



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia Elétrica



Trabalho de Conclusão de Curso

Análise das Viabilidades Técnica e Econômica da Energia Solar Fotovoltaica

Ana Flávia de Paula Amaral

João Monlevade, MG
2018

Ana Flávia de Paula Amaral

Análise das Viabilidades Técnica e Econômica da Energia Solar Fotovoltaica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof. Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho

Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade
2018

A485a Amaral, Ana Flávia de Paula.
Análise das viabilidades técnica e econômica da energia solar fotovoltaica
[manuscrito] / Ana Flávia de Paula Amaral. - 2018.

76f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. MSc. Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de
Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Energia elétrica - Produção. 2. Energia solar. 3. Geração de energia
fotovoltaica. I. Baracho, Francisco Ricardo Abrantes Couy . II. Universidade
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 621.472



ANEXO IV - ATA DE DEFESA

Aos 16 dias do mês de fevereiro de 2018, às 10 horas, no bloco B deste instituto, foi realizada a defesa de monografia pelo (a) formando (a) Ana Flávia de Paula Amaral, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Francisco Ricardo Abrantes Cavé Baracho, Anliy Natsuyo Nachimoto Sargeant e Welbert Alves Rodrigues.

O (a) candidato (a) apresentou a monografia intitulada: Análise da viabilidade técnica e econômica da energia solar fotovoltaica. A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela aprovação do(a) candidato(a), com a nota média 9,7, de acordo com a tabela 1. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo (a) formando(a).

Tabela 1 – Notas de avaliação da banca examinadora

Banca Examinadora	Nota
Francisco Ricardo A.C. Baracho	9,9
Anliy Natsuyo Nachimoto Sargeant	10
Welbert Alves Rodrigues	9,2
Média	9,7

João Monlevade, 16 de fevereiro de 2018.

Francisco Ricardo A.C. Baracho

Professor(a) Orientador(a)

Ana Flávia de Paula Amaral

Aluno (a)

Welbert Alves Rodrigues

Professor(a) Convidado(a)

Anliy N. N. Sargeant

Professor(a) Convidado(a)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Elétrica



ANEXO X - TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado
“ Análise das Viabilidades Técnica e Econômica da Energia Solar Fotovoltaica ”
é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto,
material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem a devida
citação ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 27 de Fevereiro de 2018 .

Ana Flávia de Paula Amaral

Ana Flávia de Paula Amaral

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me dado forças para não desistir e por ter me guiado até aqui. Agradeço ao meu pai, minha mãe e meu irmão pelo apoio incondicional, à minha avó por todas as orações e a toda a minha família pelo suporte sempre oferecido. Ao meu namorado Pedro por todo apoio, incentivo e paciência.

Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto e a todos os seus membros pelo aprendizado oferecido nos meus anos de graduação, à PROEX pelos projetos de extensão, ao SEBRAE pelo Programa de Incentivo à Inovação, à INCULTEC pelo apoio. À Empresa Brasileira de Energia Solar pela experiência vivida. À Cemig pela oportunidade de aprendizado oferecida. Agradeço a todos os meus amigos de curso que sempre me apoiaram e lutaram ao meu lado nesta etapa. À República Doce Cabana por serem meu suporte e minha família em João Monlevade.

Agradeço em especial ao professor Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho por me orientar e me dar todo o suporte necessário para a conclusão dessa etapa.

Resumo

Se tratando de energias renováveis não pode se deixar de falar de como elas, atreladas à geração distribuída, vem sendo inserida na matriz energética de diversos países. Isto vem ocorrendo devido ao fato de que a redução do uso de combustíveis fósseis na geração de energia se faz necessária para a redução de emissão de gases de efeito estufa. Neste contexto, a energia solar fotovoltaica vem se destacando cada vez mais e é o objeto de estudo deste trabalho. Para se falar de energia solar fotovoltaica, deve-se ter conhecimento de como esse tipo de fonte de energia se enquadra no mundo, como é regulamentada e porque é viável. A partir do estudo de como ela foi inserida em diversos países pode-se analisar a inserção no Brasil, quais são as barreiras, vantagens e desvantagens. Este trabalho tem como função mostrar a viabilidade técnica e econômica da energia solar fotovoltaica no Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Palavras-chave: Energia Renovável, Energia Solar, Viabilidade Técnica, Viabilidade Econômica.

Abstract

When we talk about renewable energy, it is extremely important to mention how they, involved with the distributed generation, have been inserted in the energy matrix of many countries. This is happening due to the fact that reducing the use of fossil fuels in power generation is needed to reduce greenhouse gas emissions. In this context, photovoltaic solar energy has been the highlighted object of study of this work. To speak of photovoltaic solar energy, one must have knowledge of how this type of power source fits in the world, as is regulated and if it is feasible. From the study of how it was inserted in several countries you can then analyze the inclusion in Brazil, what are the barriers, the advantages and disadvantages. This work has the function to show the technical and economic viability of photovoltaic solar energy in Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas from Universidade Federal de Ouro Preto.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Technical Viability, Economic Viability.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Estimativa de consumo de energia no mundo por tipo de fonte (REN21, 2015).	1
Figura 2 – Crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo nos últimos 10 anos (REN21, 2015).	3
Figura 3 – Capacidade instalada por país até o ano de 2014 (REN21, 2015). . . .	4
Figura 4 – Previsão da produção de energia solar fotovoltaica até 2050 (IEA, 2014). . . .	4
Figura 5 – Comparação entre o aumento da capacidade instalada e a redução dos custos até 2050 (EPE, 2014).	6
Figura 6 – Etapas para obtenção do acesso à rede de distribuição.	9
Figura 7 – Potencial de aproveitamento hidrelétrico (ANEEL, 2002).	10
Figura 8 – Matriz energética brasileira por capacidade de geração, em potência instalada (%).	10
Figura 9 – Mapa da irradiação solar no Brasil (LYNN, 2010).	11
Figura 10 – Projeção de crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil até 2023 (EPE, 2014).	12
Figura 11 – Tamanho da banda proibida em Isolantes, Condutores e Semicondutores (MARQUES; JÚNIOR; CRUZ, 2001).	14
Figura 12 – Porcentagem de utilização de cada material na produção de células solares fotovoltaicas (PINHO; GALDINO, 2014).	15
Figura 13 – Curva característica de uma célula solar fotovoltaica de silício (PINHO; GALDINO, 2014).	16
Figura 14 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).	17
Figura 15 – Curva I-V de uma conexão de células fotovoltaicas em série (PINHO; GALDINO, 2014).	17
Figura 16 – Curva I-V de uma conexão de células fotovoltaicas em paralelo (PINHO; GALDINO, 2014).	18
Figura 17 – Curva I-V do módulo fotovoltaico (HECKTHEUER, 2001).	18
Figura 18 – Utilização de diodos como by-pass (HECKTHEUER, 2001).	19
Figura 19 – Obtenção das coordenadas geográficas do ICEA.	22
Figura 20 – Inserção de coordenadas para obtenção de dados de irradiância.	22
Figura 21 – Irradiância na região do ICEA.	23
Figura 22 – Trajetória do sol de acordo com as estações do ano visto do hemisfério sul. . . .	24
Figura 23 – Inserção de dados para cálculo de declinação magnética.	25
Figura 24 – Documento com o resultado da declinação magnética.	25
Figura 25 – Histórico de consumo de energia do ICEA.	26

Figura 26 – Lista de módulos fotovoltaicos do INMETRO.	29
Figura 27 – Disposição dos módulos como obstáculo frontal (SOUZA, 2015).	31
Figura 28 – Distribuição dos módulos em relação aos inversores.	33
Figura 29 – Espaço para instalação existentes no ICEA.	34
Figura 30 – Gráfico do payback do investimento.	38

Lista de tabelas

Tabela 1 – Produção Anual de Painéis Fotovoltaicos, em Megawatts, por país (ALGIERI; AQUINO; SUCCURRO, 2011).	5
Tabela 2 – Consumo de energia.	27
Tabela 3 – Valores dos equipamentos.	36
Tabela 4 – Síntese de informações para análise econômica.	37
Tabela 5 – Payback do investimento.	38
Tabela 6 – Payback do investimento após alteração de demanda contratada. . . .	41

Lista de abreviaturas e siglas

A	Ampère
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
GD	Geração Distribuída
GSF	Gerador Solar Fotovoltaico
GW	Giga-Watt
HP	Horário de Ponta
HFP	Horário Fora de Ponta
ICEA	Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
IEA	Agência Internacional de Energia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
MW	Megawatt
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UHE	Usina Hidrelétrica
V	Volt
VPL	Valor Presente Líquido
W	Watt

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação e Justificativa	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivos Específicos	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Energia solar fotovoltaica no mundo	3
2.1.1	Capacidade de geração	3
2.1.2	Previsão de crescimento	4
2.1.3	Crescimento X Custos	5
2.2	Geração Distribuída	6
2.2.1	Definições	6
2.2.2	Vantagens da Geração Distribuída	7
2.2.3	Desvantagens da Geração Distribuída	7
2.2.4	Geração Distribuída no Brasil	8
2.3	Matriz Energética Brasileira	9
2.3.1	Panorama geral	9
2.4	Energia Solar no Brasil	11
3	COMPONENTES DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	13
3.0.1	Célula fotovoltaica	13
3.0.2	Módulos fotovoltaicos	17
3.1	Inversores	19
3.2	Proteção	20
4	PROJETO BÁSICO DO GERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO	21
4.1	Definição dos módulos fotovoltaicos	21
4.1.1	Disponibilidade solar	21
4.1.2	Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos	26
4.2	Definição dos inversores	30
4.3	Definição do arranjo fotovoltaico	30
4.3.1	Posicionamento físico dos módulos fotovoltaicos	30
4.3.2	Distribuição dos módulos em relação aos inversores	31
5	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO BÁSICO	36
5.1	Cálculo do investimento necessário para implantação do sistema	36

5.2	Payback do investimento	36
5.3	TIR	39
5.4	VPL	39
6	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	43
	ANEXO A – CONTA DE ENERGIA DO ICEA	46
	ANEXO B – DATASHEET DO MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO	48
	ANEXO C – PAYBACK DO INVESTIMENTO.	50
	ANEXO D – PAYBACK DO PROJETO CASO OCORRA A RE- DUÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA DE 330KW PARA 150KW.	57

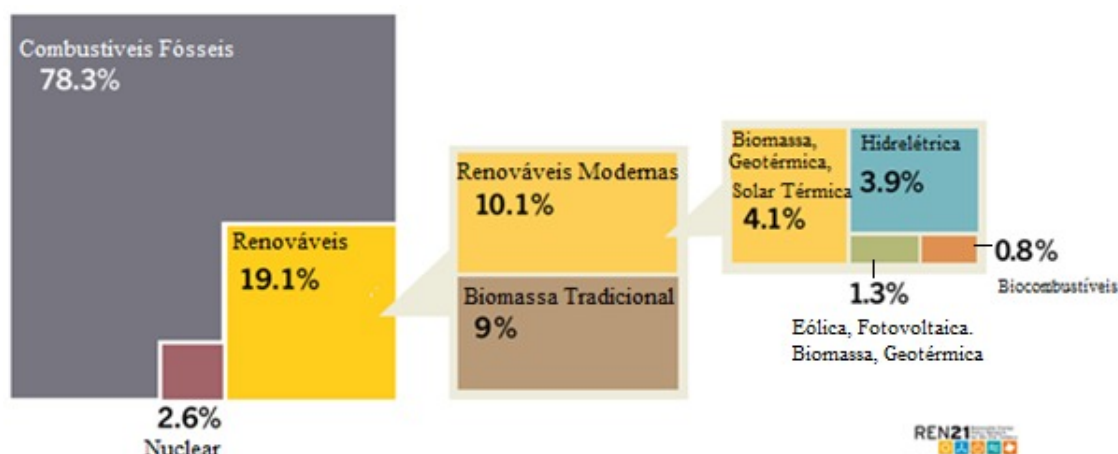
1 Introdução

1.1 Motivação e Justificativa

Durante a história da humanidade, o homem e a energia caminharam juntos, desde o uso do fogo até as energias renováveis atuais. A energia está ligada aos hábitos das pessoas e de tudo que as cerca, como indústrias, comércio, trabalho, conforto e lazer, podendo ditar seus padrões de vida (TEIXEIRA; SANTOS, 2001).

Toda essa energia utilizada vem de diferentes fontes, passando por combustíveis fósseis, usinas hidrelétricas, nucleares, solares, eólicas, de biomassa, dentre outras, como pode ser visto na Figura 1. A mais utilizada, proveniente de combustíveis fósseis, passou por duas crises relacionadas à crise do petróleo (TEIXEIRA; SANTOS, 2001) e atualmente passa por um processo de redução de uso por serem poluentes e estarem ligadas à emissão de gases de efeito estufa (ALGIERI; AQUINO; SUCCURRO, 2011). Por isso, diversos países vêm trabalhando na implantação de energias renováveis em suas matrizes energéticas.

Figura 1 – Estimativa de consumo de energia no mundo por tipo de fonte (REN21, 2015).



Diante deste cenário de investimentos em energias renováveis, a solar fotovoltaica vem se destacando e ganhando força no mercado de energia. No Brasil, esta fonte começa a ganhar espaço e se mostra interessante nos quesitos técnicos e econômicos tanto para fins residenciais quanto para comerciais. Neste trabalho será apresentado o estudo de caso do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA), campus da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), apresentando as viabilidades técnica e econômica da instalação de um sistema solar fotovoltaico.

Este trabalho está organizado em 6 capítulos. O primeiro apresenta a justificativa e a motivação para seu desenvolvimento, além dos objetivos gerais e específicos. O segundo apresenta uma revisão bibliográfica que embasa o tema e conceitua aspectos importantes

para que se possa realizar as análises de viabilidade do sistema solar fotovoltaico que será dimensionado. No capítulo 3, são apresentados os componentes do gerador fotovoltaico, além do modo de funcionamento e a função de cada um dentro do sistema. O capítulo 4 apresenta o dimensionamento dos equipamentos já apresentados no capítulo anterior; ou seja, a definição de um projeto básico. No capítulo 5, tem-se a análise econômica do projeto básico, mostrando o tempo necessário para se recuperar o investimento inicial caso o projeto venha a ser executado. Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões do presente trabalho e as sugestões para futuros trabalhos.

1.2 Objetivos

Realizar um estudo técnico e econômico da viabilidade da energia solar fotovoltaica no Brasil e aplicada ao ICEA. Assim, mostrar o potencial da energia solar fotovoltaica, incluindo os aspectos técnicos e econômicos desta fonte de energia renovável. Bem como estruturar um projeto técnico básico e uma análise econômica que possa nortear um futuro investimento na implantação do sistema dimensionado.

1.2.1 Objetivos Específicos

Analisar as características técnicas do ICEA e assim dimensionar todos os equipamentos necessários para a implantação de um sistema solar fotovoltaico que supra totalmente o consumo de energia do campus.

Realizar também a análise econômica do projeto que será dimensionado. Através dessa análise, calcular o investimento necessário, o payback do investimento, a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto para comprovar sua viabilidade.

2 Revisão Bibliográfica

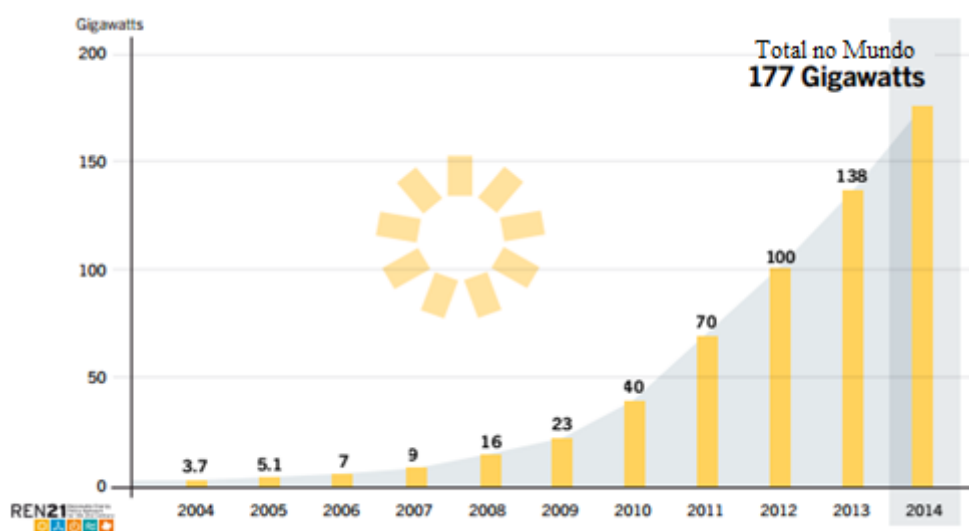
2.1 Energia solar fotovoltaica no mundo

2.1.1 Capacidade de geração

A energia solar fotovoltaica vem se destacando no cenário energético mundial nos últimos anos. Diante do objetivo de redução de gases poluentes, vilões do aquecimento global, grandes potências mundiais começaram a investir em energias renováveis e em estudos de projetos de eficiência energética para substituir o uso de combustíveis fósseis na produção de energia elétrica.

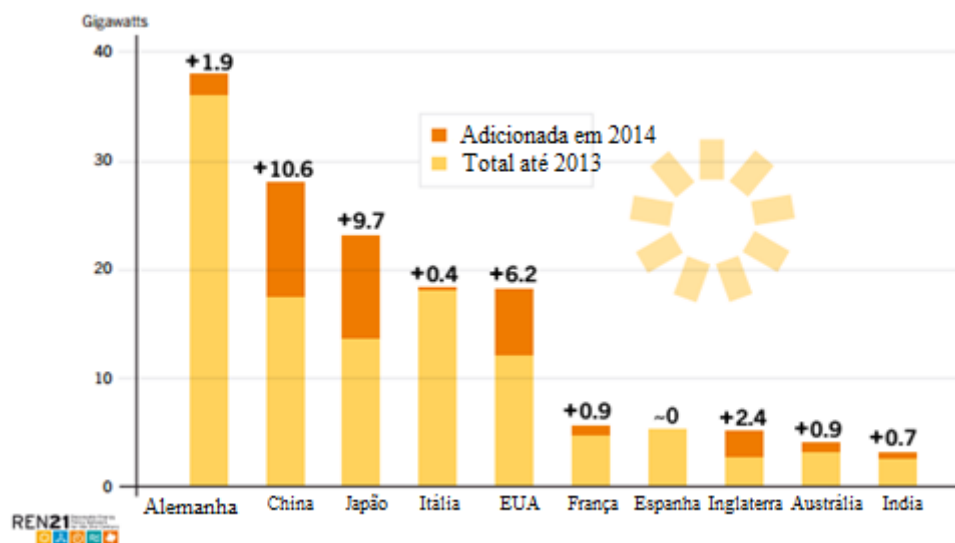
Por esse motivo, em 2014, as energias renováveis atingiram um patamar correspondente a 27,7% da capacidade de geração elétrica do mundo (REN21, 2015). Nesse cenário, a capacidade de geração total de geradores solares fotovoltaicos (GSF) instalada foi de 177 Gigawatts (GW) até 2014, (REN21, 2015). Esse número seguiu uma trajetória de grande crescimento na última década, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo nos últimos 10 anos (REN21, 2015).



