

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA ELÉTRICA - HABILITAÇÃO EM SISTEMAS EM POTÊNCIA

RAMIRES DA SILVA LOPES

**ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO MINIGERAÇÃO**

Juiz de Fora

2024

RAMIRES DA SILVA LOPES

**ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO MINIGERAÇÃO**

Trabalho Final de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com o Artigo 9º do Capítulo IV das Normas de Trabalho Final de Curso estabelecidas pelo Colegiado do Curso de GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - SISTEMAS DE POTÊNCIA, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Orientador: Prof. Flávio Vanderson Gomes

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

.
ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO MINIGERAÇÃO / RAMIRES DA SILVA LOPES. – 2024.
52 f. : il.

Orientador: Prof. Flávio Vanderson Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, FACULDADE DE ENGENHARIA. ENGENHARIA ELÉTRICA - HABILITAÇÃO EM SISTEMAS EM POTÊNCIA, 2024.

1. Fotovoltaico. 2. Dimensionamento. 3. Tracker. 4. PVsyst. 5. Geração distribuída. I. Gomes, Flávio, orient. II. Título

RAMIRES DA SILVA LOPES

**ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO MINIGERAÇÃO**

Trabalho Final de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com o Artigo 9º do Capítulo IV das Normas de Trabalho Final de Curso estabelecidas pelo Colegiado do Curso de GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - SISTEMAS DE POTÊNCIA, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Flávio Vanderson Gomes - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Eng. Bruno Guilherme Alves da Rocha Santiago
Universidade Federal de Juiz de Fora

Aos meus pais e amigos, por nunca deixarem de acreditar,
apoiar e trazer luz.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a algumas pessoas fundamentais nesta jornada.

Primeiramente, agradeço à minha mãe Imaculada e ao meu pai Ronaldo pelo apoio, confiança e esforço conjunto, e por nunca deixarem de acreditar em mim e no meu sonho.

Agradeço a todos os amigos que estiveram presentes ao longo do meu desenvolvimento, sempre compartilhando experiências e oferecendo apoio mútuo. Em especial, agradeço às minhas amigas de engenharia, Bianca e Bárbara, que sempre foram muito mais que colegas de curso. Agradeço também à Maíra por sempre me apoiar e ser paciente comigo nos momentos importantes.

Agradeço ao meu orientador Flávio Gomes e aos professores do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora pelo conhecimento compartilhado, pelo incentivo, dedicação e por todo o aprendizado proporcionado.

Por fim, agradeço aos amigos do departamento privado da Deode Energia: Henrique, Laura, Lucas, Amanda, Julimar, Heitor e, principalmente, João Lucas, por me ensinarem e sempre apoiarem meu desenvolvimento profissional e pessoal nos últimos anos.

Obrigada a todos!

“ Nada na vida deve ser temido, somente compreendido.
Agora é hora de compreender mais, para temer menos.”

Marie Curie.

RESUMO

O dimensionamento de uma Usina Fotovoltaica é fundamentado em diversos fatores cruciais, visando assegurar a eficiência e a viabilidade do projeto. A escolha adequada do terreno é o primeiro passo para otimizar os custos do projeto, pois uma escolha incorreta pode inviabilizá-lo desde o início. Além de uma boa escolha do terreno, o segundo passo envolve a seleção dos principais componentes, incluindo: Módulos Fotovoltaicos, Inversores Fotovoltaicos, Estrutura de Fixação (seja ela *tracker* ou fixa), Eletrocentro e Cabine de Medição. Após a análise técnica e a escolha do modelo de cada equipamento, é necessário realizar algumas análises envolvendo o dimensionamento do quantitativo de cada material e a compatibilidade dos equipamentos.

Palavras-chave: 1. Fotovoltaico. 2. Dimensionamento. 3. Tracker. 4. PVsyst. 5. Geração distribuída.

ABSTRACT

The sizing of a Photovoltaic Plant is based on several crucial factors, aiming to ensure the efficiency and viability of the project. Choosing the right land is the first step to optimizing the project costs, since an incorrect choice can make it unfeasible from the beginning. In addition to choosing the right land, the second step involves selecting the main materials, including: Photovoltaic Modules, Photovoltaic Inverters, Fixing Structure (whether tracker or fixed), E-House and Measurement Cabin. After the technical analysis and choosing the model of each equipment, it is necessary to perform some analyses involving the sizing of the quantity of each material and the compatibility of the equipment.

Keywords: 1. Photovoltaic. 2. Sizing. 3. Tracker. 4. PVSyst. 5. Distributed generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização	14
Figura 2 – Mapa de Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia	15
Figura 3 – Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia	16
Figura 4 – Limite de inclinação	17
Figura 5 – Perfil de elevação Norte - Sul	18
Figura 6 – Perfil de elevação Leste - Oeste	18
Figura 7 – Linhas de distribuição existentes	19
Figura 8 – Módulo Risen RS132-8-660	20
Figura 9 – Inversor Sungrow SG250HX	22
Figura 10 – Estrutura <i>Tracker</i> - MTR Arcol	23
Figura 11 – Sistema <i>Backtracking</i>	24
Figura 12 – Estrutura de Solo Fixa	25
Figura 13 – <i>Layout 1</i> - Estrutura <i>Tracker</i>	26
Figura 14 – <i>Layout 2</i> - Estrutura Fixa	27
Figura 15 – Geração - Estrutura <i>Tracker</i>	28
Figura 16 – Geração - Estrutura Fixa	28
Figura 17 – Eletrocentro 2500kVA - Blutrafos	30
Figura 18 – Curva de Potência	33
Figura 19 – Divisão de <i>strings</i>	34
Figura 20 – Temperatura mínima na região	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do terreno	19
Tabela 2 – Especificação do módulo fotovoltaico	20
Tabela 3 – Especificação Elétrica - Consição STC	21
Tabela 4 – Especificações dos Inversores Fotovoltaicos	21
Tabela 5 – Dados de entrada CC	21
Tabela 6 – Dados de saída CA	21
Tabela 7 – Especificações Estrutura <i>Tracker</i>	23
Tabela 8 – Especificações Estrutura Fixa	24
Tabela 9 – Especificações Eletrocentro	30
Tabela 10 – Principais Equipamentos	32
Tabela 11 – Dimensionamento Strings	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFV	Usina Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
FDI	Fator de Dimensionamento de Inversores
SC	Sobrecarregamento
STC	Condições Padrão (Standard Test Conditions)
MPPT	Rastreamento de máxima potência (Maximum Power Point Tracking)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solares e Eólica Sérgio de S. Brito

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	13
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	DIMENSIONAMENTO	14
2.1	LOCALIZAÇÃO	14
2.2	PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS	19
2.2.1	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	20
2.2.2	INVERSORES FOTOVOLTAICO	21
2.2.3	ESTRUTURA DE FIXAÇÃO	22
2.2.3.1	CAPACIDADE POR ÁREA	25
2.2.3.2	GERAÇÃO DE ENERGIA	27
2.2.3.3	VIABILIDADE FINANCEIRA	27
2.2.4	ELETROCENTRO	29
2.2.5	CABINE DE MEDIÇÃO	30
3	ANÁLISE	32
3.1	FATOR DE DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR (FDI)	32
3.2	DIMENSIONAMENTO DAS STRINGS	33
3.3	CORREÇÃO DE TEMPERATURA - TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO	34
4	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	37
	REFERÊNCIAS	38
5	ANEXOS	40
5.1	ANEXO A - DATASHEET DO MÓDULO RISEN RSM132-8-660M	40
5.2	ANEXO B - DATASHEET DO INVERSOR SG250HX	42
5.3	ANEXO C - SIMULAÇÃO PVSYST - ESTRUTURA TRACKER	44

1 INTRODUÇÃO

Energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão da radiação solar em eletricidade pelo intermédio de materiais semicondutores, em um fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico (BEIGELMAN, 2013).

O crescimento acelerado de fontes renováveis nos últimos anos está impulsionando a diversificação da matriz energética no Brasil. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em 2023, a energia solar fotovoltaica se tornou a segunda maior fonte da matriz energética do país, representando aproximadamente 18,6% da capacidade instalada, com cerca de 43.323 MW. Ela fica atrás apenas das hidrelétricas, que correspondem a 47,3% da matriz energética, totalizando 109.950 MW.

As usinas fotovoltaicas podem ser instaladas em telhados, no solo ou até mesmo em lagos e rios. Cada tipo de instalação possui suas vantagens e desvantagens, mas para garantir um bom resultado do projeto, é essencial realizar um dimensionamento adequado.

O dimensionamento de uma usina fotovoltaica inclui a escolha do local de instalação, que deve possuir uma irradiação solar ideal, pois a mesma afeta diretamente a geração de energia da usina. Além disso, é necessário considerar o método de instalação e os custos associados.

Uma usina fotovoltaica é composta por diversos equipamentos e materiais, e a seleção adequada desses elementos é crucial para o sucesso do projeto. Os principais equipamentos que compõem a usina são: módulos fotovoltaicos, inversores, estruturas de fixação, eletrocentros e cabines de medição. A escolha desses equipamentos deve considerar vários critérios, incluindo preço de mercado, disponibilidade, eficiência, certificações e, principalmente, compatibilidade técnica.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é descrever e realizar o processo de dimensionamento de uma usina fotovoltaica de minigeração, abrangendo desde a seleção do terreno até a definição das *strings*. O processo inclui a definição da potência e a seleção dos principais equipamentos que compõem o projeto, como módulos, inversores, estruturas de fixação, eletrocentro e cabine.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em quatro capítulos, sendo o primeiro esta introdução e os demais estão organizados da seguinte forma:

O Capítulo 2 descreve o processo de dimensionamento da usina fotovoltaica, abordando desde a seleção do terreno até a definição do quantitativo e especificação dos principais equipamentos.

O Capítulo 3 detalha as análises realizadas para definição da potência e strings da usina fotovoltaica.

O Capítulo 4 apresenta as conclusões obtidas no desenvolvimento do trabalho e oferece sugestões para futuras pesquisas na área.

2 DIMENSIONAMENTO

2.1 LOCALIZAÇÃO

A Usina Fotovoltaica Silveirânia será construída no município de Silveirânia, situado no estado de Minas Gerais, Brasil. A cidade de Silveirânia está localizada a uma distância de aproximadamente 243 km a sudoeste da capital do estado, Belo Horizonte.

Coordenadas geográficas:

- Latitude: $21^{\circ} 8'34.08''\text{S}$
- Longitude: $43^{\circ}13'11.71''\text{O}$

A Figura 1 mostra a posição geográfica da Usina Fotovoltaica Silveirânia em relação ao estado de Minas Gerais.

