte ainda pouco explorada no Brasil, a irradiação solar no país é superior à de países que são líderes mundiais em projetos de energia solar como a Alemanha, França e Espanha. O Brasil recebe irradiação solar entre 4.400 a 6000 Wh/m², enquanto a Alemanha, por exemplo, recebe entre 900 e 1250 Wh/m² de irradiação solar (NASCIMENTO, 2017). A radiação solar pode ser usada como fonte de energia térmica, para aquecimento de ambientes e de fluidos e para geração de potência mecânica ou elétrica; e pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio de efeitos sobre materiais, dentre os quais o termoelétrico e fotovoltaico (SILVA, 2015).

Mesmo que ainda não apresente números expressivos na matriz energética brasileira, o interesse pela energia solar tem aumentado cada vez mais no cenário nacional nos últimos anos e esse interesse foi potencializado pela publicação da Resolução Normativa 482/2012. A energia solar destaca-se por ser autônoma, por não poluir o meio ambiente, por ser uma fonte inesgotável, renovável, porque oferece

grande confiabilidade e por reduzir custos de consumo no longo prazo (DUTRA et al., 2013).

A energia solar é uma fonte de energia com grande potencial e que ainda pode ser explorada e mais bem aproveitada no Brasil. Conforme apresentado anteriormente, o Brasil apresenta um grande potencial de produção de energia a partir dessa fonte em grande escala. Embora no Brasil um dos setores da economia que mais consome energia elétrica é a indústria, com um consumo de 36% de toda energia gerada no país segundo dados da EPE (BRASIL, 2017), uma pequena parte dessas indústrias investem na produção de energia a partir de fontes renováveis. Essa baixa adesão é explicada devido ao alto custo do desenvolvimento de uma planta solar fotovoltaica. A partir disso, é importante avaliar os aspectos econômicas da implantação de um sistema de geração solar em uma indústria de pequeno porte, uma vez que embora muitos projetos são viáveis do ponto vista socioambiental, nem sempre as perspectivas financeiras se mostram atrativas as empresas. Assim, faz-se importante o desenvolvimento de estudos de viabilidade econômica como este, a fim de avaliar os investimentos e retornos potenciais da implantação de uma planta solar fotovoltaica.

Enquanto a estrutura, esse estudo está organizado em seis capítulos: 1) A introdução; 2) Objetivos da pesquisa; 3) Revisão bibliográfica do tema do estudo; 4) Estudo do local; 5) Dimensionamento do sistema de geração de energia solar; 6) Resultados; 7) Por fim, as conclusões do estudo são apresentadas.

1.1 Objetivo geral

Realizar um estudo para comparar a geração de energia solar com a geração de energia advinda da hidroelétrica para observar se há redução de custo, de caso para a redução do custo da energia elétrica, com implantação de um sistema de geração distribuída em uma indústria de produção de sorvetes.

1.2 Objetivos específicos

- ✓ Analisar o consumo de energia elétrica da indústria;
- ✓ Analisar as características arquitetônicas do empreendimento;
- ✓ Verificar a irradiação solar da região;
- ✓ Dimensionar o sistema de geração de energia fotovoltaica;
- ✓ Analisar a previsão de geração de energia solar;
- ✓ Analisar a viabilidade do investimento e retorno a longo prazo;

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Energia solar fotovoltaica

O desenvolvimento do setor industrial e a alta demanda por equipamentos eletrônicos aumentaram de forma vertiginosa o consumo de energia elétrica nas últimas décadas, fazendo com que o sistema de geração de energia elétrica não conseguisse suprir toda a demanda (MIRANDA, 2003).

A geração de energia a partir de fonte solar teve início em meados do século XIX, precisamente em 1839, com Edmond Bequerel, que observou em um de seus experimentos uma diferença de potencial entre os terminais de um semicondutor mergulhado em uma solução de selênio, quando submetida a incidência de luz, ficou conhecido como o efeito fotovoltaico. Adams e Richard Day, em 1877, estudaram e desenvolveram uma estrutura semicondutora de selênio, o qual foi o primeiro dispositivo sólido a gerar eletricidade por exposição a luz, com uma eficiência de aproximadamente 0,5% (VALLÊRA, 2006). Em 1883, Charles Fritts construiu a primeira bateria solar feita a partir de folhas de selênio. Embora a eficiência de conversão elétrica de seu dispositivo foi de apenas 1%, o mesmo teve muita repercussão, uma vez acreditava-se que não se poderia gerar energia sem a queima de combustíveis (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Apenas 70 anos após o experimento dos americanos W. G. Adams e R. E. Day, a primeira célula solar foi criada. Em 1953 o químico Calvin Fuller dos Bell Laboratories localizado nos Estados Unidos, realizou um processo de dopagem de um semicondutor, inserindo impurezas, gálio, em cristais de silício, tornando o material com cargas positivas, camada “*tipo p*”. Em seguida no mesmo laboratório, o físico Gerald Pearson, utilizou-se de uma solução quente de lítio, na qual o material de silício dopado foi mergulhado, observou-se uma cama de elétrons livres na superfície do semicondutor de silício, criando uma camada “*tipo n*”. Na junção desses dois tipos de camada, surge uma diferença de potencial, quando exposta a luz (VALLÊRA, 2007).

A energia fornecida pelo Sol a superfície terrestre se dá através da radiação eletromagnética, podendo ser direta, refletida ou difusa. (DIENSTMANN, 2009). A

radiação solar direta é aquela advinda diretamente do Sol sem sofrer mudanças de direção, ou seja, a única interferência será a refração da atmosfera terrestre. Radiação refletida é aquela que dependerá da inclinação e das características do corpo. A radiação difusa é toda radiação que se submeteu a alteração de direção dos raios solares, ou seja, reflexão. A soma dessas componentes direta, difusa e refletida representa a irradiação global horizontal (IGH) (MESSENGER, 2010). Na figura 1 temos as componentes da IGH.

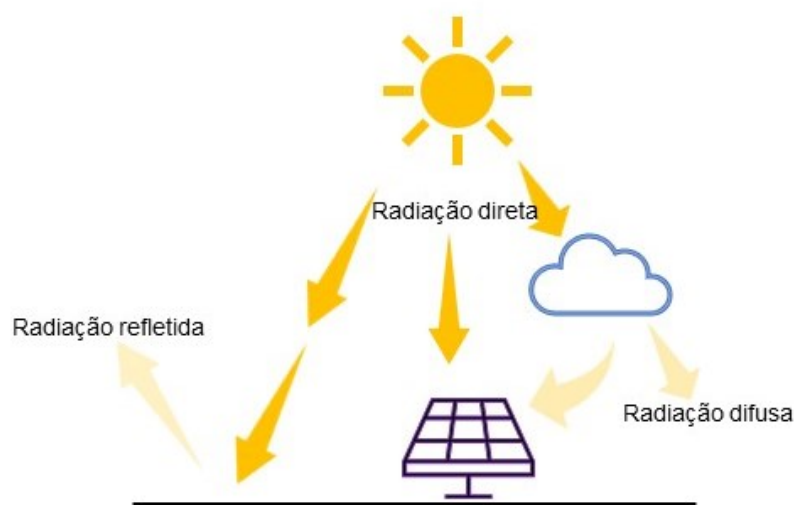


Figura 1 – Componentes da Irradiação Global Horizontal

Diariamente, o Sol envia à Terra uma proporção grande de energia, através da radiação solar, aproximadamente $1,5 \times 10^{18}$ kWh em um ano. Essa quantidade de energia, equivale a 10 mil vezes o consumo de energia em todo o planeta durante o período (ANEEL, 2005). No entanto, para o adequado aproveitamento da energia solar, faz-se necessário conhecer a radiação e insolação locais e também os horários que ocorre. Para isso, a radiação deve ser medida por meio dos pirômetros que registram a energia e a incidência sobre o hemisfério celeste. A duração da radiação é possível de ser mensurada por meio dos heliógrafos, que levanta a radiação considerando determinados períodos (DUTRA et al., 2015).

Os impactos positivos e negativos devem ser observados na implantação de sistema de geração de energia solar fotovoltaica. Os sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, possui vantagens em relação aos sistemas convencionais de geração de energia elétrica, tais como (SILVA, 2014):

- Durabilidade, possui vida útil de aproximadamente 25 anos;
- Confiabilidade na geração de energia, diminuindo as falhas por interrupções de energia;
- Baixos níveis de poluição sonora;
- Baixo custo operacional e de manutenção;
- Possibilidade de autossuficiência de energia elétrica.

Os impactos negativos devem ser levados em consideração em sistema de geração de energia solar fotovoltaica, também apresenta algumas desvantagens, como:

- Valor de investimento alto;
- Dependendo da região onde será instalada o sistema de geração de energia solar, pode-se encontrar a carência de técnicos especializados em implantação e manutenção do sistema fotovoltaico;
- Geração de energia elétrica apenas durante o dia;
- Tecnologia dos módulos fotovoltaicos ainda apresentam uma baixa eficiência de conversão da irradiação solar em energia elétrica;
- Poluição ambiental devido ao descarte dos módulos fotovoltaicos e componentes.

3.2 Gerações das células fotovoltaicas

As células solares são responsáveis pela conversão da radiação solar em energia elétrica, este efeito é conhecido como efeito fotovoltaico. A célula fotovoltaica é composta basicamente por uma junção p-n, a qual quando submetida a exposição de luz solar gera uma corrente elétrica (IMHOFF, 2007). A diferença de potencial é observada na junção p-n do semicondutor, esse efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar. A célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, ela apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre a sua superfície (NASCIMENTO, 2014).

Segundo as composições dos materiais semicondutores e suas características, o desenvolvimento das células fotovoltaicas pode ser dividido em três gerações:

- A **primeira geração** é dividida em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), essas duas configurações representam juntas 85%

de todo o mercado de células fotovoltaicas e possuem preços mais baixos no mercado mundial (CEPEL; CRESESB, 2014).

- As células solares de **segunda geração**, denominadas também como filmes finos por empregar materiais com espessuras de aproximadamente $1 \mu m$, são divididas basicamente em três materiais, sendo eles: silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe), índio e gálio (CIGS) e arsenieto de gálio (GaAs). Por possuírem como características a flexibilidade e o baixo consumo de energia no processo de produção, essa geração está ganhando espaço no mercado de geração solar, alcançando uma representatividade de 12% nas instalações solares (DI MARCO, 2010).
- A **terceira geração**, e a mais nova tecnologia em materiais para células fotovoltaicas, possuem como objetivo a redução dos custos de produção, o aumento da eficiência de geração, entre outras melhorias. Como exemplo dessa geração, temos as células híbridas, células orgânicas e as células de corantes.

A figura 2 apresenta as três gerações das células fotovoltaicas e suas respectivas composições.

