



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**GILVAN FERREIRA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE GERAÇÃO CENTRALIZADA E GERAÇÃO  
DESCENTRALIZADA FOTOVOLTAICA PARA AS ESCOLAS DE ENSINO  
FUNDAMENTAL DA SEDE DO MUNICÍPIO DE BOA VIAGEM - CE**

**FORTALEZA**

**2023**

GILVAN FERREIRA DO NASCIMENTO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE GERAÇÃO CENTRALIZADA E GERAÇÃO  
DESCENTRALIZADA FOTOVOLTAICA PARA AS ESCOLAS DE ENSINO  
FUNDAMENTAL DA SEDE DO MUNICÍPIO DE BOA VIAGEM - CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do  
Centro de Tecnologia da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da  
Câmara.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- N195a Nascimento, Gilvan Ferreira do.  
Análise comparativa entre geração centralizada e geração descentralizada fotovoltaica para as escolas de ensino fundamental da sede do município de Boa Viagem - CE / Gilvan Ferreira do Nascimento. – 2023.  
104 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.
1. Geração fotovoltaica. 2. Geração centralizada. 3. Geração descentralizada. 4. Viabilidade financeira. 5. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 621.3

---

GILVAN FERREIRA DO NASCIMENTO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE GERAÇÃO CENTRALIZADA E GERAÇÃO  
DESCENTRALIZADA FOTOVOLTAICA PARA AS ESCOLAS DE ENSINO  
FUNDAMENTAL DA SEDE DO MUNICÍPIO DE BOA VIAGEM - CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do  
Centro de Tecnologia da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 05/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Débora Raquel Freitas da Silva Chaves  
Rede Estadual de Educação – CE

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar meus agradecimentos expressando minha profunda gratidão à minha mãe, Maria José Ferreira de Lima, que infelizmente não está mais conosco. Seu amor, apoio e os valores que ela me transmitiu continuam a me inspirar a cada dia. Este trabalho é dedicado à sua memória.

Quero agradecer ao meu pai, Manuel Facundo do Nascimento, por seu amor incondicional, orientação e sacrifícios ao longo de minha jornada acadêmica. Suas palavras de encorajamento foram a âncora que me manteve firme nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus queridos amigos, Lucas Fonseca, Rafael Oliveira, Mateus Rodrigues, Tais Queiroz, Jociete Santos, Daniel Almeida, Denilson Lima e Davi Furtado, por estarem ao meu lado durante essa jornada. Sua amizade e apoio foram essenciais para manter meu ânimo e foco. Gostaria de estender também à minha irmã, Bruna Ferreira, e ao meu cunhado, José Adriano, por seu apoio constante e acolhida durante toda a minha jornada acadêmica.

À Pró-reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE) da Universidade Federal do Ceará, expresso minha gratidão por fornecer recursos e suporte que tornaram possível minha educação superior. Seu compromisso com o bem-estar dos estudantes é admirável.

Ao meu professor orientador, Raphael Amaral, expresso minha profunda gratidão por sua orientação, conhecimento e compromisso. Suas orientações foram fundamentais para o sucesso deste projeto. Além disso, deixo meus agradecimentos à banca examinadora, pelos comentários e considerações feitas.

Agradeço também a toda a minha família paterna e materna, que sempre me apoiou em todas as fases da minha vida. Seus valores e encorajamento moldaram quem eu sou hoje.

Adicionalmente, gostaria de agradecer à Secretaria Municipal de Boa Viagem pela recepção, bem como à Sra. Raquel Sousa, do Setor de Gabinete da Prefeitura, pela sua disponibilidade e assistência valiosa na organização dos dados. Suas contribuições foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Por fim, dedico este trabalho a todas as pessoas mencionadas acima, bem como a todos os amigos, familiares e professores de toda a minha jornada escolar desde o ensino fundamental e médio até o superior, que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Suas influências foram fundamentais para alcançar esta conquista.

"A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade."

**Nikola Tesla**

## RESUMO

Este estudo investigou a viabilidade da implantação de sistemas de geração fotovoltaica (FV) em escolas de ensino fundamental na sede do município de Boa Viagem, Ceará, Brasil, comparando as abordagens de geração centralizada e descentralizada. Foram realizados os dimensionamentos para ambos os tipos de geração, tendo sido especificado quantidade de módulos, inversores, microinversores, cabeamento e sistema de proteção, sendo analisados os custos iniciais, os retornos financeiros, os benefícios e os desafios de ambas as abordagens e cenários de produção de eletricidade ao longo dos meses, considerando o ambiente de estudo, em conformidade com as normas vigentes utilizadas. A escolha entre elas deve levar em conta metas de sustentabilidade, disponibilidade de financiamento e regulamentações locais. Além dos benefícios econômicos, a implementação de sistemas FV também contribui para a conscientização ambiental e a educação dos alunos, destacando seu papel crucial no avanço em direção a um futuro mais sustentável. A geração descentralizada oferece a vantagem do baixo impacto visual e ambiental, enquanto a geração centralizada pode resultar em economias de escala significativas e maior eficiência técnica. O *payback* e o retorno sobre o investimento foram as métricas utilizadas no estudo financeiro. Com os resultados, o sistema com configurações mistas, envolvendo inversores e microinversores, na geração descentralizada mostrou-se mais aplicável, considerando os custos, tempos de retorno do capital investido e eficiência energética, em comparação com a geração centralizada. Dessa forma, este estudo fornece uma base sólida para a tomada de decisões e destaca o potencial da geração FV não apenas como uma fonte de eletricidade eficiente, mas também como uma ferramenta educacional valiosa para as gerações futuras.

**Palavras-chave:** geração fotovoltaica; geração centralizada; geração descentralizada; viabilidade financeira; sustentabilidade.



## ABSTRACT

This study investigated the feasibility of implementing photovoltaic (PV) generation systems in elementary schools in the municipality of Boa Viagem, Ceará, Brazil, comparing centralized and decentralized generation approaches. Sizing was performed for both types of generation, specifying the quantity of modules, inverters, microinverters, wiring, and protection systems. Initial costs, financial returns, benefits, and challenges of both approaches were analyzed, considering electricity production scenarios over the months, in accordance with applicable standards. The choice between them should consider sustainability goals, funding availability, and local regulations. In addition to economic benefits, PV system implementation also contributes to environmental awareness and student education, emphasizing its crucial role in advancing towards a more sustainable future. Decentralized generation offers the advantage of low visual and environmental impact, while centralized generation can result in significant economies of scale and greater technical efficiency. *payback* and return on investment were the financial metrics used in the study. The results showed that a mixed system, involving both inverters and microinverters in decentralized generation, proved more applicable, considering costs, return on investment times, and energy efficiency, compared to centralized generation. Thus, this study provides a solid foundation for decision-making and highlights the potential of PV generation not only as an efficient electricity source but also as a valuable educational tool for future generations.

**Keywords:** photovoltaic generation; centralized generation; decentralized generation; financial viability; sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais componentes de um sistema FV conectado à rede. ....	24
Figura 2 – Geração descentralizada. ....	25
Figura 3 – Geração centralizada. ....	26
Figura 4 – Mapa municipal de Boa Viagem. ....	28
Figura 5 – Total diário da irradiação global horizontal – média anual. ....	29
Figura 6 – Diagrama unifilar com o uso de microinversores.....	39
Figura 7 – Diagrama unifilar do sistema com inversor.....	39
Figura 8 – Vista frontal da escola Delfina Vieira da Silva. ....	49
Figura 9 – Disposição dos módulos FVs no telhado da escola.....	49
Figura 10 – Análise de sombreamento da edificação ao longo do ano. ....	50
Figura 11 – Diagrama unifilar utilizando microinversores. ....	60
Figura 12 – Diagrama unifilar do sistema com inversor.....	60
Figura 13 – Vista superior da planta de geração centralizada.....	64
Figura 14 – Sugestão de espaço para a planta FV.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Irradiação solar no plano horizontal em Boa Viagem-CE.....	29
Tabela 2 – Consumos médios por período letivo.....	33
Tabela 3 – Características técnicas do módulo FV utilizado. ....	35
Tabela 4 – Características técnicas do microinversor utilizado. ....	37
Tabela 5 – Especificações técnicas do inversor escolhido. ....	38
Tabela 6 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 50 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C.....	41
Tabela 7 – Características técnicas dos condutores do trecho 1.1.....	42
Tabela 8 – Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D. ....	44
Tabela 9 – Correntes convencionais de não-atuação (Int), de atuação (I2) e tempo convencional para disjuntores BT.....	46
Tabela 10 – Especificações dos dispositivos de proteção com o uso de microinversores. ....	48
Tabela 11 – Especificações dos dispositivos de proteção com o uso de inversor. ....	48
Tabela 12 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores do projeto da EEF. Delfina Vieira da Silva .....	52
Tabela 13 – Orçamento do sistema completo utilizando inversores do projeto da EEF. Delfina Vieira da Silva.....	53
Tabela 14 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema do projeto da EEF. Delfina Vieira da Silva.....	54
Tabela 15 – Dados adotados no estudo financeiro do projeto da EEF. Delfina Vieira da Silva.....	55
Tabela 16 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Delfina Vieira da Silva.....	56
Tabela 17 – Especificações técnicas do inversor escolhido. ....	59
Tabela 18 – Especificações dos dispositivos de proteção com o uso de microinversores. ....	63
Tabela 19 – Especificações dos dispositivos de proteção com o uso de inversor. ....	64
Tabela 20 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores.....	66
Tabela 21 – Orçamento do sistema completo utilizando inversores.....	66
Tabela 22 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema do projeto. ....	67
Tabela 23 – Dados adotados no estudo financeiro do projeto da geração centralizada .....	69
Tabela 24 – Fluxos financeiros do projeto da geração centralizada.....	69
Tabela 25 – Orçamentos escolhidos da geração descentralizada. ....	70
Tabela 26 – Dados adotados no estudo financeiro do projeto da geração descentralizada.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 27 – Fluxos financeiros do projeto da geração descentralizada. ....	71
Tabela 28 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos. ....	80
Tabela 29 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos .....	80
Tabela 30 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos. ....	81
Tabela 31 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos. ....	82
Tabela 32 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos. ....	82
Tabela 33 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Benjamim Alves da Silva. ....	83
Tabela 34 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. EEF. Benjamim Alves da Silva. ....	83
Tabela 35 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Benjamim Alves da Silva. ....	84
Tabela 36 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Benjamim Alves da Silva. ....	85
Tabela 37 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Benjamim Alves da Silva. ....	85
Tabela 38 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana. ....	86
Tabela 39 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana. ....	86
Tabela 40 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana. ....	87
Tabela 41 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana. ....	88
Tabela 42 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana. ....	88
Tabela 43 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Jessé Alves da Silva. ....	89
Tabela 44 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Jessé Alves da Silva. ....	89
Tabela 45 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da Jessé Alves da Silva. ....	90
Tabela 46 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Jessé Alves da Silva. ....	91
Tabela 47 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Jessé Alves da Silva. ....	91
Tabela 48 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. José Adauto Sales. ....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 49 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. José Aduino Sales..	92
Tabela 50 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. José Aduino Sales. ....	93
Tabela 51 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. José Aduino Sales. ....	94
Tabela 52 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. José Aduino Sales.....	94
Tabela 53 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. José Asséf Fares.....	95
Tabela 54 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. José Asséf Fares. ...	95
Tabela 55 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. José Asséf Fares. ....	96
Tabela 56 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. José Asséf Fares.....	97
Tabela 57 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. José Asséf Fares. ....	97
Tabela 58 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes.....	98
Tabela 59 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes.....	98
Tabela 60 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes.....	99
Tabela 61 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes. ....	100
Tabela 62 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes. ....	100
Tabela 63 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Padre Antônio Correia de Sá.....	101
Tabela 64 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Padre Antônio Correia de Sá.....	101
Tabela 65 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Padre Antônio Correia de Sá. ....	102
Tabela 66 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Padre Antônio Correia de Sá. ....	103
Tabela 67 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Padre Antônio Correia de Sá.....	103
Tabela 68 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros. ....	104
Tabela 69 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros. ....	104
Tabela 70 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros. ....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 71 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros.	106
Tabela 72 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros. ....	106

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Informações básicas de localização das escolas. ....	30
Quadro 2 – Descrições dos condutores do trecho 2.1.....	45
Quadro 3 – Descrições dos condutores que saem do inversor para o quadro de distribuição. ....	46
Quadro 4 – Características técnicas dos condutores do trecho 2.1 da Figura 13.....	61
Quadro 5 – Descrições dos condutores que saem do inversor para o quadro de distribuição .....	63
Quadro 6 – Benefícios e desafios da geração centralizada. ....	72
Quadro 7 – Benefícios e desafios da geração descentralizada.....	73

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo da EEF. PATRÍCIA FACUNDO CAMPOS .....	31
Gráfico 2 – Consumo da EEF. BENJAMIM ALVES DA SILVA .....	31
Gráfico 3 – Consumo da EEF. DELFINA VIEIRA DA SILVA .....	31
Gráfico 4 – Consumo da EEF. FILOMENA UCHOA VIANA. ....	31
Gráfico 5 – Consumo da EEF. JESSÉ ALVES DA SILVA .....	32
Gráfico 6 – Consumo da EEF. JOSÉ ADAUTO SALES.....	32
Gráfico 7 – Consumo da EEF. JOSÉ ASSEF FARES .....	32
Gráfico 8 – Consumo da EEF. OSMAR DE OLIVEIRA FONTES .....	32
Gráfico 9 – Consumo da EEF. PADRE ANTONIO CORREIA DE SÁ .....	32
Gráfico 10 – Consumo da EEF. PADRE PAULO DE ALMEIDA MEDEIROS .....	32
Gráfico 11 – Consumo ajustado da EEF. JESSÉ ALVES DA SILVA.....	34
Gráfico 12 – Consumo ajustado da EEF. JOSÉ ASSEF FARES .....	34
Gráfico 13 – Consumo ajustado da EEF. OSMAR DE OLIVEIRA FONTES .....	34
Gráfico 14 – Consumo ajustado da EEF. PADRE PAULO DE ALMEIDA MEDEIRO .....	34
Gráfico 15 – Consumo total das escolas de ensino fundamental da sede de Boa Viagem-CE. ....	57
Gráfico 16 – Custos da geração descentralizada por configuração .....	74
Gráfico 17 – Custos da geração centralizada e descentralizada.....	74



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Antes do meio-dia
$A_{\text{módulo}}$	Área dos módulos
APRECE	Associação dos Municípios do Estado do Ceará
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
FV	FV
HSP	Horas de Sol Pleno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Associação dos Municípios do Estado do Ceará
Imp	Corrente no Ponto de Máxima Potência
Iproj	Corrente de projeto
IN	Corrente do disjuntor
Isc	Corrente de Curto Circuito
IZ	Corrente suportada pelo condutor
LOA	Tensão fase-neutro
$N_{\text{módulos}}$	Número de módulos
NBR	Norma Brasileira
PMBV	Prefeitura Municipal de Boa Viagem
Pmax	Potência Nominal Máxima
PM	Após o meio-dia
ROI	Retorno sobre o investimento
SSA	Número de séries fotovoltaicas conectadas em série
Vfn	Tensão fase-neutro
Vmp	Tensão no Ponto de Máxima Potência
Voc	Tensão de Circuito Aberto
$\eta_{\text{módulos}}$	Eficiência dos módulos

## LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
$\Omega$	Ohm
$\Delta e$	Queda de tensão Máxima
$L$	Soma dos comprimentos dos cabos positivo e negativo
$\sigma$	Condutividade do cobre
$\eta$	Rendimento
$\Delta V_c$	Queda de tensão admitida
$L_c$	Comprimento do circuito
$R\$$	Real
$K$	Fator multiplicador
$FP$	Fator de potência

## SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO</b> .....	21
1.1 OBJETIVO GERAL .....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
1.3 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA.....	23
<b>2- REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	24
2.1 GERAÇÃO FV: CONCEITOS E PRINCÍPIOS .....	24
2.2 GERAÇÃO CENTRALIZADA VS. GERAÇÃO DESCENTRALIZADA .....	25
2.3 ASPECTOS TÉCNICOS E FINANCEIROS DA GERAÇÃO FV .....	26
2.4 RELEVÂNCIA DA GERAÇÃO FV PARA AS ESCOLAS .....	27
2.5 CONTEXTO DE BOA VIAGEM – CE.....	27
<b>2.5.1 Localização geográfica e características</b> .....	27
<b>2.5.2 Dados demográficos e climáticos</b> .....	28
<b>2.5.3 Descrição do setor educacional em Boa Viagem</b> .....	30
2.6 UNIDADES CONSUMIDORAS .....	31
<b>3- DIMENSIONAMENTO DAS GERAÇÕES FV</b> .....	35
3.1 DIMENSIONAMENTO DA GERAÇÃO DESCENTRALIZADA .....	35
<b>3.1.1 Especificações dos módulos FVs</b> .....	35
<b>3.1.2 Especificações do inversor e dos microinversores</b> .....	37
<b>3.1.3 Especificações dos condutores</b> .....	38
3.1.3.1 Especificações dos condutores em corrente contínua.....	40
3.1.3.2 Especificações dos condutores em corrente alternada .....	43
<b>3.1.4 Especificações da proteção</b> .....	46
<b>3.1.5 Especificações espacial do projeto e sombreamento</b> .....	48
<b>3.1.6 Especificações dos orçamentos</b> .....	51
<b>3.1.7 Levantamento energético</b> .....	53
<b>3.1.8 Estudo financeiro</b> .....	54
3.2 DIMENSIONAMENTO DA GERAÇÃO CENTRALIZADA.....	57

<b>3.2.1 Especificações dos módulos FVs</b> .....	57
<b>3.2.2 Especificações do inversor e dos microinversores</b> .....	58
<b>3.2.3 Especificações dos condutores</b> .....	59
3.2.3.1 Especificações dos condutores em corrente contínua.....	59
3.1.2.2 Especificações dos condutores em corrente alternada .....	61
<b>3.2.4 Especificações da proteção</b> .....	63
<b>3.2.5 Especificações espacial do projeto e sombreamento</b> .....	64
<b>3.2.6 Especificações dos orçamentos</b> .....	65
<b>3.2.7 Levantamento Energético</b> .....	66
<b>3.2.8 Estudo financeiro</b> .....	67
<b>4- ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS GERAÇÕES FV</b> .....	70
4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	70
4.2 AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS.....	72
4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	73
<b>5- CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	75
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	76
<b>ANEXO I – QUADROS RESUMO DE DIMENSIONAMENTO.</b> .....	80
• <b>Escola de Ensino Fundamental Patrícia Facundo Campos</b> .....	80
• <b>Escola de Ensino Fundamental Benjamim Alves Da Silva</b> .....	83
• <b>Escola de Ensino Fundamental Filomena Uchoa Viana</b> .....	86
• <b>Escola de Ensino Fundamental Jessé Alves da Silva</b> .....	89
• <b>Escola de Ensino Fundamental José Aduino Sales</b> .....	92
• <b>Escola de Ensino Fundamental José Assef Fares</b> .....	95
• <b>Escola de Ensino Fundamental Osmar de Oliveira Fontes</b> .....	98
• <b>Escola de Ensino Fundamental Padre Antônio Correia de Sá</b> .....	101
• <b>Escola de Ensino Fundamental Padre Paulo de Almeida Medeiros</b> .....	104

## 1- INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia limpa e sustentável tem se tornado uma prioridade global, à medida que o mundo enfrenta desafios ambientais e energéticos cada vez mais prementes. A geração FV, derivada da conversão direta da luz solar em eletricidade, tem emergido como uma solução viável e eficaz para atender a essas necessidades crescentes, reduzindo simultaneamente a dependência de fontes de energia não renováveis e mitigando os impactos ambientais adversos associados a elas.

No contexto brasileiro, o potencial solar é vasto e, no estado do Ceará, essa potencialidade é ainda mais evidente devido à sua localização geográfica favorável. No município de Boa Viagem, CE, onde o clima semiárido predomina, a abundância de dias ensolarados oferece uma oportunidade única para explorar a geração FV como uma fonte de energia limpa e renovável. Escolas de ensino fundamental, como centros de aprendizado e comunidades locais, podem se beneficiar significativamente da implantação de sistemas FVs, reduzindo os custos de eletricidade e contribuindo para a educação ambiental dos alunos.

A Lei Orçamentária Anual (LOA) é uma lei que estima as receitas arrecadadas e despesas decorrentes do plano de governo. A LOA de 2023 do município de Boa Viagem – CE tem como montante de despesas destinado à energia elétrica o equivalente à R\$ 609.000,00, tendo como pasta responsável a Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos.

O município possui 70 unidades de educação, segundo a Prefeitura Municipal, onde nesse trabalho serão acompanhadas 10 escolas de ensino fundamental que estão localizadas na sede do município. Dessa forma, tem-se que, segundo os dados que serão expostos no Capítulo 2, o somatório do consumo médio mensal em um ano das 10 escolas em estudo é de, aproximadamente, 315 MWh. E que, ao considerar o preço do kWh de R\$ 0,74373, de acordo com a concessionária local: Enel Distribuidora, tem-se que o valor total tido como despesa no consumo de energia elétrica é de aproximadamente R\$ 234.539,35 em um ano, ao desconsiderar os demais tributos. O que representa em torno de 38,5 % das despesas com energia elétrica por parte da pasta.

Sendo assim, esse trabalho apresentará uma forma de mitigar o montante disponibilizado para despesas com consumo de energia elétrica por parte das escolas de ensino fundamental do município de Boa Viagem. Isso será feito através da realização de uma análise comparativa entre a geração centralizada e a geração descentralizada FV.

Serão considerados aspectos técnicos, econômicos e ambientais para determinar a viabilidade e os benefícios associados a cada abordagem. Além disso, pretende-se fornecer recomendações práticas para a implementação de sistemas FVs em escolas, visando promover a eficiência energética, a sustentabilidade e o desenvolvimento local.

Espera-se que esta pesquisa contribua para uma compreensão mais aprofundada das implicações da adoção da energia solar em escolas de ensino fundamental e forneça *insights* valiosos para a tomada de decisões estratégicas no campo da energia renovável.

Compreender as vantagens e desafios associados à geração FV em Boa Viagem não apenas beneficiará a comunidade local, mas também servirá como um modelo inspirador para outras regiões em busca de soluções energéticas sustentáveis.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade financeira de geração FV em escolas de Boa Viagem-CE, oferecendo dados para decisões sobre a implementação desses sistemas.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um levantamento detalhado das características energéticas e das necessidades de consumo das escolas de ensino fundamental em Boa Viagem – CE.
- Analisar as opções de geração centralizada e descentralizada FV, considerando custos, benefícios e desafios associados, e avaliar sua viabilidade financeira.
- Comparar os resultados das análises de viabilidade financeira entre a geração centralizada e a geração descentralizada, identificando qual abordagem é mais adequada ao contexto das escolas
- Apresentar recomendações e conclusões com base nas análises realizadas, fornecendo informações valiosas para orientar a tomada de decisões sobre a implementação de sistemas FV nas escolas em questão.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA

O Capítulo 1 mostra uma introdução no que diz respeito ao trabalho. O Capítulo 2 explora os fundamentos da geração FV, examinando o contexto geográfico e demográfico de Boa Viagem, CE, e apresentando uma análise detalhada das opções de geração centralizada e descentralizada FV. O Capítulo 3 mostra detalhadamente como deu-se o dimensionamento da geração descentralizada aplicando em uma escola, por exemplo, e destaca cenários de geração mensal atrelados ao consumo, além dos custos e prazos de recuperação do investimento para o caso mais favorável. Isso é realizado tanto para a geração descentralizada quanto para a centralizada, tendo as suas peculiaridades. O Capítulo 4 traz uma comparação entre qual tipo de geração se observou mais atrativa a depender do caso, mostrando os desafios e benefícios de ambas. E, no tocante ao Capítulo 5, o mesmo apresenta uma conclusão do que foi constatado e construído durante o trabalho.

