



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

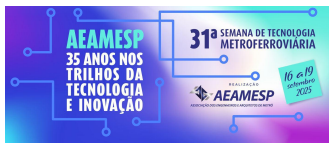
CATEGORIA 2

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR **FOTOVOLTAICA EM UMA ESTAÇÃO DE TRENS METROPOLITANOS** **VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA¹**

SOBRE O AUTOR

Hebert Felipe Cardoso Allechandre - Bacharel em Engenharia Elétrica formado na Universidade São Judas Tadeu e Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética pela USP. Atua na CPTM há 10 anos como Técnico de manutenção, projetos e obras. Em 2014, ingressou na CPTM trabalhando na preventiva de manutenção de trens no Abrigo Engenheiro São Paulo, em motores de tração inversores e conversores estáticos. Após estes 2 anos, foi transferido para o setor de Engenharia de Manutenção de Material Rodante (DOTM), onde participou do comissionamento de trens, participação direta nas reuniões e emissões de relatórios de confiabilidade das frotas 8500, 9500 e 2500, acompanhamento de sobressalentes contratuais, estudos sobre falhas de baterias ferroviárias nos trens da CPTM, acompanhamento de homologação de lâminas de pantógrafo, testes com

¹ Artigo finalista do 12º Prêmio Tecnologia & Desenvolvimento Metroferroviários



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

instrumentação para aferição de desempenho de tração, frenagem e funcionalidade do ATC em trens e locomotivas.



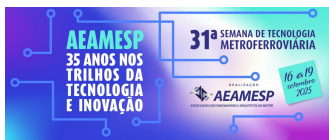
CATEGORIA 2

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

INTRODUÇÃO

Transição Energética

A transição energética é um processo que visa a mudança do atual modelo de produção e consumo de energia, baseado em fontes não-renováveis, para um sistema mais sustentável e limpo. Este movimento é impulsionado pela crescente preocupação com as mudanças



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Com isto, a um grande desafio para promover o desenvolvimento econômico e social com emissões de carbono reduzidas e uma maior participação de fontes limpas e renováveis envolvendo tanto a geração de energia e consumo, como o reaproveitamento dela. As energias renováveis desempenham um papel fundamental na transição energética, oferecendo fontes limpas e sustentáveis de energia. A energia solar, eólica, hidrelétrica e biomassa são algumas das principais formas de energia renovável em destaque, contribuindo significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, as energias renováveis também promovem a diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Essa transição é impulsionada por preocupações com a segurança energética, a sustentabilidade ambiental e a busca por soluções energéticas mais acessíveis.

Nos últimos anos, a transição energética ganhou destaque global devido aos desafios relacionados às mudanças climáticas e à necessidade de reduzir a dependência de recursos finitos e poluentes. Países e organizações têm adotado políticas e investido em tecnologias que promovem o uso de fontes renováveis, ao mesmo tempo em que buscam melhorar a eficiência energética e promover o uso responsável dos recursos naturais. Com este avanço tecnológico e a diminuição dos custos, as energias renováveis estão cada vez mais integradas nos sistemas de geração de energia, desempenhando um papel crucial na construção de um futuro energético mais sustentável.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Matriz Elétrica Brasileira

A matriz elétrica mostrada na figura 1, refere-se ao conjunto de fontes e tecnologias usadas para a geração de eletricidade no Brasil. Quando comparado com a matriz energética, ela é ainda mais renovável. As principais fontes são hídrica, solar fotovoltaica e eólica.

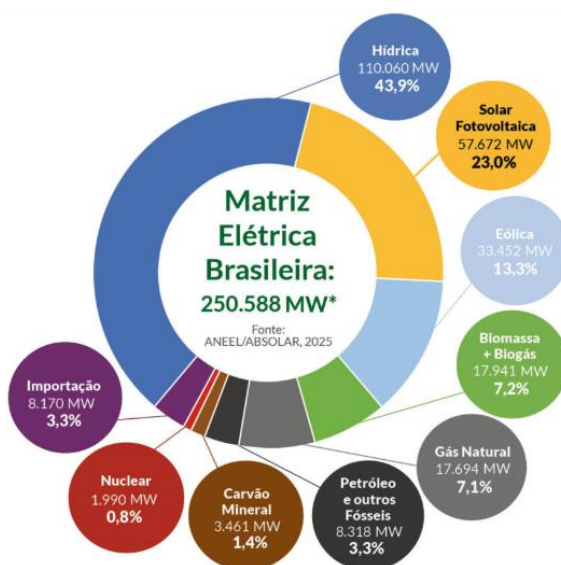
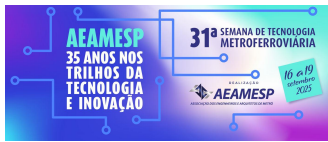


Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira. Fonte: ABSolar, 2025

Energia Solar Fotovoltaica

Devido ao crescimento da população mundial, avanços tecnológicos, novos equipamentos e processos industriais inovadores, entre outros fatores, a demanda por energia elétrica tem aumentado significativamente. Em resposta a essa necessidade e em busca de fontes limpas e renováveis, a energia solar fotovoltaica tem emergido como uma das opções que mais cresce tanto no Brasil quanto globalmente. Dados apontam que em 2023, a energia solar fotovoltaica foi responsável por $\frac{3}{4}$ (três-quartos) do crescimento da capacidade instalada de energia renovável em todo o mundo, alcançando a marca de 4,5% da geração de energia elétrica mundial. Isto deve-se ao baixo custo de geração, comparada às fontes não renováveis e políticas



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

de incentivo governamentais. No Brasil, este número é um pouco mais expressivo, sendo 18,2% da geração de energia elétrica brasileira, o que representa 41,8 GW de potência instalada, conforme apresentado na figura 2.

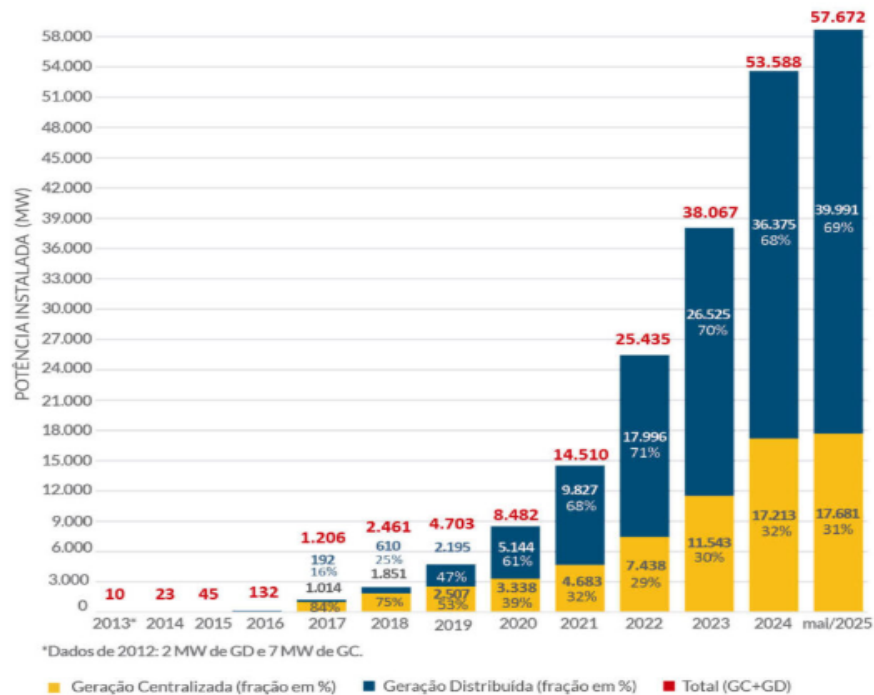


Figura 2 - Potência Instalada da Geração Solar Fotovoltaica no Brasil. Fonte: ABSolar, 2025

Objetivo

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico na estação Suzano da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), considerando diversos aspectos que influenciam na implementação e no retorno do investimento deste tipo de tecnologia.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Viabilidade Técnica

A viabilidade técnica de um sistema fotovoltaico refere-se à capacidade de projetar, implementar e operar tal sistema de maneira eficiente e confiável. Aspectos técnicos incluem a análise da radiação solar local, a seleção adequada de componentes (painéis solares, inversores, estrutura de suporte), o dimensionamento correto do sistema conforme a demanda energética do local, além da integração com a rede elétrica existente.

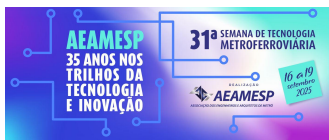
É crucial realizar estudos de irradiação solar específicos da região para determinar a quantidade de energia que pode ser gerada ao longo do ano.

Viabilidade Econômica

A viabilidade econômica é um fator determinante na decisão de investimento em energia solar fotovoltaica. Este aspecto envolve a análise dos custos de instalação, operação e manutenção do sistema em relação aos benefícios econômicos esperados, como a economia na conta de energia elétrica.

Os custos iniciais incluem não apenas os componentes do sistema, mas também os custos de instalação e os eventuais custos de conexão à rede elétrica. Para este estudo foi considerado que o investimento inicial será totalmente custeado pela empresa, sem a necessidade de um financiamento.

