

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS –
CAMPUS DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**JOÃO VITOR ARAUJO VIEIRA
PETERSON FERREIRA MOURA PINTO
RAYAN NASCIMENTO TEIXEIRA**

**FUNDAMENTOS DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO
BRASIL**

Goiânia, 2022

JOÃO VITOR ARAUJO VIEIRA

PETERSON FERREIRA

RAYAN NASCIMENTO TEIXEIRA

**FUNDAMENTOS DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO
BRASIL**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Departamento de Áreas Acadêmicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – *Campus* Goiânia como requisito parcial para aprovação na disciplina TCC 2.

Orientador: Prof. (Dr.) Renato Jayme Dias.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: João Vitor Araujo Vieira

Matrícula: 20161011060295

Título do Trabalho: Fundamentos da utilização de sistemas fotovoltaicos no Brasil

Autorização - Marque uma das opções

- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 01/03/2026 (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2** ou **3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 01/03/2023.

João Vitor A. Vieira

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Peterson Pereira Moura Pinto

Matrícula: 20181011060044

Título do Trabalho: Fundamentos de utilização de sistemas operacionais no Brasil

Autorização - Marque uma das opções

- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 01/03/2026 (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 01/03/2023

Peterson Pereira Moura Pinto

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: RAYAN NASCIMENTO TEIXEIRA

Matrícula: 2026303306005

Título do Trabalho: Fundamentos da utilização de sistemas fotovoltaicos no Brasil

Autorização - Marque uma das opções

- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 01/03/2026 (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 01/03/2023

Rayan Nascimento Teixeira

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

JOÃO VITOR ARAUJO VIEIRA

PETERSON FERREIRA

RAYAN NASCIMENTO TEIXEIRA

**FUNDAMENTOS DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso, submetido à Coordenação da Área de telecomunicações, Departamento das Áreas Acadêmicas IV do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. (Dr.) Renato Jayme Dias.

V673f Vieira, João Vitor Araujo.

Fundamentos da utilização de sistemas fotovoltaicos no Brasil / João Vitor Araujo Vieira, Peterson Ferreira Moura Pinto, Rayan Nascimento Teixeira. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2022.
95 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Renato Jayme Dias.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Bacharelado em Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Sistema fotovoltaico. 2. Energia renovável. 3. Energia solar. I. Pinto, Peterson Ferreira Moura. II. Teixeira, Rayan Nascimento. III. Dias, Renato Jayme (orientador). IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. V. Título.

CDD 621.47

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS CÂMPUS GOIÂNIA

ATA DE REALIZAÇÃO DA SESSÃO PÚBLICA ON-LINE DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC) DO CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DAS ÁREAS ACADÊMICAS IV DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS, CÂMPUS GOIÂNIA.

Aos 30 dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte dois, às 18:00 horas, via webconferência, reuniu-se a banca avaliadora, convidada por meio de e-mail, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Renato Jayme Dias (Orientador e Presidente da Banca Avaliadora), Prof. Me. Charles dos Santos Costa (Membro Interno da Banca Avaliadora), e Prof. Me. Camille Reátegui Silva (Membro Externo da Banca Avaliadora) para a realização da sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), intitulado FUNDAMENTOS DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL, de autoria dos graduandos JOÃO VITOR ARAÚJO VIEIRA (Matrícula: 20161011060295), RAYAN NASCIMENTO TEIXEIRA (Matrícula: 20161011060015) e PETERSON FERREIRA MOURA PINTO (Matrícula: 20181011060044) do CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, como requisito final para obtenção do título de ENGENHEIROS ELETRICISTAS. PARECER: Após as arguições dos membros da banca examinadora, por decisão unânime, o trabalho foi **APROVADO SEM CORREÇÕES**, a nota final atribuída foi: 10,0 (dez vírgula zero). FECHAMENTO: Nada mais havendo a tratar, o presidente da banca avaliadora, Professor Renato Jayme Dias, agradeceu a participação de todos e encerrou a sessão pública on-line de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) às 20 (vinte) horas e 00 (zero) minutos. Eu, Renato Jayme Dias, Orientador e Presidente da Banca Avaliadora, lavrei a presente Ata assinada pela banca avaliadora. Goiânia, 30 de junho de 2022. Nada mais a constar, encerro a presente Ata.

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Renato Jayme Dias	(Orientador e Presidente- IFG)
Prof. Me. Charles dos Santos Costa	(Membro Interno - IFG)
Prof. Me. Camille Reátegui Silva	(Membro Externo - IFRN)

Renato Jayme Dias
Prof. Dr. Renato Jayme Dias (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Charles dos Santos Costa
Prof. Me. Charles dos Santos Costa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Camille Reátegui Silva
Prof. Me. Camille Reátegui Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

RESUMO

Texto que aborda sobre o que é energia solar fotovoltaica no brasil e como realizar um passo a passo de instalação de um sistema. A escrita aborda temas como: Como calcular a potência de inversores, módulos fotovoltaicos e proteção do sistema fotovoltaico. Como dimensionar corretamente a potência de uma usina para determinado valor de consumo de cada cliente. O objetivo do texto é descrever um passo a passo de uma instalação, desde o dimensionamento ao comissionamento.

Palavras chaves: Energia solar fotovoltaica. Instalação. Inversores. Módulos fotovoltaicos. Dimensionamento. Comissionamento

ABSTRACT

Text that discusses what is photovoltaic solar energy in Brazil and how to perform a step by step installation of a system. The writing covers topics such as: How to calculate the power of inverters, photovoltaic modules and protection of the photovoltaic system. How to correctly scale the power of a plant to a given consumption value of each customer. The purpose of the text is to describe a walkthrough of an installation, from sizing to commissioning.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Installation. Inverters. Photovoltaic modules. Sizing. Commissioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema ilustrativo de um sistema fotovoltaico.....	11
Figura 2: índice de radiação.....	12
Figura 3: Painéis solar	13
Figura 4: Inversores	13
Figura 5: Estrutura em solo	15
Figura 6: Estrutura em telhado	15
Figura 7: Aterramento	16
Figura 8: Espectro eletromagnético.....	19
Figura 9: Comprimento das radiações provenientes da luz solar	19
Figura 10: Movimentação de rotação e translação da terra em torno do sol	21
Figura 11: Camadas atmosféricas.....	22
Figura 12: Tipos de irradiação.....	22
Figura 13: Radiação solar e a latitude terrestre.	23
Figura 14: Ângulo Zenital.	25
Figura 15: Angulação do modulo fotovoltaico.....	25
Figura 16: Irradiação em Goiânia.....	26
Figura 17: Irradiação em Rio de Janeiro	27
Figura 18: Efeito fotovoltaico.....	30
Figura 19: Curva I-V e Curva PV.....	31
Figura 20: Piranômetro	32
Figura 21: Pannel solar de silício.	33
Figura 22: Pannel solar de silício.	34
Figura 23: Camadas do módulo fotovoltaico	36
Figura 24: Atuação do Diodo de Bypass em um caso de sombreamento.....	37
Figura 25: Atuação da tecnologia Half-Cell nos módulos fotovoltaicos afim de evitar aquecimento e melhorar a geração	38
Figura 26: Diferença entre módulo convencional e bifacial.	39
Figura 27: Módulo Fotovoltaico feito de grafeno.	40
Figura 28: Telha fotovoltaica.	40
Figura 29: Funcionamento da tecnologia PEC.....	41
Figura 30: Eficiências nos módulos fotovoltaicos.....	42
Figura 31: Inversor Grid Tie da Fabricante DEYE 3.000W (3kW) - 1 MPPT (1 STRING) ...	45
Figura 32: Exemplo de Inversor e suas String's no sistema.....	46
Figura 33: Sombreamento em um painel de uma string que é refletido para os painéis que não estão sombreados.....	47
Figura 34: Inversor centralizado de 6,25MW da Kstar.	48
Figura 35: Atuação do Sistema de Inversores Solaredge com Otimizador de Potência x Inversor String	49
Figura 36: Inversor Simplificado com Otimizador de Potência.....	50
Figura 37: Sombreamento no MLPE.....	51
Figura 38: Segurança MLPE.	51
Figura 39: MicroInversor APSystems	53
Figura 40: Microinversor APSystems	53
Figura 41: StringBox Momberg	55
Figura 42: Modelo de Instalação StringBox CC	56
Figura 43: Orientação e angulação do módulo fotovoltaico.....	59
Figura 44: Datasheet do módulo fotovoltaico 460W.....	60

Figura 45: Datasheet do módulo fotovoltaico 545W.....	61
Figura 46: Datasheet do módulo fotovoltaico 665W.....	61
Figura 47: Inversor com ou sem Oversizing.	64
Figura 48: Datasheet Inversor Tradicional Growatt 7kW e 8kW.....	66
Figura 49: Datasheet microinversor DS3D Apsystems.....	66
Figura 50: Datasheet Inversor simplificado com otimizador de potência SolarEdge	67
Figura 51: Tensão mínima para a inicialização do sistema: 100Vdc.	68
Figura 52: Software de dimensionamento de inversores e painéis Designer SolarEdge.....	70
Figura 53: Estrutura de fixação gancho.....	71
Figura 54: Módulos fotovoltaicos em telha cerâmica.	71
Figura 55: Fixação dos módulos fotovoltaicos em telha cerâmica.....	72
Figura 56: Fixação do parafuso estrutural madeira	72
Figura 57: Estrutura de fibrocimento com viga de madeira.	73
Figura 58: Aplicação do parafuso estrutural em fibrocimento com viga de madeira.....	73
Figura 59: Fixação do parafuso estrutural em fibrocimento com viga de metal	74
Figura 60: Aplicação do parafuso estrutural em fibrocimento com viga de metal.....	74
Figura 61: Aplicação do suporte shingle	75
Figura 62: Aplicação do suporte shingle.	75
Figura 63: Aplicação do suporte shingle.	75
Figura 64: Módulos fotovoltaicos em telha telha.	76
Figura 65: Fixador para telha telha.....	76
Figura 66: Estrutura telhado trapezoidal metálico Minitrilho.	77
Figura 67: Aplicação da estrutura telhado trapezoidal metálico - minitrilho.....	77
Figura 68: Aplicação da estrutura para laje – triângulo de inversão	78
Figura 69: Triângulo de inversão.....	78
Figura 70: Aplicação Estrutura de solo.	79
Figura 71: Estrutura de solo.	80
Figura 72: Fixação de perfis em telhado cerâmico.....	81
Figura 73: Inversor tradicional	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Angulação dos módulos fotovoltaicos de acordo com a região.	28
Tabela 2: Eficiência MicroInversor APSsystems – Retirado Datasheet APSsystems QS1A-1500W	54
Tabela 3: Eficiência Inversor Simplificado – Retirado Datasheet SolarEdge 27.6k.....	54
Tabela 4: Eficiência Inversor Tradicional – Retirado Datasheet Canadian Monofásico 3KW	54
Tabela 5: Corrente de potência máxima"	69

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. PASSO A PASSO	11
3. RADIAÇÃO SOLAR	18
3.1 O Que é Radiação Solar	18
3.2 Variação de radiação por região	20
3.3 Influência da radiação solar para a geração do sistema fotovoltaico.....	24
4. MODULO FOTOVOLTAICO.....	29
4.1 Conceito de módulo fotovoltaico ou painel solar	29
4.2 Processo de conversão de energia nos painéis solares.....	31
4.3 Diferentes tecnologias presentes de módulos fotovoltaicos.	32
4.4 Novas tecnologias de Módulos	38
4.5 - Eficiência das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos	42
5. TIPOS DE INVERSORES.....	44
5.1 O que é Inversor Grid Tie?	44
5.2 Diferentes Tecnologias de Inversores Fotovoltaicos:	44
5.2.1 Inversores Tradicionais/ Inversores de String / Inversor convencional.....	44
5.2.2 Inversores Simplificados com Otimizador de Potência	48
5.2.3 Microinversores:	52
5.3 Eficiência dos Inversores	54
5.4 Sistemas de Proteção dos Inversores.	54
5.5 Sistemas de Proteção contra choque. (Sistema de desligamento e tensão nos painéis)..	56
6. DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	59
6.1 Escolha da tecnologia do módulo fotovoltaico	59
6.2 Escolha da potência do módulo fotovoltaico	60
6.3 Relação entre painel solar e potência em corrente contínua do sistema fotovoltaico.....	62
6.4 Cálculo da potência em kilo-watt-pico (kWp).....	62
6.4.1 Cenário 1 composto por módulos de 460W	62
6.4.2 Cenário 2 composto por módulos de 545W	63
6.4.3 Cenário 3 composto por módulos de 665W	63
7. DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES.	64
7.1 Potência máxima de entrada e saída.	65
7.2 Tensão máxima de entrada.	67
7.3 Tensão de inicialização.	68
7.5 Escolha do Inversor.	69
8. TIPOS DE ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS ..	71
8.1 Estrutura de fixação para telhado cerâmico	71
8.2 Estrutura de fixação para telhado fibrocimento com viga de madeira.....	72
8.3 Estrutura de fixação para telhado fibrocimento com viga de metal.....	73
8.4 Estrutura de fixação para telhado shingle	75
8.5 Estrutura de fixação para telha tégula ou de concreto	76
8.6 Estrutura de fixação para telhado trapezoidal metálico	77
8.7 Estrutura de fixação para telhado sanduíche.....	78

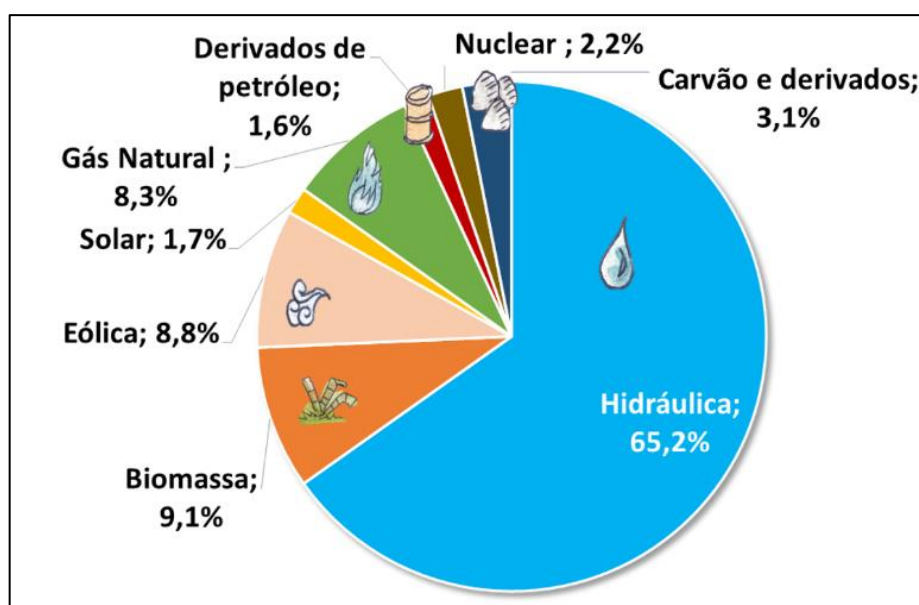
8.8 Estrutura de fixação para laje.....	78
8.9 Estrutura de fixação em solo.....	79
9. MONTAGEM	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS	84

1. INTRODUÇÃO

Mediante a necessidade de preservação ambiental e diminuição da dependência de fontes renováveis, há um estímulo para a busca de fontes de energia renováveis (RIDELENSKY, 2021). Dessa forma, o Brasil segue o mesmo curso, objetivando diversificar a sua matriz energética, sobretudo, com a ampliação das fontes renováveis (VIEIRA, 2021).

Além disso, o aumento da demanda energética é um dos fatores que exigem a implementação de novas fontes e crescimento da matriz energética (TEIXEIRA, et al., 2021). O Gráfico 1 ilustra a disposição da matriz energética no Brasil em 2021.

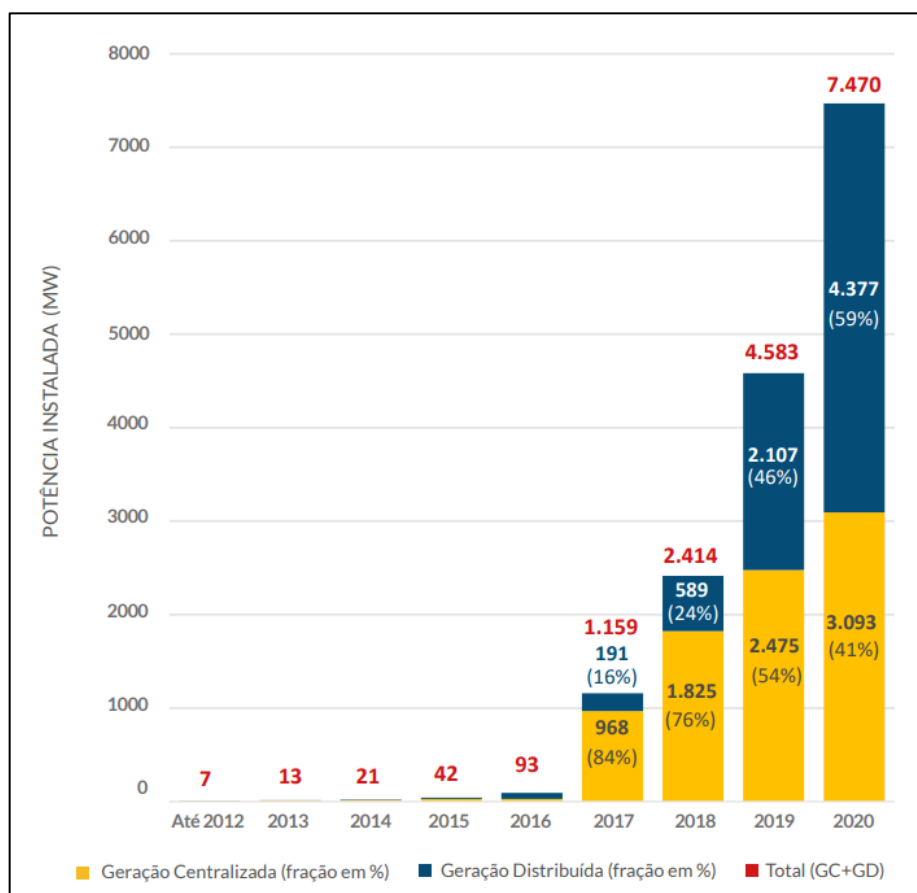
Gráfico 1: Diversificação da matriz energética no Brasil.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2021).

A partir da Gráfico 1, nota-se uma grande dependência das hidroelétricas, visto que aproximadamente 65% da energia do Brasil provem dessa fonte (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021). Dessa forma, para diminuir a dependência ao sistema hidroelétrico, o Brasil necessita de investimentos em novas fontes, principalmente as de cunho renovável, como a eólica e solar (BEZERRA, 2021). Assim, para diversificar os meios de geração, a energia solar surge como uma alternativa interessante, devido aos seus benefícios, comparada a outras fontes tradicionais, recebendo estímulos para o seu crescimento em solo nacional (BRASIL, 2020). O Gráfico 2 traz uma evolução da geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos.

Gráfico 2: Evolução do crescimento da geração elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos.



Fonte: ABSolar (2021)

Nos últimos anos houve um grande crescimento da produção de energia elétrica através de usinas fotovoltaicas (UFV), com previsão de aumento contínuo para os próximos anos (DANTAS, 2020).

Como justificativa, em 2021, o Brasil passa por uma redução de consumo energético, a partir do Decreto nº 10.779 (BRASIL, 2021), segundo Castro e Brandão (2021) e Falcão et al. (2019) as causas para esse racionamento é motivado pela crise hídrica e a grande dependência do Brasil em hidrelétricas, fator que expõe a necessidade de diversificação da matriz energética brasileira, tendo na energia solar uma alternativa para suprir esse escopo. Diante do ilustrado, descrever um retrato acerca da utilização de sistemas fotovoltaicos no Brasil, é o objetivo central do estudo.

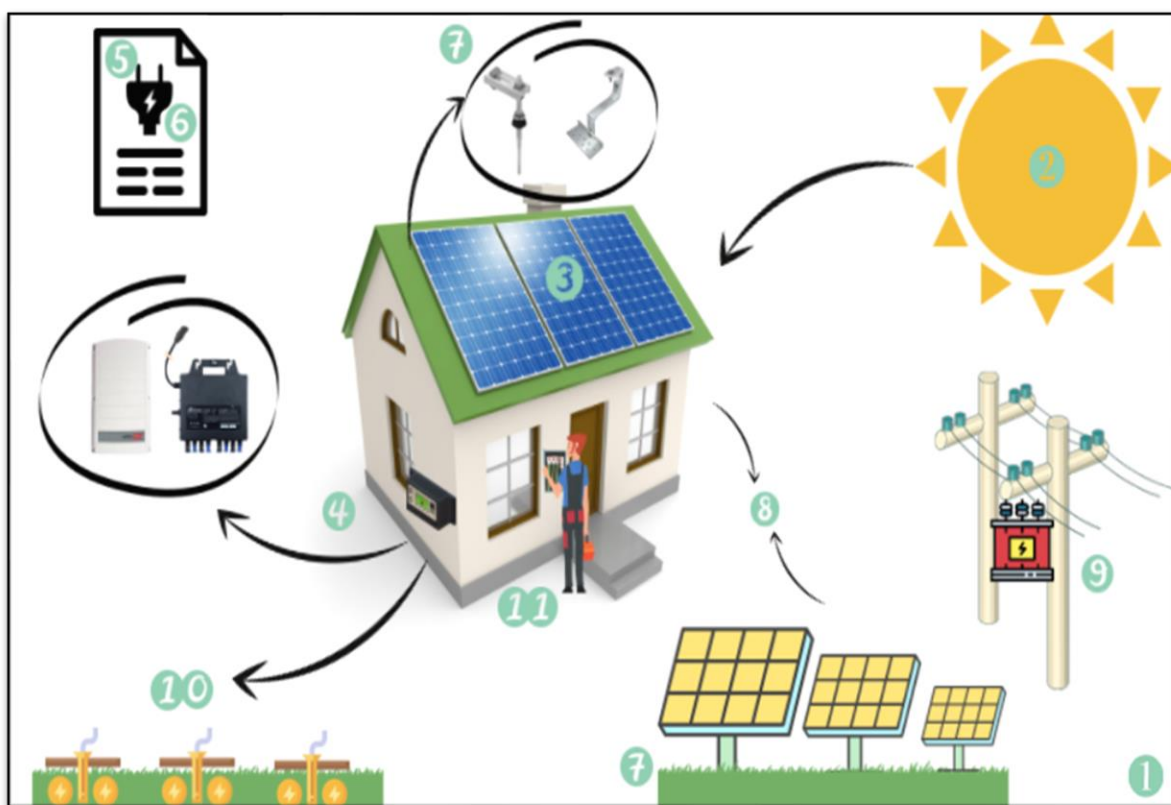
Em relação aos métodos utilizados para a construção do estudo, será estabelecida uma pesquisa bibliográfica, através da consulta do material científico e considerações de autores atuantes na área de energia solar, além da investigação sobre a normatização vigente em solo nacional.

Foi utilizado de conhecimentos elementares para fundamentar a pesquisa, como: Energia Renováveis, elementos básicos referente a Distribuição de Energia elétrica. Equipamentos com eletrônica de potência a nível modular. Sistemas conectados diretamente a rede, comumente chamados de On-Grid. Normativas que regulamentam usinas fotovoltaicas.

2. PASSO A PASSO

O mercado de Energia solar no Brasil cresce constantemente. No ano de 2019, a energia solar cresceu mais de 212%, alcançando a marca de 2,4 GW instalados (ANEEL,2021). No ano seguinte, em novembro de 2020, o país alcançou aproximadamente 715.000 sistemas instalados (ABSOLAR,2021). Acompanhando o crescimento do mercado, o livro foi executado sob a premissa didática, sendo esse caracterizado como um manual destinado a instaladores e projetistas, a fim de auxiliar e capacitar a execução de um sistema fotovoltaico. A Figura 1 apresenta a sequência de assuntos que serão abordados em cada capítulo.

Figura 1: Esquema ilustrativo de um sistema fotovoltaico.



Fonte: Produzido pelos autores (2022).

2. Índice de Radiação (1º Passo do Projeto):

O início da construção de uma UFV se baseia no Índice de Radiação (IDR), sendo esse a medida do nível de radiação solar que incide na superfície terrestre, identificando se a área escolhida tem um bom rendimento de geração, através de aspectos como:

- Altura do telhado ou altura da estrutura de solo;
- Localização Geográfica – Norte, sul, leste, oeste;
- Existência de sombreamentos que atrapalham a radiação direta sobre o telhado, entre outros.

Portanto, esse foi o tema tratado no Capítulo 2 do manual. A Figura 2 apresenta sobre o índice de radiação.

Figura 2: índice de radiação



Fonte: Produzido pelos autores (2022).

3. Tipos de Painéis (2º Passo do Projeto):

Em seguida, como segundo passo, é importante entender como os painéis solares funcionam. Assim, o segundo capítulo tem como foco detalhar os modelos presentes no mercado, aspectos como: potência, tipos de construção, materiais utilizados, entre outros. A Figura 3 apresenta os painéis solar.

Figura 3: Painéis solar



Fonte: Produzido pelos autores (2022).

4. Tipos de Inversores (3º Passo do Projeto):

Considerado o coração da UFV, o inversor foi o tema aprofundado no terceiro capítulo, em vista da sua importância para o funcionamento da UFV e as evoluções tecnológicas que surgiram nas últimas décadas, que permitiram o aumento da eficiência de geração elétrica da UFV. Com isso, foi investigado pontos como, tipos de tecnologia mais atuantes no mercado e suas diferenças. A Figura 4 apresenta os inversores.

Figura 4: Inversores



Fonte: Produzido pelos autores (2022).

