
AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA ESTAÇÃO DE TRENS METROPOLITANOS VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA



HEBERT FELIPE CARDOSO ALLECHANDRE

CURRÍCULO ACADÊMICO E PROFISSIONAL

ACADÊMICO

- 2016: Bacharelado em Engenharia Elétrica – **Universidade São Judas Tadeu**
- 2025: Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética - **USP**

PROFISSIONAL

- 2011 - 2014: Técnico em Manutenção Eletrônica de Radares – **Engebras S/A**
 - 2014 - 08/2025: Técnico de Manutenção, Projetos e Obras - **CPTM**
 - 09/2025 - Atual: Analista de Integração e Interface Sênior – **TIC Trens**
-

TÓPICOS

INTRODUÇÃO

Objeto de Estudo

Características da Estação

Objetivo da Avaliação Preliminar

Consumo de Energia da Estação

VIABILIDADE TÉCNICA

Dados Solarimétricos

Verificação de Sombreamento

Orientação dos Painéis Fotovoltaicos

Painel Fotovoltaico

Número de Painéis

Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Inversor de Strings

Faixa de Utilização

Verificação da Readequação da Entrada de Energia

Consumo X Geração

VIABILIDADE ECONÔMICA

Custos de Implantação do Sistema Fotovoltaico

Custos Impostos e Reajuste Tarifário

Custos e Dados de Operação do Sistema

Cálculo do Fluxo de Caixa e Retorno Financeiro

Resultados Econômicos

CONCLUSÕES

INTRODUÇÃO

OBJETO DE ESTUDO



Estação Suzano

CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO



Localizada na cidade de Suzano, região metropolitana de São Paulo;



Pertence a linha 11 Coral da CPTM;



Fluxo aproximado de 35 mil passageiros por dia (2024);



5 elevadores, sendo 2 elevadores dentro da estação e 3 elevadores de acesso à estação;



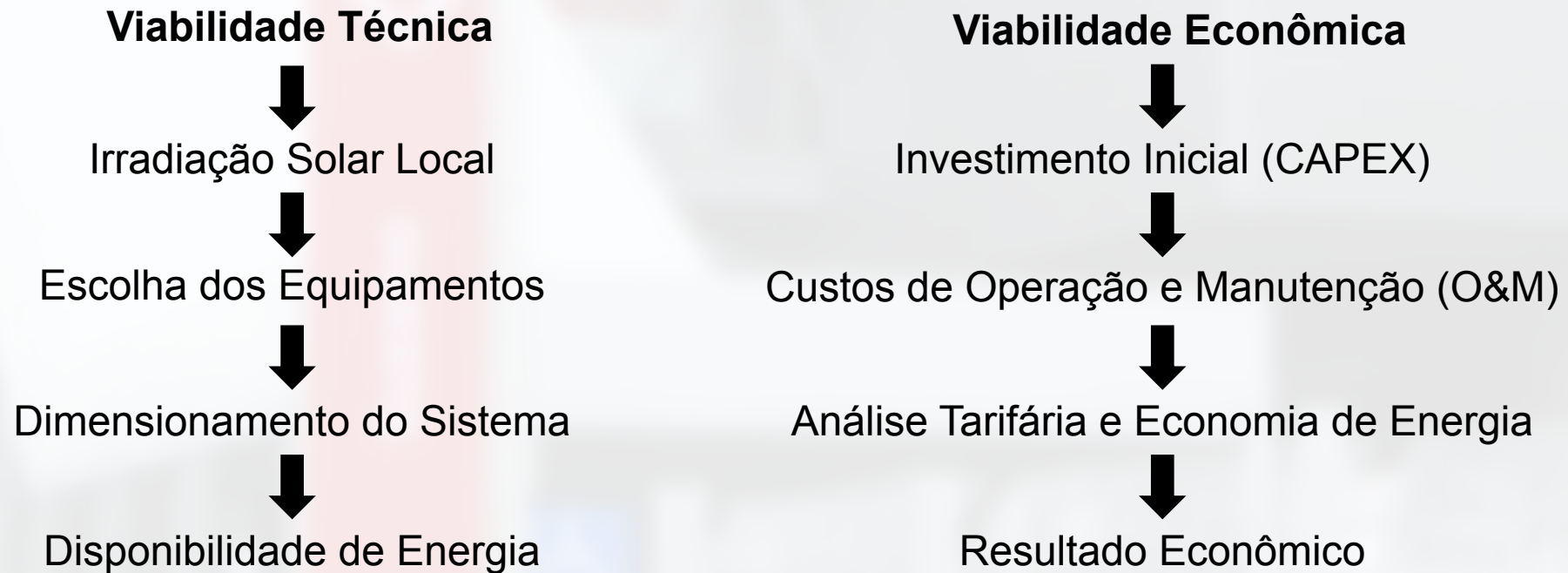
14 escadas rolantes sendo, 8 escadas rolantes dentro da estação e 6 escadas de acesso à estação;