A análise do retorno sobre o investimento é fundamental para avaliar a viabilidade financeira de um sistema fotovoltaico. Este cálculo considera o payback, ou seja, o tempo necessário para recuperar o investimento inicial através da economia gerada na conta de energia elétrica.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Fatores como tarifas de eletricidade, inflação energética, depreciação dos equipamentos e vida útil do sistema foram considerados nesta análise.

Justificativa

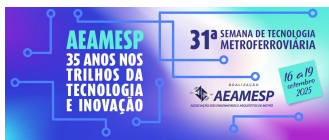
A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) é responsável pelo transporte de passageiros das linhas 7-Rubi, 10-Turquesa, 11-Coral, 12-Safira e 13-Jade, somando 196 km de extensão de malha ferroviária. Hoje a empresa conta com a operação de 57 estações, atendendo a 18 municípios, apresentando-se como elo fundamental do ecossistema da mobilidade da Região Metropolitana de São Paulo.

A estação Suzano ilustrada na figura 3, representa um importante ponto de transporte e mobilidade urbana. Esta, pertence a linha 11-Coral, tem um fluxo aproximado de 35 mil passageiros por dia (2024), contendo 5 elevadores, 14 escadas rolantes e um terminal de ônibus integrado.



Figura 3 - Estação Suzano da CPTM

A entrada de energia elétrica da estação é de média tensão. Em 2023, a estação teve um consumo médio mensal de 88 MWh. Este alto consumo deve-se pela quantidade elevadores e



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

escadas rolantes, somado a bomba d'água, televisores, computadores, sala de simulador de tração, linha de bloqueio, iluminação das plataformas, saguão e áreas administrativas. A figura 4 apresenta o consumo mensal da estação no ano de 2023. Não foi disponibilizada a matriz de uso de energia e nem a demanda horária de carga. Por ocasião de um projeto executivo, essas informações são necessárias.

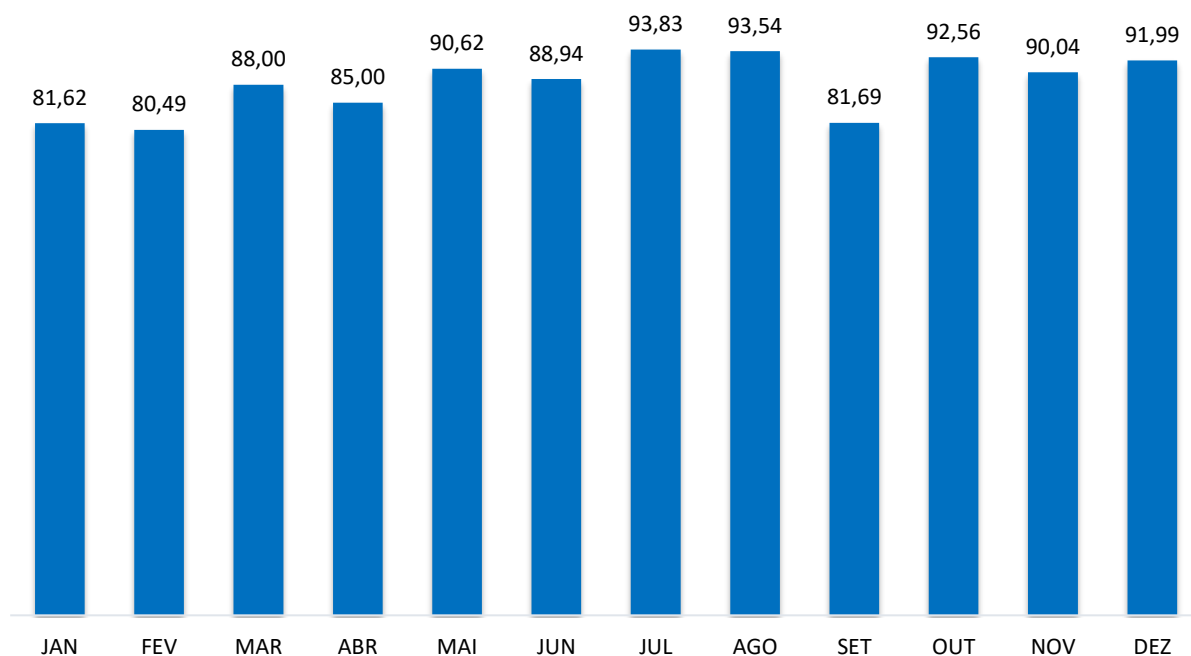


Figura 4 - Consumo Mensal da Estação Suzano em 2024

A estação possui uma área de telhado disponível de 5.700 m². Devido a essa extensa área para instalação de painéis fotovoltaicos, esta estação foi escolhida para a avaliação preliminar, contemplando os telhados da estação e salas técnicas como pode ser observado no destaque em vermelho na figura 5.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 5 - Vista aérea da estação Suzano. Fonte: Google Earth, 2024