5. Dimensionamento dos Painéis solares (4º Passo do Projeto):

No quarto passo o instalador e projetista já estarão aptos a realizar o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, a fim de elucidar perguntas como: Quantas placas são necessárias, potência e modelo, para que seja produzido 500kWh/mês?

Portanto, nesse capítulo, foi abordado os cálculos matemáticos utilizados para elucidar e exemplificar a questão levantada.

6. Dimensionamento dos Inversores (5º Passo do Projeto):

Após o dimensionamento dos módulos, o próximo passo é a escolha do inversor. Entendendo quais modelos estão disponíveis no mercado, a necessidade do cliente e qual a potência em placas é a ideal para o sistema, tudo se torna claro para a escolha deste equipamento.

No mercado atual (2022), existem vários modelos e fabricantes de Inversores, como mencionado no Passo 4. Portanto, utilizando o exemplo do sistema do passo 5, qual seria a potência necessária dos Inversores e modelo para que atendesse essa demanda de potência das placas?

Portanto será abordado quais os cálculos matemáticos serão utilizados para chegar a esse resultado final.

7 - 8. Estruturas (6º Passo do Projeto):

O próximo passo será a escolha do tipo de estrutura a ser utilizada na fixação dos painéis solares. Portanto, é preciso entender que existem três tipos de instalações: Telhados, Laje e Estrutura de solo.

Existem modelos específicos para cada tipo de estrutura para telhado: Fibrocimento, Americana (Cerâmica), Telha de Zinco, Telha Térmica Sanduíche, Telhas de Concreto, entre outras. E também, para estruturas de solo, encontram-se variados modelos de estruturas e suas particularidades de instalação: Carpot, Solo, entre outros.

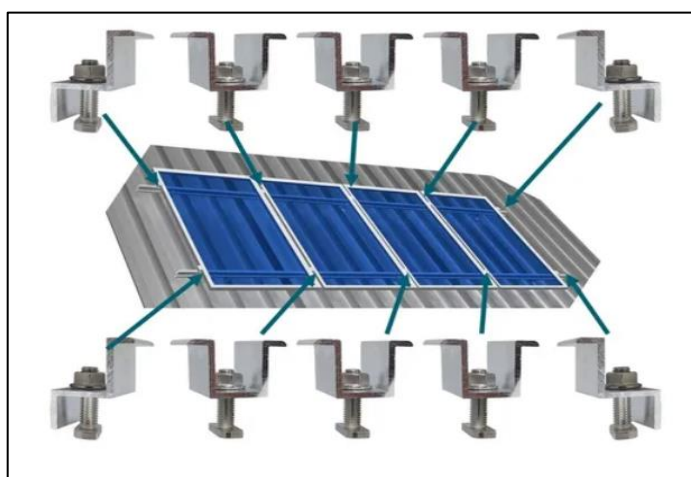
Com isso, será abordado quais características do local de instalação devem ser analisadas para que o suporte de fixação dos painéis solares seja definido. A Figura 5 apresenta a estrutura de solo e a Figura 6 mostra a estrutura em telhado.

Figura 5: Estrutura em solo



Fonte: Produzido pelos autores (2022).

Figura 6: Estrutura em telhado



Fonte: Produzido pelos autores (2022).

9. Subestações (7º Passo do Projeto):

De acordo com as normativas da ENEL – GO, as subestações são necessárias em sistemas de grande porte. Quem irá definir qual o limite e a necessidade da criação de uma subestação para que a Usina Solar entre em operação é a distribuidora de energia elétrica de cada estado. Nos Estados em que a ENEL atua, a distribuidora exige que para sistemas acima de 112,5kV seja necessário projeto e execução de subestação particular para a usina. Para potências menores que 112,5kV, se a rede de distribuição da Enel suportar essa potência de transmissão de energia, não será necessário a instalação de uma nova subestação.

10. Aterramento do Sistema (8º Passo do Projeto):

Para que o sistema esteja protegido contra surtos elétricos e descargas elétricas, deve-se dimensionar o aterramento próprio. É recomendável projetar um novo aterramento para a Usina. Isso deverá ser papel do Engenheiro Eletricista ou Eletrotécnico responsável pela UFV.

Assim, será abordado quais as melhores formas de executar um aterramento, testes de resistência, equipamentos que podem ser utilizados e devem ser aterrados, entre outras características. A Figura 7 apresenta o aterramento.

Figura 7: Aterramento



Fonte: Produzido pelos autores (2022).

11. Dimensionamento de Quadros e Componentes Elétricos (9º Passo do Projeto):

Esse passo será realizado e dimensionado pelo Engenheiro Eletricista ou Eletrotécnico responsável pelo projeto. Para que o cálculo dos componentes elétricos a serem utilizados seja realizado, deve-se ter: Datasheet (Especificações ou folha de dados) dos Inversores e Painéis solares, quantidade de placas instaladas, tipo de Inversor, potência e quantidade de strings do sistema.

Assim, será possível identificar todos os componentes, como: Bitola do cabo elétrico CA e o seu tipo. Bitola dos cabos elétricos CC. Disjuntores eletromagnéticos (DJ), Dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS), entre outros.

Portanto o objetivo desse passo é ensinar com exemplos práticos como dimensionar esse sistema de quadros e componentes elétricos.

3. RADIAÇÃO SOLAR

Em relação ao esquema geral apresentado anteriormente, o primeiro tópico analisado foi a radiação solar, assim, houve um detalhamento nos principais fatores que interferem na sua mensuração e como quantificar a radiação em determinado local

3.1 O Que é Radiação Solar

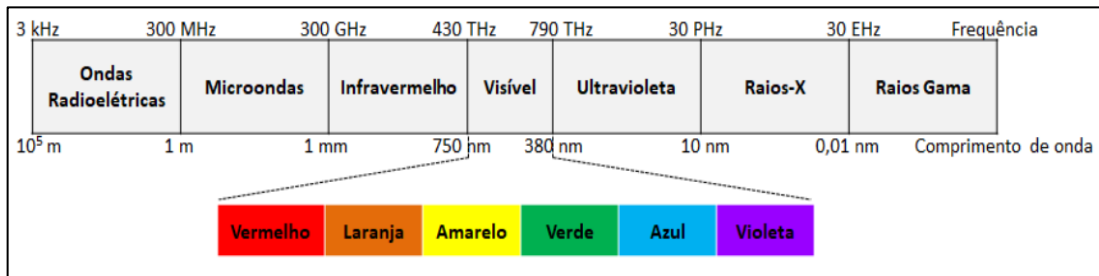
O sol é a principal fonte de energia no planeta terra, possibilitando a existência do ecossistema, interferindo em aspectos como clima, duração dos dias, temperatura, dentre outros (GOMÉZ et al., 2018). Ele é uma estrela com composição gasosa, a qual emite energia através de ondas eletromagnéticas, sem a necessidade de um meio de propagação, a partir da sua atuação luminosa (ANDRADE, 2020). Para expressar a importância da energia fornecida pelo sol, o valor de energia irradiada durante o ano, equivale a $5,445 \times 10^{24}$ joules ou $1,5125 \times 10^{18}$ kWh (KRAUSE; PIMENTA, 2021).

Portanto, é comum surgir indagações de como é possível produzir energia através da luz solar. A resposta começa a ser estruturada a partir do conceito e das características acima citadas. Dado esse contexto, em primeiro momento o foco será voltado a radiação solar.

Uma das principais características das ondas eletromagnéticas é a sua capacidade de transportar energia entre dois pontos, independente da frequência de onda, esse tráfego é realizado sem a necessidade de um meio de propagação (TOSTA, 2020). Um exemplo ilustrativo, tem-se a partir do aquecimento de um corpo quando exposto a luz solar, movimentação de energia térmica (SIQUEIRA, et al., 2020).

Assim, conclui-se que a capacidade de transmissão de energia por meio de onda eletromagnéticas é um fator preponderante para haver a conversão da energia solar em energia elétrica. Mediante a essa observação, adentrar no conceito de energia e luz solar torna-se relevante para os nossos objetivos. A Figura 8 traz uma representação dos tipos de ondas eletromagnéticas.

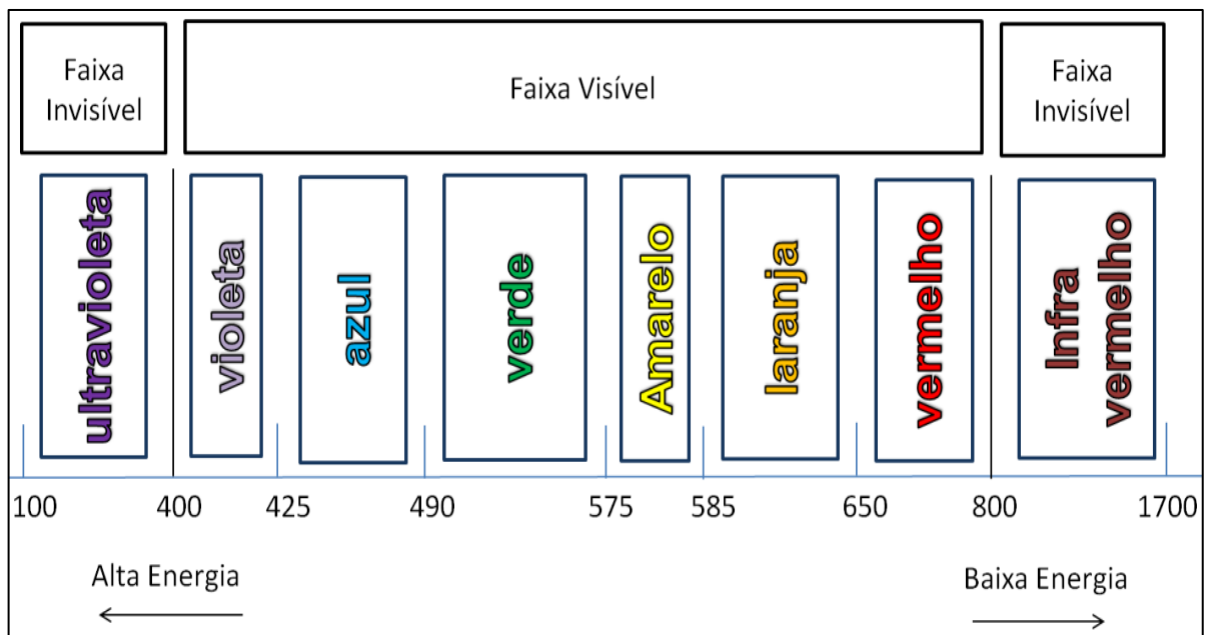
Figura 8: Espectro eletromagnético.



Fonte: ASSIS et al. (2013)

A luz é uma radiação eletromagnética visível ao olho, em que o seu grau de energia está relacionado ao seu comprimento de onda, aumentando de acordo com a redução da banda e frequência (GOMÉZ et al., 2018). A Figura 9 ilustra a composição da radiação eletromagnética, com um detalhamento aprofundado na faixa da luz visível.

Figura 9: Comprimento das radiações provenientes da luz solar



Fonte: ASSIS et al. (2013)

Destinada a geração de energia elétrica através da radiação solar, em relação as Figuras 1 e 2, nota-se que a radiação ultravioleta, devido a sua quantidade energia, em tese, teria o melhor potencial de geração, entretanto a dispersão atmosférica impede o uso desse tipo de radiação. De acordo Furukawa (2019), a radiação ultravioleta emitida pelo sol não chega em

plano terrestre devido a presença da camada de ozônio, essa circunda a estratosfera, e faz com que os raios ultravioletas sejam refletidos para o espaço.

A radiação solar sofre interferência do meio atmosférico, em que há uma dispersão de energia até a sua incidência em plano terrestre, um exemplo é a atenuação por nuvens (ALVES, 2019). Mediante a diversos fatores, a mensuração da radiação solar não é algo simples, mas é possível estabelecer uma estimativa (KRAUSE; PIMENTA, 2021).

Como foi verificado, o sol é a principal e inesgotável fonte de energia para o planeta terra, assim foram criados conceitos para mensurar a quantidade energia fornecida em determinado momento ou em um período de tempo (ANDRADE, 2020). Irradiação solar se refere a energia instantânea que incide em uma determinada área, a unidade de medida é: W/m^2 . Contudo, quando analisa-se a potência, ou seja, relação energia em determinado tempo e área, a unidade de medida de irradiância solar se transforma em: Wh/m^2 (GOMÉZ et al., 2018).

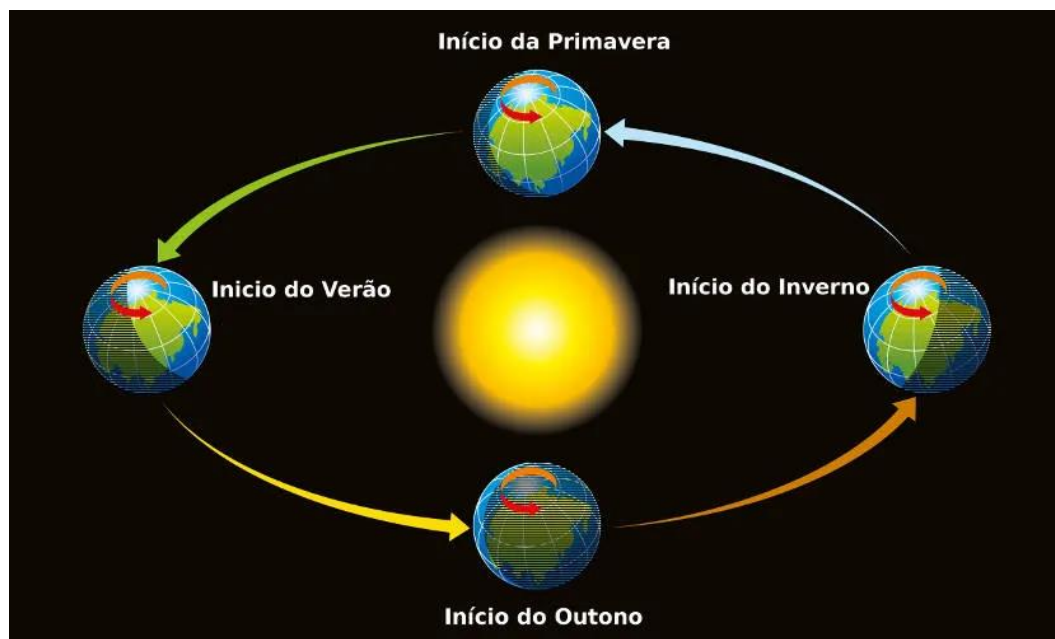
Para a implementação de sistemas fotovoltaicos, a irradiância solar se torna um quesito de grande relevância para a escolha do local de instalação, mas quais ferramentas destinadas a fazer essa mensuração e quais os fatores que interferem nesse aspecto?

3.2 Variação de radiação por região

Em condições normais não é possível obter uma irradiação solar constante durante todo o período do dia, tal fato é ocasionado por uma série de fatores, assim julga-se importante estabelecer um panorama geral sobre eles.

1. **O movimento de órbita solar:** O movimento de órbita solar da terra provoca uma variação constante da irradiação durante o dia e a época do ano (ALVES, 2019). A Figura 10 ilustra o movimento de translação e rotação da terra em relação ao sol.

Figura 10: Movimentação de rotação e translação da terra em torno do sol



Fonte: Andrade (2020)

Como pode ser verificado a partir da Figura 4, o movimento de rotação provoca a incidência dos dias e noites e a translação propicia as estações do ano, alterando a distância entre sol e terra, aumentando ou diminuindo a irradiação solar (ANDRADE, 2020). Assim, é necessário se atentar que durante o ano existe uma variação de irradiância em determinado local.

2. **Atmosfera:** O planeta terra é envolto por uma camada gasosa denominada de atmosfera, sendo ela o segundo ponto que interfere na irradiação solar, dado que o feixe luminoso ao atravessar esse meio está susceptível a atenuações de energia (GOMÉZ et al., 2018). A Figura 11 apresenta as camadas atmosféricas presentes na terra.

Figura 11: Camadas atmosféricas.

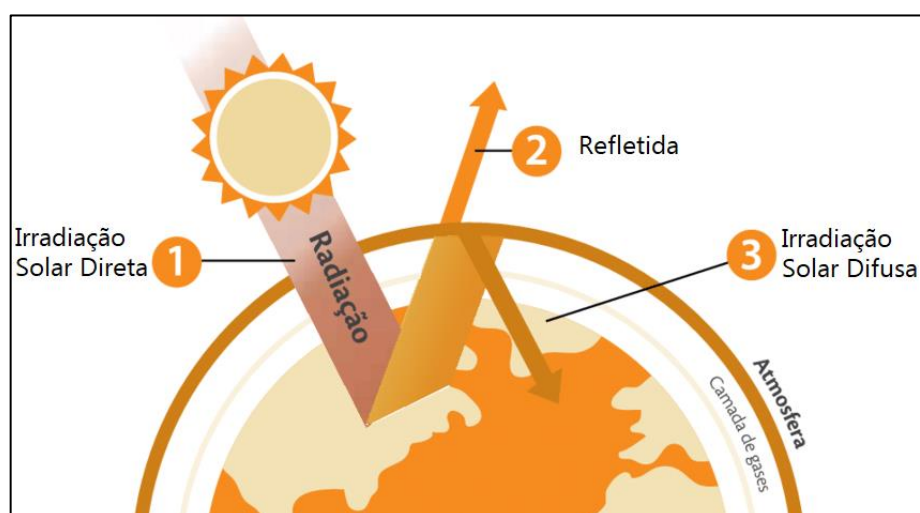


Fonte: Andrade (2020)

As camadas atmosféricas se tornam uma barreira a ser ultrapassada pela radiação solar, assim elementos como nuvens, gases poluentes acabam provocando a dispersão dos raios solares, além de causar uma atenuação na energia que incide em plano terrestre (KRAUSE; PIMENTA, 2021).

Ao atravessar a camada atmosférica, os raios solares sofrem dispersão, através dos processos de refração e reflexão, devido aos gases presentes no ambiente atmosférico, criando tipos diferentes de radiação, os quais são ilustrados na Figura 12.

Figura 12: Tipos de irradiação



Fonte: GRS Engenharia (2022)

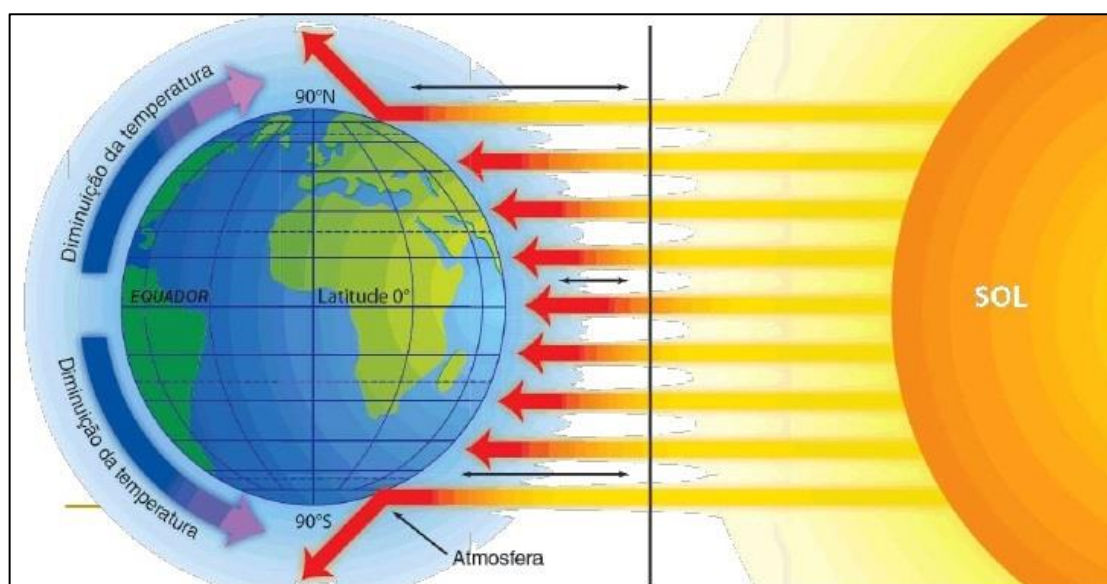
Há diferentes tipos de radiação solar, os quais são classificados quanto a sua forma de atenuação e reflexão assim tem-se a radiação direta, a qual não sofre nenhuma forma de reflexão ou atenuação, a radiação difusa, que é aquela que sofre atenuação, como nuvens, antes de chegar no solo terrestre, e a radiação refletida, a qual é direcionada em outra trajetória, a depender da superfície a qual ela incide (MAGARREIRO; FREITAS; BRITO, 2021).

No que diz respeito a irradiação, a direta, aquela que ocorre com a ausência de qualquer interferência, é o modelo que proporciona maiores níveis de irradiação no local de incidência (ANDRADE, 2020).

Com isso, foram apresentados dois pontos que interferem na irradiação, que são a distância entre o sol e terra durante o ano, provocando as estações, e a atenuação e dispersão atmosférica dos raios solares. Em contrapartida, o formato geoide da terra é um ponto que cria a maior diferença de irradiação em pontos distintos do planeta terra, sendo esse o principal aspecto a se atentar.

A partir do movimento natural da terra em torno do sol, há alguns fatores que influenciam na radiação em determinado momento e ponto terrestre, sendo a latitude um desses fatores (GOMÉZ et al., 2018). A Figura 13 ilustra a representação da latitude e longitude do planeta terra em relação ao sol.

Figura 13: Radiação solar e a latitude terrestre.



Fonte: GRS Engenharia (2022)

O formato geoide da terra gera diferentes índices de radiação, quanto maior o grau da latitude, ou seja, quanto mais distante da Linha do Equador (0°), menor será o índice de radiação (MORAES, 2003).

A partir da Figura 7, nota-se que os raios solares incidem de modo perpendicular na Linha do Equador (0°), em que o ângulo de incidência vai aumentando de acordo com o grau da latitude. Observa-se que nos polos os raios solares incidem de modo tangencial, sendo esse um ponto de relevância para a instalação de sistemas fotovoltaicos.

3.3 Influência da radiação solar para a geração do sistema fotovoltaico.

Quanto a irradiação, até o momento foram analisados três aspectos, dispersão e atenuação atmosféricas, distância entre sol e terra e a latitude. Dentre esses aspectos, a latitude é o que apresenta maior flexibilidade, através do posicionamento de angulação dos módulos fotovoltaicos em relação ao sol, sendo esse o ponto aprofundado a seguir.

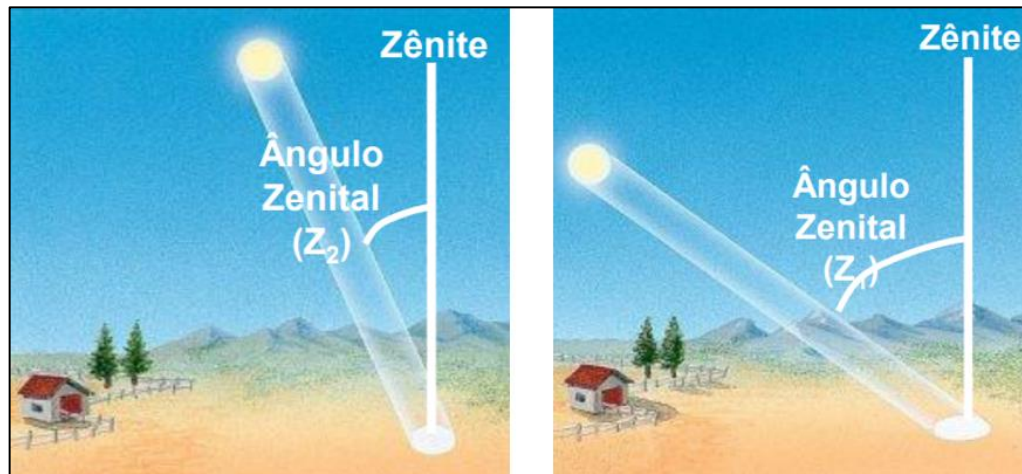
Quanto maior a incidência de energia solar no modulo fotovoltaico, melhor será a geração elétrica do sistema, assim manipular aspectos como latitude, dispersão e atenuações atmosféricas, em prol de uma otimização da produção energética é importante (LIMA; GONÇALVES, 2018). A partir desse aspecto, mostraremos o conceito de ângulo de inclinação solar, fenômeno que está ligado ao formato geoide da terra e a latitude.

De acordo com Góis, Sousa e Lemos (2020) o ângulo zenital solar, que diz respeito ao ângulo de incidência do feixe solar em relação a determinado ponto terrestre, provoca variação na quantidade de energia fornecida.

Em relação a irradiância solar, o ângulo zenital é de grande importância, pois a partir dele é possível verificar em qual ângulo que se tem a incidência solar de forma perpendicular, oferecendo assim os melhores índices de radiação nesse ângulo (PINHO; GALDINO, 2014).

De acordo com o formato geoide da terra e seu movimento em torno do sol, a exposição luminosa vai ocorrer de modo a forma uma angulação com o zênite, linha perpendicular ao plano terrestre, conforme exposto pela Figura 14, apresentada a seguir.