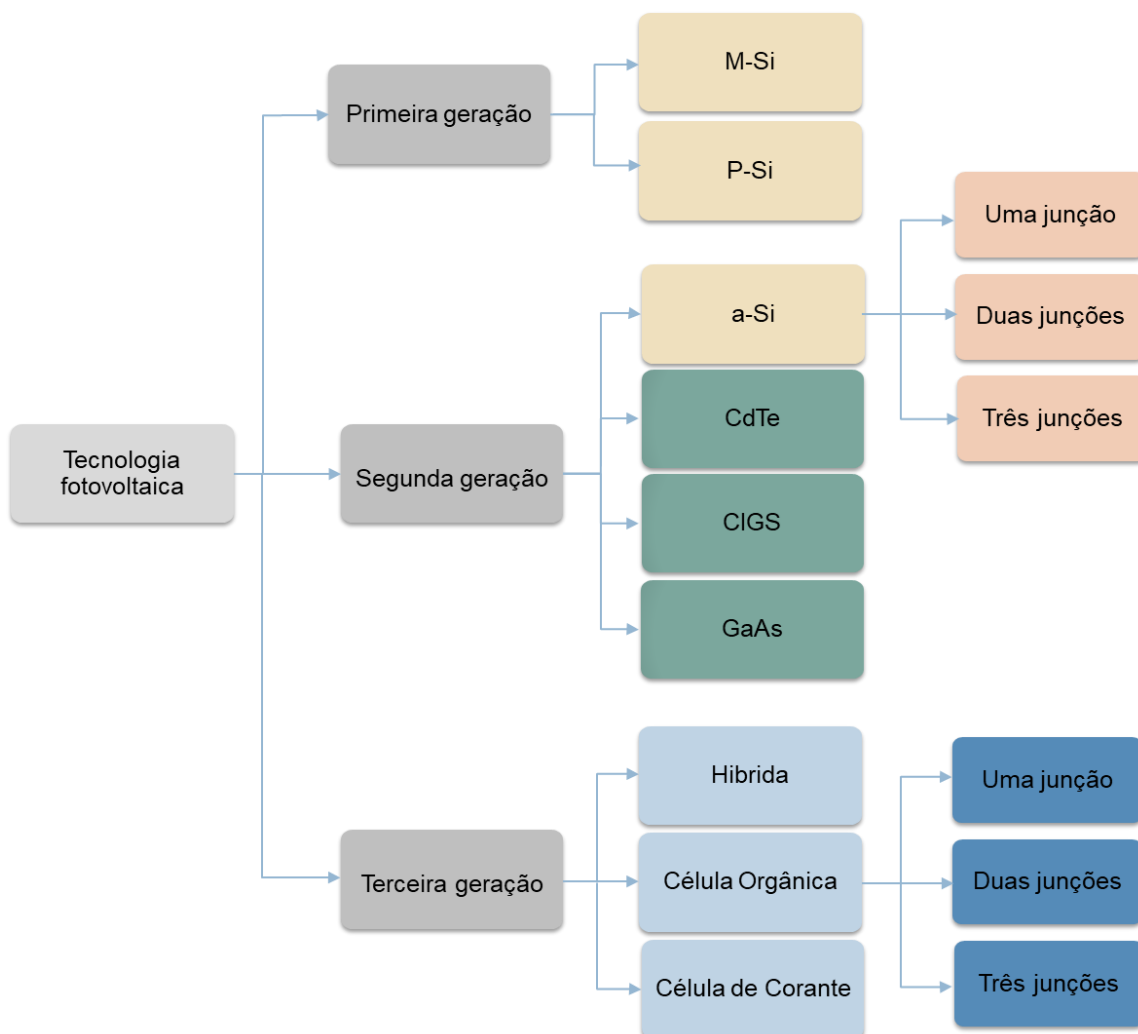


Figura 2 – Fluxograma das gerações de células fotovoltaicas. Adaptado de (BÜHLER; et al, 2018)

3.3 Potencial da energia solar no Brasil em relação a outros países

O Brasil possui um grande potencial para a geração de energia elétrica através da utilização da irradiação solar, por estar localizado próximo a linha do Equador. A posição geográfica do país, proporciona condições extremamente favoráveis para o aproveitamento de fontes renováveis de energia (BEN, 2015). No entanto, países como a Alemanha, onde a irradiação solar é menor que no Brasil, é recordista em investimentos direcionados a energia fotovoltaica, buscando uma dependência cada vez menor por fontes não renováveis de geração de energia (FOUQUET, 2013).

Entre os líderes mundiais de capacidade instalada de energia solar, a China está primeiro lugar com produção de 204 gigawatts (GW), em segundo lugar os Estados Unidos com 76 gigawatts (GW), terceiro lugar Japão 63 gigawatts (GW) e a quarto lugar Alemanha com 49 gigawatts (GW) (REN 21, 2020). O Brasil ocupa a 16ª posição com 6 gigawatts (GW) de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica, dividida em 2,9 gigawatts (GW) de geração centralizada e 3,1 gigawatts (GW) de geração distribuída (ABSOLAR, 2020).

Mesmo que muitos países estejam a frente do Brasil na produção de energia a partir de fonte solar, de forma geral, a geração de energia solar fotovoltaica ainda é muito pouco aproveitada no mundo, apenas 1,9% da eletricidade consumida mundialmente é advinda da geração solar. Contudo, a capacidade de geração de energia solar vem aumentando gradativamente nos últimos anos (REN 21, 2019). Na figura 3, podemos observar a evolução da capacidade global de geração de energia elétrica fotovoltaica de 2009 a 2019.

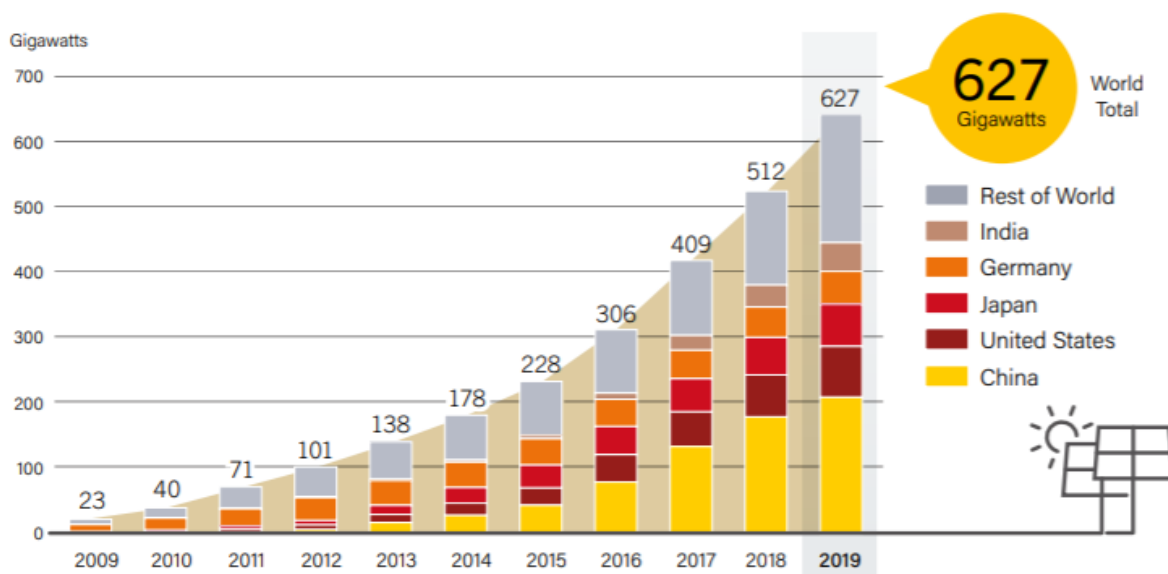


Figura 3 – Evolução da capacidade solar fotovoltaica global de 2009 a 2019

Fonte: (REN, 2020)

Algumas regiões brasileiras possuem níveis de irradiação solar consideravelmente altos, variando de 3500 kWh/m² a 6250 kWh/m². A Alemanha, um dos países que mais investe em energia solar na Europa, possui incidência de

irradiação solar 40% a menos quando comparado com algumas regiões do Brasil (RÜTHER, 2010).

O desenvolvimento expressivo em energia solar fotovoltaica na Alemanha foi uma decisão estratégica do país em inserir essa fonte de energia renovável em sua matriz energética, fazendo com que a dependência de energia elétrica de fontes como da energia nuclear fosse reduzida (NASCIMENTO, 2017). Portanto, o sucesso do emprego da energia solar como fonte energética é um bom exemplo a ser seguido no Brasil.

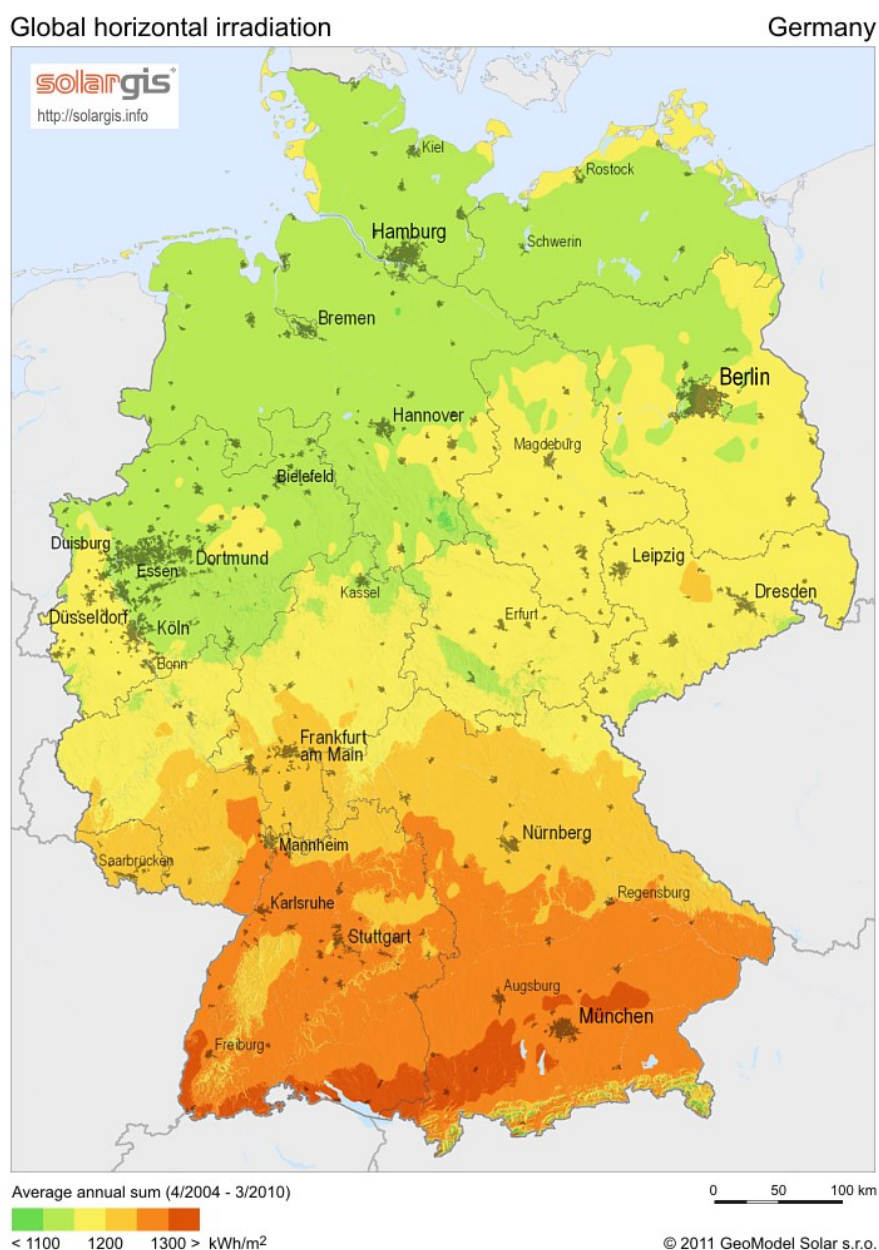


Figura 4 – Média anual da irradiação global incidente no plano horizontal na Alemanha (SOLARGIS, 2011)

Os dados solarimétricos são de suma importância para um planejamento energético nacional, onde a energia solar fotovoltaica está sendo usada para compor a matriz energética do país. O Atlas Brasileiro de Energia mostra a média anual de irradiação solar global incidente no território brasileiro. Esses dados foram coletados levando em consideração a irradiação que chega à superfície terrestre. (ENIO et al, 2017).

Verificando a distribuição da irradiação solar no mapa, figura 5, é possível observar que existe regiões com mais e outras com menos incidência de irradiação solar. Sendo que a região nordeste e centro oeste do país, possuem altos índices de irradiação solar, enquanto a região norte e o litoral dos estados do sul encontram-se os menores médias (ENIO et al, 2017).