O desenvolvimento de um projeto fotovoltaico nesta estação, visa explorar os benefícios da energia solar do ponto de vista econômico e apresentar uma oportunidade de redução nos custos operacionais com energia elétrica. A energia solar, uma vez instalada, possui custos operacionais e de manutenção relativamente baixos em comparação com as fontes convencionais de energia. Isso pode resultar em economias significativas ao longo da vida útil do sistema fotovoltaico. Além disso, o projeto tem o intuito de reduzir as despesas com energia elétrica, logo, contribuirá significativamente para a redução da pegada de carbono associada às operações diárias. Ao gerar energia limpa a partir da luz solar, o projeto ajudará a mitigar as emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às políticas de sustentabilidade da CPTM.

Em resumo, o desenvolvimento deste projeto fotovoltaico representa uma oportunidade estratégica para promover a sustentabilidade ambiental, a segurança energética a longo prazo, reduzir custos operacionais e demonstrar liderança em responsabilidade social corporativa.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Com benefícios claros para o meio ambiente, a economia e a educação ambiental, este projeto não só fortalece a infraestrutura energética da estação, mas também contribui positivamente para a comunidade e para o futuro sustentável da região metropolitana de São Paulo.

REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA

Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Também conhecido como On-grid, o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, é uma forma de gerar energia solar de maneira mais eficiente. O sistema permanece conectado à rede de distribuição, o que permite a utilização da energia da distribuidora em momentos de baixa produção. Além disso, em casos de excesso de produção, é possível receber créditos de energia. O sistema fotovoltaico on-grid é formado por painéis fotovoltaicos, inversores e dispositivos de proteção localizados na string box. Os módulos fotovoltaicos captam a energia solar e a convertem em eletricidade. Os inversores desempenham a função de converter a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada utilizável. Por fim, os dispositivos de proteção na string box garantem a segurança do sistema. A figura 6 demonstra o esquemático deste sistema.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

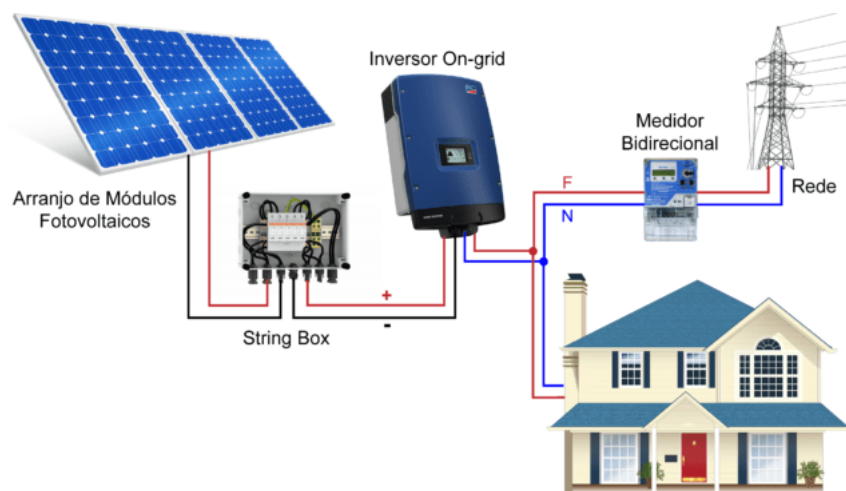


Figura 6 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Fonte: Site Eletrônica de Potência, 2021

Painel Solar Fotovoltaico

Células fotovoltaicas utilizam a radiação solar para gerar eletricidade. Elas são compostas basicamente por semicondutores, que são materiais com características de isolantes em baixas temperaturas e que, com o aumento da temperatura, tornam-se condutores. A figura 7 ilustra um painel fotovoltaico.

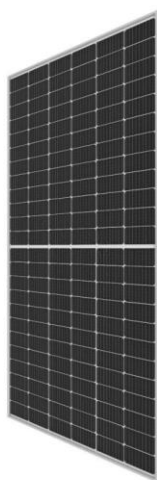


Figura 7 - Módulo Fotovoltaico Canadian Solar CS6W-545MS. Fonte: Canadian Solar

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

String Box

A String Box é um componente essencial em sistemas fotovoltaicos, responsável por integrar e proteger as strings de painéis solares. Sua principal funcionalidade é garantir a segurança e o funcionamento adequado do sistema, uma vez que reúne os dispositivos de proteção contra surtos, fusíveis e disjuntores. Além disso, a String Box permite a realização de medidas de monitoramento e controle, facilitando a identificação de possíveis falhas ou anomalias no sistema fotovoltaico. A figura 8 ilustra a String Box.