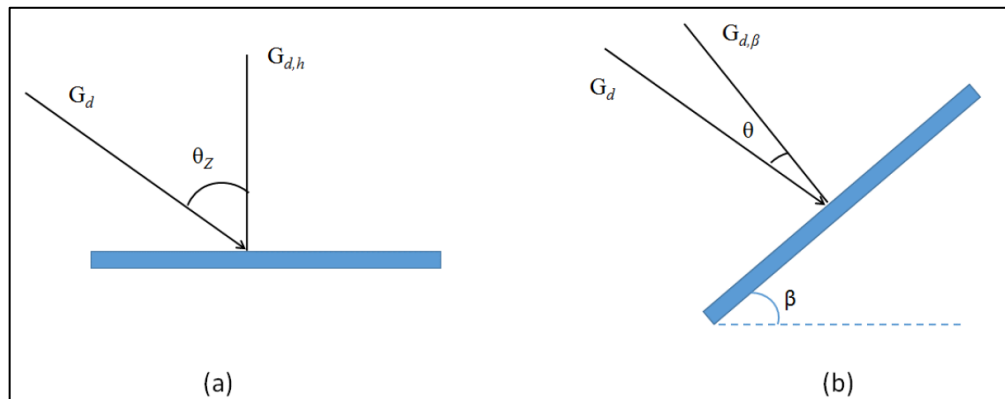
Figura 14: Ângulo Zenital.



Fonte: Sentelhas e Angelocci (2012).

A questão de ter uma posição zênite, influencia diretamente no processo de geração de energia por módulos fotovoltaicos, os quais devem estar em uma posição que acompanhem o ângulo do sol (ângulo zenital), para uma melhor geração (GÓIS; SOUSA; LEMOS, 2020). A Figura 15 expressa o modelo citado anteriormente.

Figura 15: Angulação do modulo fotovoltaico.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

O ângulo zenital é a relação da incidência solar e a latitude terrestre, assim, na Linha do Equador (0°) essa incidência ocorre de modo perpendicular e vai aumentando a angulação de acordo com a latitude. Assim, a disposição dos módulos fotovoltaicos deve acompanhar essa variação de latitude, de modo que incidência solar possa chegar mais próximo o possível de uma disposição perpendicular.

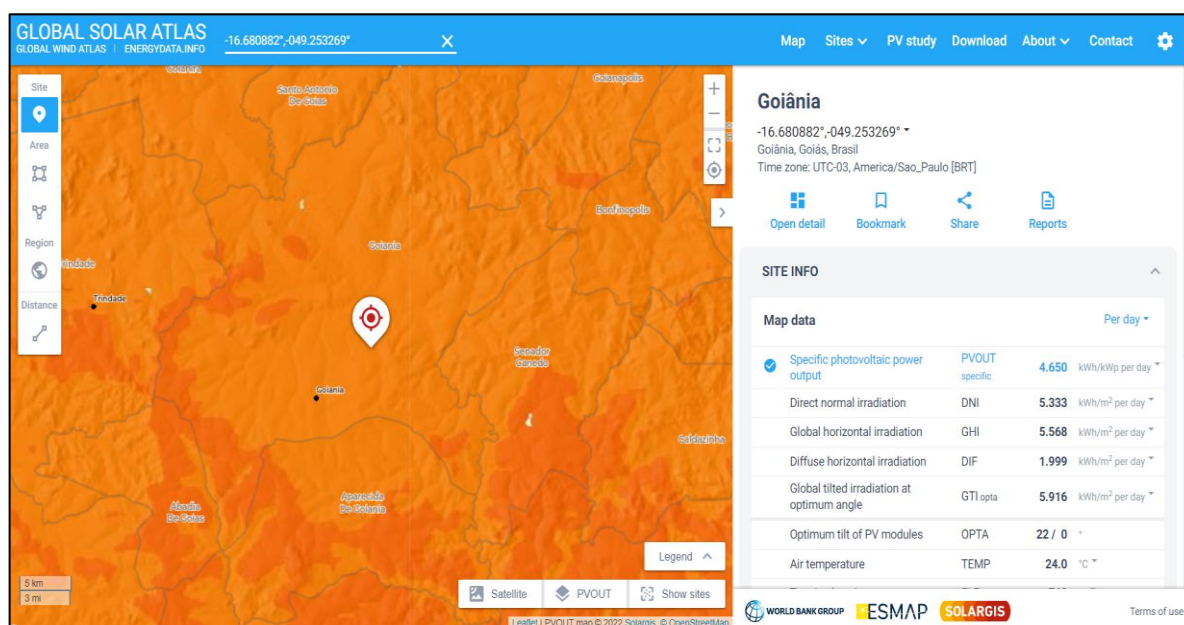
No que tange a quantidade de irradiação, as diferenças de quantidade de energia fornecida estão relacionadas a atenuações atmosféricas, período do ano e latitude, em que há uma relação entre os três quesitos, em que pontos próximos não apresentam grandes variações, sendo esse um aspecto verificado entre distâncias maiores (LIMA; GONÇALVES, 2018).

Apresentado o conceito de irradiação e os aspectos que influenciam na quantidade de energia fornecida, ao ponderar esse ponto o projetista tem que se atentar a dois pontos para garantir a melhor geração do sistema instalado: inclinação dos módulos de acordo com a latitude e a irradiação presente no local.

Para a mensurar da irradiação, atualmente o uso da tecnologia é o principal aliado, em que há *softwares* (*Pv Syst*; *Solar Edge Digner*; *Pv Sol*; *Global Solar Atlas*), no qual alguns deles são gratuitos, e que são utilizados para averiguar a quantidade de energia fornecida em determinado local, a partir da interação de parâmetros que influenciam na irradiação, como atenuação atmosférica, climática, período do ano, dentre outras.

A título exemplificação, a Figura 16 expõe a interface do Software Global Solar Atlas, a partir de uma pesquisa de irradiação na cidade de Goiânia, em primeiro plano, a partir da coloração no mapa, é possível verificar que há uma variação muito baixa de diferença de irradiação nos municípios próximos a Goiânia.

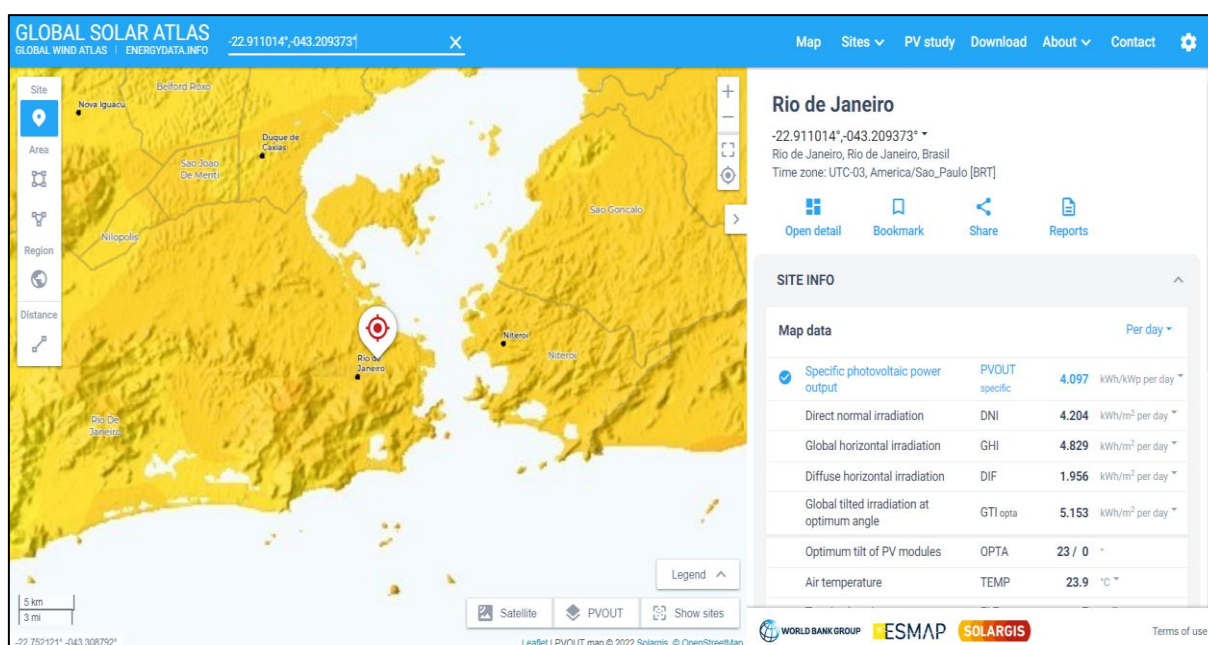
Figura 16: Irradiação em Goiânia.



Fonte: Global Solar Atlas (2022).

Assim, a partir da ilustração analisada, nota-se que a cidade de Goiânia possui uma irradiação 5.568 kWh/m^2 por dia, sendo esse número apresentado pela linha *Global Horizontal Irradiation* (GHI), em que ele expressa a irradiação a partir dos aspectos de influência, dispersão, atenuação, época do ano, dentre outros. A título comparativo, foi realizada a mesma pesquisa no município do Rio de Janeiro, ilustrado pela Figura 17, em que é possível verificar menores índices, quando contraposto a Goiânia, em que a cidade carioca possui um GHI de 4.829 kWh/m^2

Figura 17: Irradiação em Rio de Janeiro



Fonte: Global Solar Atlas (2022).

Assim, quanto a radiação, o primeiro ponto de suporte para a escolha do local são os softwares de irradiação, como o Global Solar Atlas, lembrando que a diferença entre dois locais só é mais sensível através de grandes distâncias. Portanto, sanadas as questões de irradiação quanto a atenuações atmosféricas, época do ano e latitude, um outro ponto de grande valia é a angulação a qual o módulo fotovoltaico deve ser instalado para garantir uma melhor geração. Para isso, a Tabela 1 expõe a angulação dos módulos de acordo com cada Unidade Federativa presente no Brasil, como pode ser observado a seguir.

Tabela 1: Angulação dos módulos fotovoltaicos de acordo com a região.

Acre	15°	Paraíba	15°
Alagoas	15°	Paraná	25°
Amapá	15°	Pernambuco	15°
Amazonas	15°	Piauí	15°
Bahia	15°	Rio de Janeiro	22°
Ceará	15°	Rio Grande do Norte	15°
Espírito Santo	20°	Rio Grande do Sul	40°
Goiás	16°	Rondônia	15°
Maranhão	15°	Roraima	15°
Mato Grosso	15°	Santa Catarina	32°
Mato Grosso do Sul	20°	São Paulo	23°
Minas Gerais	19°	Sergipe	15°
Pará	15°	Tocantins	15°

Fonte: Eduardo Aquino (2022)

Perante aos aspectos apresentados, tendo a irradiação como o primeiro passo a ser dado na instalação de uma usina fotovoltaica, nota-se alguns cuidados que o instalador deve ter para obter a melhor geração, em que os dados obtidos de geração são interessantes para uma estimativa de geração e consequente dimensionamento do sistema, tema este abordado no decorrer do manual.

4. MODULO FOTOVOLTAICO

No capítulo anterior foi estudado sobre o índice de radiação e o seu papel fundamental para análise dos componentes dos sistemas fotovoltaicos. Nesse capítulo, será apresentado em sentido amplo sobre o módulo fotovoltaico ou painel solar.

4.1 Conceito de módulo fotovoltaico ou painel solar

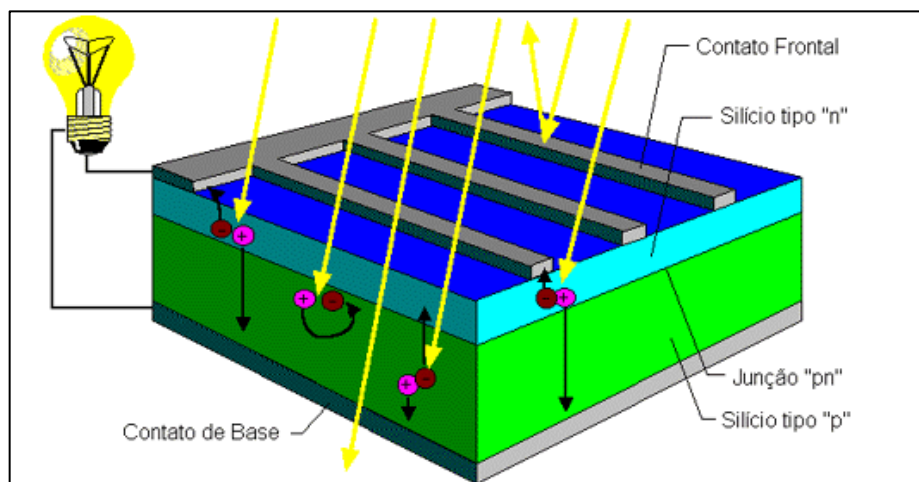
O termo módulo fotovoltaico, na linguagem técnica, é utilizado para fazer referência a painel solar. Esse componente, geralmente é formado por células de silício, devido a sua classificação como semicondutor (BIGGI, 2013).

Os materiais considerados semicondutores possuem média condutividade elétrica, tendo características intermediárias comparado aos condutores (conduzem bem a eletricidade) e os isolantes (não conduzem bem a eletricidade) (CARNEIRO, 2010).

Sendo assim, o silício é um componente químico semicondutor que possui uma mudança facilitada na condição de condução elétrica. O seu papel no módulo fotovoltaico é realizar a absorção da luz, e através da movimentação de elétrons nos seus átomos provocados pela colisão com os fótons, ocorre o surgimento de um fluxo elétrico ou corrente elétrica, esse fenômeno chama-se efeito fotovoltaico.

Dessa forma, pode-se definir que um painel solar é formado por uma combinação de células fotovoltaicas com a função de gerar energia elétrica através do efeito chamado fotovoltaico, responsável por absorver a energia da luz (NOBERTO; LEMOS, 2019). Na Figura 18, observa-se um exemplo de como funciona o processo de absorção da luz nas células dos painéis solares e a movimentação dos elétrons, com o surgimento de uma corrente elétrica e o funcionamento de uma lâmpada (AGNALDO; BASTOS; CRESSONI; VISWANATHAN, 2006).

Figura 18: Efeito fotovoltaico



Fonte: Cresesb (2008).

A partir do efeito fotovoltaico, pode-se verificar as características físicas-elétricas. Cada painel solar possui uma análise de curva de tensão (V) e corrente (I), essas duas grandezas físicas são responsáveis pelo cálculo dos pontos de potência do módulo fotovoltaico, podendo variar conforme condições ambientais (sombreamento causado por agentes físicos ou humanos, temperatura, etc), locais de instalação e características de fabricação e capacidade produtiva de energia elétrica (BRITO, 2014).

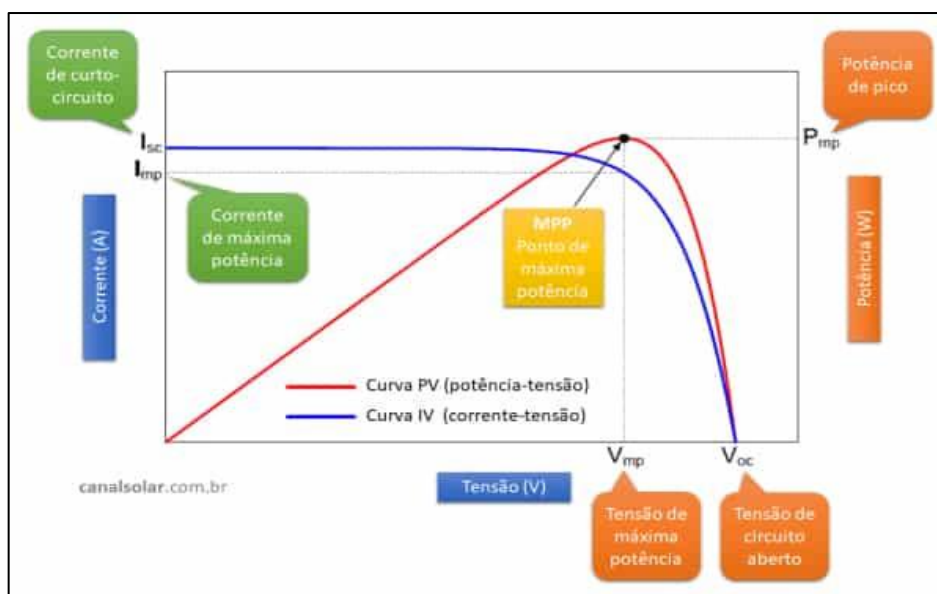
Diante disso, na análise do gráfico tensão-corrente (I - V), é importante atentar ao ponto máximo da curva ou chamado Maximum Power Point Tracking (MPPT), uma vez que sendo feito a visita técnica no local e analisado todas as condições locais de instalação como irradiação e sombreamento. O objetivo disso é identificar e aproveitar a melhor eficiência de um ou mais módulos fotovoltaicos. (DE BRITO, 2013).

Na Figura 19, mostram os gráficos da curva corrente-tensão (I - V) e potência-tensão (P - V). Respectivamente, a primeira relaciona corrente elétrica (I) e tensão elétrica de saída do painel solar (V); já a segunda relaciona potência elétrica (P) e tensão elétrica de saída do painel solar (V). A corrente elétrica de curto-circuito (I_{sc}) é o limite máximo de corrente que o painel solar consegue gerar.

A tensão máxima de circuito aberto (V_{oc}) é o limite máximo de tensão que o módulo solar pode produzir. A corrente da máxima potência (I_{mp}) é a máxima corrente de operação ou funcionamento do módulo fotovoltaico em sua máxima potência. A tensão da máxima potência (V_{mp}) é a máxima tensão de operação do painel solar em sua potência máxima. A potência máxima (P_{mp}) é a potência do ponto mais alto do gráfico. Dessa forma, o Maximum Power Point (MPP) é o ponto máximo de potência da curva potência-tensão (P - V). Vale destacar que,

muitas das variáveis citadas são especificadas na ficha técnica dos módulos fotovoltaicos (VILLALVA, 2019).

Figura 19: Curva I-V e Curva PV



Fonte: Canal Solar (2019)

Após o estudo do conceito de módulo fotovoltaico, das suas variáveis físicas-elétricas e do processo de geração de energia elétrica chamado efeito fotovoltaico, pode-se entender o funcionamento da conversão de energia nos painéis solares.

4.2 Processo de conversão de energia nos painéis solares.

Conforme dito no tópico anterior, o efeito fotovoltaico é um processo responsável pela geração de energia elétrica utilizando painéis solares feitos a partir de materiais semicondutores. O princípio de funcionamento parte da incidência de partículas de luz solar nas células fotovoltaicas, levando a movimentação de elétrons, a criação de corrente elétrica e a geração de eletricidade (NOBERTO; LEMOS, 2019).

Sendo assim, pode-se entender que existe uma conversão de energia ao passo que existe uma transformação de energia proveniente do sol em energia elétrica. Esse fator, contribui para a existência da grandeza elétrica chamada de potência nos módulos fotovoltaicos.

Além disso, ao analisar o processo de conversão, nota-se que a relação entre potência elétrica na saída e potência solar que incide sobre os módulos fotovoltaicos, determina a eficiência da transformação de energia. Sendo que, a potência solar é calculada por um

equipamento responsável por analisar a quantidade de radiação solar que incide em uma área, chamado de piranômetro. Esse componente de medição gera uma saída com uma tensão relacionada à grandeza irradiância [W/m^2]. Já a potência elétrica na saída do painel solar possui variação conforme os equipamentos eletroeletrônicos que ela esteja ligada. (DIAS, 2006). Na figura 20 ilustra um exemplo de piranômetro.

Figura 20: Piranômetro



Fonte: Kippzonen (2015)

Além de entender o processo de conversão de energia nos painéis solares, precisa-se descrever as diferentes tecnologias presentes nos módulos fotovoltaicos

4.3 Diferentes tecnologias presentes de módulos fotovoltaicos.

Conforme estudado no tópico anterior, existe um processo de conversão de energia nos módulos fotovoltaicos. Porém, existem diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos no mercado com diferentes percentuais de eficiência. Os principais existentes no mundo são: o painel solar de silício monocristalino; silício policristalino; filme fino de silício amorfo; filme fino de telureto de cádmio; filme fino de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS/CIGS); filme fino orgânico (OPV) e híbrido (HJT) (MOURA, 2017).

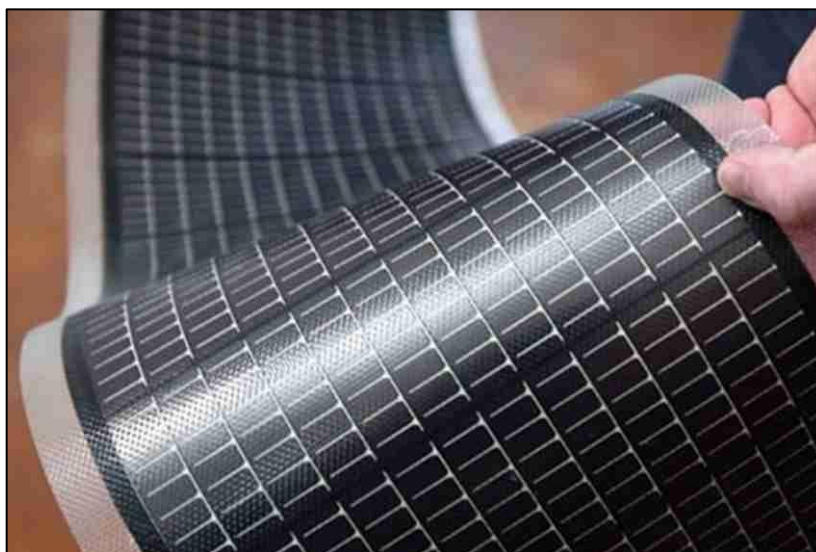
Os painéis solares feitos à base de silício possuem diversos graus de pureza diferentes, isso está relacionado com maior ou menor taxa de conversão de energia solar em elétrica. Nesse tópico serão analisados os principais: silício monocristalino, silício policristalino e silício amorfo. Já os módulos fotovoltaicos feitos à base de filme fino são fabricados a partir de finas camadas de substrato como silício amorfo, telureto de cádmio, cobre, índio e gálio seleneto e células solares fotovoltaicas orgânicas (BENEVIT; DIAS; VEIT, 2014). As figuras 21 e 22 mostram, respectivamente, um exemplo de painel solar de silício e outro de filme fino.

Figura 21: Painel solar de silício.



Fonte: Portal Solar (2018)

Figura 22: Painel solar de silício.



Fonte: Canal Solar (2020)

Os módulos fotovoltaicos de silício monocristalino foram os primeiros a serem desenvolvidos. Eles possuem uma coloração homogênea devido ao grau elevado de pureza do silício formada por apenas um cristal e extremidades visivelmente arredondadas. Esse tipo de painel solar possui eficiência aproximada de 15 a 22%, com células fotovoltaicas de tamanhos 10x10cm; 12,5x12,5 cm; 15x15cm e cores azul escuro com antirreflexo ou azul acinzentado sem antirreflexo a radiação solar (SILVA, 2018).

Os módulos fotovoltaicos de silício policristalino surgiram na década de 70 no mercado, a diferença deles para os painéis de silício monocristalinos está no processo de fusão dos cristais, sendo que nos componentes policristalinos o processo físico acontece com o surgimento de múltiplos cristais. Eles possuem uma eficiência aproximada de 14 a 20%, com células fotovoltaicas quadradas de tamanhos 12,5x12,5 cm; 15x15cm e cores azul com antirreflexo ou cinza prateado sem antirreflexo a radiação solar (CANÇADO, 2018).

Os painéis solares de silício amorfo são fabricados a partir da forma não cristalina do silício e possuem uma produção por meio de um processo chamado empilhamento. Essa técnica organiza em camadas células de silício amorfo que oferecem taxas aproximadas de 6 a 9% de eficiência (SANTOS, 2018).

Os painéis solares de telureto de cádmio são produzidos a partir de uma camada semicondutora de espessura fina criada para absorção e conversão de energia. O telureto de cádmio é a única tecnologia de painel solar de pequena espessura que ultrapassou o custo e

eficiência, quando comparado as tipologias com silício monocristalino e policristalino. A eficiência geralmente dessa tecnologia está na faixa de 9 a 16% (TONIN; JUNIOR; 2016).

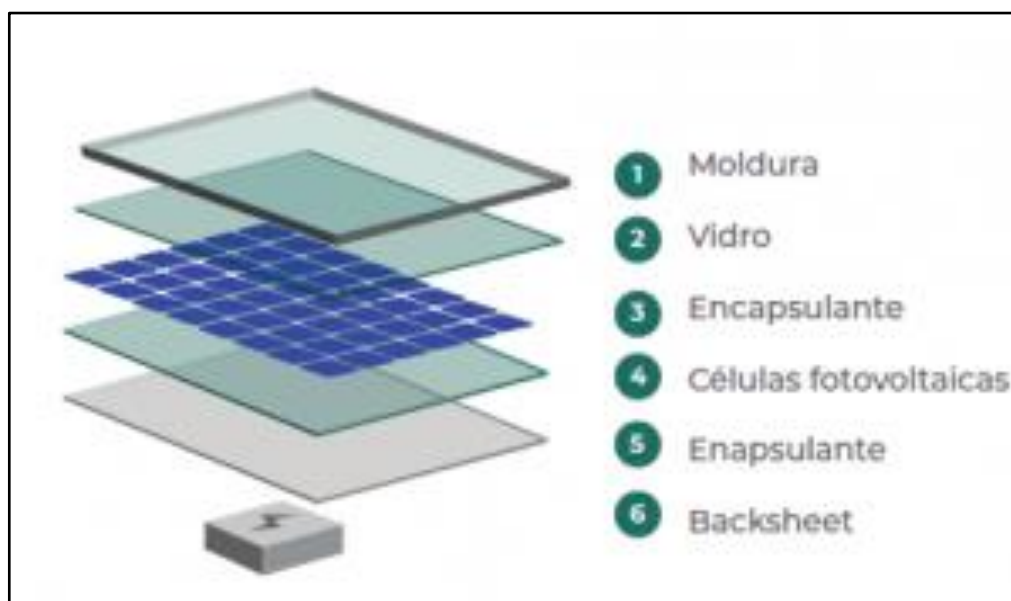
Os módulos fotovoltaicos de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS/CIGS) possuem uma camada fina que converte a energia solar em energia elétrica, quando comparado as outras tecnologias de películas finas, como o telureto de cádmio, mostram uma eficiência de 10 a 13% (TONIN; JUNIOR, 2016).