## 2- REFERENCIAL TEÓRICO

Serão apresentados a seguir os fundamentos dos principais termos relacionados ao tema do trabalho, além de características pertinentes ao lugar escolhido para a análise.

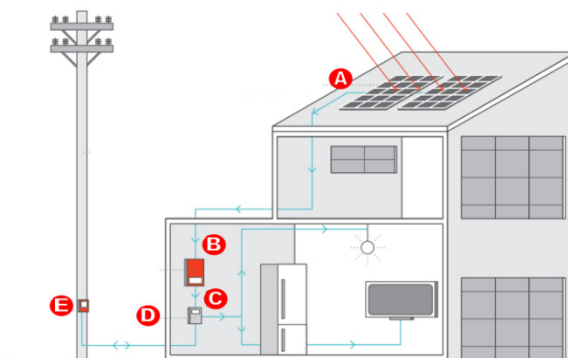
### 2.1 GERAÇÃO FV: CONCEITOS E PRINCÍPIOS

A geração FV é uma fonte de energia renovável que converte a luz solar diretamente em eletricidade por meio do efeito FV. Esse processo ocorre em células FVs, geralmente feitas de silício, que absorvem fótons da luz solar, gerando uma corrente elétrica (PORTAL SOLAR, 2023). Essas células são agrupadas em módulos FV, que podem ser instalados em telhados, superfícies terrestres ou estruturas específicas.

A eficiência das células FVs tem aumentado ao longo dos anos, tornando a geração FV uma opção cada vez mais competitiva em comparação com fontes de energia tradicionais. Além disso, a manutenção é relativamente simples, e os sistemas podem ter uma longa vida útil.

A Figura 1 apresenta os principais componentes de um sistema FV on-grid (conectado à rede), haja vista que em (A) tem-se os módulos FVs, responsáveis pelo efeito FV, em (B) tem-se a entrada do inversor que receberá corrente contínua advinda dos módulos, uma vez que a principal função será converter a corrente contínua em corrente alternada que estará em sua saída (C). O quadro de distribuição da unidade consumidora é representado em (D), sendo que em (E) tem-se o medidor bidirecional da concessionária que registrará o que foi injetado na rede pelo sistema e o que foi consumido pela unidade consumidora.

Figura 1 – Principais componentes de um sistema FV conectado à rede.



Fonte: Atlas eólico-solar do Ceará, 2019.

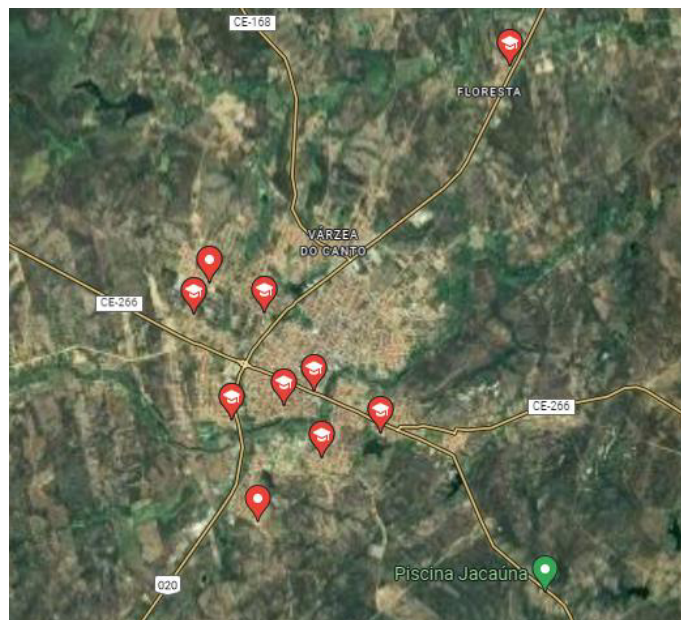


## 2.2 GERAÇÃO CENTRALIZADA VS. GERAÇÃO DESCENTRALIZADA

A geração centralizada FV envolve a construção de grandes usinas solares em áreas remotas e a transmissão da eletricidade gerada por longas distâncias até os pontos de consumo. Isso requer infraestrutura complexa de transmissão e distribuição. Em contrapartida, a geração descentralizada ocorre na própria localidade de consumo, geralmente nas instalações do consumidor (ALÉM DA ENERGIA, 2022).

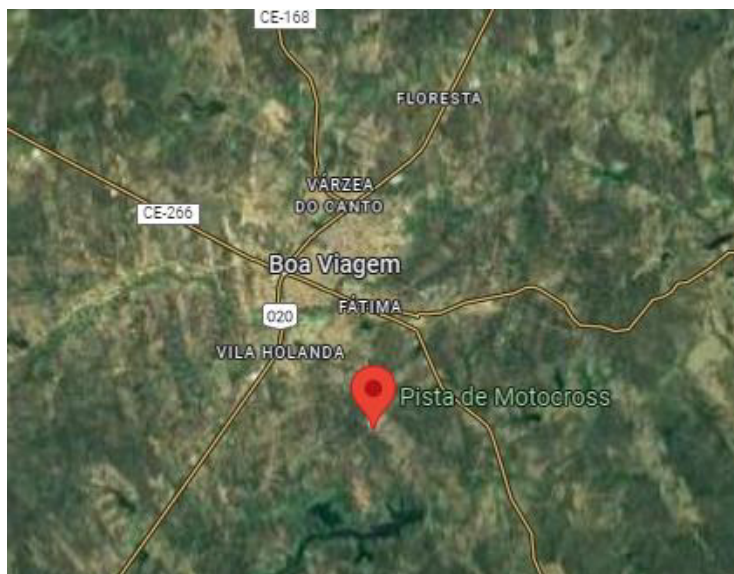
As Figuras 2 e 3 apresentam marcações em vermelho indicando os locais no quais as usinas de geração FV seriam instaladas. A Figura 2 se enquadra dentro dos conceitos básicos descritos para geração descentralizada para as 10 escolas de ensino fundamental. Enquanto que a Figura 3 se encaixa com os fundamentos apresentados para a geração centralizada, englobando em um só ponto a geração responsável pelas 10 unidade consumidoras. Haja vista que os locais escolhidos para a geração descentralizada são de posse da prefeitura, ou seja, os módulos FV seriam instalados no próprio telhada de cada escola, sendo característico do tipo de geração utilizado. E no tocante à geração centralizada, foi utilizado um local exemplo sem a presença de corpos estruturais urbanos ou naturais que causassem perdas significativas ao sistema, como provocar o sombreamento nos módulos, por exemplo.

Figura 2 – Geração descentralizada.



Fonte: Google Maps, 2023.

Figura 3 – Geração centralizada.



Fonte: Google Maps, 2023.

Dessa forma, esses dois tipos de geração serão analisados nos próximos capítulos visando encontrar a melhor aplicabilidade para a situação proposta. Sendo que fatores como custo de manutenção, de equipamentos e de gestão serão essenciais para a verificação de qual será mais adequado para a situação proposta

### 2.3 ASPECTOS TÉCNICOS E FINANCEIROS DA GERAÇÃO FV

Além da eficiência das células FVs, a orientação dos módulos, a inclinação e a capacidade de armazenamento de energia desempenham papéis fundamentais na produção de eletricidade FV. A análise de sombreamento, a previsão de irradiação solar e a seleção de inversores também são fatores críticos para o sucesso de um sistema FV (RAMOS, 2023).

Do ponto de vista financeiro, o custo inicial de instalação, incluindo painéis solares, inversores e estruturas de suporte, bem como os custos de manutenção e operação, deve ser levado em consideração. Além disso, os incentivos fiscais e as tarifas de eletricidade são elementos importantes na análise financeira.

A escolha do tipo de sistema ao qual a associação dos módulos estará ligada é uma tarefa que implicará também em contribuições para o aumento ou diminuição do custo total do sistema FV completo até pleno funcionamento. Dessa forma, ao optar por utilizar microinversores ou até mesmo dois inversores em detrimento de um, são decisões importantes a serem consideradas. Além do mais, a previsão de fatores de perdas que podem influenciar na geração deve ser considerada visando uma entrega

otimizada e eficiente, tanto do ponto de vista energético quanto do ponto de vista financeiro.

## 2.4 RELEVÂNCIA DA GERAÇÃO FV PARA AS ESCOLAS

Escolas de ensino fundamental desempenham um papel fundamental na formação da próxima geração e podem atuar como catalisadoras para a adoção de práticas sustentáveis. A implementação de sistemas FVs em escolas não apenas reduz os custos de energia, liberando recursos para atividades educacionais, mas também fornece oportunidades de aprendizado prático sobre energia renovável e conservação.

Além disso, a geração FV em escolas pode contribuir para a redução das emissões de carbono, fortalecendo o compromisso com a responsabilidade ambiental (BANCO BV, 2023). Isso pode ser um exemplo inspirador para os alunos, promovendo a conscientização sobre questões ambientais e incentivando ações sustentáveis em suas vidas cotidianas.

Neste contexto, este estudo busca explorar as opções de geração FV para as escolas de ensino fundamental na sede do município de Boa Viagem, CE, com o objetivo de oferecer *insights* valiosos para a tomada de decisões e para a promoção da energia limpa e sustentável em uma comunidade local.

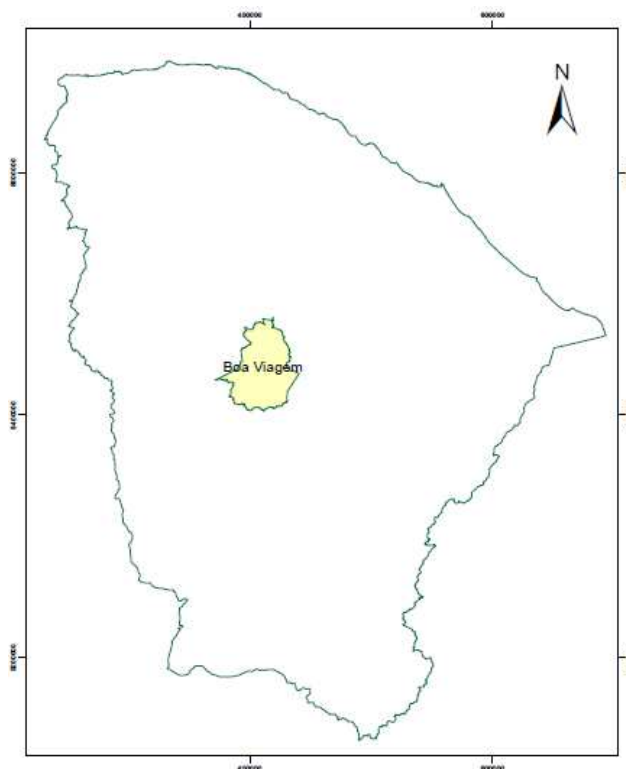
## 2.5 CONTEXTO DE BOA VIAGEM – CE

Serão apresentados pontos importantes do trabalho relacionados ao contexto de Boa Viagem, onde será destacado as principais características da cidade e tópicos sobre o tema em estudo.

### 2.5.1 Localização geográfica e características

Boa Viagem está situada na mesorregião dos Sertões Cearenses e na microrregião do Sertão de Quixeramobim. Sua localização geográfica é marcada por coordenadas que abrangem uma área de 2.836.774,00 quilômetros quadrados (IBGE, 2022). O município se encontra a uma distância de aproximadamente 217 quilômetros da capital do Ceará, Fortaleza. Está situado a uma altitude de 275 metros acima do nível do mar e é caracterizado por um clima semiárido, que influencia significativamente as condições climáticas locais. A Figura 4 mostra a localização da cidade de Boa Viagem em relação ao mapa do estado do Ceará.

Figura 4 – Mapa municipal de Boa Viagem.



Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2018).

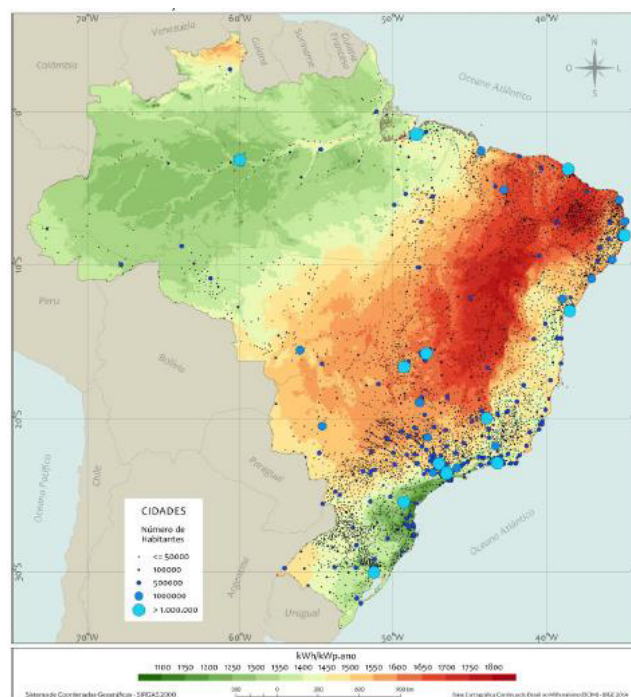
### 2.5.2 Dados demográficos e climáticos

Boa Viagem possui uma população estimada de cerca de 50.411 habitantes e, com densidade populacional de aproximadamente 17,78 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). O clima predominante na região é semiárido, caracterizado por chuvas escassas e temperaturas elevadas.

Essas condições climáticas específicas são de grande relevância para a análise da viabilidade da geração FV em Boa Viagem, uma vez que a disponibilidade de luz solar é um fator crítico para o sucesso dos sistemas de geração de energia solar.

A Figura 5 mostra a média anual da quantidade de energia solar que o Brasil recebe em um dia. Essa medida considera tanto a radiação solar direta quanto a radiação difusa, proporcionando uma visão completa da disponibilidade de energia solar ao longo do ano.

Figura 5 – Total diário da irradiação global horizontal – média anual.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017.

Além disso, o website do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) fornece dados mais específicos da irradiação anual para o município de Boa Viagem-Ce. Haja vista que o Gráfico 1 mostra os valores de irradiação solar no plano horizontal mensalmente

Tabela 1 – Irradiação solar no plano horizontal em Boa Viagem-CE.

DADOS CRESESB (kWh/m <sup>2</sup> /dia)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
5,28	5,39	5,47	5,00	4,97	4,91	5,24	5,97	6,49	6,40	6,31	5,70	5,59

Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2022).

### 2.5.3 Descrição do setor educacional em Boa Viagem

O setor educacional desempenha um papel vital na vida da comunidade de Boa Viagem, CE. O município abriga uma rede de escolas de ensino fundamental que são fundamentais para a educação e desenvolvimento da população local. Além disso, essas instituições de ensino desempenham um papel importante na disseminação de conhecimentos sobre questões ambientais e sustentabilidade.

A análise do contexto educacional de Boa Viagem é fundamental para avaliar a relevância da implementação de sistemas FVs nas escolas de ensino fundamental da sede do município. Isso inclui a identificação das necessidades energéticas das escolas, os desafios enfrentados atualmente e as oportunidades que podem surgir por meio da adoção de fontes de energia limpa e renovável.

O Quadro 1 contém as informações básicas das escolas que foram levadas em consideração nesta análise, uma vez que foram selecionadas 10 escolas de ensino fundamental da sede município. Algumas escolas estavam em processo de reforma durante a transição do segundo semestre de 2022 para o primeiro semestre de 2023 e, conseqüentemente, mudança de cargas, ou seja, com um aumento expressivo no consumo de energia quer seja pela introdução de aparelhos de refrigeração, quer seja pela mudança na iluminação nas salas de aula. Sendo justificado pela implementação do programa de Tempo Integral nas escolas municipais (PMBV, 2023).

Quadro 1– Informações básicas de localização das escolas.

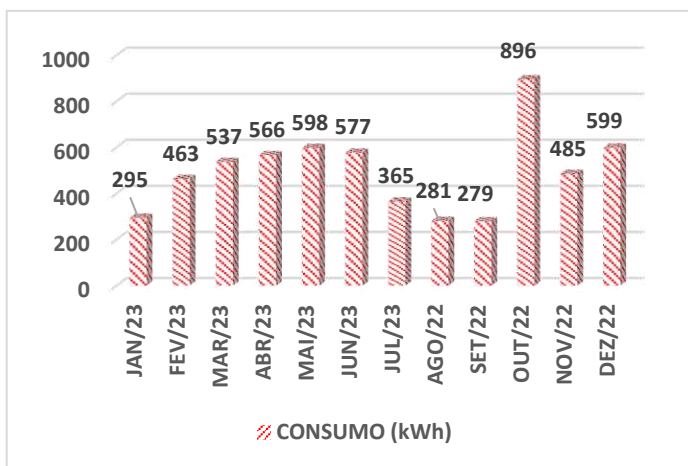
Escolas	Endereços
Eef. Patrícia Facundo Campos	Rua José Vieira Da Costa, S/N - Queiroz - Boa Viagem
Eef. Benjamim Alves Da Silva	Rua Sebastião Alves Da Silva, 68 - De Fátima - Boa Viagem
Eef. Delfina Vieira Da Silva	Rua João Abreu De Lima, 220 - Vila Holanda - Boa Viagem
Eef. Filomena Uchoa Viana	Rua Luis Ximenes De Aragão, 05 - Ponte Nova - Boa Viagem
Eef. Jessé Alves Da Silva	Rua José Vieira Da Costa, S/N - Cohab - Boa Viagem
Eef. José Aduino Sales	Rod. Pres. Juscelino Kubitschek, S/N - Floresta - Boa Viagem
Eef. José Assef Fares	Rua Pedro Da Costa De Almeida, S/N - Queiroz - Boa Viagem
Eef. Osmar De Oliveira Fontes	Rua 26 De Junho, 59 - Vila Azul - Boa Viagem
Eef. Padre Antonio Correia De Sá	Rua José Rangel De Araújo, 22 - Centro - Boa Viagem
Eef. Padre Paulo De Almeida Medeiros	Rua Maria De Nazaré Bezerra, 496 - De Fátima - Boa Viagem

Fonte: Prefeitura Municipal de Boa Viagem (PMBV, 2023).

## 2.6 UNIDADES CONSUMIDORAS

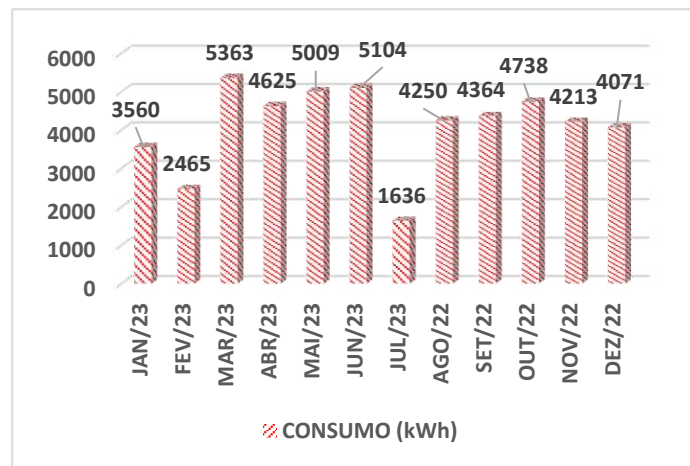
Os dados das unidades consumidoras estão mostrados nos gráficos de 1 a 10. Além disso, cabe ressaltar que o período de um ano considerado para a análise está compreendido entre os meses de agosto de 2022 a julho de 2023.

Gráfico 1 – Consumo da EEF.  
PATRÍCIA FACUNDO CAMPOS



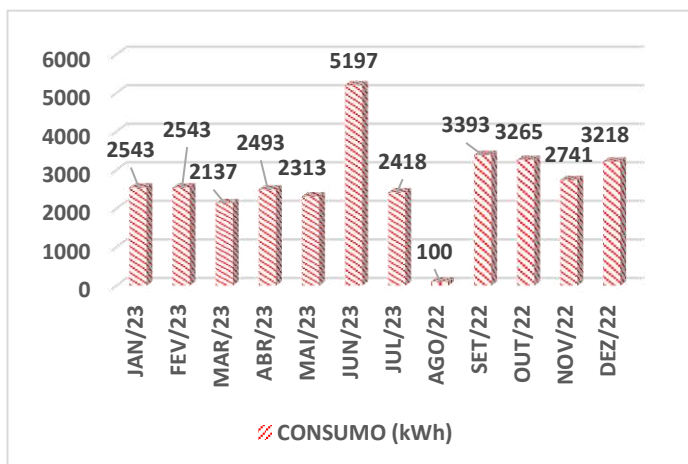
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 2 – Consumo da EEF.  
BENJAMIM ALVES DA SILVA



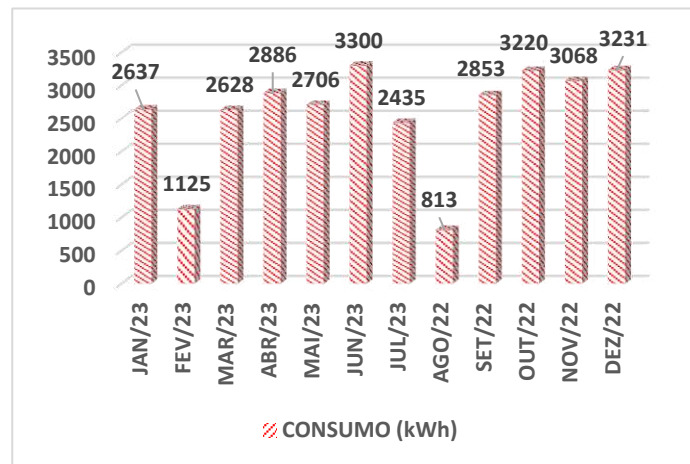
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 3 – Consumo da EEF.  
DELFINA VIEIRA DA SILVA



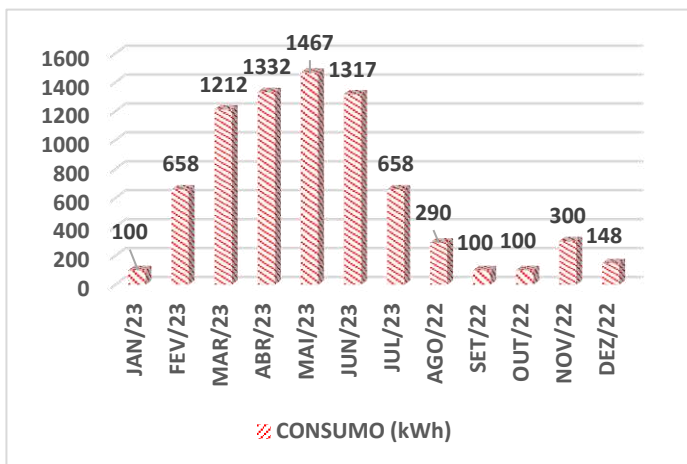
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 4 – Consumo da EEF.  
FILOMENA UCHOA VIANA.