Figura 1 – Localização



Fonte: Google Earth

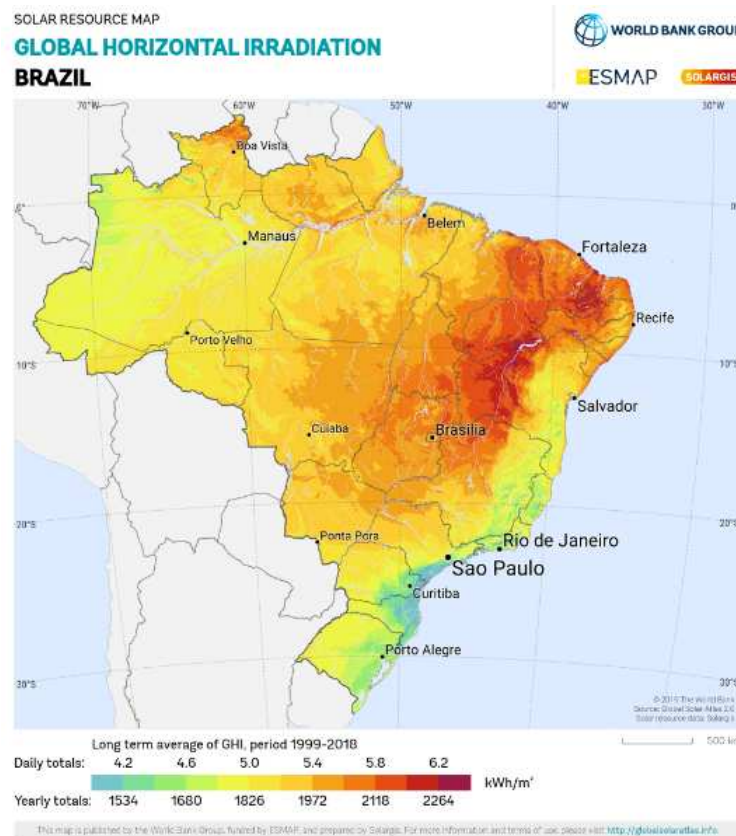
A escolha do terreno para a implantação da Usina Fotovoltaica Silveirânia foi fundamentada em diversos fatores cruciais, com o objetivo de assegurar a eficiência e a viabilidade do projeto. Esses fatores incluem:

- Irradiação solar: Afeta a geração e, conseqüentemente, a produção de energia da usina;

- Topografia: Influencia o custo de implantação do projeto;
- Acesso à rede elétrica: Impacta os custos de implantação do projeto;
- Disponibilidade do terreno: Essencial para a viabilidade do projeto.

Segundo (Silva, 2021), o termo “radiação solar” é usado de forma comum e pode ser referenciado em termos de fluxo de potência, quando é nomeadamente denominado de irradiância solar, ou em termos de energia por unidade de área, designado, então, de irradiação solar. Pode-se avaliar se uma região é adequada para a geração fotovoltaica a partir dos dados de irradiação solar. Segundo a Figura 2 (Atlas, 2019), observa-se que as regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil são as áreas com maior irradiação.

Figura 2 – Mapa de Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]



Fonte: SOLARGIS, 2024

De acordo com (Silva, 2021), a irradiação solar mínima exigida normalmente pelos projetistas de sistemas de placas fotovoltaicas é entre 3 a 4 kWh/(m².dia). De acordo com o CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solares e Eólica Sérgio de S. Brito), a irradiação solar média na região de Silveirânia é de 4,67 kWh/m², conforme apresentado na Figura 3, sendo uma irradiação adequada para a construção do projeto.

Figura 3 – Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]

Localidades próximas

Latitude: 21° S
Longitude: 43° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
<input checked="" type="checkbox"/>	Uba	Uba	MG	BRASIL	21° S	43,049° O		5,1	5,60	5,86	4,85	4,25	3,64	3,53	3,70	4,47	4,78	4,99	4,76	5,45	4,66	2,33
<input checked="" type="checkbox"/>	Divinesia	Divinesia	MG	BRASIL	21° S	42,949° O		5,3	5,64	5,91	4,88	4,24	3,65	3,53	3,72	4,50	4,81	5,03	4,79	5,47	4,68	2,37
<input checked="" type="checkbox"/>	Senador Firmino	Senador Firmino	MG	BRASIL	20,901° S	43,049° O		12,1	5,60	5,89	4,85	4,27	3,67	3,52	3,73	4,49	4,80	5,00	4,76	5,46	4,67	2,37

Fonte: CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, 2024

Buscou-se um terreno com topografia plana, o que reduz a necessidade de movimentação de terra para a instalação dos painéis solares e estruturas de fixação dos módulos. As estruturas de fixação possuem um limite máximo de inclinação em relação ao solo. Segundo o *datasheet* do fornecedor de estruturas Brametal, a estrutura *tracker* (ou seguidor solar) bifileira possui inclinação máxima Norte-Sul permitida de até 15% e inclinação máxima Leste-Oeste permitida de até 5%, conforme apresentado na Figura 4. Para estruturas fixas os limites de inclinação tendem a ser maiores. Caso o terreno escolhido ultrapasse esse limite fornecido pelo fabricante, é necessário realizar uma regularização do solo através de terraplanagem, gerando um custo adicional ao projeto.

Para avaliar a topografia do terreno selecionado, utilizou-se o recurso de perfil de elevação do Google Earth. Através desse recurso, observou-se que a inclinação média Norte-Sul do terreno é de 2,6%, conforme apresentado na Figura 5, e a inclinação média Leste-Oeste é de 3,4% conforme figura 6. Dessa forma, nota-se que o terreno possui baixa inclinação, tornando-o favorável para a instalação da UFV.

A utilização do perfil de elevação do Google Earth deve ser feita de modo cauteloso e apenas como um parâmetro de estimativa, considerando a imprecisão do modelo digital do terreno fornecido pelo software. Em outras palavras, os dados de inclinação obtidos a partir deste modelo não devem ser utilizados em projetos executivos. Para isso, é necessário realizar levantamentos planialtimétricos (por estação total ou drones) conduzidos por profissionais de topografia. No entanto, para uma análise preliminar quando o terreno é desconhecido, o recurso atende ao propósito proposto.

Além disso, a análise das imagens do Google Earth indica que o terreno selecionado não apresenta a presença significativa de rochas ou regiões alagadas. Essas características são cruciais para o processo de construção da usina. Caso o terreno apresentasse rochas ou áreas alagadas, isso poderia resultar em custos adicionais para terraplanagem e drenagem, e, em casos mais extremos, poderia exigir a detonação de rochas. Portanto, a ausência dessas condições contribui para a viabilidade e economia do projeto.

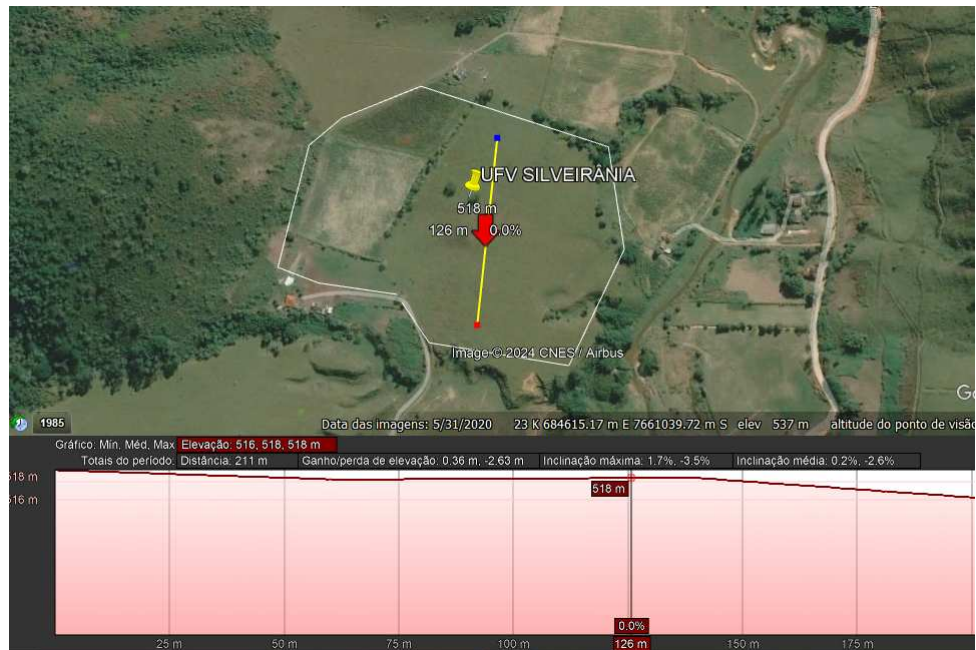
Figura 4 – Limite de inclinação

Características Técnicas do Tracker Bifileira	
Seguidor solar	Eixo simples horizontal com duas fileiras controladas em conjunto
Inclinações atendidas	Entre -55° e +55°
Características seguidor	Comporta até 124 painéis, com comprimento aproximado de 64 metros
Orientação dos painéis	Retrato (vertical)
Opções de fundação	Perfil metálico cravado no solo ou fundações em concreto
Altura mínima dos painéis em relação ao solo	0,50 metros
Material para os perfis	Aço estrutural (ASTM A36, ASTM A572-G50 ou equivalentes)
Material para os parafusos	Aço galvanizado a fogo
Normas atendidas para itens de projeto	NBR 8800, NBR 14762 e AISI S100
Velocidade de vento	Todas as regiões do Brasil, de acordo com a NBR6123
Acabamento/proteção	Galvanização a fogo (ASTM A123 e ASTM A153)
Método de instalação	Montagem em campo sem utilização de soldas
Declividade Norte/Sul	Inclinação máxima permitida de até 15%. Mudanças de inclinação entre duas estacas consecutivas podem ser de até $\pm 0,5\%$
Declividade Leste/Oeste	Inclinação máxima permitida em uma direção de até 5%
Mecanismo	Motor DC, módulo de giro com redução
Controlador	Auto alimentado com comunicação sem fio ZigBee entre as bifileiras e bateria de backup
Algoritmo de rastreamento para seguidor solar	SPA, baseados na posição de GPS, hora do dia e backtracking (evitando sombreamento de painéis)
Posição de descanso noturna	Configurável dependendo das necessidades do cliente
Proteção para altas velocidades de vento	Sim. Utilização de anemômetro. O seguidor se move automaticamente para inclinação de segurança.
Garantia	Estrutura 10 anos Automação 5 anos

Fonte: Datasheet Brametal

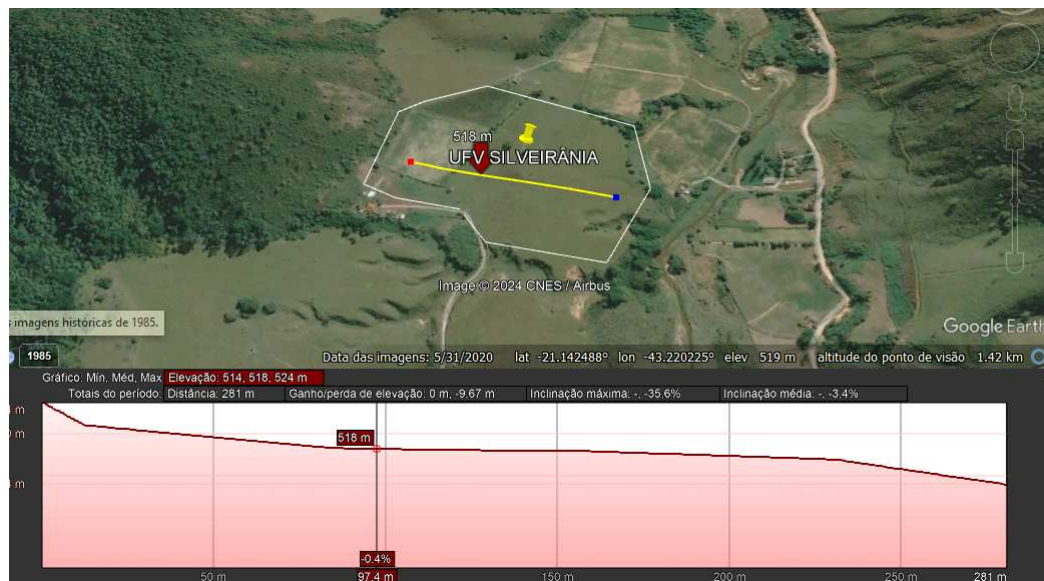
Foi analisada a existência de rede elétrica próxima ao terreno selecionado. Para isso, foram buscadas informações nos dados abertos fornecidos pela (ANEEL, 2021). Sabendo-se que o terreno está situado na área de cobertura da Energisa Minas Rio, foram selecionados os dados correspondentes e utilizados no programa QGis para visualização.