Os módulos fotovoltaicos fabricados a partir de células fotovoltaicas orgânicas (OPV) são produzidos a partir de polímeros condutores muito usados na área da eletrônica. A função desse composto químico orgânico é fazer a captação da energia luminosa e realizar o transporte de carga afim de produzir eletricidade (efeito fotovoltaico). Essa tipologia de painel solar é considerada flexível, com menor custo e abundância de matéria prima (RODRIGUES, 2019)

Os painéis solares híbridos (HJT) são fabricados a partir de um método que mistura semicondutores com características e processos de dopagens diferentes chamado heterojunção. Nesse caso, são utilizadas camadas de silício amorfo e cristalino para a produção desse módulo fotovoltaico, sendo considerado uma tecnologia de película fina bastante promissora para o mercado quando tratamos de eficiência, garantia e resistência (MOLIN, 2018).

Conforme dito, existem diferentes tipologias de módulos fotovoltaicos no mercado. Contudo, painéis solares feitos a partir de silício contribuem com o maior percentual da produção mundial atualmente. Sendo assim, será aprofundado os estudos a respeito das camadas que compõem módulos fotovoltaicos de silício monocristalino e policristalino, de modo que elas podem ser subdivididas, conforme a figura 23: Células fotovoltaicas, vidro fotovoltaico, filme encapsulante para o painel solar (EVA), material plástico branco (backsheet), caixa de junção (junction box) e molduras do painel solar de alumínio anodizado (frame) (SANTOS, 2018).

Figura 23: Camadas do módulo fotovoltaico



Fonte: Get Power Solar (2019).

A camada das células fotovoltaicas é fundamental para o desempenho do painel solar, visto que é responsável por fazer a conversão de energia solar em elétrica através do efeito fotovoltaico que já vimos anteriormente. Ela geralmente fica no revestimento central do módulo fotovoltaico, sendo responsável por cerca de 60% do custo dele (CORREA, 2019).

A parte do vidro fotovoltaico fica na parte superior e inferior intermediárias do módulo fotovoltaico, ele possui a função de facilitar a maior entrada da luz no painel solar, sendo que em sua composição tem um grau de pureza elevado e baixo percentual de ferro afim de evitar reflexões da luz. Outro papel importante dessa camada é a proteção das células fotovoltaicas em casos de chuva de granizo, por exemplo. Esse revestimento representa aproximadamente 10% do custo do painel solar. (FAUSTINO, 2018)

O filme encapsulante (EVA) é um material de vedação de fácil reestruturação, sua função principal é a proteção das células fotovoltaicas contra degradações causadas por agentes ambientais como temperatura, raios ultravioletas e umidade. Ele está localizado acima e abaixo das células fotovoltaicas (OLIVEIRA, 2018).

O revestimento de material plástico branco ou backsheet fica localizada na parte de trás do módulo fotovoltaico. Ela é responsável pela proteção de todos os componentes intrínsecos e funciona também como isolante elétrico (MENEZES, 2019).

A caixa de junção fica localizada na parte traseira do módulo fotovoltaico, onde os circuitos elétricos das células fotovoltaicas estão conectados eletricamente em série. Ela possui no seu interior diodos de passagem ou bypass com a função de prevenir o surgimento de um

determinado ponto de sobreaquecimento ou hotspots oferecendo segurança. Essa caixa possui cabos com conectores chamados MC4 ou MC3 utilizados para conexão em série dos módulos (SCHAEFFER; RAMPINELLI, 2020).

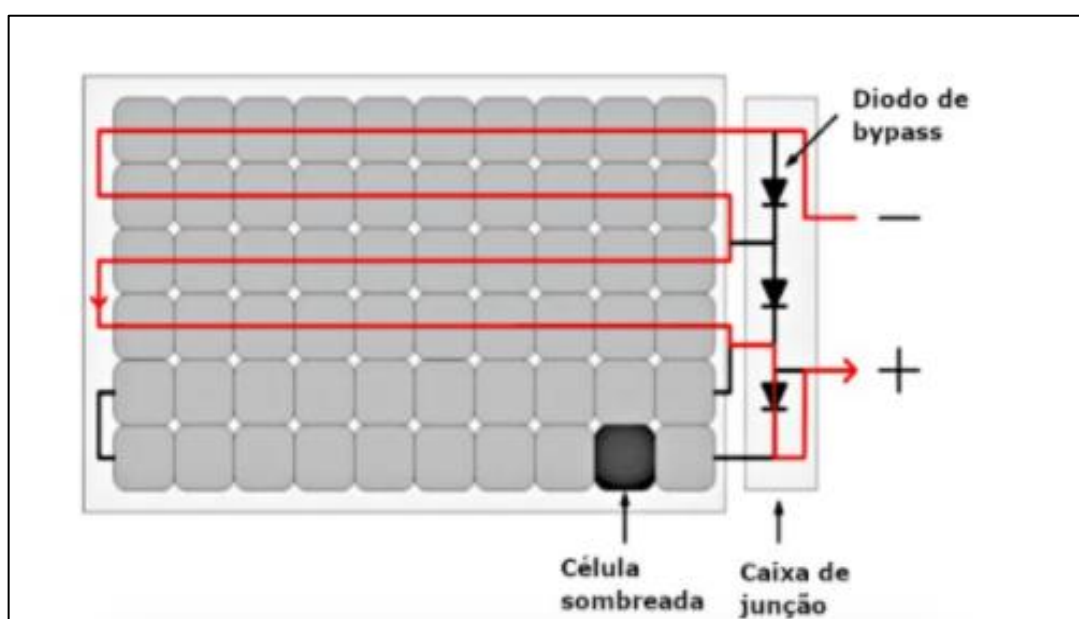
As molduras de alumínio anodizado ou frame são responsáveis pela proteção da parte estrutural externa do painel solar e contra desgastes causados por oxidação (RODRIGUES, 2018).

Além dessas diferentes camadas dos módulos fotovoltaicos, existem tecnologias de proteção contra corrente reversa que possui sentido oposto a geração de energia no painel solar, e proteções para evitar locais de superaquecimento causado por sombreamentos parciais em um local ou parte específica de um ou mais painéis solares.

As células fotovoltaicas são ligadas em série e quando apenas uma parte das células do circuito está sujeita a sombreamento, os parâmetros de corrente de curto-circuito dessas células caem, de modo que ao passar uma corrente acima leva ao aumento da temperatura da célula. Como solução para essas situações, existe o diodo de bloqueio, responsável por impedir a corrente reversa em circuitos ou segmentos elétricos ligados em paralelo compostos por módulos fotovoltaicos que ao longo dos estudos chamaremos de strings.

Por fim, existem também os diodos de passagem ou by-pass, já citados dentro da caixa de junção, afim de prevenir o surgimento de um determinado ponto de sobreaquecimento (CHAMMA, 2017). Na Figura 24, mostra como funciona os dois componentes citados.

Figura 24: Atuação do Diodo de Bypass em um caso de sombreamento.

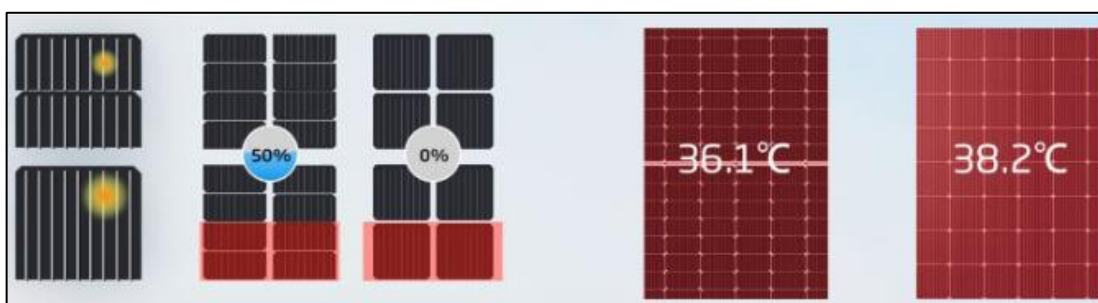


Fonte: Canal Solar (2019).

Além dos dispositivos de segurança, existe uma tecnologia chamada Half-Cell, desenvolvida em prol da melhor geração de energia elétrica no painel solar. Essa inovação consiste em células fotovoltaicas quadradas cortadas ao meio formando retângulos, de modo que as dimensões e custos do módulo fotovoltaicos se mantenham.

Além disso, existem outros benefícios que essa tecnologia proporciona, como evitar microfissuras ou desgastes mecânicos; mais espaçamento das células fotovoltaicos possibilitando melhor distribuição da energia solar e mais eficiência; além de que quanto maior quantidade de diodos de passagem haverá maior prevenção contra hotspots e menores perdas de geração causadas por sombreamento parcial no módulo fotovoltaico (VILLALVA, 2019). Na figura 25 mostra como funciona a atuação da tecnologia Half-Cell nos módulos fotovoltaicos afim de evitar aquecimento e melhorar a geração.

Figura 25: Atuação da tecnologia Half-Cell nos módulos fotovoltaicos afim de evitar aquecimento e melhorar a geração



Fonte: Canal Solar (2019).

Além das diferentes tecnologias presentes em módulos fotovoltaicos, é importante destacar as atualidades e tendência desse mercado.

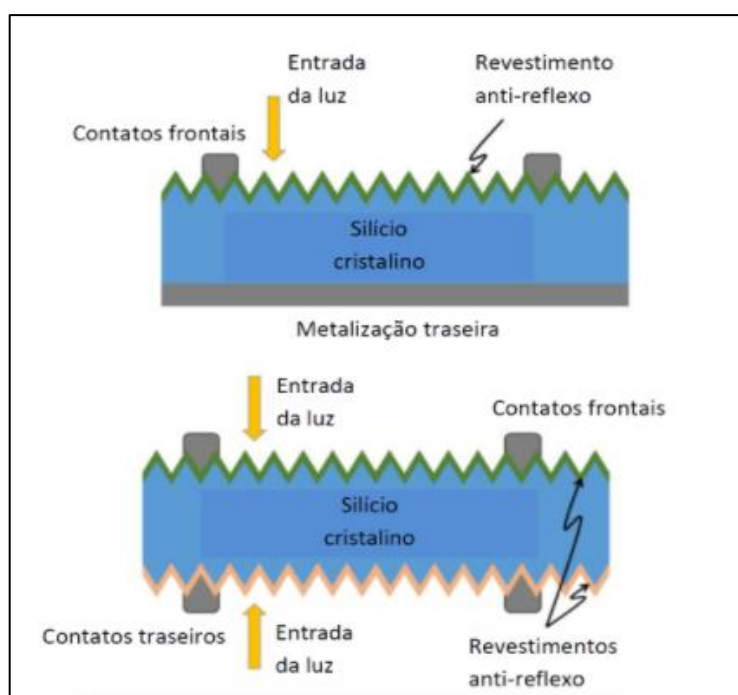
4.4 Novas tecnologias de Módulos

Com o desenvolvimento do setor industrial, estão surgindo novas tecnologias de módulos fotovoltaicos, dentre as quais podemos citar os painéis solares bifaciais, painéis solares de grafeno e as telhas fotovoltaicas.

Na busca pelo aumento da eficiência em sistemas fotovoltaicos aplicados em usinas de solo, foi desenvolvido a tecnologia dos módulos fotovoltaicos bifaciais. Eles conseguem captar a energia luminosa através da parte superior incidente, e da parte inferior voltada para o solo por meio da reflexão da luz causada pelo distanciamento entre o terreno e o painel solar.

Além disso, as células solares bifaciais de silício apresentam um comportamento diferente das células fotovoltaicas tradicionais, sendo que não possuem uma camada de metal na parte traseira, a vantagem disso é a facilidade da passagem de luz refletida e a desvantagem é a perda de melhoria na condutibilidade elétrica. Dessa forma, podemos dizer que a tecnologia de painel solar bifacial tem uma boa aplicabilidade em instalações de solo por uma maior reflexão de luz conseguindo aumentar em até 30% a eficiência quando comparado ao módulo fotovoltaico tradicional (COSTA, 2009). Na figura 26, é feito um comparativo entre os módulos fotovoltaicos convencionais e os bifaciais.

Figura 26: Diferença entre módulo convencional e bifacial.



Fonte: Canal Solar (2019).

Outra nova tendência no mercado de energia solar são os painéis solares de grafeno, formados por cristais de carbono que possibilitam um melhor ganho de produção energética. Essa tecnologia é composta por um material fino e leve, ultra resistente, com uma alta condutividade técnica e elétrica, impermeável, com uma alta transmissão de luz e baixa perda de calor. Na figura 27, é representado essa tecnologia feita a base de grafeno.

Figura 27: Módulo Fotovoltaico feito de grafeno.



Fonte: The Greenest Post (2021).

Já a telha fotovoltaica é uma tecnologia desenvolvida para dois objetivos, o primeiro papel desempenhado é de revestimento do telhado, e a segunda função é a geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Esse tipo de inovação oferece uma maior resistência, leveza, potência e estética (BODÃO, 2014). Na Figura 28, é representado essa tecnologia.

Figura 28: Telha fotovoltaica.



Fonte: TecMundo (2020)

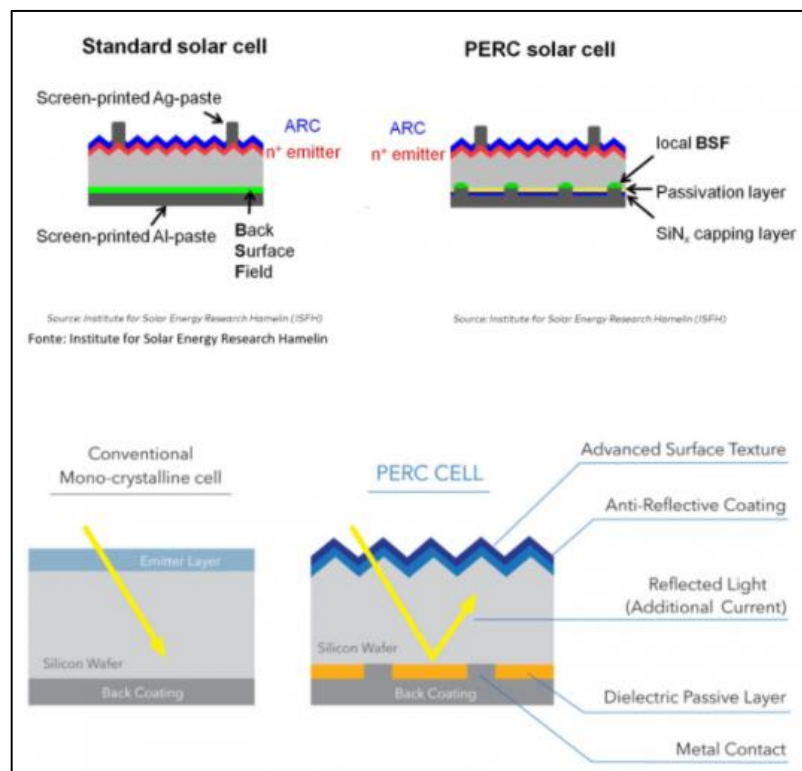
Por fim, temos uma tecnologia nova chamada Passivated Emitter Rear Cell (PERC), a qual foi obtida a partir do desenvolvimento das células cristalinas convencionais de silício. Essa

inovação consiste em células fotovoltaicas com uma espessura mais fina e fabricada com uma camada a mais chamada de passivação na parte inferior do módulo fotovoltaico.

Esse revestimento adicional possibilita um aumento dos resultados no processo de conversão de energia, visto que reduz a velocidade de reorganização dos elétrons aumentando a condutividade elétrica no silício. Outra vantagem dessa tecnologia, é permitir um melhor desempenho óptico pela reflexão da luz no fundo da célula possibilitando uma maior absorção de energia solar pelo silício (DULLWEBER; SCHMIDT, 2016).

Na figura 18, observa-se um comparativo entre uma célula fotovoltaica cristalina convencional de silício e uma célula com a tecnologia PERC (Passivated Emitter Rear Cell), na imagem nota-se a presença da camada de passivação na parte inferior do módulo fotovoltaico presente na tecnologia PERC e ausente na tecnologia convencional (VILLALVA,2019). O funcionamento da tecnologia PEC é ilustrado na Figura 29.

Figura 29: Funcionamento da tecnologia PEC.



Fonte: Solar Power world (2016).

Agora será analisado a eficiência nas diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos.

4.5 - Eficiência das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos

Conforme visto anteriormente, existe um processo de conversão de energia nas células fotovoltaicas chamado de efeito fotovoltaico. A partir disso, pode-se analisar a eficiência das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos a partir dos fatores que influenciam como temperatura e irradiância. Isso será importante para mensurar a quantidade de energia elétrica que um painel solar é capaz de gerar com base em suas condições técnicas e operacionais (OLIVATI, 2000).

A fórmula matemática abaixo, mostra a base de cálculo da eficiência em percentual em condições de teste padrão ou STC (*standard test conditions*) dos módulos fotovoltaicos estão na sua potência em função das suas dimensões físicas e da irradiância (BESERRA, 2019). Na Figura 30, mostra os diferentes índices de eficiência nos módulos fotovoltaicos do mercado. Entretanto, por mais que a eficiência de um painel solar esteja prevista em uma ficha técnica com suas propriedades elétricas, essas informações são analisadas em condições padronizadas, de modo que existem fatores locais de instalação como temperatura e a irradiância que influenciam na sua capacidade energética produtiva. (CORNELIUS; MAIA; SILVA; KAEHLER, 2020). A Equação 1 ilustra a fórmula de eficiência.

$$\text{Eficiência [\%]} = (\text{Potência}) / (\text{comprimento}) \times (\text{largura}) \times (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

Figura 30: Eficiências nos módulos fotovoltaicos.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	CLASSES	ÍNDICE DE MÓDULO	
		SILÍCIO CRISTALINO	FILMES FINO
Mais eficiente	A	EE > 13,5	EE > 9,5
	B	13,5 >= EE > 13,0	9,5 >= EE > 7,5
	C	13,0 >= EE > 12,0	7,5 >= EE > 6,5
	D	12,0 >= EE > 11,0	6,5 >= EE > 5,5
Menos eficiente	E	EE < 11,0	EE < 5,5

Fonte: INMETRO (2017).

Em termos de temperatura, quando se refere as tecnologias mais utilizadas comercialmente hoje, as quais são silício policristalino e monocristalino, deve-se levar em consideração as condições climáticas de cada região do mundo. A partir disso, analisando o cenário brasileiro temos um território com uma grande predominância de variações de

temperatura médias e elevadas, isso contribui para um aumento das vibrações dos cristais de silício, de modo que em materiais monocristalinos esse fenômeno é mais recorrente por conta da formação dos cristais.

Sendo assim, pode-se concluir que em determinadas situações e condições de maiores temperaturas os painéis solares policristalinos pelo arranjo e organização dos átomos de silício são menos sensíveis a temperatura e isso leva a uma maior eficiência no processo de conversão de energia. (COSTA; SILVA; MAIA; DINIZ, 2019).

Além disso, em módulos de silício policristalino e monocristalino, à medida que a irradiância aumenta em uma relação direta proporcional a eficiência diminui (SOUZA, 2020).

Os módulos de filmes finos apresentam um comportamento melhor a nível de eficiência quando comparados aos módulos de silício cristalino analisando o coeficiente de degradação, principalmente os feitos de silício amorfo (BUHLER; KRENZINGER; ROMERO, 2016).

5. TIPOS DE INVERSORES

5.1 O que é Inversor Grid Tie?

A conversão de energia dos painéis fotovoltaicos da radiação solar para energia elétrica gera Corrente Contínua (CC). Contudo, em sua grande maioria, os equipamentos industriais, eletrodomésticos, entre outros, utiliza-se de energia na forma de Corrente Alternada (CA). Portanto, existe a necessidade de um equipamento que faça essa conversão/inversão de Energia CC para Energia CA, chamado Inversor Grid Tie ou Inversor Solar (IMHOFF, 2007).

Os Inversores em casos de sistemas conectados à rede elétrica da distribuidora de energia, a tensão de saída deste equipamento e sua frequência deve ser sincronizada com a tensão da rede, exemplo: Tensão 220/380V e 60Hertz de frequência. (GUIMARÃES, 2004).

a crescente demanda de projetos e instalações fotovoltaicas fez com que os inversores atualizassem suas tecnologias a cada ano. no início trabalhavam com inversor monofásico e posteriormente foi criado o trifásico. os modelos mais utilizados são: inversor tradicional de linha, inversor com otimizador de potência, microinversor e inversores híbridos. esses equipamentos estão em constante evolução com o objetivo de suprir melhor a demanda do mercado e elevar a sua eficiência de conversão. portanto para entender melhor as diferenças e modelos de inversores que atuam no mercado, o tópico 5.2 irá abordar mais sobre o tema.

5.2 Diferentes Tecnologias de Inversores Fotovoltaicos:

Como mencionado no tópico 5.2, existem diferentes tipos de topologias de Inversores no mercado brasileiro e no exterior. Cada tipo de Inversor tem suas especificidades, como: eficiência de conversão, potência de geração, tensão (110/220/380/440v), corrente máxima suportada, entre outros aspectos que podem determinar qual é o melhor tipo de equipamento para determinada instalação. exemplo: áreas com alto índice de sombreamento ou com zero índice de sombreamento. áreas com alto índice de gás inflamável. Usinas de solo, entre outros.

5.2.1 Inversores Tradicionais/ Inversores de String / Inversor convencional.

No grande crescimento da energia solar nos últimos anos, esse tipo de tecnologia foi a mais utilizada. Com um bom rendimento de conversão de energia, um custo menor e também a fácil instalação, fizeram com que esse equipamento ganhasse mercado no Brasil. Nesta

tipologia de Inversores, existem classificações: inversores de string (linha), inversores multistring e centrais.

- **Inversores String:**

São Inversores em sua maioria monofásicos (Figura 12) que possuem um limite de aproximadamente 10.000W (10kW). Esse tipo de tecnologia possui linhas de conexão em série entre os painéis (strings), limitados pela entrada do inversor com suas especificações de: corrente máxima de entrada, tensão e potência. inversores podem ter várias entradas (Multistring), entretanto é comum que nos monofásicos sejam adotados apenas 1 ou no máximo 2 entradas (IMHOFF, 2007). A Figura 31 mostra o Inversor Grid Tie da Fabricante DEYE 3.000W (3kW) - 1 MPPT (1 STRING).

Figura 31: Inversor Grid Tie da Fabricante DEYE 3.000W (3kW) - 1 MPPT (1 STRING)



Fonte: DEYE (2022).

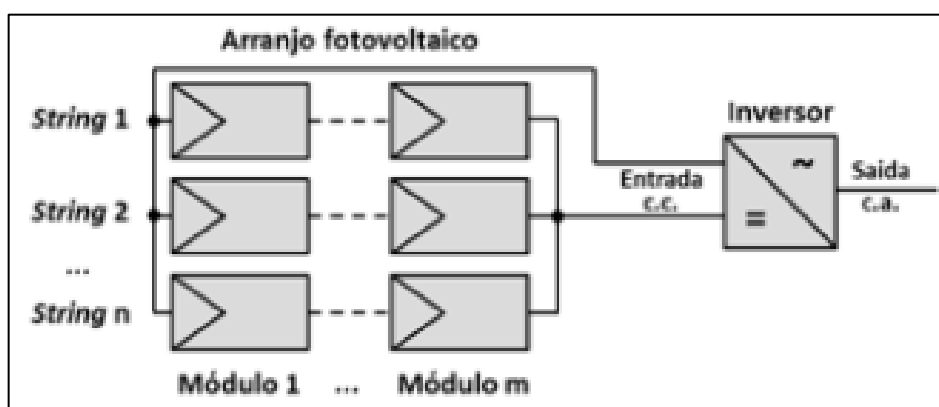
- **Inversores Multistring:**

São Inversores no qual suportam várias Strings em sua entrada, proporcionando assim sistemas com uma melhor eficiência de geração. Geralmente esses equipamentos são trifásicos com uma potência maior que 10kW. Assim como nos monofásicos, os trifásicos suportam os controladores SPPM (Seguimento de ponto de potência máxima) ou MPPT (Maximum Power Point Tracking), que auxilia toda a gestão do sistema no quesito geração. Os inversores equipados com essa tecnologia são capazes de alterar o valor de tensão na saída dos painéis de

forma que a potência produzida pelo sistema seja máxima. Assim se gera um volume consistente de energia utilizável, independentemente de bom ou mau tempo (GODOI, 2017).

Logo, a maioria dos Inversores Tradicionais, ou comumente chamados de convencionais, a quantidade de MPPT depende da quantidade de String suportado pelo equipamento (Figura 32).

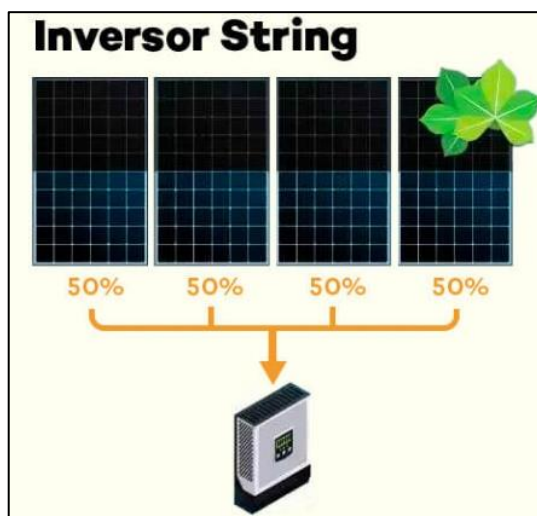
Figura 32: Exemplo de Inversor e suas String's no sistema



Fonte: O setor elétrico (2022).