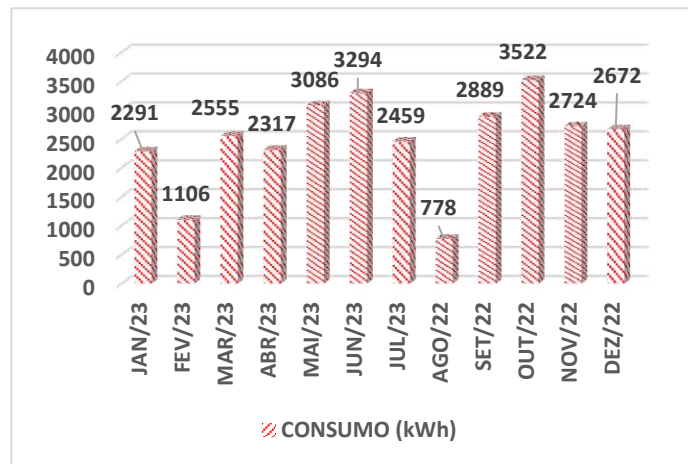
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 5 – Consumo da EEF. JESSÉ ALVES DA SILVA



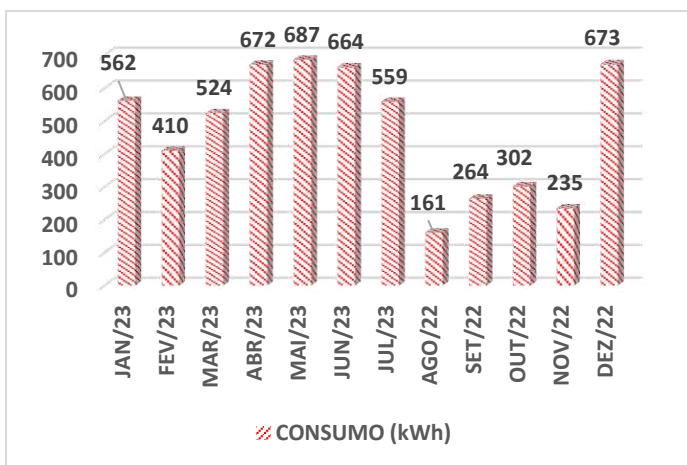
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 6 – Consumo da EEF. JOSÉ ADAUTO SALES



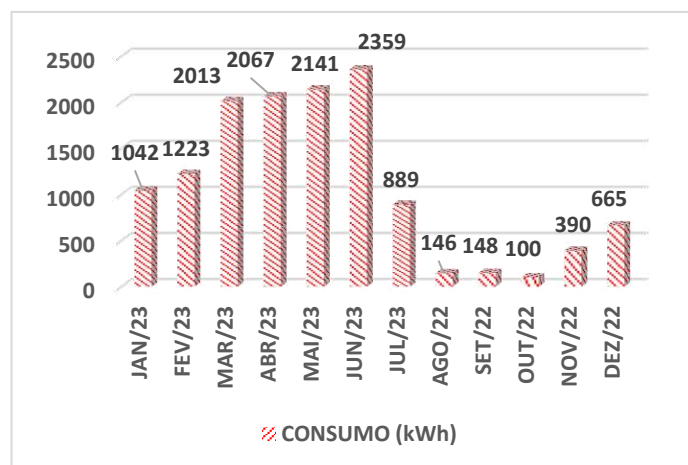
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 7 – Consumo da EEF. JOSÉ ASSEF FARES



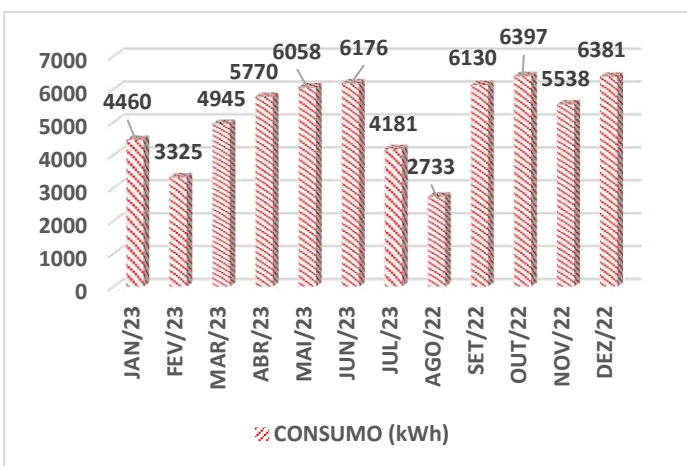
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 8 – Consumo da EEF. OSMAR DE OLIVEIRA FONTES



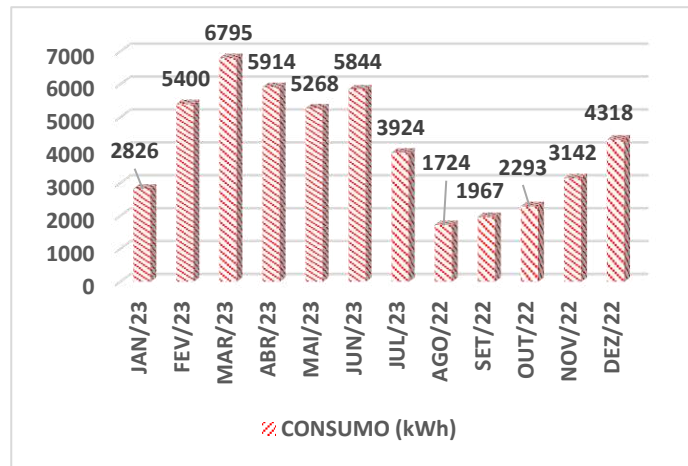
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 9 – Consumo da EEF. PADRE ANTONIO CORREIA DE SÁ



Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 10 – Consumo da EEF. PADRE PAULO DE ALMEIDA



Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).



Cabe ressaltar que os dados do segundo semestre do ano de 2022, para algumas escolas que passaram por reformas e introdução de novas cargas, estarão em discordância com o novo cenário de consumo a partir do segundo semestre do ano de 2023. Dessa forma, como observado nos gráficos 5, 7, 8 e 10, das escolas de ensino fundamental JESSÉ ALVES DA SILVA, JOSÉ ASSEF FARES, OSMAR DE OLIVEIRA FONTES e PADRE PAULO DE ALMEIDA MEDEIROS, respectivamente, o consumo do primeiro semestre de 2023 aumentou significativamente em relação ao segundo semestre de 2022. Então, para esses cenários, será utilizado para o dimensionamento do sistema FV uma média semestral, em referência ao primeiro semestre. Sendo assim, os meses do segundo semestre do ano terão valores constantes iguais à média do primeiro semestre de consumo do ano de 2023 de cada escola.

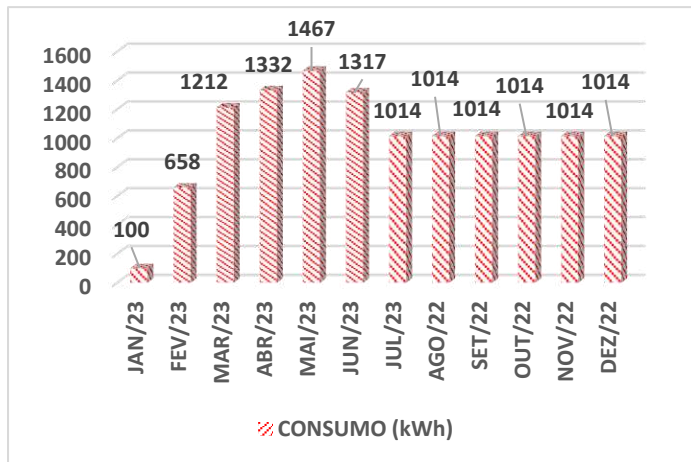
Então, a Tabela 2 representa as médias de consumo em kWh para o primeiro semestre letivo do ano de 2023 (considerando os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho). Sendo assim, os gráficos 11 a 14 mostram os novos consumos anuais que serão utilizados no dimensionamento, em detrimento aos gráficos 5, 7, 8 e 10. Sendo considerado o segundo semestre do ano como uma média constante dos valores do primeiro semestre para os novos gráficos abaixo.

Tabela 2 – Consumos médios por período letivo.

	1º Semestre letivo (JAN/2023 a JUN/2023) em kWh
EEF. José Assef Fares	587
EEF. Osmar de Oliveira Fontes	1808
EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiro	5341
EEF. Jessé Alves da Silva	1014

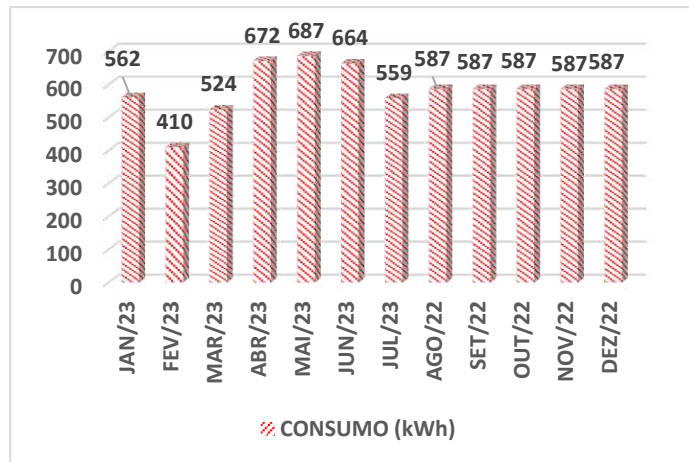
Fonte: Próprio Autor.

Gráfico 11 – Consumo ajustado da EEF.  
JESSÉ ALVES DA SILVA



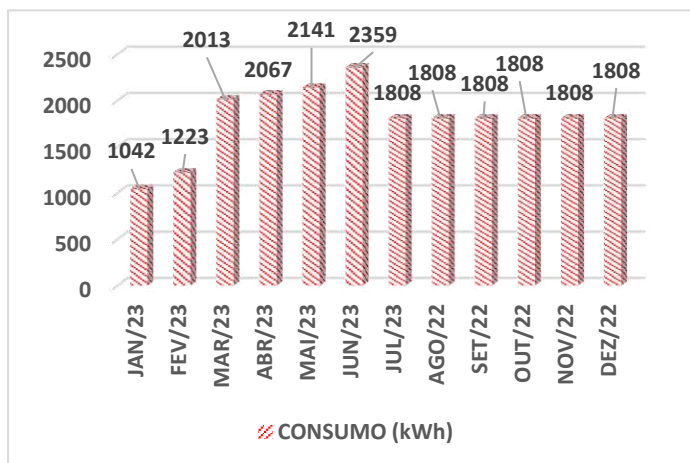
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 12 – Consumo ajustado da EEF.  
JOSÉ ASSEF FARES



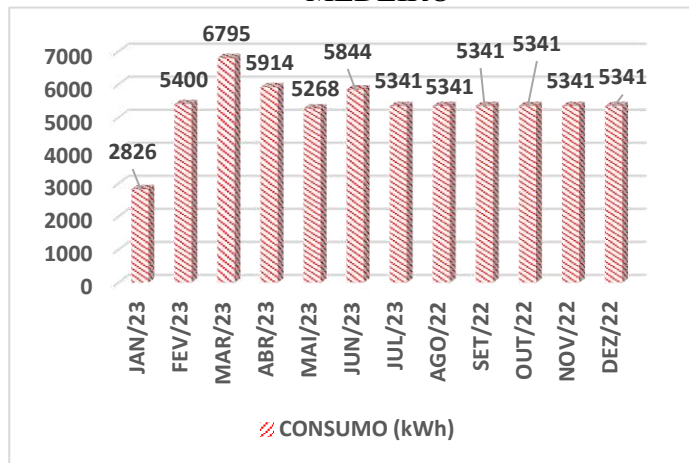
Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 13 – Consumo ajustado da EEF.  
OSMAR DE OLIVEIRA FONTES



Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

Gráfico 14 – Consumo ajustado da EEF.  
PADRE PAULO DE ALMEIDA MEDEIRO



Fonte: Enel Distribuidora Ceará (2023).

### 3- DIMENSIONAMENTO DAS GERAÇÕES FV

Serão realizados os procedimentos de dimensionamento tanto para a geração descentralizada, quanto para a geração centralizada FV, com as suas respectivas peculiaridades.

#### 3.1 DIMENSIONAMENTO DA GERAÇÃO DESCENTRALIZADA

Para a realização do dimensionamento da geração descentralizada, será escolhido a escola de ensino fundamental Delfina Vieira da Silva como passos expostos do procedimento, haja vista que as conclusões para as demais escolas encontram-se no Anexo I. Dessa forma, tem-se abaixo a definição das premissas básicas de construção do sistema:

- O dimensionamento se dará somente até o quadro de distribuição da unidade consumidora;
- Temperatura ambiente de 30 °C e temperatura do condutor em regime permanente a 90 °C;
- Instalação em telhado de cerâmica;
- Os preços unitários considerados no orçamento são uma média dos valores encontrados no mercado atualmente;
- A potência dos inversores serão de até 20% superior à potência calculada.

##### 3.1.1 Especificações dos módulos FVs

De início, a Tabela 3 apresenta as características técnicas do módulo FV escolhido para o sistema.

Tabela 3 – Características técnicas do módulo FV utilizado.

Modelo do Módulo FV	Mono CS6W - 540 MS
Potência Nominal Máxima	540 W
Tensão no Ponto de Máxima Potência	41,0 V
Corrente no Ponto de Máxima Potência	13,18 A
Tensão de Circuito Aberto	49,2 V
Corrente de Curto Circuito	13,9 A
Eficiência do Módulo	21,10%
Dimensões	2254 x 1135 x 35 mm
Peso	29,0 kg

Fonte: CANADIAN, 2023.

E, através do consumo médio mensal, em kWh, pode-se determinar a geração ideal do consumidor. Além disso, como se trata de um consumidor trifásico, a cobrança mínima na conta de energia se dará por conta dos 100 kWh estabelecidos pela concessionária. Dessa forma, obtêm-se através do Gráfico 3 o consumo médio mensal da unidade consumidora de 2696,75 kWh. Então, a geração ideal para esse caso será obtida por meio da equação (1):

$$\text{Geração Ideal} = \text{Consumo Médio Mensal} - 100 \text{ kWh} \quad (1)$$

Então,

$$\text{Geração Ideal} = 2696,75 - 100 = 2596,75 \text{ kWh}$$

Tendo a geração ideal, pode-se determinar qual será o consumo diário médio anual da unidade consumidora por meio da equação (2):

$$\text{Consumo Diário Médio Anual} = \frac{\text{Geração Ideal}}{\frac{365}{12}} \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \quad (2)$$

Então,

$$\text{Consumo Diário Médio Anual} = \frac{2586,75}{\frac{365}{12}} = 85,373 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$$

Um estudo de análise de desempenho de sistema FV conectado à rede elétrica no nordeste brasileiro apresentou resultados com uma taxa de desempenho médio entre 70 e 75 %, entre os anos de 2017 e 2018. (LIMA, 2019). Dessa forma, conhecendo o HSP médio da região analisada e, definindo uma taxa de desempenho de 75%, tem-se que a potência do arranjo FV é determinado pela equação (3):

$$\text{Potência do Arranjo} = \frac{\text{Consumo Diário Médio Anual}}{\frac{\text{Taxa de Desempenho}}{\text{HSP}}} \text{ kWp} \quad (3)$$

Portanto,

$$\text{Potência do Arranjo} = \frac{85,373}{\frac{0,75}{5,59}} = 20,363 \text{ kWp}$$

A seguir, conhecendo a potência do arranjo FV necessário com base no consumo, será utilizado os dados apresentados na Tabela 3 para determinação da quantidade de módulos FVs a serem utilizados no sistema por meio da equação (4). Além disso, após a escolha da quantidade adotada de módulos, a equações (5) determinará a área total ocupada pelos módulos.

$$\text{Número de Módulos} = \frac{\text{Potência do Arranjo}}{\text{Potência do Módulo}} \quad (4)$$

Então,

$$\text{Número de Módulos} = \frac{20,363}{0,54} = 37,710 \text{ módulos}$$

Será adotado uma quantidade de módulos inteiros, logo serão 38 módulos FVs para o sistema. O que resultará em uma potência total do arranjo de 20,52 kWp, obtida através do produto entre a quantidade de módulos adotados e a potência de uma unidade do módulo FV utilizado.

$$\text{Área Total} = \text{Área Unitária} * \text{Número de Módulos Adotados } m^2 \quad (5)$$

Então,

$$\text{Área Total} = (2,254 * 1,135) * 38 = 97,215 m^2$$

### 3.1.2 Especificações do inversor e dos microinversores

A Tabela 4 apresenta as características técnicas do microinversor utilizado, haja vista que o sistema contará com microinversores de 4 entradas cada e potência nominal de 2000 VA. O que será relevante para determinar a quantidade de microinversores a serem utilizados, mediante à quantidade de módulos FVs calculados. Dessa forma, a equação (6) determinará a quantidade de microinversores do sistema, sendo escolhido um número inteiro de 10 microinversores:

$$\text{Número de Microinversores} = \frac{\text{Número de Módulos Adotados}}{\text{Número de Entradas}} \quad (6)$$

Então,

$$\text{Número de Microinversores} = \frac{38}{4} = 9,5$$

Tabela 4 – Características técnicas do microinversor utilizado.

Potência do Módulo Comumente Usada	400 a 670 W
Corrente Máxima de Entrada	4 x 16 A
Tensão Máxima de Entrada	65 V
Número de MPPT	2
Potência Nominal de Saída	2000 VA
Corrente Nominal de Saída	9,09 A
Tensão Nominal de Saída	220 V
Eficiência	96,50%
Dimensões	310 x 185 x 40,6 mm
Peso	4,5 kg

Fonte: HOYMILES, 2023.

E, para a escolha do inversor, será tomado como critério um inversor com potência superior de 20% à potência do arranjo calculada, sendo que a tensão e corrente máxima de entrada servirão de base na escolha das configurações de ligação dos módulos FVs ao inversor. Dessa forma, a Tabela 5 apresenta as características técnicas do inversor escolhido.

Tabela 5 – Especificações técnicas do inversor escolhido.

Modelo do Inversor	Solis-25K-5G
Potência máxima de entrada	37,5kW
Tensão máxima de entrada	1100 V
Corrente máxima de entrada	26 A
MPPTs / Número de entradas	3 / 6
Potência nominal de saída	25 kW
Corrente nominal de saída	41,8 A
Eficiência máxima	98,8%
Peso	45 kg%
Dimensões	647 x 629 x 252 mm

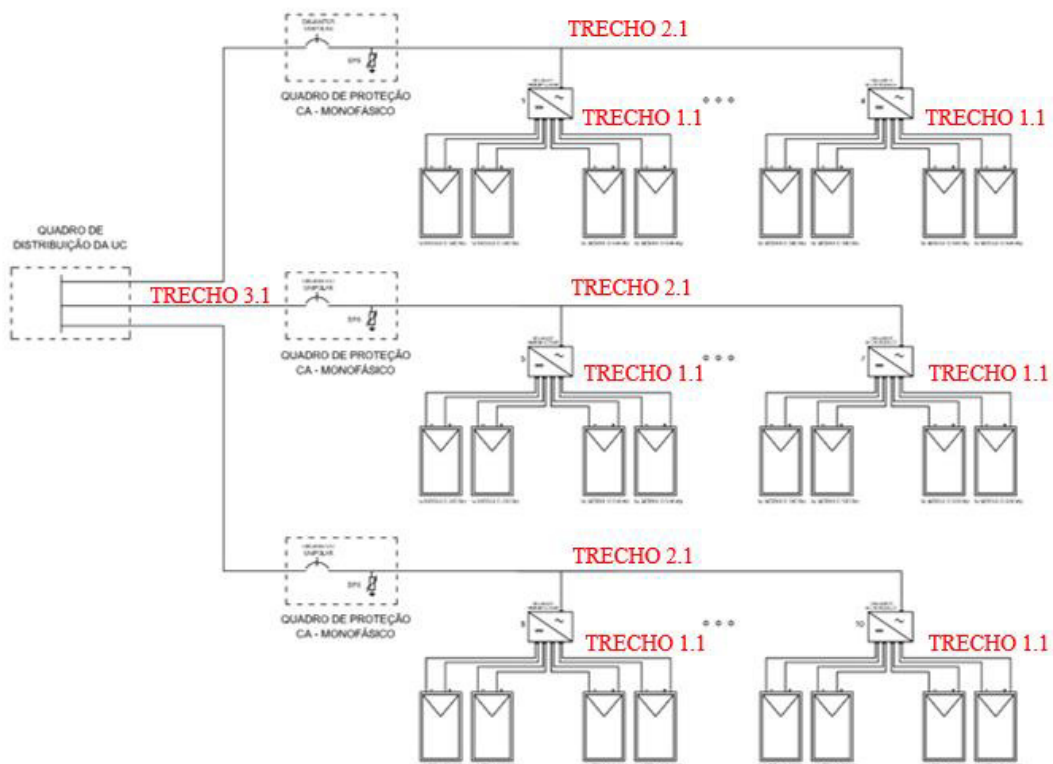
Fonte: SOLIS, 2023.

### 3.1.3 Especificações dos condutores

Os condutores serão dimensionados de acordo com o trecho do sistema. Dessa forma, os condutores em corrente contínua irão ligar os módulos FVs ao inversor ou microinversores. E os condutores em corrente alternada ligarão a saída do inversor ou microinversores ao quadro de proteção.

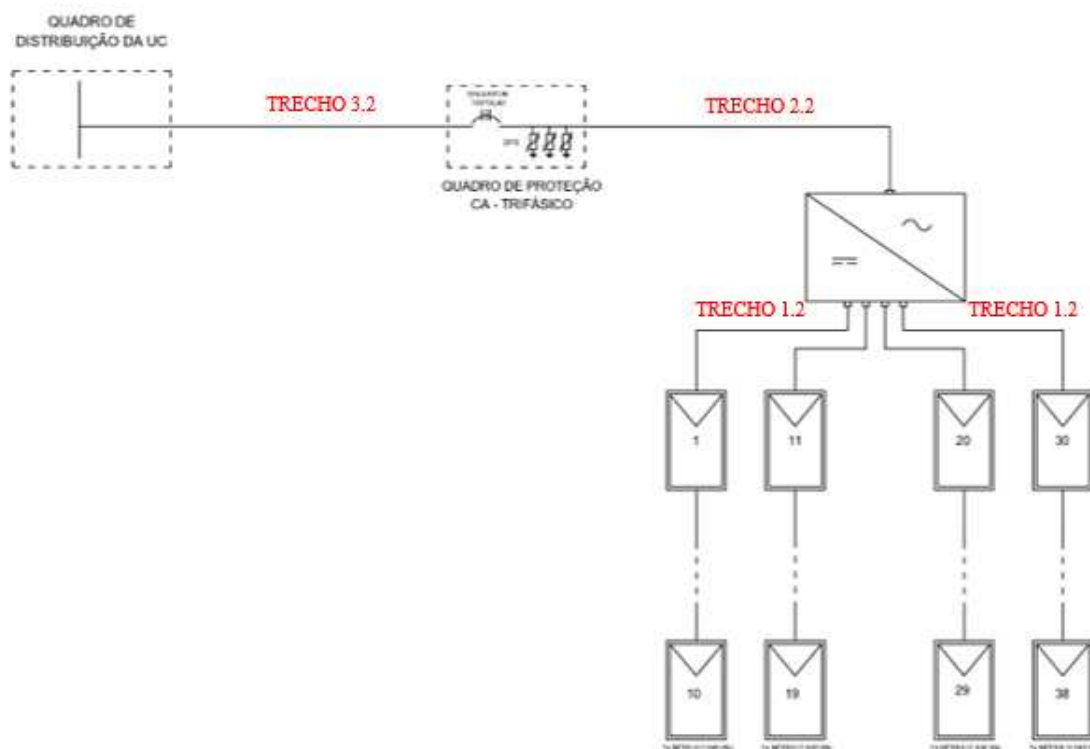
O diagrama unifilar apresentado na Figura 6 mostra os detalhes do sistema com a utilização de microinversores, enquanto que a Figura 7 mostra o diagrama unifilar do sistema utilizando o inversor. Dessa forma, as especificações dos cabos utilizados em corrente contínua e corrente alternada serão apresentadas nos subtópicos 2.1.3.1 e 2.1.3.2, respectivamente.