Figura 5 – Perfil de elevação Norte - Sul



Fonte: Google Earth

Figura 6 – Perfil de elevação Leste - Oeste



Fonte: Google Earth

Conforme mostrado na Figura 7, foi observado que existem várias linhas de distribuição elétrica próximas ao terreno. Essa proximidade pode resultar em benefícios nos custos de conexão, caso elas sejam utilizadas, dependendo da estrutura dessas redes. Isso pode até possibilitar um cenário onde não seja necessário reforço ou obras na rede para atender à demanda da usina.

Figura 7 – Linhas de distribuição existentes



Fonte: Dados Aberto ANEEL, 2024

Além dos pontos já citados, a disponibilidade do terreno é um fator importante, pois ele deve estar disponível durante toda a vida útil da usina fotovoltaica. Segundo fornecedores, essa vida útil é de aproximadamente 25 anos, baseada na durabilidade dos módulos fotovoltaicos declarada pelos fabricantes. Além disso, o terreno deve possuir uma área mínima adequada para a instalação do projeto.

A Tabela 1 apresenta um compilado dos principais dados analisados para a escolha do terreno que servirá de base para a dimensionamento do projeto.

Tabela 1 – Dados do terreno

Município	Silveirânia
Estado	Minas Gerais
Coordenadas geográficas	Lat: 21° 8'34.08"S e Long: 43°13'11.71"O
Área	7,8 ha
Perímetro	1078 metros
Inclinação Média	3%
Irradiação	4,67 kWh/m ² .dia

Fonte: Elaborada pela autora

2.2 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

No dimensionamento da Usina Fotovoltaica (UFV), a seleção estratégica dos principais equipamentos, que representam o maior custo do projeto, é crucial para o êxito do empreendimento. Para a escolha desses equipamentos, foram considerados fatores como

disponibilidade de mercado, qualidade e preço. A seguir, apresentam-se as especificações dos principais equipamentos escolhidos para integrar a UFV.

2.2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A escolha dos módulos foi orientada por diversos critérios, incluindo preço de mercado, disponibilidade, eficiência, certificações, compatibilidade técnica com os inversores entre outros fatores.

Tabela 2 – Especificação do módulo fotovoltaico

Fabricante	Risen
Modelo	RSM132-8-660
Tipo de célula	Monocristalino
Número de células	132 [(6x11+6x11)]
Dimensões	2384x1303x35mm
Coefficiente de Temperatura Voc	-0,25%/°C
Coefficiente de temperatura Isc	0,04%/°C
Coefficiente de temperatura Pmax	-0,34%/°C

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 8 – Módulo Risen RS132-8-660



Fonte: *Datasheet* da Risen

Tabela 3 – Especificação Elétrica - Condição STC

Potência nominal	660 Wp
Tensão circuito aberto Voc	45,75 V
Corrente de curto circuito Isc	18,33 A
Máxima tensão Vmpp	38,12 V
Maxima corrente Impp	17,32 A
Eficiência	21,2%

Fonte: Elaborada pela autora

2.2.2 INVERSORES FOTOVOLTAICO

Os inversores desempenham um papel crucial no funcionamento de parques solares, pois são responsáveis por converter a energia elétrica gerada pelos painéis solares, na forma de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) (Nogueira,2023). Optou-se pela utilização de inversor *string* interligado a uma unidade de transformação. Segue a especificação dos inversores selecionados:

Tabela 4 – Especificações dos Inversores Fotovoltaicos

Fabricante	Sungrow
Modelo	SG250HX
Dimensões	1051x660x363mm
Peso	99 kg
Temperatura de Operação	-30°C até 60°C
Nível de Proteção IP	IP66

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 5 – Dados de entrada CC

Máxima tensão Voc	1500V
Faixa de tensão de operação MPPT	500V -1500V
Máxima corrente Impp	30
Corrente de curto circuito Isc	50
Número total de MPPT	12

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 6 – Dados de saída CA

Potência Nominal	250 kVA
Máxima corrente de saída	180.5A
Tensão nominal de saída	800V
Faixa de Frêquencia	50Hz - 60Hz
Eficiência máxima	98,8%

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 9 – Inversor Sungrow SG250HX



Fonte: *Datasheet* da Sungrow

2.2.3 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

As soluções para a fixação de painéis fotovoltaicos devem ser práticas, eficientes e duráveis. A qualidade da estrutura metálica desempenha um papel crucial na resistência às condições climáticas e na longevidade das instalações.

Ao escolher estruturas metálicas para a construção de uma usina fotovoltaica de solo, duas opções principais a serem consideradas são a estrutura *tracker* (ou seguidor solar) e a estrutura fixa.

Um seguidor solar é um dispositivo mecânico que tem por objetivo garantir que os painéis fotovoltaicos fiquem sempre na posição mais favorável a captar o máximo de radiação solar possível, elevando a eficiência na captação de energia solar. O custo de um sistema de seguimento, quando se tem em conta o valor do projeto de um sistema fotovoltaico, é de um incremento de 20% desse valor, mas é preciso ter em conta que um sistema deste tipo pode vir a aumentar as receitas geradas em cerca de 40% (CORTEZ, 2007). Em outras palavras, apesar de a estrutura *tracker* ter um custo inicial mais elevado em cerca de 20%, ela pode resultar em um aumento de geração de energia que eleva a receita em torno de 40%.

Fabricada em aço estrutural, a base pode ser fixada comumente com concreto ou cravação direta, adaptando-se conforme as necessidades do projeto.

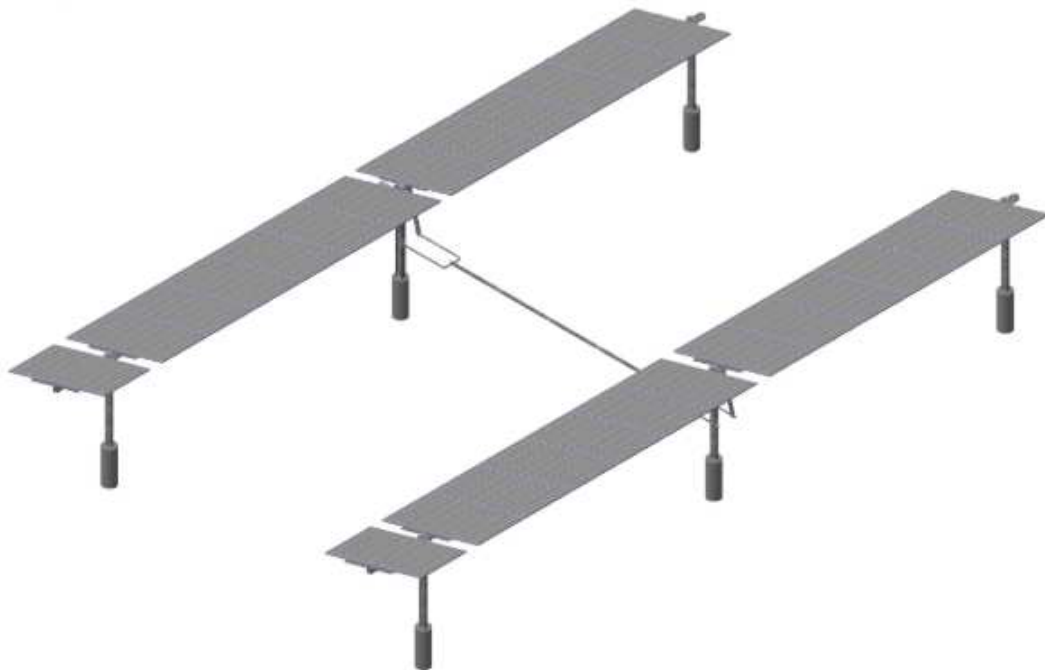
O *tracker* selecionado contém *Backtracking*, que é uma técnica que utiliza algoritmos para evitar o sombreamento dos módulos fotovoltaicos. Enquanto os algoritmos de rastreamento buscam constantemente o ângulo mais próximo da posição perpendicular ao sol, o *Backtracking* busca otimizar ainda mais a geração de energia, evitando o sombreamento entre as fileiras do *tracker*. Cada fileira do *tracker* exerce impacto na projeção de sombra da fileira adjacente, justificando a necessidade de uma abordagem coordenada.