É importante observar que quanto maior a quantidade de MPPT mais eficiente será o seu sistema, pois trará mais individualidade de geração dos módulos. Pois no sistema de Inversor tradicional, em cada segmento de strings as placas são ligadas em série. Portanto, caso uma placa esteja com sombreamento, defeituosa, ou outro fator que faça com que ela tenha uma geração menor que o restante daquela fileira de placas, ela poderá prejudicar toda a série de conexão, como na Figura 33.

Figura 33: Sombreamento em um painel de uma string que é refletido para os painéis que não estão sombreados.



Fonte: O setor elétrico (2022).

Isso ocorre pois existe um componente eletrônico chamado diodo de ByPass em cada painel que atua como um sistema de segurança (Capítulo 4 – Tópico 4.3). Pois os módulos fotovoltaicos são basicamente fabricados por células ligadas em série. E nos inversores tradicionais multistrings esses módulos são ligados em série para a formação das linhas de conexão (strings). Portanto, é comum ter centenas de células conectadas em série em uma string. Com isso, durante o período de geração, independente da situação do clima, interferências, etc, a corrente que irá passar pelas células será a mesma em todos os momentos.

Contudo, quando uma pequena parte das células é bloqueada por algum sombreamento, o nível de corrente de curto circuito das células que estão sombreadas irá diminuir. E qualquer corrente que passe por uma célula a um nível acima de sua corrente de curto-circuito irá causar um sobreaquecimento. Esse sobreaquecimento, vulgarmente chamado de Hotspot, pode danificar a célula de forma permanente, como na Figura 24 do capítulo anterior.

Portanto para evitar a formação desses pontos quentes, que danificam a célula e comprometem o desempenho do sistema permanentemente, o diodo de ByPass é instalado nos painéis solares. Caso tenha mais dúvidas sobre o Diodo de Bypass, retornar no capítulo anterior (Capítulo 4 – tópico 4.3).

- **Inversor Central:**

Nos Inversores centrais temos grandes potências e grandes quantidades de MPPTs e Strings. Geralmente esses inversores são utilizados em usinas de grande porte, acima de 50kWp (kWp – Unidade de medida de Potência de Energia Solar). Não existe limite para o uso desses inversores quando falamos de grandes potências, como no exemplo mostrado na Figura 34, no qual um inversor da fabricante Kstar de 6,25MW foi utilizado:

Figura 34: Inversor centralizado de 6,25MW da Kstar.



Fonte: Canal solar (2022)

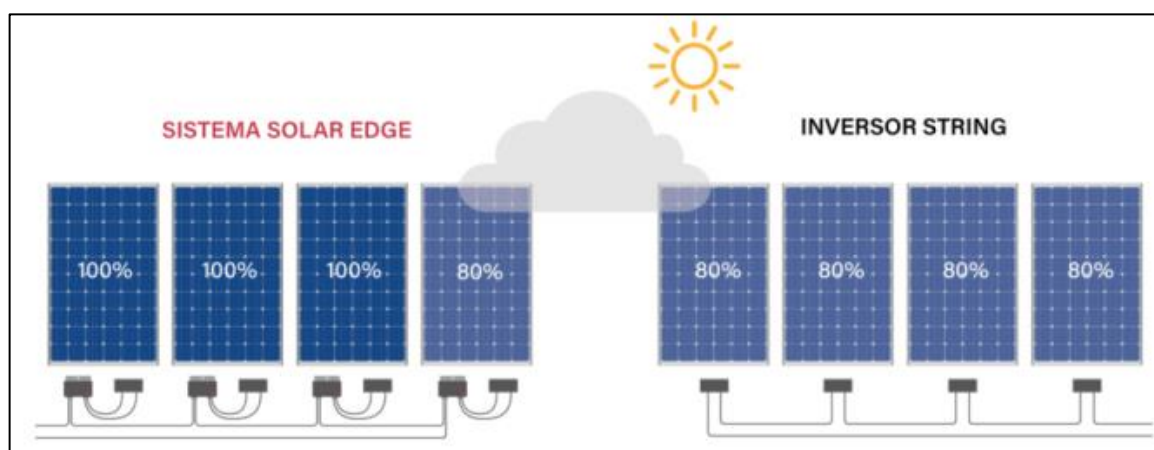
Entretanto existem desvantagens em seu uso, pois como é um equipamento de grande potência que atende todos os painéis solares da usina, caso ocorra uma falha, a usina perderá toda sua geração enquanto o problema é solucionado. Contudo, é o tipo de equipamento mais barato para se colocar em uma usina de grande porte (ALVES, 2020).

5.2.2 Inversores Simplificados com Otimizador de Potência

Para entender como essa tecnologia trabalha, é preciso primeiro entender o que é MLPE. Essa sigla vem do inglês: Modulo Level Power Electronics (Eletrônica de potência à nível de módulo). Essa eletrônica de potência propõe que os circuitos de ligação dos painéis solar trabalhem em paralelo ao invés de trabalho em série (SOUZA, 2019).

Pode-se utilizar um exemplo simples de circuitos elétricos para exemplificar o sistema MLPE: Piscas de árvores e decoração de natal. Os Leds e Luminárias de natal, são interligados em várias sequências de piscas em série. Portanto, se um ponto de um led desse circuito queimar, criar uma falha nessa sequência, todo o restante dessa série irá desenergizar, pois o circuito que estava trabalhando em normalmente fechado, agora está em aberto nesse ponto de falha. Porém, se esses leds estivessem interligados em paralelo, o mau funcionamento de uma delas não atrapalharia o restante. E é desse conceito de série e paralelo que a tecnologia MLPE traz para o mercado essas tecnologias visando uma melhor eficiência e segurança dos sistemas, como mostrado na Figura 35 (SOUZA, 2019).

Figura 35: Atuação do Sistema de Inversores Solaredge com Otimizador de Potência x Inversor String



Fonte: Canal solar (2022)

Portanto, os Inversores Simplificados com Otimizador de potência são tecnologia MLPE. Esse equipamento segrega o Inversor convencional em duas partes: O sistema separa a administração do sistema de MPPT, cria-se um equipamento de eletrônica de potência novo, chamado otimizador, no qual será responsável por toda essa administração.

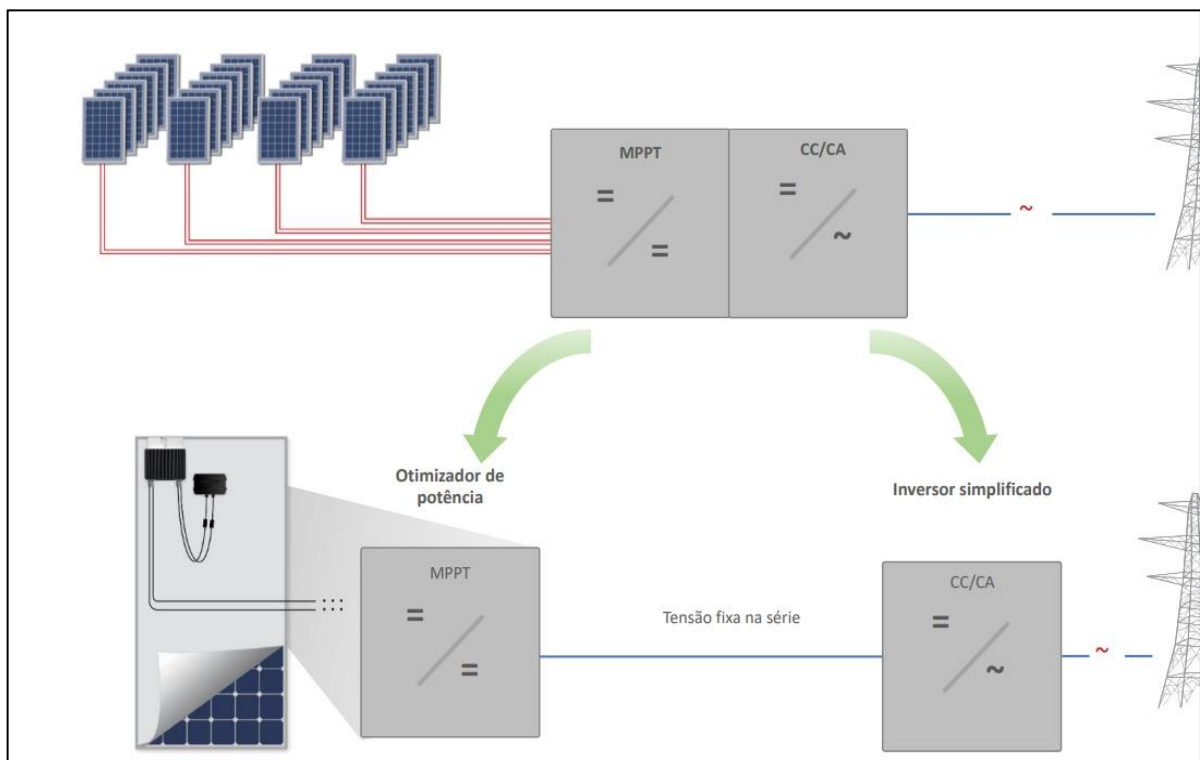
E, após essa separação é criado um novo Inversor Simplificado, responsável somente pela conversão da Energia CC para CA e administração do valor de Potência Nominal, Tensão Nominal e Corrente, como mostrado na Figura 36. A potência total do sistema ainda é limitada pelo Inversor, pela sua entrada e saída. (SOUZA, 2019).

Com isso, essa alteração faz com que otimizadores de potência sejam instalados junto as placas. Suas variações são (BENILDO, 2021):

- Um (01) Otimizador para cada Placa: Neste caso cada placa terá o seu MPPT próprio, ou seja, irá trabalhar de forma independente das outras, não havendo dependência de geração, sombreamentos, ou até mesmo falha por conta de um circuito em série. Esse otimizador é responsável por tornar a conexão entre os painéis em PARALELO.

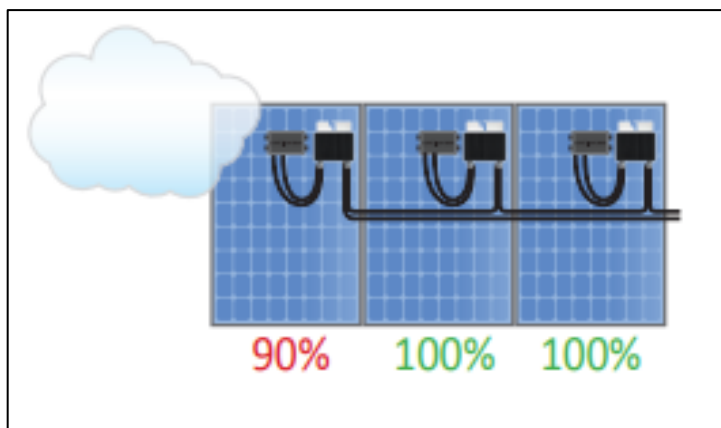
- Um (01) Otimizador para cada duas (02) Placas: Neste tipo a cada duas placas teremos 01 MPPT, ou seja, duas placas vão depender uma da outra para ter o seu melhor índice de geração. Entretanto, se uma placa tiver falha em seu funcionamento e parar de funcionar, o otimizador instalado entre elas não deixará que o seu par pare de funcionar. Na figura 37 mostra como funciona o efeito do sombreamento da tecnologia MLPE. Na figura 38 mostra como funciona o sistema de segurança na tecnologia MLPE.

Figura 36: Inversor Simplificado com Otimizador de Potência.



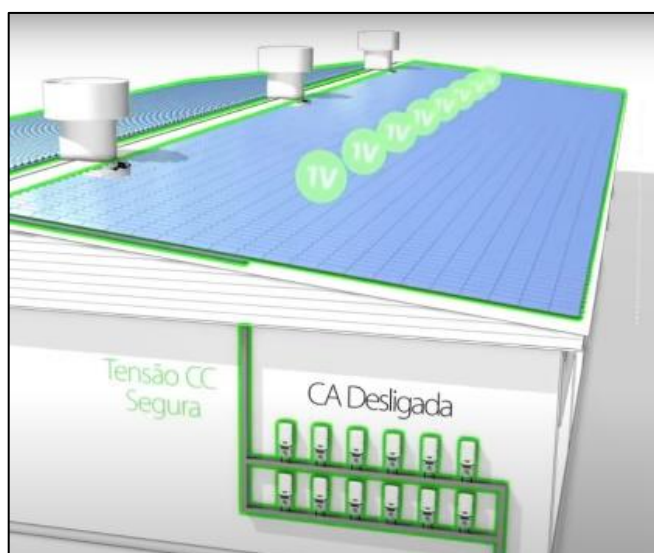
Fonte: Ecori Energia Solar (2022).

Figura 37: Sombreamento no MLPE



Fonte: Ecori Energia Solar (2022).

Figura 38: Segurança MLPE.



Fonte: SolarEdge (2022).

As principais vantagens desse sistema são:

- Maior Segurança.
- Maior Geração de Energia.
- Menores custos de operação e manutenção.
- Design Flexível.
- Acompanhamento individual de geração de módulos.

Principais desvantagens.

- Maior custo inicial para o investimento.

- Possui ainda o Inversor de parede, porém simplificado.
- Potências das placas limitadas pela potência dos otimizadores. Isso ocasiona em constante evolução desses equipamentos pois os painéis solares sempre estão em crescente desenvolvimento de sua geração, aumentando assim sua eficiência.

5.2.3 Microinversores:

Com o conhecimento prévio sobre o que é tecnologia MLPE e o entendimento também dos inversores simplificados com otimizadores de potência, é possível entender em sequência mais uma tecnologia do tipo MLPE, os microinversores.

Neste modelo de equipamento, temos um produto mais compacto no qual entrega MPPT modulo a modulo ou também a cada dois módulos, como nos otimizadores. Entretanto, diferenciando da tecnologia anterior, os microinversores fazem novamente a junção de otimização do sistema e inversor em um único equipamento. Ele desempenha as mesmas funções que o Inversor tradicional e o Inversor simplificado com otimizador de potência. (SPENCER, 2018)

Existem vários modelos de microinversores no mercado, com diferença entre: Potência, quantidade de conexões de modulos, quantidade de MPPT por porta de entrada, entre outros. Pode-se citar algumas fabricantes que estão entre as 10 mais vendidas e instaladas mundialmente: Microinversores APSYSTEMS, Enphase, Hoymiles, entre outros. Nas Figuras 39 e 40 mostram um exemplo de microinversor da marca Apsystems.

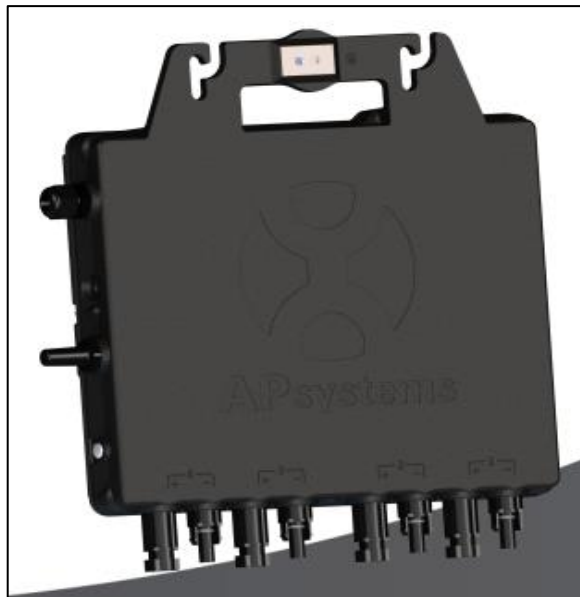
Sua principal característica que diferencia de todas as outras tecnologias: 100% modular. Por ser um equipamento pequeno, aproximadamente 270mm x 290mm, variando dependendo da fabricante, torna-se um equipamento fácil de manusear e instalar. As melhores eficiências de conversão de CC/CA se encontram nestes equipamentos (GODOI, 2017).

Um pouco mais sobre suas características (ARAUJO, 2016):

- Módulos com defeitos com uma geração menor do que prometida, podem ser facilmente identificados.
- Alertas no aplicativo podem mostrar localização de falhas no sistema.
- É possível detalhar de modulo a modulo: Tensão Máxima e mínima, Corrente Máxima e mínima, potência total de geração diária, geração instantânea, etc. Essa análise das curvas de saída dos módulos pode revelar padrões e/ou influências climáticas.
- MPPT à nível de módulos ou a cada 02.
- Análise de curto-circuito de diodos de by-pass.

- Análise do mismatch de módulos.
- Alta imunidade ao sombreamento parcial, ou perda por divergência (mismatch).
- Modularidade.
- Inexistência de projeto C.C. Não há necessidade de stringbox CC no sistema.
- Níveis de Tensão CC seguros – a baixa tensão CC provê uma solução segura para aplicações residenciais e comerciais leves.

Figura 39: MicroInversor APSystems



Fonte: APSystems (2022)

Figura 40: Microinversor APSystems



Fonte: APSystems (2022)

5.3 Eficiência dos Inversores

A eficiência ou rendimento de um equipamento, é a relação entre a potência de saída pela potência de entrada. Portanto, nos Inversores Tradicionais, Inversores Simplificados e Microinversores, é a relação entre a Potência elétrica de saída com a de entrada.

Nos modelos de Inversores utilizados atualmente, a eficiência de conversão passa de 99%. Com isso, a diferença entre os modelos citados no Item 5.2 é abaixo de 1%. Entretanto, considerando que são sistemas de longa vida útil, essa pequena porcentagem em um determinado período pode refletir em uma alta perda de geração.

Nas tabelas 2, 3 e 4 mostram os datasheets/especificações de 03 (Três) modelos diferentes de Inversores para comparação.

Tabela 2: Eficiência MicroInversor APSystems – Retirado Datasheet APSystems QS1A-1500W

Eficiência Máxima	96,5%
Eficiência Nominal MPPT	99,5%
Consumo de Energia Noturno	<30mW

Tabela 3: Eficiência Inversor Simplificado – Retirado Datasheet SolarEdge 27.6k

Eficiência Máxima	98.1%
Eficiência Nominal MPPT	99,5%
Consumo de Energia Noturno	<4W

Tabela 4: Eficiência Inversor Tradicional – Retirado Datasheet Canadian Monofásico 3KW

Eficiência Máxima	97.5%
Eficiência Nominal MPPT	99.5%
Consumo de Energia Noturno	<1W

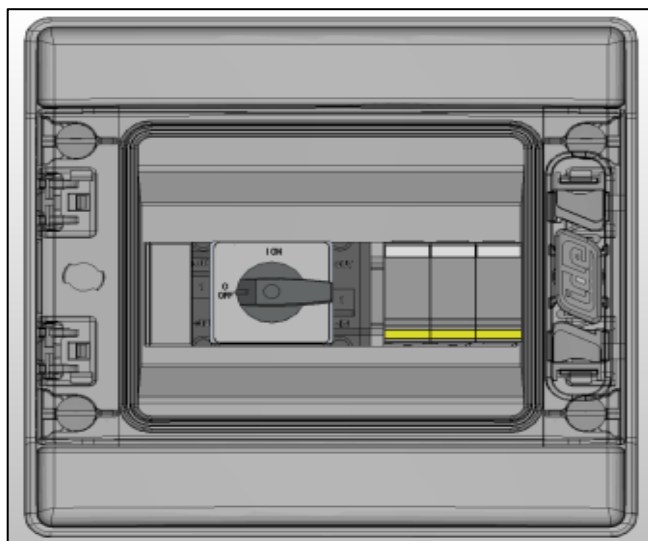
Realizando a comparação entre os 03 (três) Equipamentos, pode-se perceber a variação de eficiência entre os modelos. Essa variação existe pela forma de sua construção no qual pode-se gerar perdas, como: Grau de proteção, perdas por aquecimento, tipo de material utilizado internamente, nível de eletrônica de potência utilizada, entre outros fatores.

5.4 Sistemas de Proteção dos Inversores.

Os Inversores no geral recebem a Corrente (CC) gerada pelos painéis, e após o recebimento faz a sua conversão para uma Corrente (CA). Anterior a conexão dos painéis ao inversor existe uma caixa de proteção chamada Stringbox (CC). Na saída, existe o Quadro de

Proteção CA, responsável por todas as proteções elétricas em CA: Disjuntores, Dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS), aterramento, entre outros adicionais que podem ser adicionados dependendo do projeto (OLIVEIRA, 2016). Na Figura 41 mostra a StringBox Momberg.

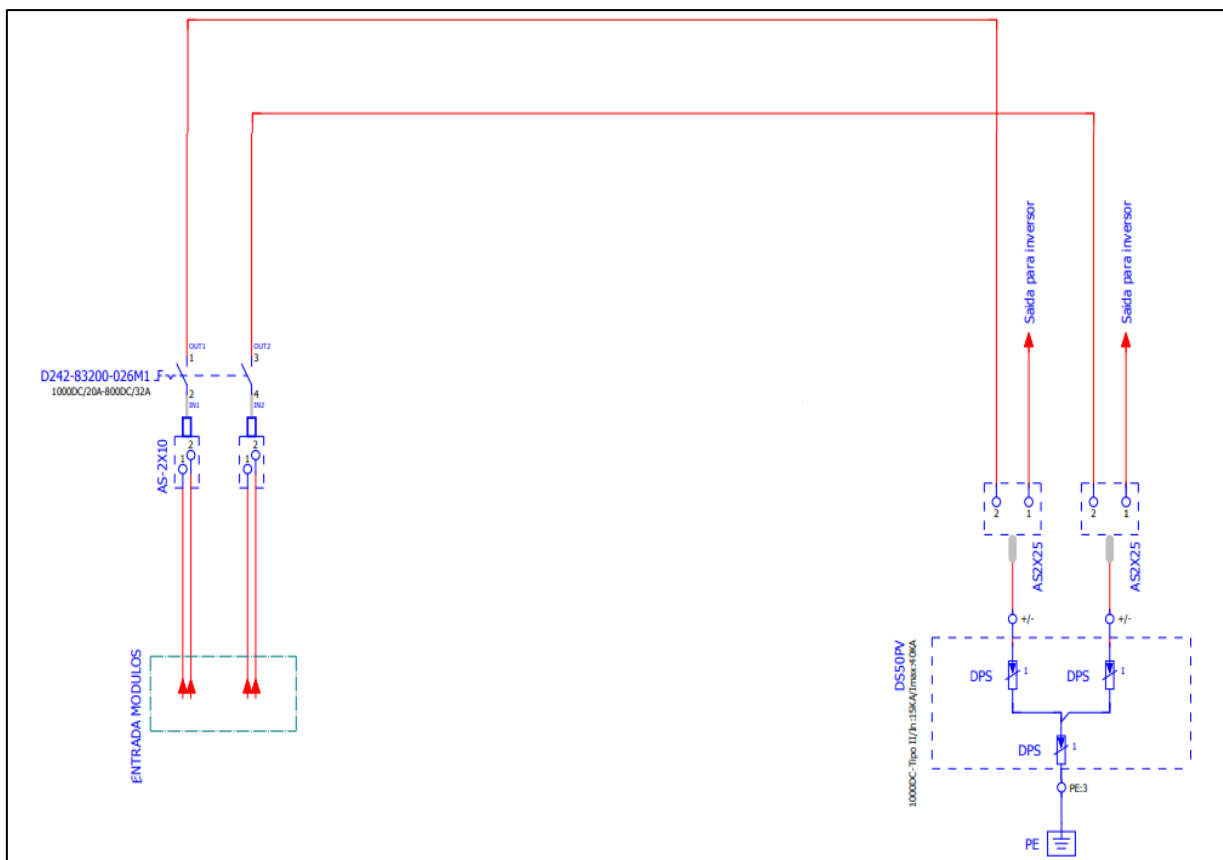
Figura 41: StringBox Momberg



Fonte: Momberg (2022)

Existem variados modelos de Stringbox, para escolher corretamente qual será utilizada deve-se atentar a potência do Inversor e quantidade de strings suportada por todo o sistema. Na Figura 42 mostra um exemplo de ligação entre os painéis e Stringbox, modelo: Momberg 2x1.

Figura 42: Modelo de Instalação StringBox CC



Fonte: Momberg (2022)

Nos Microinversores não existe a Stringbox externa, como nos inversores tradicionais e simplificados. Nesse tipo de equipamento, suas proteções CC são todas realizadas com sua eletrônica de potência interna. Portanto, o único sistema de proteção que deverá ser instalado será o Quadro de Proteção de Baixa Tensão CA, no qual irá conter: Disjuntores CA, DPS CA e interligação dos aterramentos.

5.5 Sistemas de Proteção contra choque. (Sistema de desligamento e tensão nos painéis).

Nas instalações dos projetos de usinas fotovoltaicas existem dois principais perigos: Risco de choque elétrico e também a queda de um telhado.

Com o objetivo de evitar acidentes, existem normativas da Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que padroniza como a execução de alguns serviços devem ser feitas, visando uma melhor segurança do profissional. (ABNT, 2016).

Portanto nas execuções de usina fotovoltaica (UFV) os riscos de choque elétrico podem se encontrar: Nos terminais dos painéis solares, podendo existir tensão. Nos terminais finais de

uma fileira de módulos ligados em série (strings), onde terá uma alta tensão. Nas conexões entre as fileiras de painéis à Stringbox. Conexões entre Stringbox e Inversor. E também, Conexão entre os Inversores e o Quadro CA.

Por isso é importante restringir a área de trabalho, permitindo assim apenas pessoas especializadas se aproximar do sistema durante a instalação (OLIVEIRA, 2016).

Nos inversores existe o sistema de desligamento, comumente chamado de sistema de proteção Anti-ilhamento. Geralmente esse desligamento se dá por falta de identificação da rede externa da distribuidora de energia. Esse tipo de segurança é utilizado para que não seja transmitido energia elétrica na rede da distribuidora enquanto colaboradores da empresa estejam fazendo alguma manobra de manutenção. (OLIVEIRA, 2016).