Esse aumento ocorreu porque os líderes de diversos países estão trabalhando por um crescimento mais sustentável, refletindo diretamente no aumento do uso de energias renováveis como a energia solar fotovoltaica. Dentre os países que mais investiram nos últimos anos estão China e Japão, sendo que, até 2015, a Alemanha era a líder em capacidade instalada (REN21, 2015), como mostra a Figura 3.

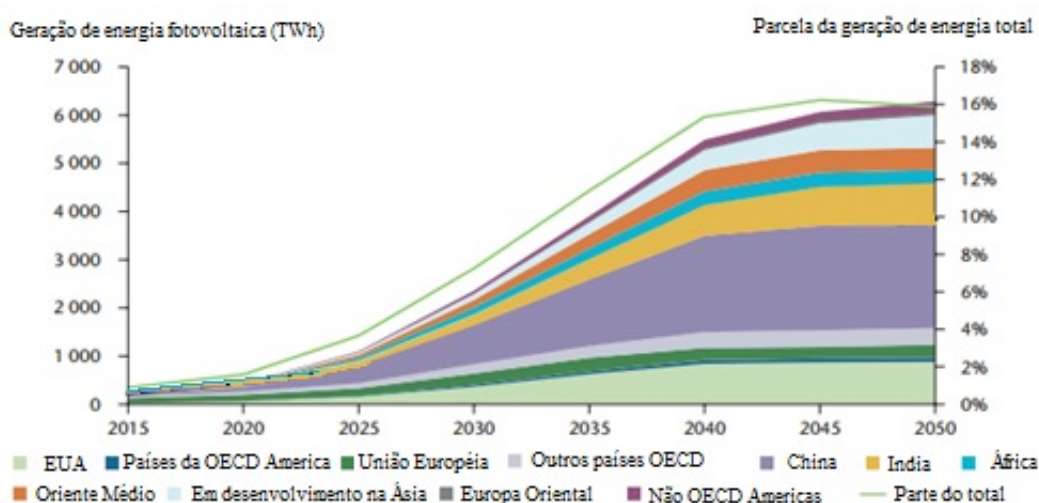
Figura 3 – Capacidade instalada por país até o ano de 2014 (REN21, 2015).



2.1.2 Previsão de crescimento

Diante de todo este contexto de redução de gases e investimentos em energias renováveis, análises de expectativa de crescimento são apresentadas pelos órgãos de pesquisas internacionais do ramo. O Plano Tecnológico de Energia Solar Fotovoltaica de 2014 prevê que em 2030 já terão sido instalados 1700 GW de potência, e 4670 GW até 2050. Isso representará 16% do fornecimento de eletricidade no mundo (IEA, 2014). Esses dados são mostrados na Figura 4, divididos por regiões. Desta forma, pode-se observar que grandes emissores de poluentes como Estados Unidos e China já são e continuarão sendo os líderes do crescimento em termos de potência instalada.

Figura 4 – Previsão da produção de energia solar fotovoltaica até 2050 (IEA, 2014).



2.1.3 Crescimento X Custos

Com esse crescimento previsto das energias renováveis, o mercado de energia solar fotovoltaica apresenta grande expansão e o número de indústrias ligadas ao ramo está acompanhando este crescimento. Nessas indústrias, as tecnologias utilizadas na produção dos equipamentos evoluíram e estão se tornando cada vez mais acessíveis. Desde o início da utilização de módulos fotovoltaicos para geração de energia elétrica, até o ano de 2015, houve uma queda de 14% no preço do produto (REN21, 2015). Esse é um dos motivos que levou o GSF à competitividade em relação ao preço da energia gerada a partir de outras fontes.

Com o desenvolvimento de painéis utilizando silício como matéria prima, e com a evolução da tecnologia voltada a filmes finos, os módulos passaram a ter preços acessíveis, alavancando o setor. Países como China e Japão passaram a liderar a produção desse equipamento que até 2006 era mantida pela Alemanha (ALGIERI; AQUINO; SUCCURRO, 2011). Esses dados podem ser observados na Tabela 1.

Ano	China	Japão	Taiwan	Alemanha	EUA	Outros	Total
1995	-	16	-	-	35	-	78
1996	-	21	-	-	39	-	89
1997	-	35	-	-	51	-	126
1998	-	49	-	-	54	-	155
1999	-	80	-	-	61	-	201
2000	3	129	-	23	75	48	277
2001	3	171	4	24	100	70	371
2002	10	251	8	55	121	97	542
2003	13	364	17	122	103	131	749
2004	40	602	39	193	139	186	1.199
2005	128	833	88	339	153	241	1.782
2006	342	926	170	469	178	374	2.459
2007	864	938	387	744	269	545	3.746
2008	2.013	1.268	813	1.334	401	1.261	7.089
2009	3.782	1.508	1.439	1.364	587	2.000	10.680

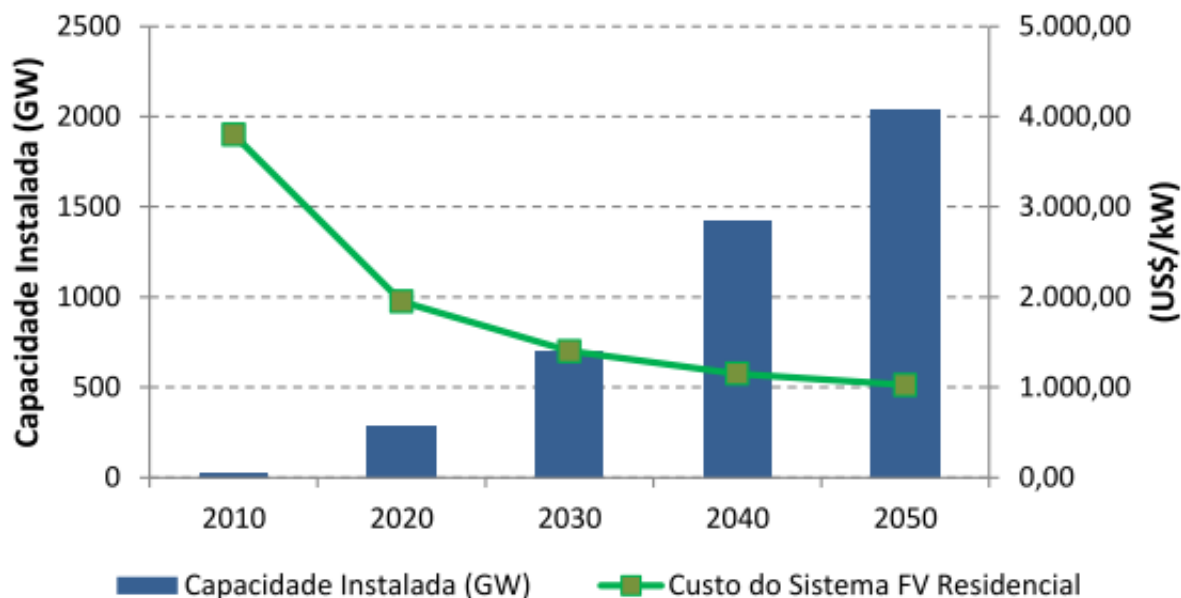
Tabela 1 – Produção Anual de Painéis Fotovoltaicos, em Megawatts, por país (ALGIERI; AQUINO; SUCCURRO, 2011).

A expectativa de que os preços dos equipamentos continue diminuindo se dá também pelo fato de que as empresas que investiram na fabricação desses produtos começaram a obter retorno financeiro, o que acarreta em uma redução do valor pago pelo cliente final (IEA, 2014).

Além disso, com o maior domínio da tecnologia, indústrias se adequando ao mercado e o aumento de demanda devido ao alerta relacionado à mudança climática, os custos dos sistemas fotovoltaicos tendem a continuar diminuindo (EPE, 2014). Na Figura 5, pode-se observar que a tendência é de aumento da capacidade instalada e redução do custo em

uma previsão de 2010 a 2050.

Figura 5 – Comparação entre o aumento da capacidade instalada e a redução dos custos até 2050 (EPE, 2014).



2.2 Geração Distribuída

2.2.1 Definições

Ao se falar do mercado voltado a energias renováveis, não se pode deixar de falar de geração distribuída (GD). A geração distribuída é um conceito extremamente importante diante do aumento da implantação das novas fontes.

Este termo pode ser definido de diversas formas. No geral, pode ser apresentada como um sistema de geração de energia descentralizado capaz de produzir determinada quantidade de kW, estando ligado diretamente à rede de distribuição ou ao consumidor final (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001).

Para se definir com maior precisão a geração distribuída, deve-se saber prioritariamente os conceitos de localização e tamanho do sistema. A localização está relacionada à distância entre o sistema de geração e a unidade consumidora. Essa distância deve ser a menor possível para que se reduzam as perdas na transmissão e se aumente a eficiência (CARLEY, 2009).

Já o tamanho do sistema de GD pode ser classificado a partir de faixas de geração. Em determinados países pode ser definida como micro para geração entre 1 W e 5 kW, pequena para 5 kW a 5 MW, média de 5 MW a 50 MW e grande de 50 MW a 300 MW (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001).

A partir desses dois conceitos, a geração pode ser considerada como distribuída caso se adeque nos quesitos de estar instalado perto do consumidor final e se encaixar em uma das faixas de tamanho definidas para GD.

2.2.2 Vantagens da Geração Distribuída

Inicialmente, entende-se que a geração distribuída facilita o acesso do consumidor final a uma energia mais limpa e até mesmo mais barata, dependendo da fonte. Porém, existem vantagens e também desvantagem associadas a esse tipo de geração.

Após anos utilizando o padrão de geração de energia em que a geração é concentrada em grandes usinas, o crescimento do consumo de energia elétrica está ultrapassando as capacidades de geração e transmissão que foram projetadas para uma determinada demanda. O que pode ser feito para solucionar este problema é o redimensionamento das usinas e das linhas, porém necessita-se de um investimento alto, inviável em diversos países. Outra solução é utilizar mais sistemas de geração distribuída. Esta última se mostra adequada devido à proximidade do sistema com o consumidor final, o que diminui perdas em transmissão e atende à demanda do consumidor (POUDINEH; JAMASB, 2014).

Além de ser vista como forma de adiar investimentos na geração e transmissão de grande porte, a GD se destaca por ser uma fonte renovável de energia. Um exemplo do aumento das preocupações e dos cuidados com o meio ambiente está na Europa, que teve diversos países iniciando um forte investimento em geração distribuída e com isso reduzindo a emissão de gases poluentes. Além disso, a aplicação da cogeração de energia, que também é considerada geração distribuída, em indústrias que demandam calor contribuiu na redução do uso dos combustíveis fósseis; ou seja, mais uma forma de reduzir os impactos ambientais da geração (PEPERMANS et al., 2005).

Com essas vantagens, a geração distribuída ganha espaço em todo o mundo, fazendo com que seja cada vez mais estudada e viabilizada em diversos países.

2.2.3 Desvantagens da Geração Distribuída

Por outro lado, quando se fala de geração de energia, tem-se em mente que toda a energia produzida deve ser consumida quando não se possui um sistema de armazenamento. Na maioria dos casos, os sistemas de GD não possuem baterias ou similares para guardar o excedente em horários de máxima produção e demanda inferior, pois tornaria o sistema inviável financeiramente. Por esse motivo, a energia gerada deve ser transmitida e distribuída instantaneamente após sua produção para que outros consumidores possam utilizá-la (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001). Na medida em que o número de instalações aumentarem, com a popularização da geração distribuída, o envio de energia para a rede poderá causar instabilidade no sistema e descontrole por parte dos

órgãos responsáveis pela energia que circula na rede. Essa desvantagem pode impactar a confiabilidade do sistema elétrico.

Outro ponto é que como a geração distribuída ainda não é a forma de obtenção de energia mais popular, existem dúvidas sobre o seu custo benefício. Em muitos casos, o próprio consumidor arca com os gastos da implantação do seu sistema, fazendo com que o preço do kW produzido na GD ainda seja mais caro que o preço cobrado pelas grandes geradoras (PEPERMANS et al., 2005). Como no Brasil as linhas de crédito possuem juros muito altos e não são acessíveis a toda a população, o consumidor que quer instalar esse tipo de energia depende de possuir o dinheiro no momento.

2.2.4 Geração Distribuída no Brasil

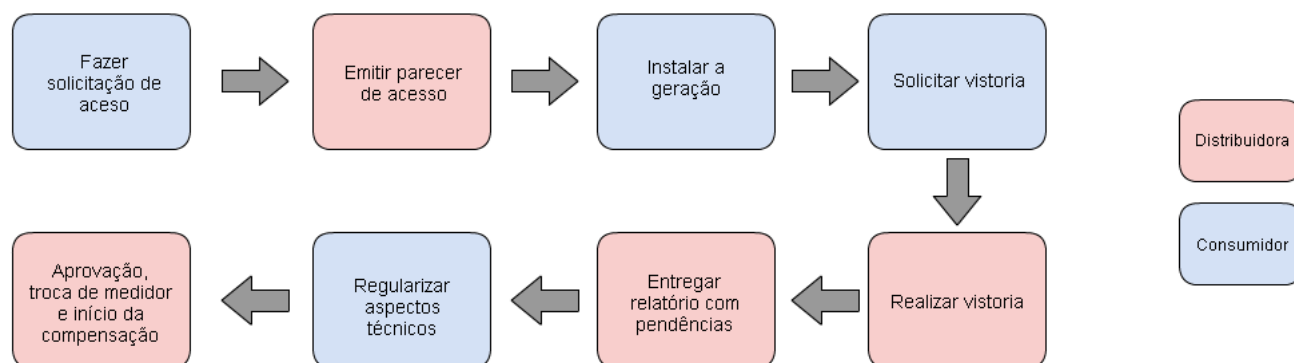
Após discorrer sobre geração distribuída, suas vantagens e desvantagens, pode-se falar da posição dela no Brasil. A regulamentação da geração distribuída no Brasil é classificada em duas faixas. Microgeração para instalações com potencial de geração de até 75kW, conectada à rede, de natureza renovável ou usada em cogeração. E minigeração, que tem seu potencial de geração entre 75 kW e 3 MW em caso de fontes hídricas, e entre 75 kW e 5 MW conectada à rede, de outra natureza renovável ou usada em cogeração (ANEEL, 2016a).

Como foi definido, os sistemas de geração distribuída devem estar localizados o mais próximo possível do consumidor dessa energia. Podem, também passar para a rede de distribuição a energia excedente ao consumo. Para que isso seja possível, existem condições para instalações de geração distribuída. Essas condições regulamentam os sistemas e as formas de compensação no Brasil quando se tem consumo e entrega de energia à rede, além de regulamentar que as distribuidoras de energia devem oferecer livre acesso à sua rede elétrica (ANEEL, 2012).

Para que as instalações de GD sejam construídas e autorizadas, deve-se realizar uma série de pedidos de autorizações aos órgãos competentes e à distribuidora, para que esta possa se adequar. Pode-se ver na Figura 6 que, primeiramente, deve-se solicitar o acesso à linha de distribuição à distribuidora, que por sua vez envia a solicitação à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Após aprovação do projeto, a distribuidora e o gerador devem adequar suas instalações para que a ligação à rede possa ser executada (ANEEL, 2016b).

Como o consumidor pode injetar o excedente da sua produção de energia na rede de distribuição, quando a quantidade injetada é maior que a consumida, esse excedente se transforma em créditos de energia (kWh). Os mesmos são utilizados para abater faturas futuras com validade de 60 meses. Além disso, podem ser usados por outros consumidores do mesmo grupo, pré-cadastrados, o que é intitulado como autoconsumo remoto. Assim funciona o sistema de compensação de energia em vigor no Brasil (ANEEL, 2015).

Figura 6 – Etapas para obtenção do acesso à rede de distribuição.



Fonte: Baseado em ANEEL (2016a).

Com essa possibilidade, tem-se que, gradativamente, a geração distribuída vem ganhando espaço no Brasil, sendo aos poucos melhor regulamentada, evoluindo tecnicamente, ganhando competitividade e se tornando imprescindível devido às exigências climáticas do planeta.

2.3 Matriz Energética Brasileira

2.3.1 Panorama geral

Falando de geração distribuída no Brasil, não se pode deixar de falar da matriz energética brasileira e em como a GD pode ser inserida de maneira representativa.

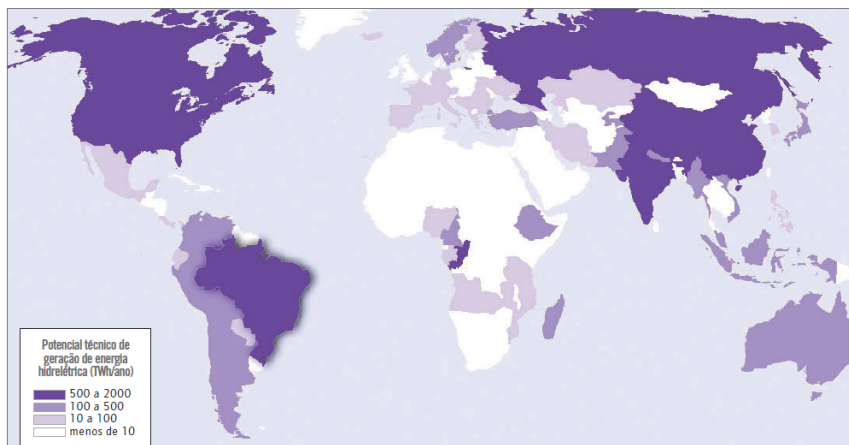
Quando se trata de matriz energética, o Brasil é destaque na geração através de usinas hidrelétricas (UHE), com 61,2% de sua matriz proveniente dessas usinas. O país gera em suas usinas cerca de 88.204.024 kW, o que lhe é necessário, porém tem capacidade de gerar até 144.129.363 kW através dessa fonte (BIG, 2018).

Esse fato ocorre devido às boas condições técnicas que o país oferece para a implantação das usinas hidrelétricas, como mostra a Figura 7. O volume de água de um rio e o relevo da região onde ele se encontra são os principais aspectos para que se possa girar as turbinas de uma UHE. Esse grande potencial se destaca nas mais diversas regiões do Brasil, o que torna esta fonte acessível (ANEEL, 2002).

O Brasil também possui grande parte de sua geração de eletricidade proveniente de termelétricas (27,54%). Nessas usinas, a queima de combustível fóssil nas caldeiras e turbinas produz energia elétrica. Porém, por ser uma fonte poluente, o seu uso vem sendo reduzido e aos poucos vem dando lugar às energias renováveis, além de que, no Brasil, o preço da energia gerada pelas termelétricas é muito superior ao da produzida em UHEs, o que as torna menos atrativas (ANEEL, 2002).

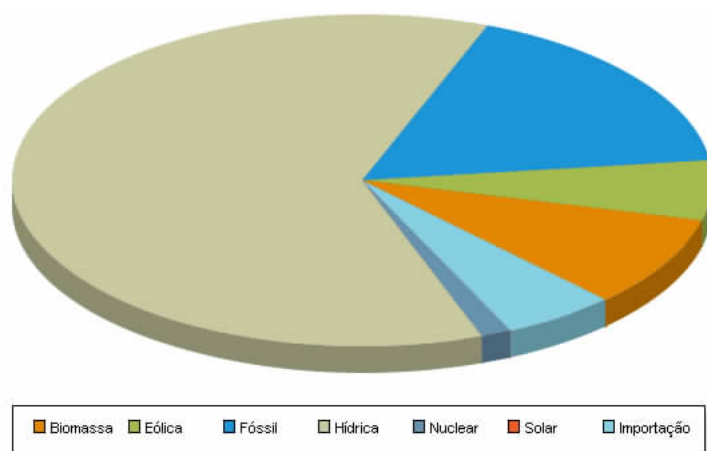
Já as outras fontes aparecem discretamente na matriz brasileira. Aos poucos, as

Figura 7 – Potencial de aproveitamento hidrelétrico (ANEEL, 2002).



fontes eólicas (6,25%) e solar fotovoltaica (0,02%) começam a se destacar juntamente com outras formas de geração. Isso pode ser visto na Figura 8 que mostra a matriz energética brasileira (BIG, 2018).