Figura 8 - String Box. Fonte: Sol Fácil Blog

Inversores

Os inversores desempenham um papel essencial no sistema fotovoltaico on-grid, pois são responsáveis por converter a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, que é compatível com a rede elétrica. Além disso, os inversores também monitoram o desempenho do sistema e otimizam a produção de energia, garantindo a máxima eficiência e a qualidade da energia produzida, sendo responsável para a integração da energia

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

solar na rede elétrica, garantindo a sincronização e a estabilidade do sistema. A figura 9 exemplifica um inversor de sistema fotovoltaico.

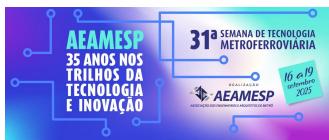


Figura 9 - Inversor Fotovoltaico. Fonte: Canadian Solar

Marco Regulatório

Resolução Normativa 482

O marco regulatório da energia solar fotovoltaica no Brasil teve início em 2012, com a publicação da Resolução Normativa 482 da ANEEL. Essa resolução estabeleceu as regras para a geração distribuída, permitindo que os consumidores sejam compensados pela energia injetada na rede, gerando créditos que podem ser utilizados para abater o consumo futuro. Com a regulamentação, o país deu um passo importante para o desenvolvimento da energia solar no Brasil, incentivando a adoção de sistemas fotovoltaicos em residências, comércios e indústrias. Os principais dispositivos da REN 482 da ANEEL incluem a possibilidade de os consumidores instalarem sistemas de geração distribuída de acordo com o seu perfil de consumo e podiam ser enquadrados da seguinte forma:



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- Microgeração - central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração - central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

Em 2018 e 2019, por meio de consultas públicas envolvendo diferentes segmentos da sociedade, ocorreram debates sobre a proposta de revisão apresentada pela ANEEL. Como resultado identificou-se a necessidade de assegurar ao mercado de microgeração e minigeração distribuída o seu estabelecimento por meio de lei federal. Assim surgiu o Marco Legal para MMGD, por meio do projeto de Lei nº 5.829/2019. Esta PL tramitou na câmara dos Deputados e aprovada, posteriormente chegando ao Senado.

No dia 05 de janeiro de 2022, foi sancionada pelo presidente da república a PL 5.829/2019 que instituiu o Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída por meio da Lei 14.300/2022.

2.4.2 Lei 14.300/2022

A lei que regulamenta as instalações de micro e minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica no Brasil é a Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Esta lei institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS).



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

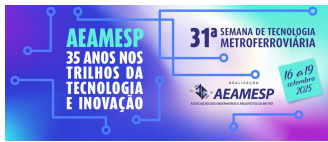
Alguns conceitos importantes abordados nesta lei são:

1- Autoconsumo remoto: é definido como unidades consumidoras pertencentes à mesma Pessoa Jurídica, incluindo matriz e filial, ou Pessoa Física que possuem sistemas de microgeração ou minigeração distribuída instalados em locais diferentes das unidades consumidoras. Dentro da mesma área de concessão ou permissão, a energia excedente gerada por esses sistemas pode ser compensada por outras unidades consumidoras.

Em resumo, essa modalidade permite que tanto pessoas físicas quanto jurídicas instalem sistemas de geração de energia fotovoltaica em um local específico e compartilhem o crédito de energia gerada com outras unidades consumidoras que estejam sob a mesma titularidade e localizadas na mesma área de concessão.

2- Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE): Permite que a unidade consumidora injete energia elétrica na rede da distribuidora através de micro ou minigeração. A energia elétrica injetada é compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia. Os créditos de energia elétrica não utilizados no mesmo ciclo de faturamento podem ser utilizados em ciclos subsequentes, vendidos para a concessionária ou utilizados para compensar outra unidade consumidora sob o mesmo CPF ou CNPJ e dentro da mesma área de concessão.

Microgeração distribuída: Refere-se a uma central geradora de energia elétrica com potência instalada em corrente alternada igual ou inferior a 75 kW. A energia deve ser produzida através de cogeração qualificada ou fontes renováveis e conectada à rede de distribuição de energia.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Minigeração distribuída: Difere da microgeração pela potência instalada maior. Para fontes despacháveis, a potência pode variar de 75 kW até menos de 5 MW. Para fontes não despacháveis, a potência instalada deve ser menor do que 3 MW.