Portanto, no Brasil é estabelecido pelas normas: NBR 16149 da ABNT, todos os requisitos e recomendações para a ligação entre os sistemas fotovoltaicos e a rede da distribuidora de energia do local. E também, a normativa NBR16150 prescreve os procedimentos de ensaio para a verificação da conexão dos sistemas utilizados entre a rede e o sistema solar.

- **Anti-Ilhamento nos Inversores Tradicionais:**

Nos inversores tradicionais quando ocorre o sistema de segurança de anti-ilhamento, é identificado a falta de tensão da distribuidora e com isso a partir do inversor a transmissão de energia do sistema solar é paralisado. Entretanto, os painéis solares e todo o circuito de ligação entre eles e o Inversor ainda estará com alta tensão durante o dia.

Portanto, com a impossibilidade de interromper a geração por completo de um sistema com inversores tradicionais, cria-se um risco que pode ser considerado uma falha de segurança. Isso ocorre pela má administração do sistema a nível modular que os inversores tradicionais possuem. (OLIVEIRA, 2016)

- **Anti-ilhamento nos Inversores Simplificados com Otimizador de Potência:**

Nesse tipo de tecnologia o inversor simplificado trabalha em conjunto com os otimizadores de potência para entregar um nível de segurança mais elevado no momento do Anti-ilhamento. Ao identificar o desligamento da rede externa da distribuidora de energia, o Inversor corta a transmissão entre ele e a rede e envia um sinal para os otimizadores rebaixarem

a tensão de todos os painéis para 1V (VOLT) cada. Portanto, as Strings produziriam uma tensão máxima de aproximadamente 15V, considerado assim uma extra baixa tensão.

Os otimizadores ficam em comunicação constante com o Inversor para receber a informação referente a conexão da rede externa, se está em pleno funcionamento ou ainda paralisada. Com isso, ao receber a informação que o sistema foi acionado novamente, os otimizadores religam o sistema, liberando as placas para trabalharem com sua potência máxima. Isso só é possível pela tecnologia MLPE aplicada nesse tipo de equipamento, no qual as placas são tratadas individualmente pelos seus otimizadores (SOUZA, 2019).

- **Anti-ilhamento nos MicroInversores:**

Com a tecnologia MLPE aplicada também nesse equipamento, os microinversores possuem uma boa segurança referente ao desligamento do sistema.

Portanto ao identificar o desligamento da rede externa da distribuidora de energia, os microinversores interrompe totalmente a transmissão de energia do seu cabo tronco (Cabeamento que realiza a transmissão até o Quadro CA da residência). Entretanto, como nos inversores simplificados com otimizador de potência, a tensão das placas não é rebaixada para 1V. Porém, como nos microinversores cada placa tem o seu próprio MPPT e elas são interligadas em paralelo, a tensão máxima que terá sobre o telhado será entre 40 a 60V, dependendo da potência da placa.

Com isso, pode-se considerar que existe uma baixa tensão após a atuação do anti-ilhamento, no qual não colocará em risco tanto os residentes quanto técnicos que desejam operar alguma manutenção no telhado.

6. DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Conforme falado no capítulo 4, existem diferentes tipos de módulos fotovoltaicos. Neste capítulo será abordado acerca do dimensionamento desses componentes em um sistema fotovoltaico. A primeira etapa é realizar a escolha do painel solar.

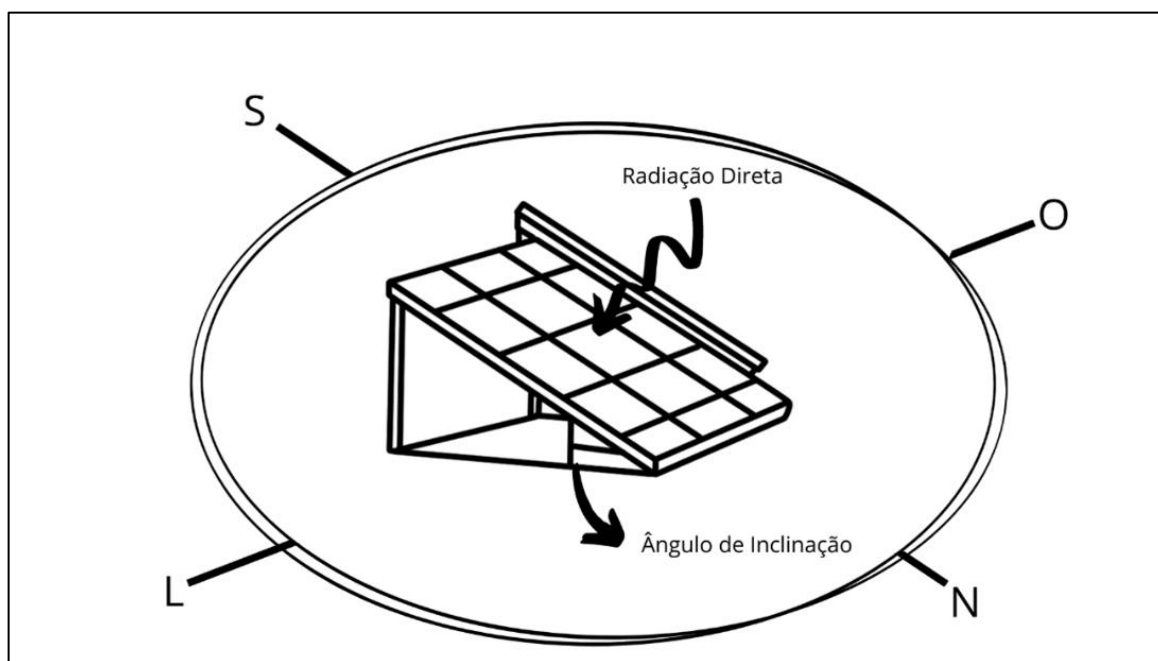
6.1 Escolha da tecnologia do módulo fotovoltaico

O primeiro passo é a realização de uma vistoria técnica no local da implementação do sistema fotovoltaico e fazer uma análise da orientação, angulação comparada ao telhado ou solo; espaço em área; condições de sombreamento e distância dos cabos.

Logo após isso, é necessário escolher qual tecnologia de módulo utilizar de acordo com a ficha técnica, sendo que as mais utilizadas no mercado atual são de silício cristalino ou de filme fino. Ao final, é necessário determinar a quantidade máxima de módulos que podem ser instalados no espaço definido.

Esse quantitativo determinará a potência total que é possível instalar no sistema fotovoltaico (CARNEIRO, 2009). Na Figura 43, observa-se como é feito as análises de inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos de acordo com a posição do sol e os pontos cardiais.

Figura 43: Orientação e angulação do módulo fotovoltaico.



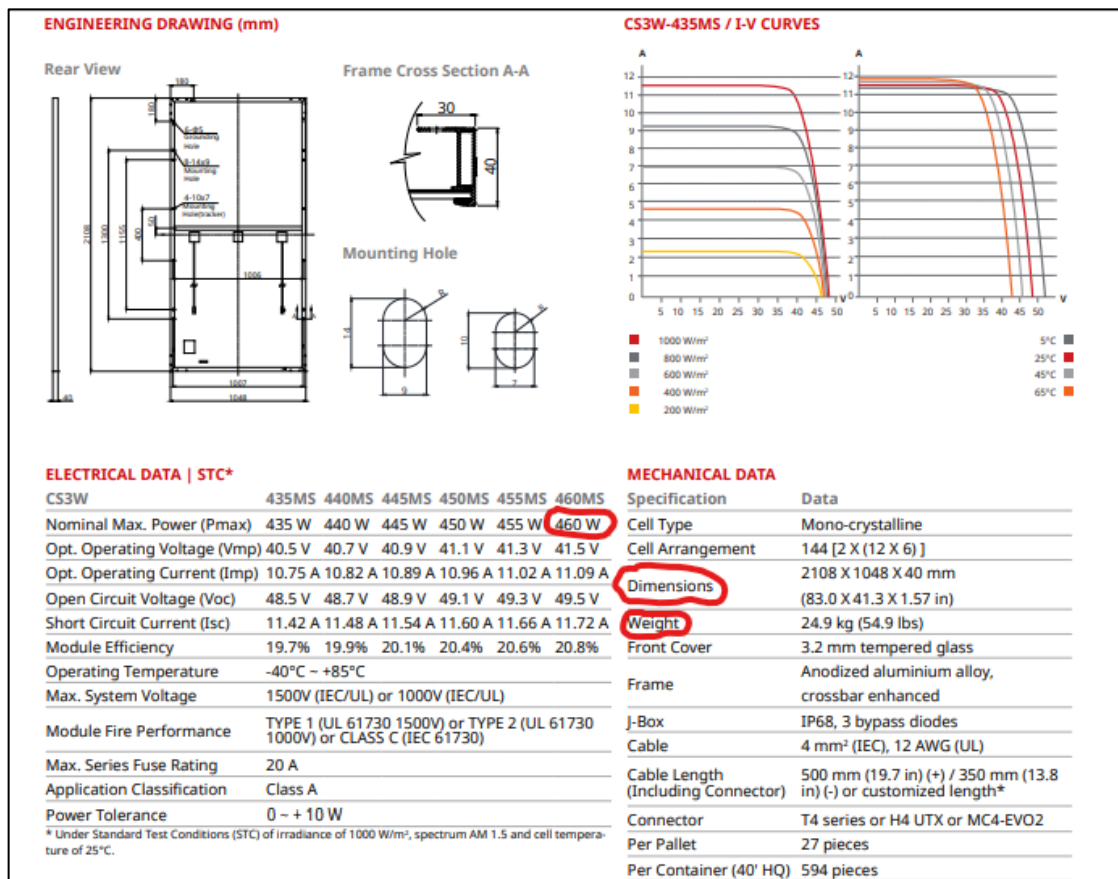
Fonte: SIE Soluções (2022)

Após a realização dessa análise de qual tecnologia de painel solar utilizar, será determinada a potência do módulo fotovoltaico.

6.2 Escolha da potência do módulo fotovoltaico

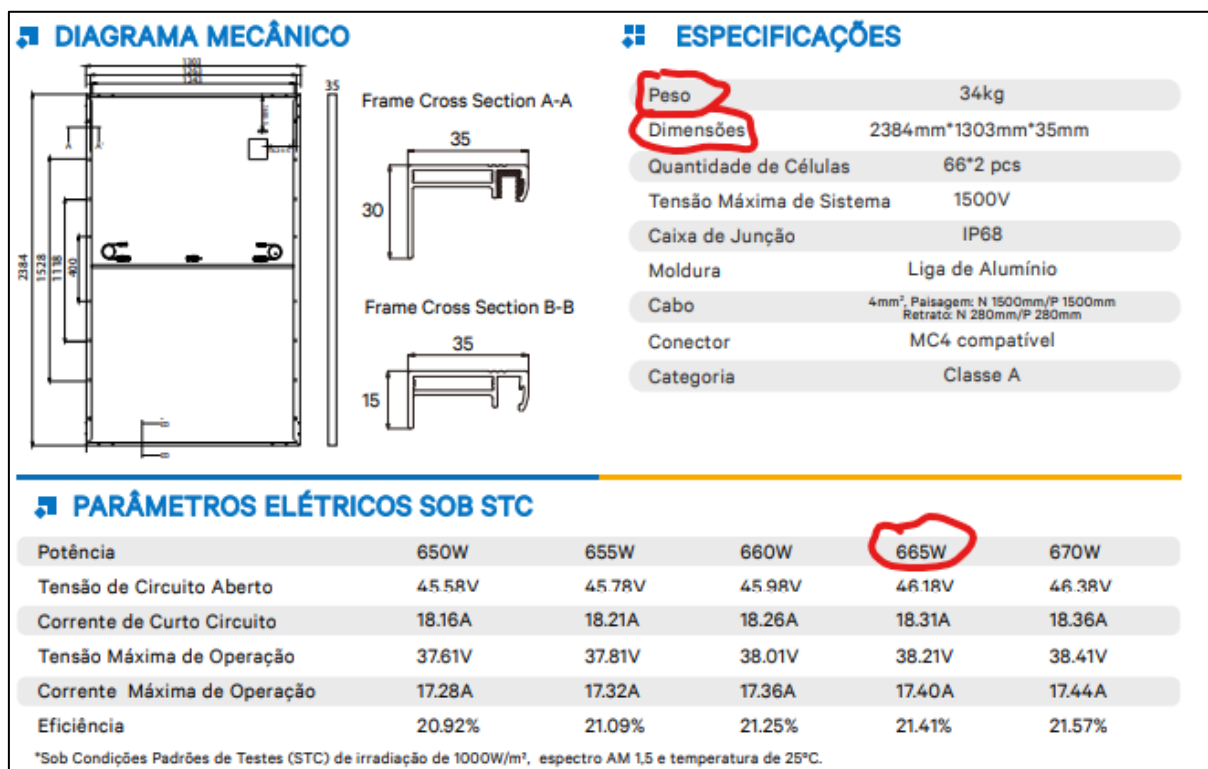
A escolha da potência do módulo fotovoltaico depende das suas dimensões, do seu peso e da relação entre a área indicada para instalação do sistema. Quanto maiores as potências dos painéis solares, maior o seu peso e suas dimensões. Nas Figuras 28, 29 e 30 observa-se um comparativo (dimensão e peso) das fichas técnicas dos módulos de 460W, 545W e 665W.

Figura 44: Datasheet do módulo fotovoltaico 460W.



Fonte: Adaptado Canadian Solar (2020)

Figura 46: Datasheet do módulo fotovoltaico 665W.



Fonte: Adaptado Leapton Solar (2021)

A partir das informações a respeito da dimensão dos módulos disponíveis no mercado, verifica-se a área que será necessária para a instalação. Quanto maior a potência, menor o quantitativo necessário para atender o projeto devido a maior geração de energia elétrica. Porém, ainda deve-se calcular a carga estrutural projetada do telhado com base no peso de cada painel solar. Por fim, fazendo todos os estudos e definindo a potência do módulo fotovoltaico do sistema, pode-se entender a relação entre painel solar e potência em corrente contínua do sistema fotovoltaico.

6.3 Relação entre painel solar e potência em corrente contínua do sistema fotovoltaico

Em um sistema fotovoltaico, a parte dos módulos fotovoltaicos está relacionada com a parte da geração de energia elétrica em corrente contínua (DC). Sendo assim, existe uma grandeza física no mercado fotovoltaico ao dimensionar sistemas de energia solar chamada potência em kilo-watt-pico (kWp). Para entender melhor sobre isso no próximo tópico será falado como é calculado essa potência.

6.4 Cálculo da potência em kilo-watt-pico (kWp)

A partir dos exemplos de módulos fotovoltaicos citados no tópico 6.2 (460W, 545W e 665W), pode-se fazer uma análise da potência total em kWp de um sistema calculando a partir da fórmula matemática abaixo. Nessa equação, o produto da quantidade de painéis solares em relação a potência de cada módulo em kilo-watt (kW), determina a potência total em kilo-watt-pico (kWp). A Fórmula 2 mostra a equação para cálculo da potência total em kWp

$$\text{Potência total em kWp} = \text{Quantidade de módulos fotovoltaicos} \times \text{Potência de cada módulo em kW} \quad (2)$$

Nos subtópicos abaixo será aplicado a fórmula da potência total em kWp. Como exemplo será analisado um sistema de 40 módulos.

6.4.1 Cenário 1 composto por módulos de 460W

- Potência total em kWp = Quantidade de módulos fotovoltaicos x Potência de cada módulo em kW
- Potência total em kWp = 40 x 460W

- Potência total em kWp = $40 \times 0,46\text{kW}$
- Potência total em kWp = 18,40 kWp

6.4.2 Cenário 2 composto por módulos de 545W

- Potência total em kWp = Quantidade de módulos fotovoltaicos x Potência de cada módulo em kW
- Potência total em kWp = $40 \times 545\text{W}$
- Potência total em kWp = $40 \times 0,545\text{kW}$
- Potência total em kWp = 21,80 kWp

6.4.3 Cenário 3 composto por módulos de 665W

- Potência total em kWp = Quantidade de módulos fotovoltaicos x Potência de cada módulo em kW
- Potência total em kWp = $40 \times 665\text{W}$
- Potência total em kWp = $40 \times 0,665\text{kW}$
- Potência total em kWp = 26,60 kWp

Analisando do dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, é importante entender e diferenciar os tipos de estruturas de fixação em telhado ou solo.

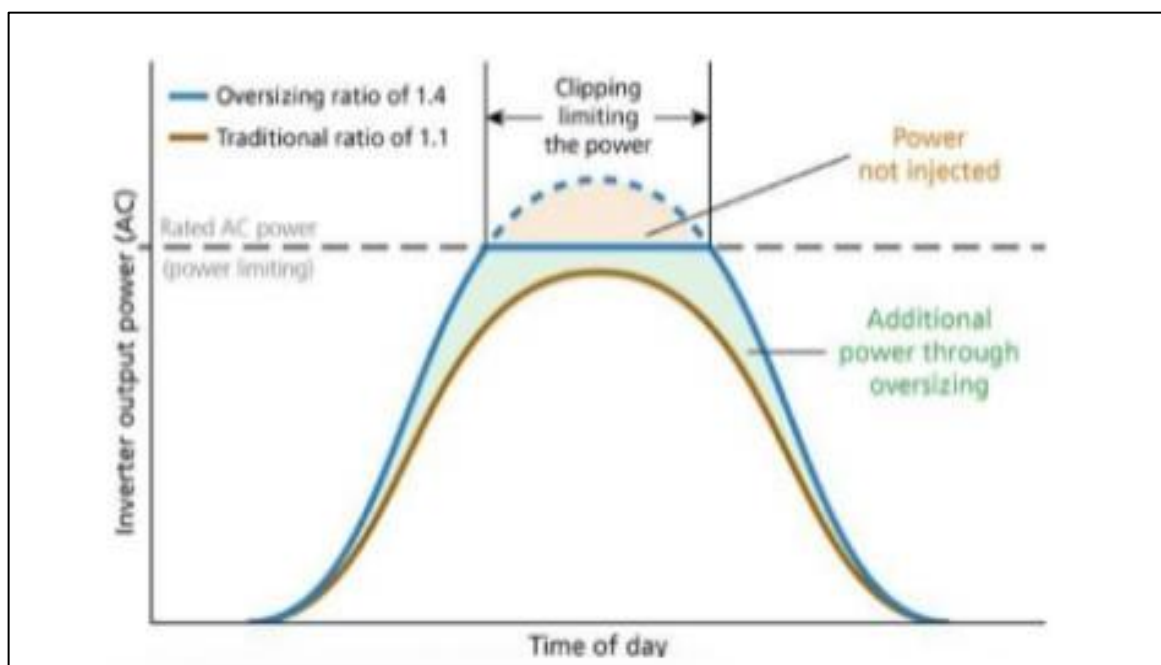
7. DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES.

O dimensionamento do inversor fotovoltaico depende diretamente do painel fotovoltaico que foi dimensionado para o sistema. Essa relação entre potência de placas e potência do inversor é chamado de: Fator de dimensionamento do inversor (FDI), que é definido como a razão entre a potência do inversor e a potência de painéis solares da usina fotovoltaica. (PINHO; GALDINO, 2014).

Neste capítulo será abordado como dimensionar as 03 principais tecnologias de inversor do mercado brasileiro: Inversor Convencional ou comumente chamado de Inversor tradicional, Inversores simplificados com otimizadores de potência e microinversores.

É interessante ressaltar que a análise do fator de dimensionamento do Inversor (FDI) realizada corretamente, pode reduzir o custo da usina fotovoltaica, melhorando a viabilidade de implantação do sistema. Isso porquê o inversor pode ser subdimensionado aplicando a técnica chamada “Oversizing”, que resumidamente é realizar uma instalação com uma potência de módulos fotovoltaicos maior que a potência nominal do inversor, como demonstrado na Figura 47, exposta a seguir:

Figura 47: Inversor com ou sem Oversizing.



Fonte: Canal Solar (2022)

Na figura acima temos um gráfico cujo o eixo “Time of day” representa a geração de uma usina fotovoltaica durante todo o período de um dia, e no Eixo “Inverter output power (AC)” representa a potência de saída do Inversor.

No gráfico existe uma curva Laranja que toda a área abaixo dela representa a geração de um Inversor sem a utilização da técnica Oversizing e em Azul é a representação de um sistema cujo o inversor utilizou dessa técnica.

A área entre a curva azul e a curva laranja é a potência “a mais” entregue por um inversor de mesma potência. E a área abaixo da curva pontilhada azul é a energia que o inversor irá realizar um “Clipping” (Transformação de Energia elétrica em Energia térmica), pois a potência de geração ultrapassou o limite de sua potência máxima de saída.

O oversizing será viável quando a área da curva rosada, abaixo da linha pontilhada azul, for menor que a área verde claro, entre a curva laranja e azul, criando assim um sistema com a capacidade de geração maior com o mesmo inversor. Exemplo: Sistema com um Inversor de 8.000W (Potência máxima de saída) com 9.600W de placas instaladas, considerando um Oversizing de 20%. Todo Inversor existe em seu Datasheet (Ficha técnica) o Oversizing máximo suportado.

7.1 Potência máxima de entrada e saída.

A potência máxima de entrada e saída das 03 tecnologias: Inversor convencional, inversor simplificado com otimizador de potência e microinversores, é analisado da mesma forma: Análise do Datasheet fornecido pela fabricante do equipamento, como nas Figuras 48, 49 e 50, ilustradas a seguir:

Figura 48: Datasheet Inversor Tradicional Growatt 7kW e 8kW

Ficha de dados	7000MTL-S	8000MTL-S
Dados de entrada		
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	9100W	10500W
Máxima tensão CC	550V	550V
Tensão de partida	100V	100V
Tensão nominal	360V	360V
Faixa de tensão de MPP	80-550V	80-550V
Número de MPPT	2	2
Número de strings fotovoltaicos por MPPT	2/1	2/1
Corrente máxima de entrada por MPPT	2*12.5A/12.5A	2*12.5A/12.5A
Máx. corrente de curto-circuito por MPPT	32A/16A	32A/16A
Categoria de sobretensão CC	Categoria II	Categoria II
Saída (CA)		
Potência nominal de saída CA	7kW	8.2kW
Potência aparente máxima de CA	7kVA	8.2kVA
Tensão nominal de saída(Faixa)	220V(180-280V)	220V(180-280V)
Frequência de rede CA(Faixa)	50/60Hz(44-55Hz;54-65Hz)	50/60Hz(44-55Hz;54-65Hz)
Corrente máxima de saída	33.5A	35.7A
Fator de potência (@potência nominal)	>0.99	>0.99
Fator de potência ajustável	0.8i-0.8c	0.8i-0.8c
THDI	<3%	<3%
Tipo de conexão da rede CA	Fase única	Fase única
Categoria de sobretensão CA	Categoria III	Categoria III

Fonte: Fabricante Growatt (2022)

Figura 49: Datasheet microinversor DS3D Apsystems

DS3D Microinverter Datasheet	
Region	Brazil
Input Data (DC)	
Recommended PV Module Power (STC) Range	315Wp-670Wp+
Peak Power Tracking Voltage	64V-110V
Operating Voltage Range	52V-120V
Maximum Input Voltage	120V
Maximum Input Current	20A x 2
Output Data (AC)	
Maximum Continuous Output Power	2000W
Nominal Output Voltage/Range*	220V/ 176V-242V
Adjustable Output Voltage Range	170V-278V
Nominal Output Current	9A
Nominal Output Frequency/ Range*	60Hz/57.5Hz-62Hz
Adjustable Output Frequency Range	55Hz-65Hz
Maximum Units per 30A Branch**	3

Fonte: Fabricante APSsystems (2022)

Figura 50: Datasheet Inversor simplificado com otimizador de potência SolarEdge

	SE12.5K	SE15K	SE16K	SE17K	SE25K	SE27.6K	
OUTPUT							
Rated AC Power Output	12500	15000	16000	17000	25000 ⁽¹⁾	27600	VA
Maximum AC Power Output	12500	15000	16000	17000	25000 ⁽¹⁾	27600	VA
AC Output Voltage - Line to Line / Line to Neutral (Nominal)	380 / 220 ; 400 / 230						Vac
AC Output Voltage - Line to Neutral Range	184 - 264.5						Vac
AC Frequency	50/60 ± 5						Hz
Maximum Continuous Output Current (per Phase)	20	23	25.5	26	38	40	A
Grids Supported - Three Phase	3 / N / PE (WYE with Neutral)						V
Utility Monitoring, Islanding Protection, Configurable Power Factor, Country Configurable Thresholds	Yes						
INPUT							
Maximum DC Power (Module STC)	16850	20250	21600	22950	33750	37250	W
Transformer-less, Ungrounded	Yes						
Maximum Input Voltage	900						Vdc
Nominal DC Input Voltage	750						Vdc
Maximum Input Current	21	22	23	23	37	40	Adc
Reverse-Polarity Protection	Yes						
Ground-Fault Isolation Detection	700kΩ Sensitivity				350kΩ Sensitivity ⁽²⁾		
Maximum Inverter Efficiency	98				98.3		%
European Weighted Efficiency	97.7	97.6	97.7	97.7	98	98	%
Nighttime Power Consumption	< 2.5				< 4		W

Fonte: Fabricante SolarEdge (2022)

7.2 Tensão máxima de entrada.

Como no tópico 6.1, com as tabelas exemplificadas é possível obter a informação de tensão máxima de entrada. Essa informação é importante para identificar se o Inversor é compatível com o painel fotovoltaico escolhido. Pois existem variações de fabricantes e potências de painéis no mercado, e em consequência disso, as tensões geradas por esses painéis também têm variações, como explicado no capítulo 5 – Dimensionamento de módulos e painéis. Contudo o dimensionamento e o cuidado para as 03 tecnologias diferem:

1. Inversor Tradicional/Convencional: Ao analisar a tabela do Inversor Growatt 8kW (Figura X), é possível extrair a informação de Tensão máxima de entrada: 550Vdc (Tensão em corrente contínua). Essa informação aponta que ao somar as tensões dos painéis fotovoltaicos, essa tensão não poderá passar de 550Vdc em cada string. No caso desse Inversor em específico, no datasheet é informado que ele poderá possuir até 02 string's.