Figura 8 – Matriz energética brasileira por capacidade de geração, em potência instalada (%).



Fonte: Banco de Informações de Geração - ANEEL.

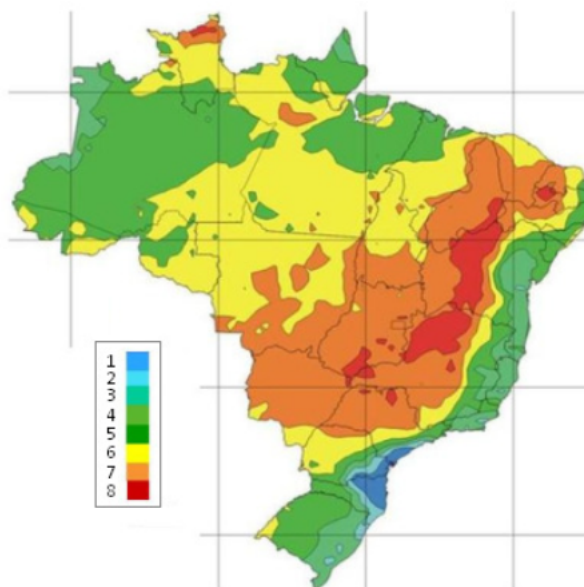
Apesar de ainda ser de pequena expressão no cenário energético brasileiro, a energia solar fotovoltaica vem ganhando espaço. O Brasil é um país privilegiado geograficamente no quesito índice de irradiação solar, pois fica próximo à linha do equador e recebe luz solar durante todos os meses do ano, o que mostra que o país tem um grande potencial para aproveitamento da energia solar. Nos últimos anos, houve uma grande redução dos custos de instalação dos sistemas solares fotovoltaicos, o que impulsionou os investimentos nesses equipamentos. Espera-se que com o maior uso desta tecnologia, os preços continuem caindo e ela se torne uma fonte expressiva de energia para o país (ANEEL, 2002).

2.4 Energia Solar no Brasil

Como foi visto anteriormente, a base da geração de energia do Brasil é hidrelétrica. Porém, o nível dos rios vem diminuindo nos últimos anos, reduzindo a capacidade de geração das usinas em atividade. Além de que as rígidas leis ambientais vigentes dificultam a instalação de novas unidades, o que faz com que as energias renováveis se tornem uma opção atraente (WWF, 2015).

Se dividido por todas as regiões, o Brasil atinge o índice médio anual de radiação solar entre 1200 e 2400 kWh/m^2 /dia, o que supera Alemanha e Espanha, países referência em energia solar fotovoltaica no mundo (LYNN, 2010). Esses índices podem ser vistos na Figura 9, sendo a região de número 8 a de maior radiação.

Figura 9 – Mapa da irradiação solar no Brasil (LYNN, 2010).

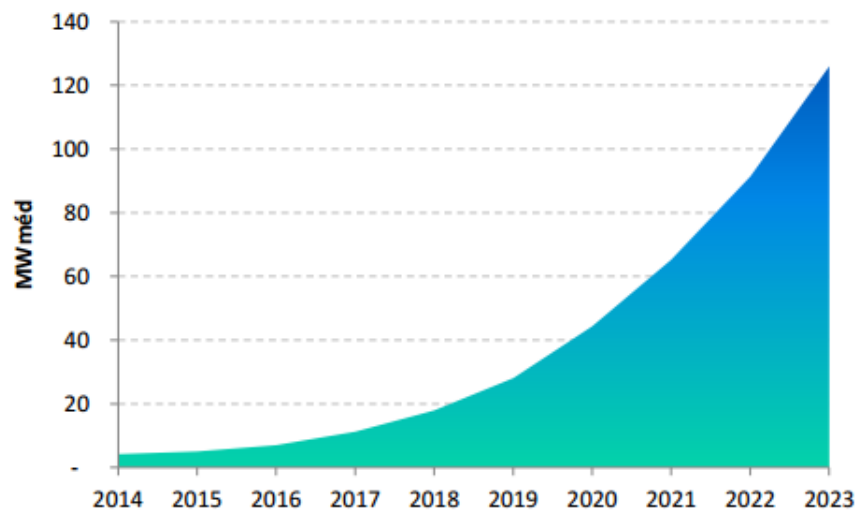


A Figura 9 mostra que o Brasil também está tecnicamente bem localizado no quesito radiação solar, o que faz dele um país que pode ter sucesso nos investimentos em energia solar fotovoltaica. Os primeiros investimentos governamentais relacionados ao uso do sol como fonte de energia se deram no ano de 1994 através do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, com o intuito de ser utilizada em bombas, iluminação pública e sistemas energéticos coletivos movidos a energia solar fotovoltaica, a maioria no Norte e Nordeste do país (ANEEL, 2005).

Já o primeiro leilão feito pelo governo federal para energia solar foi realizado em 2014, juntamente com a eólica e a biomassa, totalizando 889,70 MW de capacidade instalada. Antes, em 2012, foi publicada a Resolução 482 que regulamenta o acesso à micro e mini geração distribuída no Brasil, que facilitou o acesso de pessoas físicas à geração distribuída (WWF, 2015).

Paralelamente aos investimentos em usinas fotovoltaicas de grande porte, o crescimento de pequenos investimentos em locais como residências e comércios alavancará o mercado. Uma projeção deste crescimento pode ser vista na Figura 10. Porém, deve-se ressaltar que a evolução da tecnologia e a popularização desses sistemas pode fazer com que a realidade seja mais promissora do que a apresentada (EPE, 2014).

Figura 10 – Projeção de crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil até 2023 (EPE, 2014).



Diante de todas essas informações, entende-se que o Brasil deve investir na energia solar fotovoltaica como forma de complementar sua matriz energética. Esses investimentos podem partir tanto do governo quanto de pessoas físicas. Basta ter conhecimento das leis vigentes e ter acesso a profissionais do ramo da engenharia elétrica. Estes são responsáveis pelos projetos técnicos dos sistemas.

3 Componentes de um sistema solar fotovoltaico

Diante do cenário promissor em que se encontra a energia solar fotovoltaica, visto no capítulo anterior, será proposto neste trabalho a elaboração de uma análise de viabilidade técnica e econômica de um gerador dimensionado para o Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da UFOP. Para que este projeto possa ser melhor compreendido, primeiramente deve-se conhecer os componentes de um sistema solar fotovoltaico, para que posteriormente sejam feitos cálculos de dimensionamento desses equipamentos. Nos tópicos a seguir se encontrará uma apresentação dos equipamentos e do seu modo de funcionamento e utilização.

3.0.1 Célula fotovoltaica

Para que se entenda o funcionamento de uma célula fotovoltaica deve-se, primeiro, entender o comportamento do material que a compõe, suas características físicas e suas propriedades. Esse material é o semicondutor.

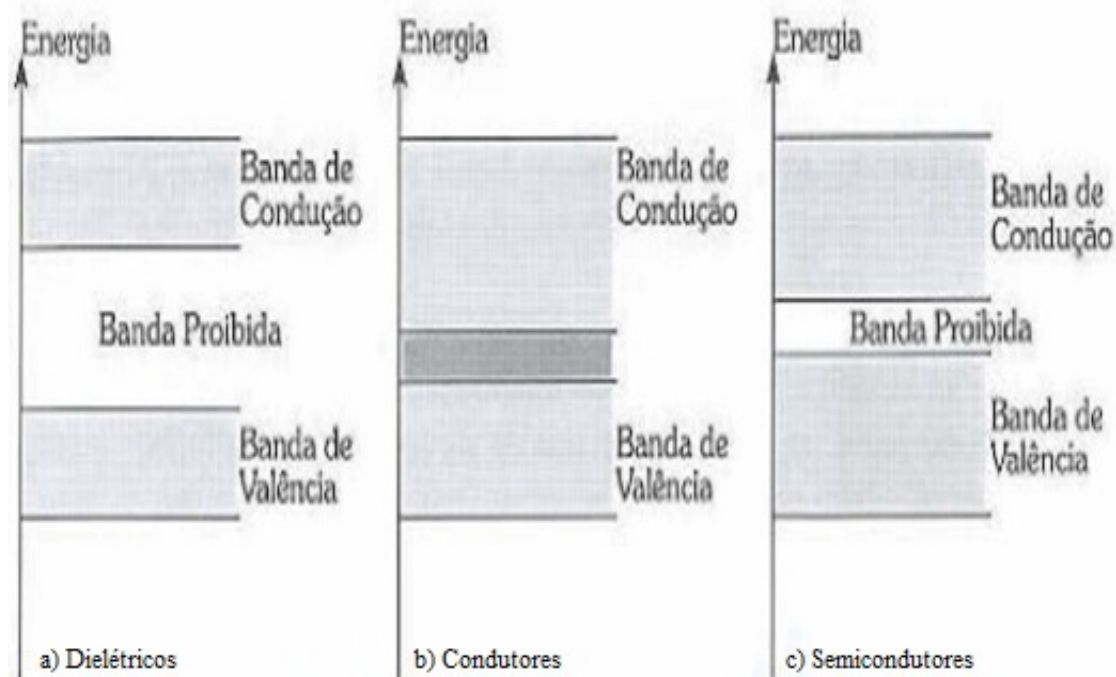
Segundo Marques, Júnior e Cruz (2001), cada tipo de elemento possui uma quantidade diferente de prótons, elétrons e nêutrons em sua órbita que, por sua vez, possui diferentes níveis. Dentro desses níveis sabe-se que o elétron de maior energia situa-se no último nível e que cada nível possui um número diferente de elétrons, a depender do tipo do material. Este último nível, que pode ser chamado de órbita, é quem estabelece quantos elétrons podem se desprender do átomo em caso de bombardeios de energia vinda de fontes externas ou quantos elétrons podem se ligar a outros átomos, definindo-se assim a valência do material. Os elétrons da última camada se tornam elétrons livres com grande facilidade devido a sua alta energia e à distância do núcleo, caracterizando uma banda de condução. Esses elétrons são capazes de se mover no material.

Os átomos podem formar ligações para garantir sua estabilidade, contabilizando seu número máximo de elétrons na última camada. Essas ligações são chamadas ligações covalentes. Apesar da ligação, existe uma distância entre os núcleos dos átomos, que é conhecida como banda proibida. Nessa banda não existe elétron, portanto não há condução. A partir do tamanho dessa banda proibida, determina-se o comportamento elétrico do material (MARQUES; JÚNIOR; CRUZ, 2001).

Os semicondutores são caracterizados por possuir diferentes bandas de energia, divididas em banda de condução e banda de valência, separadas por uma pequena banda proibida (FARIAS et al., 2010). Segundo Marques, Júnior e Cruz (2001), no caso dos semicondutores, ao se aplicar uma quantidade moderada de energia externa, os elétrons

livres conseguem saltar da banda de valência para a banda de condução. Na Figura 11, pode-se observar as diferenças entre as bandas dos isolantes, condutores e semicondutores.

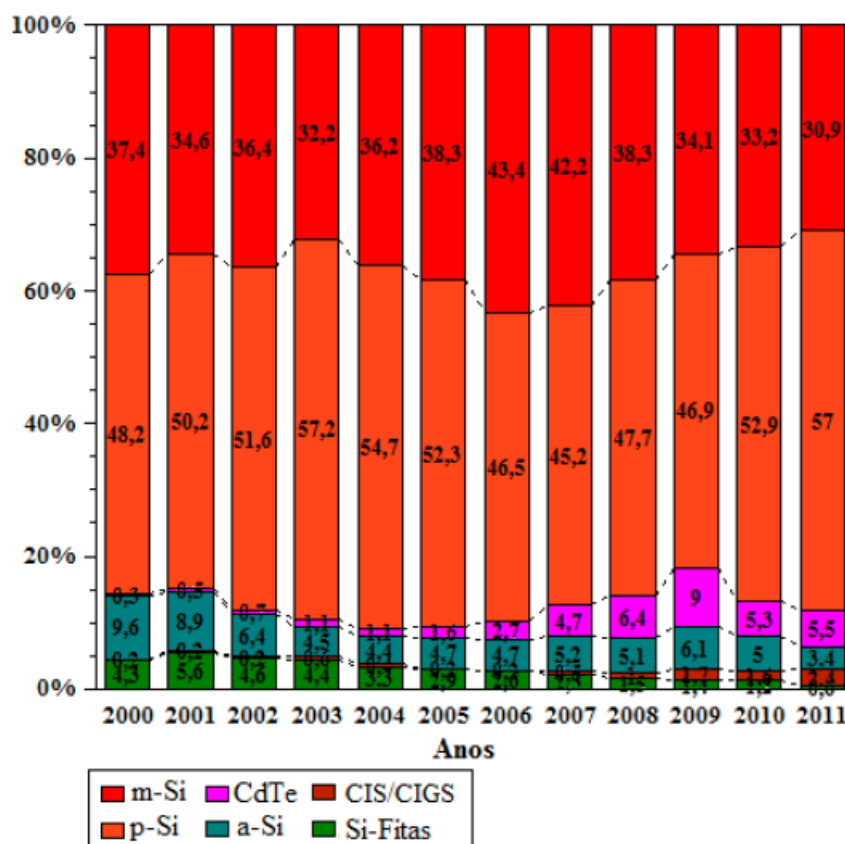
Figura 11 – Tamanho da banda proibida em Isolantes, Condutores e Semicondutores (MARQUES; JÚNIOR; CRUZ, 2001).



Diante dessas características, os semicondutores começaram a ser usados na fabricação das células solares fotovoltaicas. Dentre todos os semicondutores, o silício (Si) é o mais abundante na natureza, mais barato e mais utilizado no mundo, chegando a dominar cerca de 87,9% do mercado (PINHO; GALDINO, 2014), como pode ser visto na Figura 12. Por isso, será tomado como base de estudo todas as características relacionadas ao silício; ou seja, todas as informações dadas em relação a semicondutores estarão se referindo ao silício.

O silício é um elemento tetravalente; ou seja, possui 4 elétrons na sua camada de valência. Isso possibilita que ele faça 4 ligações covalentes com 4 novos átomos. Quando se encontra em estado natural, o silício é considerado intrínseco ou puro. Quando os elétrons da camada de valência recebem energia externa suficiente para se desprender, o átomo passa a ter apenas 3 elétrons na última camada; ou seja, torna-se um íon positivo. Ao passar um determinado tempo, esse íon é preenchido por um novo elétron, o que parece ser um deslocamento da lacuna formada anteriormente pelo íon positivo. Porém o elétron que preencheu o íon positivo falado anteriormente veio de outro átomo, que passa agora a ser o novo íon positivo, provocando assim o deslocamento das lacunas. Esse processo continua enquanto houver lacunas provocadas pelo desprendimento dos elétrons. Assim, pode-se compreender que ao mesmo tempo em que os elétrons se deslocam para uma direção, as lacunas se deslocam para a direção oposta, sendo que ambas são importantes

Figura 12 – Porcentagem de utilização de cada material na produção de células solares fotovoltaicas (PINHO; GALDINO, 2014).



para a condução elétrica (MARQUES; JÚNIOR; CRUZ, 2001).

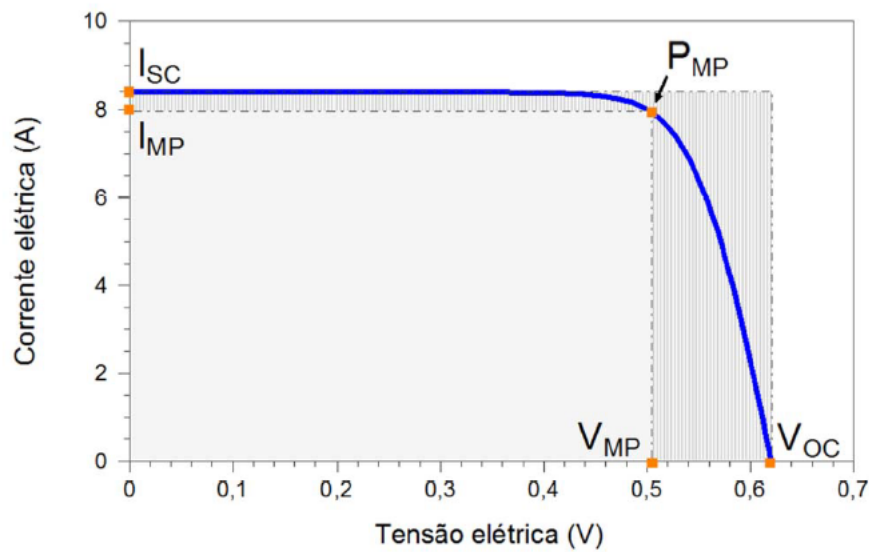
Para que haja mais elétrons livres na camada de valência e assim aumente o desempenho na condução elétrica, o silício pode ser dopado com outro material, pentavalente ou trivalente. No caso da ligação com um material pentavalente, um elétron do novo material ficará livre. Como a nova combinação, resultará em um elétron livre, o material ficará carregado negativamente. Por este motivo, passa a ser chamado de tipo N. Já no caso do material trivalente, um elétron do próprio silício ficará sem ligação; ou seja, o novo material será um íon positivo e, por isso, será chamado de tipo P. Em ambos os casos, os semicondutores passam a ser denominados extrínsecos, pois não há mais o material semicondutor puro (MARQUES; JÚNIOR; CRUZ, 2001).

Depois de apresentar as características dos semicondutores, pode-se explicar por qual motivo esse material é utilizado na fabricação de células fotovoltaicas. Quando a luz solar incide na superfície de um semicondutor, a energia presente em alguns fótons de luz solar é suficiente para desprender os elétrons do material, causando assim o aparecimento de lacunas e elétrons livres, além de aumentar a temperatura do material que tem como consequência a elevação da sua condutividade. Assim, define-se o efeito fotocondutivo. Para que este material conduza os elétrons desprendidos pelo efeito fotocondutivo deve-se aplicar um campo elétrico. O campo elétrico pode ser criado a partir da utilização de

um semicondutor dopado por um lado positivamente e por outro lado negativamente, formando um semicondutor do tipo PN. Nesse condutor as cargas positivas e negativas, provenientes das dopagens, criam um campo elétrico na fronteira da área positiva com a negativa. Assim, a incidência de fótons com energia suficiente para desprender um elétron causa uma reorganização interna do material, que ao final se resume na geração de uma corrente elétrica. Esse é o efeito fotovoltaico, princípio utilizado nas células fotovoltaicas (PINHO; GALDINO, 2014).