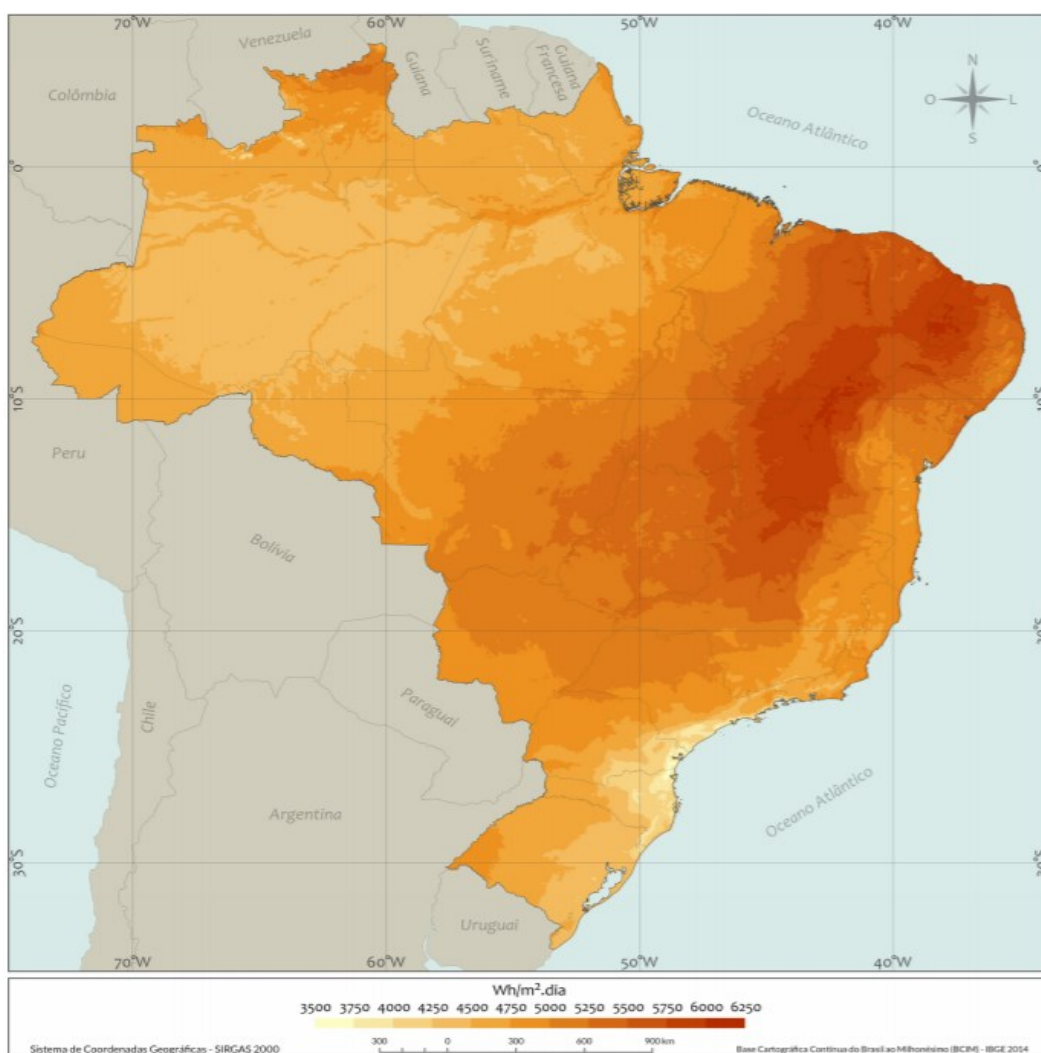


Figura 5 – Mapa da média anual de irradiação solar global incidente no território brasileiro (ENIO et al,2017).

Mesmo com essa abundância de irradiação solar no território brasileiro, como descrito anteriormente, o país ainda ocupa hoje uma posição no ranking de geração de energia solar atrás de países onde a incidência de radiação solar é menor.

3.4 Geração distribuída

A geração a partir de sistemas solares fotovoltaicos é dividida em três grupos: a) geração centralizada, b) geração isolada e c) geração distribuída. A geração centralizada é caracterizada pela produção de energia a partir de fonte solar em larga escala e é disponibilizada no sistema elétrico através de linhas de transmissão. A geração isolada é definida quando há uma geração local de energia e serve para abastecimento em locais remotos. Na geração distribuída, o sistema está conectado à rede pública de distribuição, junto à uma unidade consumidora, disponibilizando a energia gerada em excedente à rede. A geração distribuída ainda é dividida em micro e minigeração (ROSA; GASPARIN, 2016).

Micro e minigeração são definidos a partir dos seguintes critérios: até 75 kW é considerado microgeração e acima de 75kW até 5 MW será considerado minigeração, com uma observação para geração hídrica, que é considerada minigeração até 3 MW. A Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL, normatizou o método de compensação de energia elétrica produzida a partir a micro e minigeração. O método de compensação quando a energia elétrica solar for produzida durante os intervalos de menor consumo, ou seja, quando a produção for maior que a demanda, o excesso será convertido em créditos para o cliente junto a distribuidora.

A geração distribuída (GD) é dividida em dois tipos de operações, sendo a geração (Off-grid) desconectada à rede e a (On-grid) conectada à rede. No Brasil, a Resolução Normativa 482/2012 definiu as condições gerais da geração distribuída, para o acesso de micro e minigeração distribuída e a compensação dos créditos junto as distribuidoras (ZILLES, 2016).

- Off-grid - sistemas isolados das redes de distribuição, que possuem baterias como dispositivo de armazenamento de energia (BORTOLOTO et al., 2017).

- On-grid - são sistemas que não utilizam dispositivos de armazenamento de energia elétrica. Toda a potência gerada é consumida pela carga ou injetada na rede de distribuição (BORTOLOTO et al.,2017).

Atualmente, a maior parte da energia elétrica gerada no Brasil na modalidade GD é originária da fonte fotovoltaica. Com um universo de 154.424 unidades consumidoras com GD, totalizando uma potência instalada de 1.948.252,71 Kw. As perspectivas para o ano de 2021 é que a potência instalada alcance 2 GW (ANEEL, 2019).

A figura 6 apresenta expectativa de participação de cada fonte de GD para o ano de 2030 (EPE, 2020). A projeção da potência instalada fotovoltaica representa 93% do total de potência gerada na modalidade GD. Com isso, pode-se observar uma predominância dessa tecnologia no ambiente de GD no Brasil.

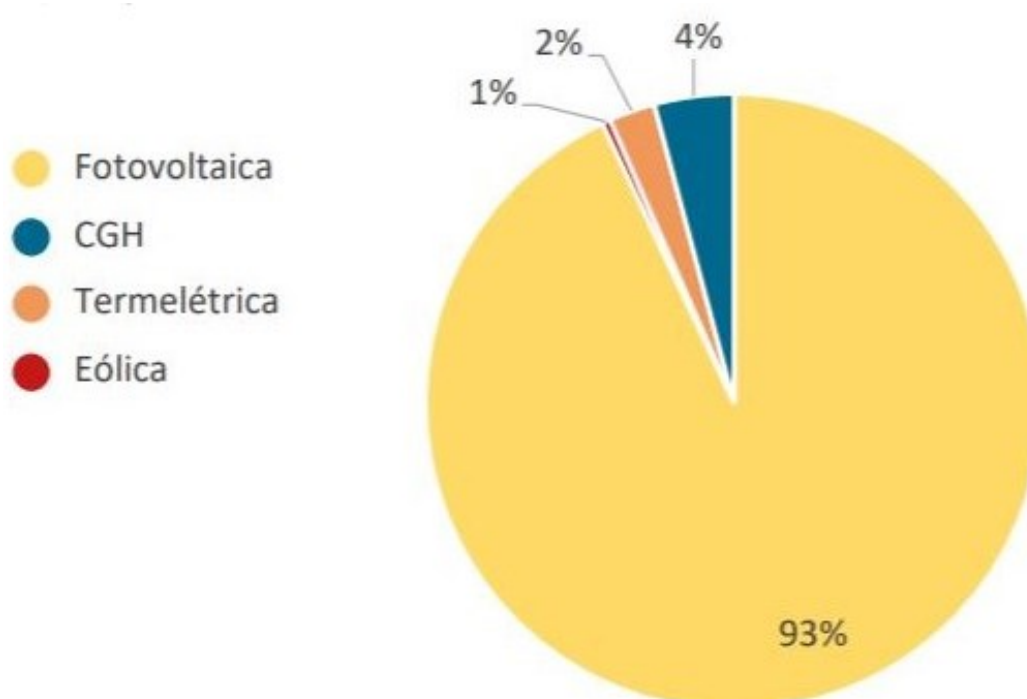


Figura 6 - Projeção da capacidade instalada de GD por fonte em 2030.

Fonte: (EPE, 2020)

A Geração distribuída (GD) no Brasil é um assunto relativamente novo, e foi introduzido no país pela Lei nº 10.848 de março de 2004, esta possibilitou a

contratação por parte das distribuidoras de energia gerada por GD. O racionamento de energia elétrica ocorrido nos meados dos anos 2001 foi o que impulsionou a geração de energia elétrica através de fontes renováveis e a sua regulamentação. Apenas no ano de 2012 que a Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 definiu a forma do sistema de compensação e os procedimentos de acesso para a micro e minigeração no sistema elétrico (NASCIMENTO, 2017). A REN 482/2012, além de definir alguns pontos para GD, teve também como objetivo reduzir a burocracia para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil, incentivando a GD através da compensação de energia do excedente gerado em até 36 meses. (JANNNUZI; MELLO, 2013).

No ano de 2015 a REN nº 687 estabeleceu alguns conceitos que possibilitou a GD alcançar maior número de consumidores, como exemplo, foi a possibilidade de GD em condomínios, modelo no qual a energia elétrica gerada é distribuída entre os próprios condôminos. Outro ponto importante foi o surgimento do modelo de geração compartilhada, aumentando a possibilidade de benefícios da GD (VILELA; SILVA, 2017).

A figura 7 ilustra as principais atualizações que a legislação para Geração Distribuída nos últimos anos.

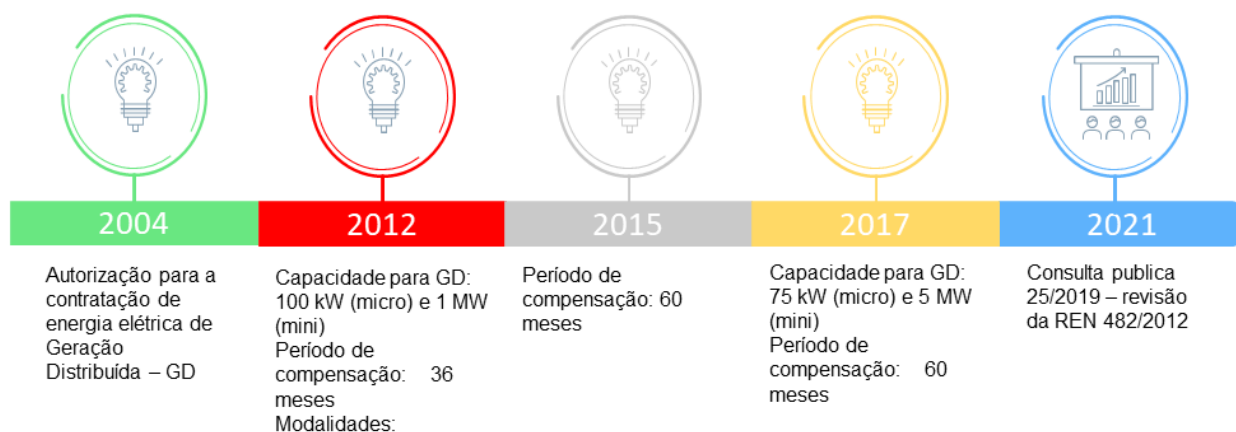


Figura 7 – Evolução da legislação de Geração Distribuída no Brasil.