2. Inversor Simplificado com Otimizador de Potência: Utilizando o inversor SE12.5K como exemplificação (Figura X), obtém-se uma tensão máxima de entrada de 900Vdc. Essa tensão será a de entrada máxima por string do Inversor. É importante ressaltar que essa tecnologia utiliza de otimizadores de potência a cada 1 ou 2 painéis

solares. Os otimizadores fazem a administração desse sistema e também é o regulador de tensão de saída e corrente de cada painel fotovoltaico.

3. Microinversores: Nesse tipo de tecnologia, os painéis são individualizados, então temos uma tensão máxima de entrada por porta do microinversor. Utilizando o datasheet (FIGURA X), obtém-se o “Range” (limite mínimo e máximo) de tensão aceitável por entrada do equipamento: 52-120Vdc, ou seja, cada porta pode receber um painel que tenha entre 52Vdc até 120Vdc de tensão de saída.

7.3 Tensão de inicialização.

Como mencionado nos tópicos anteriores, cada tecnologia e fabricante dessa tecnologia informa a tensão mínima de inicialização do sistema. Ao acordar do sistema, ao nascer do sol, as placas solares deverão atingir uma tensão mínima para que o inversor desperte e inicialize o seu trabalho de administração e conversão de energia elétrica CC para CA. Existem muitas variações do mínimo de tensão de inicialização do sistema, por cada equipamento e fabricante, como na Figura 51

Figura 51: Tensão mínima para a inicialização do sistema: 100Vdc.

Datasheet	MIN 2500TL-X
Input Data	
Max. recommended PV power (for module STC)	3500W
Max. DC voltage	500V
Start voltage	100V
MPPT voltage range/ nominal voltage	80V-500V /360V
Max. input current	12.5A/12.5A
Max. short-circuit current	16A/16A
Number of independent MPP trackers / strings per MPP tracker	2/1

Fonte: Fabricante Growatt (2022)

Cabe ao projetista e instalador identificar qual tipo de inicialização atenderá a demanda do cliente.

7.4 Corrente máxima de entrada.

A corrente máxima de entrada, também informada pelo datasheet, assim como a tensão máxima de entrada, serve para informar a corrente máxima suportada nas entradas de string's do inversor convencional ou de cada porta da tecnologia de microinversores. Assim, após a escolha da potência dos painéis, é importante buscar uma corrente compatível entre Inversor e Pannel. Exemplo: No datasheet do microinversor Tabela 5, a corrente máxima suportada por entrada é de 20A (amperes). Portanto no momento de escolha dos painéis é importante identificar a corrente máxima de saída do painel, como na figura a seguir:

Tabela 5: Corrente de potência máxima"

Module Type	DHM-72X10					▼
Maximum Power (Pmax)	540W	545W	550W	555W	560W	
Open-circuit Voltage (Voc)	49.8V	50.0V	50.2V	50.4V	50.6V	
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.0V	42.2V	42.4V	42.6V	42.8V	
Short-circuit Current (Isc)	13.66A	13.72A	13.78A	13.84A	13.90A	
Maximum Power Current (Imp)	12.86A	12.91A	12.97A	13.03A	13.08A	
Module Efficiency (%)	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%	21.7%	
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C					
Temperature Coefficient of Voc	-0.31%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax	-0.35%/°C					
Standard Test Environment : Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, Spectrum AM1.5						

Fonte: Fabricante DAH (2022).

7.5 Escolha do Inversor.

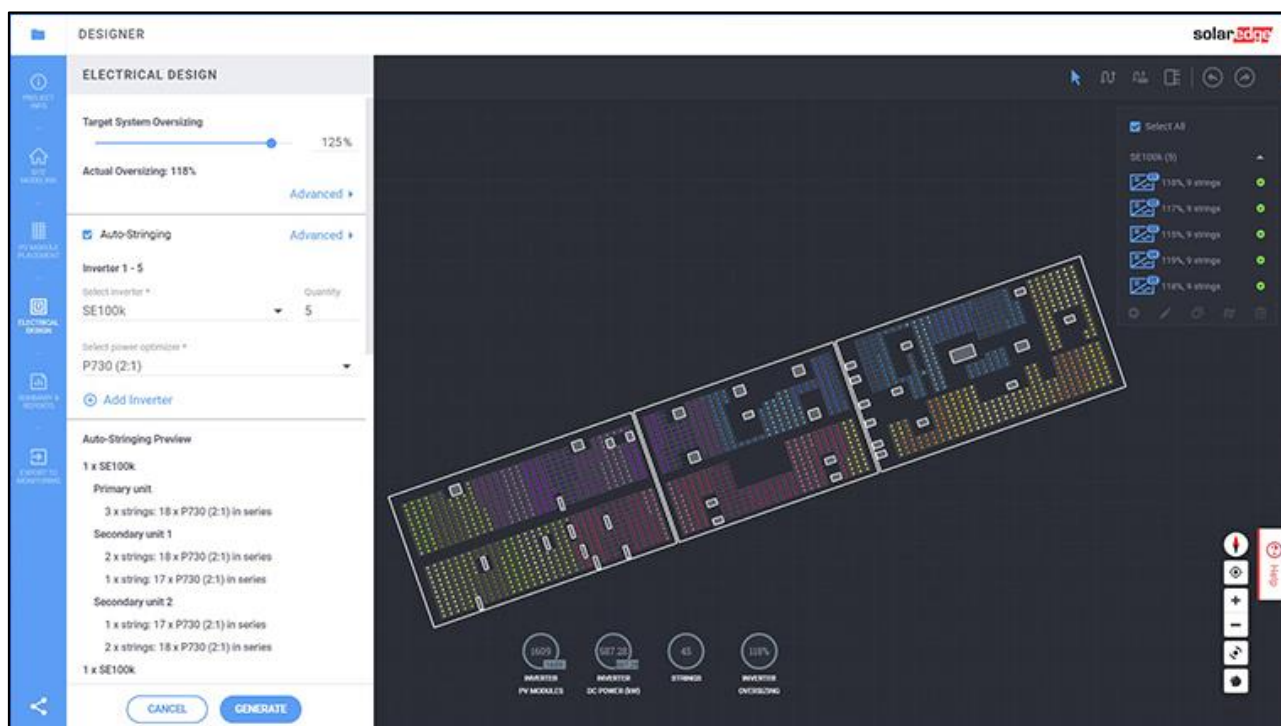
O primeiro passo para escolha do inversor é estudar o Capítulo 4 e entender as vantagens e desvantagens de cada tecnologia. Após a definição de qual tecnologia irá aprovar em seu projeto, identificar qual fabricante irá fornecer melhor eficiência, garantia de equipamentos, suporte técnico e um pós venda de qualidade.

Como mencionado nos tópicos anteriores, existe o passo a passo para a escolha ideal do seu equipamento de conversão:

Obter o datasheet dos painéis para ter as seguintes informações: Potência máxima, Corrente máxima de saída e Tensão máxima de saída.

1. Realizar o cálculo de potência máxima dos painéis, por string, por exemplo: 20 Painéis de 550W – $20 \times 550 = 11.000\text{W}$.
2. Identificar o Inversor/Microinversor que atenda potência em placas, como calculado no passo 2, definindo se irá trabalhar com oversizing ou limitando na potência nominal do equipamento.
3. Analisar se a entrada do Inversor/microinversor atende a corrente e tensão máxima gerada pelos painéis.
4. Após essas definições, realizar a aferição em aplicativos de dimensionamento de placas e inversores, como: PVsyst, Pvsol, Designer Solaredge (apenas o designer solaredge é gratuito). A Figura 52 expõe o software do Designer SolarEdge.

Figura 52: Software de dimensionamento de inversores e painéis Designer SolarEdge.



Fonte: Solaredge (2022)

8. TIPOS DE ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

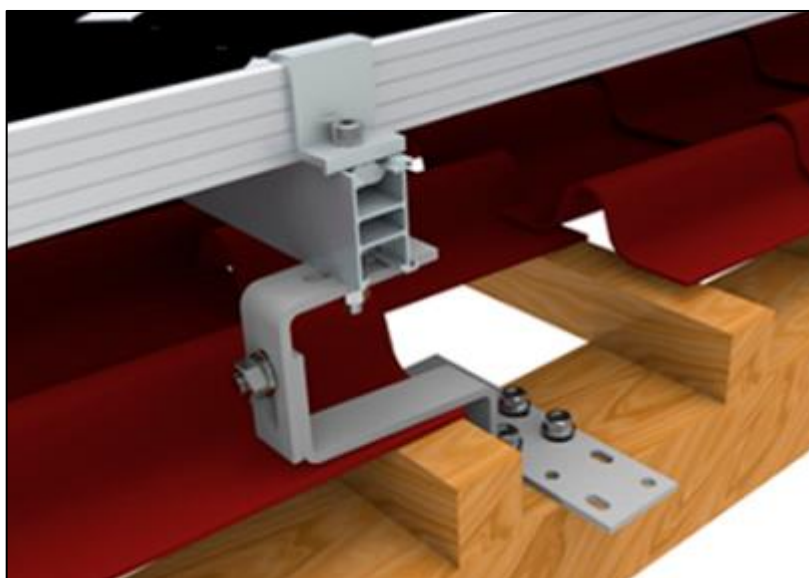
No capítulo anterior foi estudado o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos. Agora será estudado sobre as diferentes topologias de estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos, o que será fundamental para dimensionar um sistema fotovoltaico.

No Brasil existem diferentes tipos de telhados como: cerâmico, fibrocimento com viga de madeira, fibrocimento com viga de metal, shingle, telha tégula ou de concreto, trapezoidal metálico, sanduíche e laje. Além disso, existe a estrutura de instalação dos painéis solares em solo. Sendo assim, será comentado nos próximos tópicos sobre cada uma delas.

8.1 Estrutura de fixação para telhado cerâmico

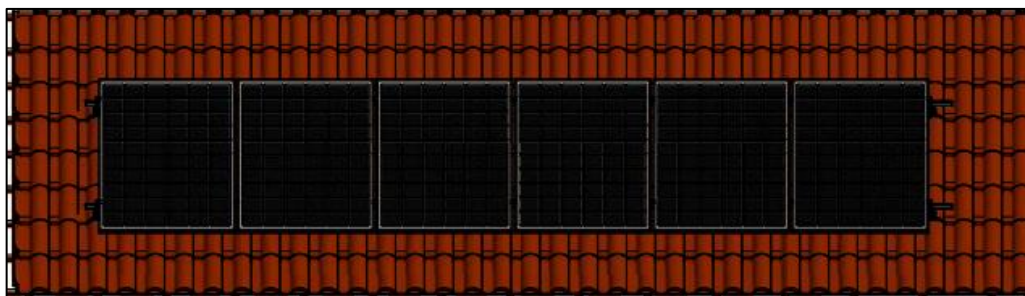
Nesse tipo de telhado, é recomendado a utilização dos ganchos para fixação entre a telha cerâmica e a base do telhado. Vale destacar que, existem muitos telhados antigos e frágeis. Sendo importante, fazer uma boa preparação técnica para instalação dos módulos nesse telhado. Nas Figuras 53, 54 e 55 mostram como funciona a fixação desse tipo de estrutura.

Figura 53: Estrutura de fixação gancho.



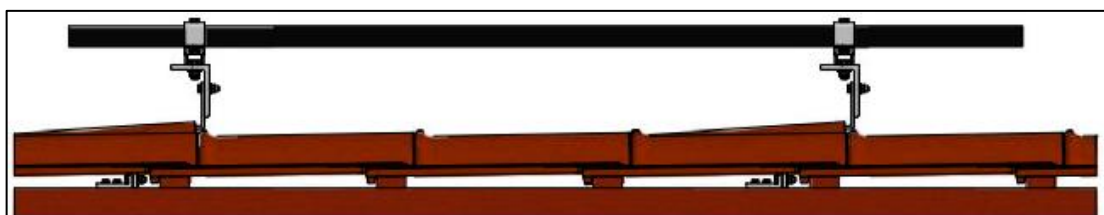
Fonte: Portal Solar (2022)

Figura 54: Módulos fotovoltaicos em telha cerâmica.



Fonte: Solar Group (2020)

Figura 55: Fixação dos módulos fotovoltaicos em telha cerâmica



Fonte: Solar Group (2020)

8.2 Estrutura de fixação para telhado fibrocimento com viga de madeira

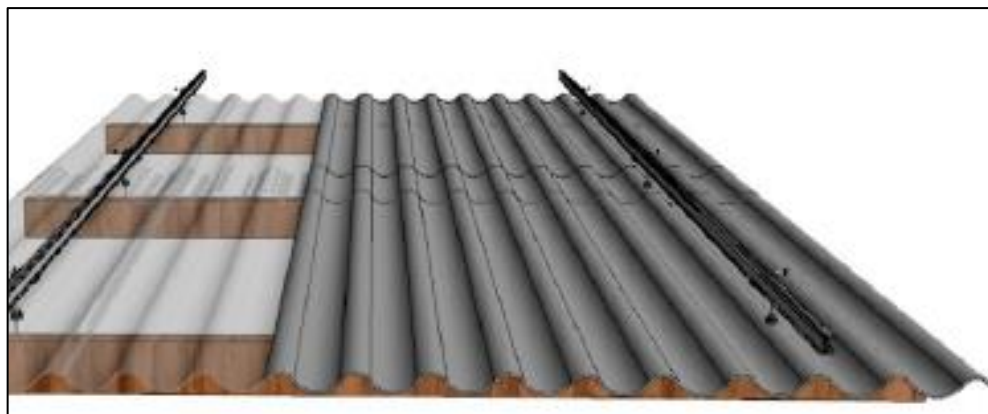
Esse tipo de telhado é feito com uma mistura de cimento e fibras, sendo que sua estrutura de fixação das telhas é de madeira. Portanto, é recomendado a utilização do parafuso estrutural para perfuração perpendicular (90°) ao telhado e fixação na viga de madeira. Nas Figuras 56, 57 e 58 mostram como funciona esse tipo de estrutura.

Figura 56: Fixação do parafuso estrutural madeira



Fonte: Spin Estruturas (2021)

Figura 57: Estrutura de fibrocimento com viga de madeira.



Fonte: Spin Estruturas (2021)

Figura 58: Aplicação do parafuso estrutural em fibrocimento com viga de madeira.



Fonte: Get Powe Solar (2022)

8.3 Estrutura de fixação para telhado fibrocimento com viga de metal

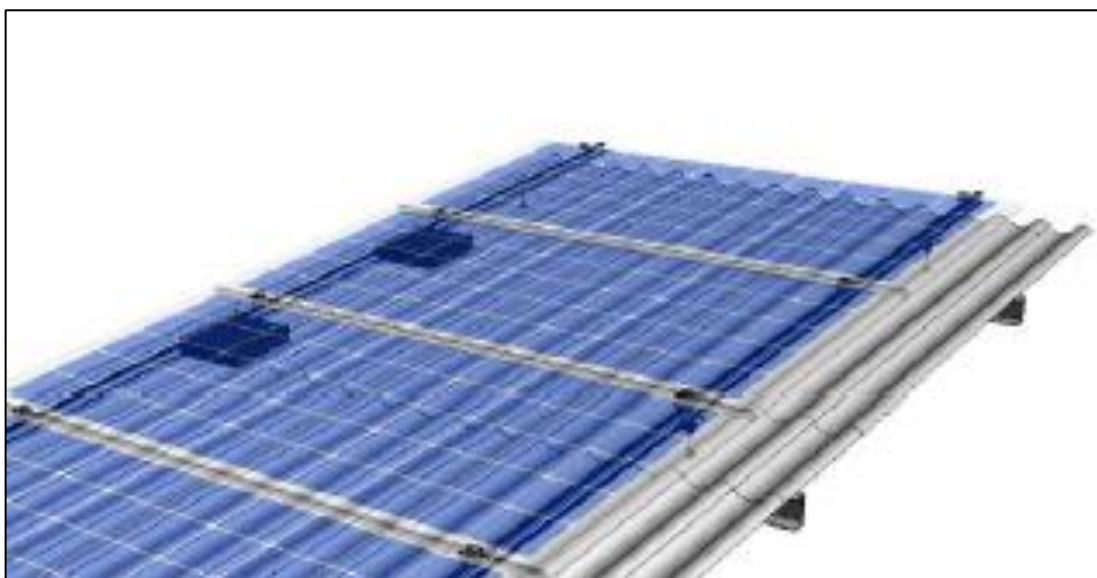
Além da estrutura de fixação para telhado de fibrocimento com viga de madeira, existe a fixação também no telhado de fibrocimento com viga de metal, a única diferente está na estrutura de sustentação das telhas que é de metal. Portanto, nessa tipologia utiliza-se o parafuso estrutural metálico. Nas Figuras 59 e 60 mostram como funciona esse tipo de estrutura.

Figura 59: Fixação do parafuso estrutural em fibrocimento com viga de metal



Fonte: Spin estruturas (2021)

Figura 60: Aplicação do parafuso estrutural em fibrocimento com viga de metal



Fonte: Spin estruturas (2021)

8.4 Estrutura de fixação para telhado shingle

O telhado shingle são telhas planas fabricadas a partir de uma manta asfáltica, misturadas com fibras de vidro e revestidas por partículas de aço mineral ou sintético. A estrutura de fixação para esse tipo de telhado em sistemas fotovoltaicos é chamada de suporte shingle. Nas Figuras 61, 62 e 63 mostram como funciona esse tipo de estrutura.

Figura 61: Aplicação do suporte shingle



Fonte: Solar Group (2021)

Figura 62: Aplicação do suporte shingle.



Fonte: Solar Group (2021)

Figura 63: Aplicação do suporte shingle.



Fonte: Solar Group (2021)

8.5 Estrutura de fixação para telha tégula ou de concreto

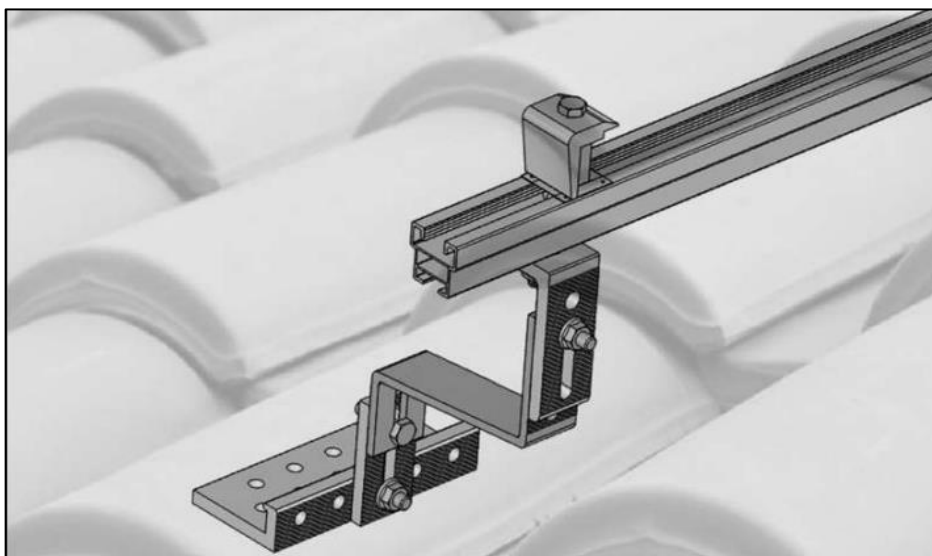
A telha tégula é muito parecida com a telha cerâmica, a única diferença que é feita de concreto. Portanto, nesse tipo de telhado a estrutura de fixação utilizada continua sendo a mesma da cerâmica, o gancho. Nas Figuras 64 e 65 abaixo ilustram esse tipo de estrutura de fixação.

Figura 64: Módulos fotovoltaicos em telha tégula.



Fonte: Blue Sol (2020)

Figura 65: Fixador para telha tégula

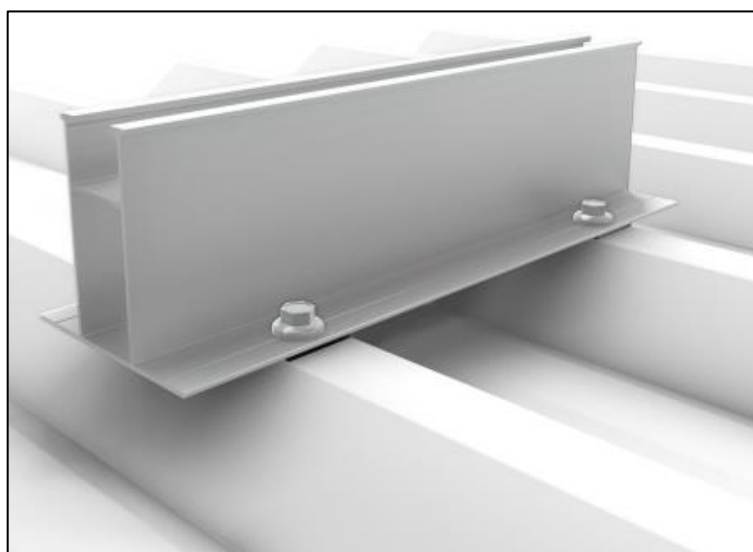


Fonte: Solar Group (2020)

8.6 Estrutura de fixação para telhado trapezoidal metálico

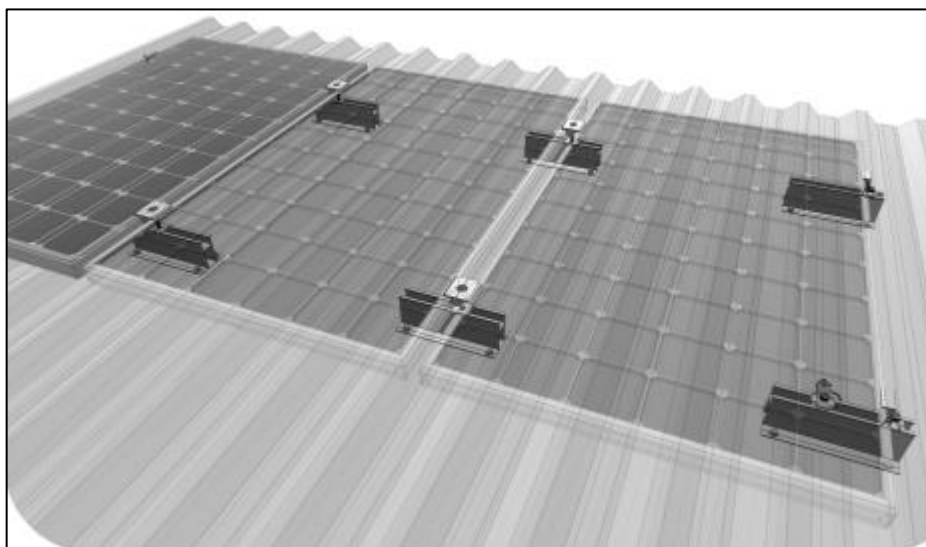
A telha trapezoidal metálica é formada por uma camada de alumínio ou zinco com base madeira ou metálica. Nesse tipo de telhado, não é indicado a perfuração com parafuso estrutural, mas sim a fixação dos módulos fotovoltaicos apenas sobre a parte de alumínio ou zinco devido a estabilidade e isolamento. Nas Figuras 66 e 67 observa-se como funciona esse tipo de estrutura de fixação.

Figura 66: Estrutura telhado trapezoidal metálico Minitrilho.



Fonte: 2P Acessórios (2020)

Figura 67: Aplicação da estrutura telhado trapezoidal metálico - minitrilho



Fonte: 2P Acessórios (2020)

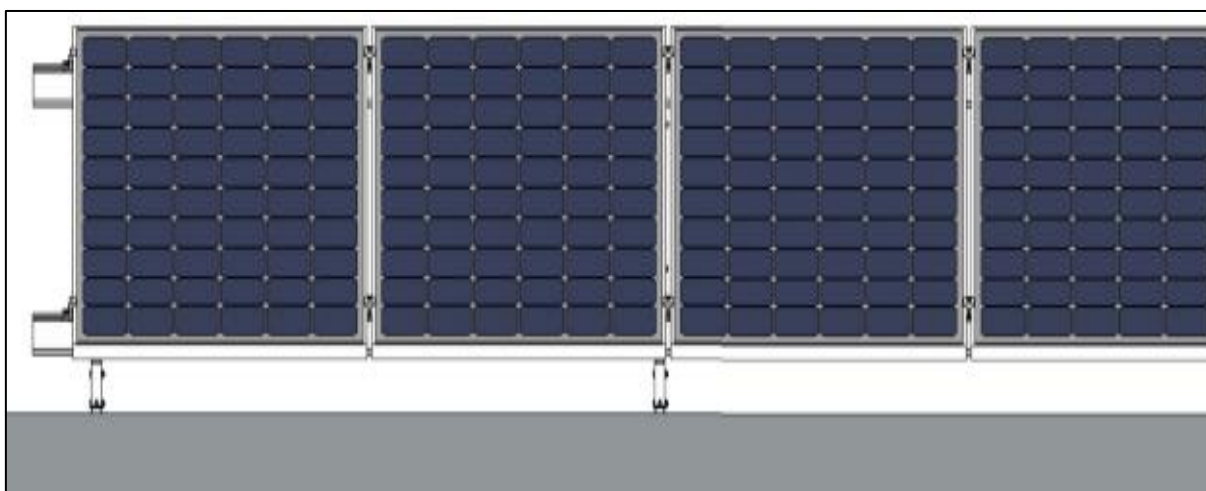
8.7 Estrutura de fixação para telhado sanduíche

A telha sanduíche é formada por três camadas, sendo duas de alumínio ou zinco e uma de isopor. Nesse tipo de telhado não é indicado a perfuração com parafuso estrutural, mas sim a fixação dos módulos fotovoltaicos apenas sobre a parte de alumínio ou zinco devido a estabilidade e isolamento. O princípio de fixação dos módulos fotovoltaicos nesse tipo de estrutura é ilustrado nas figuras do tópico 7.6.