Para complementar os conceitos vistos a respeito da célula fotovoltaica de silício, observa-se sua curva característica. Essa curva relaciona a tensão (V) e a corrente (I) de uma célula, por isso é conhecida como curva I-V. Para se obter uma curva característica, a célula é submetida a condições específicas em laboratório. Para melhor leitura da curva, os parâmetros considerados são: tensão de circuito aberto (V_{OC}), corrente elétrica de curto circuito (I_{SC}), potência máxima (P_{MP}), a corrente (I_{MP}) e a tensão (V_{MP}) nesse ponto.

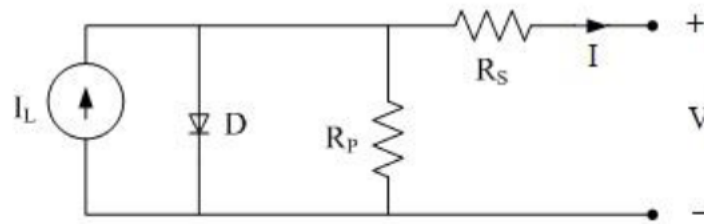
Figura 13 – Curva característica de uma célula solar fotovoltaica de silício (PINHO; GALDINO, 2014).



Para compreender melhor, deve-se analisar também as resistências existentes nas células. Do material semicondutor e de conexões necessárias para a movimentação dos elétrons surge a resistência série (R_S). Das imperfeições estruturais e da presença de impurezas surge a resistência paralelo (R_P). Ambas influenciam no formato arredondado visto na Figura 13 (curva IV), que seria um retângulo perfeito se a célula fosse ideal (PINHO; GALDINO, 2014).

Assim, pode-se compreender o circuito equivalente de uma célula fotovoltaica considerando a junção PN do material semicondutor como um diodo e a corrente I_L como a corrente fotogerada, o que pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

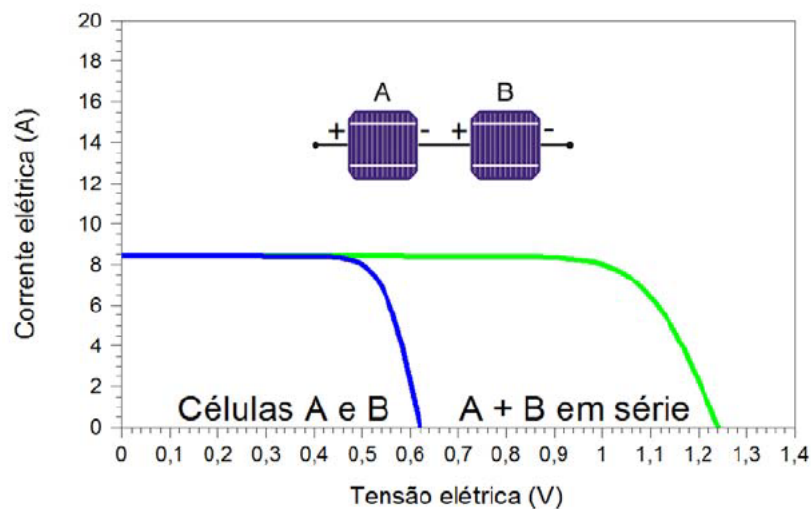


3.0.2 Módulos fotovoltaicos

De maneira análoga ao funcionamento de uma célula, é possível realizar a associação de células em série e em paralelo com as mesmas características elétricas. Essas associações constituem o módulo fotovoltaico. O objetivo dessas associações é obter uma saída única com níveis maiores de tensão e corrente (PINHO; GALDINO, 2014).

No caso da conexão em série, Figura 15, a tensão de cada célula é somada, aumentando a tensão de saída. No entanto, a corrente permanece a mesma.

Figura 15 – Curva I-V de uma conexão de células fotovoltaicas em série (PINHO; GALDINO, 2014).



Já no caso da conexão em paralelo, Figura 16, ocorre o contrário. A tensão permanece a mesma e a corrente das células é somada.

Como, separadamente, a tensão e a corrente das células é muito baixa, fazem-se essas associações para que se possa suprir as necessidades do projeto.

Como os módulos são formados por várias células, os testes realizados para determinar suas características elétricas são semelhantes aos realizados nas células; ou seja, a curva I-V possui a melhor representação das características como pode ser visto na Figura 17. A eficiência dos módulos depende da temperatura, que diminui a tensão, e da irradiância solar, que aumenta a corrente de curto circuito (HECKTHEUER, 2001).

Figura 16 – Curva I-V de uma conexão de células fotovoltaicas em paralelo (PINHO; GALDINO, 2014).

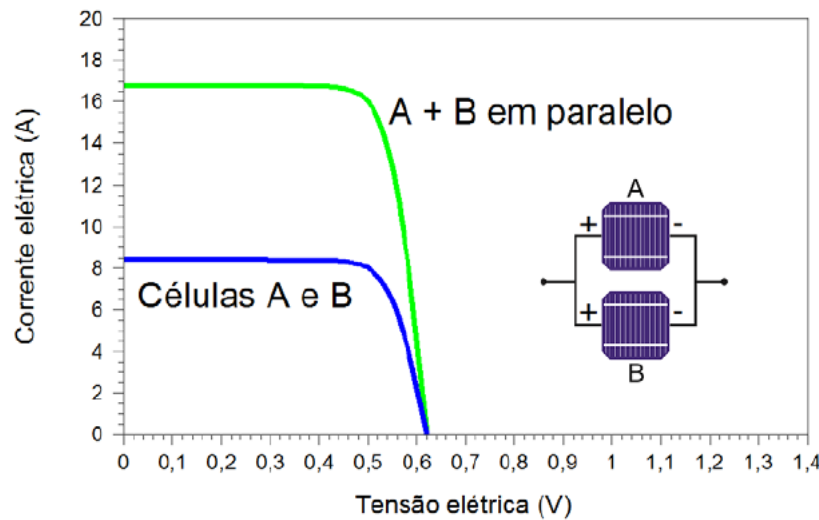
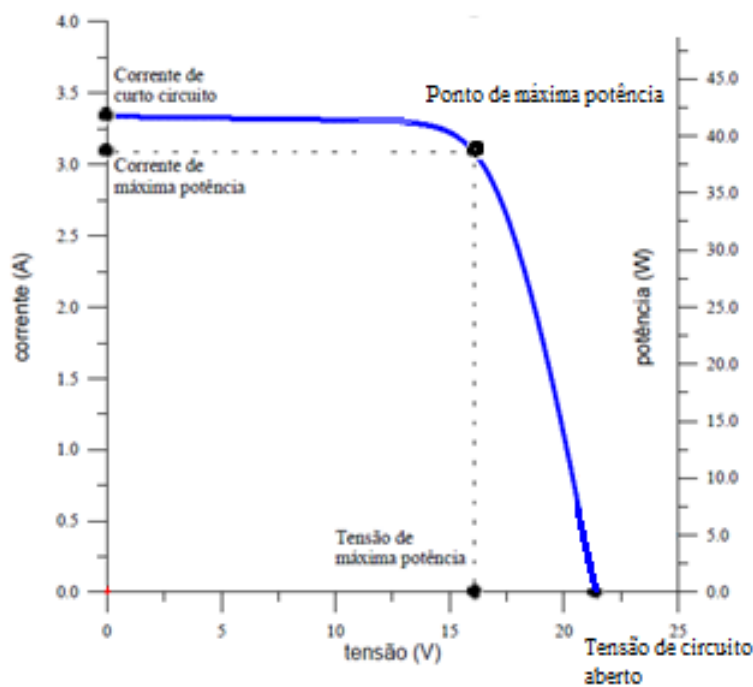


Figura 17 – Curva I-V do módulo fotovoltaico (HECKTHEUER, 2001).



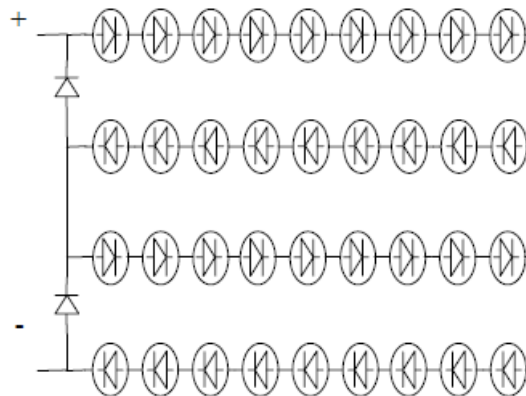
Agora que já se possui um entendimento a respeito de um módulo, pode-se realizar a associação de módulos, o que é utilizado em sistemas solares fotovoltaicos.

Para adequar os módulos aos projetos nos quais serão inseridos, deve-se associar esse componente em série ou em paralelo, dependendo dos requisitos do projeto. Essa conexão causa os mesmos efeitos da conexão das células; ou seja, em caso de conexão série somam-se as tensões e mantém-se a corrente. Já no caso da associação em paralelo, somam-se as correntes e mantém-se a tensão. Em ambos os casos, deseja-se que os módulos

possuam características idênticas (HECKTHEUER, 2001).

Apesar da associação de módulos ser essencial para os projetos de energia solar fotovoltaica, esse arranjo pode ser altamente prejudicado por um fator simples, o sombreamento. Quando uma parte do módulo pára de receber radiação solar devido a uma sombra, a corrente neste local é reduzida, limitando a corrente de todo o arranjo à sua corrente. Se os módulos estiverem conectados em série a limitação da corrente passa a abranger todos os módulos. Esses pontos de sombreamento podem gerar pontos quentes nos módulos. Esses pontos quentes podem ser evitados utilizando um diodo de by-pass em cada série de células que formam o módulo, como pode ser visto na Figura 18. Esse diodo permite a passagem da corrente por outro caminho quando o caminho principal está comprometido pelo sombreamento. Esse diodo já vem embutido na caixa de conexão presente nos módulos; ou seja, não é necessário dimensioná-lo para utilizá-lo nos projetos (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 18 – Utilização de diodos como by-pass (HECKTHEUER, 2001).



3.1 Inversores

Outro equipamento essencial no projeto de sistemas solares fotovoltaicos é o inversor. Este equipamento é responsável por transformar a corrente contínua gerada nos módulos em corrente alternada, que será utilizada pela carga e, em caso de excedente, injetada na rede.

Para que um inversor seja eficiente na sua função, ele deve ter um sinal de saída com uma forma de onda senoidal, o mais perfeita possível. Essa senoide mostra a qualidade do equipamento, que proporciona uma menor distorção harmônica e uma maior semelhança com a onda vinda da rede elétrica (ELETROBRAS, 2016).

Os inversores utilizados em cada projeto são dimensionados a partir dos valores definidos na projeção dos módulos. Ou seja, sua definição vem da definição dos módulos.

Já sua utilização como monofásico ou trifásico vem do conhecimento da carga que será conectada ao sistema (PINHO; GALDINO, 2014).

Para que os inversores possam ser conectados à rede e possam injetar o excedente da produção de energia elétrica do sistema na rede, algumas regras devem ser seguidas, ou melhor, o inversor deve se enquadrar em alguns quesitos. O principal quesito é que o inversor não trabalhe ilhado. Isso significa que quando ocorre alguma falta na rede de distribuição, ou a rede é desligada para manutenção, o sistema solar fotovoltaico também deve parar de funcionar. Essa medida é necessária para se manter a segurança de pessoas que podem estar trabalhando na manutenção, ou até mesmo em caso de acidentes, impedindo que haja corrente nos fios danificados. Assim, todo inversor utilizado em sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede deve possuir um sistema interno de desligamento e religamento automático, que funcione de acordo com o funcionamento da rede elétrica (ANEEL, 2017).

3.2 Proteção

Além do sistema de proteção interno do inversor relacionado ao ilhamento, devem-se utilizar proteções externas aos equipamentos. Um importante item é a chave seccionadora que trabalha sob carga, que por lei deve ser instalada depois do medidor de energia. Essa chave é responsável por desligar o sistema da rede em caso de desligamento da rede (ANEEL, 2017). Além dela, deve-se utilizar equipamentos básicos de proteção como disjuntor, aterramento, proteção contra descargas elétricas e surtos (PINHO; GALDINO, 2014).

4 Projeto básico do gerador solar fotovoltaico

Como já é de conhecimento, este trabalho visa dimensionar e analisar as viabilidades técnicas e econômicas da energia solar fotovoltaica conectada à rede que poderá ser implantada no Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto em João Monlevade. Tendo esse objetivo e o conhecimento do funcionamento dos equipamentos necessários para implementação de um sistema solar fotovoltaico, pode-se passar para a fase de dimensionamento do gerador.

A partir de agora, outros fatores passam a ser considerados, como orientação solar, área disponível para instalação, demanda energética do Instituto, dentre outros. Esses fatores serão cruciais na definição técnica dos equipamentos estudados no capítulo anterior.

4.1 Definição dos módulos fotovoltaicos

4.1.1 Disponibilidade solar

Como já se sabe, para que o gerador solar fotovoltaico funcione com perfeição, é necessário que haja presença da luz solar. Como para chegar até a superfície da terra, a luz solar percorre muitos quilômetros e ainda é filtrada pela camada de ar atmosférico, o máximo de irradiância que a superfície recebe é aproximadamente 1000 W/m^2 . Durante um dia inteiro, esse valor de irradiância varia, devido à posição do sol, a presença de nuvens e a época do ano (IEA, 2014).

Para se ter uma base de dados confiável para ser utilizada no projeto do gerador solar fotovoltaico, deve-se utilizar um banco de dados confiável, que permite o cálculo dos valores de irradiância com base em anos de medições. Nesse caso, será utilizado o banco de dados do *Valores Medios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal* do Centro de Estudos de la Energia Solar (CENSOLAR), cuja ferramenta tem o nome de Sundata e está disponível para acesso livre no site do Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2018). A busca dos dados se dá a partir das coordenadas geográficas do local em que se deseja instalar o sistema solar.

Para realizar a busca exata da localidade, coloca-se o endereço do ICEA em um mapa para rastrear suas coordenadas geográficas. Nesse caso, foi utilizado o recurso livre do site GOOGLE, na opção MAPS. Como pode se ver na Figura 19, as coordenadas obtidas foram:

Latitude: $19^{\circ}50'08''\text{S}$

Longitude: $43^{\circ}10'06.6''\text{W}$

Figura 19 – Obtenção das coordenadas geográficas do ICEA.



Fonte:<<https://www.google.com.br/maps/place/UFOP+-+ICEA/@-19.835421,-43.1691405,17.75z/data=!4m5!3m4!1s0xa507513d245fe3:0x86586b79387537f9!8m2!3d-19.8358059!4d-43.1685099>>

Já com as coordenadas geográficas, pode-se utilizar o recurso Sundata citado anteriormente para a obtenção dos dados de irradiância do ICEA. Na Figura 20, tem-se a inserção dos dados.

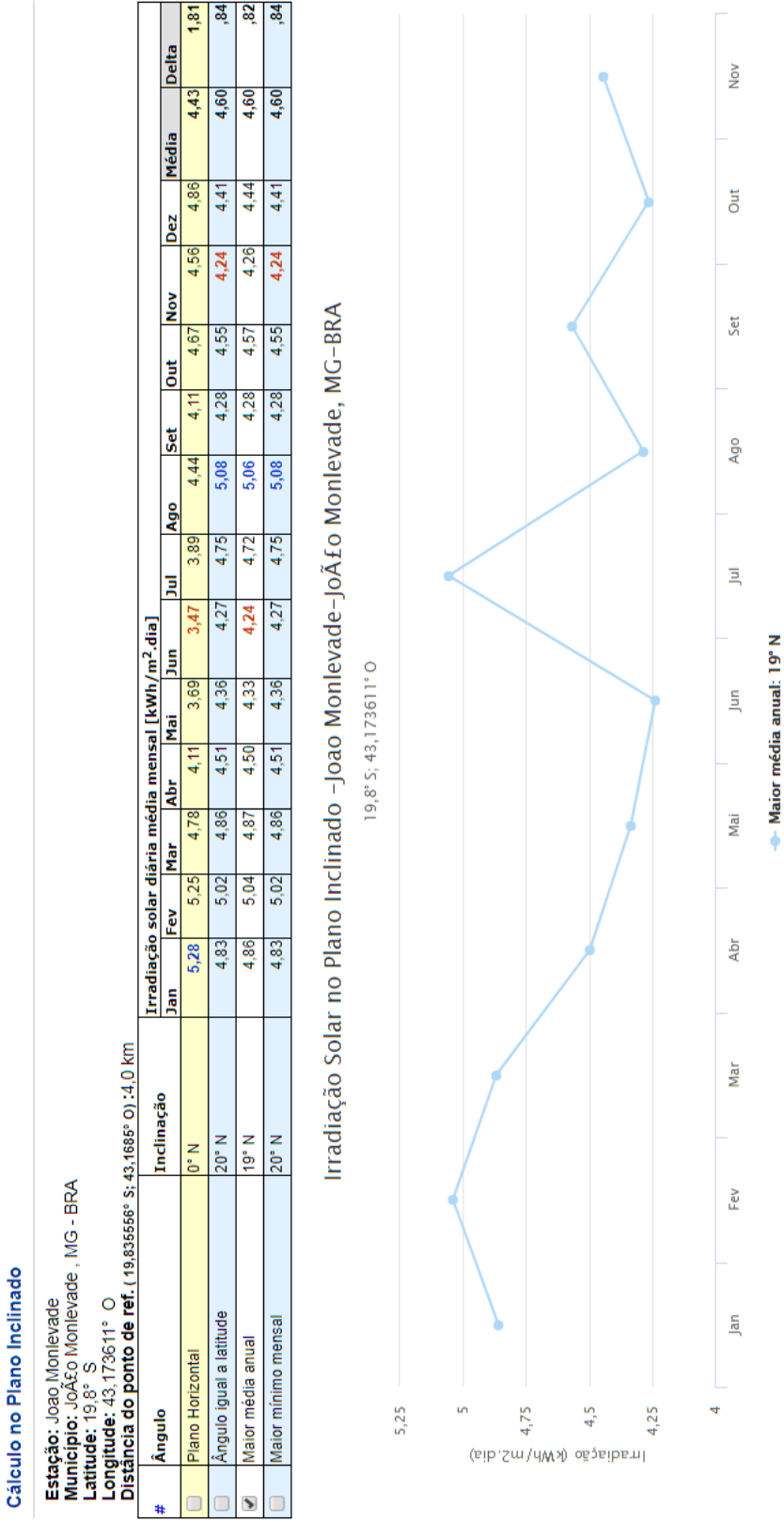
Figura 20 – Inserção de coordenadas para obtenção de dados de irradiância.

Fonte:<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>

As informações de irradiância encontradas para a região de João Monlevade são mostradas na Figura 21. Nesse caso, o programa oferece a inclinação que pode ser utilizada nos módulos fotovoltaicos de forma a otimizar a produção de energia, pois esta inclinação pode aumentar a captação solar. Em todos os casos, evita-se utilizar os módulos na posição horizontal devido ao acúmulo de sujeira que pode diminuir sua eficiência (GREENPRO, 2004). Por estar se tratando de uma universidade em que as aulas se concentram no período da tarde e da noite, utiliza-se o ângulo aconselhado para modelos que priorizam a compensação de energia, pois durante a manhã, em que o sistema já está gerando, não há muita utilização da energia, o que ocorre na parte da noite, em que não há mais geração no sistema (CRESESB, 2018).