3.5 Regulatório para a conexão ao sistema de distribuição

Para a conexão do sistema fotovoltaico à rede de distribuição, existe algumas normas da distribuidora de energia elétrica da região onde se planeja realizar o projeto. Pode-se citar como exemplo algumas normas de referência, como:

- Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010, elaborada pela ANEEL;
- Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012, elaborada pela ANEEL
- PRODIST – Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica, elaborado pela ANEEL;
- Normas técnicas da distribuidora Enel distribuição Goiás.

É importante ressaltar que antes de qualquer implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede - SFCR, é necessário obter a autorização da distribuidora, a qual irá emitir o parecer de acesso. O parecer de acesso descreverá se o sistema, ao qual a unidade consumidora deseja se conectar, terá que passar por obras, reforço na linha de distribuição local ou até mesmo a troca de algum transformador, ou não precisará passar por obras.

Tendo como exemplo a documentação para a solicitação de acesso para geração distribuída da indústria, a qual a presente pesquisa busca estudar, foi enviado a distribuidora Enel Goiás os seguintes documentos:

- 1 - Formulário de Solicitação de Acesso para Minigeração Distribuída;
- 2 - ART do responsável técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração;
- 3 - Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão;
- 4 - Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção;
- 5 - Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede;
- 6 - Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012;

A Enel Goiás disponibiliza o fluxo dos procedimentos que deverão ser adotados para os interessados em conectar no seu sistema de distribuição. Na figura 8 pode-se observar o fluxograma do processo de solicitação de acesso.

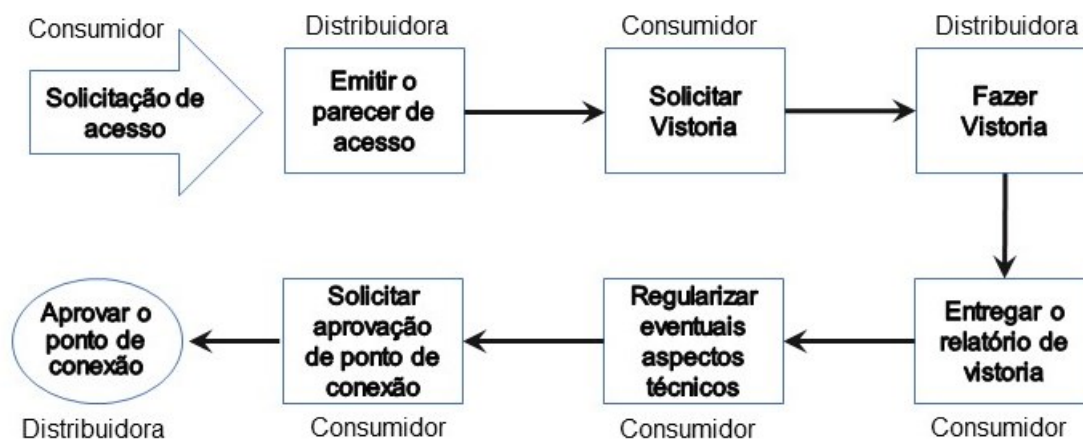


Figura 8 – Fluxo do processo de solicitação de acesso

Fonte: (ENEL,2020)

3.6 Indicadores de viabilidade econômica na implantação de um sistema de energia solar

Para a análise deste projeto foi utilizada o cálculo do *Retorno descontado*, *VPL* – *Valor Presente Líquido* e a *TIR* – *Taxa Interna de Retorno*. Através destes indicadores é possível estabelecer o tempo necessário para se obter o retorno do investimento (ROSS et al., 2013). Quanto maior o retorno do investimento e sua atratividade, maior será a sua aceitação pela empresa, com isso, a probabilidade de ocorrer o investimento se torna mais interessante para o investidor.

O *retorno* descontado leva em consideração o conceito do valor do dinheiro no tempo, o período de investimento do capital e seu retorno, esses indicadores são capazes de demonstrar o tempo necessário para se obter o retorno do investimento (RIGO; CHEROBIM, 2002). Para o cálculo do *retorno* utiliza-se uma taxa de juros com uma rentabilidade mínima definida pelo investidor.

Após a análise do *retorno* do projeto, o investidor decidirá se efetua o desembolso para realização do projeto ou não, no entanto, deve-se observar que projetos que possuem retornos muito longos, é viável que o investidor observe as

premissas do projeto averiguando se não são indevidamente otimistas com relação a capacidade de gerar fluxo de caixa em um futuro distante (BREALEY, 2013).

O VPL é um método tradicional e eficiente na avaliação de projetos de investimento (SCHROEDER; SCHROEDER; COSTA; SHINODA, 2005). Para um investimento deve-se atualizar os valores do fluxo de caixa e confrontá-los com o valor do investimento (BLANK; TARQUIN, 2009).

Com isso, quando o valor do VPL > 0 (positivo), considera-se que o investimento será viável possuindo uma rentabilidade positiva, criando assim valor econômico, quando o VPL = 0 (igual a zero) mostra que não há perda de capital nem o ganho de valor econômico e caso o VPL < 0 (negativo) o investimento não é compensativo podendo haver uma perda de capital. Considerado um método simples e muito utilizado, o VPL é calculado pela fórmula expressa abaixo:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I \quad (1)$$

Onde:

i : Taxa interna de retorno;

FC_t : Fluxo de caixa previsto;

t : Horizonte do empreendimento;

I : Custo do Investimento inicial.

A TIR – Taxa de Interna de Retorno é um método que demonstra qual será o retorno do investimento, avaliando assim se o capital investido será remunerado. Esse método, TIR, indica qual será a taxa mínima de atratividade para o investimento (SOUZA; CLEMENTE, 2008).

O objetivo da TIR é encontrar uma taxa de juros, que ao ser utilizado no fluxo de caixa futuro, torna o VPL nulo ou positivo. Para um investimento ser considerado viável, de acordo com o TIR, a taxa interna de retorno obtida precisa ser superior ao retorno exigido (ASSAF; LIMA, 2014).

A expressão 2 apresenta como é calculado a TIR.

$$VPL \geq 0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I \quad (2)$$

Onde:

i – Taxa interna de retorno;

FC_t – Fluxo de caixa previsto;

t – Horizonte do empreendimento;

I – Custo do Investimento inicial.

3.7 Fator de Dimensionamento dos Inversores – FDI

Levando em consideração o alto custo do inversor, o cálculo do FDI torna-se uma ferramenta interessante para uma relação custo/benefício. Os inversores não tiveram uma redução de custo, ao contrário dos módulos fotovoltaicos que obtiveram uma redução de custo considerável nos últimos anos (CRESESB, 2014).

O FDI é a relação da potência nominal do inversor (W) e a potência de pico do gerador fotovoltaico (W_p), de acordo com a equação (3).

$$FDI = \frac{P_{N(W)}}{P_{GF(W_p)}} \quad (3)$$

Onde:

FDI – Fator de dimensionamento do inversor;

$P_{N(W)}$ – Potência nominal de saída do inversor;

$P_{GF(W_p)}$ – Potência de pico do gerador fotovoltaico.

Pode-se observar na figura 9, que o FDI próximo a 1 possui uma menor perda de energia total para o sistema SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Verifica-se também o aumento das perdas totais de energia para valores baixos de FDI, ou seja, entre 0,4 e 0,75. As menores perdas totais são observadas próximo ao FDI = 1, o que podemos associar a potência onde o inversor é tipicamente mais eficiente.

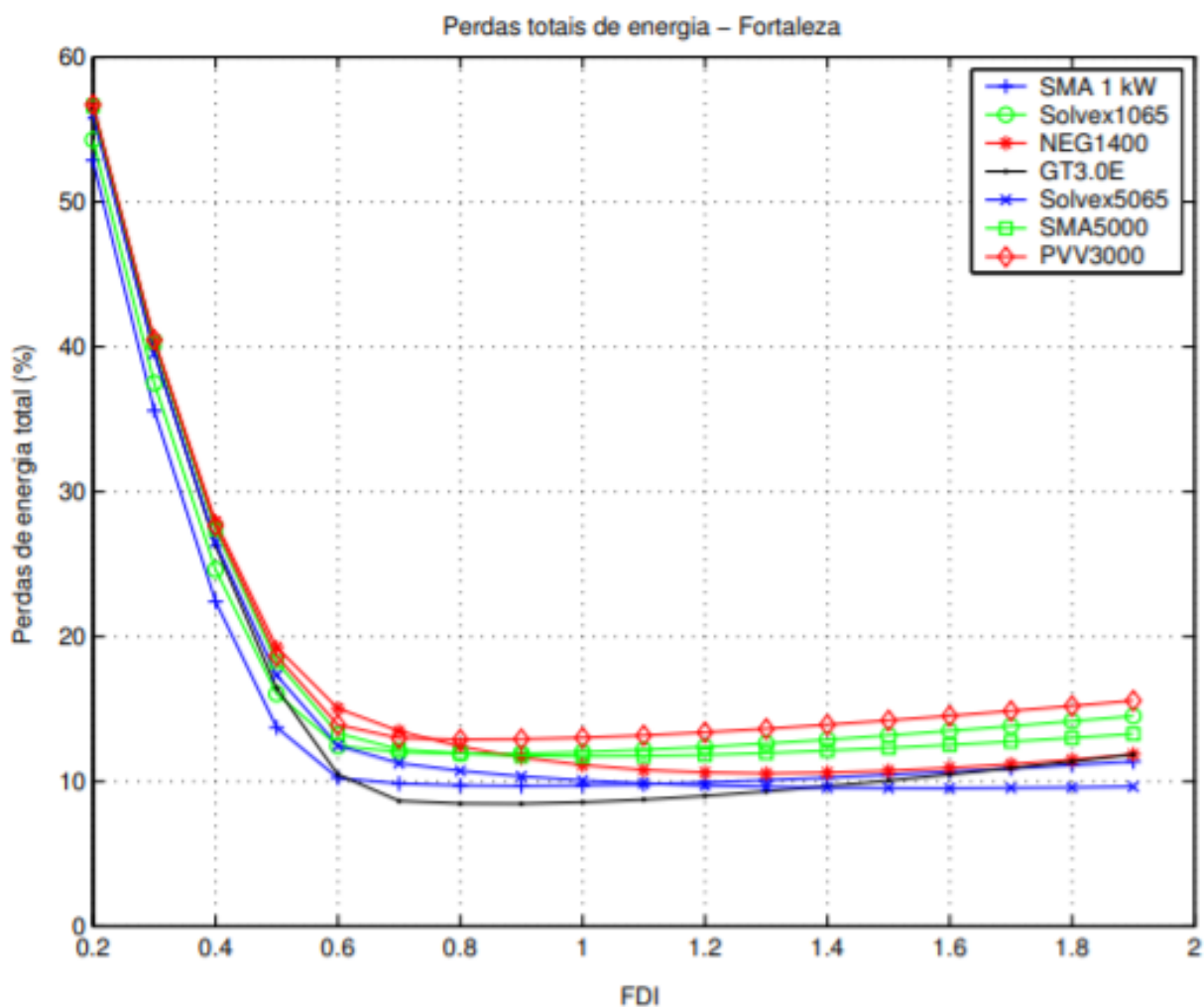


Figura 9 – Perdas totais de energia de acordo com o FDI para a região da cidade de Fortaleza. (MACEDO, 2006)

CAPÍTULO 3

ESTUDO DO TERRENO

4.1 Local de instalação

Localizada no estado de Goiás no município de Iporá, coordenadas geográficas: latitude 16°26'30''S longitude 51°07'13''N, a indústria de pequeno porte de produção de sorvetes, possui uma produção durante todo o ano, além da produção há também o armazenamento que é feito em duas câmaras frias, além de vários freezers horizontais e verticais. Para a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica, foi considerado a área disponível no telhado da indústria.

O consumo de sorvetes possui uma sazonalidade, ocasionado principalmente pela alteração da estação climática, ocasionando assim a diminuição do consumo de energia elétrica na produção. No entanto, na estação do verão há um alto consumo de sorvetes, aumentando assim a produção e o consumo de energia elétrica na indústria. A figura 10 mostra a localização da indústria.



Figura 10 – Localização da indústria de sorvete.