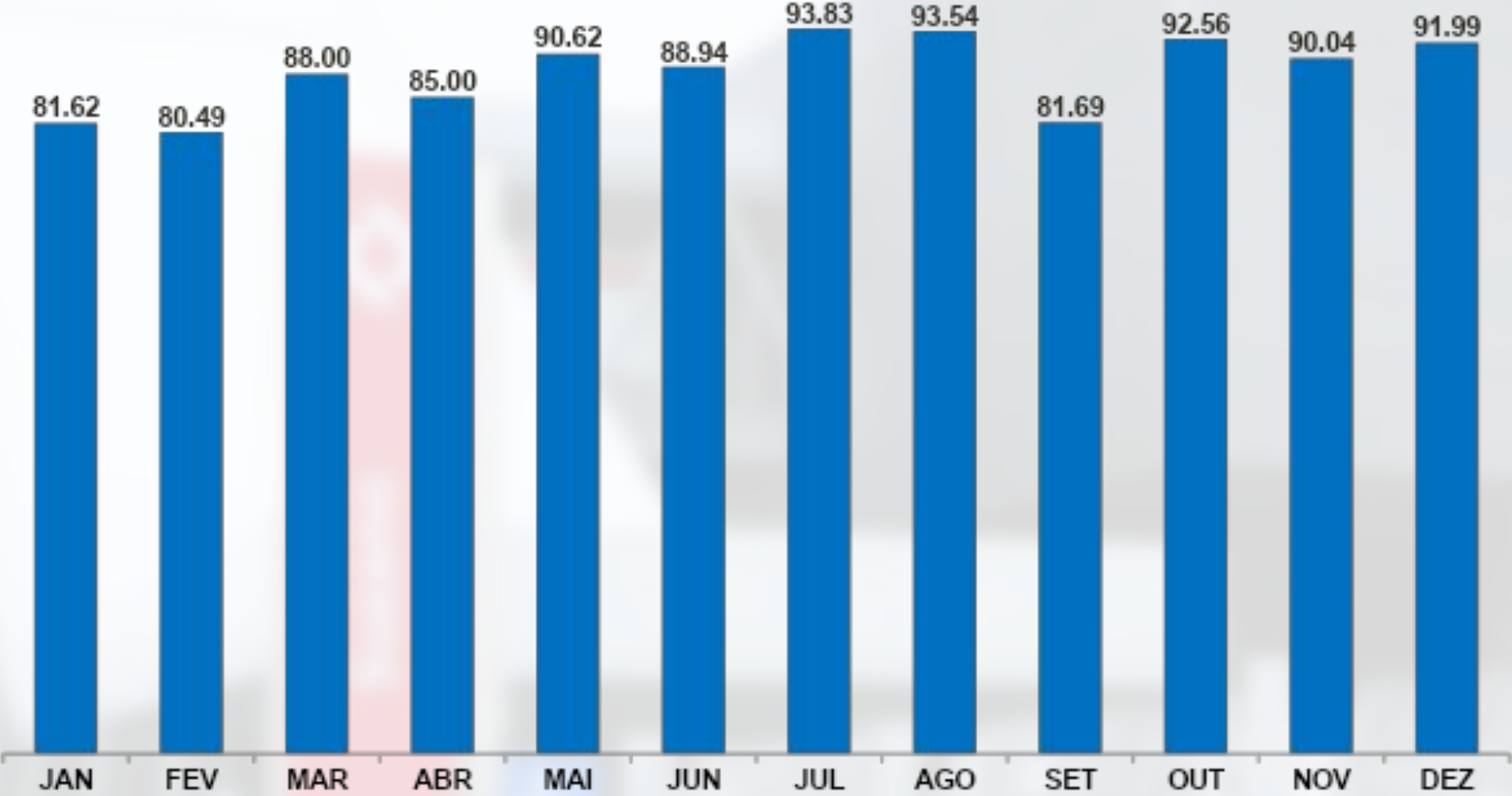
Terminal do ônibus integrado;

OBJETIVO DA AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Através da análise de viabilidade técnica e econômica, o estudo visa a oportunidade de se instalar um sistema fotovoltaico e consequentemente reduzir os custos operacionais com energia elétrica.



Consumo de Energia Elétrica da Estação Suzano - 2024 [MWh]