Os dados obtidos se referem à potência solar por metro quadrado na região. No caso

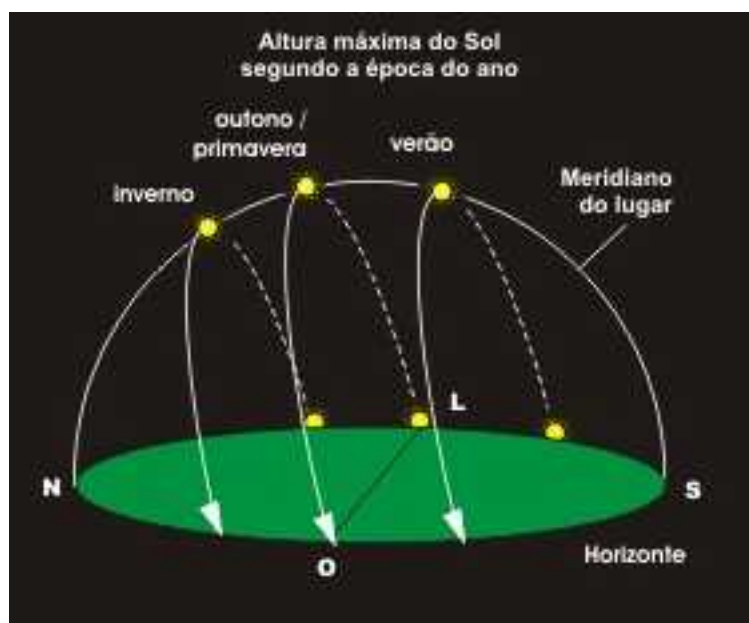
Figura 21 – Irradiância na região do ICEA.



Fonte: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>

da cidade de João Monlevade tem-se uma média de $4,60 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$. Outras informações importantes que o programa oferece é a inclinação, como já dito, e a direção para onde os módulos devem ser orientados. Nesse caso, tem-se que os módulos devem estar inclinados em 19° e voltados para o norte. O norte referido anteriormente é o norte geográfico do planeta, o que é diferente do norte magnético. O magnético é definido através de bússolas e existe devido ao material magnético presente no núcleo da terra. Já o geográfico, ou verdadeiro, é consequência da rotação da terra. A diferença em graus entre esses dois nortes é conhecida como declinação magnética (MOLINA, 2012). A utilização do norte verdadeiro ocorre porque esta é a direção em que o sol se mantém com maior incidência durante todas as estações do ano no Brasil (PINHO; GALDINO, 2014), como pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 – Trajetória do sol de acordo com as estações do ano visto do hemisfério sul.



Fonte: <<http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-HF/Paula/sun1.html>>

Assim, para se estipular a declinação magnética da cidade de João Monlevade, necessária para o projeto do sistema solar, utiliza-se o site norte americano da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), que disponibiliza livremente a declinação de qualquer lugar do mundo. Para calcular a declinação, o site utiliza as coordenadas geográficas do local desejado e emite um documento com as informações de declinação. O site e o documento emitido podem ser vistos na Figura 23 e na Figura 24, respectivamente. O valor definido pelo site foi de $14,07^\circ$ para oeste; ou seja, deve-se adequar a direção dos módulos nesse valor em relação ao norte magnético, que pode ser estipulado por uma bússola.

Figura 23 – Inserção de dados para calculo de declinação magnética.

Calculate Declination

Latitude: ☒ S ☐ N

Longitude: ☐ W ☒ E

Model: ☒ WMM (2014-2019) ☐ IGRF (1590-2019)

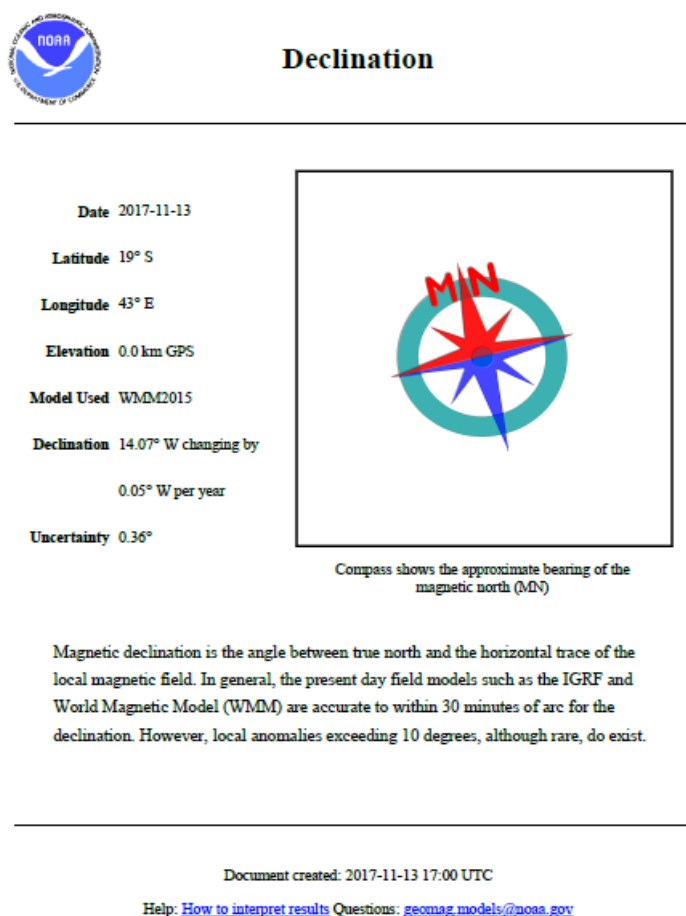
Date: Year Month Day

Result format: ☐ HTML ☐ XML ☐ CSV ☒ PDF

Calculate

Fonte: <<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>>

Figura 24 – Documento com o resultado da declinação magnética.



4.1.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Para dar continuidade ao projeto básico do gerador solar fotovoltaico do ICEA, deve-se entender que, apesar do equipamento gerar energia e lançar o excedente do consumo na rede elétrica administrada pela CEMIG, continua-se pagando a conta de energia mensalmente. Essa conta passará a ser composta do valor referente à demanda de energia contratada pelo instituto e pelo consumo de energia quando ocorrer consumo além da compensação (PINHO; GALDINO, 2014).

Após compreender a premissa anterior, pode-se iniciar o cálculo de dimensionamento dos módulos fotovoltaicos. O primeiro passo é a obtenção dos valores de consumo de energia da instalação durante os últimos 12 meses para que se encontre um valor médio. Esse valor será tomado como potência base do gerador, pois se deseja que o gerador fotovoltaico seja capaz de suprir essa demanda média. Para isso utiliza-se o histórico de consumo da conta de energia elétrica da CEMIG, que pode ser visto na Figura 25. A conta de energia completa pode ser vista no Anexo A.

Figura 25 – Histórico de consumo de energia do ICEA.

Histórico de Consumo					
Mês/Ano	Demanda(kW)		Energia(kWh)		HR
	HP	HFP	HP	HFP	
JUL/17	102	88	5.250	22.050	0
JUN/17	112	95	5.250	22.400	0
MAI/17	70	67	2.100	16.450	0
ABR/17	137	123	6.300	24.850	0
MAR/17	105	98	4.200	22.050	0
FEV/17	116	105	3.850	20.300	0
JAN/17	39	46	1.400	14.700	0
DEZ/16	98	84	2.800	18.900	0
NOV/16	137	130	5.250	23.800	0
OUT/16	119	98	4.200	17.850	0
SET/16	95	91	3.500	17.500	0
AGO/16	109	95	5.250	21.000	0

O instituto é classificado pela CEMIG como consumidor da categoria Verde A4. Essa classificação significa que ocorre o atendimento em média tensão, entre 2,3 kV e 25 kV através de rede aérea. Por possuir equipamentos de alto consumo energético que podem funcionar simultaneamente, exige-se dessa categoria a contratação da demanda, que no caso do ICEA é de 330 kW. Ainda dentro dessa categoria, existe a divisão entre o horário de ponta (HP), com tarifa mais alta devido à ocorrência simultânea com a grande demanda do país, e o horário fora de ponta (HFP), com tarifa mais baixa devido à maior disponibilidade da energia no país. A tarifa paga pela energia utilizada nos diferentes horários sofre alterações também durante as diferentes épocas do ano, devido ao volume de chuva que altera a disponibilidade de energia (CEMIG, 2011). Para este projeto, não haverá diferenciação entre o consumo na hora de ponta e na hora fora de ponta, pois o objetivo é suprir todo o consumo de energia. Para fim de cálculos básicos, a média do

consumo será realizada da seguinte forma: serão somados os valores de consumo de HFP com os valores de HP de cada mês e depois serão somados os valores dos 12 meses e o total será dividido por 12. Portanto:

HP	HFP	Soma
5250	21000	26250
3500	17500	21000
4200	17850	22050
5250	23800	29050
2800	18900	21700
1400	14700	16100
3850	20300	24150
4200	22050	26250
6300	24850	31150
2100	16450	18550
5250	22400	27650
5250	22050	27300
Total		291200

Tabela 2 – Consumo de energia.

$$\text{Consumo médio mensal} = 24266,67 \text{ kWh/mês}$$

Esse valor de consumo mensal deve ser transformado em um valor de consumo diário, pois os módulos irão trabalhar diariamente; ou seja, deseja-se saber o consumo diário que deverá ser suprido pelo gerador. Apesar de o consumo de energia ser praticamente zero nos finais de semana, a energia gerada nesses dias será utilizada na compensação da energia consumida durante as noites de segunda à sexta-feira. Ou seja, a energia gerada diariamente pelos painéis não será suficiente para suprir todo o consumo durante os dias da semana, pois parte da energia total consumida no mês estará sendo gerada nos finais de semana e sendo compensada. Assim, pode-se considerar o mês comercial com 30 dias, portanto:

$$\text{Consumo médio diário} = \frac{24266,67}{30} = 808,89 \text{ kWh/dia}$$

Essa energia diária será gerada através dos módulos fotovoltaicos. Os módulos dependem da disponibilidade solar do local para gerar energia; portanto, para se obter a potência total dos módulos, deve-se adequar o valor do consumo diário ao valor da potência solar presente diariamente naquele local; ou seja, a irradiância do local. Para isso divide-se o valor do consumo diário pelo valor da irradiância diária, $4,60 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$, já definida na seção 4.1.1 e por um fator de 80%. A divisão por 80% é necessária para se adequar a geração de energia durante o dia. A partir dessa divisão, a capacidade de geração dos módulos se torna superior à necessária diariamente, o que serve para compensar a geração

em dias pouco ensolarados, ou em dias em que o consumo seja superior à média diária (PINHO; GALDINO, 2014).

$$\text{Potência total dos módulos} = \frac{808,89}{(4,60 * 0.8)} = 219,80 \text{ kW}$$

Como já se sabe, a potência total a ser suprida pelos módulos, pode-se definir a quantidade de módulos a serem utilizados. Como a potência total é um valor alto, para se reduzir ao máximo a quantidade de módulos, o valor de sua potência individual deve ser a mais alta possível. Para se definir o modelo através da potência, recorreu-se à lista de módulos do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). A Figura 26 mostra o trecho em que se encontrou o módulo de maior potência, sendo ela de 350 W. Porém, o módulo similar encontrado no mercado é de 340 W. Portanto, para a potência do módulo escolhido, o número de módulos é obtido dividindo a potência total pela potência do módulo.

$$\text{Quantidade de módulos} = \frac{219,80 \text{ kW}}{340 \text{ W}} = 646,47 \text{ módulos}$$

Assim, tem-se que as características do módulo fotovoltaico selecionado são:

Marca: Trina Solar

Modelo: TSM-PD14

Material: Silício Policristalino

Área: 1.94 m^2

Peso: 22.5 kg

Tensão de circuito aberto: 46.2 V

Corrente de curto circuito: 9.42 A

Tensão de máxima potência: 37.80 V

Corrente de máxima potência: 8.99 A

Potência: 320-340 W

Eficiência energética: 17.5 %

Preço: R\$ 873,80

O preço do painel foi encontrado no site <www.portalsolar.com.br> e seu *datasheet* está disponível no Anexo B.

A instalação dos painéis deve ser feita sobre uma estrutura metálica resistente. As estruturas custam em média 999 reais, preço encontrado no site <www.neosolar.com.br>, para cada 4 módulos. Assim, para os 647 módulos, serão necessários 162 estruturas.

A partir dessas informações, pode-se dimensionar o inversor a ser utilizado no projeto.

Figura 26 – Lista de módulos fotovoltaicos do INMETRO.

[illegible]

4.2 Definição dos inversores

Para definir qual inversor deve ser utilizado no projeto, deve-se entender que para o melhor uso e eficiência do equipamento, ele deve ser dimensionado para trabalhar em potências perto da sua capacidade nominal. Uma maneira de se escolher o equipamento é definindo a sua potência como a potência nominal dos painéis (PINHO; GALDINO, 2014).

$$\text{Potência do inversor} = \text{Potência total dos módulos} = 219,80 \text{ kW}$$

A partir desta definição, buscou-se um inversor que atendesse a esse requisito, porém, como a potência diária é alta, optou-se por utilizar vários inversores, cada um com potência de 25 kW, assim, serão utilizados 9 inversores. O equipamento escolhido é da marca Fronius e possui as seguintes especificações técnicas:

Máxima corrente de entrada: 44,2 A

Mínima tensão de entrada: 580 V

Máxima potência de saída: 25000 Va

Máxima corrente de saída: 36 A

Dimensão: 725 x 510 x 225 mm

Peso: 35,7 kg

Eficiência: 98,2%

Preço: R\$ 21.380,70

O preço do inversor foi encontrado no site <www.minhacasasolar.com.br>.

Para cada inversor do projeto, deve-se incluir uma *stringbox*. Essa *stringbox* é a caixa de proteção do sistema. Ela protege contra surtos e descargas. Ela possui disjuntores e fusíveis de proteção. Cada caixa custa em média 1.000 reais, valor obtido no site <www.minhacasasolar.com.br>.

4.3 Definição do arranjo fotovoltaico

Após a definição dos módulos e dos inversores a serem utilizados, deve-se definir a organização desses equipamentos para formar o gerador solar fotovoltaico. Essa organização inclui o posicionamento físico dos módulos e a distribuição dos módulos em relação aos inversores.

4.3.1 Posicionamento físico dos módulos fotovoltaicos

A posição dos módulos fotovoltaicos é de suma importância ao projeto, pois é de acordo com ela que se evita o sombreamento de um painel em outro, garantindo maior eficiência na geração.

Para calcular a distância que um módulo deve ficar em relação ao outro, utiliza-se sua inclinação definida anteriormente, analisando assim a distância na qual não ocorrerá o sombreamento.

Como o projeto possui um número muito grande de módulos, a melhor análise a ser feita é a de presença de obstáculo frontal, pois os módulos ficarão dispostos em filas consecutivas, como na Figura 27. Nesse caso, utiliza-se as equações (4.1) e (4.2) a seguir para se obter a distância ideal entre os módulos; sendo que β é a inclinação do painel em graus, l é a altura do painel em metros, d a distância desejada e ho o ângulo referente à posição do sol em relação ao módulo frontal (SOUZA, 2015). A latitude do local e a inclinação do painel, ângulo β , foram definidas na seção 4.1.1, ambas com o valor de 19° . O valor de l pode ser visto no datasheet do módulo, Anexo B, e é de 0.992 m.

$$ho = (90 - \text{latitude do local}) - 23,5^\circ \quad (4.1)$$

$$d = l \cdot \left(\frac{\sin \beta}{\tan ho} + \cos \beta \right) \quad (4.2)$$

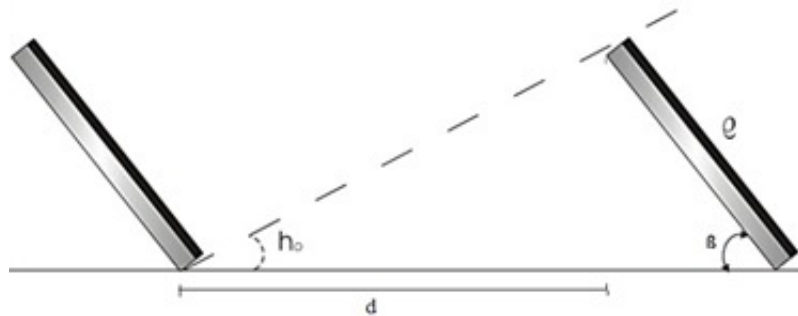
Utilizando essas equações tem-se:

$$ho = (90^\circ - 19^\circ) - 23,5^\circ = 47,5^\circ$$

$$d = 0.992 \cdot \left(\frac{\sin 19^\circ}{\tan 47,5^\circ} + \cos 19^\circ \right) = 1,23 \text{ metros}$$

Portanto, as filas de módulos devem ficar espaçadas em no mínimo 1,23 metros para que se tenha um maior aproveitamento de geração dos painéis, pois assim, será evitado o sombreamento.

Figura 27 – Disposição dos módulos como obstáculo frontal (SOUZA, 2015).



4.3.2 Distribuição dos módulos em relação aos inversores

Após definir a distância entre as fileiras de módulos de forma a garantir uma maior eficiência para o projeto, deve-se calcular quantas fileiras serão instaladas e quantos módulos serão utilizados em cada uma. Para isso, utiliza-se os dados de saída dos painéis

e os dados de entrada do inversor. Esses dados devem ser compatíveis com um bom funcionamento do sistema.