Figura 6 – Diagrama unifilar com o uso de microinversores.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 7 – Diagrama unifilar do sistema com inversor.



Fonte: Próprio Autor.

### 3.1.3.1 Especificações dos condutores em corrente contínua

O dimensionamento dos cabos da parte de corrente contínua do sistema FV, que liga os módulos ao microinversor, será realizado por meio da análise de dois critérios de dimensionamento para determinar a seção nominal do condutor no trecho 1.1, mostrado na Figura 6. O primeiro critério será em relação à capacidade de corrente dos cabos e o segundo critério será o de queda de tensão.

A equação (7) mostra como será obtida a corrente de projeto do sistema ( $I_{proj}$ ). E como trata-se do uso de microinversores, o número de séries FVs conectadas em série (SSA) será unitário. Além disso, o valor para a corrente de curto-circuito está mostrado na Tabela 4.

$$I_{proj} = 1,25 * I_{sc} * SSA \quad A \quad (7)$$

Daí,

$$I_{proj} = 1,25 * 13,9 * 1 = 17,375 \text{ A}$$

Conforme a recomendação da ABNT NBR 16690, deve ser considerado para o dimensionamento dos cabos um valor de 40 °C acima da temperatura ambiente. Os cabos serão instalados ao ar livre, sendo dois cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal, obedecendo o modo de instalação 1 da norma. Dessa forma, a tabela que mais se aproxima de 70 °C, sendo 30°C da temperatura ambiente mais 40 °C recomendado, é a Tabela 6, considerando a temperatura em regime permanente do condutor em 90 °C.



Tabela 6 – Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 50 °C e temperatura no condutor em regime permanente de 90 °C.

Seção (mm <sup>2</sup> )	Instalação ao ar livre protegida do sol				Instalação ao ar livre exposta ao sol			
	Modo de instalação				Modo de instalação			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1,5	21	20	23	20	16	16	20	16
2,5	28	27	32	28	22	21	27	21
4	37	36	42	37	28	27	35	28
6	47	46	53	47	36	35	44	36
10	65	64	74	66	49	48	61	50
16	86	86	98	88	63	63	80	67
25	114	115	130	118	82	83	105	88
35	142	143	162	148	100	102	129	109
50	179	181	204	188	123	127	160	137
70	223	227	255	236	151	156	198	171
95	268	273	307	285	178	186	236	205
120	315	321	360	336	205	216	274	239
150	263	371	414	389	232	245	313	274
185	414	424	427	445	259	275	352	310
240	497	508	565	535	303	324	418	370
300	574	588	654	620	344	369	479	425
400	691	708	786	749	402	433	568	506

Fonte: NBR 16690 (ABNT, 2019).

Portanto, conforme a Tabela 6, para uma corrente de projeto igual a 17,375 A, instalação exposta ao sol, para o modo de instalação 1, a seção nominal do cabo pelo critério de capacidade de corrente é de 2,5 mm<sup>2</sup>.

E, no tocante ao critério de queda de tensão, a norma ABNT NBR 16690 recomenda que, sob condições de carga máxima, a queda de tensão verificada não seja superior a 3% da tensão do arranjo FV em seu ponto de máxima potência. Dessa forma, a equação (8) definirá a seção mínima do condutor pelo critério de queda de tensão, uma vez que será considerado os critérios de composição do sistema. Haja vista que para cada módulo será adotado um comprimento de cada cabo que liga o módulo FV até o microinversor de até 2 m de comprimento, totalizando 4 m ao somar os comprimentos do cabo positivo e cabo negativo (L), a condutividade do cobre a 90 °C é de 44 m/(Ω•mm<sup>2</sup>) (σ) e a queda de tensão máxima (Δe) será 3% da tensão máxima do arranjo. E como se trata de módulos FVs individuais para cada entrada, será considerado 3% da tensão no ponto de máxima potência, conforme a Tabela 4, sendo igual a 1,23 V.

$$S_{queda\ de\ tensão} = \frac{L * I_{proj}}{\sigma * \Delta e} \quad mm^2 \quad (8)$$

Então,

$$S_{queda\ de\ tensão} = \frac{4 * 17,375}{44 * 1,23} = 1,284 \quad mm^2$$

Pelo critério de capacidade de corrente o cabo resultante foi de 2,5 mm<sup>2</sup> e pelo critério de queda de tensão foi de 1,284 mm<sup>2</sup>. Logo, o escolhido de acordo com os critérios utilizados seria o de 2,5 mm<sup>2</sup>, pelo critério de capacidade de corrente. Entretanto, por questões comerciais, será utilizado no trecho de ligação entre os módulos FVs e as entradas do microinversor cabos de 4 mm<sup>2</sup>, sendo suas características apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características técnicas dos condutores do trecho 1.1.

Cabo solar Condu spar Prosolar 4 mm <sup>2</sup> 1kV	
Seção (mm <sup>2</sup> )	4
Diâmetro (mm)	2,47
Rcc a 90°C (mΩ/mm <sup>2</sup> )	44
Isolação Espessura (mm)	0,7
Peso Nominal (kg/km)	59,3

Fonte: CONDUSPAR, 2023.

Após o dimensionamento para o sistema com uso de microinversores, será realizado o dimensionamento dos cabos utilizando o inversor. Dessa forma, a Figura 7 mostra o diagrama unifilar desse caso.

O trecho 1.2, mostrado na Figura 7, liga os módulos FVs ao inversor. Dessa forma, estão alimentados por corrente contínua, o que implicará no mesmo método de dimensionamento utilizado para os microinversores. Portanto, será utilizado a equação (7) para a determinação da corrente de projeto, sendo 4 strings, com no máximo 10 módulos por string.

$$I_{proj} = 1,25 * 13,9 * 1 = 17,375 \text{ A}$$

Adiante, conforme a Tabela 6 e, para uma corrente de projeto igual a 17,375 A, instalação exposta ao sol, para o modo de instalação 1, a seção nominal do cabo pelo critério de capacidade de corrente é de 2,5 mm<sup>2</sup>.

E no tocante ao critério da queda de tensão será utilizada a equação (8). O comprimento (L) adotado será de 30 m, a condutividade do cobre a 90 °C é de 44 mm/Ω•mm<sup>2</sup> (σ) e a queda de tensão máxima (Δe) será 3% da tensão máxima do arranjo.

E como se trata de 7 módulos FVs para cada série ligada à entrada do inversor, será considerado 3% da tensão no ponto de máxima potência, conforme a Tabela 3 sendo de 41 V e quantidade de módulos em cada série, o que resulta em 8,61 V.

$$S_{\text{queda de tensão}} = \frac{30 * 17,375}{44 * 8,61} = 1,376 \text{ mm}^2$$

Pelo critério de capacidade de corrente o cabo resultante foi de 2,5 mm<sup>2</sup> e pelo critério de queda de tensão foi de 1,284 mm<sup>2</sup>. Logo, o escolhido de acordo com os critérios utilizados seria o de 2 mm<sup>2</sup>, pelo critério de capacidade de corrente. Entretanto, por questões comerciais, será utilizado nesse trecho de ligação entre os módulos FVs e as entradas do inversor cabos de 4 mm<sup>2</sup>, sendo suas características apresentadas na Tabela 8. Cabendo ressaltar que o cabo de 4 mm<sup>2</sup> seria o especificado para cada série ligada a uma entrada do inversor, como mostrado na Figura 7.

### 3.1.3.2 Especificações dos condutores em corrente alternada

Os condutores em corrente alternada usados a partir da saída dos microinversores até o quadro de proteção foram denominados de trecho 2.1 e, no tocante aos cabos que saem do quadro de proteção e entram no quadro de distribuição da unidade consumidora, os mesmos foram denominados de trecho 3.1, conforme mostrado na Figura 6. O dimensionamento dos condutores de fase será realizado utilizando o critério de capacidade de condução dos condutores e o critério de queda de tensão.

A Tabela 8 retirada da ABNT NBR 5410:2008 servirá para determinar a seção do condutor com a corrente de projeto calculada através da equação (9), haja vista que a temperatura ambiente considerada é de 30 °C, os cabos são unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto.

$$I_{proj} = \frac{P}{V_{fn} \cdot \eta \cdot FP} A \quad (9)$$

A potência considerada será a da ligação do trecho 2.1 em que há a presença de mais microinversores, ou seja, o trecho com os microinversores de 1 a 4. Então

$$I_{proj} = \frac{4 * 2000}{220 \cdot 0,97 \cdot 0,99} = 37,867 A$$

Tabela 8 – Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D.

Condutores: cobre e alumínio; Isolação: EPR ou XLPE; Temperatura no condutor: 90°C; Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo).

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	19	17	23	20	22	20	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1122	923	711	596
800	885	792	805	721	1158	1020	952	837	1311	1074	811	679
1000	1014	908	923	826	1332	1173	1088	957	1515	1237	916	767

Fonte: NBR 5410 (ABNT, 2008).

Pelo método de referência B1, com dois condutores carregados e corrente de projeto de 37,867 A, tem-se que a seção nominal do cabo será de 4 mm<sup>2</sup>. Dessa forma,

foca definido a seção dos condutores de fase, neutro e terra, segundo a ABNT NBR 5410:2008.

E, no tocante ao critério da queda de tensão, tem-se que os dados serão aplicados na equação (10), de modo que a queda de tensão máxima admitida será de 3% e o comprimento do circuito será de 15 m, haja vista que a condutividade do cobre considerada ( $\sigma$ ) será em  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{mm}$ .

$$S_c = \frac{200 \cdot \sigma \cdot \sum(L_c \cdot I_{proj})}{\Delta V_c \cdot V_{FN}} \text{ mm}^2 \quad (10)$$

Então,

$$S_c = \frac{200 \cdot \left(\frac{1}{44}\right) \cdot 15 \cdot 37,867}{3 \cdot 220} = 3,912 \text{ mm}^2$$

Portanto, os valores encontrados para o dimensionamento dos cabos utilizados em corrente alternada pelo critério de capacidade de corrente e pelo critério de queda de tensão foram 4 mm<sup>2</sup> e 3,912 mm<sup>2</sup>. Dessa forma os cabos de fase, neutro e terra para o trecho 2 mostrado na Figura 7 será de 4 mm<sup>2</sup>, com isolamento EPR, assim como especificado no Quadro 2.

Quadro 2 – Descrições dos condutores do trecho 2.1.

Tipo	Descrição
Fase	Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto
Neutro	Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul
Terra	Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde

Fonte: COBREFLEX, 2023.

Os procedimentos para determinar os condutores que sairão do inversor até o quadro de proteção e, em seguida, até o quadro de distribuição seguirá os mesmos critérios descritos acima para uso do cabo em corrente alternada. Dessa maneira, as descrições dos cabos utilizadas para esses trechos (2.2 e 3.2) estão mostradas no Quadro 3.

Quadro 3 – Descrições dos condutores que saem do inversor para o quadro de distribuição.

Tipo	Descrição
Fase A	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 C15 Preto
Fase B	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 C15 Preto
Fase C	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 C15 Preto
Neutro	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 C15 Azul
Terra	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 C15 Verde

Fonte: COBREFLEX, 2023.

### 3.1.4 Especificações da proteção

O sistema contará com quadros de proteção que serão responsáveis por atuarem em corrente alternada após o inversor, sendo que o quadro contará com disjuntor e dispositivo contra surtos.

Em relação ao dimensionamento dos disjuntores, temos que foram dimensionados com base na corrente de projeto e na corrente suportada pela seção do condutor dimensionado, seguindo os seguintes critérios mostrados nas inequações (1) e (2):

$$I_{proj} \leq I_N \leq I_Z \quad (1)$$

$$K \cdot I_N \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (2)$$

Os disjuntores estarão em conformidade com a NBR IEC 60947-2, como mostrado na Tabela 9 abaixo, onde  $K = 1,3$ .

Tabela 9 – Correntes convencionais de não-atuação ( $I_{nt}$ ), de atuação ( $I_2$ ) e tempo convencional para disjuntores BT.

IN (A)	IEC 60947-2		Tempo convencional (h)
	$I_{nt}$	$I_2$	
$\leq 63$	1,05	1,3	1
$> 63$			2

Fonte: NBR IEC 60947-2 (2014).

Após a determinação desses parâmetros, tem-se que a determinação dos disjuntores dos quadros de proteção monofásico mostrados na Figura 6, será dado por:

- Critério I:

$$I_{proj} \leq I_N \leq I_Z$$

$$37,867 A \leq I_N \leq 42 A$$

→  $I_N = 40 A$ , Corrente nominal do Disjuntor

- Critério II:

$$K \cdot I_N \leq 1,45 \cdot I_Z$$

Para  $K = 1,3$ :

$$1,3 \cdot 40 \leq 1,45 \cdot 42$$

$$52 \leq 60,9$$

Como os dois critérios estão satisfeitos, temos que as características para esse disjuntor será: Disjuntor 40 A/ 230 V/ 3kA/ 1 polo/ Curva B.

E, no tocante ao dimensionamento dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS), o mesmo seguirá as recomendações da NBR 5410 (2008), sendo instalado juntamente aos disjuntores gerais das áreas:

Classe II inseridos em painéis, em caso de a instalação ser em área urbana populosa com vários prédios possíveis para raios e apartamentos. Nesse caso será considerado DPS com corrente máximas de descarga entre 8 e 20 kA. As especificações além da classe e corrente máxima seria a tensão máxima contínua de 275 V (NBR 5410, 2008).

Portanto, a Tabela 10 mostra um resumo com as especificações dos dispositivos escolhidos para compor os quadros de proteção em corrente alternada monofásico do sistema mostrado na Figura 6. Além disso, para o dimensionamento dos dispositivos do quadro de proteção mostrado na Figura 7, tem-se que foram utilizados os mesmos critérios para dimensionamento do disjuntor e dispositivo contra surtos, mantendo as suas peculiaridades. Sendo que a Tabela 11 mostra um resumo para esse caso.

Tabela 10 – Especificações dos dispositivos de proteção com o uso de microinversores.

TIPO	Descrições	
Disjuntor	Modelo	EZ9F13140
	Corrente nominal (A)	40
	Tensão nominal F-N (V)	230
	Número de pólos	1
	Capacidade de interrupção (kA)	3
	Curva	B
DPS	Modelo	EZ9L33120
	Corrente máxima de descarga (kA)	20
	Tensão máxima em regime permanente (V)	275
	Corrente de descarga nominal (kA)	10

Fonte: SCHNEIDER ELECTRIC, 2015.

Tabela 11 – Especificações dos dispositivos de proteção com o uso de inversor.

TIPO	Descrições	
Disjuntor	Modelo	EZ9F33150
	Corrente nominal (A)	50
	Tensão nominal F-F (V)	400
	Número de pólos	3
	Capacidade de interrupção (kA)	4,5
	Curva	C
DPS	Modelo	EZ9L33120
	Corrente máxima de descarga (kA)	20
	Tensão máxima em regime permanente (V)	275
	Corrente de descarga nominal (kA)	10

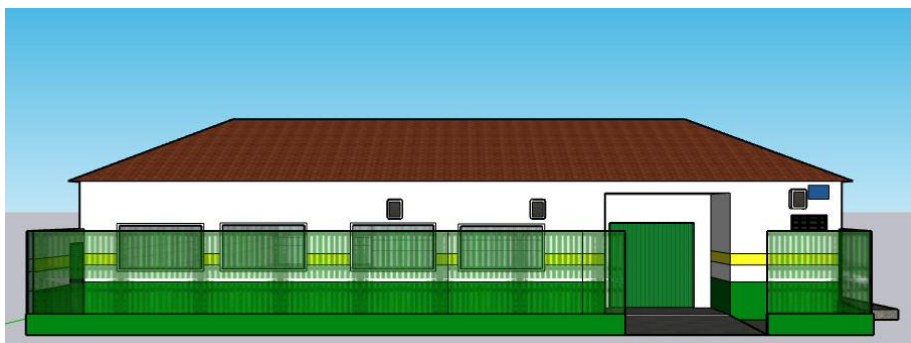
Fonte: SCHNEIDER ELECTRIC, 2015.

### 3.1.5 Especificações espacial do projeto e sombreamento

A especificação espacial de um projeto de geração FV desempenha um papel fundamental na eficiência e no desempenho do sistema. Em Boa Viagem, CE, as condições geográficas e climáticas apresentam características únicas que devem ser levadas em consideração na elaboração dos projetos FVs. As Figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, uma vista frontal e uma vista superior da escola Delfina Vieira da Silva que foram modeladas utilizando o SketchUp Pro 2023. Essa modelagem servirá de base para visualizar a localização, orientação e inclinação dos módulos FVs.



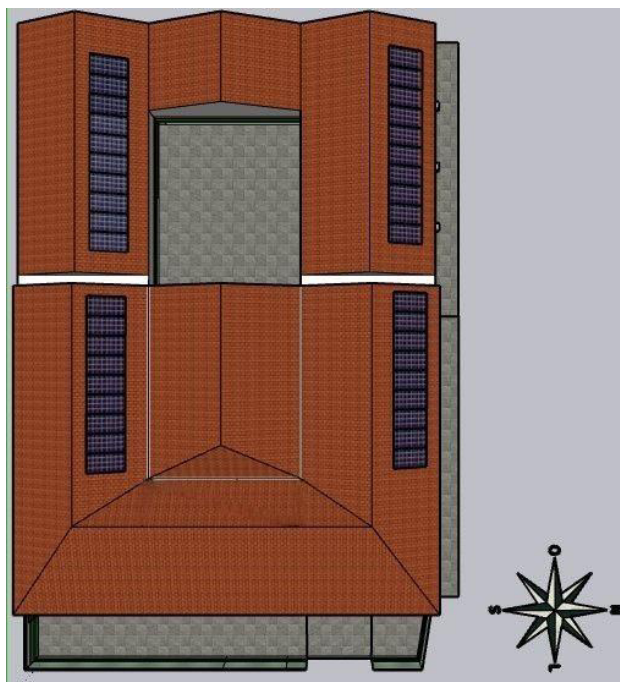
Figura 8 – Vista frontal da escola Delfina Vieira da Silva.



Fonte: Próprio Autor.

A Figura 9 mostra que o telhado da escola apresenta formatos distintos de quedas. Dessa forma, a inclinação dos módulos FVs seguirá a inclinação do telhado e a orientação dos módulos será para o norte geográfico.

Figura 9 – Disposição dos módulos FVs no telhado da escola.



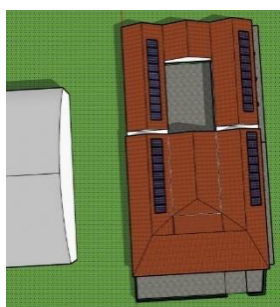
Fonte: Próprio Autor.

O sombreamento desempenha um papel crítico na eficiência e no desempenho dos sistemas FVs. A presença de obstáculos, como edifícios, árvores ou estruturas, pode causar sombras que reduzem a produção de energia dos painéis solares. Portanto, é fundamental conduzir uma análise detalhada de sombreamento ao planejar a instalação de sistemas FVs em escolas de ensino fundamental na região. Dessa forma, tendo modelo construído e com o auxílio das ferramentas de geolocalização do software SketchUp Pro 2023, pode-se verificar a influência do sombreamento ao longo do ano na edificação.

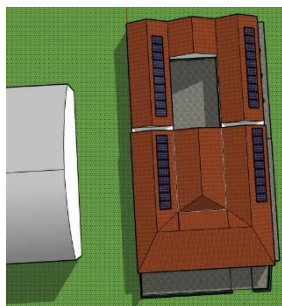
A Figura 10 mostra a análise realizada com potenciais obstáculos próximos à escola (uma quadra poliesportiva) em dois horários estratégicos para o dia 15 de cada mês do ano. Um horário às 10:00 AM e o outro horário às 15:00 PM, uma vez que serviu de base para verificar se a incidência de sombras que atrapalhassem a geração de um ou mais módulos, a depender do tipo de sistema utilizado. O que mostrou pouco influência do sombreamento para os obstáculos e horários analisados.

Figura 10 – Análise de sombreamento da edificação ao longo do ano.

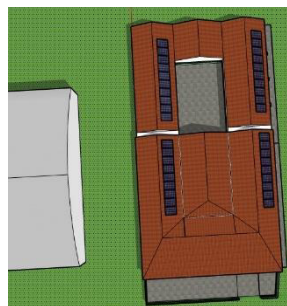




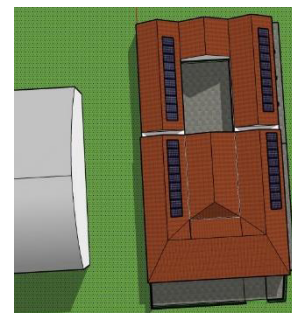
15/07 - 10:00 AM



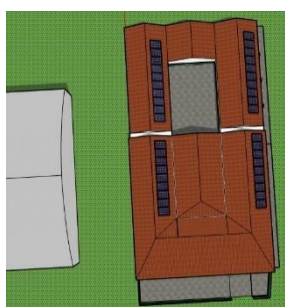
15/07 - 15:00 PM



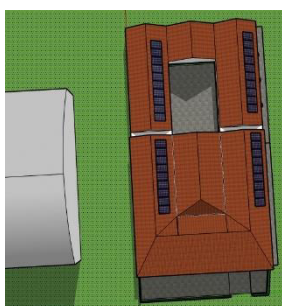
15/08 - 10:00 AM



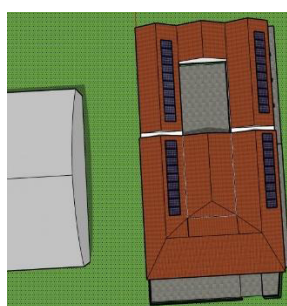
15/08 - 15:00 PM



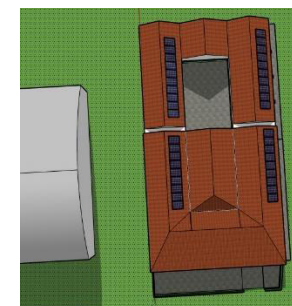
15/09 - 10:00 AM



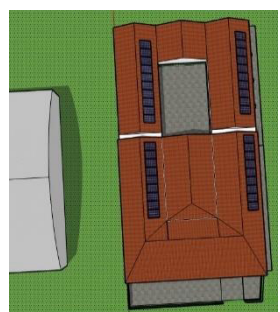
15/09 - 15:00 PM



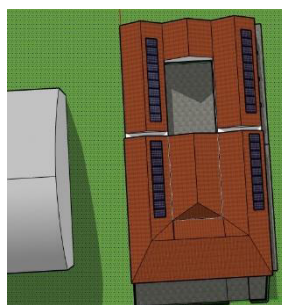
15/10 - 10:00 AM



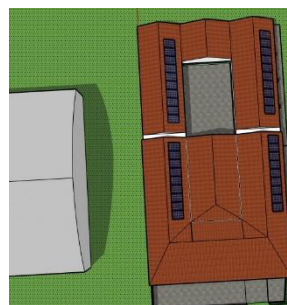
15/10 - 15:00 PM



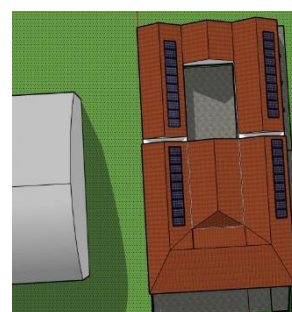
15/11 - 10:00 AM



15/11 - 15:00 PM



15/12 - 10:00 AM



15/12 - 15:00 PM

Fonte: Próprio Autor.