CONSUMO MÉDIO MENSAL DE 88,19 MWh

VIABILIDADE TÉCNICA

DADOS SOLARIMÉTRICOS

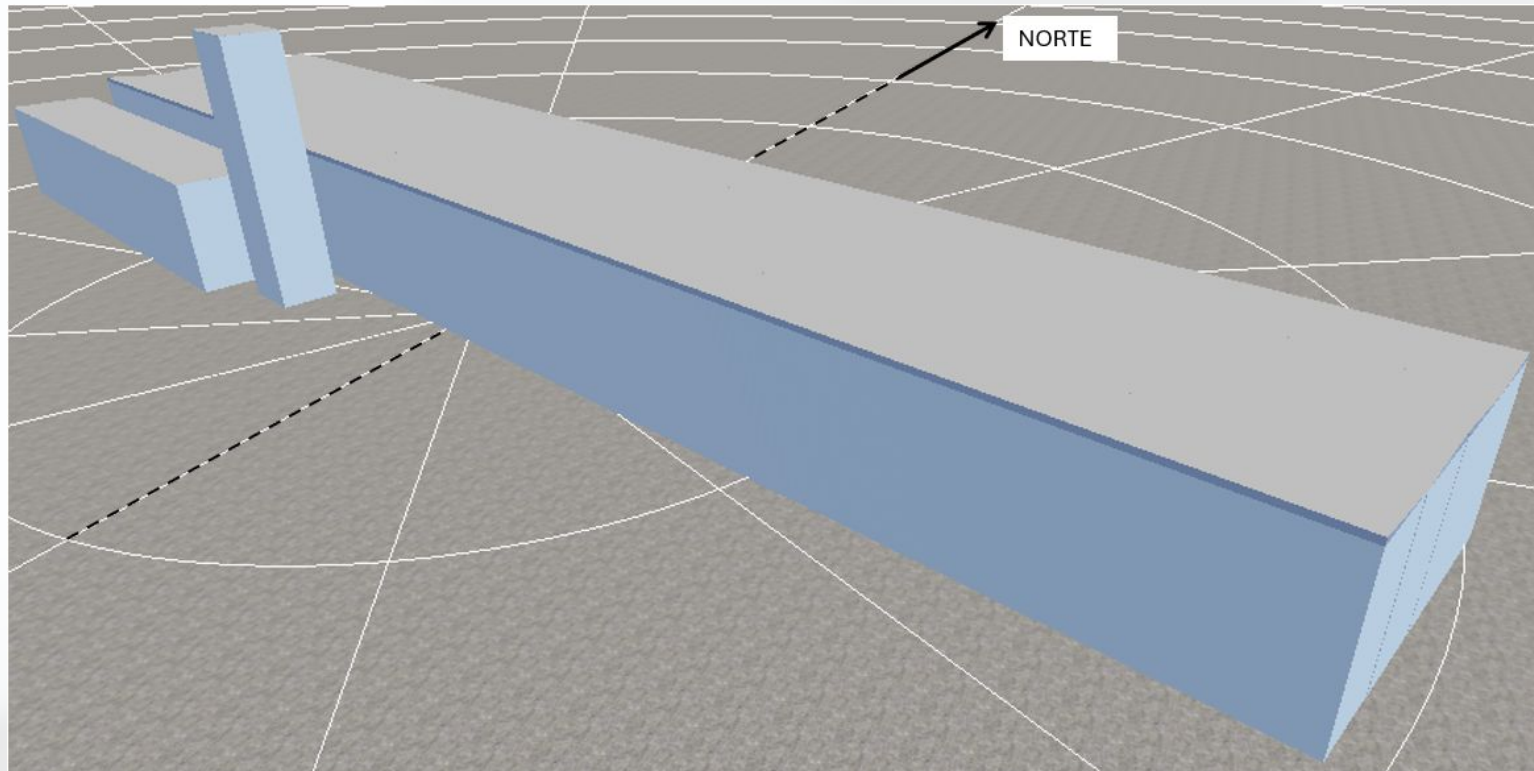
Latitude (ϕ) = $-23^{\circ} 32'$ S e Longitude (L)= $46^{\circ}18'$ W

Estação: Itaquaquecetuba
Município: Itaquaquecetuba , SP - BRASIL
Latitude: $23,5^{\circ}$ S
Longitude: $46,349^{\circ}$ O
Distância do ponto de ref. ($23,534167^{\circ}$ S; $46,308056^{\circ}$ O) :5,7 km

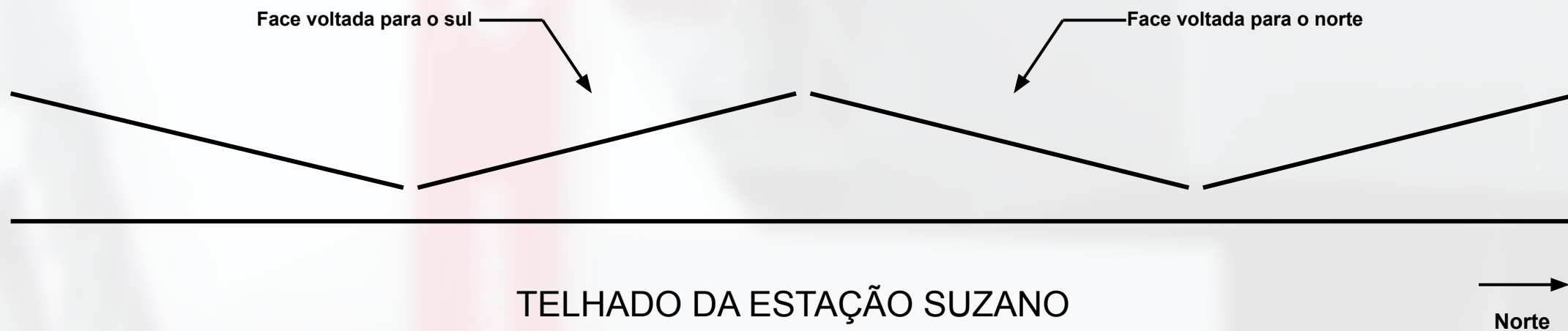
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	5,29	5,50	4,64	4,12	3,35	3,11	3,23	4,11	4,20	4,72	5,11	5,66	4,42	2,55
✓	Ângulo igual a latitude	24° N	4,78	5,24	4,77	4,66	4,13	4,04	4,10	4,87	4,46	4,60	4,68	5,03	4,61	1,20
✓	Maior média anual	20° N	4,90	5,33	4,79	4,61	4,03	3,92	3,99	4,78	4,46	4,66	4,79	5,17	4,62	1,41
✓	Maior mínimo mensal	35° N	4,38	4,91	4,63	4,72	4,31	4,29	4,32	5,01	4,40	4,37	4,32	4,56	4,52	,72