A definição do número de módulos por fileira depende da tensão de entrada do inversor, pois é ela que limita esta quantidade. Esta tensão é o parâmetro base, pois a soma das tensões dos painéis em série deve respeitar esse valor. Assim, sendo V_{ocTmin} a tensão de circuito aberto do módulo solar em baixas temperaturas e V_{imax} a máxima tensão em corrente contínua permitida na entrada do inversor, pode-se utilizar a relação da equação 4.3 (PINHO; GALDINO, 2014).

$$N^{\circ}módulos_{série} \cdot V_{ocTmin} < V_{imax} \quad (4.3)$$

Porém, para que se possa utilizar essa relação, deve-se saber o valor de V_{ocTmin} . Esse valor depende da temperatura mínima e do tipo do módulo que está sendo utilizado. No caso de painéis mono e policristalinos, admitindo-se uma temperatura mínima de -10°C . Tem-se que a tensão de circuito aberto é 14% maior que a tensão de circuito aberto quando utilizados os padrões de ensaio (GREENPRO, 2004). Assim, tem-se que:

$$V_{ocTmin} = 1.14 \cdot 46,2 = 52,667$$

Já o parâmetro V_{imax} é encontrado no *datasheet* do inversor, sendo neste caso igual a 1000 V, portanto:

$$N^{\circ}módulos_{série} < \frac{1000}{52,667} \rightarrow N^{\circ}módulos_{série} < 18,98 \text{ módulos}$$

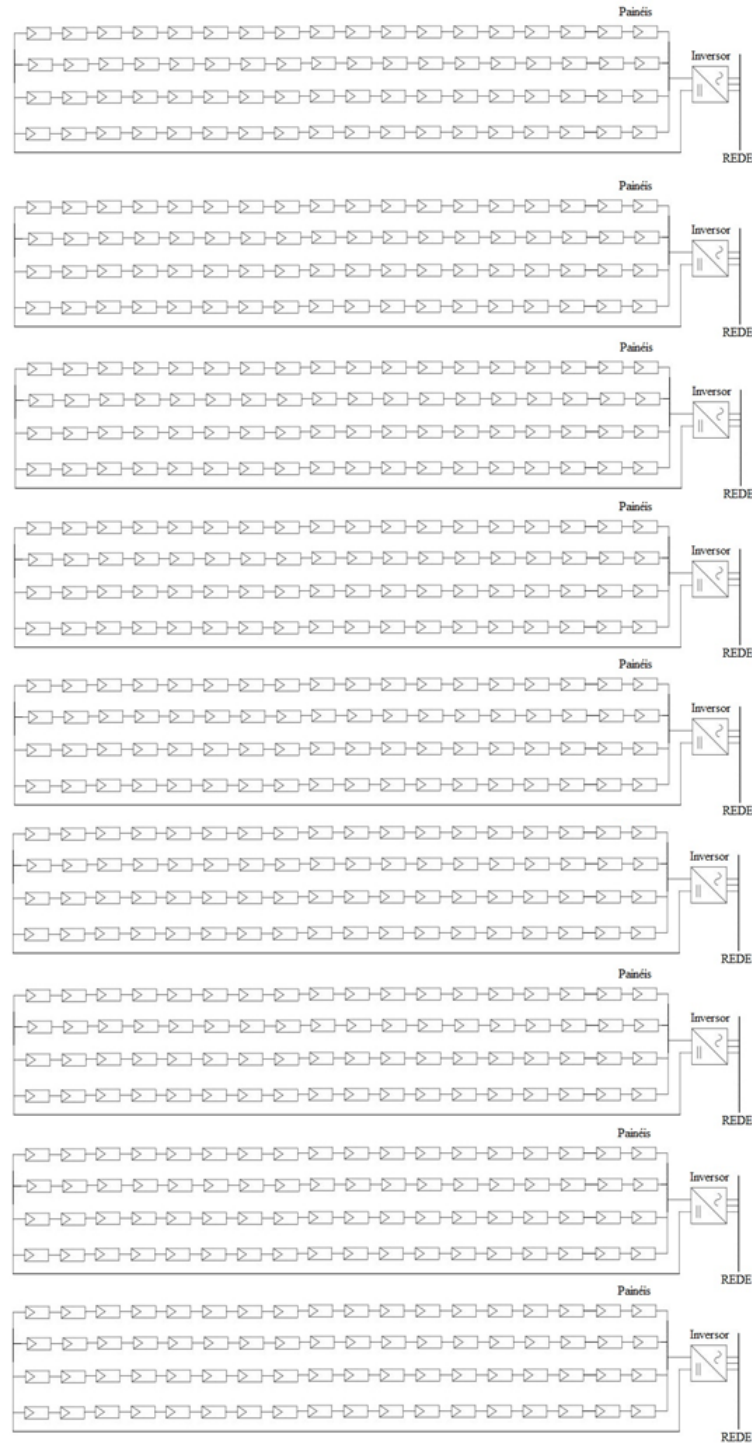
Após definir o número de módulos em série, deve-se definir também o número de fileiras de módulos que podem ser ligadas em paralelo, adequadas ao inversor. Nesse caso, o parâmetro base é a corrente máxima do inversor que não pode ser ultrapassada, para que não se danifique o equipamento. Assim, sabendo que I_{imax} é a corrente máxima admitida na entrada de corrente contínua do inversor e que I_{SC} é a corrente de curto circuito do painel nas condições padrões de ensaio, pode-se utilizar a equação 4.4 para definir o número máximo de fileiras (PINHO; GALDINO, 2014).

$$N^{\circ}sériesFV_{paralelo} = \frac{I_{imax}}{I_{SC}} \quad (4.4)$$

De acordo com o *datasheet* do inversor, a corrente máxima é de 44,2 A. Já o *datasheet* do módulo diz que a corrente de curto circuito em condições padrão é de 9,42 A. Portanto:

$$N^{\circ}sériesFV_{paralelo} = \frac{44,2}{9,42} \text{ séries de módulos}$$

Figura 28 – Distribuição dos módulos em relação aos inversores.



Ou seja, o gerador será arranjado em 4 fileiras de 18 módulos para cada inversor.

Como esse gerador possui um número grande de painéis e 9 inversores, pode-se dividir a montagem do sistema em 9 diferentes locais do ICEA.

Dividindo a instalação, deve-se manter sempre o arranjo de número de painéis por inversor mostrado anteriormente e o espaçamento correto entre as fileiras de módulos. Para se calcular o espaço necessário para cada uma das 9 instalações basta calcular a área do arranjo, levando em consideração a distância que evita o sombreamento.

$$\text{Área}_{inst_{dividida}} = [(0.992 \cdot 4) + (1.23 \cdot 3)] \cdot (1.96 \cdot 18) = 270.17 \text{ m}^2$$

Assim, tem-se que são necessárias nove instalações de $270,17 \text{ m}^2$ cada uma para realizar a instalação completa do gerador. No Instituto existem 8 prédios e um terreno livre em que poderiam ser instalados os sistemas. Esses prédios podem ser vistos na Figura 29 e suas respectivas áreas mostradas a seguir.

Figura 29 – Espaço para instalação existentes no ICEA.



Fonte: <<https://www.google.com/maps/d/edit?hl=pt-BR&hl=pt-BR&mid=1VoqR2TUCGR8dp2qn0slE8Mfjynz-IJyT&ll=-19.83564463331478%2C-43.168367784987595&z=19>>

As áreas disponíveis nas coberturas dos prédios são:

1. $49m \times 12m = 588 \text{ m}^2$
2. $28m \times 10m = 280 \text{ m}^2$
3. $27m \times 12m = 324 \text{ m}^2$
4. $27m \times 12m = 324 \text{ m}^2$
5. $27m \times 12m = 324 \text{ m}^2$
6. $27m \times 12m = 324 \text{ m}^2$
7. $16m \times 10m + 16m \times 10m = 320 \text{ m}^2$

$$8. 35m \times 25m = 875 \text{ m}^2$$

$$9. 33m \times 13m = 429 \text{ m}^2$$

Essas áreas são aproximações obtidas a partir da função MAPS do site <www.google.com.br>, elas mostram que é possível instalar todo o sistema nos prédios e terreno existentes no Instituto, viabilizando tecnicamente o projeto. A área 9 poderia ser realocada para junto da área 8, pois a área 8 possui tamanho suficiente para o arranjo de dois inversores. Porém seria necessário um maior investimento em estruturas metálicas, pois seria necessário o ajuste da posição dos módulos à posição adequada para o maior aproveitamento da luz solar. Assim, a área 9 se torna uma opção mais viável, além de que, pode se tornar um objeto de estudo para o campus, pois estará acessível aos estudantes.

Assim, finaliza-se o dimensionamento do projeto básico do gerador solar fotovoltaico para o ICEA.

5 Análise da viabilidade econômica do projeto básico

Após analisar a viabilidade técnica do projeto, deve-se analisar a viabilidade econômica de sua implantação. A partir do número de equipamentos e do valor de cada um deles, pode-se definir o valor do investimento a ser realizado. Comparando este investimento com o valor que será economizado na conta de energia, determina-se o tempo necessário para se compensar o investimento.

5.1 Cálculo do investimento necessário para implantação do sistema

Para obter o valor necessário a ser investido na implantação do sistema solar fotovoltaico, deve-se somar os valores de todos os equipamentos a serem adquiridos e os valores da mão de obra de instalação.

Equipamento	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Módulo fotovoltaico	647	873,80	565.348,60
Inversor	9	21.380,70	192.426,30
Estrutura	162	999,00	161.838,00
<i>Stringbox</i>	9	1.000,00	9.000,00
Mão de obra	-	20.000,00	20.000,00
Cabos	-	1.000,00	1.000,00
Operação e Manutenção	25	4.600,00	115.000,00
Total			1.064.612,90

Tabela 3 – Valores dos equipamentos.

Esses valores foram obtidos a partir de uma pesquisa feita na internet, podendo assim variar de acordo com as oscilações do mercado. Porém, a partir desses dados, tem-se uma noção do investimento a ser feito. Nesse caso, cerca de R\$ 1.065.000,00.

5.2 Payback do investimento

Quando se calcula o payback do investimento, significa calcular em quanto tempo o investimento inicial terá sido recuperado; ou seja, quanto tempo após a instalação do sistema solar fotovoltaico ele terá sido pago pela economia na conta de energia (CAMPOS et al., 2014). Antes de realizar esse cálculo, vale recapitular algumas definições que foram feitas até esta seção e que são sintetizadas na Tabela 4. São elas:

- Custo médio mensal com energia elétrica: obtido a partir da conta de energia, somando-se os valores das últimas doze contas e dividindo por doze meses. O valor obtido foi de R\$ 15.291,25.
- Custo da disponibilidade de energia pela distribuidora: é o valor pago pela disponibilidade elétrica fornecida pela distribuidora. No caso do instituto, é equivalente à demanda contratada. O valor pago mensalmente pela disponibilidade é de R\$ 3.793,27.
- Potência do gerador solar fotovoltaico: essa potência é dada em quilowatts pico, que é a definição de potência para módulos fotovoltaicos em condições padrões de teste. Nesse caso, a potência total do gerador é dada pela potência total dos módulos definida em condições padrões. Assim, tem-se que a potência total do sistema é de 219,8 kWp.
- Geração de energia média: é a energia que será gerada pelo sistema; ou seja, é o mesmo que a energia consumida mensalmente. No caso são 24.266,67 kWh/mês.
- Economia mensal: considerando que o valor médio pago na conta de energia é de R\$ 15.191,25 e que a partir da instalação do sistema o valor pago passará a ser apenas o valor da demanda contratada de R\$ 3.793,27, tem-se que a economia mensal será de R\$ 11.397,98.
- Investimento total: de acordo com os cálculos realizados na seção 5.1, o investimento total será em torno de R\$ 1.065.000,00.

Potência do gerador	219,8 kWp
Geração média mensal	24.266,67 kWh
Custo médio da conta de energia	R\$ 15.291,25
Custo da demanda contratada	R\$ 3.793,27
Economia mensal na conta de energia	R\$ 11.397,98
Investimento	R\$ 1.065.000,00

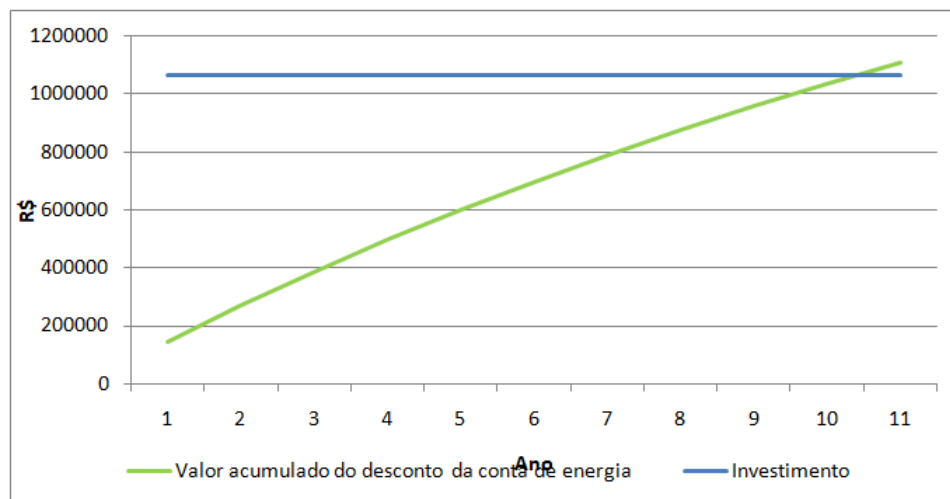
Tabela 4 – Síntese de informações para análise econômica.

Agora que já se tem todos os valores e conceitos calculados e recapitulados, realiza-se o cálculo do payback. Na Anexo C, pode-se encontrar a contagem dos meses, o desconto da conta de energia corrigido mensalmente por uma taxa de 0.05%, e o valor acumulado do desconto da conta de energia, resumido na Tabela 5. O objetivo é encontrar em qual mês o desconto acumulado atingirá o valor do investimento inicial, para que com isso possa ser indicado em quantos anos o investimento terá sido compensado através da redução da conta.

Ano	Desconto da conta de energia corrigido	Valor acumulado do desconto da conta de energia
1	10734,89516	143817,9688
2	10111,25507	268545,9863
3	9523,84514	386027,9721
4	8970,560591	496684,8818
5	8449,418921	600913,2159
6	7958,552798	699086,4403
7	7496,203377	791556,3246
8	7060,713988	878654,2024
9	6650,524207	960692,1586
10	6264,164262	1037964,148
11	5900,249767	1110747,047

Tabela 5 – Payback do investimento.

Figura 30 – Gráfico do payback do investimento.



Como pode ser visto, o investimento terá sido sanado entre os anos 10 e 11. No Anexo C, tem-se a tabela com valores mensais, nela pode ver que o investimento terá sido sanado no mês 125. Para saber o equivalente exato em anos faz-se:

$$Payback = \frac{125}{12} = 10,41 = 10 \text{ anos e } 5 \text{ meses}$$

Assim, tem-se que, para um investimento inicial de cerca de R\$ 1.065.000,00 serão necessários 10 anos e 5 meses para se recuperar o investimento.

Após os 10 anos e 5 meses em que a economia referente à presença do gerador paga o investimento, o gerador ainda possui 14 anos e 7 meses de funcionamento com garantia dos fabricantes. A diferença na conta de energia nesses anos será a economia que o sistema oferecerá ao instituto.

5.3 TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que iguala o valor investido em um projeto aos retornos gerados por esse investimento através do fluxo de caixa, ou seja, é a taxa de retorno de um investimento (OLIVEIRA, 1982).

Para que um projeto seja atraente para um investidor, a TIR deve ser maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é a taxa mínima que um investidor espera de retorno em um projeto. Considerando a TMA como a Taxa Selic (taxa básica de juros da economia no Brasil) que em 2018 é de 6,75%, tem-se que, a TIR do projeto deve ser maior que esta taxa. Porém, como a taxa Selic é um valor nominal, deve-se subtrair a inflação para se obter a taxa de juros real a ser comparada com a TIR (PARMAIS, 2017). Assim, com a inflação girando em torno dos 4% em 2018, tem-se que:

$$\begin{aligned} Selic_{Real} &= Selic_{Nominal} - Inflação \\ Selic_{Real} &= 6.75\% - 4\% = 2.75\%. \end{aligned}$$

Utilizando os dados da planilha do Anexo C, pode-se calcular a TIR. Nesse caso tem-se que,

$$\begin{aligned} TIR_{mensal} &= 1,019\% \\ TIR_{anual} &= 12,93\% \end{aligned}$$

Ao realizar esta análise, entende-se que o projeto é viável, pois a TIR anual é maior que a Selic Real anual.

5.4 VPL

O Valor Presente Líquido (VPL) é utilizado para saber quanto um investimento, e os retornos obtidos através dele, valem no dia de hoje. Para obter esse valor, todos os valores de saída e retornos do investimento devem ser somados, levando em consideração os juros que acompanham esses valores no tempo (OLIVEIRA, 1982).

Para que o projeto seja considerado viável, o VPL deve ser positivo, ou seja, a soma dos retornos é maior que a dos desembolsos, mesmo com a existência de juros (OLIVEIRA, 1982).

No caso do ICEA, sabendo que o investimento inicial é de R\$ 1.065.000,00 e que os retornos são mostrados na planilha do Anexo C, pode-se concluir que nos 25 anos de vida útil do gerador,

$$VPL = R\$ 715.289,60.$$

Portanto, como o VPL do projeto é positivo, conclui-se a viabilidade do investimento.

6 Conclusão

Como pode ser visto na revisão bibliográfica, o cenário mundial se volta ao uso de fontes renováveis de energia em sua matriz energética. Fato que se dá principalmente pelas preocupações relacionadas ao cuidado com o meio ambiente, à redução de gases de efeito estufa e a redução do aquecimento global.

Além desses motivos, o Brasil, em especial, que tem as UHEs como sua principal fonte de energia, depara-se com uma redução de recursos ambientais e desgaste do sistema elétrico. Nesse caso, vê-se uma grande esperança com a inserção da geração distribuída na matriz energética. Inserção que inclui, entre outras fontes renováveis, a energia solar fotovoltaica.

Pode-se ver que os GSFs vêm se popularizando em diversos países do mundo, com tecnologias sendo constantemente atualizadas e tendo seus preços reduzidos diante das novas demandas. O Brasil é um dos países que começa sua corrida em busca dessas tecnologias, pois tem potencial solar suficiente para que essa seja uma fonte expressiva na matriz energética. Aliado à melhoria na regulamentação e a programas de compensação de energia, a energia solar fotovoltaica vem se tornando competitiva e atrativa.

Além do acesso mais facilitado a energias renováveis devido a melhores regulamentações e incentivos no Brasil para a instalação de sistemas solares fotovoltaicos, os equipamentos necessários para a montagem do gerador não são de difícil aquisição. Todos têm funcionamento e características técnicas conhecidas. O que viabilizou o dimensionamento de um gerador para o ICEA.

No dimensionamento, realizado como um projeto básico, concluiu-se que são necessários 647 módulos fotovoltaicos para suprir a demanda de 219,8 kW diário do instituto. Esses módulos dependerão de 9 inversores para transformar a energia de corrente contínua em energia de corrente alternada, para que se possa utilizar a energia no campus e enviá-la à rede em caso de excedente de produção. Esse projeto ainda necessita de 9 *stringboxes* com as devidas proteções do sistema, estruturas metálicas para fixação dos módulos e cabos de conexão.

Para a instalação do gerador, identificou-se a possibilidade de instalar o equipamento em 9 partes independentes do ICEA. Para isso, necessita-se de 9 áreas de no mínimo 270,17 m² cada uma para atender todos os quesitos de eficiência, pois existe a distância entre as fileiras de módulos que evita o sombreamento. Esta instalação se torna viável devido a existência desses 9 espaços com os tamanhos suficientes para os módulos.

O investimento necessário para a realização deste projeto ficou na casa de 1 milhão e 65 mil reais, incluindo todos os equipamentos e a mão de obra de instalação. Esse investimento será recuperado em 10 anos e 5 meses, quando o gerador terá sido pago. Após esse período, a redução da conta de energia passará a ser uma economia mensal para

o instituto. A TIR do projeto é de 12,93% e o VPL é de R\$ 712.737,09, o que reforça a viabilidade econômica do projeto. Após os 25 anos de geração, garantidos pelo fabricante, o gerador continuará funcionando com eficiência cada vez mais reduzida, porém já terá cumprido um grande papel de economia financeira e de preservação do meio ambiente. Além disso, a presença do sistema pode evitar problemas como insuficiência do suprimento de energia do campus, falta de verba para pagamento da energia devido ao aumento do valor da tarifa e aumento da demanda de energia em caso de crescimento do campus.

Apesar de o projeto se mostrar viável nas condições atuais, ao se realizar o cálculo de dimensionamento do sistema, observou-se que o consumo mensal do ICEA é sempre menor que a demanda contratada diante da distribuidora. Isso implica em um pagamento mínimo superior ao necessário. Para que haja uma redução imediata da conta de energia elétrica, a sugestão é que o contrato com a distribuidora seja revisto, podendo a demanda ser alterada de 330 kW para 150 kW, o que mudaria também os rumos deste trabalho.