### 3.1.6 Especificações dos orçamentos

Os orçamentos desempenham um papel essencial na avaliação da viabilidade econômica do projeto. Estes orçamentos incluirão uma detalhada quantificação dos itens dimensionados, abrangendo componentes essenciais para a instalação do sistema FV, considerando particularmente a necessidade de estruturas de fixação compatíveis com os telhados de cerâmica presentes nas escolas de ensino fundamental da região.

É importante destacar que os valores das unidades para cabos elétricos estão expressos em R\$/m. Além disso, os orçamentos apresentados abrangem não apenas os custos dos equipamentos em si, mas também consideram uma média de 40% do valor total dos equipamentos, alocados para os custos de instalação e mão de obra.

A Tabela 12 representa o orçamento completo para o sistema, considerando o uso de microinversores, enquanto a Tabela 13 apresenta o orçamento correspondente para o sistema completo utilizando inversores convencionais. Esses orçamentos detalhados são cruciais para a tomada de decisões informadas quanto ao investimento em geração FV nas escolas de Boa Viagem, permitindo uma análise completa dos custos envolvidos e das implicações financeiras de ambas as opções de tecnologia de inversores.

Tabela 12 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores do projeto da  
EEF. Delfina Vieira da Silva

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	38	R\$ 44.422,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	10	R\$ 19.990,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	10	R\$ 7.920,20
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	50	R\$ 189,50
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	50	R\$ 189,50
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 40A Curva B	R\$ 13,92	3	R\$ 41,76
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 29.387,35	1	R\$ 29.387,35
		Total	R\$ 102.855,73

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 13 – Orçamento do sistema completo utilizando inversores do projeto da EEF.

Delfina Vieira da Silva

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	38	R\$ 44.422,00
Inversor Solar Solis Solis-25K-5G	R\$ 18.402,91	1	R\$ 18.402,91
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	10	R\$ 7.920,20
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	100	R\$ 379,00
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	100	R\$ 379,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 Cl5 Preto	R\$ 8,24	10	R\$ 82,40
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 Cl5 Preto	R\$ 8,24	10	R\$ 82,40
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 Cl5 Preto	R\$ 8,24	10	R\$ 82,40
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 Cl5 Azul	R\$ 8,24	10	R\$ 82,40
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm2 Cl5 Verde	R\$ 8,24	10	R\$ 82,40
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	20	R\$ 653,60
Disjuntor Tripolar Classe C 50A	R\$ 56,90	1	R\$ 56,90
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 29.145,03	1	R\$ 29.145,03
		Total	R\$ 102.007,61

Fonte: One Shop Solar (2023).

### 3.1.7 Levantamento energético

O cálculo para a energia obtida mensalmente levou em consideração a área ( $A_{\text{módulo}}$ ) e eficiência do módulo ( $\eta_{\text{módulo}}$ ), conforme a Tabela 3, a quantidade de módulos adotados ( $N_{\text{módulos}}$ ), o HSP médio do mês e perdas de 15% do sistema, quer seja por conta de sombreamento e poeira, quer seja por conta da temperatura ou queda de tensão (modificado de OLIVEIRA, 2018). Esses dados foram aplicados na equação (11).

$$E_{\text{mensal}} = A_{\text{módulo}} * \eta_{\text{módulo}} * HSP_{\text{mês}} * N_{\text{módulos}} * (1 - \text{Perdas}) * 30 \text{ kWh} \quad (11)$$

Então, para o mês de janeiro, por exemplo, tem-se que:

$$E_{\text{mensal}} = 2,57 * 0,21 * 5,28 * 38 * (1 - 0,15) * 30 = 2761 \text{ kWh}$$

Além disso, também foi considerado o fator de simultaneidade do sistema. O fator de simultaneidade é definido como a razão entre a energia consumida e a Energia obtida durante um determinado intervalo de tempo (SILVEIRA, 2023). Dessa forma, a Tabela 14 resume os processos de cálculo e expõe os fatores de simultaneidade adotados para cada período mensal levando em consideração o comportamento da escola e os índices de radiação, o que também irá afetar a energia injetada registrada pelo medidor.

Tabela 14 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema do projeto da EEF. Delfina  
Vieira da Silva.

MÊS	HSP	CONSUMO (kWh)	GERAÇÃO (kWh)	SIMULTANEIDADE	ENERGIA INJETADA (kWh)	ENERGIA CONSUMIDA (kWh)
JAN	5,28	2543	2761	10%	2485	2288,7
FEV	5,39	2543	2819	35%	1832	1652,95
MAR	5,47	2137	2861	35%	1859	1389,05
ABR	5,00	2493	2615	35%	1700	1620,45
MAI	4,97	2313	2599	35%	1689	1503,45
JUN	4,91	5197	2568	10%	2311	4677,3
JUL	5,24	2418	2740	35%	1781	1571,7
AGO	5,97	100	3122	35%	2029	100
SET	6,49	3393	3394	35%	2206	2205,45
OUT	6,40	3265	3347	35%	2176	2122,25
NOV	6,31	2741	3300	35%	2145	1781,65
DEZ	5,70	3218	2981	10%	2683	2896,2

Fonte: Próprio Autor.

### 3.1.8 Estudo financeiro

O dimensionamento dos componentes do sistema possibilita uma compreensão quantitativa dos itens a serem utilizados. Desse modo, será utilizado métricas financeiras para avaliar o desempenho e a viabilidade do investimento no projeto. O ROI (Retorno sobre o Investimento) calcula a eficiência ou lucratividade de um investimento, sendo expresso como uma porcentagem, é usado para determinar o retorno financeiro relativo ao custo do investimento, sendo expressado pela equação (12). E o *payback* se concentra no tempo necessário para recuperar o investimento inicial, indicando quanto tempo levará para que os fluxos de caixa gerados pelo projeto ou investimento igualem ou superem o custo inicial do investimento, mostrado na equação (13).

$$ROI = \frac{(Economia\ Anual - Custo\ Anuais)}{Investimento\ inicial} \quad (12)$$

O ROI pode ser calculado, por exemplo para o caso do uso de microinversor, tendo um investimento inicial de R\$ 102.855,73, uma economia anual de energia de R\$ 26.110,08 e custos anuais de manutenção de R\$ 2.000,00. Então:

$$ROI = \frac{(26.110,08 - 2000)}{102.855,73} = 0,2344$$

Neste caso, o ROI do projeto de geração FV é de 23,44%. Isso significa que, após um ano de operação, o projeto terá gerado economias suficientes para cobrir 23,44% do investimento inicial. Em outras palavras, o projeto se pagará em aproximadamente 4,2 anos ( $1 / 0,2344 = 4,2$ ). Após esse período, as economias líquidas na conta de eletricidade continuarão a crescer, representando um retorno contínuo sobre o investimento, assim como mostrado na Tabela 16.

E, levando em consideração o *payback*, tem-se:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Economia Anual}} \quad (13)$$

$$\text{Payback} = \frac{102.855,73}{26.110,08} = 3,94$$

Neste caso, o período de *payback* para o projeto de geração FV é de 3,94 anos. Isso significa que o investimento inicial será recuperado em aproximadamente 3,94 anos a partir das economias geradas na conta de eletricidade das escolas.

A Tabela 16, adaptada de (OLIVEIRA, 2018), apresenta os fluxos de caixa do projeto considerando uma eficiência de 80 % dos módulos FVs ao final de 25 anos (CANADIAN, 2023). Haja vista que isso resulta em uma depreciação da geração de 1,25 %, além de que tanto o preço do kWh, em reais, quanto a inflação energética ao ano, considerada em 10% (FIORAVANTE, 2022), mostrados na Tabela 15, serviram de base para a construção dos resultados, sendo que o orçamento total escolhido para análise equivale ao orçamento de menor valor para os dois casos analisados. Haja vista que tanto a conclusão encontrada como cálculo do ROI quanto do *payback* concordam que no quarto ano o saldo já será positivo, ou seja, o investimento será recuperado.

Tabela 15 – Dados adotados no estudo financeiro do projeto da EEF. Delfina Vieira da Silva.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	35107
Orçamento total	R\$ 102.855,73
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 16 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Delfina Vieira da Silva.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	35106,93	0,74	26110,08	- 76.745,66
2	34668,09	0,82	28362,07	- 48.383,59
3	34234,74	0,90	30808,30	- 17.575,29
4	33806,81	0,99	33465,51	15.890,23
5	33384,22	1,09	36351,92	20.461,69
6	32966,92	1,20	39487,27	59.948,95
7	32554,83	1,32	42893,05	102.842,00
8	32147,90	1,45	46592,57	149.434,57
9	31746,05	1,59	50611,18	200.045,75
10	31349,22	1,75	54976,39	255.022,14
11	30957,36	1,93	59718,11	314.740,25
12	30570,39	2,12	64868,79	379.609,05
13	30188,26	2,33	70463,73	450.072,77
14	29810,91	2,57	76541,22	526.614,00
15	29438,27	2,82	83142,91	609.756,90
16	29070,29	3,11	90313,98	700.070,88
17	28706,91	3,42	98103,56	798.174,44
18	28348,08	3,76	106564,99	904.739,44
19	27993,73	4,14	115756,22	1.020.495,66
20	27643,81	4,55	125740,20	1.146.235,86
21	27298,26	5,00	136585,29	1.282.821,15
22	26957,03	5,50	148365,77	1.431.186,92
23	26620,07	6,05	161162,32	1.592.349,24
24	26287,32	6,66	175062,57	1.767.411,81
25	25958,72	7,33	190161,72	1.957.573,53

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.



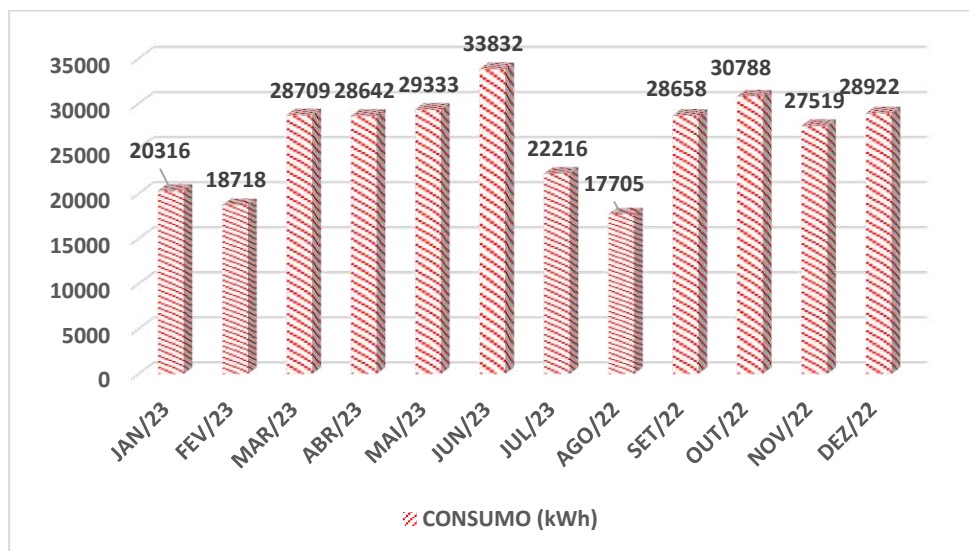
### 3.2 DIMENSIONAMENTO DA GERAÇÃO CENTRALIZADA

Para a realização do dimensionamento da geração centralizada será necessário definir as premissas básicas de construção do sistema:

- O dimensionamento se dará somente até o quadro de distribuição da unidade de geração;
- Temperatura ambiente de 30 °C e temperatura do condutor em regime permanente a 90 °C;
- Instalação em solo;
- Os preços unitários considerados no orçamento são uma média dos valores encontrados no mercado atualmente;
- A potência dos inversores serão de até 20% superior à potência calculada.

O Gráfico 15 apresenta o consumo total das escolas de ensino fundamental apresentadas na Tabela 2, uma que o consumo médio anual total das escolas servirá de base para o dimensionamento dos componentes do sistema. Sendo considerado o período de agosto a dezembro de 2022 e janeiro a julho de 2023.

Gráfico 15 – Consumo total das escolas de ensino fundamental da sede de Boa Viagem-CE.



Fonte: Enel Distribuidora (2023).

#### 3.2.1 Especificações dos módulos FVs

De início, a Tabela de 4 apresenta as características técnicas do módulo FV escolhido para o sistema. E, através do consumo médio mensal, em kWh, pode-se

determinar a geração ideal do consumidor. Além disso, como se trata de um consumidor trifásico, a cobrança mínima na conta de energia se dará por conta dos 100 kWh estabelecidos pela concessionária, ou seja, será considerado 1000 kWh de limite, o que equivale à cobrança mínima das 10 escolas somadas. Dessa forma, obtêm-se através do Gráfico 15 o consumo médio mensal de 26279,6 kWh. Então, a geração ideal para esse caso será obtida por meio da equação (1). Então:

$$Geração\ Ideal = 26279,6 - 1000 = 25279,6\ kWh$$

Tendo a geração ideal, pode-se determinar qual será o consumo diário médio anual da unidade consumidora por meio da equação (2). Então:

$$Consumo\ Diário\ Médio\ Anual = \frac{25279,6}{\frac{365}{12}} = 831,11\ \frac{kWh}{dia}$$

Dessa forma, conhecendo o HSP médio da região analisada e, definindo uma taxa de desempenho de 75% (LIMA, 2019), tem-se que a potência do arranjo FV é determinado pela equação (3). Portanto:

$$Potência\ do\ Arranjo = \frac{\frac{831,11}{0,75}}{5,59} = 198,237\ kWp$$

A seguir, conhecendo a potência do arranjo FV necessário com base no consumo, será utilizado os dados apresentados na Tabela 3 para determinação da quantidade de módulos FVs a serem utilizados no sistema por meio da equação (4). Além disso, após a escolha da quantidade adotada de módulos, a equações (5) determinará a área total ocupada pelos módulos. Então:

$$Número\ de\ Módulos = \frac{198,237}{0,54} = 367,106\ módulos$$

Será adotado uma quantidade de módulos inteiros, logo serão 368 módulos FVs para o sistema. O que resultará em uma potência total do arranjo de 198,72 kWp, obtida através do produto entre a quantidade de módulos adotados e a potência de uma unidade do módulo utilizado, conforme a Tabela 4. E que,

$$Área\ Total = (2,254 * 1,135) * 368 = 941,451\ m^2$$

### 3.2.2 Especificações do inversor e dos microinversores

A Tabela 4 apresenta as características técnicas do microinversor utilizado, haja vista que o sistema contará com microinversores de 4 entradas cada e potência nominal de 2000 VA. O que será relevante para determinar a quantidade de microinversores a

serem utilizados, mediante à quantidade de módulos FVs calculados. Dessa forma, a equação (6) determinará a quantidade de microinversores do sistema. Então,

$$\text{Número de Microinversores} = \frac{368}{4} = 92$$

E, para a escolha do inversor, será tomado como critério um inversor com potência superior de 20% à potência do arranjo calculada, sendo que a tensão e corrente máxima de entrada servirão de base na escolha das configurações de ligação dos módulos FVs ao inversor. Dessa forma, a Tabela 17 apresenta as características técnicas do inversor escolhido. Como se trata de uma potência do arranjo de 198,237 kWp, serão escolhidos 4 inversores.

Tabela 17 – Especificações técnicas do inversor escolhido.

Modelo do Inversor	Solis-50K-HV-5G
Potência máxima de entrada	75kW
Tensão máxima de entrada	1100 V
Corrente máxima de entrada	4*26 A
MPPTs / Número de entradas	4 / 8
Potência nominal de saída	50 kW
Corrente nominal de saída	60,1 A
Eficiência máxima	98,8%
Peso	45 kg
Dimensões	647 x 629 x 252 mm

Fonte: SOLIS, 2023.

### 3.2.3 Especificações dos condutores

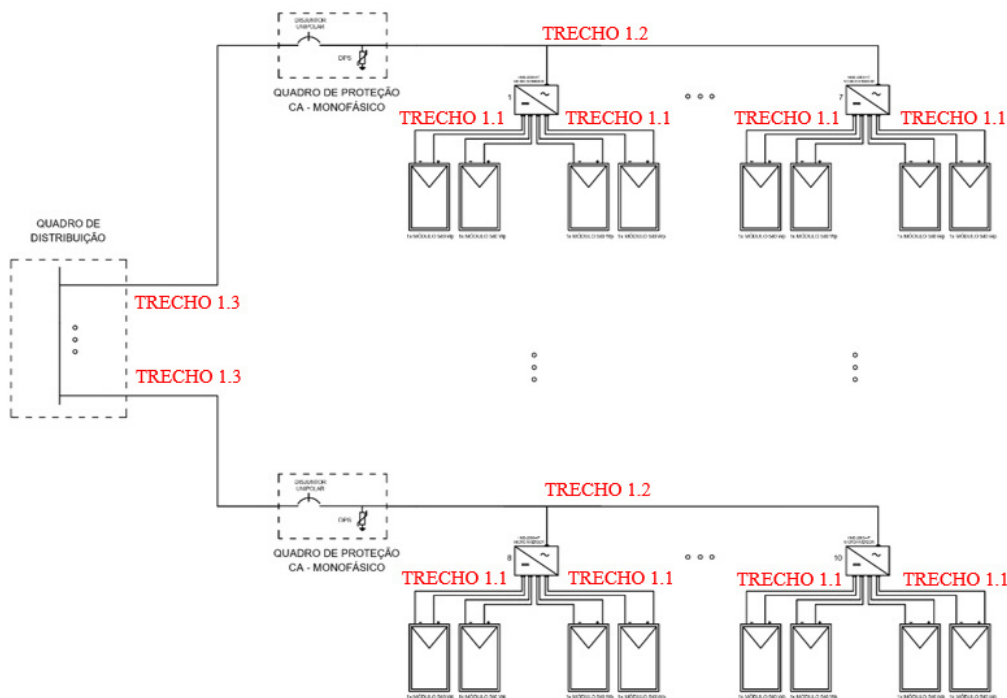
Os condutores serão dimensionados de acordo com o trecho do sistema. Assim como especificado no item 2.1.3. Dessa forma, o diagrama unifilar apresentado na Figura 12 mostra os detalhes do sistema com a utilização de microinversores, enquanto que a Figura 13 mostra o diagrama unifilar do sistema utilizando o inversor. Dessa forma, as especificações dos cabos utilizados em corrente contínua e corrente alternada serão apresentadas nos subtópicos 3.2.3.1 e 3.2.3.2, respectivamente.

#### 3.2.3.1 Especificações dos condutores em corrente contínua

O dimensionamento dos cabos da parte de corrente contínua do sistema FV, que liga os módulos ao microinversor, seguirá as mesmas especificações encontradas no item 2.1.3.1, sendo que o diagrama unifilar mostrado na Figura 11 detalha a ligação do

sistema e a Tabela 7 mostra as características técnicas dos condutores escolhidos no trecho 1.1.

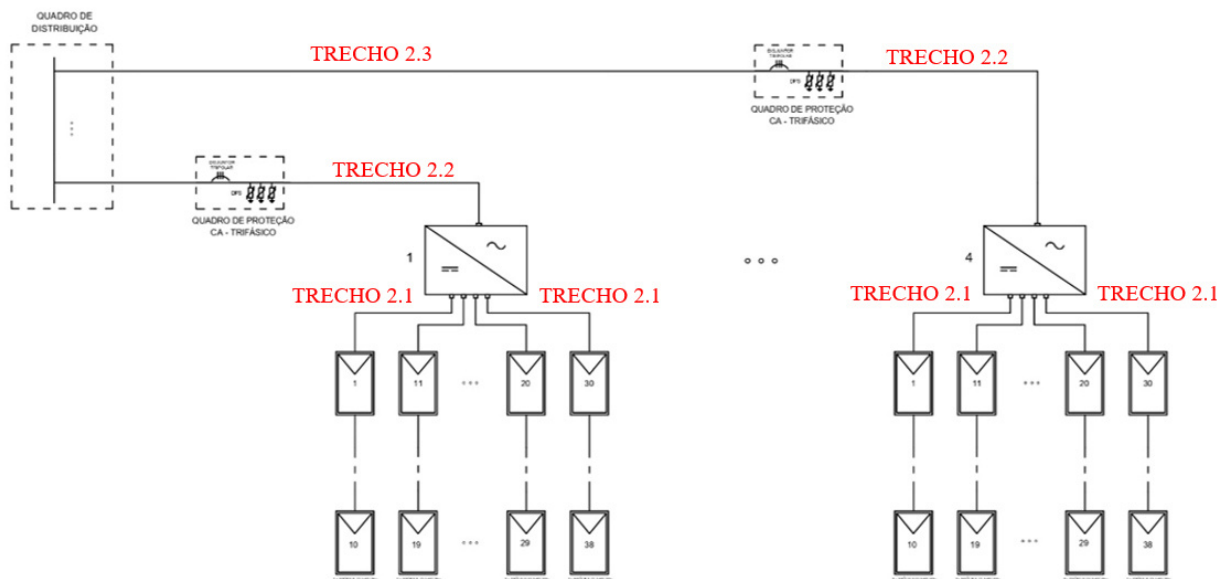
Figura 11 – Diagrama unifilar utilizando microinversores.



Fonte: Próprio Autor.

Após o dimensionamento para o sistema com uso de microinversores, será realizado o dimensionamento dos cabos utilizando o inversor. Dessa forma, a Figura 12 mostra o diagrama unifilar desse caso.

Figura 12 – Diagrama unifilar do sistema com inversor.



Fonte: Próprio Autor.

O trecho 2.1, mostrado na Figura 12, liga os módulos FVs ao inversor. Dessa forma, estão alimentados por corrente contínua, o que implicará no mesmo método de dimensionamento utilizado para os microinversores. Portanto, será utilizado a equação (7) para a determinação da corrente de projeto, sendo 2 séries de módulos FVs, então:

$$I_{proj} = 1,25 * 13,9 * 2 = 34,75 A$$

Adiante, conforme a Tabela 6 e, para uma corrente de projeto igual a 34,75 A, instalação exposta ao sol, para o modo de instalação 1, a seção nominal do cabo pelo critério de capacidade de corrente escolhido é de 10 mm<sup>2</sup>.