Tabela 7 – Especificações Estrutura *Tracker*

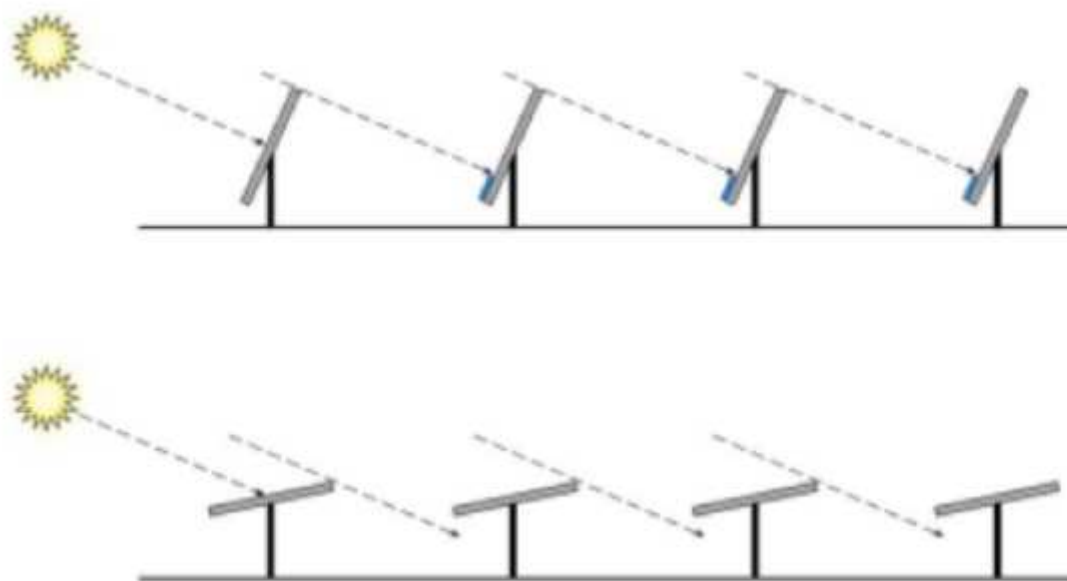
Fabricante	MTR ARCOL
Modelo	<i>Tracker</i> 90 módulos
Amplitude de inclinação	-55 a 55
Cobertura	Galvanização a fogo
Temperatura de Operação	-30°C até 60°C
Nível de Proteção IP	IP66

Fonte: Elaborada pela autora

A combinação dos algoritmos de rastreamento e *Backtracking* atua de forma conjunta para otimizar a geração de energia na usina fotovoltaica. A estratégia é eficaz para minimizar sombreamentos nas primeiras horas da manhã e no final da tarde, quando o Sol está baixo conforme apresentado na figura 11. Durante esses períodos, a proximidade entre os rastreadores solares pode levar à obstrução do feixe de irradiância direta, resultando em sombreamento de módulos. O *Backtracking*, por meio da técnica de "retorno", ajusta os ângulos de rotação a partir do alinhamento módulo-sol, na medida necessária para evitar sombreamento, assegurando assim uma geração otimizada de energia solar.

Figura 10 – Estrutura *Tracker* - MTR Arcol

Fonte: *Datasheet* MTR ARCOL

Figura 11 – Sistema *Backtracking*

Fonte: *Datasheet MTR Arcol*

A estrutura fixa, como o próprio nome sugere, é uma estrutura que não se movimenta ao longo do tempo. Essa estrutura é planejada para manter uma determinada inclinação em relação á maior incidência de irradiação durante o ano. No Brasil, essa inclinação é na direção do norte geográfico, buscando maximizar a geração de energia dos módulos fotovoltaicos. Essa estrutura se caracteriza pela simplicidade de instalação e baixo custo.

Tabela 8 – Especificações Estrutura Fixa

Fabricante	MTR ARCOL
Modelo	Fixa 6 módulos
Grau de inclinação	4° a 23°
Cobertura	Galvanização a fogo
Nível de Proteção IP	IP66

Fonte: Elaborada pela autora

Para selecionar a estrutura ideal para o projeto, foram realizadas três análises: Capacidade por área, Geração de Energia e Viabilidade Financeira.

Figura 12 – Estrutura de Solo Fixa



Fonte: *Datasheet MetalLight*

2.2.3.1 CAPACIDADE POR ÁREA

Na primeira análise, avalia-se a capacidade máxima da usina que pode ser instalada na área total disponível de 7,8 hectares. Para isso, foram elaborados dois *Layouts*: o **Layout 1**, que utiliza uma estrutura com *tracker*, e o **Layout 2**, que utiliza uma estrutura fixa.

Para a elaboração do **Layout 1**, busca-se otimizar a geração da usina. Para alcançar esse objetivo, projetou-se o *Layout* visando uma maior capacidade instalada com menores perdas de sombreamento.

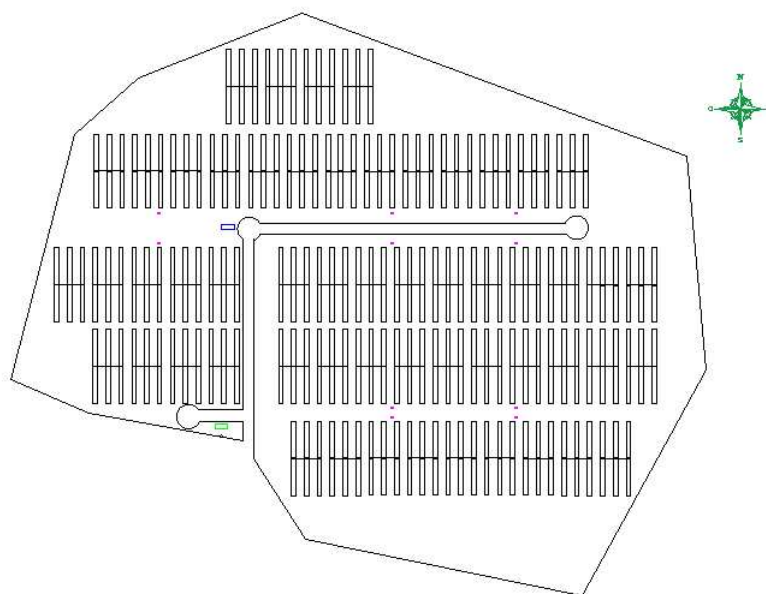
Para reduzir a perda de sombreamento, buscou-se maximizar o *pitch* (espaçamento entre mesas) do projeto, pois um *pitch* maior implica na utilização de uma faixa de terreno mais ampla pela usina (FERRAZ, 2023). No entanto, um *pitch* maior também resulta na otimização da geração de energia, pois minimiza as perdas de sombreamento. É comum utilizar um *pitch* entre 6,5 e 7,5 metros para estruturas *tracker*. Para a elaboração deste *layout*, foi selecionado um *pitch* de 7 metros, decisão tomada visando a maximização da geração de energia através do aumento do *pitch*, ao mesmo tempo em que se leva em consideração a limitação da área do terreno.

Para a seleção do modelo do *tracker* e a quantidade de fileiras, foram considerados o espaço disponível no terreno e sua geometria. Outro fator impactante na escolha do *tracker* foi o tamanho das *strings* (conjuntos de módulos), sendo desejável ter *strings* de 30 módulos. O *tracker* selecionado, levando em conta esses dois parâmetros, será um modelo de três fileiras com 90 módulos (30 módulos por fileira). Nesse caso, cada fileira será composta por uma *string*.

O **Layout 1** é composto por *tracker* modelo trilifeira de 90 módulos, conseguindo alocar 55 *trackers*, totalizando 4950 módulos de 660 Wp. Obteve-se, assim, uma usina

fotovoltaica com capacidade de 2,5 MW/3,267 MWp, com um *pitch* de 7 metros, conforme Figura 13.

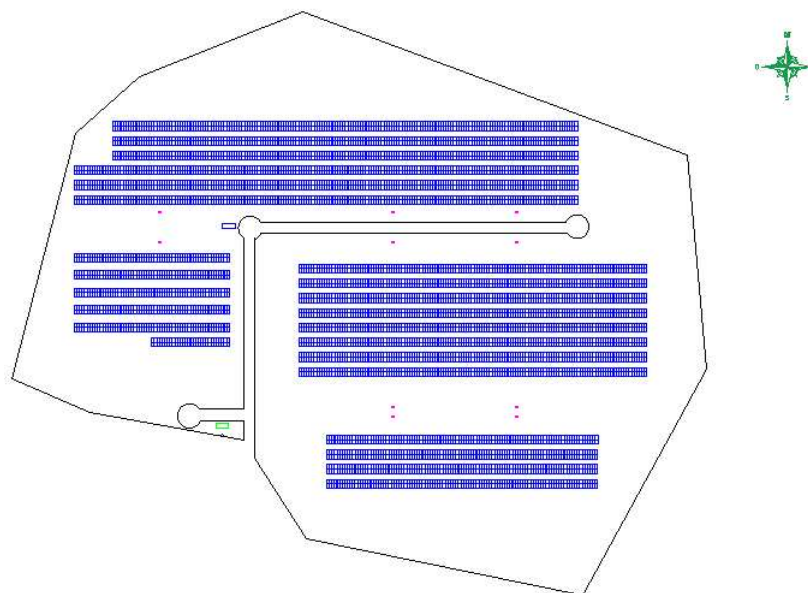
Figura 13 – *Layout 1* - Estrutura *Tracker*



Fonte: Elaborada pela autora

Entretanto, ao adotar o **Layout 2** composto por estrutura fixa, alcançou-se uma capacidade superior, atingindo 5 MW/7,1 MWp. É válido destacar que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regulamentando conforme a Lei 14.300/2022, Artigo 1º, estabelece como minigeração distribuída, central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis (ANEEL, 2022).

Como nesse caso estamos tratando de uma fonte não despachável, ou seja, fontes de geração onde não há possibilidade de controle da injeção da energia gerada devido à falta de controle da matéria-prima e do armazenamento da energia gerada (SOLAR FINANCE, 2024), o **Layout 2** foi limitado a 3MW CA para se adequar às normativas vigentes. Dessa forma, resultou-se em uma usina fotovoltaica de 3 MW/3,9 MWp de potência, utilizando um *pitch* de 8 metros, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – *Layout* - Estrutura Fixa

Fonte: Elaborada pela autora

2.2.3.2 GERAÇÃO DE ENERGIA

A segunda análise, tem como foco a avaliação da geração da usina. Para isso, utilizou-se o software PVsyst. Segundo Instituto Solar o software PVsyst é um software utilizado para auxiliar no dimensionamento e desenvolvimento de projetos de geração solar fotovoltaica. Os profissionais do Setor Fotovoltaico utilizam o software para estudar, por exemplo, cálculo de perdas por sombreamento e sujeira nos módulos, além de estimar a produção de energia considerando a eficiência de cada equipamento (Intituto Solar, 2020). Dessa forma, para o **Layout 1** estrutura *tracker* de 2,5 MW/3,25 MWp, com *pitch* de 7 metros, obteve-se uma geração anual de 5.663.376 kWh/ano, conforme apresentado na Figura 15 do estudo do PVsyst. Em paralelo, para o **Layout 2** estrutura fixa de 3 MW/3,9 MWp, com *pitch* de 8 metros, alcançou uma geração anual de 5.680.573 kWh/ano, conforme Figura 16.

Observa-se que, apesar da usina fixa possuir uma capacidade instalada maior e um *pitch* também superior, a diferença na geração entre ambas é pequeno. Este fenômeno ocorre devido à capacidade da estrutura *tracker* otimizar a incidência da radiação solar ao acompanhar o movimento do sol, minimizando as perdas decorrentes da fixação em uma única posição.