Dados:
CRESESB

VERIFICAÇÃO DE SOMBREAMENTO



ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS



PAINEL FOTOVOLTAICO

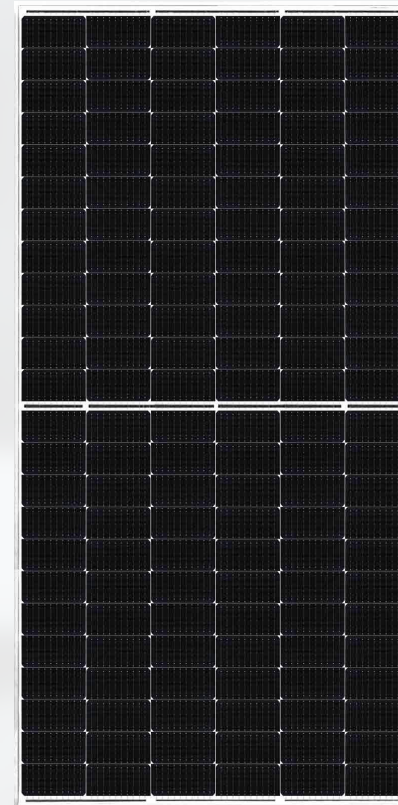
Fabricante: Canadian Solar

Modelo: CS6W-545-MS

Potência Nominal: 545 W

Comprimento: 2,261 m

Largura: 1,134 m



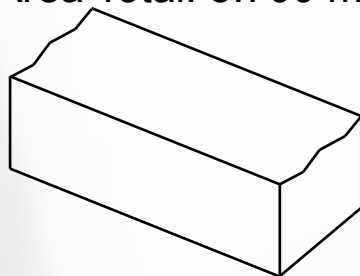
NÚMERO DE PAINÉIS

Dimensões do Telhado

Comprimento: 190 m

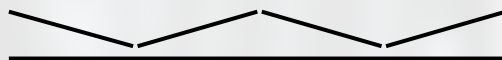
Largura: 30 m

Área Total: 5.700 m²



Cada Face: 7,5 m

Área da Face: 1.425 m²



Área de cada PFV para a Face Norte = 4,46 m²

Quantidade de PFV para cada Face Norte = $1.425 \div 4,46 \cong 320$ PFVs

Área do Pannel para a Face Sul = 5,35 m²

Quantidade de PFV para cada Face Sul = $1.425 \div 5,35 \cong 266$ PFVs

Quantidade Total de PFVs = 320+320+266+266

$\therefore$ A quantidade Total é de 1.172 Painéis Fotovoltaicos

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

4,62 kWh/m ² .dia
1000
24,8
41 °C
545 W
1000
-0,034%
25 °C
1172
75%
0,985
0,99



4,62 horas
2,213 MWh/dia
48,4 °C
501,59 W
83,6%
2,247 MWh/dia
638,74 kWp
510,99 kW

INVERSOR DE STRINGS

Fabricante: Canadian Solar

Modelo: 100K-T4001A-E

Potência Nominal: 100 kW

Tensão por MPPT: 200 – 1000 V_{DC}

Nº de MPPT: 6

Nº Máx de Strings: 12

Máx Corrente de Entrada: 40 A



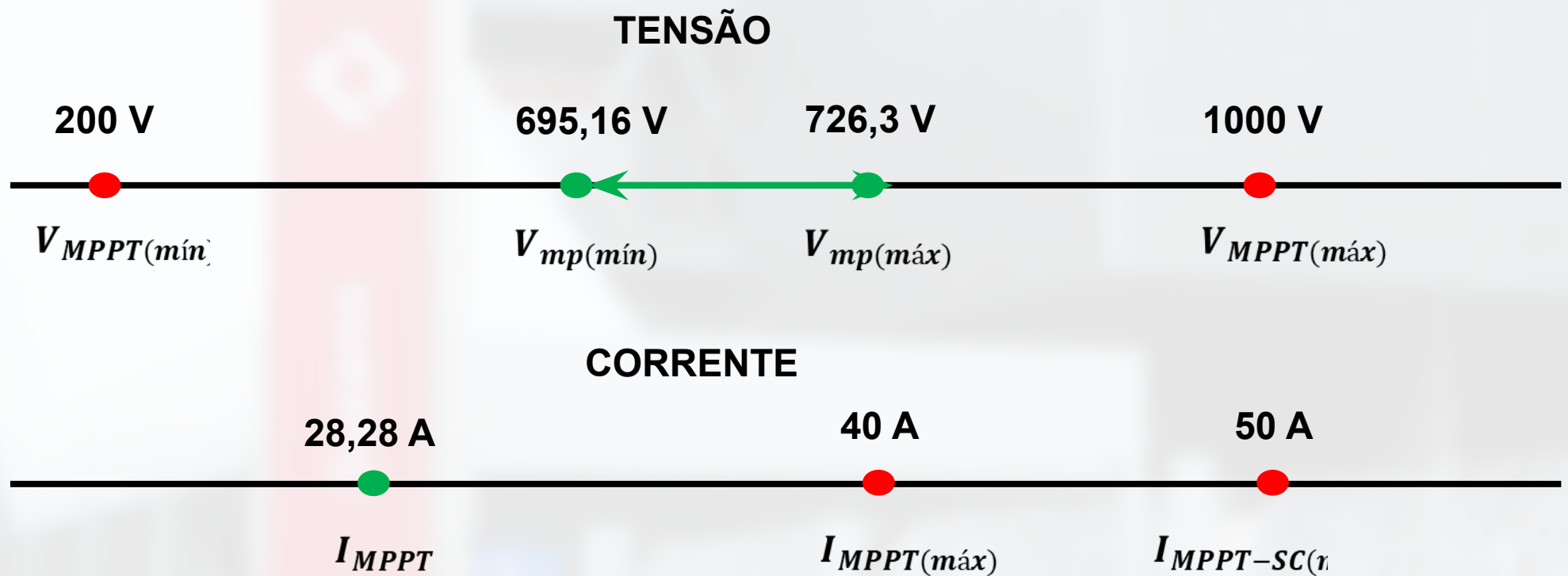
DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