E no tocante ao critério da queda de tensão será utilizada a equação (8). O comprimento (L) adotado será de 100 m, a condutividade do cobre a 90 °C é de 44 mm/Ω•mm<sup>2</sup> (σ) e a queda de tensão máxima (Δe) será 3% da tensão máxima do arranjo. E como se trata de 7 módulos FVs para cada série ligada à entrada do inversor, será considerado 3% da tensão no ponto de máxima potência, conforme a Tabela 3 sendo de 41 V e quantidade de módulos em cada série de até 12 módulos, o que resulta em 14,76 V.

$$S_{queda\ de\ tensão} = \frac{100 * 34,75}{44 * 14,76} = 5,351\ mm^2$$

Pelo critério de capacidade de corrente o cabo resultante foi de 10 mm<sup>2</sup> e pelo critério de queda de tensão foi de 5,583 mm<sup>2</sup>. Logo, o escolhido de acordo com os critérios utilizados seria o de 10 mm<sup>2</sup>, pelo critério de capacidade de corrente. Dessa forma, as características dos cabos positivo e negativo escolhidos estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Características técnicas dos condutores do trecho 2.1 da Figura 13.

Cabo Solar 10mm <sup>2</sup> Preto Enerflex XL	
Seção (mm <sup>2</sup> )	10
Diâmetro (mm)	12
Tensão Nominal DC (V)	1000
Temperatura de serviço (°C)	-40 a +120

Fonte: ENERFLEX, 2023.

### 3.1.2.2 Especificações dos condutores em corrente alternada

Os condutores em corrente alternada usados a partir da saída dos microinversores até o quadro de proteção, como mostrados na Figura 11, foram

denominados de trecho 2.1. E, no tocante aos cabos que saem do quadro de proteção e entram no quadro de distribuição, os mesmos foram denominados de trecho 3.1. O dimensionamento dos condutores de fase será realizado utilizando o critério de capacidade de condução dos condutores e o critério de queda de tensão.

A Tabela 8 retirada da ABNT NBR 5410:2008 servirá para determinar a seção do condutor com a corrente de projeto calculada através da equação (9), haja vista que a temperatura ambiente considerada é de 30 °C, os cabos unipolares em canaleta fechada embutida no piso.

$$I_{proj} = \frac{P}{V_{fn} \cdot \eta \cdot FP} A \quad (14)$$

A potência considerada será a da ligação do trecho 2.1 em que há a presença de mais microinversores, ou seja, o trecho com a presença de 4 microinversores. Então

$$I_{proj} = \frac{4 \cdot 2000}{220 \cdot 0,97 \cdot 0,99} = 37,867 A$$

Pelo método de referência B1, com dois condutores carregados e corrente de projeto de 37,867 A, tem-se que a seção nominal do cabo será de 4 mm<sup>2</sup>. Dessa forma, foca definido a seção dos condutores de fase, neutro e terra, segundo a ABNT NBR 5410:2008.

E, no tocante ao critério da queda de tensão, tem-se que os dados serão aplicados na equação (10), de modo que a queda de tensão máxima admitida será de 3% e o comprimento do circuito será de 15 m, haja vista que a condutividade do cobre considerada ( $\sigma$ ) será em  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{mm}$ .

$$S_c = \frac{200 \cdot \sigma \cdot \sum(L_c \cdot I_{proj})}{\Delta V_c \cdot V_{FN}} \text{ mm}^2 \quad (15)$$

Então,

$$S_c = \frac{200 \cdot \left(\frac{1}{44}\right) \cdot 15 \cdot 37,867}{3 \cdot 220} = 3,912 \text{ mm}^2$$

Portanto, os valores encontrados para o dimensionamento dos cabos utilizados em corrente alternada pelo critério de capacidade de corrente e pelo critério de queda de tensão foram 4 mm<sup>2</sup> e 3,912 mm<sup>2</sup>. Dessa forma os cabos de fase, neutro e terra para o trecho 2 mostrado na Figura 12 será de 4 mm<sup>2</sup>, com isolamento EPR, assim como especificado no Quadro 2.

Os procedimentos para determinar os condutores que sairão do inversor até o quadro de proteção e, em seguida, até o quadro de distribuição seguirá os mesmos

critérios descritos acima para uso do cabo em corrente alternada. Dessa maneira, as descrições dos cabos utilizadas para esses trechos (2.2 e 3.2) estão mostradas no Quadro 5.

Quadro 5 – Descrições dos condutores que saem do inversor para o quadro de distribuição

Tipo	Descrição
Fase A	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> C15 Preto
Fase B	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> C15 Preto
Fase C	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> C15 Preto
Neutro	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> C15 Azul
Terra	Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> C15 Verde

Fonte: COBREFLEX, 2023.

### 3.2.4 Especificações da proteção

O sistema contará com quadros de proteção que serão responsáveis por atuarem em corrente alternada após o inversor, sendo que o quadro contará com disjuntor e dispositivo contra surtos.

Em relação ao dimensionamento dos disjuntores, temos que foram dimensionados com base na corrente de projeto e na corrente suportada pela seção do condutor dimensionado, seguindo os seguintes critérios mostrados nas inequações (1) e (2) e os procedimentos apresentados no subtópico 2.1.4. Dessa forma as Tabelas 18 e 19 apresentam as especificações da proteção utilizada em cada caso.

Tabela 18 – Especificações dos dispositivos de proteção com o uso de microinversores.

TIPO	Descrições	
Disjuntor	Modelo	EZ9F13140
	Corrente nominal (A)	40
	Tensão nominal F-N (V)	230
	Número de pólos	1
	Capacidade de interrupção (kA)	3
	Curva	B
DPS	Modelo	EZ9L33120
	Corrente máxima de descarga (kA)	20
	Tensão máxima em regime permanente (V)	275
	Corrente de descarga nominal (kA)	10

Fonte: SCHNEIDER ELECTRIC, 2015.

Tabela 19 – Especificações dos dispositivos de proteção com o uso de inversor.

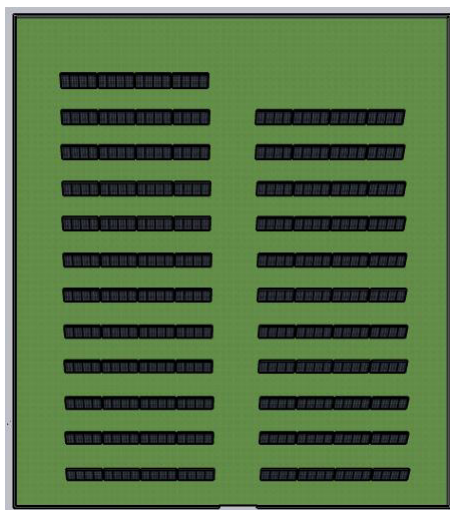
TIPO	Descrições	
Disjuntor	Modelo	EZ9F33380
	Corrente nominal (A)	80
	Tensão nominal F-F (V)	400
	Número de pólos	3
	Capacidade de interrupção (kA)	4,5
	Curva	C
DPS	Modelo	EZ9L33120
	Corrente máxima de descarga (kA)	20
	Tensão máxima em regime permanente (V)	275
	Corrente de descarga nominal (kA)	10

Fonte: SCHNEIDER ELECTRIC, 2015.

### 3.2.5 Especificações espacial do projeto e sombreamento

E em relação ao lugar escolhido para a localização da planta de geração FV, a Figura 13 mostra uma vista superior da escola da planta de geração que foi modelada utilizando o SketchUp Pro 2023. Essa modelagem servirá de base para visualizar a localização, orientação e inclinação dos módulos FVs.

Figura 13 – Vista superior da planta de geração centralizada.



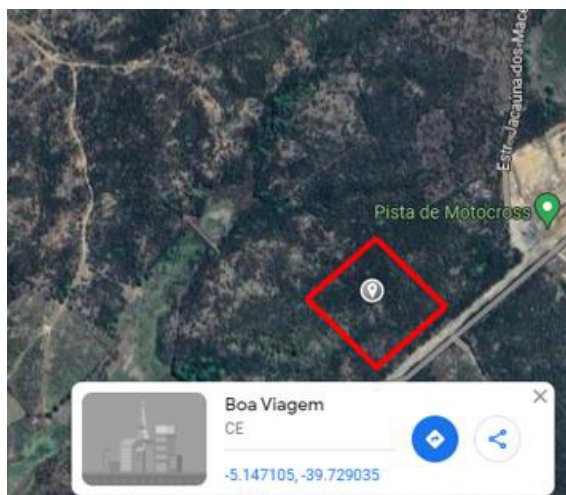
Fonte: Próprio Autor.

A orientação dos módulos FVs será voltada para o norte geográfico para melhor eficiência de geração. Em relação à inclinação dos módulos, tem-se que a inclinação ótima é igual a latitude. Entretanto não é recomendado ângulos menores de



10° por problemas de sedimentação de pó, ou seja, limpeza (CARI, 2021). Dessa forma, como Boa Viagem – CE possui uma latitude de 5°, tem-se que a inclinação dos módulos obedecerá a recomendação mínima de 10°. E, no tocante à localização da planta, tem-se que o local deverá ter como área mínima de 100 m x 100 m. ou seja, 10.000 m<sup>2</sup>, com recomendação em espaço rural próximo ao centro urbano. Sendo que a Figura 14 mostra uma sugestão de espaço para a planta em vermelho.

Figura 14 – Sugestão de espaço para a planta FV.



Fonte: Google Maps, 2023.

Portanto, tem-se que os módulos estão orientados para o norte geográfico, com inclinação de 10° e localização conforme a Figura 14. E que, não haverá sombreamento dos módulos por corpos próximos à planta e que o sombreamento existente se dará por conta da localização das estruturas na planta, com isso será adotado um espaçamento mínimo entre as estruturas que não estão na mesma fileira de 3 m de modo que permita a circulação de máquinas para limpeza e supressão da vegetação (VINTURINI, 2020).

### 3.2.6 Especificações dos orçamentos

Os orçamentos apresentados nas Tabelas 20 e 21 mostram os detalhes dos itens escolhidos após o dimensionamento do sistema utilizando microinversores ou inversor, respectivamente. Sendo que os valores dos cabos estão em R\$/m e o custo de instalação foi estimado como sendo 40% do valor total dos itens do projeto.

Tabela 20 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	368	R\$ 430.192,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	92	R\$ 183.908,00
Estrutura Completa Para Solo	R\$ 1.094,00	92	R\$ 100.648,00
Cabo Solar Preto 1kVCA 10mm	R\$ 11,84	400	R\$ 4.736,00
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 10mm	R\$ 11,84	400	R\$ 4.736,00
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	100	R\$ 337,00
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	100	R\$ 337,00
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	100	R\$ 337,00
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	30	R\$ 980,40
Disjuntor Unipolar 40A Curva B	R\$ 13,92	5	R\$ 69,60
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	5	R\$ 394,95
Custo de Instalação	R\$ 290.670,38	1	R\$ 290.670,38
		Total	R\$ 1.017.346,33

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 21 – Orçamento do sistema completo utilizando inversores

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	368	R\$ 430.192,00
Inversor Solar Solis-50K-HV-5G	R\$ 26.797,94	4	R\$ 107.191,76
Estrutura Completa Para Solo	R\$ 1.094,00	92	R\$ 100.648,00
Cabo Solar Preto 1kVCA 6mm	R\$ 8,80	200	R\$ 1.760,00
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 6mm	R\$ 8,80	200	R\$ 1.760,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	50	R\$ 745,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	50	R\$ 745,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	50	R\$ 745,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Azul	R\$ 14,90	50	R\$ 745,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Verde	R\$ 14,90	50	R\$ 745,00
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	30	R\$ 980,40
Disjuntor Tripolar Classe C 80A	R\$ 256,95	4	R\$ 1.027,80
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	12	R\$ 947,88
Custo de Instalação	R\$ 259.293,14	1	R\$ 259.293,14
		Total	R\$ 907.525,98

Fonte: One Shop Solar (2023).

### 3.2.7 Levantamento Energético

O cálculo para a energia obtida mensalmente levou em consideração a área ( $A_{\text{módulo}}$ ) e eficiência do módulo ( $\eta_{\text{módulo}}$ ), conforme a Tabela 3, a quantidade de módulos

adotados ( $N_{\text{módulos}}$ ), o HSP médio do mês e perdas de 15% do sistema, quer seja por conta de sombreamento e poeira, quer seja por conta da temperatura ou queda de tensão (modificado de OLIVEIRA, 2018). Esses dados foram aplicados na equação (11). Então, para o mês de janeiro, por exemplo, tem-se que:

$$E_{\text{mensal}} = 2,57 * 0,21 * 5,28 * 338 * (1 - 0,15) * 30 = 26741 \text{ kWh}$$

Além disso, também foi considerado o fator de simultaneidade do sistema. O fator de simultaneidade é definido como a razão entre a energia consumida e a energia obtida durante um determinado intervalo de tempo (SILVEIRA, 2023). Dessa forma, a Tabela 22 resume os processos de cálculo e expõe os fatores de simultaneidade adotados para cada período mensal levando em consideração o comportamento da escola e os índices de radiação, o que também irá afetar a energia injetada registrada pelo medidor.

Tabela 22 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema do projeto.

MÊS	HSP	CONSUMO (kWh)	GERAÇÃO (kWh)	SIMULTANEIDADE	ENERGIA INJETADA (kWh)	ENERGIA CONSUMIDA (kWh)
JAN	5,28	20316	26741	10%	24067	18284,40
FEV	5,39	18718	27298	35%	17744	12166,70
MAR	5,47	28709	27703	35%	18007	18660,85
ABR	5,00	28642	25323	35%	16460	18617,30
MAI	4,97	29333	25171	35%	16361	19066,45
JUN	4,91	33832	24867	10%	22380	30448,80
JUL	5,24	22216	26538	35%	17250	14440,40
AGO	5,97	17705	30235	35%	19653	11507,93
SET	6,49	28658	32869	35%	21365	18627,38
OUT	6,40	30788	32413	35%	21069	20011,88
NOV	6,31	27519	31957	35%	20772	17887,03
DEZ	5,70	28922	28868	10%	25981	26029,35

Fonte: Próprio Autor.

### 3.2.8 Estudo financeiro

O ROI, calculado por meio da equação (12), e *payback*, calculado por meio da equação (13), são calculados seguindo os mesmos procedimentos do item 2.1.8. Dessa forma, para o caso da geração centralizada, tem-se que:

O ROI pode ser calculado, por exemplo para o caso do uso de inversor, tendo um investimento inicial de R\$ 907.525,98, uma economia anual de energia de R\$ 252.855,48 e custos anuais de manutenção de R\$ 5.000,00. Então:

$$ROI = \frac{(252.855,48 - 5000)}{907.525,98} = 0,2731$$

Neste caso, o ROI do projeto de geração FV é de 27,31%. Isso significa que, após um ano de operação, o projeto terá gerado economias suficientes para cobrir 27,31% do investimento inicial. Em outras palavras, o projeto se pagará em aproximadamente 3,7 anos ( $1 / 0,2731 = 3,7$ ). Após esse período, as economias líquidas na conta de eletricidade continuarão a crescer, representando um retorno contínuo sobre o investimento.

E, levando em consideração o *payback*, tem-se:

$$Payback = \frac{907.525,98}{252.855,48} = 3,57$$

Neste caso, o período de *payback* para o projeto de geração FV é de 3,57 anos. Isso significa que o investimento inicial será recuperado em aproximadamente 3,57 anos a partir das economias geradas na conta de eletricidade das escolas, sendo mostrado na Tabela 24 os fluxos anuais.

A Tabela 24 apresenta os fluxos de caixa do projeto considerando uma eficiência de 80 % dos módulos FVs ao final de 25 anos (CANADIAN, 2023). Haja vista que isso resulta em uma depreciação da geração de 1,25 %, além de que tanto o preço do kWh, em reais, quanto a inflação energética ao ano, considerada em 10% (FIORAVANTE, 2022), mostrados na Tabela 23, serviram de base para a construção dos resultados, sendo que o orçamento total escolhido para análise equivale ao orçamento de menor valor para os dois casos analisados. Haja vista que tanto a conclusão encontrada como cálculo do ROI quanto do *payback* concordam que no quarto ano o saldo já será positivo, ou seja, o investimento será recuperado. O gráfico 21 representa essa análise.

Tabela 23 – Dados adotados no estudo financeiro do projeto da geração centralizada

Geração inicial anual com perdas (kWh)	339983
Orçamento total	R\$ 907.525,98
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 24 – Fluxos financeiros do projeto da geração centralizada

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	339982,89	0,74	252855,48	- 654.670,50
2	335733,11	0,82	274664,26	- 380.006,24
3	331536,44	0,90	298354,05	- 81.652,18
4	327392,24	0,99	324087,09	242.434,91
5	323299,83	1,09	352039,60	109.604,70
6	319258,59	1,20	382403,02	492.007,71
7	315267,85	1,32	415385,28	907.392,99
8	311327,01	1,45	451212,26	1.358.605,25
9	307435,42	1,59	490129,32	1.848.734,57
10	303592,48	1,75	532402,97	2.381.137,54
11	299797,57	1,93	578322,73	2.959.460,26
12	296050,10	2,12	628203,06	3.587.663,33
13	292349,47	2,33	682385,58	4.270.048,90
14	288695,11	2,57	741241,33	5.011.290,23
15	285086,42	2,82	805173,40	5.816.463,63
16	281522,84	3,11	874619,60	6.691.083,23
17	278003,80	3,42	950055,54	7.641.138,77
18	274528,75	3,76	1031997,83	8.673.136,61
19	271097,14	4,14	1121007,65	9.794.144,25
20	267708,43	4,55	1217694,56	11.011.838,81
21	264362,07	5,00	1322720,71	12.334.559,52
22	261057,55	5,50	1436805,37	13.771.364,89
23	257794,33	6,05	1560729,84	15.332.094,72
24	254571,90	6,66	1695342,78	17.027.437,51
25	251389,75	7,33	1841566,10	18.869.003,61

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

#### 4- ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS GERAÇÕES FV

Neste capítulo, apresentaremos uma análise abrangente das duas abordagens de geração FV consideradas neste estudo: a geração centralizada e a geração descentralizada. Esta análise tem como objetivo fornecer informações críticas para a tomada de decisões informadas quanto à implementação de sistemas FVs nas escolas de ensino fundamental na sede do município de Boa Viagem, CE.

##### 4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados finais da geração descentralizada foram obtidos por meio da Tabela 25 que representa qual dos dois orçamentos foram escolhidos levando em consideração o custo e a eficiência do sistema, sendo o orçamento 1 referente ao uso de microinversores e o orçamento 2 sendo referente ao uso de inversor. Dessa forma, tem-se que, por exemplo, para a E.E.F Delfina Vieira da Silva foi levado em consideração a eficiência do sistema e para a E.E.F Padre Paulo de Almeida Medeiros foi levado em consideração o custo.

O investimento total para a implantação da geração descentralizada será de R\$ 943.576,28, uma vez que a Tabela 27 mostra o fluxo financeiro do projeto, tendo como base os dados da Tabela 26.

Tabela 25 – Orçamentos escolhidos da geração descentralizada.

ESCOLAS	ORÇAMENTO 1	ORÇAMENTO 2
EEF. DELFINA VIEIRA DA SILVA	R\$ 102.855,73	R\$ 102.007,61
EEF. PATRÍCIA FACUNDO CAMPOS	R\$ 18.782,22	R\$ 19.871,96
EEF. BENJAMIM ALVES DA SILVA	R\$ 159.241,71	R\$ 145.605,91
EEF. FILOMENA UCHOA VIANA	R\$ 95.365,06	R\$ 85.423,02
EEF. JESSÉ ALVES DA SILVA	R\$ 39.822,72	R\$ 39.638,83
EEF. JOSÉ ADAUTO SALES	R\$ 94.038,50	R\$ 96.735,25
EEF. JOSÉ ASSEF FARES	R\$ 22.188,26	R\$ 22.199,34
EEF. OSMAR DE OLIVEIRA FONTES	R\$ 69.547,60	R\$ 64.221,82
EEF. PADRE ANTONIO CORREIA DE SÁ	R\$ 197.202,57	R\$ 182.309,74
EEF. PADRE PAULO DE ALMEIDA MEDEIROS	R\$ 206.019,80	R\$ 188.328,36
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 943.576,28</b>

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 26 – Dados adotados no estudo financeiro do projeto da geração descentralizada

Geração inicial anual com perdas (kWh)	339983
Orçamento total	R\$ 943.576,28
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 27 – Fluxos financeiros do projeto da geração descentralizada.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	339982,89	0,74	252855,48	- 690.720,80
2	335733,11	0,82	274664,26	- 416.056,54
3	331536,44	0,90	298354,05	- 117.702,49
4	327392,24	0,99	324087,09	206.384,60
5	323299,83	1,09	352039,60	145.655,00
6	319258,59	1,20	382403,02	528.058,02
7	315267,85	1,32	415385,28	943.443,30
8	311327,01	1,45	451212,26	1.394.655,56
9	307435,42	1,59	490129,32	1.884.784,87
10	303592,48	1,75	532402,97	2.417.187,84
11	299797,57	1,93	578322,73	2.995.510,57
12	296050,10	2,12	628203,06	3.623.713,63
13	292349,47	2,33	682385,58	4.306.099,21
14	288695,11	2,57	741241,33	5.047.340,54
15	285086,42	2,82	805173,40	5.852.513,93
16	281522,84	3,11	874619,60	6.727.133,53
17	278003,80	3,42	950055,54	7.677.189,08
18	274528,75	3,76	1031997,83	8.709.186,91
19	271097,14	4,14	1121007,65	9.830.194,55
20	267708,43	4,55	1217694,56	11.047.889,11
21	264362,07	5,00	1322720,71	12.370.609,82
22	261057,55	5,50	1436805,37	13.807.415,19
23	257794,33	6,05	1560729,84	15.368.145,03
24	254571,90	6,66	1695342,78	17.063.487,81
25	251389,75	7,33	1841566,10	18.905.053,91

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

E que, além disso, o investimento total para a implantação da geração centralizada será de R\$ 907.525,98, uma vez que a Tabela 24 mostra o fluxo financeiro do projeto, tendo como base os dados da Tabela 23.

## 4.2 AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E DESAFIOS

Nesta seção, aprofundaremos a avaliação dos benefícios e desafios associados à geração centralizada e à geração descentralizada FV, considerando o contexto específico das escolas de ensino fundamental em Boa Viagem, CE.

Os benefícios e desafios da geração centralizada são mostrados no Quadro 6. Enquanto que os benefícios e desafios da geração descentralizada são apresentados no Quadro 7.

Quadro 6 – Benefícios e desafios da geração centralizada.

BENEFÍCIOS	Economia de Escala	A geração centralizada permite a construção de usinas solares de grande porte, aproveitando economias de escala que podem resultar em custos iniciais mais baixos por unidade de energia obtida. Isso pode ser especialmente vantajoso em locais com alta demanda energética
	Eficiência Técnica	As usinas centralizadas podem ser projetadas para otimizar a eficiência técnica, escolhendo as melhores localizações, ângulos de inclinação e tecnologias de painéis solares. Isso pode resultar em uma produção de energia mais consistente ao longo do ano.
	Manutenção Simplificada	Uma usina centralizada pode ser mais fácil de monitorar e manter, pois concentra todos os painéis em um único local. Isso simplifica as operações de inspeção e manutenção, reduzindo potencialmente os custos a longo prazo
DESAFIOS	Investimento Inicial Elevado	A construção de usinas centrais requer um investimento inicial significativo, o que pode ser um desafio financeiro para escolas com orçamentos limitados
	Perda de Energia na Transmissão	A transmissão de eletricidade a partir de usinas centrais até os pontos de consumo pode resultar em perdas de energia ao longo das linhas de transmissão. Isso pode reduzir a eficiência do sistema.
	Complexidade de Integração	Integrar uma usina centralizada à infraestrutura elétrica existente pode ser complexo e exigir atualizações substanciais na rede elétrica local.