Fonte: Google Earth (2020)¹

¹ Disponível em: <https://earth.google.com/web>. Acesso em 20 de dezembro de 2020.

O local de implantação do sistema de geração de energia solar fotovoltaica será em uma área urbana, no entanto, não possui construções de prédios ou edificações a sua volta que ocasione sombreamento nos módulos. Sendo assim, não haverá perdas na captação da energia proveniente do sol, por não possuir interferência total e nem parcial por sombreamento, como apresentado na figura 11.



Figura 11 – Imagem aérea do telhado

Fonte: Google Earth (2020) ²

O elemento arquitetônico escolhido para a implantação do sistema de geração de energia fotovoltaico foi a cobertura da indústria de sorvetes, pois, não há área no solo para a implantação do sistema fotovoltaico disponível. O telhado é composto por placas de zinco galvanizado, e com uma pequena inclinação na direção norte do hemisfério, o que privilegia ainda mais a captação de irradiação solar.

² Disponível em: <https://earth.google.com/web>. Acesso em 20 de dezembro de 2020.

A área total de cobertura, telhado disponível para a implantação dos módulos fotovoltaicos, é de 1.159 m². Podemos observar o layout da cobertura da indústria na figura 12 abaixo.

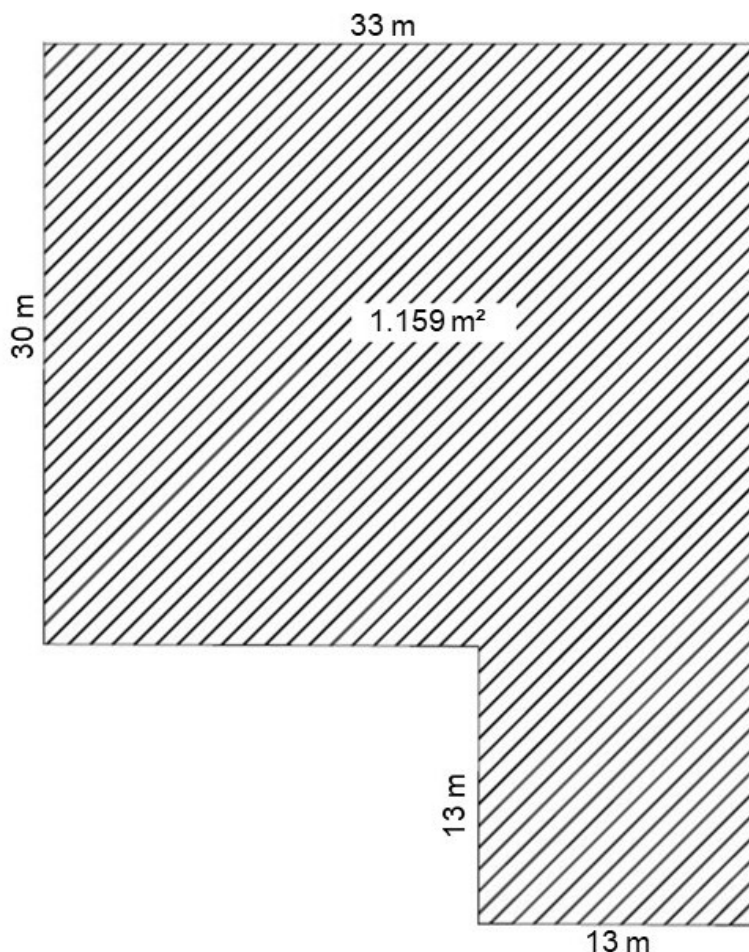


Figura 12 – Área do telhado da indústria de sorvetes.

4.2 Avaliação da irradiação solar no local

O estudo da irradiação solar da região onde será implantada a geração de energia solar é de suma importância para o dimensionamento do sistema de geração. Os dados de irradiação solar das regiões do Brasil podem ser adquiridos no CRESESB “Sundata”, o qual o acesso é gratuito.

A orientação dos módulos fotovoltaicos deve ser feita levando em consideração os obstáculos dos locais como prédios no entorno e até mesmo árvores, esses

obstáculos podem provocar sombreamento e conseqüentemente diminuição na captação da irradiação solar e conseqüentemente do rendimento dos módulos.

A obtenção dos dados de irradiação solar, para a realização dos cálculos referente ao rendimento do sistema fotovoltaico, foi feita através da base de dados do CRESESB “Sundata”, o qual é possível obter a irradiação de acordo com o plano de inclinação. Os módulos fotovoltaicos devem ser posicionados observando a direção e o ângulo de inclinação onde a luz solar incida perpendicularmente aos módulos fotovoltaicos, com isso é possível obter o melhor rendimento do sistema.

A figura 13 mostra a incidência de irradiação solar média distribuída mês a mês para a região geográfica de implantação do projeto.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano horizontal	0° N	5,50	5,54	5,22	5,25	4,83	4,59	4,72	5,51	5,37	5,50	5,39	5,53	5,25
Ângulo igual a latitude	16° N	5,09	5,32	5,28	5,69	5,59	5,49	5,57	6,17	5,58	5,37	5,04	5,07	5,44
Maior média anual	18° N	5,03	5,28	5,26	5,72	5,66	5,58	5,65	6,23	5,58	5,33	4,98	4,99	5,44
Maior mínima mensal	10° N	5,28	5,44	5,29	5,56	5,34	5,19	5,29	5,97	5,54	5,45	5,20	5,27	5,40

Figura 13 – Irradiação solar na cidade de Iporá Goiás

Fonte: CRESESB Sundata (2020)

Podemos observar na figura 14 que o mês com a menor incidência de radiação solar é junho, enquanto o mês de janeiro possui a maior incidência, quando se trata do plano horizontal, ou seja, sem inclinação dos módulos fotovoltaicos para o norte. A maior e menor média anual possuem valores próximos, que são respectivamente $5,44 \frac{kWh}{m^2}$ e $5,25 \frac{kWh}{m^2}$, que corresponde a uma variação relativamente pequena.

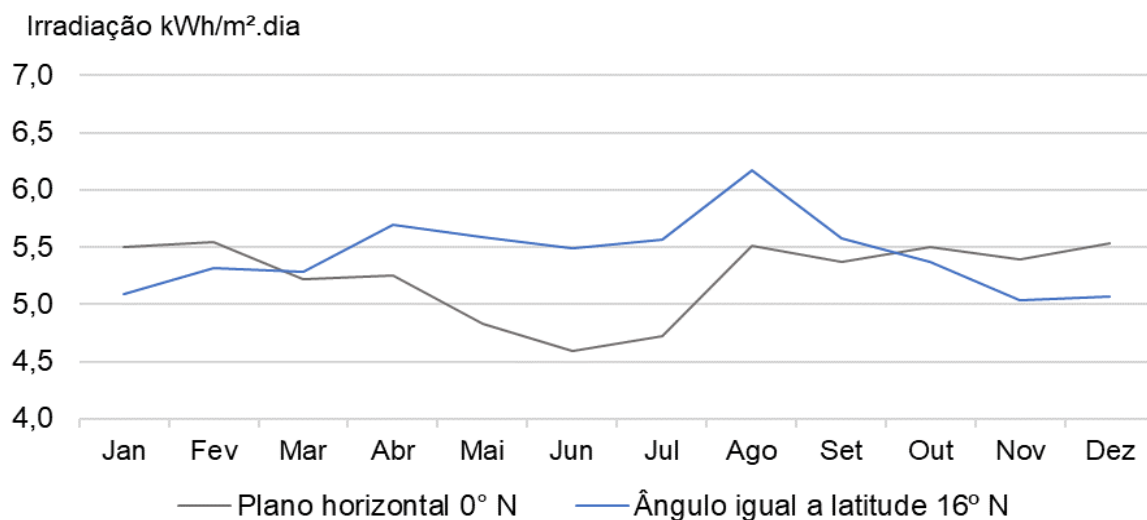


Figura 14 – Curva de irradiação solar durante o ano na cidade de Iporá Goiás.

Fonte: CRESESB Sundata (2020)

Diante dos dados coletados de irradiação solar para o local de implantação do projeto solar, pode-se observar que a geração de energia elétrica através da fonte solar, poderá ser atrativo e viável com relação aos aspectos técnicos. O consumo de energia elétrica na indústria de pequeno porte é um custo financeiro considerável, levando em considerando a produção de sorvetes e o seu armazenamento. Portanto, a implantação de uma fonte de energia renovável e de menor custo, pode trazer uma economia financeira na cadeia de produção da indústria.

CAPÍTULO 4

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

5.1 Dados de consumo de energia elétrica

Os dados de consumo de energia elétrica foram obtidos na fatura de energia elétrica, a qual é fornecida pela distribuidora de energia Enel Distribuição Goiás, a unidade consumidora trifásica é classificada no subgrupo A4 de acordo com a resolução homologatória nº 2.791, de 20 de outubro de 2020, com modalidade tarifaria verde e com uma demanda contratada de 50 kW. Com isso, a cobrança é realizada por período, que é composto por horário fora ponta e horário ponta. O horário de ponta considerado no intervalo de 3 horas consecutivas entre as 18h até as 21h, de segunda a sexta-feira, exceto os sábados, domingos e feriados nacionais, enquanto o horário fora de ponta é o horário não compreendido no horário de ponta, inclusive sábados, domingos e feriados nacionais.

Para este estudo em questão, foi observado o consumo de 2019, pois, devido o ano de 2020 ter sido um ano atípico em função pandemia do COVID-19, o consumo de energia na indústria foi menor com relação aos anos anteriores. Para efeito de comparação foi disponibilizado os dados de consumo do ano de 2020, sendo assim, temos a figura 15 a distribuição mensal do consumo de energia elétrica para os anos de 2019 e na figura 16 os dados de consumo para o ano de 2020.

Consumo (kWh)

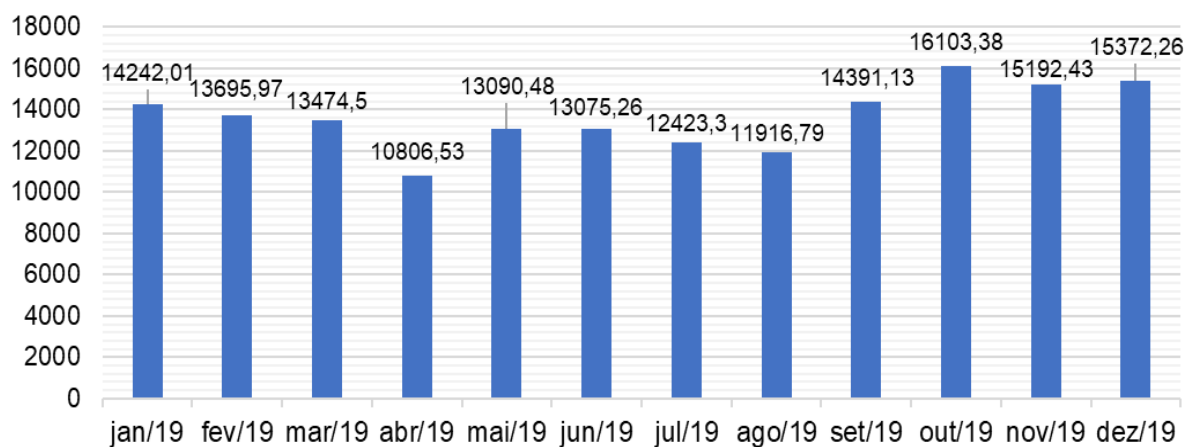


Figura 15 – Consumo de energia elétrica para o período de janeiro a dezembro de 2019.