2.2.3.3 VIABILIDADE FINANCEIRA

A terceira análise baseou-se na avaliação dos custos associados ao dois *Layouts* sugeridos. Nas pesquisas de mercado realizadas, revelou-se que uma usina composta por

Figura 15 – *Layout* - Estrutura Tracker

Project summary				
Geographical Site Silveirânia Brazil		Situation Latitude -21.14 °S Longitude -43.22 °W Altitude 515 m Time zone UTC-3		Project settings Albedo 0.20
Meteo data Silveirânia Meteonorm 8.1 (2008-2015), Sat=100% - Synthetic				
System summary				
Grid-Connected System		Tracking system with backtracking		
PV Field Orientation Orientation Tracking plane, horizontal N-S axis Axis azimuth 0 °		Tracking algorithm Astronomic calculation Backtracking activated		Near Shadings According to strings : Fast (table) Electrical effect 100 % Diffuse shading Automatic
System information				
PV Array Nb. of modules 4950 units Pnom total 3267 kWp		Inverters Nb. of units 10 units Pnom total 2500 kWac Pnom ratio 1.307		
User's needs Unlimited load (grid)				
Results summary				
Produced Energy	5663376 kWh/year	Specific production	1734 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 76.76 %

Fonte: Simulação PVsyst

Figura 16 – *Layout* - Estrutura Fixa

Project summary				
Geographical Site Silveirânia Brazil		Situation Latitude -21.14 °S Longitude -43.22 °W Altitude 515 m Time zone UTC-3		Project settings Albedo 0.20
Meteo data Silveirânia Meteonorm 8.1 (2008-2015), Sat=100% - Synthetic				
System summary				
Grid-Connected System		Sheds on a building		
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 20 / 0 °		Near Shadings Linear shadings : Fast (table)		User's needs Unlimited load (grid)
System information				
PV Array Nb. of modules 5910 units Pnom total 3901 kWp		Inverters Nb. of units 12 units Pnom total 3000 kWac Pnom ratio 1.300		
Results summary				
Produced Energy	5680573 kWh/year	Specific production	1456 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 76.16 %

Fonte: Simulação PVsyst

estrutura *tracker* apresenta um custo de instalação 3,71 reais/Wp, enquanto uma usina fotovoltaica formada por estrutura fixa possui um custo de instalação 3,34 reais/Wp. Dessa forma, percebe-se o custo em reais/Wp de uma UFV tipo *tracker* é aproximadamente 10% maior que de estrutura fixa.

Considerando que a potência total da usina *tracker* como $P_{\text{tracker}} = 3,25$ MWp e a potência total da usina fixa como $P_{\text{fixa}} = 3,9$ MWp, os custos totais associados a cada tipo de usina são expressos como:

$$C_{\text{tracker}} = P_{\text{tracker}} \times \text{Custo por Wp tracker} = 3250000 \times 3,71 = 12.057.500 \text{ reais}$$

$$C_{\text{fixa}} = P_{\text{fixa}} \times \text{Custo por Wp fixa} = 3900000 \times 3,34 = 13.026.000 \text{ reais}$$

A análise dos resultados revela que o custo total da usina fixa (C_{fixa}) é R\$ 968.500,00 superior ao custo da usina *tracker* (C_{tracker}), ou seja, aproximadamente 8% maior. Esse custo maior é devido a usina fixa necessitar ter uma potência instalada maior para conseguir ter a geração próxima da estrutura *tracker*, já que a estrutura *tracker* consegue minimizar as perdas de sombreamento. Mesmo que o valor reais/Wp da estrutura fixa seja menor, necessitou de uma potência maior, deixando a solução de estrutura fixa mais cara que a outra .

Diante dessa análise e considerando a grande diferença no investimento inicial entre as duas estruturas, optou-se pela utilização da estrutura *tracker*, ou seja, Usina fotovoltaica Silveirânia com capacidade de 2,5 MW/3,267 MWp conforme Figura 13. Essa escolha visa maximizar o retorno sobre o investimento, levando em consideração não apenas os custos iniciais, mas também a eficiência ao longo do tempo.

2.2.4 ELETROCENTRO

Eletrocentros são salas elétricas geralmente blindadas, destinadas à instalação de transformadores e quadros elétricos. Sua principal função é realizar a transformação dos níveis de tensão e proporcionar abrigo para os dispositivos de proteção.

Para selecionar o eletrocentro apropriado para o projeto, foram considerados os seguintes pontos:

- Potência: Como a usina tem capacidade de 2,5 MWca, o eletrocentro selecionado precisa ter um transformador que suporte essa potência, ou seja, um transformador de 2,5 MVA no mínimo;

- Proteção: O eletrocentro necessita de um quadro com a proteção de cada inversor e um disjuntor;
- Tensão de entrada: Como a saída dos inversores selecionados são de 800V, o eletrocentro deve ter a capacidade de receber essa tensão em baixa tensão;
- Tensão de saída: Como a rede é de 13,8kV, o eletrocentro selecionado precisa ter um transformador elevador que transforme a tensão de 800V para 13,8kV.

Tabela 9 – Especificações Eletrocentro

Fabricante	Brutrafos solares
Modelo	SKID 2500 kVA
Transformador	Isolação a seco 2500kVA 15 KV k=4 Dyn1
QGBT	800V 2500A 30kA
Uso	Ao tempo
Nível de Proteção IP	IP67

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 17 – Eletrocentro 2500kVA - Blutrafos



Fonte: *Datasheet* da Blutrafos

2.2.5 CABINE DE MEDIÇÃO

Cabine primária blindada, também conhecida como cubículo de média tensão. A cabine blindada é constituída de invólucro metálico, componentes elétricos, componentes mecânicos e itens diversos (*Datasheet* Média Tensão).

Conforme a NDU-002 Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária da Energisa, quando a capacidade instalada da subestação for superior a 300kVA, a medição deverá ser feita em 11,4kV , 13,8kV 22kV, ou 34,5kV e a três elementos.

Para a seleção da Cabine, são considerados os seguintes aspectos:

- Tensão de rede: A cabine precisa atender à tensão da rede;
- Quantidade de Medições: Deve ser garantido que a cabine atenda ao número de medições especificado no projeto.
- Homologação: Para cada concessionária, alguns fabricantes possuem cabines homologadas. Apenas cabines homologadas pela concessionária serão utilizadas.
- Proteção: A cabine selecionada deve possuir todas as medições solicitadas pela concessionária.

3 ANÁLISE

Além da seleção adequada do terreno e dos principais materiais, a execução de um dimensionamento preciso é crucial para garantir a excelência de um projeto. A Tabela 10 lista o quantitativo dos principais equipamentos que compõe a Usina Fotovoltaica Silveirânia.

Tabela 10 – Principais Equipamentos

Equipamento	Fabricante	Modelo	Quantitativo
Módulo	Risen	RSM132-8-660M	4950
Inversor	Sungrow	SG250HX	10
SKID	Blutrafos	Transformador 2500kVA e QGBT 800V	1
Cabine MT 15 KV	Media Tensão	Padrão Energisa - 1 Medição	1

Fonte: Elaborada pela autora

3.1 FATOR DE DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR (FDI)

O Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) desempenha um papel crucial no dimensionamento do sistema. O Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI), definido como a razão entre a potência do inversor e do gerador, é uma variável de projeto que pode ser avaliada por meio de simulação numérica, utilizando-se dados horários de irradiância e temperatura, de modo a representar a melhor relação custo-benefício (PINHO; GALDINO, 2014).

Conforme apresentado em (YANG, 2021) o Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) é calculado da seguinte forma:

$$FDI(\%) = \frac{Potência(CA)}{Potência(CC)} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

$$FDI(\%) = \frac{2,5MWp}{3,25MW} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

$$FDI(\%) = 77\% \quad (3.3)$$

Geralmente, busca-se manter o FDI próximo do 77% para otimização do sistema.

O sobrecarregamento (SC) ou também chamado de *Overload* é a relação da potência (CA) em relação potência (CC), ou seja, a relação entre a potência do arranjo fotovoltaico e a potência nominal do inversor, essa relação é muito utilizada pelos fornecedores. Segundo (SOLAREEDGE, 2024) o *Overload* é calculado da seguinte forma:

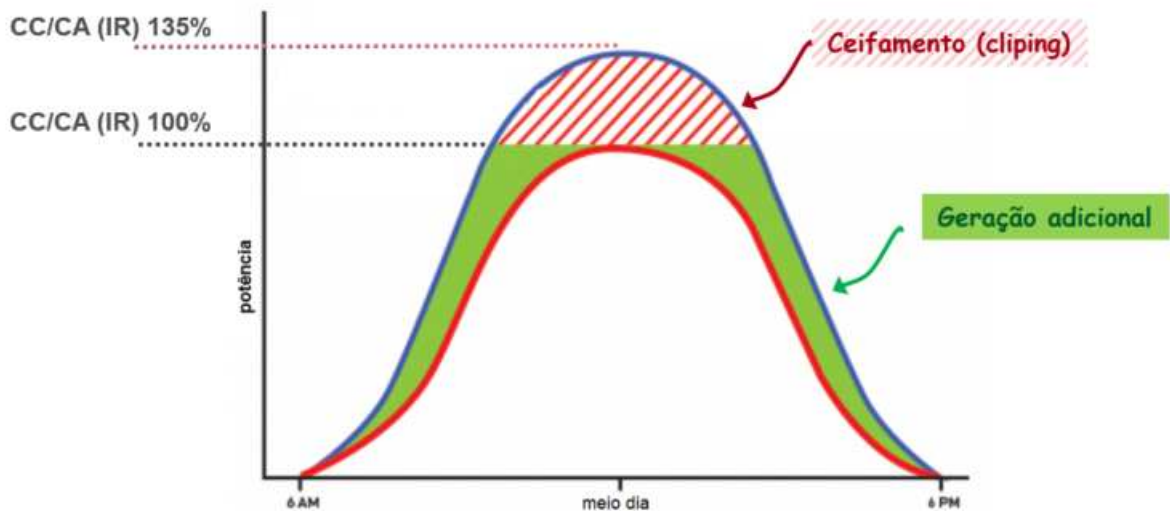
$$SC(\%) = \frac{Potência(CC)}{Potência(CA)} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

$$SC(\%) = \frac{3,25MWp}{2,5MW} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

$$SC(\%) = 1,3\% \quad (3.6)$$

O subdimensionamento do inversor ocorre quando a potência CC do sistema é superior à potência CA, sendo aconselhado pois os módulos fotovoltaicos raramente operam em sua potência máxima na maior parte do tempo, especialmente durante os períodos de menor radiação, como pela manhã e à tarde. Ao realizar o subdimensionamento, conseguimos preencher e aumentar a curva de potência durante esses horários, contribuindo para uma geração mais eficiente. Caso ocorra uma potência superior à suportada pelo inversor nos horários de maior incidência solar, pode ocorrer o *clipping*, ou seja, um corte na curva conforme ilustrado na Figura 18. Com esse dimensionamento, é possível obter uma maior geração utilizando os mesmos inversores.

Figura 18 – Curva de Potência



Fonte: SOLAREEDGE, 2024

3.2 DIMENSIONAMENTO DAS STRINGS

As *strings* são conjuntos de painéis solares conectados em série, formando uma cadeia de módulos fotovoltaicos interligados. Cada *string* é composta por um número específico de painéis solares, que podem variar de acordo com a potência do sistema e as características do local de instalação. (CTBOTELHO, 2024).