Fonte: Próprio Autor.



Quadro 7 – Benefícios e desafios da geração descentralizada.

BENEFÍCIOS	Redução de Perdas na Transmissão	A geração descentralizada minimiza as perdas de energia na transmissão, pois a eletricidade é gerada no local de consumo, reduzindo a dependência de linhas de transmissão de longa distância
	Baixo Impacto Ambiental e Visual	Os sistemas FVs descentralizados geralmente têm um menor impacto ambiental e visual, pois podem ser integrados aos telhados das escolas de forma discreta
	Educação e Conscientização	A geração descentralizada permite que as escolas envolvam os alunos na monitorização e manutenção dos sistemas FVs, promovendo a educação ambiental e a conscientização sobre energia renovável

DESAFIOS	Custos Iniciais Elevados	Os sistemas FVs descentralizados podem ter custos iniciais mais elevados por unidade de energia obtida, devido a volumes menores e custos de instalação
	Complexidade Individual	A manutenção de múltiplos sistemas individuais pode ser mais complexa e custosa do que a manutenção de uma usina centralizada
	Espaço e Estrutura	A disponibilidade de espaço e a adequação estrutural dos edifícios das escolas para a instalação de sistemas FVs descentralizados podem ser desafios logísticos

Fonte: Próprio Autor.

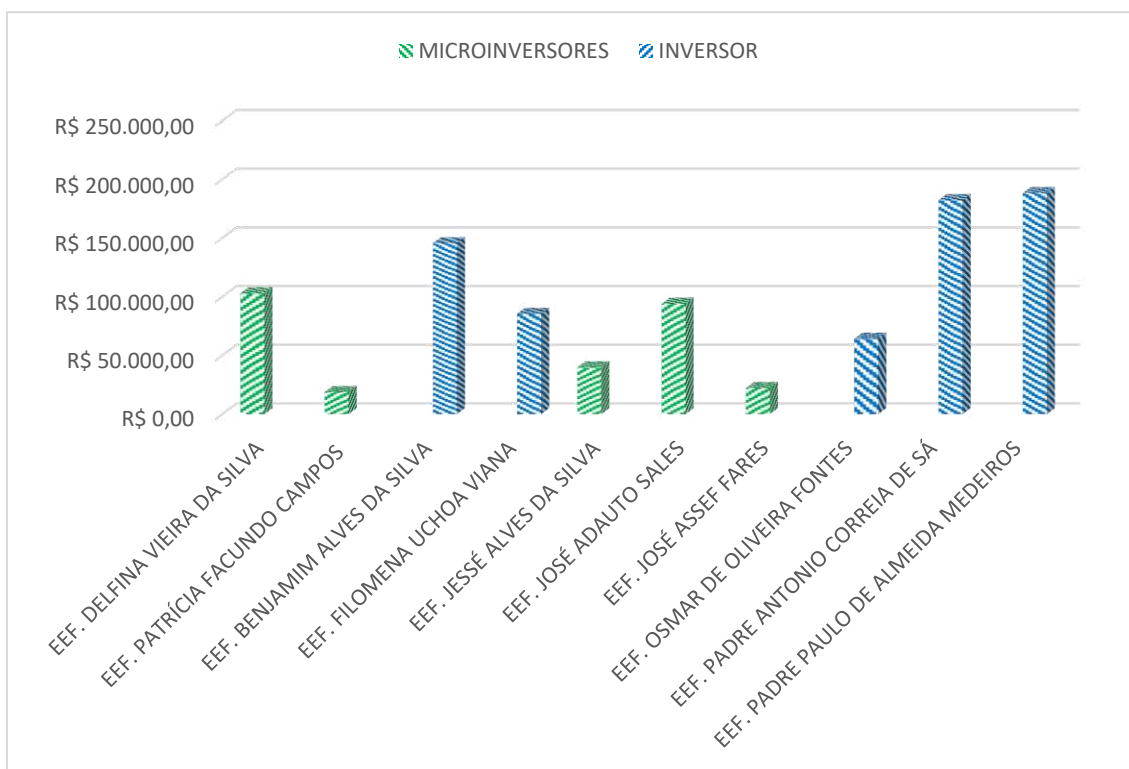
#### 4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica é um fator crucial na determinação da escolha entre a geração centralizada e a geração descentralizada FV nesse cenário. Dessa forma, como em cada subseção foi calculado os custos iniciais de investimento, os retornos financeiros, por meio dos fluxos de caixa no intervalo de tempo considerado, e também o possível potencial de geração FV ao longo do ano, tem-se que por meio das análises de custos e eficiência, benefícios e desafios, será possível apontar qual a forma de geração mais adequada para o contexto.

E para avaliar a viabilidade da adoção do sistema FV deve-se levar em consideração o custo da energia produzida por esse sistema e o custo da energia fornecida pela concessionária no local em questão (DANTAS e POMPERMAYER, 2018). Dessa forma, como calculado anteriormente, foi observado que na esmagadora

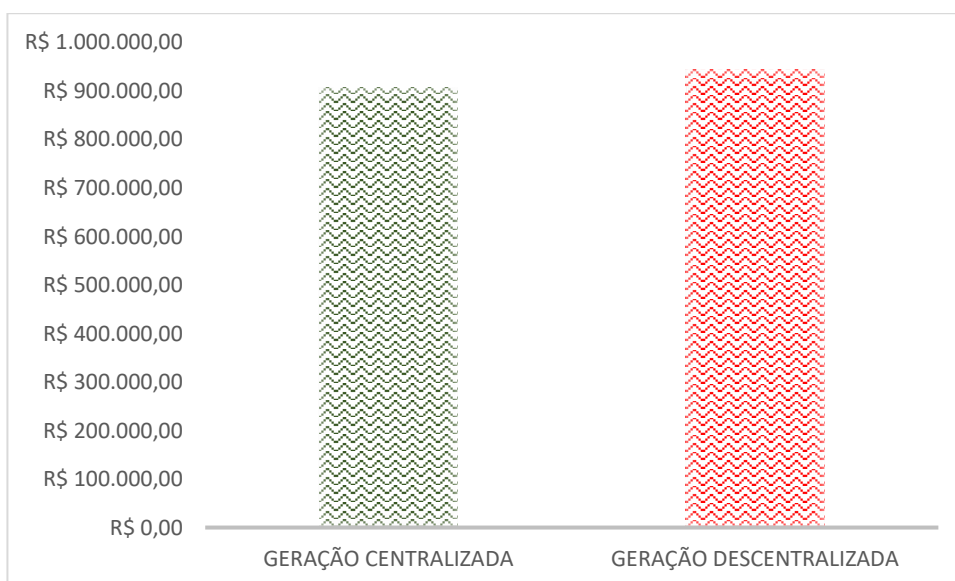
maioria dos casos o investimento inicial realizado seria recuperado no quarto ano e os custos a partir de então seriam para a manutenção e disponibilidade do sistema. O Gráfico 16 mostra uma discriminação do custo em cada escola por configuração escolhida e o Gráfico 17 mostra uma comparação entre os custos iniciais da implantação da geração centralizada e descentralizada.

Gráfico 16 – Custos da geração descentralizada por configuração



Fonte: Próprio Autor.

Gráfico 17 – Custos da geração centralizada e descentralizada



Fonte: Próprio Autor.

## 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo proporcionou uma análise abrangente da viabilidade da implementação de sistemas de geração FV em escolas de ensino fundamental na sede do município de Boa Viagem, CE, considerando as abordagens de geração centralizada e descentralizada. Ao longo deste trabalho, foram realizadas análises detalhadas de custos, eficiência, benefícios e desafios associados a ambas as abordagens, com o objetivo de oferecer informações críticas para orientar a tomada de decisões informadas.

Os resultados deste estudo demonstram que ambas as abordagens apresentam viabilidade financeira, cada uma com suas vantagens e desafios específicos. A escolha entre geração centralizada e descentralizada deve ser feita com base em critérios cuidadosamente ponderados, que incluem metas de sustentabilidade, capacidade de financiamento, regulamentações locais e prioridades específicas das escolas.

Os Gráficos 16 e 17 mostram que a escolha pela geração descentralizada, ou seja, por uma geração independente e específica em cada escola, e a escolha pela geração centralizada, tendo em um único ponto a geração suficiente para o consumo das escolas em estudo, será também por conta das avaliações de benefícios e desafios, pois os valores absolutos estão bem próximos.

É importante ressaltar que a implementação de sistemas FVs não se limita apenas aos benefícios financeiros, mas também contribui significativamente para a conscientização ambiental e educação dos alunos, promovendo a sustentabilidade energética e o uso responsável dos recursos naturais.

Além disso, todas as configurações abordadas no estudo financeiro, seja ela com o uso de microinversores ou de inversores, tiveram um *payback* menor que 4 anos e um ROI entre 26 a 30 % do valor investido considerando um período anual, tanto para a geração centralizada quanto para a geração descentralizada FV.

Portanto, tendo como objetivo orientar a escolha de um tipo de geração em detrimento do outro, tem-se que a geração descentralizada, com as suas mistas configurações entre inversores e microinversores, viu-se como mais atrativa tanto para estudo de viabilidade quanto para estudo de implantação, considerando fatores como custos, eficiência, benefícios e desafios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PORTAL SOLAR. **Célula fotovoltaica: tudo o que você precisa saber**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Acessado em 09 de outubro de 2023.

ALÉM DA ENERGIA. **Entenda a diferença entre energia solar centralizada e distribuída**. Disponível em: <<https://www.alemdaenergia.engie.com.br/entenda-a-diferenca-entre-energia-solar-centralizada-e-distribuida/>>. Acessado em 09 de outubro de 2023.

RAMOS, Leonardo Rodrigo. **INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO E DA ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS FVS NA GERAÇÃO DE ENERGIA**. 2018. TCC - Universidade Federal de Uberlândia, Ilha Solteira - SP, 2023.

BANCO BV. **Redução de CO2 com energia solar: entenda aqui como funciona!**. Disponível em: <<https://www.bv.com.br/bv-inspira/parceiro-solar/reducao-do-co2-com-energia-solar>>. Acessado em 09 de outubro de 2023.

BOA VIAGEM (CE). **Prefeitura**. 2023. Disponível em: <https://www.boaviagem.ce.gov.br/omunicipio.php>. Acesso em: 09 de outubro de 2023.

ADECE. **Atlas Eólico e Solar do Ceará**. Disponível em: <<http://atlas.adece.ce.gov.br/User?ReturnUrl=%2F>>. Acessado em 10 de agosto de 2023.

Google. 2023. **Boa Viagem-CE**. [s.l.]: Google Maps. <https://maps.app.goo.gl/xESxgKXpwWqsRbkA6>.

APRECE. **Município de Boa Viagem - Ceará**. Disponível em: <<https://aprece.org.br/municipio/boa-viagem/>>. Acessado em 10 de agosto de 2023.

SILVA JÚNIOR, Eliel Rafael da. **História de Boa Viagem**. Disponível em: <<https://www.historiadeboaviagem.com.br/>>. Acesso em: 25 de agosto de 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama da população**. Boa Viagem: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/boa-viagem/panorama>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 26 de agosto de 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

PMBV - PREFEITURA MUNICIPAL DE BOA VIAGEM. **Unidades de Educação**. Disponível em: <https://www.boaviagem.ce.gov.br/unidadeeducacao.php>. Acesso em: 27 de agosto de 2023.

CANADIAN SOLAR INC. **HiKu6 Mono**. Disponível em: <https://selfsolar.hu/wp-content/uploads/540w-adatlap-letoltese.pdf>. Acessado em 29 de agosto de 2023

LIMA, Patrick Teixeira. **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADO À REDE PÚBLICA DE ENERGIA NA REGIÃO NORDESTE BRASILEIRA**. 2019. TCC - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2019, p.52.

HOYMILES. **HMS-1600DW/1800DW/2000DW-4T (Wi-Fi integrated)**. Disponível em: <https://www.hoymiles.com/br/product/hms-1600dw-1800dw-2000dw-4t-2/>. Acessado em 29 de agosto de 2023

GINLONG. **SOLIS INVERTERS - Inversores trifásicos**. Disponível em: <https://wcdnet.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Datasheets-Solis-Todos.pdf>. Acessado em 29 de agosto de 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos FVs — Requisitos de projeto**. Brasil, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Brasil, 2008.

CONDUSPAR. **Cabo PROSOLAR FV**. Disponível em: <<https://conduspar.com.br/produtos/linhas-especiais/cabo-prosolar-fv/>>. Acessado em 01 de setembro de 2023.

COBREFLEX. **Fios e cabos elétricos**. Disponível em: <<https://www.cobreflex.com.br/fios-e-cabos-eletricos>>. Acessado em 01 de setembro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60947-2: Dispositivo de manobra e comando de baixa tensão - Parte 2: Disjuntores**. Brasil, 2014.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Catálogo Easy9**. Disponível em: <<https://www.se.com/br/pt/download/document/Catalogo+EZ9/>>. Acessado em 02 de setembro de 2023.

SILVEIRA, Geraldo. **“Lei 14.300: O que é e como calcular o fator de simultaneidade?”**. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/lei-14-300-o-que-e-e-como-calcular-o-fator-de-simultaneidade/>>. Acessado em 02 de setembro de 2023.

ENERFLEX. **Cabo Solar**. Disponível em: <<https://www.wccsolar.net/product-page/cable-solar-6mm-rojo-enerflex-xl-6-0?lang=pt>>. Acessado em 03 de setembro de 2023.

OLIVEIRA, Luiz Henrique de. **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FV RESIDENCIAL CONECTADO À REDE DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2018. TCC - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2018, p.51.

FIORAVANTE, Dea. **O preço da energia: o descontrole do abuso de controle.** Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11423/1/Radar\\_n70\\_art03\\_pre%C3%A7o\\_energia.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11423/1/Radar_n70_art03_pre%C3%A7o_energia.pdf). Acesso em: 22 de setembro de 2023.

Curso Solar USP. [Vídeo]. Autor do canal: Prof. Dr. Elmer Pablo Tito Cari, Data de publicação: 25/05/2021, URL: [https://www.youtube.com/watch?v=79ig\\_HQ\\_kIY&t=351s](https://www.youtube.com/watch?v=79ig_HQ_kIY&t=351s).

VINTURINI, Mateus. **“Escolha da inclinação dos módulos FVs em estruturas triangulares”.** Disponível em: <https://canalsolar.com.br/escolha-da-inclinacao-dos-modulos-FVs-em-estruturas-triangulares/>. Acesso em: 22 de setembro de 2023.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FVS NO BRASIL E POSSÍVEIS EFEITOS NO SETOR ELÉTRICO.** Disponível em: [https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2388.pdf](https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf). Acessado em 10 de setembro de 2023.

ONE SOLAR SHOP. **Energia.** [https://www.oneshopsolar.com.br/MLB-3488495040-modulopainel-solar-mono-144-celulas-540w-canadian-\\_JM](https://www.oneshopsolar.com.br/MLB-3488495040-modulopainel-solar-mono-144-celulas-540w-canadian-_JM). Acesso em: 22 de setembro de 2023.

## ANEXO I – QUADROS RESUMO DE DIMENSIONAMENTO.

O processo de dimensionamento para a geração descentralizada foi replicado para as outras escolas de ensino fundamental mostradas abaixo.

- **Escola de Ensino Fundamental Patrícia Facundo Campos**

Tabela 28 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	6	R\$ 7.014,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	2	R\$ 3.998,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	2	R\$ 1.584,04
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 25A Curva B	R\$ 15,90	2	R\$ 31,80
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	2	R\$ 157,98
Custo de Instalação	R\$ 5.366,35	1	R\$ 5.366,35
		Total	R\$ 18.782,22

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 29 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	6	R\$ 7.014,00
Inversor Solar Solis-3P5K-4G	R\$ 4.742,54	1	R\$ 4.742,54
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	2	R\$ 1.584,04
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	5	R\$ 163,40
Disjuntor Tripolar Classe C 16A	R\$ 48,96	1	R\$ 48,96
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 5.677,70	1	R\$ 5.677,70
		Total	R\$ 19.871,96

Fonte: One Shop Solar (2023).



Tabela 30 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF.  
 Patrícia Facundo Campos.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	295	436	10%	392	265,50
FEV	5,39	463	445	35%	289	300,95
MAR	5,47	537	452	35%	294	349,05
ABR	5,00	566	413	35%	268	367,90
MAI	4,97	598	410	35%	267	388,70
JUN	4,91	577	405	10%	365	519,30
JUL	5,24	365	433	35%	281	237,25
AGO	5,97	281	493	35%	320	182,65
SET	6,49	279	536	35%	348	181,35
OUT	6,40	896	528	35%	344	582,40
NOV	6,31	485	521	35%	339	315,25
DEZ	5,70	599	471	10%	424	539,10

Fonte: Próprio Autor

Tabela 31 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	5543
Orçamento total	R\$ 18.782,22
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 32 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Patrícia Facundo Campos.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	5543,20	0,74	4122,64	- 14.659,57
2	5473,91	0,82	4478,22	- 10.181,35
3	5405,49	0,90	4864,47	- 5.316,88
4	5337,92	0,99	5284,03	- 32,86
5	5271,19	1,09	5739,78	5.706,92
6	5205,30	1,20	6234,83	11.941,75
7	5140,24	1,32	6772,59	18.714,34
8	5075,98	1,45	7356,72	26.071,06
9	5012,53	1,59	7991,24	34.062,30
10	4949,88	1,75	8680,48	42.742,78
11	4888,00	1,93	9429,17	52.171,96
12	4826,90	2,12	10242,44	62.414,40
13	4766,57	2,33	11125,85	73.540,25
14	4706,99	2,57	12085,46	85.625,71
15	4648,15	2,82	13127,83	98.753,53
16	4590,05	3,11	14260,10	113.013,64
17	4532,67	3,42	15490,04	128.503,67
18	4476,01	3,76	16826,05	145.329,72
19	4420,06	4,14	18277,30	163.607,02
20	4364,81	4,55	19853,72	183.460,74
21	4310,25	5,00	21566,10	205.026,84
22	4256,37	5,50	23426,17	228.453,01
23	4203,17	6,05	25446,68	253.899,69
24	4150,63	6,66	27641,46	281.541,15
25	4098,75	7,33	30025,53	311.566,69

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

- **Escola de Ensino Fundamental Benjamim Alves Da Silva**

Tabela 33 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da  
EEF. Benjamim Alves da Silva.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	59	R\$ 68.971,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	16	R\$ 31.984,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	15	R\$ 11.880,30
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 40A Curva B	R\$ 13,92	3	R\$ 41,76
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 45.497,63	1	R\$ 45.497,63
		Total	R\$ 159.241,71

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 34 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF.  
EEF. Benjamim Alves da Silva.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	59	R\$ 68.971,00
Inversor Solar Solis-36K-5G	R\$ 21.599,00	1	R\$ 21.599,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	15	R\$ 11.880,30
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Azul	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Verde	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	5	R\$ 163,40
Disjuntor Tripolar Classe C 80A	R\$ 256,95	1	R\$ 256,95
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 41.601,69	1	R\$ 41.601,69
		Total	R\$ 145.605,91

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 35 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF.

Benjamim Alves da Silva.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	3560	4287	10%	3859	3204
FEV	5,39	2465	4377	35%	2845	1602,25
MAR	5,47	5363	4442	35%	2887	3485,95
ABR	5,00	4625	4060	35%	2639	3006,25
MAI	4,97	5009	4036	35%	2623	3255,85
JUN	4,91	5104	3987	10%	3588	4593,6
JUL	5,24	1636	4255	35%	2766	1063,4
AGO	5,97	4250	4848	35%	3151	2762,5
SET	6,49	4364	5270	35%	3425	2836,6
OUT	6,40	4738	5197	35%	3378	3079,7
NOV	6,31	4213	5124	35%	3330	2738,45
DEZ	5,70	4071	4628	10%	4165	3663,9

Fonte: Próprio Autor

Tabela 36 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Benjamim Alves da Silva.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	54508
Orçamento total	R\$ 145.605,91
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 37 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Benjamim Alves da Silva.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	54508,13	0,74	40539,33	- 105.066,58
2	53826,78	0,82	44035,85	- 61.030,73
3	53153,94	0,90	47833,94	- 13.196,79
4	52489,52	0,99	51959,62	38.762,82
5	51833,40	1,09	56441,13	17.678,31
6	51185,48	1,20	61309,18	78.987,49
7	50545,66	1,32	66597,10	145.584,59
8	49913,84	1,45	72341,10	217.925,68
9	49289,92	1,59	78580,52	296.506,20
10	48673,79	1,75	85358,08	381.864,28
11	48065,37	1,93	92720,22	474.584,50
12	47464,55	2,12	100717,34	575.301,84
13	46871,25	2,33	109404,21	684.706,05
14	46285,36	2,57	118840,32	803.546,37
15	45706,79	2,82	129090,30	932.636,67
16	45135,45	3,11	140224,34	1.072.861,01
17	44571,26	3,42	152318,69	1.225.179,70
18	44014,12	3,76	165456,17	1.390.635,87
19	43463,94	4,14	179726,77	1.570.362,64
20	42920,64	4,55	195228,20	1.765.590,85
21	42384,14	5,00	212066,64	1.977.657,48
22	41854,34	5,50	230357,38	2.208.014,86
23	41331,16	6,05	250225,71	2.458.240,57
24	40814,52	6,66	271807,67	2.730.048,25
25	40304,34	7,33	295251,09	3.025.299,33

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

- **Escola de Ensino Fundamental Filomena Uchoa Viana**

Tabela 38 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	36	R\$ 42.084,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	9	R\$ 17.991,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	9	R\$ 7.128,18
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 25A Curva B	R\$ 15,90	3	R\$ 47,70
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 27.247,16	1	R\$ 27.247,16
		<b>Total</b>	<b>R\$ 95.365,06</b>

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 39 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	36	R\$ 42.084,00
Inversor Solar Solis-20K-LV-5G	R\$ 10.797,89	1	R\$ 10.797,89
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	9	R\$ 7.128,18
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 7,89	10	R\$ 78,90
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 7,89	10	R\$ 78,90
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 7,89	10	R\$ 78,90
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Azul	R\$ 7,89	10	R\$ 78,90
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Verde	R\$ 7,89	10	R\$ 78,90
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	5	R\$ 163,40
Disjuntor Tripolar Classe C 63A	R\$ 59,90	1	R\$ 59,90
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 24.406,58	1	R\$ 24.406,58
		<b>Total</b>	<b>R\$ 85.423,02</b>

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 40 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF.