Consumo (kWh)

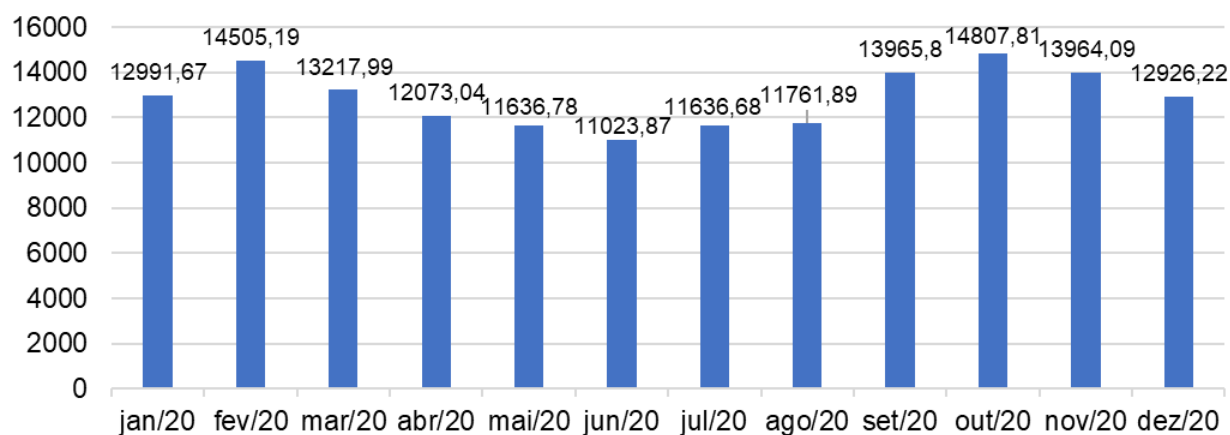


Figura 16 – Consumo de energia elétrica para o período de janeiro a dezembro de 2020.

Após a análise dos dados de consumo, pode-se observar que a média de consumo para o ano de 2020 foi de 12.875,91 (kWh) por mês, no ano de 2019 o consumo médio anual foi de 13.648,67 (kWh) por mês, a diferença de consumo registrado entre os anos de 2019 e 2020 corresponde a um valor em reais de R\$ 24.318,00 a menos na conta de energia. Pode-se observar também nas figuras 14

e 15 que os meses de maior consumo corresponde ao período de setembro a fevereiro enquanto o de menor consumo é de abril a agosto.

Como já citado acima, o ano de 2020 foi atípico devido a pandemia e as restrições de distanciamento que foram necessárias para o controle de transmissão do vírus COVID – 19. Com isso, houve uma diminuição das vendas de sorvetes da industrial, ocasionando um consumo menor de energia elétrica para o período.

5.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

O dimensionamento dos módulos fotovoltaico foi realizado de acordo com a necessidade da indústria, levando em consideração a eficiência, potência e o custo de cada módulo fotovoltaico. O sistema de geração de energia solar fotovoltaica se conectará na rede de distribuição da concessionária de energia elétrica da região.

A tabela 1 apresenta as principais informações de alguns modelos de módulos fotovoltaicos que podem ser adquiridos no Brasil.

Tabela 1 – Dados dos módulos fotovoltaicos pesquisados no mercado

Modelo	Potência (W)	Eficiência (%)	Área (m ²)	Tecnologia	Preço (R\$)
Módulo A	440 W	20%	1,98	Mono-PER	R\$ 1.186,00
Módulo B	400 W	22%	1,98	Si - Mono	R\$ 899,00
Módulo C	380 W	19%	1,98	Si - Mono	R\$ 849,00
Módulo D	360 W	18%	1,98	Si - Poly	R\$ 747,00

O módulo escolhido foi o Módulo B, no ANEXO A podemos observar o datasheet do módulo escolhido e as características técnicas. Para determinar a área mínima ocupada pelos módulos fotovoltaicos, foi levado em consideração a energia consumida pela indústria, a eficiência dos módulos e a irradiação solar do local. A equação (4) foi usada para determinar a área mínima necessária de acordo com o consumo médio obtido (GOETZE, 2017).

$$A = \frac{E_{consumida(kWh)}}{\eta \cdot I_{irradiação(kWh/m^2)}} \quad (4)$$

$$A = \frac{454,95 \text{ kWh}}{22,05\% \cdot 5,44 \frac{kWh}{m^2}} = 379,28 \text{ m}^2$$

Onde:

A – Área mínima ocupada pelos módulos;

E – Energia média consumida diariamente;

η – Eficiência do módulo;

I – Irradiação média do plano inclinado (maior mínimo mensal).

Sendo que, o consumo médio diário de 454,95 kWh, eficiência de 22,05% do módulo fotovoltaico escolhido e uma irradiação no local de aproximadamente $5,44 \frac{kWh}{m^2}$, com isso obtemos a área ocupada pelos módulos que será de 379,28 m².

A equação (5) foi usada para determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos que serão necessários para a gerar a potência desejada para suprir a demanda de consumo da indústria (GOETZE, 2017).

$$M_{quant.} = \frac{A}{A_{mod}} \quad (5)$$

$$M_{quant.} = \frac{378,28 \text{ m}^2}{1,98 \text{ m}^2} = 191,55$$

Onde:

$M_{quant.}$ – Quantidade de módulos necessários;

A - Área mínima ocupada pelos módulos (m²);

A_{mod} – Área individual de cada módulo (m²).

Na tabela 2, temos os dados da área ocupada por cada modelo de módulo fotovoltaico, a quantidade necessária para a implantação do projeto e o custo total por modelo.

Tabela 2 – Dados de custo e área ocupada por modelo de módulo fotovoltaico

Modelo	Potência (W)	Eficiência (%)	Área (m ²)	$M_{quantidade}$	Valor (R\$)
Módulo A	440 W	20%	1,98	213	R\$ 252.327,64
Módulo B	400 W	22%	1,98	192	R\$ 172.287,23
Módulo C	380 W	19%	1,98	222	R\$ 188.155,36
Módulo D	360 W	18%	1,98	234	R\$ 175.127,40

O Módulo B foi o escolhido devido a quantidade menor de módulos necessários para gerar a potência desejada e o custo inferior em comparação aos outros módulos. Como a instalação será em telhado, a área ocupada pelos módulos deve ser a menor possível, por isso, a questão da área ocupada foi primordial na escolha do modelo.

5.3 Dimensionamento do inversor

Para a escolha do inversor, foi observado critérios como a certificação de conformidade, grau de proteção, potência nominal e preço. A certificação de conformidade é emitida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO, que é o órgão responsável pela avaliação deste tipo de equipamento no Brasil.

O dimensionamento do inversor foi realizado de acordo com o Fator de Dimensionamento do Inversor - FDI, para que se tenha uma maior eficiência e performance do sistema fotovoltaico. O FDI é dado pela relação da potência nominal de saída do inversor (W) e a potência máxima do gerador fotovoltaico (Wp), com isso utilizaremos um inversor que possibilite um FDI entre 0,85 e 1,00.

O dimensionamento do inversor deve ser feito de tal modo que o inversor não seja subutilizado e nem sobrecarregado quando estiver em operação. Caso o inversor utilizado possua uma potência menor que a quantidade de energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, o custo da energia gerada poderá ser menor, diminuindo o tempo de retorno do investimento.

Podemos observar na tabela 03 três inversores que são comercializados no Brasil e suas potências de saída, valores em reais e o Fator de Dimensionamento do Inversor – FDI, calculado conforme equação 3.

Tabela 3 – Dados de inversores trifásico pesquisados no mercado

Modelo	Potência Saida (W)	Valor (R\$)	FDI
Inversor W	40000	R\$ 47.440.000	1,04
Inversor T	40000	R\$ 35.960.000	1,04
Inversor P	36000	R\$ 30.564.000	0,94

O FDI de cada inversor, foi obtido a partir da relação da potência nominal do inversor e potência de pico instalada do gerador fotovoltaico. Pode-se observar que dois inversores, Inversor W e o Inversor T, possuem o mesmo FDI 1,04 para uma potência instalada de 76,6 kWp.

O inversor escolhido para o projeto, foi o Inversor P, datasheet apresentado no ANEXO B, observando a potência do inversor será necessário a utilização de 2 (dois) inversores para atender a potência do sistema de geração de energia solar. A escolha foi feita de acordo com o seu FDI que foi de aproximadamente 0,94, o inversor é aprovado pela distribuidora Enel Distribuição Goiás e possui certificado de conformidade emitido pelo INMETRO. Na tabela 4 pode-se observar algumas características técnicas do inversor escolhido.

Tabela 4 – Dados técnico do inversor escolhido

Tensão máxima CC	1100 V
Faixa de tensão MPPT	200 - 950 V
Corrente máxima CC	25 A
Tensão nominal CA	220/380 Vca
Frequência na rede elétrica	60 Hz
Taxa de distorção harmônico	< 3%
Consumo em standby	< 1%
Emissão de ruído	< 40 dB (A)
Tipo de conexão com a rede CA	3F/N/PE

Para a conexão do SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede é necessário que o projeto de geração de energia fotovoltaica seja submetido a análise do setor de geração distribuída da concessionária de energia elétrica, a qual irá se conectar. Os critérios técnicos exigidos pela concessionária para tal conexão estão disponibilizados em seu site juntamente com a normas técnicas para as conexões de

acessantes com geração própria. Contudo é de suma importância a contratação de pessoas qualificadas para a elaboração e execução do projeto. Na figura 17, pode-se observar o desenho do diagrama unifilar exigido para os acessantes à rede de média tensão da Enel, este diagrama pode ser encontrado nas normas técnicas da concessionária.

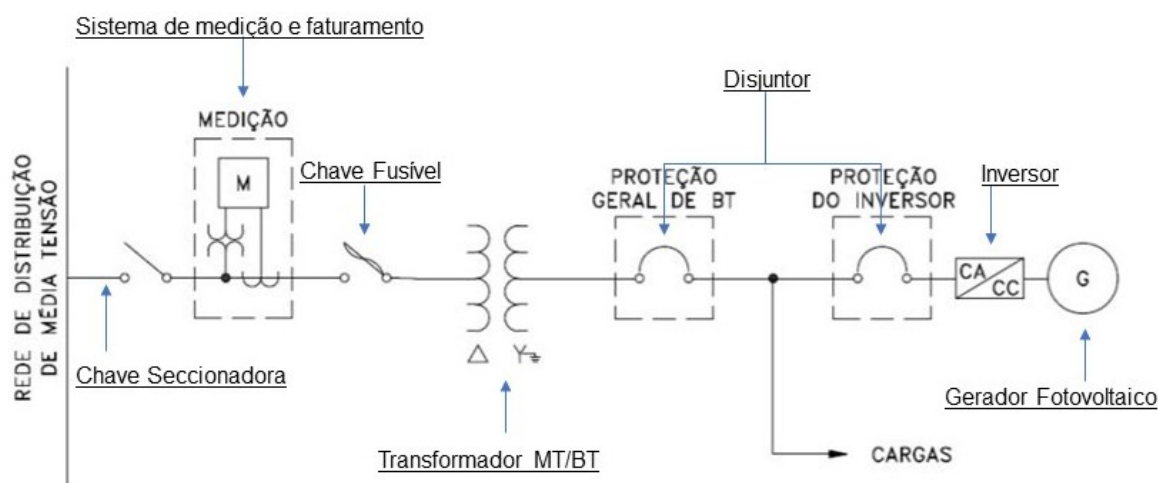


Figura 17 – Diagrama unifilar de conexão para acessantes com transformadores de até 300 kVA. (Enel, 2018)

Como sistema será do tipo SFCR, deve-se observar sempre as normas técnicas da distribuidora. Para a conexão do sistema de geração de energia solar deve respeitar a potência necessária para suprimir a necessidade de energia elétrica da indústria que é de 76,6 kWp na indústria em questão, levando em consideração o consumo médio. No entanto, a escolha do inversor com uma potência de 72 kW, atendendo a 93% da energia necessária, foi ocasionada para atender ao FDI adequado e para que não haja excesso de energia gerada para a rede. Assim, a indústria não terá geração de energia elétrica excedente e conseqüentemente créditos de energia com a concessionária.