Para realizar o dimensionamento das *strings*, deve-se considerar o número de MPPTs por inversor, assim como os limites de tensão e corrente suportados por cada

MPPT. Para isso, é necessário utilizar os dados fornecidos nas especificações dos módulos e dos inversores.

Considerando que as *strings* são de 30 módulos em série, obtemos as seguintes tensões e corrente em condições STC, ou seja, com irradiação de $1000\text{W}/\text{m}^2$ e temperatura de 25°C (*Datasheet Riser*).

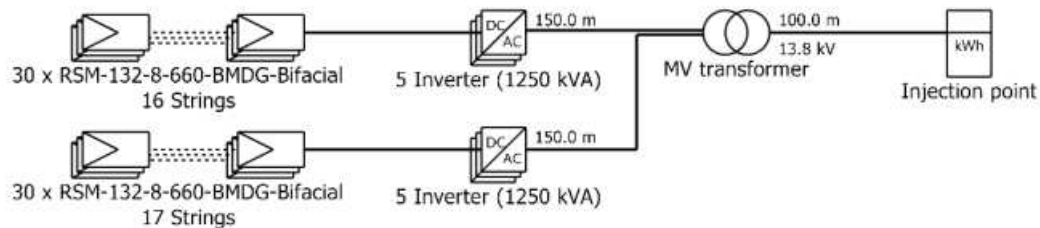
Tabela 11 – Dimensionamento das Strings

Parâmetro	Modúlo	String	MPPT	Limite do Inversor
Tensão circuito aberto Voc (V)	45,75	1372,5	1372,5	1500
Corrente de curto circuito Isc (A)	18,33	18,33	36,66	50
Máxima tensão Vmpp (V)	38,12	1143,6	1143,6	1160
Maxima corrente Impp (A)	17,32	17,32	34,64	50

Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se que todos os parâmetros estão dentro do limite do inversor. Dessa forma, a UFV Silveirânia deverá conter 5 inversores com 16 *strings* cada e 5 inversores com 17 *strings* cada, totalizando 165 strings de 30 módulos cada, conforme Figura 19.

Figura 19 – Divisão de *strings*



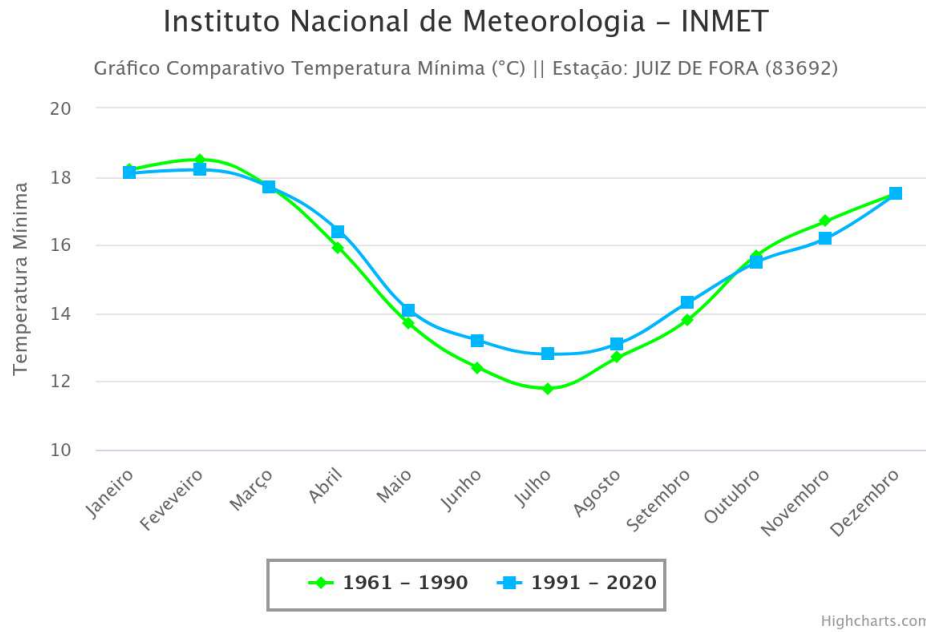
Fonte: Simulação PVyst

3.3 CORREÇÃO DE TEMPERATURA - TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO

Para realizar a correção de temperatura na tensão de circuito aberto por *string*, foram coletados dados de temperatura mínima na região nos últimos anos, utilizando fontes do site INMET. A Figura 20 revela que a temperatura mínima registrada na cidade de Juiz de Fora é de aproximadamente 12°C . Considerando a distância de 91 km entre Juiz de Fora e Silveirânia, é razoável afirmar que a temperatura em ambas as localidades será semelhante.

Para garantir uma margem de segurança, a análise será baseada em uma temperatura de 5°C . Essa precaução visa assegurar que o dimensionamento do sistema leve em consideração condições mais desafiadoras, proporcionando uma estimativa conservadora da tensão de circuito aberto por *string*.

Figura 20 – Temperatura mínima na região



Fonte: INMET, 2024

Segundo (DISTRIBUIDORA, 2024) a correção por temperatura da tensão de circuito aberto é calculado conforme apresentado abaixo:

$$V_{oc}(T) = V_{oc_{STC}} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{100} \cdot (T - 25^{\circ}C) \right) \quad (3.7)$$

- V_{oc} : Tensão de circuito aberto por módulo;
- $V_{oc_{STC}}$: Tensão de circuito aberto em condições padrões a $25^{\circ}C$;
- α : Coeficiente de temperatura, indicando a taxa de variação da Tensão de Circuito Aberto em relação à temperatura.

Com base nos valores fornecidos para o coeficiente de temperatura ($\alpha = -0,25$), encontrado na Tabela 2, e a Tensão de Circuito Aberto em condições padrão ($V_{oc_{STC}} = 45,75\text{ V}$), encontrado na Tabela 3, temos:

$$V_{oc}(5^{\circ}C) = 45,75 \cdot \left(1 - \frac{0,25}{100} \cdot (5^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right) \quad (3.8)$$

$$V_{oc}(5^{\circ}C) = 48,04\text{ V} \quad (3.9)$$

Para calcular a tensão de circuito aberto ($V_{oc_{string}}$) para cada string, com base na tensão de circuito aberto $V_{oc}(5^{\circ}C) = 48,04\text{ V}$ e considerando que cada string possui 30 módulos, pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$V_{oc\text{string}} = n \cdot V_{oc}(5^\circ C)$$

Onde:

- $V_{oc\text{string}}$: Tensão de circuito aberto para cada string;
- n : Número de módulos em cada string;
- $V_{oc}(5^\circ C)$ Tensão de circuito aberto a $5^\circ C$.

Substituindo os valores obtem-se:

$$V_{oc\text{string}} = 30 \cdot 48,04 \text{ V}$$

$$V_{oc\text{string}} = 1441,2 \text{ V}$$

Dessa forma, observa-se que a tensão de circuito aberto corrigida para uma temperatura de $5^\circ C$ é de 1441,2V, sendo maior que a tensão nominal STC, que é de 1372,5V. No entanto, a tensão de circuito aberto corrigido ainda se encontra dentro do limite do inversor, que é de 1500V.

4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Como apresentado neste estudo, o crescimento acelerado das fontes renováveis está impulsionando a diversificação da matriz energética do Brasil. Por essa razão, torna-se cada vez mais crucial o avanço tecnológico para a instalação de novas usinas. A seleção criteriosa do local e dos equipamentos é fundamental para o êxito do projeto. Neste trabalho foram expostas as características do terreno, que foram avaliadas, além da especificação técnica dos equipamentos. Com base nessas informações, foi conduzido o dimensionamento da usina.

O dimensionamento foi embasado na eficiência, viabilidade, compatibilidade técnica, custo dos equipamentos, entre outros aspectos relevantes. No dimensionamento realizado, determinou-se que, devido ao espaço disponível e conforme a norma NBR 14300, a usina de minigeração de Silveirânia terá uma capacidade de 2,5 MW/3,25 MWp. A composição da usina incluirá 4900 módulos de 660 Wp, agrupados em *strings* de 30 módulos em série.

A usina será equipada com 10 inversores de 250 kVA, dos quais 5 inversores terão 16 *strings* e os outros 5 terão 17 *strings*. Os 10 inversores serão conectados ao eletrocentro, composto por um quadro geral e um transformador elevador de 2,5 MVA, responsável por elevar a tensão do sistema. O eletrocentro estará interligado à cabine de medição, ponto de conexão da usina com a rede da concessionária, que desempenhará funções de medição e proteção.

O estudo realizado com o PVsyst estima que a geração prevista para a UFV Silveirânia dimensionada é de aproximadamente 5.663 MWh/ano.

O trabalho apresentou as principais análises e materiais necessários para o dimensionamento de uma usina de minigeração em solo.

Trabalhos futuros poderiam abordar:

- **Análise de Perdas por Sombreamento:** Investigar como o sombreamento afeta a eficiência dos módulos fotovoltaicos e identificar soluções para minimizar essas perdas e melhorar a geração da usina.
- **Elaboração de Plano de Operação e Manutenção:** Criar um plano detalhado para a operação e manutenção da usina, visando garantir seu funcionamento eficiente e assegurar sua vida útil mínima de 25 anos. Além disso, realizar a comparação do custo de manutenção da estrutura fixa e estrutura tracker, destacando a diferença da carga horária de mão de obra.
- **Estudo de Viabilidade Econômica:** Realizar uma análise detalhada dos custos e benefícios do projeto para assegurar sua viabilidade financeira e identificar possíveis reduções de custo ou mudança de projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] BEIGELMAN, Bruno Boaventura. A energia solar fotovoltaica e a aplicação na usina solar de Tauá. 2013.
- [2] Cabine Primaria Blindada e Skid Solar de 15 a 36kV Energisa MG. Disponível em: <<https://www.cabineblindada.com.br/projetos-energisa-mg.html>>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- [3] CONTEUDISTA. O que você Precisa Saber sobre subestações em Média Tensão. Disponível em: <<https://energes.com.br/o-que-voce-precisa-saber-sobre-subestacoes-em-media-tensao/>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- [4] CORTEZ, R. J. M. Inspira's CPV Sun Tracking. Em: Springer Series in Optical Sciences. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 221–251.
- [5] CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica . Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php>>. Acesso em: 10 jan. 2024
- [6] Disponível em: <<https://glossario.ctbotelho.com.br/glossario/o-que-e-o-numero-de-strings-em-um-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em: 3 jun. 2024b.
- [7] DISTRIBUIDORA, F. Dimensionamento de módulos por string no inversor fotovoltaico. Disponível em: <<https://fotus.com.br/blog/dimensionamento-de-modulos-por-string-no-inversor-fotovoltaico/>>. Acesso em: 7 mar. 2024.
- [8] ELETROBRAS, CEPEL. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB–Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014.
- [9] ENERGISA, GRUPO. NDU 002: Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária. Revisada, em vigor, v. 2, 2014.
- [10] Energisa Minas Rio - 2021-12-31. Disponível em: <<https://dadosabertos-aneel.opendata.arcgis.com/datasets/aneel::energisa-minas-rio-2021-12-31/about>>. Acesso em: 1 jun. 2024.
- [11] FERRAZ, Alex Matheus da Silva. Análise do desempenho energético entre usinas fotovoltaicas de solo no estado de Pernambuco. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.
- [12] Infográfico. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- [13] INMET. Disponível em: <<https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/833777>>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- [14] NOGUEIRA, Pedro Almeida Sá. Análise da tendência de falhas dos principais equipamentos de uma usina fotovoltaica a partir do histórico de operação.
- [15] Pinho, J. T.; Galdino, M. A. (Orgs). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB. 2014. Disponível em:

- [16] SILVA, David Oliveira. Estudo de viabilidade da utilização de energia solar em duas unidades escolares públicas no município de Fortaleza-CE. 2021.
- [17] SOLAR FINANCE. Lei 14.300 - O Marco Regulatório da Geração Distribuída Passo a Passo. Disponível em: <<https://solarfinance.com.br/lei-14-300-o-marco-regulatorio-da-geracao-distribuida-passo-a-passo/>>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- [18] SOLAREEDGE. Sobredimensionamento do inversor: o que você deve saber. Disponível em: <<https://www.solaredge.com/br/solaredge-blog/sobredimensionamento-do-inversor>>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- [19] SOLARGIS. Atlas Solar Global . Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/download/brazil>>. Acesso em: 2 mar. 2024.
- [20] Software Pvsyst: Saiba os primeiros passos na Ferramenta de SFVs. Disponível em: <<https://institutosolar.com/software-pvsyst/>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- [21] YANG, Renata Lautert et al. Análise do Fator de Dimensionamento de Inversores em Sistemas Fotovoltaicos de Filmes Finos. SEPOC 2021, 2021.

5 ANEXOS

5.1 ANEXO A - DATASHEET DO MÓDULO RISEN RSM132-8-660M



TITAN
HIGH PERFORMANCE
MONOCRYSTALLINE PERC MODULE

G5.6



RSM132-8-645M-670M

132 CELL Mono PERC Module	645-670Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	21.6% Maximum Efficiency

KEY SALIENT FEATURES

- Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
- Industry leading lowest thermal co-efficient of power
- Industry leading 12 years product warranty
- Excellent low irradiance performance
- Excellent PID resistance
- Positive power tolerance of 0~+3%
- Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
- Module Imp binning radically reduces string mismatch losses
- Excellent wind load 2400Pa & snow load 5400Pa under certain installation method
- Comprehensive product and system certification
 - IEC61215:2016; IEC61730-1/-2:2016;
 - ISO 9001:2015 Quality Management System
 - ISO 14001:2015 Environmental Management System
 - ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management System

ISO **ISO 9001** **ISO 14001** **IEC** **CE** **CCC** **UL** **UL**

ISO 45001 **CCC** **CCC** **CCC** **CCC** **CCC** **CCC**

* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Risen Energy sales representative for the specific certificate applicable to the products in the region in which the products are to be used.

RISEN ENERGY CO., LTD.

Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, enriche Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Tashan Industry Zone, Malin, Ninghai 315808, Ningbo | PRC.
Tel: +86-574-59853230 Fax: +86-574-59883599
E-mail: marketing@risenenrgy.com Website: www.risenenergy.com



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY
12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty



6.28% Annual Degradation over 25 years

Y-axis: Guaranteed Power (80% to 100%)
X-axis: Years (1 to 25)

Legend: Risen Standard (Dark Blue), Industry Standard (Light Blue)

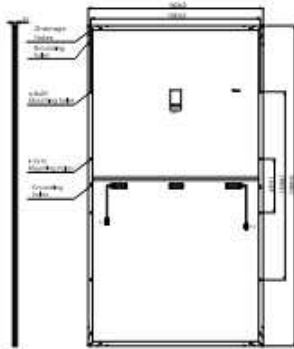
At Year 25, Risen Standard is at 84.3% and Industry Standard is at 80%.

* Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by Risen Energy Co., Ltd.

THE POWER OF RISING VALUE



Dimensions of PV Module



ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM132-3-640M	RSM132-3-650M	RSM132-3-655M	RSM132-3-660M	RSM132-3-665M	RSM132-3-670M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	645	650	655	660	665	670
Open Circuit Voltage-Voc(V)	45.15	45.35	45.55	45.75	45.95	46.15
Short Circuit Current-Isc(A)	18.18	18.23	18.28	18.33	18.38	18.43
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	37.58	37.76	37.94	38.12	38.30	38.48
Maximum Power Current-Imp(A)	17.17	17.22	17.27	17.32	17.37	17.42
Module Efficiency (%) *	20.8	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
 * Module Efficiency (%). Round-off to the nearest number.

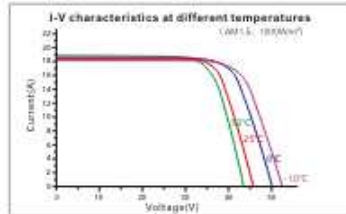
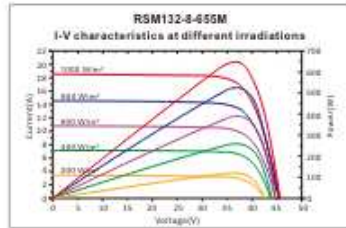
ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM132-3-640M	RSM132-3-650M	RSM132-3-655M	RSM132-3-660M	RSM132-3-665M	RSM132-3-670M
Maximum Power-Pmax (Wp)	488.6	492.4	496.2	500.0	503.8	507.6
Open Circuit Voltage-Voc (V)	41.99	42.18	42.36	42.55	42.73	42.92
Short Circuit Current-Isc (A)	14.91	14.95	14.99	15.03	15.07	15.11
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	34.87	35.04	35.21	35.38	35.54	35.71
Maximum Power Current-Imp (A)	14.01	14.05	14.09	14.13	14.17	14.21

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

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline
Cell configuration	132 cells (6×11+6×11)
Module dimensions	2384×1303×35mm
Weight	35.5kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	High strength alloy steel
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm ² (12AWG), Positive(+)-350mm, Negative(-)-230mm (Connector Included)
Connector	Risen Twinseal PV-SY02, IP68



Our Partners:

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.34%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	30A
Limiting Reverse Current	30A

PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)
Number of modules per container	558
Number of modules per pallet	31
Number of pallets per container	18
Box gross weight(kg)	1145

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 ©2022 Risen Energy. All rights reserved. Contents included in this manual are subject to change without notice.
 No special understanding or warranty for the suitability of special purposes or being installed in environments where no specific approval is granted unless explicitly confirmed by manufacturer in written documents.

THE POWER OF RISING VALUE

RSM132-3-655-EN-011-1-1022

5.2 ANEXO B - DATASHEET DO INVERSOR SG250HX

SG250HX

Multi-MPPT String Inverter for 1500 Vdc System



HIGH YIELD

- 12 MPPTs with max. efficiency 99%
- 30A MPPT compatible with 500Wp+ module
- Built-in Anti-PID and PID recovery function

SMART O&M

- Touch free commissioning and remote firmware upgrade
- Smart IV Curve diagnosis*
- Fuse free design with smart string current monitoring

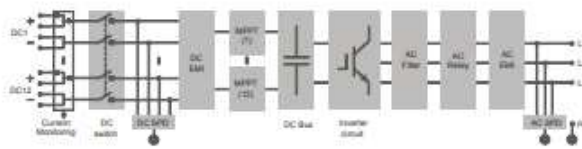
LOW COST

- Compatible with Al and Cu AC cables
- DC 2 in 1 connection enabled
- Power line communication (PLC)
- Q at night function

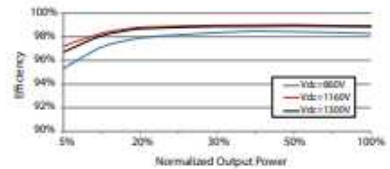
PROVEN SAFETY

- IP66 and C5 anti-corrosion
- Type II SPD for both DC and AC
- Compliant with global safety and grid code

CIRCUIT DIAGRAM



EFFICIENCY CURVE



SG250HX

Type designation	SG250HX
Input (DC)	
Max. PV input voltage	1500 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	500 V / 500 V
Nominal PV input voltage	1160 V
MPP voltage range	500 V – 1500 V
MPP voltage range for nominal power	860 V – 1300 V
No. of independent MPP inputs	12
Max. number of input connector per MPPT	2
Max. PV input current	30 A * 12
Max. DC short-circuit current	50 A * 12
Output (AC)	
AC output power	250 kVA @ 30 °C / 225 kVA @40 °C / 200 kVA @ 50 °C
Max. AC output current	180.5 A
Nominal AC voltage	3 / PE, 800 V
AC voltage range	680 – 880V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % In
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency	99.0 %
European efficiency	98.8 %
Protection	
DC reverse connection protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
Leakage current protection	Yes
Grid monitoring	Yes
Ground fault monitoring	Yes
DC switch	Yes
AC switch	No
PV String current monitoring	Yes
Q at night function	Yes
Anti-PID and PID recovery function	Yes
Overvoltage protection	DC Type II / AC Type II
General Data	
Dimensions (W*H*D)	1051 * 660 * 363 mm
Weight	99kg
Isolation method	Transformerless
Ingress protection rating	IP66
Night power consumption	< 2 W
Operating ambient temperature range	-30 to 60 °C
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 100 %
Cooling method	Smart forced air cooling
Max. operating altitude	5000 m (> 4000 m derating)
Display	LED, Bluetooth+App
Communication	RS485 / PLC
DC connection type	MC4-Evo2 (Max. 6 mm ² , optional 10mm ²)
AC connection type	DT/DT terminal (Max. 300 mm ²)
Compliance	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4110:2018, VDE-AR-N 4120:2018, EN 50549-1/2, UNE 206007-1:2013, P.O.12.3, UTE C15-712-1:2013
Grid Support	Q at night function, LVRT, HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control

* Only compatible with Sungrow logger and iSolarCloud

5.3 ANEXO C - SIMULAÇÃO PVSYS - ESTRUTURA TRACKER



Version 7.4.7

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: UFV SILVEIRÂNIA

Variant: UFV SILVEIRÂNIA - TRACKER

Tracking system with backtracking

System power: 3267 kWp

Silveirânia - Brazil

| Ramires


PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
26/02/24 16:29
with V7.4.5