Filomena Uchôa Viana.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	2637	2616	10%	2354	2373,3
FEV	5,39	1125	2670	35%	1736	731,25
MAR	5,47	2628	2710	35%	1762	1708,2
ABR	5,00	2886	2477	35%	1610	1875,9
MAI	4,97	2706	2462	35%	1601	1758,9
JUN	4,91	3300	2433	10%	2189	2970
JUL	5,24	2435	2596	35%	1687	1582,75
AGO	5,97	813	2958	35%	1923	528,45
SET	6,49	2853	3215	35%	2090	1854,45
OUT	6,40	3220	3171	35%	2061	2093
NOV	6,31	3068	3126	35%	2032	1994,2
DEZ	5,70	3231	2824	10%	2542	2907,9

Fonte: Próprio Autor

Tabela 41 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	33259
Orçamento total	R\$ 85.423,02
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 42 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Filomena Uchôa Viana.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	33259,20	0,74	24735,86	- 60.687,15
2	32843,46	0,82	26869,33	- 33.817,82
3	32432,91	0,90	29186,81	- 4.631,01
4	32027,50	0,99	31704,17	27.073,16
5	31627,16	1,09	34438,66	7.365,50
6	31231,82	1,20	37408,99	44.774,49
7	30841,42	1,32	40635,52	85.410,01
8	30455,90	1,45	44140,33	129.550,34
9	30075,20	1,59	47947,43	177.497,77
10	29699,26	1,75	52082,90	229.580,67
11	29328,02	1,93	56575,05	286.155,72
12	28961,42	2,12	61454,65	347.610,37
13	28599,41	2,33	66755,11	414.365,48
14	28241,91	2,57	72512,74	486.878,22
15	27888,89	2,82	78766,96	565.645,18
16	27540,28	3,11	85560,61	651.205,79
17	27196,02	3,42	92940,22	744.146,01
18	26856,07	3,76	100956,31	845.102,32
19	26520,37	4,14	109663,79	954.766,11
20	26188,87	4,55	119122,29	1.073.888,40
21	25861,51	5,00	129396,59	1.203.284,99
22	25538,24	5,50	140557,05	1.343.842,04
23	25219,01	6,05	152680,09	1.496.522,13
24	24903,77	6,66	165848,75	1.662.370,88
25	24592,48	7,33	180153,21	1.842.524,09

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.



- **Escola de Ensino Fundamental Jessé Alves da Silva**

Tabela 43 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da  
EEF. Jessé Alves da Silva.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	14	R\$ 16.366,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	4	R\$ 7.996,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	4	R\$ 3.168,08
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 25A Curva B	R\$ 15,90	3	R\$ 47,70
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 11.377,92	1	R\$ 11.377,92
		Total	R\$ 39.822,72

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 44 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF.  
Jessé Alves da Silva.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	14	R\$ 16.366,00
Inversor Solar Solis-3P10K-4G-LV	R\$ 7.789,05	1	R\$ 7.789,05
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	4	R\$ 3.168,08
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	5	R\$ 163,40
Disjuntor Tripolar Classe C 32A	R\$ 56,60	1	R\$ 56,60
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 11.325,38	1	R\$ 11.325,38
		Total	R\$ 39.638,83

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 45 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da Jessé Alves da Silva.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	100	1017	10%	916	90
FEV	5,39	658	1039	35%	675	427,7
MAR	5,47	1212	1054	35%	685	787,8
ABR	5,00	1332	963	35%	626	865,8
MAI	4,97	1467	958	35%	622	953,55
JUN	4,91	1317	946	10%	851	1185,3
JUL	5,24	1014	1010	35%	656	659,3
AGO	5,97	1014	1150	35%	748	659,3
SET	6,49	1014	1250	35%	813	659,3
OUT	6,40	1014	1233	35%	802	659,3
NOV	6,31	1014	1216	35%	790	659,3
DEZ	5,70	1014	1098	10%	988	912,9

Fonte: Próprio Autor

Tabela 46 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Jessé Alves da Silva.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	12934
Orçamento total	R\$ 39.822,72
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 47 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Jessé Alves da Silva.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	12934,13	0,74	9619,50	- 30.203,22
2	12772,46	0,82	10449,18	- 19.754,03
3	12612,80	0,90	11350,43	- 8.403,61
4	12455,14	0,99	12329,40	3.925,79
5	12299,45	1,09	13392,81	9.467,02
6	12145,71	1,20	14547,94	24.014,96
7	11993,89	1,32	15802,70	39.817,66
8	11843,96	1,45	17165,68	56.983,34
9	11695,91	1,59	18646,22	75.629,57
10	11549,71	1,75	20254,46	95.884,03
11	11405,34	1,93	22001,41	117.885,44
12	11262,78	2,12	23899,03	141.784,47
13	11121,99	2,33	25960,32	167.744,79
14	10982,97	2,57	28199,40	195.944,19
15	10845,68	2,82	30631,60	226.575,78
16	10710,11	3,11	33273,57	259.849,35
17	10576,23	3,42	36143,42	295.992,77
18	10444,03	3,76	39260,79	335.253,56
19	10313,48	4,14	42647,03	377.900,59
20	10184,56	4,55	46325,34	424.225,93
21	10057,25	5,00	50320,90	474.546,82
22	9931,54	5,50	54661,07	529.207,90
23	9807,39	6,05	59375,59	588.583,49
24	9684,80	6,66	64496,74	653.080,22
25	9563,74	7,33	70059,58	723.139,80

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

- **Escola de Ensino Fundamental José Adauto Sales**

Tabela 48 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da  
EEF. José Adauto Sales.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	35	R\$ 40.915,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	9	R\$ 17.991,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	9	R\$ 7.128,18
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	50	R\$ 189,50
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	50	R\$ 189,50
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 40A Curva B	R\$ 13,92	3	R\$ 41,76
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 26.868,14	1	R\$ 26.868,14
		Total	R\$ 94.038,50

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 49 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. José  
Adauto Sales.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	35	R\$ 40.915,00
Inversor Solar Solis 25.0 kW-LV	R\$ 18.402,91	1	R\$ 18.402,91
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	9	R\$ 7.128,18
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	100	R\$ 379,00
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	100	R\$ 379,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Azul	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Verde	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	20	R\$ 653,60
Disjuntor Tripolar Classe C 80A	R\$ 256,95	1	R\$ 256,95
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 27.638,64	1	R\$ 27.638,64
		Total	R\$ 96.735,25

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 50 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. José

Aauto Sales.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	2291	2543	10%	2289	2061,9
FEV	5,39	1106	2596	35%	1688	718,9
MAR	5,47	2555	2635	35%	1713	1660,75
ABR	5,00	2317	2408	35%	1565	1506,05
MAI	4,97	3086	2394	35%	1556	2005,9
JUN	4,91	3294	2365	10%	2129	2964,6
JUL	5,24	2459	2524	35%	1641	1598,35
AGO	5,97	778	2876	35%	1869	505,7
SET	6,49	2889	3126	35%	2032	1877,85
OUT	6,40	3522	3083	35%	2004	2289,3
NOV	6,31	2724	3039	35%	1976	1770,6
DEZ	5,70	2672	2746	10%	2471	2404,8

Fonte: Próprio Autor

Tabela 51 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. José Aduino Sales.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	32335
Orçamento total	R\$ 94.038,50
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 52 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. José Aduino Sales.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	32335,33	0,74	24048,75	- 69.989,75
2	31931,14	0,82	26122,96	- 43.866,79
3	31532,00	0,90	28376,06	- 15.490,72
4	31137,85	0,99	30823,50	15.332,78
5	30748,63	1,09	33482,03	18.149,25
6	30364,27	1,20	36369,85	54.519,10
7	29984,71	1,32	39506,75	94.025,86
8	29609,91	1,45	42914,21	136.940,07
9	29239,78	1,59	46615,56	183.555,63
10	28874,28	1,75	50636,15	234.191,78
11	28513,36	1,93	55003,52	289.195,30
12	28156,94	2,12	59747,57	348.942,87
13	27804,98	2,33	64900,80	413.843,67
14	27457,41	2,57	70498,50	484.342,17
15	27114,20	2,82	76578,99	560.921,16
16	26775,27	3,11	83183,93	644.105,09
17	26440,58	3,42	90358,54	734.463,63
18	26110,07	3,76	98151,97	832.615,60
19	25783,70	4,14	106617,57	939.233,18
20	25461,40	4,55	115813,34	1.055.046,52
21	25143,13	5,00	125802,24	1.180.848,76
22	24828,84	5,50	136652,68	1.317.501,44
23	24518,48	6,05	148438,98	1.465.940,42
24	24212,00	6,66	161241,84	1.627.182,26
25	23909,35	7,33	175148,95	1.802.331,21

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

- **Escola de Ensino Fundamental José Assef Fares**

Tabela 53 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da  
EEF. José Assef Fares

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	8	R\$ 9.352,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	2	R\$ 3.998,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	2	R\$ 1.584,04
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 25A Curva B	R\$ 15,90	3	R\$ 47,70
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 6.339,50	1	R\$ 6.339,50
		<b>Total</b>	<b>R\$ 22.188,26</b>

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 54 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da  
EEF. José Assef Fares.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	8	R\$ 9.352,00
Inversor Solar Solis-3P6K-4G-LV	R\$ 4.069,93	1	R\$ 4.069,93
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	2	R\$ 1.584,04
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	5	R\$ 163,40
Disjuntor Tripolar Classe C 20A	R\$ 45,98	1	R\$ 45,98
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 6.342,67	1	R\$ 6.342,67
		<b>Total</b>	<b>R\$ 22.199,34</b>

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 55 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. José Assef Fares.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	562	581	10%	523	505,8
FEV	5,39	410	593	35%	386	266,5
MAR	5,47	524	602	35%	391	340,6
ABR	5,00	672	550	35%	358	436,8
MAI	4,97	687	547	35%	356	446,55
JUN	4,91	664	541	10%	487	597,6
JUL	5,24	559	577	35%	375	363,35
AGO	5,97	587	657	35%	427	381,225
SET	6,49	587	715	35%	464	381,225
OUT	6,40	587	705	35%	458	381,225
NOV	6,31	587	695	35%	452	381,225
DEZ	5,70	587	628	10%	565	527,85

Fonte: Próprio Autor



Tabela 56 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. José Assef Fares.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	7391
Orçamento total	R\$ 22.188,26
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 57 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. José Assef Fares.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	7390,93	0,74	5496,86	- 16.691,41
2	7298,55	0,82	5970,96	- 10.720,44
3	7207,31	0,90	6485,96	- 4.234,49
4	7117,22	0,99	7045,37	2.810,89
5	7028,26	1,09	7653,03	4.842,15
6	6940,40	1,20	8313,11	13.155,26
7	6853,65	1,32	9030,11	22.185,37
8	6767,98	1,45	9808,96	31.994,34
9	6683,38	1,59	10654,99	42.649,32
10	6599,84	1,75	11573,98	54.223,30
11	6517,34	1,93	12572,23	66.795,53
12	6435,87	2,12	13656,59	80.452,12
13	6355,42	2,33	14834,47	95.286,59
14	6275,98	2,57	16113,94	111.400,53
15	6197,53	2,82	17503,77	128.904,30
16	6120,06	3,11	19013,47	147.917,77
17	6043,56	3,42	20653,38	168.571,15
18	5968,02	3,76	22434,74	191.005,89
19	5893,42	4,14	24369,73	215.375,62
20	5819,75	4,55	26471,62	241.847,24
21	5747,00	5,00	28754,80	270.602,04
22	5675,16	5,50	31234,90	301.836,94
23	5604,22	6,05	33928,91	335.765,85
24	5534,17	6,66	36855,28	372.621,12
25	5464,99	7,33	40034,05	412.655,17

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

- **Escola de Ensino Fundamental Osmar de Oliveira Fontes**

Tabela 58 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	25	R\$ 29.225,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	7	R\$ 13.993,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	7	R\$ 5.544,14
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Cabo 1KV 4,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 3,37	15	R\$ 50,55
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 25A Curva B	R\$ 15,90	3	R\$ 47,70
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 19.870,74	1	R\$ 19.870,74
		<b>Total</b>	<b>R\$ 69.547,60</b>

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 59 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	25	R\$ 29.225,00
Inversor Solar Solis-15K-LV	R\$ 9.902,97	1	R\$ 9.902,97
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	7	R\$ 5.544,14
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	20	R\$ 75,80
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 7,89	15	R\$ 118,35
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 7,89	15	R\$ 118,35
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 7,89	15	R\$ 118,35
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Azul	R\$ 7,89	15	R\$ 118,35
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 10mm <sup>2</sup> Cl5 Verde	R\$ 7,89	15	R\$ 118,35
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	5	R\$ 163,40
Disjuntor Tripolar Classe C 50A	R\$ 56,90	1	R\$ 56,90
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 18.349,09	1	R\$ 18.349,09
		<b>Total</b>	<b>R\$ 64.221,82</b>

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 60 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	1042	1817	10%	1635	937,8
FEV	5,39	1223	1854	35%	1205	794,95
MAR	5,47	2013	1882	35%	1223	1308,45
ABR	5,00	2067	1720	35%	1118	1343,55
MAI	4,97	2141	1710	35%	1111	1391,65
JUN	4,91	2359	1689	10%	1520	2123,1
JUL	5,24	1808	1803	35%	1172	1174,875
AGO	5,97	1808	2054	35%	1335	1174,875
SET	6,49	1808	2233	35%	1451	1174,875
OUT	6,40	1808	2202	35%	1431	1174,875
NOV	6,31	1808	2171	35%	1411	1174,875
DEZ	5,70	1808	1961	10%	1765	1626,75

Fonte: Próprio Autor

Tabela 61 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Osmar de Oliveira

Fontes.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	23097
Orçamento total	R\$ 64.221,82
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 62 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Osmar de Oliveira Fontes.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	23096,66	0,74	17177,68	- 47.044,14
2	22807,96	0,82	18659,26	- 28.384,88
3	22522,86	0,90	20268,62	- 8.116,27
4	22241,32	0,99	22016,79	13.900,52
5	21963,30	1,09	23915,73	10.015,21
6	21688,76	1,20	25978,47	35.993,68
7	21417,65	1,32	28219,11	64.212,79
8	21149,93	1,45	30653,01	94.865,79
9	20885,56	1,59	33296,83	128.162,62
10	20624,49	1,75	36168,68	164.331,30
11	20366,68	1,93	39288,23	203.619,53
12	20112,10	2,12	42676,84	246.296,37
13	19860,70	2,33	46357,72	292.654,09
14	19612,44	2,57	50356,07	343.010,15
15	19367,28	2,82	54699,28	397.709,43
16	19125,19	3,11	59417,09	457.126,53
17	18886,13	3,42	64541,82	521.668,34
18	18650,05	3,76	70108,55	591.776,89
19	18416,93	4,14	76155,41	667.932,30
20	18186,71	4,55	82723,81	750.656,12
21	17959,38	5,00	89858,74	840.514,86
22	17734,89	5,50	97609,06	938.123,92
23	17513,20	6,05	106027,84	1.044.151,76
24	17294,29	6,66	115172,74	1.159.324,51
25	17078,11	7,33	125106,39	1.284.430,90

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

- **Escola de Ensino Fundamental Padre Antônio Correia de Sá**

Tabela 63 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da  
EEF. Padre Antônio Correia de Sá.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	74	R\$ 86.506,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	19	R\$ 37.981,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	19	R\$ 15.048,38
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	40	R\$ 151,60
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	40	R\$ 151,60
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 40A Curva B	R\$ 13,92	5	R\$ 69,60
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	5	R\$ 394,95
Custo de Instalação	R\$ 56.343,59	1	R\$ 56.343,59
		Total	R\$ 197.202,57

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 64 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF.  
Padre Antônio Correia de Sá.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	74	R\$ 86.506,00
Inversor Solar Solis-50K-HV-5G	R\$ 26.797,94	1	R\$ 26.797,94
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	19	R\$ 15.048,38
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	40	R\$ 151,60
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	40	R\$ 151,60
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Azul	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Verde	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Tripolar Classe C 80A	R\$ 256,95	1	R\$ 256,95
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 52.088,50	1	R\$ 52.088,50
		Total	R\$ 182.309,74

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 65 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Padre Antônio Correia de Sá.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	4460	5377	10%	4840	4014
FEV	5,39	3325	5489	35%	3568	2161,25
MAR	5,47	4945	5571	35%	3621	3214,25
ABR	5,00	5770	5092	35%	3310	3750,5
MAI	4,97	6058	5062	35%	3290	3937,7
JUN	4,91	6176	5000	10%	4500	5558,4
JUL	5,24	4181	5336	35%	3469	2717,65
AGO	5,97	2733	6080	35%	3952	1776,45
SET	6,49	6130	6610	35%	4296	3984,5
OUT	6,40	6397	6518	35%	4237	4158,05
NOV	6,31	5538	6426	35%	4177	3599,7
DEZ	5,70	6381	5805	10%	5224	5742,9

Fonte: Próprio Autor

Tabela 66 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Padre Antônio  
Correia de Sá.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	68366
Orçamento total	R\$ 182.309,74
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 67 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Padre Antônio Correia de Sá

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	68366,13	0,74	50845,94	- 131.463,80
2	67511,55	0,82	55231,40	- 76.232,40
3	66667,65	0,90	59995,11	- 16.237,29
4	65834,31	0,99	65169,69	48.932,40
5	65011,38	1,09	70790,57	21.858,17
6	64198,74	1,20	76896,26	98.754,43
7	63396,25	1,32	83528,56	182.282,99
8	62603,80	1,45	90732,90	273.015,89
9	61821,25	1,59	98558,61	371.574,51
10	61048,49	1,75	107059,29	478.633,80
11	60285,38	1,93	116293,16	594.926,96
12	59531,81	2,12	126323,44	721.250,40
13	58787,67	2,33	137218,84	858.469,24
14	58052,82	2,57	149053,96	1.007.523,20
15	57327,16	2,82	161909,87	1.169.433,07
16	56610,57	3,11	175874,59	1.345.307,66
17	55902,94	3,42	191043,78	1.536.351,44
18	55204,15	3,76	207521,30	1.743.872,74
19	54514,10	4,14	225420,02	1.969.292,76
20	53832,67	4,55	244862,49	2.214.155,25
21	53159,76	5,00	265981,88	2.480.137,13
22	52495,27	5,50	288922,82	2.769.059,95
23	51839,08	6,05	313842,41	3.082.902,36
24	51191,09	6,66	340911,32	3.423.813,69
25	50551,20	7,33	370314,92	3.794.128,61

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.

- **Escola de Ensino Fundamental Padre Paulo de Almeida Medeiros**

Tabela 68 – Orçamento do sistema completo utilizando microinversores no projeto da  
EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	77	R\$ 90.013,00
Microinversor Hoymiles HMS 2000	R\$ 1.999,00	20	R\$ 39.980,00
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	20	R\$ 15.840,40
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	40	R\$ 151,60
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	40	R\$ 151,60
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Preto	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Azul	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Cabo 1KV 6,00mm <sup>2</sup> EPR/HEPR 90° Flexível Verde	R\$ 5,09	15	R\$ 76,35
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Unipolar 40A Curva B	R\$ 13,92	5	R\$ 69,60
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	5	R\$ 394,95
Custo de Instalação	R\$ 58.862,80	1	R\$ 58.862,80
		<b>Total</b>	<b>R\$ 206.019,80</b>

Fonte: One Shop Solar (2023).

Tabela 69 – Orçamento do sistema completo utilizando inversor no projeto da EEF.  
Padre Paulo de Almeida Medeiros.

Itens	Preço Unitário	Unidades	Total Unitário
Painel Solar 540W Canadian - Mono	R\$ 1.169,00	77	R\$ 90.013,00
Inversor Solar Solis-50K-HV-5G	R\$ 26.797,94	1	R\$ 26.797,94
Estrutura de fixação para sistema FV:	R\$ 792,02	20	R\$ 15.840,40
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	40	R\$ 151,60
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	R\$ 3,79	40	R\$ 151,60
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Preto	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Azul	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Cabo Epr Flex 0,6/1kv 2 X 16mm <sup>2</sup> Cl5 Verde	R\$ 14,90	10	R\$ 149,00
Multi-Contact Conector MC4 Macho-Femea (Par)	R\$ 32,68	10	R\$ 326,80
Disjuntor Tripolar Classe C 80A	R\$ 256,95	1	R\$ 256,95
Protetor De Surto Easy9 1P 20ka Classe II Schneider	R\$ 78,99	3	R\$ 236,97
Custo de Instalação	R\$ 53.808,10	1	R\$ 53.808,10
		<b>Total</b>	<b>R\$ 188.328,36</b>

Fonte: One Shop Solar (2023).



Tabela 70 – Energia obtida e injetada registrada pelo sistema no projeto da EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros.

<b>MÊS</b>	<b>HSP</b>	<b>CONSUMO (kWh)</b>	<b>GERAÇÃO (kWh)</b>	<b>SIMULTANEIDADE</b>	<b>ENERGIA INJETADA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>
JAN	5,28	2826	5595	10%	5036	2543,4
FEV	5,39	5400	5712	35%	3713	3510
MAR	5,47	6795	5797	35%	3768	4416,75
ABR	5,00	5914	5299	35%	3444	3844,1
MAI	4,97	5268	5267	35%	3423	3424,2
JUN	4,91	5844	5203	10%	4683	5259,6
JUL	5,24	5341	5553	35%	3609	3471,8
AGO	5,97	5341	6326	35%	4112	3471,8
SET	6,49	5341	6877	35%	4470	3471,8
OUT	6,40	5341	6782	35%	4408	3471,8
NOV	6,31	5341	6687	35%	4346	3471,8
DEZ	5,70	5341	6040	10%	5436	4807,05

Fonte: Próprio Autor

Tabela 71 – Dados adotados no estudo financeiro no projeto da EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros.

Geração inicial anual com perdas (kWh)	71138
Orçamento total	R\$ 188.328,36
Depreciação da geração	1,25%
Preço do kWh (R\$)	0,74373
Inflação energética ao ano	10%

Fonte: Enel Distribuidora (2023).

Tabela 72 – Fluxos financeiros do projeto da EEF. Padre Paulo de Almeida Medeiros.

Ano	Geração (kWh)	Projeção do preço (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	71137,72	0,74	52907,26	- 135.421,10
2	70248,50	0,82	57470,51	- 77.950,59
3	69370,40	0,90	62427,34	- 15.523,25
4	68503,27	0,99	67811,70	52.288,45
5	67646,98	1,09	73660,46	21.372,01
6	66801,39	1,20	80013,68	101.385,68
7	65966,37	1,32	86914,85	188.300,54
8	65141,79	1,45	94411,26	282.711,80
9	64327,52	1,59	102554,23	385.266,03
10	63523,43	1,75	111399,53	496.665,57
11	62729,38	1,93	121007,74	617.673,31
12	61945,27	2,12	131444,66	749.117,97
13	61170,95	2,33	142781,76	891.899,74
14	60406,31	2,57	155096,69	1.046.996,43
15	59651,23	2,82	168473,78	1.215.470,21
16	58905,59	3,11	183004,64	1.398.474,85
17	58169,27	3,42	198788,80	1.597.263,65
18	57442,16	3,76	215934,33	1.813.197,98
19	56724,13	4,14	234558,66	2.047.756,64
20	56015,08	4,55	254789,35	2.302.545,99
21	55314,89	5,00	276764,93	2.579.310,93
22	54623,45	5,50	300635,91	2.879.946,83
23	53940,66	6,05	326565,75	3.206.512,59
24	53266,40	6,66	354732,05	3.561.244,64
25	52600,57	7,33	385327,69	3.946.572,32

Fonte: Adaptada de OLIVEIRA, Luiz Henrique de. 2018, p. 51.