CAPÍTULO 5

RESULTADO

6 Viabilidade econômica

Após uma análise da fatura de energia elétrica, foi possível identificar o custo da energia elétrica para o empreendimento, inclusive as componentes TE – Tarifa de Energia e a TUSD – Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição. Logo abaixo, pode-se observar os valores cobrados pela concessionária de energia elétrica de acordo com a Resolução Homologatória 2.791/2020 de 20 de outubro de 2020 emitida pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

- TE ponta – R\$ 0,3826 por kWh;
- TE fora ponta – R\$ 0,2343 por kWh;
- TUSD ponta – R\$ 1,3191 por kWh;
- TUSD fora ponta – R\$ 0,8408por kWh.

Com o aumento das tarifas de energia elétrica, a busca pelo investimento em energia solar está crescendo significativamente no decorrer dos anos. De acordo com a Associação Nacional dos Consumidores de Energia - ANACE, as tarifas de energia elétrica para o ano de 2021 poderão sofrer aumentos de até 8% (ANACE, 2020).

Com os dados coletados foi possível identificar o consumo médio da unidade industrial, figura 14, e elaborar um orçamento sobre os investimentos necessários para a implantação do sistema fotovoltaico na indústria de sorvetes, conforme tabela 5.

Tabela 5 – Custos dos principais itens que compõe o sistema de geração de energia solar

Descrição	Valor
Geração (kWp)	76,8
Módulos solares	R\$ 172.608,00
2 x Inversores	R\$ 61.128,00
Cabos e conectores	R\$ 40.000,00
Suporte e fixação	R\$ 18.240,00
Custo estimado de instalação	R\$ 95.000,00
Total	R\$ 386.976,00
Custo do (R\$/kWp)	5.038,75

Pode-se observar na tabela 5 que o valor total do investimento será de R\$ 386.976,75 para uma capacidade instalada de geração de 76,8 kWp. O preço do R\$/kWp será de aproximadamente de R\$ 5.038,75, o orçamento foi realizado de forma conservadora, pois, pesquisas apontam o custo R\$/kWp de aproximadamente R\$ 4.100,00 por kWp (Portal Solar, 2021).

Os parâmetros utilizados para análise da viabilidade econômica do projeto foram o *TIR*, *VPL*, e o *retorno financeiro*. Aplicando uma taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia - SELIC de juros anual de 5,25% a.a. como base. Com isso, foi obtido um *VPL* positivo e uma *TIR* de 38%, indicando assim que o projeto é viável economicamente.

Para os cálculos, foi utilizado 93% do valor médio do pagamento da fatura de energia. Como o custo médio mensal foi de R\$ 13.144,61, para a análise de viabilidade econômica foi utilizado o valor de R\$ 12.224,48. Este percentual foi aplicado devido a soma das potências dos inversores serem 72 kW o que representa 93% do total de energia necessária para abastecer a demanda da indústria.

A tabela 6 apresenta o valor do investimento, o fluxo de caixa para a implantação do projeto e o retorno.

Tabela 6 – Cálculo do retorno do investimento

Anos	Custo - Energia Elétrica (R\$)	Manutenção do Sistema de Geração	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo Caixa Desc. (R\$)	Retorno financeiro (R\$)
0		0,5% a.a	- 386.976,00	386.976,00	386.976,00
1	146.693,85	139.708,43	139.708,43	132.739,60	- 254.236,40
2	146.693,85	139.708,43	139.708,43	126.118,38	- 128.118,02
3	146.693,85	139.708,43	139.708,43	119.827,44	- 8.290,58
4	146.693,85	139.708,43	139.708,43	113.850,30	105.559,72
5	146.693,85	139.708,43	139.708,43	108.171,31	213.731,03
6	146.693,85	139.708,43	139.708,43	102.775,59	316.506,62
7	146.693,85	139.708,43	139.708,43	97.649,02	414.155,63
8	146.693,85	139.708,43	139.708,43	92.778,16	506.933,80
9	146.693,85	139.708,43	139.708,43	88.150,27	595.084,07
10	146.693,85	139.708,43	139.708,43	83.753,23	678.837,30
11	146.693,85	139.708,43	139.708,43	79.575,51	758.412,81
12	146.693,85	139.708,43	139.708,43	75.606,19	834.019,00
13	146.693,85	139.708,43	139.708,43	71.834,86	905.853,86
14	146.693,85	139.708,43	139.708,43	68.251,65	974.105,51
15	146.693,85	139.708,43	139.708,43	64.847,17	1.038.952,68
16	146.693,85	139.708,43	139.708,43	61.612,51	1.100.565,19
17	146.693,85	139.708,43	139.708,43	58.539,21	1.159.104,40
18	146.693,85	139.708,43	139.708,43	55.619,20	1.214.723,59
19	146.693,85	139.708,43	139.708,43	52.844,84	1.267.568,44
20	146.693,85	139.708,43	139.708,43	50.208,88	1.317.777,31
21	146.693,85	139.708,43	139.708,43	47.704,40	1.365.481,71
22	146.693,85	139.708,43	139.708,43	45.324,84	1.410.806,55
23	146.693,85	139.708,43	139.708,43	43.063,98	1.453.870,54
24	146.693,85	139.708,43	139.708,43	40.915,90	1.494.786,43
25	146.693,85	139.708,43	139.708,43	38.874,96	1.533.661,40

Observa-se na tabela 6 que as duas componentes de custos que compuseram este estudo de viabilidade econômica, sendo elas: O custo de energia elétrica anual e o custo de 0,5% (a.a) ao ano com a manutenção do sistema de geração de energia. Podemos observar que o investimento foi viável e atrativo para a indústria de pequeno porte, visto que, o retorno financeiro é obtido já a partir do 3º ano de utilização do sistema fotovoltaico, obtendo assim o retorno do investimento inicial proposto de R\$ 386.976,00 reais.

O cálculo do *retorno* descontado foi realizado para 25 anos, que é o tempo de garantia do modelo de painel fotovoltaico escolhido para o projeto. Para a elaboração dos estudos de viabilidade econômica, não foi levado em consideração o pagamento da demanda de energia elétrica do empreendimento, pois, com implantação do sistema de microgeração geração de energia solar, a indústria poderá solicitar a concessionária de energia Enel Goiás a reclassificação da modalidade alterando do grupo A4 trifásico para o faturamento no grupo B trifásico, sendo assim, a indústria de

sorvetes não precisará pagar a demanda que é exigida a quem esteja enquadrada na modalidade grupo A4. No entanto, terá que pagar o consumo mínimo para sistema trifásico que é de 100 kWh por mês, esta variável de pagamento mensal não foi considerada no estudo do retorno financeiro, por se tratar de um custo que a indústria já possuía.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que a implantação de um sistema de geração de energia solar, na indústria de pequeno porte é economicamente viável e apresenta como vantagem a diminuição da dependência de energia elétrica da distribuidora. A energia solar tem se mostrado cada vez mais uma alternativa de energia limpa e renovável viável para implementação em pequenos e grandes empreendimentos.

Levando em consideração a atual legislação brasileira, que estabelece um prazo de 60 (sessenta) meses para a utilização dos créditos de energia elétrica, que são oriundos do excedente geração de energia solar fotovoltaica, o estudo optou por dimensionar a geração fotovoltaica para atender 93% da demanda de energia necessária para abastecer a indústria. Com isso, a indústria precisará de apenas 7% de energia advinda da distribuidora.

O investimento necessário para a implantação do projeto foi de R\$ 386.976,00 com um retorno do capital em 3 anos, demonstrando ser interessante a aplicação do capital no projeto mencionado. Os resultados revelaram que o projeto de implantação de energia solar fotovoltaica como uma boa alternativa para redução de custos e de diversificação energética. Mesmo com esses resultados otimistas, é importante mencionar que a indústria ainda precisará de energia elétrica oriunda da rede de distribuição da Enel Goiás, uma vez que a indústria ainda precisará de 7% de energia elétrica da distribuidora Enel Goiás.

Por fim, faz-se importante mencionar que diante dos promissores resultados apresentados neste estudo, a pequena indústria decidiu por implantar o sistema solar fotovoltaico. Assim, atualmente este estudo encontra-se em fase de aprovação junto a distribuidora Enel Goiás.

CAPÍTULO 7

TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros para este Projeto de Fim de Curso, propõe-se um estudo dos seguintes pontos:

- A eficiência de geração dos módulos fotovoltaicos;
- As perdas do sistema de geração;
- Custo da implantação do sistema de seguidor solar (tracker) versus sistema fixo já implantado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Notícias e Artigos. São Paulo, 2020. Disponível em:

<<http://www.absolar.org.br/noticia>>. Acesso em 12 de out. de 2020.

ANACE. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO CONSUMIDORES DE ENERGIA: **Tarifas podem ter aumento em 2021.** São Paulo, 2020. Disponível em:

<<http://www.anacebrasil.org.br/noticias/tarifas-podem-ter-aumento-em-2021>>.

Acesso em 03 de abr. de 2021.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL - SIGA.** Brasília, 2020. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/siga>>. Acesso em 12 de out. de 2020.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Retrospectiva 2019.**

Brasília, 2020. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/15495819/Retrospectiva+ANEEL+-+2019/73fd2b23-c540-8548-f7bd-554702f74133?version=1.0>>. Acesso em 15 de out. de 2020.

BORTOLOTO, Valter A. et al. **Geração De Energia Solar On-Grid E Off Grid.;**

Faculdade de Tecnologia de Botucatu, São Paulo, 2017. Disponível em:

<<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>>. Acesso em 18 out. de 2020.

BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart C.; FLANKLIN, Allen. **Princípios de finanças corporativas.** 10ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

BÜHLER, José Alexandre; SANTOS, Fernando Hoefling; GABE, Ivan Jorge. **Uma revisão sobre as tecnologias fotovoltaicas atuais.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado - RS. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS, 2018.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015. 292 p.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda energética elétrica: para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro: EPE;2017.

Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosbertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%202017-2026_VF%5B1%5D.pdf>. Acesso em 18 de outubro de 2020.

CLEMENTE, Ademir; SOUZA, Alceu. **Decisões financeiras e análise de investimentos**. São Paulo: Atlas, 2008.

DI MARCO, Gaetano; PALMISANO, Leonardo. **Thin-film photovoltaics. International**. International Journal of Photoenergy, v. 2010, 2010. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/ijp/2010/528512/>>. Acesso em mar. de 2021.

DIENSTMANN, Gustavo. **Energia solar, uma comparação de tecnologias**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul pag.15, Porto alegre, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/24308f>>. Acesso em 08 de jan. de 2021.

Enel: **Especificações Técnicas nº 122: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Enel Distribuição Ceará / Enel Distribuição Goiás/ Enel Distribuição Rio**, 2018. Disponível em: <<https://www.Eneldistribuicao.com.br/rj/documentos/CNC-OMBR-MAT-18-0122-EDBR.pdf>>. Acesso em 02 de jan. de 2021.

EPE.EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estudo do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030: Ano base 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico->

522/Caderno%20MMGD%20Baterias%20-%20PDE%202030%20Rev.pdf>. Acesso em 08 de nov. de 2020.

FOUQUET, Dörte. **Policy instruments for renewable energy—From a European perspective. Renewable Energy**. Elsevier. v.49, p. 15-18, jan. 2013. Disponível em: <<https://pdf.sciencedirectassets.com/27>>. Acesso em 10 out. 2020.

GOETZE, Felipe. **Projeto de Microgeração fotovoltaica residencial: ESTUDO DE CASO**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/169263>>. Acesso em 15 nov. 2020.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology Roadmaps: Solar Photovoltaic Energy**, França, 2010, 45 p.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; MELO, Conrado Augustus de. **Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potencial impacts for 2030. Energy for Sustainable Development**. v.17, Elsevier, 2013, DOI10.101617.