Project: UFV SILVEIRÂNIA
Variant: UFV SILVEIRÂNIA - TRACKER

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Silveirânia	Latitude -21.14 °S	Albedo 0.20
Brazil	Longitude -43.22 °W	
	Altitude 515 m	
	Time zone UTC-3	
Weather data		
Silveirânia		
Meteonorm 8.1 (2008-2015), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	Tracking system with backtracking	
PV Field Orientation	Tracking algorithm	Near Shadings
Orientation	Astronomic calculation	According to strings : Fast (table)
Tracking plane, horizontal N-S axis	Backtracking activated	Electrical effect 100 %
Axis azimuth 0 °		Diffuse shading Automatic
System information		
PV Array		
Nb. of modules	4950 units	Inverters
Pnom total	3267 kWp	Nb. of units 10 units
		Pnom total 2500 kWac
		Pnom ratio 1.307
User's needs		
Unlimited load (grid)		

Results summary

Produced Energy	5663408 kWh/year	Specific production	1734 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	76.76 %
-----------------	------------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	5
Near shading definition - Iso-shadings diagram	6
Main results	7
Loss diagram	8
Pref. graphs	9
Single-line diagram	10


PVsyst V7.4.7

VC0. Simulation date:
26/02/24 16:29
with V7.4.5

Project: UFV SILVEIRÂNIA
Variant: UFV SILVEIRÂNIA - TRACKER

Grid-Connected System		Tracking system with backtracking	
PV Field Orientation		Tracking algorithm	
Orientation		Astronomic calculation	
Tracking plane, horizontal N-S axis		Backtracking activated	
Axis azimuth	0 °		
Models used		Backtracking array	
Transposition	Perez	Nb. of trackers	165 units
Diffuse	Perez, Meteonorm	Sizes	
Circumsolar	separate	Tracker Spacing	7.00 m
		Collector width	2.38 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	34.1 %
		Phi min / max.	-/+ 55.0 °
		Backtracking strategy	
		Phi limits for BT	-/+ 70.0 °
		Backtracking pitch	7.00 m
		Backtracking width	2.38 m
Horizon		Near Shadings	
Average Height	8.5 °	According to strings : Fast (table)	
		Electrical effect	100 %
		Diffuse shading	Automatic
Bifacial system		User's needs	
Model	2D Calculation unlimited trackers	Unlimited load (grid)	
Bifacial model geometry		Bifacial model definitions	
Tracker Spacing	7.00 m	Ground albedo	0.16
Tracker width	2.38 m	Bifaciality factor	70 %
GCR	34.1 %	Rear shading factor	5.0 %
Axis height above ground	2.10 m	Rear mismatch loss	10.0 %
		Shed transparent fraction	0.0 %

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	RSM-132-B-660-BMDG-Bifacial	Model	SG250-HX
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	660 Wp	Unit Nom. Power	250 kWac
Number of PV modules	4950 units	Number of inverters	10 units
Nominal (STC)	3267 kWp	Total power	2500 kWac
Modules	165 string x 30 in series	Operating voltage	500-1500 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.31
Pmpp	2990 kWp	Power sharing within this inverter	
U mpp	1042 V		
I mpp	2868 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	3267 kWp	Total power	2500 kWac
Total	4950 modules	Number of inverters	10 units
Module area	15376 m ²	Pnom ratio	1.31


PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
26/02/24 18:29
with V7.4.5

Project: UFV SILVEIRÂNIA
Variant: UFV SILVEIRÂNIA - TRACKER

Array losses								
Array Soiling Losses			Thermal Loss factor			DC wiring losses		
Loss Fraction	3.0 %		Module temperature according to irradiance			Global array res. 6.0 mΩ		
			Uc (const)	29.0 W/m ² K		Loss Fraction 1.5 % at STC		
			Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s				
LID - Light Induced Degradation			Module Quality Loss			Module mismatch losses		
Loss Fraction	2.0 %		Loss Fraction -0.8 %			Loss Fraction 2.0 % at MPP		
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

System losses		
Unavailability of the system		
Time fraction	2.0 %	
	7.3 days,	
	4 periods	
Auxiliaries loss		
Proportional to Power	10.0 W/kW	
	0.0 kW from Power thresh.	

AC wiring losses	
Inv. output line up to MV transfo	
Inverter voltage	800 Vac tri
Loss Fraction	0.99 % at STC
Inverter: SG250-HX	
Wire section (10 Inv.)	Alu 10 x 3 x 240 mm ²
Average wires length	150 m
MV line up to Injection	
MV Voltage	13.8 kV
Wires	Alu 3 x 95 mm ²
Length	100 m
Loss Fraction	0.06 % at STC

AC losses in transformers	
MV transfo	
Medium voltage	13.8 kV
Transformer parameters	
Nominal power at STC	3.23 MVA
Iron Loss (24/24 Connexion)	3.23 kVA
Iron loss fraction	0.10 % at STC
Copper loss	45.60 kVA
Copper loss fraction	1.41 % at STC
Coils equivalent resistance	3 x 2.79 mΩ



PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
26/02/24 16:29
with V7.4.5

Project: UFV SILVEIRÂNIA
Variant: UFV SILVEIRÂNIA - TRACKER

Horizon definition

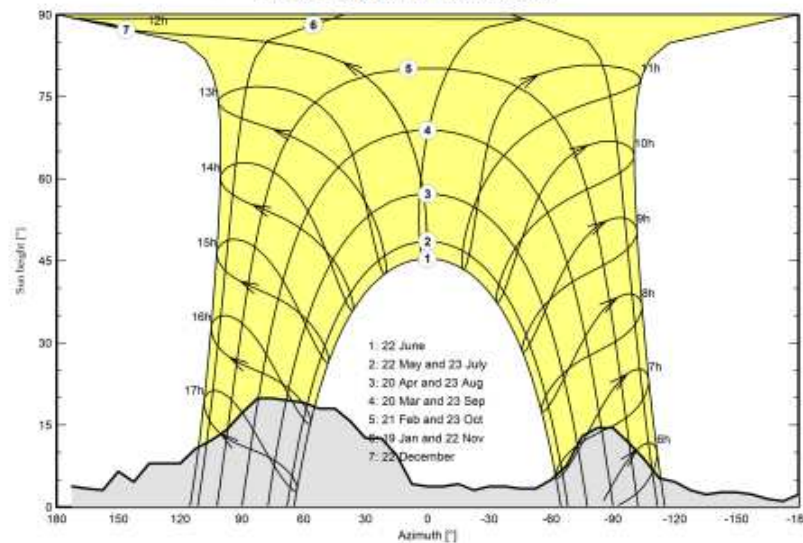
Horizon from PVGIS website API, Lat=-21°8'34", Long=-43°13'13", Alt=515m

Average Height	8.5 °	Albedo Factor	0.30
Diffuse Factor	0.83	Albedo Fraction	100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Height [°]	2.3	1.1	1.5	2.3	2.7	2.7	2.3	3.1	4.6	5.3	8.8	11.8
Azimuth [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8
Height [°]	14.5	14.5	13.0	7.8	5.0	3.4	3.4	3.8	3.8	3.1	4.2	3.8
Azimuth [°]	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83
Height [°]	3.8	4.2	9.5	12.6	12.6	15.7	18.0	18.0	19.1	19.5	19.9	19.9
Azimuth [°]	90	98	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173
Height [°]	17.2	14.1	12.2	10.7	8.0	8.0	4.6	6.5	3.1	3.4	3.8	

Sun Paths (Height / Azimuth diagram)





PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
26/02/24 16:29
with V7.4.5

Project: UFV SILVEIRÂNIA
Variant: UFV SILVEIRÂNIA - TRACKER

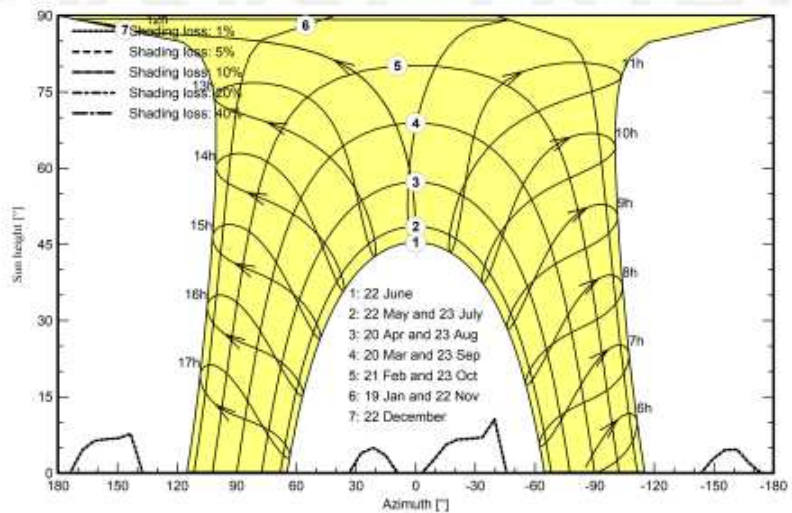
Near shadings parameter

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1





Project: UFV SILVEIRÂNIA
Variant: UFV SILVEIRÂNIA - TRACKER

PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
26/02/24 16:29
with V7.4.5

Main results

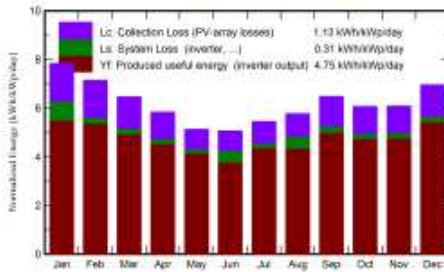
System Production

Produced Energy 5663408 kWh/year

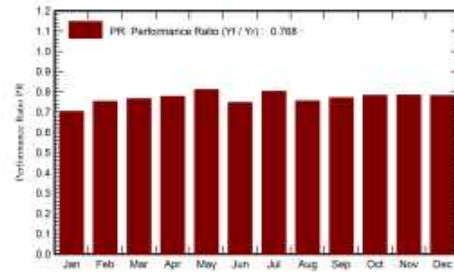
Specific production
Perf. Ratio PR

1734 kWh/kWp/year
76.76 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
January	196.5	91.24	24.48	243.0	225.5	637696	558587	0.704
February	160.0	71.31	24.94	200.2	182.0	514658	492664	0.753
March	160.0	74.06	23.79	200.5	180.0	524297	501425	0.766
April	138.7	56.16	22.08	175.1	156.1	465219	444806	0.778
May	124.8	53.65	20.10	158.9	140.7	439193	420826	0.811
June	114.8	42.03	18.80	151.8	133.6	417649	370999	0.748
July	126.8	39.99	18.89	168.9	148.5	461906	442668	0.802
August	139.2	57.24	19.94	178.9	158.7	491225	441290	0.755
September	152.5	64.70	21.10	194.5	172.9	516578	490107	0.771
October	156.8	80.19	22.72	188.2	172.0	503158	481371	0.763
November	152.0	81.74	22.35	182.6	167.7	489110	467720	0.784
December	180.1	94.76	23.88	215.6	198.9	575019	550944	0.782
Year	1802.3	807.10	21.89	2258.2	2036.6	6035707	5663408	0.768

Legends

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio



PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
26/02/24 16:29
with V7.4.5

Project: UFV SILVEIRÂNIA
Variant: UFV SILVEIRÂNIA - TRACKER