METODOLOGIA

Contendo as coordenadas geográficas do local foram executados os seguintes passos:

- 1- Através de consulta ao CRESESB, obtenção da irradiação solar sobre o plano horizontal.
- 2- Coleta de dados climatológicos do local de estudo.
- 3- Identificação de possíveis áreas que possa ocorrer sombreamento sendo potencialmente prejudicial à produção de energia.
- 4- Cálculo da quantidade de painéis a serem instalados.
- 5- Dimensionamento do sistema fotovoltaico;
 - 5.1- Cálculo da tensão, corrente e potência do sistema.
 - 5.2- Escolha dos inversores.
 - 5.3- Definição das strings.
- 6- Análise da viabilidade econômica.
 - 6.1- Levantamento dos custos de CAPEX, OPEX e manutenção.
 - 6.2- Levantamento da adequação da entrada de energia.
 - 6.3- Cálculo tarifário estimado para um período de 25 anos.
 - 6.4- Cálculo do Payback Simples, Payback Descontado, VPL, TMA e TIR.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

VIABILIDADE TÉCNICA

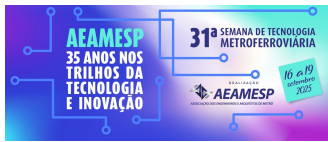
Dados Solarimétricos do local

Primeiramente, foi verificada as coordenadas geográficas do local, conforme é mostrado na figura 10.



Figura 10 - Coordenadas geográficas da estação Suzano. Fonte: Google Earth

Obtida a latitude $\phi = -23^{\circ}32'S$ e $L = 46^{\circ}18'W$, foi consultado os dados solarimétricos do local, como pode ser observado na figura 11.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Latitude: 23,534167° S
Longitude: 46,308056° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]												Média	Delta				
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			Out	Nov	Dez	
☒	Itaquaquecetuba	Itaquaquecetuba	SP	BRASIL	23,5° S	46,349° O		5,7	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
☐	Mogi das Cruzes	Mogi das Cruzes	SP	BRASIL	23,5° S	46,249° O		7,1	5,29	5,55	4,68	4,11	3,33	3,08	3,20	4,12	4,19	4,73	5,10	5,68	4,42	2,61
☐	Suzano	Suzano	SP	BRASIL	23,601° S	46,349° O		8,5	5,29	5,53	4,66	4,09	3,34	3,08	3,21	4,09	4,13	4,64	5,05	5,64	4,39	2,56

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

23,534167° S; 46,308056° O

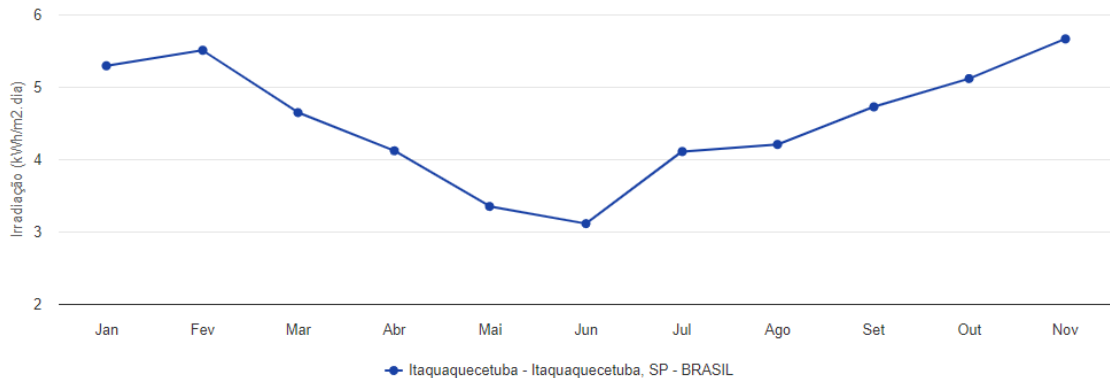


Figura 11 - Dados Solarimétricos das Estações Próximas ao Local. Fonte: CRESESB, 2024

A estação do CRESESB mais próxima do local de estudo é a estação instalada em Itaquaquecetuba, localizada a 5,7 km de distância. Para desenvolvimento dos cálculos usaremos os dados obtidos por esta estação, conforme é mostrado na figura 12.