51,6 °C
45,98 V
13 °C
50,94 V
14,14 A
28,28 A



5 painéis
19 painéis
2

FAIXA DE UTILIZAÇÃO



DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

1172 Painéis Fotovoltaicos

5 Inversores

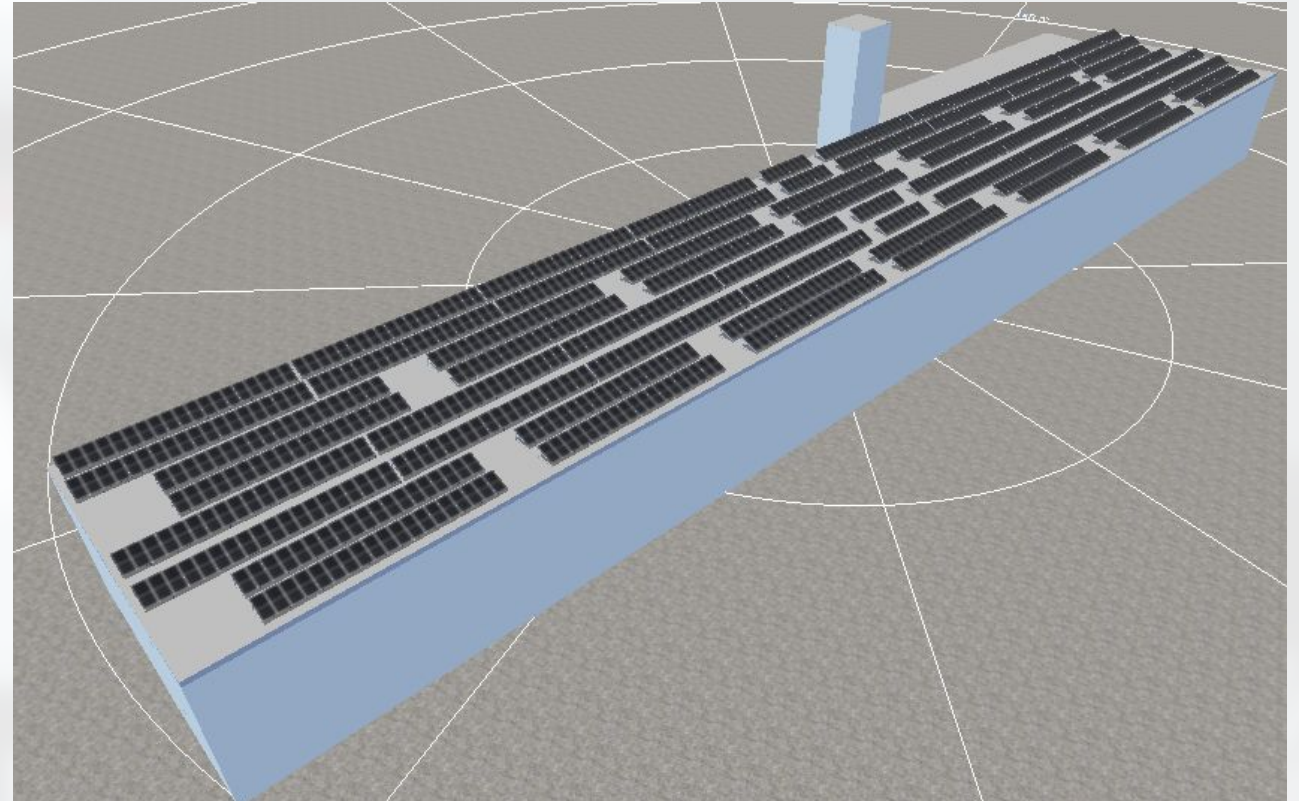
19 Painéis Fotovoltaicos por strings

2 Strings por MPPT

6 MPPT por Inversor

12 Strings por Inversor

228 Painéis Fotovoltaicos por Inversor



VERIFICAÇÃO DA READEQUAÇÃO DA ENTRADA DE ENERGIA

$$S_{in} = 609,7 \text{ kVA}$$

Considerando um F.P =
0,92

$$S_{in(Inv)} = 555,426 \text{ kVA}$$

$$S_{in(cargas)} = 137,08 \text{ kVA}$$

Considerando o maior consumo registrado
(julho/2024)