8.8 Estrutura de fixação para laje

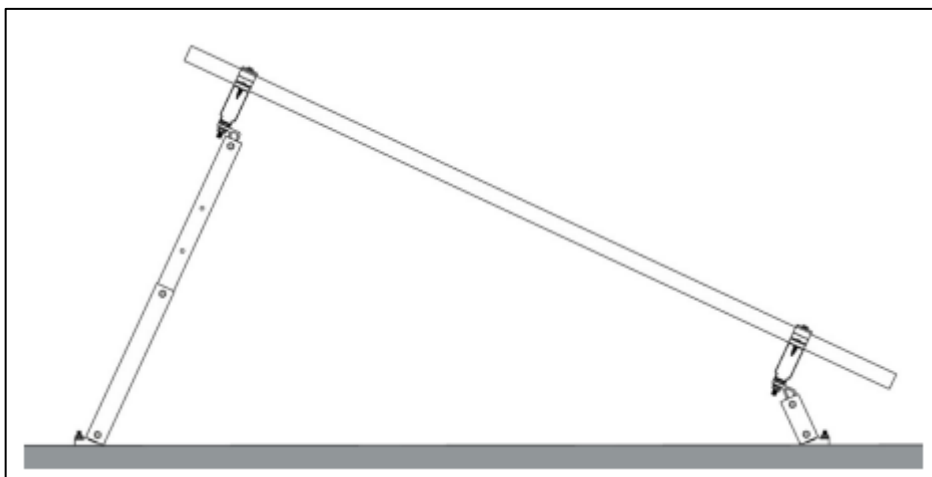
A laje é uma cobertura plana feita de concreto, sendo assim é necessário cuidados especiais para instalação de módulos fotovoltaicos em cima dela. Nesse tipo de cobertura é utilizado a fixação por meio dos triângulos de inversão que posicionam os módulos com ajustes de inclinação e orientação conforme as condições de instalação locais de sombreamento. Nas figuras 68 e 69 mostram como funciona esse tipo de fixação.

Figura 68: Aplicação da estrutura para laje – triângulo de inversão



Fonte: Solar Group (2020)

Figura 69: Triângulo de inversão.



Fonte: Solar Group (2020)

8.9 Estrutura de fixação em solo

A estrutura de fixação em solo exige todo um processo de concretagem, estudo de solo, utilização de sapatas de concreto e revestimento em brita para aterramento e fácil absorção da água. Nas figuras 70 e 71 abaixo ilustram como funciona esse tipo de fixação.

Figura 70: Aplicação Estrutura de solo.



Fonte: Portal Solar (2022)

Figura 71: Estrutura de solo.



Fonte: Portal Solar (2022)

Por fim, vale destacar que existem diversos tipos de estruturas de fixação em sistemas fotovoltaicos, porém as mais usuais foram descritas nos tópicos anteriores.

No próximo capítulo será analisado os tipos de instalações dos sistemas fotovoltaicos.

9. MONTAGEM

Depois de analisado todos os aspectos citados durante o estudo, um ponto importante, que se refere a montagem do sistema fotovoltaico, um dos principais pontos para traçar o planejamento da montagem dos painéis solares, diz respeito ao tipo de estrutura e qual inversor escolhido para geração do sistema.

O primeiro passo de montagem é representado pela instalação da estrutura de suporte, no qual fixará os módulos fotovoltaicos, o processo de instalação ocorre conforme o fabricante, dado que cada um possui soluções específicas para suprir a necessidade estrutural.

No que tange a estrutura, o local em que será instalado o sistema fotovoltaico é um ponto importante, como verificado no capítulo anterior, a estrutura pode ser de diferentes tipos, que vai de acordo com o local: Telhado ou solo. Na Figura 72, observa-se um telhado cerâmico.

Figura 72: Fixação de perfis em telhado cerâmico



Fonte: Sousa e Franco (2018).

Assim é importante avaliar qual o telhado em que será instalado o sistema, tomando cuidado na execução, principalmente no que diz respeito a integridade da telha, assim o instalador deve avaliar qual o local mais seguro para ele que possa instalar o sistema, sem danificar as telhas.

Com a estrutura instalada, o próximo passo é realizar a fixação dos módulos fotovoltaicos. Esse momento é importante que haja um cuidado especial, para que não se tenha nenhuma avaria que prejudique a geração dos painéis solares. Como exemplo, é comum

situações em que os instaladores caminhem por cima dos módulos fotovoltaicos para realizar a instalação, isso pode danificar e causar microfissuras no painel solar.

Com os módulos fotovoltaicos já fixados, outro passo importante é a parte elétrica, sendo que deve seguir as recomendações das fabricantes dos módulos fotovoltaicos, e além disso, as orientações das fabricantes de inversores, uma vez que o sistema é integrado módulo-inversor.

Nos microinversores, os módulos fotovoltaicos são conectados em paralelo, já nos inversores convencionais são colocados em série. A Figura 73 mostra um inversor tradicional.

Figura 73: Inversor tradicional



Fonte: Sousa e Franco (2018).

Nos microinversores, é importante que o instalador verifique quantos módulos podem ser conectados a cada microinversor, a partir dessa análise, ele também poderá verificar qual os disjuntores, tamanho da área de secção transversal do condutor, dentre outros aspectos.

Nos inversores tradicionais, o sistema possui um limite de conexão por módulos fotovoltaicos em determinada *string*, sendo importante ao projetista realizar o balanceamento de string, caso necessário, para que elas possam atuar de modo seguro e eficiente na geração do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar fotovoltaica é uma alternativa presente no setor de energia elétrica no Brasil. Entendendo que o mercado está com uma alta demanda de profissionais qualificados, esse texto buscou exemplificar e orientar um futuro instalador de usinas, criando uma base teórica para que seja possível o leitor entender como realizar a instalação passo a passo de um sistema fotovoltaico. O estudo dos módulos, inversores, estruturas e da montagem do sistema são fundamentais para analisar o sistema fotovoltaico por completo. O setor fotovoltaico ainda tem muito a crescer no país principalmente devido as altas taxas de radiação solar e localização geográfica. As inovações tecnológicas desse setor são apresentadas anualmente em feiras como Intersolar em São Paulo - SP (maior feira da América Latina do mercado fotovoltaico

REFERÊNCIAS

- ASSIS, A. S. de. et al. **Uma História de inovação tecnológica no espectro da luz**. São Paulo: Clube de Autores, 2013.
https://www.researchgate.net/publication/316583650_Uma_Historia_de_Inovacao_Tecnologica_no_Espectro_da_Luz. Acesso em: 04 de dezembro de 2021.
- ALVES, Marliana de O. L. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em:
https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf. Acesso em: 18 de abril de 2022.
- ANDRADE, P. I. F. **Análise da distribuição especial e temporal da radiação solar na Região Sul Litorânea e Serrana de Santa Catarina a partir de estações meteorológicas de superfície**. Monografia (Engenharia de Energia), Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá/SC, 2020. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/DfZGpdWH53yHvvj9kwjMqqt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 de dezembro de 2021.
- ARAUJO, F. O.; LEME, S. P. L.; ARAUJO, L. O., SANTOS, B. L. S. E., HIGUTI, L. A. H. **Proposta de Adaptação da Norma Brasileira ABNT NBR 16274 e de Alguns Pontos em Normas Técnicas em Determinadas Concessionárias para Correta Avaliação da Metodologia de Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede com Inversor Orientado ao Módulo**. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (VI CBENS), 2016, Belo Horizonte - MG. Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (VI CBENS), 2016.
- ANDRADE, A. M. S. S. **Microinversores baseados na topologia meia-ponte isolada alimentada em corrente**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia Programa de Pós – Graduação em Engenharia Elétrica. Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2018. Disponível em:
https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15887/TES_PPGEE_2018_ANDRADE_ANTONIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 09 de janeiro de 2022.
- AGNALDO, J. S.; BASTOS, J. B. V.; CRESSONI J. C.; VISWANATHAN, G. M. Células solares de TiO₂ sensibilizado por corante. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 28, n. 1, p. 77 - 84. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/YZT58RsdFMRpVMdsmCynBYM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 de janeiro de 2022.
- ABDALA, Paulo Jayme Pereira. **Análise Energética e Exergética de Módulos Fotovoltaicos de Silício Monocristalino e Policristalino**. 2019. Disponível em:
<https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/5871>. Acesso em: de janeiro de 2022
- BRITO, Erick Matheus da Silva Brito. **Construção de um caracterizador solar baseado em carga capacitiva**. Monografia (Bacharel de Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Viçosa, Faculdade de Engenharia Elétrica, Viçosa, 2014. Disponível em:
<http://www.gesep.ufv.br/wp-content/uploads/erick2013.pdf>. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Energia eólica no Nordeste**. Caderno Setorial, ano 6, n. 200, 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1045/1/2021_CDS_200.pdf. Acesso em: 01 de abril de 2022.

BRITO, M. A. G. de. **Inversores Integrados Monofásicos e Trifásicos para Aplicações Fotovoltaicas: Técnicas para obtenção de MPPT, detecção e proteção de ilhamento, sincronização e paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica**. Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2013. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100343/brito_mag_dr_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 11 de janeiro de 2022

BIGGI, R. R. **O uso da luz solar como fonte de energia elétrica através de sistema fotovoltaico – sf**. Monografia (Pós- Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/wp-content/uploads/2013/02/TCC-Roger.pdf>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022.

BRASIL. **Decreto nº 10.779, de 25 de agosto de 2021**. Estabelece medidas para a redução do consumo de energia elétrica no âmbito da administração pública federal. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.779-de-25-de-agosto-de-2021-340742061>. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

BENEVIT, M. G.; DIAS, P. R.; VEIT, H. M. **Painéis solares fotovoltaicos de silício cristalino: métodos químicos de separação de componentes**. 2014. In: IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: <http://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/trabalhos/id909.pdf>. Acesso em: 17 de janeiro de 2022.

BESERRA, Amanda Santiago. **Simulação e análise da influência da radiação e temperatura no desempenho de módulos fotovoltaicos**. Monografia (Bacharel de Engenharia Elétrica) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Engenharia e Tecnologia, Mossoró, 2019 Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/3632>. Acesso em: 27 de janeiro de 2022.

BODÃO, Juliano Henrique. **Desenvolvimento Colaborativo de Telhas Fotovoltaicas com RCD**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Do Paraná programa de pós-graduação em design, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/35452>. Acesso em: 21 de janeiro de 2022

CHAMMA, Bruno Cordeiro. **Projeto de uma microgeração fotovoltaica aplicada a uma residência**. Monografia (Bacharel de Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://monografias.poli.ufRJ.br/monografias/monopoli10020752.pdf>. Acesso em: 18 de janeiro de 2022

CORNELIUS, R.; COSTA MAIA, A.; SEBASTIÃO DA SILVA, G.; WAGNER MACIEL KAEHLER, J. **Construção da curva característica de um painel fotovoltaico utilizando método de newton-raphson e algoritmos genéticos**. Universidade Federal do Pampa, Anais

do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 10, n. 2, 3, Santana do Livramento 2020. Disponível em:
<https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/100605>. Acesso em: 24 de janeiro de 2022

COSTA, R. de C. da. **Desenvolvimento de processos industriais de fabricação de células solares bifaciais em silício CZ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3138>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

CARNEIRO, J. A. O. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. Texto para discussão do mestrado Integrado em Engenharia Têxtil, Universidade de Minho, 2010. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16965/1/DIMENSIONAMENTO%20DE%20SISTEMAS%20FOTOVOLTAICOS.pdf>. Acesso em: 2 de junho de 2022.

CARNEIRO, J. A. O. **Semicondutores: modelo matemático da célula fotovoltaica**. Texto para discussão do mestrado Integrado em Engenharia Civil Universidade de Minho, Braga, 2010. Disponível em:
https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16960/1/Semicondutores_Modelo%20matemático%20da%20célula%20fotovoltaica. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

CASTRO, N.; BRANDÃO, R. **Causas da crise hídrica no Brasil**. Gesel UFRJ, 2021. Disponível em:
http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/14_Castro_2021_07_23.pdf. Acesso em: 13 de janeiro de 2022.

CANÇADO, J. C. S. **Análise de um sistema de bombeamento fotovoltaico**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em:
https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1347/1/MONOGRAFIA_An%C3%A1liseSistemaBombeamento.pdf. Acesso em: 25 de janeiro de 2022.

CORREA, P. C. **Projeto do sistema de propulsão de uma embarcação solar/eólica**. Monografia (Engenharia Mecânica), Universidade de Taubaté, Taubaté, 2019. Disponível em:
<http://186.236.83.17:8080/jspui/bitstream/20.500.11874/4491/1/Pedro%20Conte%20Correa.pdf>. Acesso em: 23 de dezembro de 2021.

CRUZEIRO, Wendell da Silva. **Da ótica ao eletromagnetismo: uma proposta de ensino investigativo sobre a luz e seus impactos tecnológicos**. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física), Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em:
https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/39911/3/2020_WendelldaSilvaCruzeiro_PRODUTO.pdf. Acesso em: 18 de abril de 2022.

DIAS, João Batista. **Instalação fotovoltaica conectada à rede: estudo experimental para a otimização do fator de dimensionamento**. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,

Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5819>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022

DA SILVA, I. G. **Projeto de iluminação com energia limpa em uma empresa de telecomunicações**. 2018. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.academia.edu/41206619/Projeto_de_Ilumina%C3%A7%C3%A3o_com_Energia_Limpa_em_uma_Empresa_de_Telecomunica%C3%A7%C3%B5es. Acesso em: 22 de janeiro de 2022.

DANTAS, S. G. **Oportunidades e Desafios da Geração Solar Fotovoltaica no Semiárido do Brasil**. Texto para discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Ipea, 2018. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9680/1/TD_2541.pdf. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Texto para discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Ipea, 2018. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD_2388.pdf. Acesso em: 19 de janeiro de 2022.

DOS SANTOS, J. J. F. **Projeto de uma microgeração fotovoltaica aplicada a uma residência de Curitiba**. Monografia (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10166/1/CT_COELE_2018_2_05.pdf. Acesso em: 28 de janeiro de 2022.

DE OLIVEIRA, M. C. C. **Estudo da fotodegradação e o desenvolvimento de encapsulante para módulos fotovoltaicos de silício cristalino baseado no nanocompósito EVA/GO**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-B58LTZ>. Acesso em: 17 de janeiro de 2022.

ELY, F.; SWART, J. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. O Setor Elétrico, **Espaço IEEE**, 2014. Disponível em: <http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>. Acesso em: 21 de janeiro de 2022.

FAUSTINO, P. C. **Estudo do coeficiente de temperatura em células fotovoltaicas**. Monografia (Engenharia Elétrica), Universidade de Taubaté, Taubaté, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br:8080/jspui/bitstream/20.500.11874/4838/1/Paulo%20Cesar%20Faustino.pdf>. Acesso em: 01 de dezembro de 2021.

FALCÃO, A. W. de S. et al. Os reflexos da crise hídrica brasileira na estrutura de custos das empresas do setor de energia elétrica. **ABCustos**, vol. 14, n. 2, p. 01-36, 2019. <https://revista.abcustos.org.br/abcustos/article/view/475/720>. Acesso em: 22 de janeiro de 2022.

FURUKAWA, Juliana Yuka. **Radiação ultravioleta, infravermelha, visível e artificial: impactos biológicos na pele**. Monografia (Bacharel em Farmácia-Bioquímica), Universidade

de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em:
<https://repositorio.usp.br/directbitstream/855880f4-099f-4b1d-9f07-89ad0150f926/3053955.pdf>. Acesso em: 18 de abril de 2022.

GODOI, R. R. **Análise Comparativa de Desempenho de Inversor String e Microinversor**. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia elétrica, Uberlândia, 2018. Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24118/1/AnaliseComparativaDesempenho.pdf>. Acesso em: 11 de dezembro de 2021.

GÓMEZ, J. M. Rodríguez. et al. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, n. 3, 2018. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/DfZGpdWH53yHvvj9kwjMqqt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 de dezembro de 2021.

GUIMARÃES, A. P. C. et al. **Manual de Engenharia para sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL – CRESEB, Rio de Janeiro 2004.

GÓIS, Pedro Igor de Souza; SOUSA, Matheus Emanuel Tavares; LEMOS, Herick Talles Queiroz. **Influência da inclinação e azimute de superfície de módulos fotovoltaicos na geração de energia elétrica na cidade de Mossoró/RN**. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia), Universidade Federal Rural Do Semiárido, Mossoró/RN, 2020. Disponível em:
https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5890/1/PedroISG_ART.pdf. Acesso em: 18 de abril de 2022.

Industrial Silicon Solar Cells Applying the Passivated Emitter and Rear Cell (PERC) Concept A Review. **IEEE Journal of Photovoltaics**, vol. 6, p.1366-1381, 2016. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7493618>. Acesso em: 22 de janeiro de 2022

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. Disponível em:
<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8608/JOHNINSONIMHOFF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

KRAUSE, Marcelo O'Donnell; PIMENTA, Monica Améndola. **Um estudo sobre a incidência solar e o posicionamento geográfico da cidade de Ilhéus, Bahia, como fator relevante para a instalação de sistemas fotovoltaicos**. Brazilian Journal of Development, vol. 7, n. 8, p. 82779-82795, 2021. Disponível em:
https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf. Acesso em: 18 de abril de 2022.

KOURO, S. et al. Grid-Connected Photovoltaic Systems: An Overview of Recent Research and Emerging PV Converter Technology. **IEEE**, vol. 9, n. 1, p. 47-61, 2015. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7063884>. Acesso em: 19 de dezembro de 2021.

LISBOA, B. R. **Estudo de proteção contra descargas atmosféricas diretas em uma unidade de minigeração fotovoltaica distribuída**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Ceará Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/42368>. Acesso em: 19 de janeiro de 2022

LIMA, João Victor F.; GONÇALVES, Pedro Henrique S. de A. **A influência do ângulo de inclinação na incidência de radiação solar em painéis fotovoltaicos**. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica), Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/24290/1/2018_JoaoVictorLima_PedroHenriqueGoncalves_tcc.pdf. Acesso em: 18 de abril de 2022.

MENEZES, M. de S. **Dimensionamento e análise econômica de um sistema fotovoltaico residencial**. Monografia (Bacharel de Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Campina Grande, Curso de Graduação de Engenharia Elétrica, Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/19062/1/MARCONI%20DE%20SO%20UZA%20MENEZES%20-%20TCC%20ENG.%20ELÉTRICA%202019.pdf>. Acesso em: 17 de janeiro de 2022

MAGARREIRO, Clarisse; FREITAS, Sara; BRITO, Miguel Centeno. Radiação e energia solar. **Sociedade Portuguesa de Física**, vol. 39, n. 1, 2016. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/article/993/pdf>. Acesso em: 07 de dezembro de 2021.

MARTINS R. F. et al. **Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário: o Projeto Swera**. Rev. Bras. Ensino Fís., vol. 26, n. 2, São Paulo, 2004.

MORAES, Paulo Roberto. **Geografia geral e do Brasil**. ed. 2. São Paulo: HARBRA. 2003.

MOURA, R. de A. **Desempenho das diferentes tecnologias de silício na geração fotovoltaica no Semiárido Nordeste – estudo de caso: sistema de 10kwp do IFBA-PA**. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia Campus De Paulo Afonso, Bahia, 2017. Disponível em: https://portal.ifba.edu.br/paulo-afonso/anexos/anexos-cursos/graduacao/Engenharia_Eletrica/TCC-EE/2017/tcc-rubenilson-2017.pdf. Acesso em: 07 de dezembro de 2021.

MOLIN, G. C. D. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para a instalação de painéis solares no departamento de engenharia elétrica da UFRGS**. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/192988>. Acesso em: 13 de janeiro de 2022.

NORBERTO, P. E. S.; LEMOS, H. T. Q. **Modelagem e análise experimental de curva I-V de módulo fotovoltaico**. Monografia (Bacharel de Engenharia Elétrica) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5741/1/PabloESN_ART.pdf. Acesso em: 09 de janeiro de 2022

OLIVATI, Clarissa de Almeida. **Efeito fotovoltaico e fotocondutividade em dispositivos poliméricos**. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos, Departamento de Física e Ciências dos Materiais, São Carlos, 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-02092010-083031/pt-br.php>. Acesso em: 23 de janeiro de 2022

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. vol. 1, Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB. 2014.

RUTHER, R. et al. **Avaliação do impacto da geração distribuída utilizando sistemas solares fotovoltaicos integrados à rede de distribuição**. 2005.

RODRIGUES, R. Y. Y. **Sistema de telemetria para cultivo urbano com comunicação WI-FI alimentado por células fotovoltaicas orgânicas flexíveis**. 2019. Monografia (Engenharia Eletrônica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8441/1/CT_DAELN_2019_1_05.pdf. Acesso em: 22 de janeiro de 2022.

ROSSO, A. P.; SCHAEFFER, L.; RAMPINELLI, G. A. **Desenvolvimento de módulos fotovoltaicos a partir de um processo de laminação de baixo custo**. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético XII CBPE, curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://nteelsolar.paginas.ufsc.br/files/2020/10/045.-Planejamento-DESENVOLVIMENTO-DE-MÓDULOS-FOTOVOLTAICOS-A-PARTIR-DE-UM-PROCESSO-DE-LAMINAÇÃO-DE-BAIXO-CUSTO.pdf>. Acesso em: 19 de janeiro de 2022

RIDELNSKY, Margareth da Costa. **A sustentabilidade ambiental de projetos de sucesso com diferentes alternativas de energia**. Research, Society and Development, vol. 10, n. 11, 2021. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v8n18/v08n18a13.pdf>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

SOUZA, Adilson P.; ESCOBEDO, João F. **Estimativas das radiações direta e difusa em superfícies inclinadas com base na razão de insolação**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 8, n. 3, p. 492-502, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/76801/2-s2.0-84884859619.pdf;jsessionid=1D53D4737D5684895FED75ACB2FE21E5?sequence=1>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

SANTOS, João Correia Dos. **Radiação ultravioleta: estudo dos índices de radiação, conhecimento e prática de prevenção a exposição na região Ilhéus/Itabuna-Bahia**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 2010. Disponível em: <http://www.biblioteca.uesc.br/biblioteca/bdtd/733767599D.pdf>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021.

SIQUEIRA, Mario Benjamim Baptista de. et al. **Balanco térmico de painel fotovoltaico: um estudo experimental**. In: **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/818/818>. Acesso em: 18 de abril de 2022.

SOUSA, Cleberton Pereira de; FRANCO, Tiago Aparecido Silveira. **Projeto e instalação de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de distribuição**. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/493.pdf>. Acesso em: 20 de junho de 2022.

SILVA, Mário Adelmo Varejão. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital. 2005.

Disponível em:

https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: 03 de dezembro de 2021.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia Agrícola. Radiação Solar Balanço de Energia**. Esalq/USP, 2012. Disponível em:

http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula5_2012.pdf. Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

SANTOS, B. de S. **Análise de desempenho e retorno de capital aplicado em sistemas fotovoltaicos com inversor string, microinversor e inversor com otimizador de potência**. Monografia (Bacharel de Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia,

Faculdade de Engenharia elétrica. Uberlândia, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/31976/3/An%C3%A1liseDesempenhoRetorno.pdf>. Acesso em: 18 de dezembro de 2021.

SOUZA, J. P. **Tecnologia MLPE: Como os otimizadores de potência estão revolucionando o mercado fotovoltaico**. In: Ecori Energia Solar, 2019. Disponível em:

<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/tecnologia-mlpe---como-os-otimizadores-de-potencia-estao-revolucionando-o-mercado-fotovoltaico>. Acesso em: 02 de janeiro de 2022.

SANTOS, A. S. dos S. **O estado da arte das células fotovoltaicas**. 2018. Monografia

(Bacharel em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Campina Grande, Campina

Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/18827>.

Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

TONIN, F. S.; JUNIOR, J. U. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. SFVCR, 2016. Disponível em: <http://utfpr-ct-static-content.s3.amazonaws.com/labens.ct.utfpr.edu.br/wp-content/uploads/2016/05/INDUSCON2016-0078.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

VILLALVA, Marcelo. **Módulos fotovoltaicos half-cell. Artigo científico**. Canal Solar, 2019.

Disponível em: <https://canalsolar.com.br/modulos-fotovoltaicos-half-cell/>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

VIEIRA, Ana Cândida Ferreira. **Energias renováveis e sua eficiência na nova economia energética no Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, vol. 8, n. 18,

p. 211-223, 2021. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v8n18/v08n18a13.pdf>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

TEIXEIRA, Cássio Adriano Nunes. et al. **Gás natural: um combustível chave para uma economia de baixo carbono**. BNDES, vol. 27, n. 53, p. 131-175, 2021. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v8n18/v08n18a13.pdf>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

TOSTA, Fernando César Baraviera. **Análise e caracterização de luminária led aplicada em comunicação por luz visível**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5129/1/luminarialedluzvisivel.pdf>. Acesso em: 18 de abril de 2022.