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

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☒	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

Irradiação Solar no Plano Inclinado -Itaquaquecetuba-Itaquaquecetuba, SP-BRASIL

23,5° S; 46,349° O

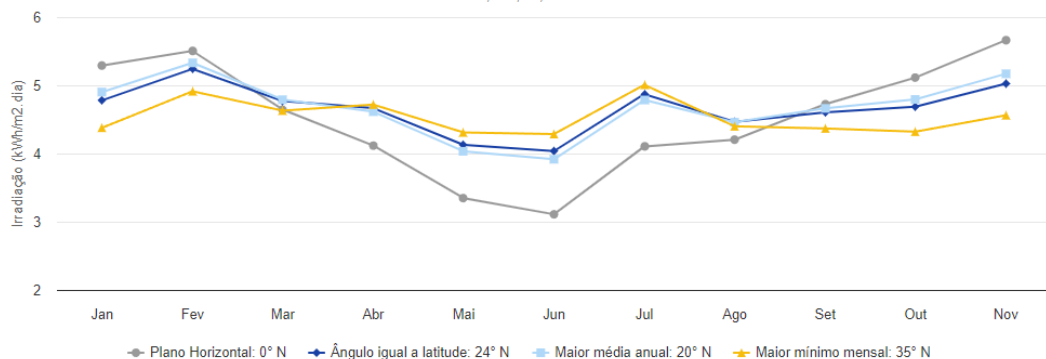
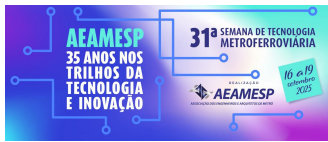


Figura 12 - Dados da Estação do CRESESB em Itaquaquecetuba. Fonte: CRESESB, 2024



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Dados Climatológicos do Local

Para desenvolvimento do projeto, foi necessário realizar o levantamento das temperaturas da cidade de Suzano. A figura 13 mostra as temperaturas médias durante o ano.

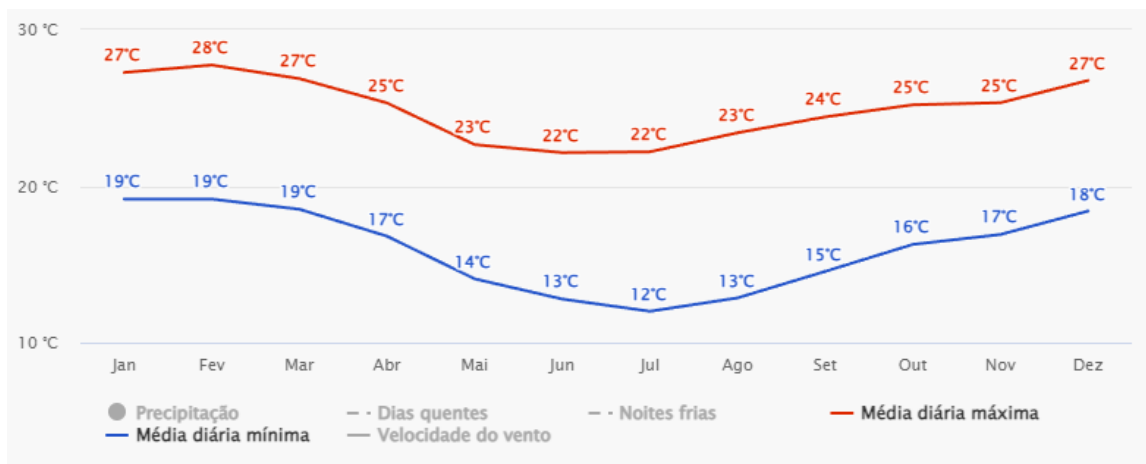


Figura 13 - Temperaturas máximas e mínimas médias durante o ano. Fonte: Meteoblue, 2024

A Tabela 1, exibe os valores máximos médios, mínimos médios de temperatura bem como a temperatura média mensal e anual.

Tabela 1 - Temperaturas máximas e mínimas médias durante o ano

Temperatura (°C)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
Máxima Média	27	28	27	25	23	22	22	23	24	25	25	27	24,8
Média	23	23	22	21	18	17	16	17	18	20	21	22	19,8
Mínima Média	19	19	19	17	14	13	12	13	15	16	17	18	16,0

Fonte: Weather Spark, 2024 (Adaptado pelo autor)

A temperatura média mais alta para Suzano ocorre no mês de fevereiro, chegando aos 28°C, enquanto a temperatura média anual é de 24,8°C. Já a temperatura mínima média ocorre em julho, com 12°C. A temperatura média anual é de 19,8°C.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Sombreamento

A estação possui uma torre onde está localizada a caixa d'água. Esta por sua vez, é mais alta que o telhado da estação. Porém, não terá interferência de sombreamento para o local planejado a serem instalados os painéis fotovoltaicos, uma vez que a torre mencionada está ao sul da estação. A figura 14 mostra a estrutura da estação.