$$S_{in(total)} = S_{in(Inv)} + S_{in(cargas)}$$

$$S_{in(total)} = 692,51 \text{ kVA}$$

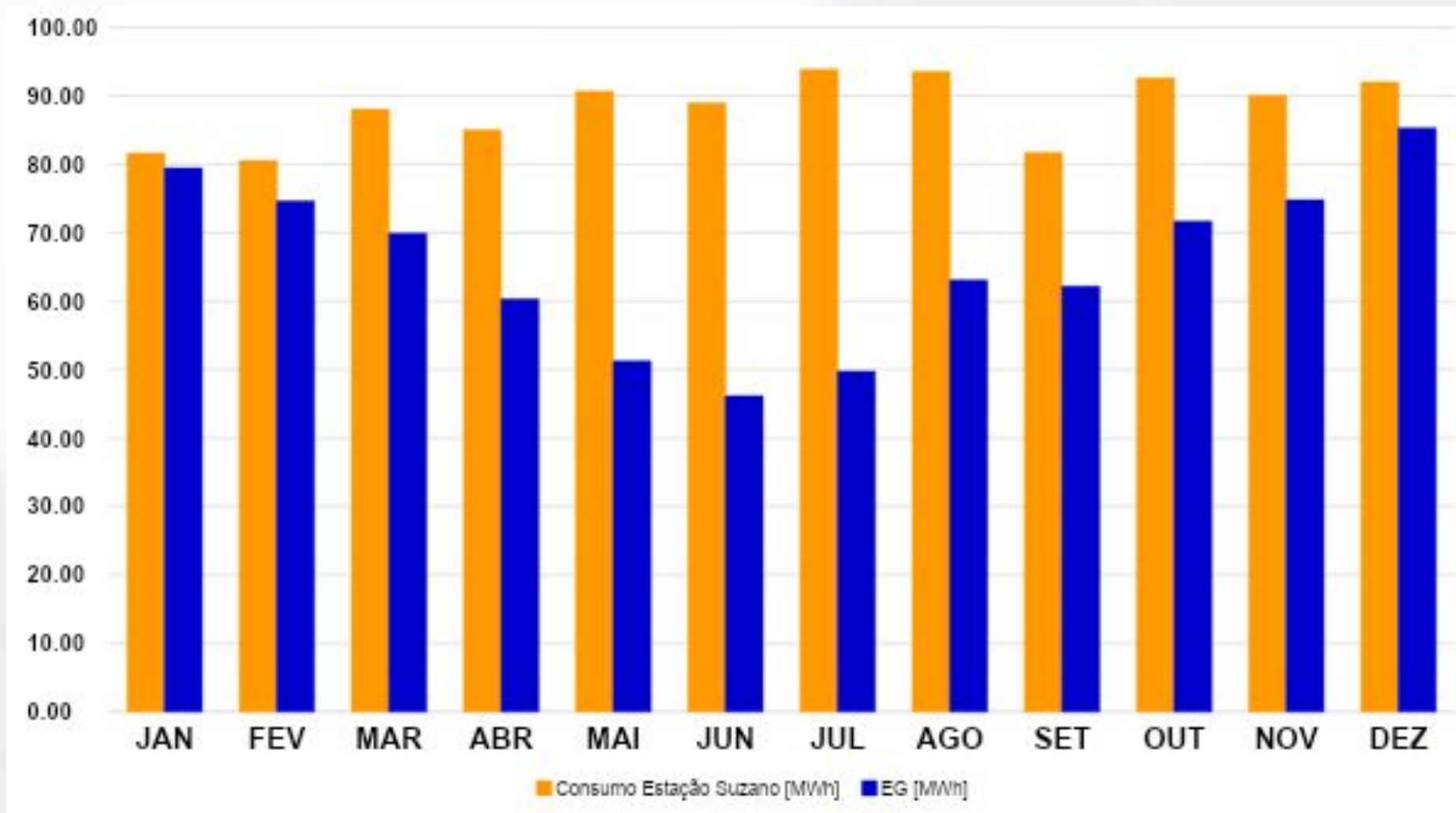
$$S_{in(total)} > S_{in}$$

∴ *Há necessidade de readequação da entrada de energia*

CONSUMO X GERAÇÃO

JAN	81,62	79,41	97,29%
FEV	80,49	74,57	92,64%
MAR	88,00	69,90	79,44%
ABR	85,00	60,29	70,93%
MAI	90,62	51,21	56,51%
JUN	88,94	46,17	51,91%
JUL	93,83	49,73	53,00%
AGO	93,54	63,05	67,41%
SET	81,69	62,13	76,06%
OUT	92,56	71,63	77,39%
NOV	90,04	74,77	83,05%
DEZ	91,99	85,27	92,70%
TOTAL	1.058,32	788,14	74,86%

CONSUMO X GERAÇÃO



VIABILIDADE ECONÔMICA

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

READEQUAÇÃO DA ENTRADA DE ENERGIA: R\$ 250.000,00

*CUSTO DO kWp: R\$ 2,21

POTÊNCIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO: 638,74 kWp

**CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO: R\$ 1.411.615,40

*Custo obtido através do estudo estratégico da Greener do mercado fotovoltaico;