Simulando que ocorra a alteração da demanda, tem-se que o valor mínimo a ser pago à distribuidora pela disponibilidade da rede passa de R\$ 3.793,27 para R\$ 1.724,22. Como o valor do investimento se mantém em R\$ 1.065.000,00, realiza-se um novo cálculo de payback, que pode ser visto no Anexo D. Em resumo passa-se à situação mostrada da Tabela 6:

Ano	Desconto da conta de energia corrigido	Valor acumulado do desconto da conta de energia
1	12684,66747	169939,5367
2	11947,75602	317321,8263
3	11253,65519	456141,9918
4	10599,87792	586897,447
5	9984,081608	710056,7084
6	9404,059778	826061,0744
7	8857,73412	935326,2061
8	8343,147065	1038243,617
9	7897,747044	1127323,621

Tabela 6 – Payback do investimento após alteração de demanda contratada.

Esse novo cálculo resulta que o investimento será sanado em 100 meses, ou seja:

$$Payback = \frac{100}{12} = 8,33 = 8 \text{ anos e } 4 \text{ meses.}$$

Para confirmar a viabilidade do projeto após a alteração da demanda, utiliza-se a planilha do Anexo D para se calcular a TIR e o VPL. Nesse caso,

$$TIR = 15,83\%$$

$$VPL = R\$ 1.035.626,37.$$

Assim, mostra-se que a viabilidade econômica do projeto apresenta melhoras após a redução da demanda contratada. Portanto, sugere-se que a melhor forma de atuar nesta situação é alterar a demanda contratada antes da implantação do sistema.

Referências

- ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, v. 57, n. 3, p. 195 – 204, 2001. ISSN 0378-7796. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779601001018>>. 6, 7
- ALGIERI, B.; AQUINO, A.; SUCCURRO, M. Going “green”: trade specialisation dynamics in the solar photovoltaic sector. *Energy Policy*, v. 39, n. 11, p. 7275–7283, 2011. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:enepol:v:39:y:2011:i:11:p:7275-7283>>. 10, 1, 5
- ANEEL. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 2002. Agência Nacional de Energia Elétrica. 8, 9, 10
- ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 2. ed. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005. Capítulo 3. ISBN 85-87491-09-1. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. 11
- ANEEL. *Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril*. 2012. Agência Nacional de Energia Elétrica. 8
- ANEEL. *Resolução Normativa Nº 687, de 24 de Novembro*. 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. 8
- ANEEL. *Micro e Minigeração Distribuída - Sistema de Compensação de Energia Elétrica - Cadernos Temáticos ANEEL - 2ª edição*. 2016. Agência Nacional de Energia Elétrica. 8, 9
- ANEEL. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST - Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica*. 2016. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M?dulo8_Revis?o_7.pdf>. 8
- ANEEL. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST - Módulo 3*. 2017. Agência Nacional de Energia Elétrica. 20
- BIG. *Banco de Informações de Geração*. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. 9, 10
- CAMPOS, H. M. et al. Study of technical feasibility and the payback period of the invested capital for the installation of a grid-connected photovoltaic system at the library of the technological federal university of paraná. *International Journal of Energy and Environment*, v. 5, n. 6, p. 643–654, 2014. ISSN 2076-2895. 36
- CARLEY, S. Distributed generation: An empirical analysis of primary motivators. *Energy Policy*, v. 37, n. 5, p. 1648–1659, 2009. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:enepol:v:37:y:2009:i:5:p:1648-1659>>. 6
- CEMIG. *Manual de Gerenciamento de Energia*. 2011. 26
- CRESESB. *Centro de Referência para Energias Solar e Eólica*. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Sérgio de S. Brito. 21, 22

ELETROBRAS. *Energia Solar Aplicada aos Centros Comunitários de Produção - Guia para a elaboração de projetos - v. 2*. 2016. 19

EPE. *Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos*. 2014. 8, 5, 6, 12

FARIAS, L. A. de et al. Investigação experimental da geração de energia elétrica solar fotovoltaica. *HOLOS*, v. 3, n. 0, p. 82–90, 2010. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/386>>. 13

GREENPRO, P. A. *Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projetos e instalação*. 2004. PORTAL ENERGIA. 22, 32

HECKTHEUER, L. A. *Análise de Associações de Módulos Fotovoltaicos*. Tese (phdthesis) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jun. 2001. 8, 17, 18, 19

IEA. *Technology Roadmap - Solar Photovoltaic Energy*. 2014. International Energy Agency. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf>. 8, 4, 5, 21

LYNN, P. A. *Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics*. Wiley, 2010. ISBN 978-0-470-74560-1. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=1YbSMMyMEUkEC&printsec=frontcover&dq=Electricity+from+Sunlight:+An+Introduction+to+Photovoltaics&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjoc2X-4bZAhVMiZAKHZSFBY4Q6wEIKjAA#v=onepage&q=Electricity%20from%20Sunlight%3A%20An%20Introduction%20to%20Photovoltaics&f=false>>. 8, 11

MARQUES, A. E. B.; JÚNIOR, S. C.; CRUZ, E. C. A. *Dispositivos Semicondutores - Diodos e Transistores*. 6. ed. Editora Érica Ltda., 2001. ISBN 9788571943179. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=pfVYNwAACAAJ>>. 8, 13, 14, 15

MOLINA, E. *Norte geográfico e Norte magnético - Ed. 197*. 2012. WIKI. Universidade Federal de São Paulo. 24

OLIVEIRA, J. A. N. de. *Engenharia Econômica: Uma abordagem às decisões de investimento*. [S.l.]: Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1982. 39

PARMAIS. *Taxa de juros real, nominal e a SELIC*. 2017. Disponível em: <<https://www.parmais.com.br/blog/taxa-de-juros-real/>>. 39

PEPERMANS, G. et al. Distributed generation: definition, benefits and issues. *Energy Policy*, v. 33, n. 6, p. 787 – 798, 2005. ISSN 0301-4215. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503003069>>. 7, 8

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. 2014. CEPEL - CRESESB. 8, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 26, 28, 30, 32

POUDINEH, R.; JAMASB, T. Distributed generation, storage, demand response and energy efficiency as alternatives to grid capacity enhancement. *Energy Policy*, v. 67, p. 222 – 231, 2014. ISSN 0301-4215. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513012032>>. 7

REN21. *Renewables 2015 - Global Status Report*. 2015. Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. 8, 1, 3, 4, 5

SOUZA, R. di. *Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica - Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares*. 2015. Blue Sol Energia Solar. Disponível em: <www.blue-sol.com>. 9, 31

TEIXEIRA, P. H. G.; SANTOS, S. M. dos. *Energia e desenvolvimento: Uma análise a partir do conceito de racionalidade para o rio grande do norte*. 2001. 1

WWF. *Mecanismos de suporte para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira: modelos e sugestão para uma transição acelerada*. 2015. WWF - Brasil. 11

ANEXO A – Conta de Energia do ICEA



UFOP CAMPUS JOAO MONLEVADE
RUA TRINTA E SEIS 115
CRUZEIRO CELESTE
35931-022 JOAO MONLEVADE, MG
CNPJ 23.070.659/0001-10

Referente a
AGO/2017
Código de Débito Automático
008016814678

Nº DO CLIENTE
7000082021

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U - Nº000008178 - PTA Nº16.000114527.70

Classe	Subclasse	Datas de Leitura			Datas da Nota Fiscal		Nº DA INSTALAÇÃO
Poder Público	Poder Publico	Anterior	Atual	Próxima	Emissão	Apresentação	3010279602
	Federal	01/07	01/08	01/09	01/08	03/08	

Modalidade Tarifária	Informações Técnicas
THS Verde A4	

Informações Gerais

Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 2.248, de 23/05/2017.
Retenção de 5,85%, valor R\$ 1.013,13 ,
conforme Art. 64 da lei nº 9430, de 27/12/96.
Conforme DECRETO Nº 46.213, 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: ANA C. P. NEVES
E-MAIL: ana.neves@cemig.com.br

JUL/2017 Band. Amarela - AGO/2017 Band. Vermelha

Indicadores de Qualidade de Fornecimento

João Monlevade 3-Mês:06/2017 Valores Permitidos

Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual
DIC 0,00	3,57	7,15	14,30
FIC 0,00	2,17	4,35	8,71
DMIC 0,00	2,54	-	-
DICRI	9,77	-	-

Tensão: Nominal= 13,8 kV Mín.= 12,9 kV Máx.= 14,5 kV
Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$ 9.251,34

Valores Faturados

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	330	11,49485072	3.793,27
Energia At kWh HFP/Ún Amarela	20.650	0,29970873	6.188,97
Energia At kWh HFP/Ún Vermelha	700	0,31011131	217,06
Energia Ativa kWh HP Amarela	4.550	1,29266618	5.881,62
Energia Ativa kWh HP Vermelha	350	1,30306876	456,06
Energia Reativa kWh HFP/Único	1.050	0,25626755	269,06

Encargos/Cobranças

Juros mora 1%am: 27 dia(s) sobre R\$18228,08 164,05
Contrib. Custeio Ilum. Pública 45,26
Imposto Retido - IRPJ -207,81
Imposto Retido - PIS/PASEP -112,56
Imposto Retido - COFINS -519,58
Imposto Retido - CSLL -173,18
Multa 2% conta de 07/2017 sobre R\$ 17.489,76 349,79

Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar

Bandeira Amarela	524,31
Bandeira Vermelha	32,73

Indicadores de Qualidade de Fornecimento	Informações de Faturamento	VENCIMENTO	VALOR A PAGAR
João Monlevade 3-Mês:06/2017 Valores Permitidos Apurado Mensal Mensal Trimestral Anual DIC 0,00 3,57 7,15 14,30 FIC 0,00 2,17 4,35 8,71 DMIC 0,00 2,54 - - DICRI - 9,77 - - Tensão: Nominal= 13,8 kV Min.= 12,9 kV Máx.= 14,5 kV Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$ 9.251,34		22/08/2017	R\$ 16.352,01

Histórico de Consumo						Reservado ao Fisco					
Mês/Ano	Demanda(kW)		Energia(kWh)		HR	4DB3.6F5B.C793.E7C9.FB27.DA4E.6C1B.A41D					
	HP	HFP	HP	HFP		Base de cálculo (R\$)		ICMS Alíquota (%)	Valor (R\$)	PASEP Valor (R\$)	COFINS Valor (R\$)
JUL/17	102	88	5.250	22.050	0					115,92	534,40
JUN/17	112	95	5.250	22.400	0						
MAI/17	70	67	2.100	16.450	0						
ABR/17	137	123	6.300	24.850	0						
MAR/17	105	98	4.200	22.050	0						
FEV/17	116	105	3.850	20.300	0						
JAN/17	39	46	1.400	14.700	0						
DEZ/16	98	84	2.800	18.900	0						
NOV/16	137	130	5.250	23.800	0						
OUT/16	119	98	4.200	17.850	0						
SET/16	95	91	3.500	17.500	0						
AGO/16	109	95	5.250	21.000	0						
						NOTIFICAÇÃO DE CONTA(S) VENCIDA(S) / DÉBITO(S)					
						Até 01/08/2017 constava(m) o(s) seguinte(s) débito(s) vencido(s):					
						Mês/Ano		Valor (R\$)	Débitos que sujeitam ao corte, conforme abaixo:		
									Mês/Ano		Previsão de Corte
						A religação estará condicionada à inexistência de débitos vencidos na unidade consumidora.					

Oviduidoria CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis

Unidade de leitura 41030679	Conta Contrato 008016814678	Vencimento 22/08/2017	Total a pagar R\$ 16.352,01
--------------------------------	--------------------------------	--------------------------	--------------------------------



Agosto/2017



www.cemig.com.br/atendimento

Emergências: 0800 727 7520

Distribuição S.A.

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322136-0067
Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela
Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

DEMONSTRATIVO DE GRANDEZAS FATURADAS

Cliente:	UFOP CAMPUS JOAO MONLEVADE	Unidade:	JOAO MONLEVADE
Instalação:	3010279602	Medidor:	GMG084000847
Subgrupo:	A4	Local de Medição:	UFOP CAMPUS MONLEVADE
Modulação contratual/Horário de ponta:	às	Mês/Ano:	08/2017
		Dias livres:	e

LEITURAS						
Segmentos	HFP/único		HP		HR	
Grandezas	Leitura anterior	Leitura atual	Leitura anterior	Leitura atual	Leitura anterior	Leitura atual
kW		24		28		0
kWh	1.560	1.621	308	322	0	0
kVArh	774	810	80	83	0	0
UFER	48	51	1	1	0	0
DMCR		21		25		0

DEMANDA(kW)								
Segmento	Produto	Registrado	Acerto Reg.	Data/Hora	Acerto Fat.	Contratado	Faturado ultrapass.	Faturado normal
HFP/Único	Demanda ativa	84				330		330
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFDR							
	DMCR	74						
HP	Demanda ativa	98						
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFDR							
	DMCR	88						
HR	Demanda ativa							
	Demanda reativa - UFDR							
	DMCR							

ENERGIA (kWh)								
Segmento	Produto	Registrado	Acerto reg.	Contratado	Take	Acerto Fat.	Faturado ultrapass.	Faturado normal
HFP/Único	Energia ativa	21.350						21.350
	Energia Interruptível							
	Energia reativa - UFER	1.050						1.050
	kVArh	12.600						
HP	Energia ativa	4.900						4.900
	Energia Interruptível							
	Energia reativa - UFER							
	kVArh	1.050						
HR	Energia ativa							
	Energia reativa - UFER							
	kVArh							

FATORES			CONSTANTES	
Segmento	Fator de carga	Fator de potência	RTC	5
			RTP	70
HFP	0,373		kW	350
HP	0,794		kWh	350
HR			Perdas Transf.	
			Medidor	1,0

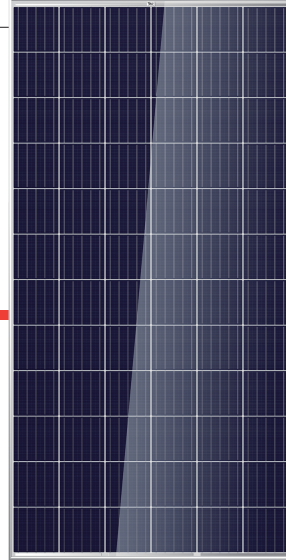
Notas:

	Tarifa resolução homologatória Anel (sem impostos): Dem. At. kW HFP/Único 11,05 En. Reat. kWh HFP/Único 0.24635 En. At kWh HFP/Ún Am. 0.28811 En. At kWh HFP/Ún Vm. 0.29811 En. At. kWh HP Am. 1.24264 En. At. kWh HP Vm. 1.25264
--	--

ANEXO B – DATASHEET DO MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO

Mono **Multi** Solutions

THE TALLMAX FRAMED 72-CELL MODULE



72 CELL
MULTICRYSTALLINE MODULE

320-340W
POWER OUTPUT RANGE

17.5%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading comprehensive solutions provider for solar energy. We believe close cooperation with our partners is critical to success. Trina Solar now distributes its PV products to over 60 countries all over the world. Trina is able to provide exceptional service to each customer in each market and supplement our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable partner. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaboration with installers, developers, distributors and other partners.

Comprehensive Products And System Certificates

IEC61215/IEC61730/UL1703/IEC61701/IEC62716
ISO 9001: Quality Management System
ISO 14001: Environmental Management System
ISO14064: Greenhouse gases Emissions Verification
OHSAS 18001: Occupation Health and Safety Management System



Trinasolar



Ideal for large scale installations

- High power footprint reduces installation time and BOS costs
- 1000V UL/1000V IEC certified



One of the industry's most trusted modules

- Field proven performance
- Strong, reliable supplier



Highly reliable due to stringent quality control

- Over 30 in-house tests (UV, TC, HF, and many more)
- In-house testing goes well beyond certification requirements
- PID resistant
- 100% EL double inspection

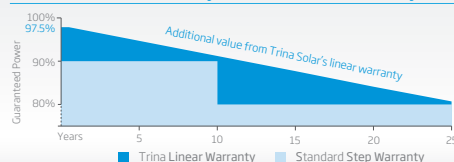


Certified to withstand the most challenging environmental conditions

- 2400 Pa wind load
- 5400 Pa snow load
- 35 mm hail stones at 97 km/h

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

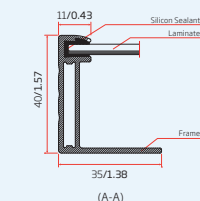
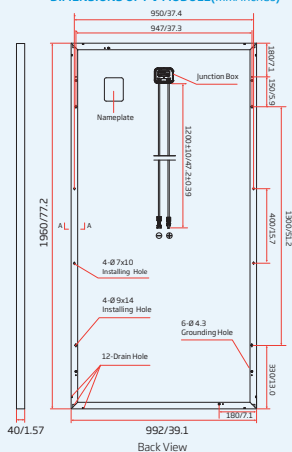
10 Year Product Warranty · 25 Year Linear Power Warranty



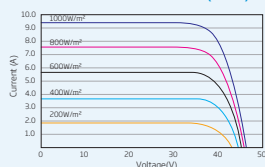
PRODUCTS
TSM-PD14

POWER RANGE
320-340W

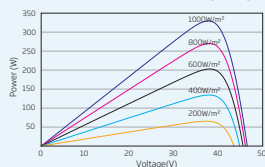
DIMENSIONS OF PV MODULE(mm/inches)



I-V CURVES OF PV MODULE(335W)



P-V CURVES OF PV MODULE(335W)



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	320	325	330	335	340
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage- V_{MP} (V)	37.1	37.2	37.4	37.6	37.8
Maximum Power Current- I_{MP} (A)	8.63	8.73	8.83	8.91	8.99
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	45.5	45.6	45.8	46.0	46.2
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	9.15	9.19	9.28	9.35	9.42
Module Efficiency η_m (%)	16.5	16.7	17.0	17.2	17.5

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: $\pm 3\%$.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	237	241	245	249	252
Maximum Power Voltage- V_{MP} (V)	34.3	34.4	34.6	34.8	35.0
Maximum Power Current- I_{MP} (A)	6.92	7.00	7.08	7.14	7.21
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	42.1	42.2	42.4	42.6	42.8
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	7.39	7.42	7.49	7.55	7.60

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Multicrystalline 156.75 × 156.75 mm (6 inches)
Cell Orientation	72 cells (6 × 12)
Module Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 inches)
Weight	22.5 kg (49.6 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Tempered Glass
Backsheet	White
Frame	Silver Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 67 or IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm² (0.006 inches²), 1200 mm (47.2 inches)
Connector	MC4/UTX
Fire Type	Type1 or Type 2

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	44°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.41%/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.05%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC (IEC) 1000V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	15A

(DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

WARRANTY

- 10 year Product Workmanship Warranty
- 25 year Linear Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

- Modules per box: 27 pieces
- Modules per 40' container: 648 pieces

ANEXO C – Payback do investimento.