LEMES JUNIOR, Antônio B.; CHEROBIM, Ana Paula; RIGO, Claudio M. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

MACÊDO, Wilson N. **Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Tese de Doutorado - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

INVERSOR. MÓDULO. **Datasheet do inversor PHB36K-MT**. Disponível em: <<https://www.energiasolarphb.com.br/produto/inversor-phb36k-mt/>>. Acessado em: 22 abr. 2021.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão**. Revista Virtual de Química ISN 1984-6835. Departamento de Química Inorgânica. Universidade Federal Fluminense. Niterói, v. 17, n° 1, jan. de 2015.

MESSENGER, Roger A.; VENTRE, Jerry. **Photovoltaic systems engineering**. 2. ed., CRC PRESS, cap. 2, p. 21-46, 2010.

MIRANDA, G. J. **Be prepared**. IEEE Industry Applications Magazine, 2003, pag.12 - 20.

MÓDULO. **Datasheet do módulo fotovoltaico ODA400-36-MH**. Disponível em: <<http://www.osdasol.com/product/index/25?pid=2>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

NASCIMENTO, Rodrigo L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Estudo Técnico. Brasília: Câmara dos Deputados do Brasil, 2017.

PORTAL SOLAR. **Painel Solar: Preços e Custos de Instalação**, 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html>>. Acesso em: 03 de abr. de 2021.

REN 21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2020 Global Status Report**, Paris, 2020, ISBN 978-3-948393-00-7.

ROSS, Stephen *et al.* **Fundamentos de Administração Financeira**. 9. ed. Porto Alegre, AMGH, 2013.

RÜTHER, Ricardo. **Potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil e projetos vitrine estádios solares e aeroportos solares**. IDEAL – Instituto para o

Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SANTOS, Fabricio A. *et al.* **Energia solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG**. Simpósio de excelência em Gestão e Tecnologia XIII, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862456.pdf>>. Acesso em: 15 de out. de 2020.

SCHROEDER, Jocimari T. *et al.* **O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento**. Revista Gestão Industrial. v. 1, n. 2, 30 mai. 2005, D.O.I.10.3895/S1808-04482005000200003.

SILVA, Ennio P. **Fontes renováveis de energia**. ed. 1, Ed. Livraria da Física, São Paulo, 2014.

SILVA, Pedro J. **Usinas hidrelétricas do século XXI: Empreendimentos com restrições à hidroeletricidade**. Revista Engenharia, março 2014. Escola de Engenharia do Instituto Mauá de Tecnologia. São Paulo, 2014.

SOLARGIS. **Maps of Global Horizontal Irradiation (GHI)**. [s.d.]. Disponível em: <<http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>>. Acesso em: 07 de nov. de 2020.

VALLÊRA, Antônio M. **Meio Século de história fotovoltaica**. Revista Gazeta de Física, v. 29, p 10-15, 2006.

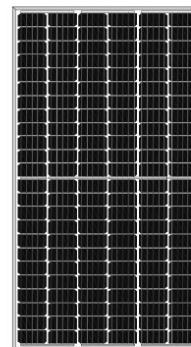
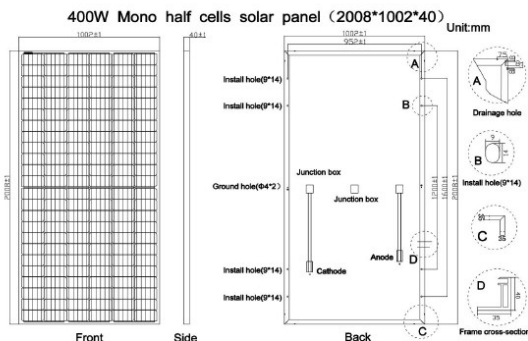
VILELA, Izana N. R.; SILVA, Ennio P. **Geração Compartilhada De Energia: Uma Análise Dos Modelos E O Papel Da Concessionária**. Revista Brasileira De Energia, Universidade Estadual de Campinas, v. 23, n° 1, 2017.

ZILLES, Roberto, *et al.* **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Editora Oficina de textos 2012.

ANEXO A - Datasheet do módulo fotovoltaico



ODA400-36-MH



Specifications

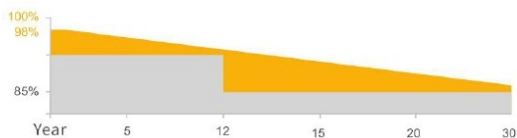
* STC: irradiance 1000 W/m ² , AM 1.5, G and cell temperature of 25°C	
Peak Power(Pmax)	400.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	40.70
Maximum Power Current(Imp)	9.84
Open Circuit Voltage(Voc)	48.70
Short Circuit Current(Isc)	10.79
Cells Efficiency(%)	22.05
Module Efficiency(%)	19.88

* NOCT: irradiance 800 W/m², AM 1.5G, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

Peak Power(Pmax)	297.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	37.73
Maximum Power Current(Imp)	7.88
Open Circuit Voltage(Voc)	46.48
Short Circuit Current(Isc)	8.35

Maximum System Voltage(V)	1000/1500
Maximum Series Fuse Rating(A)	20
Power Tolerance	0 ~ +3 %
Pmax Temperature Coefficients(W/°C)	-0.360 %
Voc Temperature Coefficients(V/°C)	-0.289 %
Isc Temperature Coefficients(A/°C)	+0.051 %
NOCT Nominal Operating Cell Temperature(°C)	45±2
Operating and Storage Temperature(°C)	-40 ~ +85

Warranty



12 YEARS Guarantee on product material and workmanship

30 YEARS Linear Power output warranty



Mechanical characteristics

Cell Type	158.75x79.38 PERC Mono
No. of Cells	144(12x12)
Dimensions	2008*1002*40
Weight	23.00kg
Front Glass	3.2mm high transmission, low iron, tempered glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction box	IP68 3 diodes
Output cables	4mm ² cable 55cm include mc4
MaxWind Load/Snow	2400Pa/5400Pa

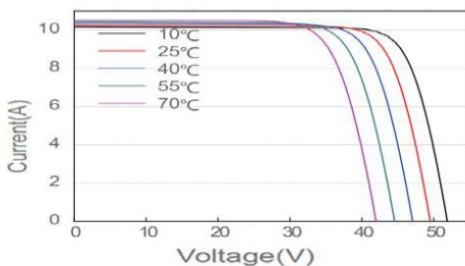
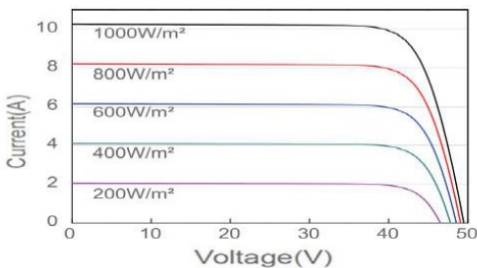
Packing list

20FT container	12 Packages/ 292pcs
40HQ container	22 Packages/660PCS

Product Standard

Product Performance	IEC61215
Product Safety	IEC61730

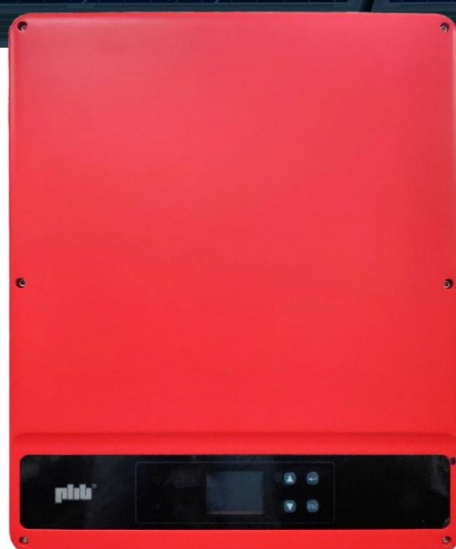
IV Curve



ANEXO B - Datasheet do Inversor

INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO TRIFÁSICO PHB

15kW (220/127V)
20kW (220/127V)
36kW (380/220V)



Adequados para sistemas residenciais, comerciais e industriais. Possui design moderno e inovador que facilita o manuseio e instalação.

PHB15K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB20K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB36K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO

Atende as Normas: ABNT-NBR-16149; ABNT-NBR-16150; ABNT-NBR-IEC-62116.

Possui a garantia de 5 anos para defeito de fabricação. (ver observação no manual do usuário).

String Box CC integrado, reduzindo tempo e área de instalação.

Configuração de saída permite conexão com a rede usando 3 Fases + Neutro ou 3 Fases. Redução de custo do sistema com a eliminação do neutro.

EXCELENTE DESEMPENHO

- ✓ Eficiência Máxima de até 98,8%;
- ✓ Eficiência do MPPT > 99,9%;
- ✓ THDi menor que 3%;
- ✓ Tensão de partida 180V;
- ✓ Triplo MPPT.

ALTA SEGURANÇA

- ✓ IP65 anti-poeira e à prova d'água;
 - ✓ Atende as normas brasileiras;
 - ✓ Atende as tensões módulo 8 PRODIST;
 - ✓ Registro do Inmetro
- PHB15K-MT – 005046/2020
PHB20K-MT – 002306/2019
PHB36K-MT – 002306/2019.

PROJETO ORIENTADO PARA O CLIENTE

- ✓ LCD colorido;
- ✓ Fácil e rápida instalação;
- ✓ Peso = 40 Kg;
- ✓ Adequado para instalações, residenciais, comerciais e industriais;
- ✓ Interface de comunicação: RS485, USB e WI-FI;
- ✓ String Box CC Integrado;
- ✓ Saída configurável: (3F+N) ou (3F).



Rua São Bernardino nº 12
Pq. Anhanguera - CEP: 05120-050
São Paulo - SP



(11) 3648-7830
contato@phb.com.br



Dados técnicos

A PHB Solar mantém uma estrutura de equipamentos calibrados, "setups" de testes e técnicos treinados, para proporcionar aos seus clientes um rápido serviço de reparo.

Dados da Entrada CC			
	PHB15K-MT	PHB20K-MT	PHB36K-MT
Max. Tensão CC [V]	800	800	1100
Faixa de Operação SPMP [V]	200~650	200~650	200~950
Tensão CC de Partida [V]	180	180	180
Corrente CC Máxima [A]	25/25/25	25/25/25	25/25/25
Número de Strings / MPPT	6/3	6/3	6/3
Conector CC	MC4		
String Box CC Integrado	DPS CC (EN50539-11) e Chave CC		
Dados da Saída CA			
Potência CA Nominal [W]	15000	20000	36000
Max. Corrente CA [A]	41	54,5	54,5
Saída Nominal CA	220/127Vca; 60Hz	220/127Vca; 60Hz	380/220Vca; 60Hz
Faixa de Operação CA	101,6~139,7Vca; 57,5~62Hz	101,6~139,7Vca; 57,5~62Hz	176~242Vca; 57,5~62Hz
THD	<3%		
Fator de Potência	Unitário (0.8 Capacitivo./ 0.8 Indutivo)		
Conexão CA	Trifásico (3F+N+T) ou (3F+T)		
Eficiência			
Max. Eficiência	98,7%	98,8%	
Eficiência SPMP	>99,9%		
Segurança do Equipamento			
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado		
Proteção Anti-ilhamento	AFD		
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, RD1699, G59/2, AS4777 2/ 3		
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116		
Normas de Referência			
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4		
Segurança	IEC 62109-1, AS3100		
Dados Gerais			
Dimensões (L*A*P) [mm]	480*590*200		
Peso Líquido [kg]	40		
Ambiente de Operação	Interno ou Externo		
Montagem	Fixado na parede		
Temperatura de Operação	-30~60°C		
Umidade relativa	0~100%		
Altitude [m]	<3000m		
Grau de Proteção IP	IP65		
Topologia	Sem Transformador		
Ventilação	Ventilação Forçada		
Display	LCD colorido (Português)		
Comunicação	USB/ RS485/ Wi-Fi		
Cor	Vermelho		
Garantia [anos]	5/10/15/20/25 (opcional)		



Rua São Bernardino nº 12
Pq. Anhanguera - CEP: 05120-050
São Paulo - SP



(11) 3648-7830
contato@phb.com.br