**Composto por suportes, inversores, módulos FV, montagem, cabeamento, proteção e serviço de integração

CUSTOS, IMPOSTOS E REAJUSTE TARIFÁRIO

TARIFAS R\$/kWh	A4 PONTA	A4 FORA DE PONTA
	MÉDIA TENSÃO	
TE	0,42878	0,26577
TUSD	1,28492	0,09899
A4 Demanda de Geração	4,09	
IMPOSTOS (%)	PIS/COFINS	ICMS
	4	18

Tarifação EDP São
Paulo

100% TUSD FIO B + 40% TUSD FIO A + 100% TUSD
P&D + 100% TE P&D + 100% TUSD TFSEE

ANO DE VIGÊNCIA	REAJUSTE
2018	17,84%
2019	0 %
2020	6,52 %
2021	4,41 %
2022	20,04 %
2023	6,28 %
2024	-5,31 %
Média	8,30 %

CUSTOS E DADOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

TEMPO DE VIDA ÚTIL DO SISTEMA: 25 ANOS

*CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M) E SEGURO DAS PLACAS: 1,5%
a.a

**RETROFIT DOS INVERSORES (12° ANO): R\$ 261.879,86

DEGRADAÇÃO DOS MÓDULOS (1° ANO): 2%

DEGRADAÇÃO DOS MÓDULOS (DEMAIS ANOS): 0,55%

*Sob o valor do CAPEX;

**Valor corrigido ao longo do
tempo;

CÁLCULO DO FLUXO DE CAIXA E RETORNO FINANCEIRO

FLUXO DE CAIXA $_{(ano\ n)}$ = ECONOMIA FINANCEIRA – CUSTOS O&M E SEGURO – CUSTO DE DEMANDA

RETORNO FINANCEIRO $_{(ano\ n)}$ = FLUXO DE CAIXA $_{(ano\ n)}$ + RETORNO FINANCEIRO $_{(ano\ n-1)}$