Mês	Desconto da conta de energia (corrigido 0.5%)	Desconto na conta de energia	Valor acumulado do desconto da conta de energia
Investimento:	-1065000	-1065000	
0	11397	11397	11397
1	11340,29851	11397	11340,29851
2	11283,87911	11397	34021,17762
3	11227,74041	11397	45248,91803
4	11171,881	11397	56420,79903
5	11116,29951	11397	67537,09854
6	11060,99453	11397	78598,09308
7	11005,96471	11397	89604,05779
8	10951,20867	11397	100555,2665
9	10896,72504	11397	111451,9915
10	10842,51248	11397	122294,504
11	10788,56963	11397	133083,0736
12	10734,89516	11397	143817,9688
13	10681,48772	11397	154499,4565
14	10628,34599	11397	165127,8025
15	10575,46864	11397	175703,2711
16	10522,85437	11397	186226,1255
17	10470,50186	11397	196696,6274
18	10418,40981	11397	207115,0372
19	10366,57693	11397	217481,6141
20	10315,00192	11397	227796,616
21	10263,6835	11397	238060,2995
22	10212,6204	11397	248272,9199
23	10161,81134	11397	258434,7313
24	10111,25507	11397	268545,9863
25	10060,95032	11397	278606,9366
26	10010,89584	11397	288617,8325
27	9961,090386	11397	298578,9229
28	9911,532722	11397	308490,4556
29	9862,221614	11397	318352,6772
30	9813,155835	11397	328165,833
31	9764,334164	11397	337930,1672
32	9715,755387	11397	347645,9226
33	9667,418296	11397	357313,3409
34	9619,321687	11397	366932,6626
35	9571,464365	11397	376504,1269
36	9523,84514	11397	386027,9721
37	9476,462825	11397	395504,4349
38	9429,316244	11397	404933,7511
39	9382,404223	11397	414316,1554
40	9335,725595	11397	423651,881
41	9289,279199	11397	432941,1602

42	9243,06388	11397	442184,224
43	9197,078487	11397	451381,3025
44	9151,321878	11397	460532,6244
45	9105,792913	11397	469638,4173
46	9060,490461	11397	478698,9078
47	9015,413394	11397	487714,3212
48	8970,560591	11397	496684,8818
49	8925,930936	11397	505610,8127
50	8881,52332	11397	514492,336
51	8837,336637	11397	523329,6727
52	8793,369788	11397	532123,0425
53	8749,621679	11397	540872,6641
54	8706,091223	11397	549578,7554
55	8662,777337	11397	558241,5327
56	8619,678942	11397	566861,2116
57	8576,794967	11397	575438,0066
58	8534,124345	11397	583972,1309
59	8491,666015	11397	592463,797
60	8449,418921	11397	600913,2159
61	8407,382011	11397	609320,5979
62	8365,554239	11397	617686,1521
63	8323,934567	11397	626010,0867
64	8282,521957	11397	634292,6087
65	8241,31538	11397	642533,924
66	8200,313811	11397	650734,2378
67	8159,51623	11397	658893,7541
68	8118,921622	11397	667012,6757
69	8078,528977	11397	675091,2047
70	8038,33729	11397	683129,542
71	7998,345562	11397	691127,8875
72	7958,552798	11397	699086,4403
73	7918,958008	11397	707005,3983
74	7879,560207	11397	714884,9585
75	7840,358415	11397	722725,317
76	7801,351657	11397	730526,6686
77	7762,538962	11397	738289,2076
78	7723,919365	11397	746013,1269
79	7685,491906	11397	753698,6188
80	7647,255628	11397	761345,8745
81	7609,20958	11397	768955,0841
82	7571,352816	11397	776526,4369
83	7533,684394	11397	784060,1213
84	7496,203377	11397	791556,3246
85	7458,908833	11397	799015,2335
86	7421,799833	11397	806437,0333
87	7384,875456	11397	813821,9088

88	7348,134782	11397	821170,0435
89	7311,576898	11397	828481,6204
90	7275,200893	11397	835756,8213
91	7239,005864	11397	842995,8272
92	7202,990909	11397	850198,8181
93	7167,155134	11397	857365,9732
94	7131,497646	11397	864497,4709
95	7096,017558	11397	871593,4884
96	7060,713988	11397	878654,2024
97	7025,586058	11397	885679,7885
98	6990,632893	11397	892670,4214
99	6955,853625	11397	899626,275
100	6921,247388	11397	906547,5224
101	6886,813321	11397	913434,3357
102	6852,550569	11397	920286,8863
103	6818,458277	11397	927105,3446
104	6784,535599	11397	933889,8802
105	6750,781691	11397	940640,6619
106	6717,195712	11397	947357,8576
107	6683,776828	11397	954041,6344
108	6650,524207	11397	960692,1586
109	6617,437022	11397	967309,5956
110	6584,51445	11397	973894,1101
111	6551,755671	11397	980445,8657
112	6519,159872	11397	986965,0256
113	6486,726241	11397	993451,7519
114	6454,453971	11397	999906,2058
115	6422,34226	11397	1006328,548
116	6390,390308	11397	1012718,938
117	6358,597321	11397	1019077,536
118	6326,962509	11397	1025404,498
119	6295,485083	11397	1031699,983
120	6264,164262	11397	1037964,148
121	6232,999266	11397	1044197,147
122	6201,989319	11397	1050399,136
123	6171,133651	11397	1056570,27
124	6140,431494	11397	1062710,701
125	6109,882083	11397	1068820,583
126	6079,48466	11397	
127	6049,238467	11397	
128	6019,142754	11397	
129	5989,19677	11397	
130	5959,399771	11397	
131	5929,751016	11397	
132	5900,249767	11397	
133	5870,895291	11397	

134	5841,686856	11397
135	5812,623738	11397
136	5783,705212	11397
137	5754,930559	11397
138	5726,299063	11397
139	5697,810013	11397
140	5669,4627	11397
141	5641,256418	11397
142	5613,190465	11397
143	5585,264145	11397
144	5557,476761	11397
145	5529,827623	11397
146	5502,316043	11397
147	5474,941336	11397
148	5447,702822	11397
149	5420,599823	11397
150	5393,631664	11397
151	5366,797676	11397
152	5340,09719	11397
153	5313,529542	11397
154	5287,094072	11397
155	5260,790121	11397
156	5234,617036	11397
157	5208,574165	11397
158	5182,660861	11397
159	5156,876479	11397
160	5131,220377	11397
161	5105,691917	11397
162	5080,290465	11397
163	5055,015388	11397
164	5029,866058	11397
165	5004,841848	11397
166	4979,942138	11397
167	4955,166306	11397
168	4930,513738	11397
169	4905,983818	11397
170	4881,575939	11397
171	4857,289491	11397
172	4833,123872	11397
173	4809,07848	11397
174	4785,152716	11397
175	4761,345986	11397
176	4737,657698	11397
177	4714,087261	11397
178	4690,634091	11397
179	4667,297603	11397

180	4644,077217	11397
181	4620,972355	11397
182	4597,982443	11397
183	4575,106908	11397
184	4552,345182	11397
185	4529,696699	11397
186	4507,160894	11397
187	4484,737208	11397
188	4462,425083	11397
189	4440,223963	11397
190	4418,133297	11397
191	4396,152534	11397
192	4374,281128	11397
193	4352,518536	11397
194	4330,864214	11397
195	4309,317626	11397
196	4287,878235	11397
197	4266,545508	11397
198	4245,318913	11397
199	4224,197923	11397
200	4203,182013	11397
201	4182,27066	11397
202	4161,463343	11397
203	4140,759546	11397
204	4120,158752	11397
205	4099,66045	11397
206	4079,264129	11397
207	4058,969283	11397
208	4038,775406	11397
209	4018,681996	11397
210	3998,688553	11397
211	3978,79458	11397
212	3958,999582	11397
213	3939,303067	11397
214	3919,704544	11397
215	3900,203526	11397
216	3880,799529	11397
217	3861,492068	11397
218	3842,280665	11397
219	3823,164841	11397
220	3804,14412	11397
221	3785,21803	11397
222	3766,3861	11397
223	3747,64786	11397
224	3729,002846	11397
225	3710,450593	11397

226	3691,99064	11397
227	3673,622527	11397
228	3655,345798	11397
229	3637,159998	11397
230	3619,064675	11397
231	3601,059378	11397
232	3583,14366	11397
233	3565,317074	11397
234	3547,579178	11397
235	3529,929531	11397
236	3512,367692	11397
237	3494,893226	11397
238	3477,505698	11397
239	3460,204674	11397
240	3442,989726	11397
241	3425,860424	11397
242	3408,816342	11397
243	3391,857057	11397
244	3374,982146	11397
245	3358,19119	11397
246	3341,483771	11397
247	3324,859474	11397
248	3308,317884	11397
249	3291,858591	11397
250	3275,481185	11397
251	3259,185259	11397
252	3242,970407	11397
253	3226,836226	11397
254	3210,782314	11397
255	3194,808273	11397
256	3178,913704	11397
257	3163,098213	11397
258	3147,361406	11397
259	3131,702892	11397
260	3116,12228	11397
261	3100,619185	11397
262	3085,193218	11397
263	3069,843998	11397
264	3054,571143	11397
265	3039,374271	11397
266	3024,253006	11397
267	3009,206971	11397
268	2994,235793	11397
269	2979,339097	11397
270	2964,516514	11397
271	2949,767676	11397

272	2935,092215	11397
273	2920,489766	11397
274	2905,959966	11397
275	2891,502454	11397
276	2877,11687	11397
277	2862,802855	11397
278	2848,560055	11397
279	2834,388115	11397
280	2820,286681	11397
281	2806,255404	11397
282	2792,293935	11397
283	2778,401925	11397
284	2764,57903	11397
285	2750,824905	11397
286	2737,139209	11397
287	2723,521601	11397
288	2709,971742	11397
289	2696,489296	11397
290	2683,073926	11397
291	2669,7253	11397
292	2656,443084	11397
293	2643,22695	11397
294	2630,076567	11397
295	2616,991609	11397
296	2603,97175	11397
297	2591,016667	11397
298	2578,126037	11397
299	2565,299539	11397

VPL: 712.737,09
TIR mensal: 1,019%
TIR anual: 12,9376%

ANEXO D – Payback do projeto caso ocorra a redução da demanda contratada de 330kW para 150kW.

Mês	Desconto da conta de energia (corrigido)	Desconto da conta de energia	Valor acumulado do desconto da conta de energia
Investimento	-1065000	-1065000	
0	13467,03	13467	13467,03
1	13400,02985	13467	26867,05985
2	13333,36304	13467	40200,42289
3	13267,0279	13467	53467,45078
4	13201,02278	13467	66668,47356
5	13135,34605	13467	79803,81962
6	13069,99607	13467	92873,81569
7	13004,97122	13467	105878,7869
8	12940,26987	13467	118819,0568
9	12875,89041	13467	131694,9472
10	12811,83126	13467	144506,7784
11	12748,0908	13467	157254,8692
12	12684,66747	13467	169939,5367
13	12621,55967	13467	182561,0964
14	12558,76584	13467	195119,8622
15	12496,28442	13467	207616,1466
16	12434,11385	13467	220050,2605
17	12372,25258	13467	232422,5131
18	12310,69909	13467	244733,2122
19	12249,45183	13467	256982,664
20	12188,50928	13467	269171,1733
21	12127,86993	13467	281299,0432
22	12067,53227	13467	293366,5755
23	12007,4948	13467	305374,0703
24	11947,75602	13467	317321,8263
25	11888,31445	13467	329210,1407
26	11829,1686	13467	341039,3093
27	11770,31702	13467	352809,6264
28	11711,75823	13467	364521,3846
29	11653,49077	13467	376174,8754
30	11595,51321	13467	387770,3886
31	11537,82409	13467	399308,2127
32	11480,42198	13467	410788,6346
33	11423,30545	13467	422211,9401
34	11366,47308	13467	433578,4132
35	11309,92347	13467	444888,3366
36	11253,65519	13467	456141,9918
37	11197,66686	13467	467339,6587
38	11141,95707	13467	478481,6158
39	11086,52445	13467	489568,1402
40	11031,36761	13467	500599,5078
41	10976,48519	13467	511575,993
42	10921,87581	13467	522497,8688

43	10867,53812	13467	533365,4069
44	10813,47076	13467	544178,8777
45	10759,6724	13467	554938,5501
46	10706,14169	13467	565644,6918
47	10652,8773	13467	576297,5691
48	10599,87792	13467	586897,447
49	10547,1422	13467	597444,5892
50	10494,66886	13467	607939,2581
51	10442,45658	13467	618381,7146
52	10390,50406	13467	628772,2187
53	10338,81001	13467	639111,0287
54	10287,37314	13467	649398,4018
55	10236,19218	13467	659634,594
56	10185,26585	13467	669819,8599
57	10134,59289	13467	679954,4528
58	10084,17203	13467	690038,6248
59	10034,00202	13467	700072,6268
60	9984,081608	13467	710056,7084
61	9934,40956	13467	719991,118
62	9884,984637	13467	729876,1026
63	9835,805609	13467	739711,9082
64	9786,871253	13467	749498,7795
65	9738,180351	13467	759236,9598
66	9689,731692	13467	768926,6915
67	9641,524072	13467	778568,2156
68	9593,556291	13467	788161,7719
69	9545,827155	13467	797707,599
70	9498,335478	13467	807205,9345
71	9451,080077	13467	816657,0146
72	9404,059778	13467	826061,0744
73	9357,273411	13467	835418,3478
74	9310,719812	13467	844729,0676
75	9264,397823	13467	853993,4654
76	9218,306292	13467	863211,7717
77	9172,444071	13467	872384,2158
78	9126,810021	13467	881511,0258
79	9081,403006	13467	890592,4288
80	9036,221897	13467	899628,6507
81	8991,265569	13467	908619,9163
82	8946,532904	13467	917566,4492
83	8902,02279	13467	926468,472
84	8857,73412	13467	935326,2061
85	8813,665791	13467	944139,8719
86	8769,816707	13467	952909,6886
87	8726,185778	13467	961635,8743
88	8682,771919	13467	970318,6463

89	8639,574048	13467	978958,2203
90	8596,591093	13467	987554,8114
91	8553,821983	13467	996108,6334
92	8511,265655	13467	1004619,899
93	8468,92105	13467	1013088,82
94	8426,787114	13467	1021515,607
95	8384,8628	13467	1029900,47
96	8343,147065	13467	1038243,617
97	8301,63887	13467	1046545,256
98	8260,337184	13467	1054805,593
99	8219,240979	13467	1063024,834
100	8178,349233	13467	1071203,183
101	8137,660929	13467	
102	8097,175053	13467	
103	8056,8906	13467	
104	8016,806568	13467	
105	7976,921958	13467	
106	7937,235779	13467	
107	7897,747044	13467	
108	7858,45477	13467	
109	7819,35798	13467	
110	7780,455701	13467	
111	7741,746967	13467	
112	7703,230812	13467	
113	7664,906281	13467	
114	7626,772419	13467	
115	7588,828278	13467	
116	7551,072913	13467	
117	7513,505386	13467	
118	7476,124762	13467	
119	7438,930112	13467	
120	7401,920509	13467	
121	7365,095034	13467	
122	7328,45277	13467	
123	7291,992806	13467	
124	7255,714235	13467	
125	7219,616154	13467	
126	7183,697666	13467	
127	7147,957876	13467	
128	7112,395897	13467	
129	7077,010843	13467	
130	7041,801834	13467	
131	7006,767994	13467	
132	6971,908451	13467	
133	6937,22234	13467	
134	6902,708796	13467	

135	6868,366961	13467
136	6834,195981	13467
137	6800,195006	13467
138	6766,36319	13467
139	6732,699692	13467
140	6699,203673	13467
141	6665,874302	13467
142	6632,710748	13467
143	6599,712187	13467
144	6566,877798	13467
145	6534,206764	13467
146	6501,698273	13467
147	6469,351515	13467
148	6437,165687	13467
149	6405,139987	13467
150	6373,273619	13467
151	6341,56579	13467
152	6310,015711	13467
153	6278,622598	13467
154	6247,38567	13467
155	6216,304149	13467
156	6185,377263	13467
157	6154,604242	13467
158	6123,98432	13467
159	6093,516736	13467
160	6063,200733	13467
161	6033,035555	13467
162	6003,020453	13467
163	5973,154679	13467
164	5943,437492	13467
165	5913,868151	13467
166	5884,445921	13467
167	5855,170071	13467
168	5826,039872	13467
169	5797,054599	13467
170	5768,213531	13467
171	5739,515951	13467
172	5710,961146	13467
173	5682,548404	13467
174	5654,277019	13467
175	5626,146287	13467
176	5598,15551	13467
177	5570,30399	13467
178	5542,591034	13467
179	5515,015955	13467
180	5487,578064	13467

181	5460,276681	13467
182	5433,111125	13467
183	5406,080722	13467
184	5379,184798	13467
185	5352,422684	13467
186	5325,793716	13467
187	5299,29723	13467
188	5272,932567	13467
189	5246,699071	13467
190	5220,596091	13467
191	5194,622976	13467
192	5168,779081	13467
193	5143,063762	13467
194	5117,47638	13467
195	5092,016298	13467
196	5066,682884	13467
197	5041,475506	13467
198	5016,393539	13467
199	4991,436357	13467
200	4966,60334	13467
201	4941,893871	13467
202	4917,307334	13467
203	4892,843119	13467
204	4868,500616	13467
205	4844,279219	13467
206	4820,178328	13467
207	4796,197341	13467
208	4772,335663	13467
209	4748,592699	13467
210	4724,96786	13467
211	4701,460557	13467
212	4678,070206	13467
213	4654,796225	13467
214	4631,638035	13467
215	4608,59506	13467
216	4585,666726	13467
217	4562,852464	13467
218	4540,151705	13467
219	4517,563886	13467
220	4495,088444	13467
221	4472,724819	13467
222	4450,472457	13467
223	4428,330803	13467
224	4406,299307	13467
225	4384,377419	13467
226	4362,564596	13467

227	4340,860295	13467
228	4319,263975	13467
229	4297,7751	13467
230	4276,393134	13467
231	4255,117546	13467
232	4233,947807	13467
233	4212,88339	13467
234	4191,923771	13467
235	4171,068429	13467
236	4150,316845	13467
237	4129,668503	13467
238	4109,122888	13467
239	4088,679491	13467
240	4068,337802	13467
241	4048,097315	13467
242	4027,957527	13467
243	4007,917938	13467
244	3987,978047	13467
245	3968,137361	13467
246	3948,395384	13467
247	3928,751626	13467
248	3909,205598	13467
249	3889,756814	13467
250	3870,40479	13467
251	3851,149044	13467
252	3831,989099	13467
253	3812,924477	13467
254	3793,954703	13467
255	3775,079306	13467
256	3756,297817	13467
257	3737,609769	13467
258	3719,014695	13467
259	3700,512134	13467
260	3682,101626	13467
261	3663,782713	13467
262	3645,554938	13467
263	3627,417849	13467
264	3609,370994	13467
265	3591,413924	13467
266	3573,546193	13467
267	3555,767356	13467
268	3538,076972	13467
269	3520,474599	13467
270	3502,9598	13467
271	3485,532139	13467
272	3468,191183	13467

273	3450,9365	13467
274	3433,767662	13467
275	3416,684241	13467
276	3399,685812	13467
277	3382,771952	13467
278	3365,942241	13467
279	3349,19626	13467
280	3332,533592	13467
281	3315,953823	13467
282	3299,45654	13467
283	3283,041333	13467
284	3266,707794	13467
285	3250,455517	13467
286	3234,284096	13467
287	3218,193131	13467
288	3202,182219	13467
289	3186,250965	13467
290	3170,39897	13467
291	3154,625841	13467
292	3138,931185	13467
293	3123,314612	13467
294	3107,775733	13467
295	3092,314162	13467
296	3076,929515	13467
297	3061,621407	13467
298	3046,38946	13467
299	3031,233294	13467

VPL: 1035626,371
TIR mensal: 1,23%
TIR anual: 15,83%