FLUXO DE CAIXA: SALDO FINANCEIRO DO ANO EM ANÁLISE

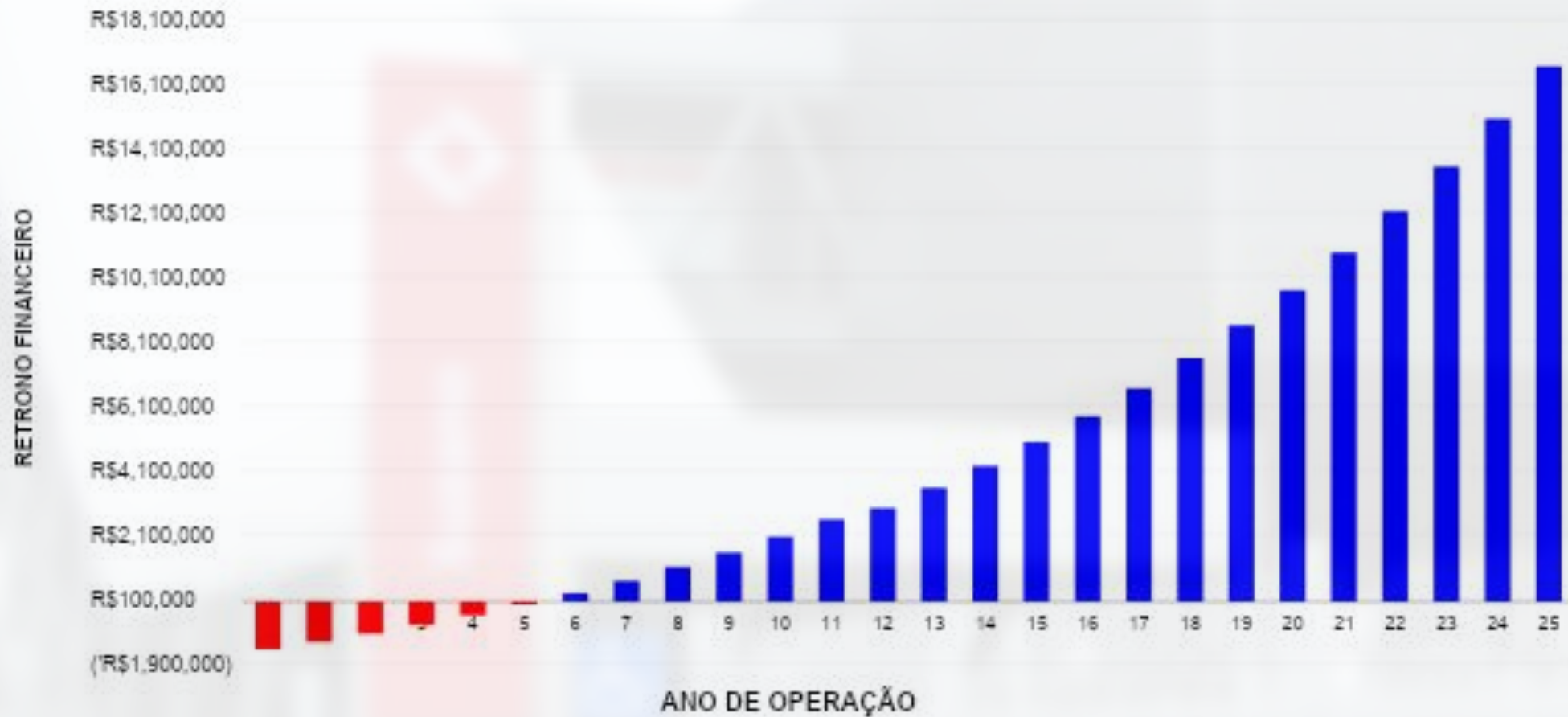
RETORNO FINANCEIRO: VALOR ACUMULADO AO LONGO DO TEMPO

ECONOMIA FINANCEIRA: VALOR MONETÁRIO RESULTANTE DA GERAÇÃO DE ENERGIA

CUSTOS O&M E SEGURO: CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA E SEGURO DOS PANÉIS

CUSTO DE DEMANDA: CUSTO COBRADO OBRIGATORIAMENTE DE ACORDO COM A POTÊNCIA ENTREGUE PELOS INVERSORES

RESULTADOS ECONÔMICOS



RESULTADOS ECONÔMICOS



RESULTADOS ECONÔMICOS

PAYBACK SIMPLES

RETORNO DO INVESTIMENTO: 6 ANOS E 3 MESES

PAYBACK DESCONTADO

RETORNO DO INVESTIMENTO: 7 ANOS E 2 MESES

VALOR PRESENTE LÍQUIDO: **R\$ 5.488.769,79**

TAXA DE DESCONTO: 6,15%

TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR): **17%**

TAXA MÍNIMA ATRATIVA: **10,88%**

TIR > TMA 

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

DO PONTO DE VISTA TÉCNICO:

- Potência do sistema é de 638,74 kWp, disponibilizando anualmente uma energia 824,68 MWh/ano;
- A energia gerada atende aproximadamente 89% do consumo anual da estação;
- Torna-se viável a implantação do projeto devido ao alto atendimento a demanda de consumo;

DO PONTO DE VISTA ECONÔMICO:

- Obtido um Payback relativamente rápido, já no segundo ano de operação do sistema fotovoltaico;
 - Economia com a fatura de energia elétrica de aproximadamente R\$ 7.1 milhões, no qual seria investido aproximadamente R\$ 1,66 milhão.
 - O projeto torna-se viável uma vez que, a Taxa Interna de Retorno (TIR) é maior que a Taxa Mínima Atrativa (TMA) e o Valor Presente Líquido (VPL) é positivo.
-

CONCLUSÕES

DO PONTO DE CORPORATIVO E AMBIENTAL:

- Redução dos Gases do Efeito Estufa com as operações da companhia;
 - Incentivo ao uso de Energias Renováveis;
 - Atendimento as metas ambientais do ESG (*Enviroment, Social & Governance*) da companhia;
 - Colaboração na transição da matriz energética brasileira.
-



OBRIGADO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSolar – **Matriz Elétrica Brasileira 2024**. <absolar.org.br/mercado/infografico/>

CPTM – **Contexto da malha ferroviária**. <cptm.sp.gov.br/a-companhia/Pages/a-companhia.aspx >

KLEIN, S. A. **Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces**. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706, U.S.A, 1976. Solar Energy, vol 19, pp. 325-329. Pergamon Press 1977.

Hukseflux Brasil – **Piranômetro**. <huksefluxbrasil.com.br/produtos/piranometro-digital-sr20-d2-modbus>

Portal Solar – **Conceito de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**.
<portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SIMÕES MOREIRA, J. R. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2ª ed.
Rio de Janeiro: LTC, 2021.

Eletrônica de Potência – **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede: Imagem do esquemático.**

<eletronicadepotencia.com/sistemas-fotovoltaicos>

Canadian Solar – **Datasheet do Módulo Fotovoltaico CS6W-545MS**

<www.csisolar.com/br/downloads?downid=17577>

Canadian Solar – **Datasheet do Inversor de Strings CSI-100K-T4001A-E**

<www.csisolar.com/br/75-100-kw/>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Meteoblue – **Dados Climatológicos para a Cidade de Suzano/SP.** <www.meteoblue.com >

Weather Spark – **Dados Climatológicos para a Cidade de Suzano/SP.** <pt.weatherspark.com >

Greener – **Estudo Estratégico de Geração Distribuída: Mercado Fotovoltaico.**

<greener.com.br/estudos>

Agência Nacional de Energia Elétrica – **Tarifas de energia: - Resolução Homologatória N° 3.408**, de 15 de outubro de 2024

Instituto Assaf – Indicadores Financeiros <institutoassaf.com.br/rendimentos-financeiros/>

Universidade de São Paulo (USP): **Conteúdo da Disciplina. PECE-USP: EGR 001 – Análise de Viabilidade Econômica de Projetos de Energia – 2023.**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Universidade de São Paulo (USP): **Conteúdo da Disciplina. PECE-USP: EGR 006 – Energia Solar I – 2023.**

Universidade de São Paulo (USP): **Conteúdo da Disciplina. PECE-USP: EGR 007 – Energia Solar II – 2023**

Universidade de São Paulo (USP): **Conteúdo da Disciplina. PECE-USP: EGR 011 – Regulação da Geração Distribuída – 2023.**