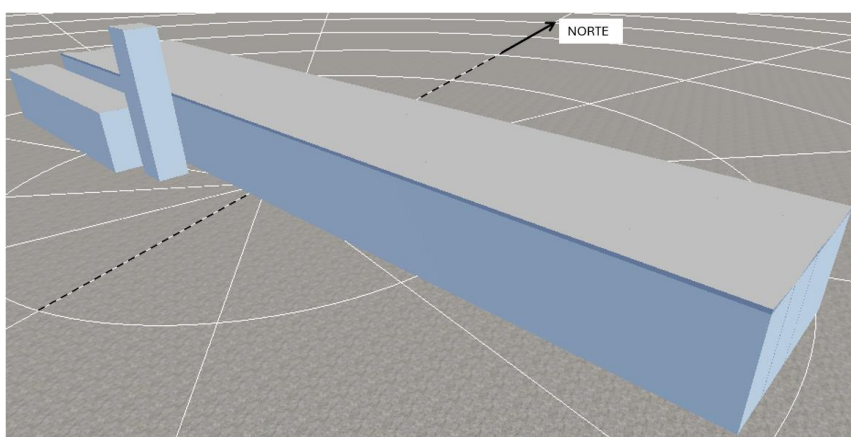


Figura 14 - Estrutura Gráfica Computacional da Estação Suzano desenvolvida no PV*SOL

Número de Painéis

O telhado da estação possui uma área disponível de 5700 m² conforme ilustra a figura 15.

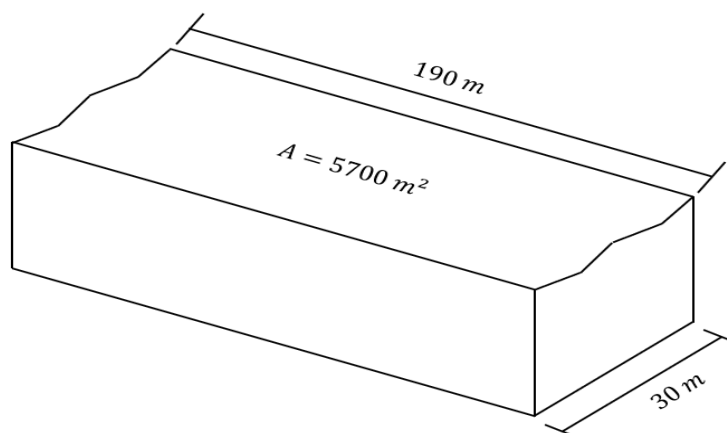
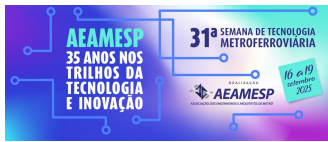


Figura 15 - Ilustração da Área Disponível do Telhado da Estação Suzano



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Para fins de desenvolvimento deste trabalho foi escolhido o painel da Canadian Solar, modelo CS6W-545MS, fixado em suporte com inclinação de 20°.

Cada parte do telhado tem 7,5 m, ou seja, cada parte tem 1425 m² de área disponível.

De acordo com o datasheet, o módulo fotovoltaico escolhido possui, 2,261 m de comprimento, 1,134 m de largura e 0,03 m de espessura. Como possui um ângulo a ser considerado tanto para a face norte, quanto para a face sul, a área a ser ocupada por 1 painel pode ser expressa pela seguinte expressão.

$$A_{PAINEL} = C \times (L \times \cos(\beta) + x)$$

Área ocupada pelo painel fotovoltaico (face norte)

$$A_{PAINEL} = 2,261 \times (1,134 \times \cos(20^\circ) + 0,91)$$

$$A_{PAINEL} = 4,46 \text{ m}^2$$

Se dividirmos a área da face norte pela área do painel teremos um total de 320 módulos para cada parte.

Área ocupada pelo painel fotovoltaico (face sul)

$$A_{PAINEL} = 2,261 \times (1,134 \times \cos(20^\circ) + 1,3)$$

$$A_{PAINEL} = 5,35 \text{ m}^2$$

Se dividirmos a área da face sul pela área do painel teremos um total de 266 módulos para cada parte.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Somando o total de painéis para as 4 partes, a área disponibilizada comportaria 1172 painéis do modelo escolhido.

A tabela 2 resumi o arranjo do sistema fotovoltaico da estação.

Tabela 2 – Resumo do Arranjo do Sistema Fotovoltaico

Descrição	Quantidade
Número de PFVs	1172
Inversores	5
PFVs por Strings	19
Strings por MPPT	2
MPPT por Inversor	6
Strings por inversor	12
PFVs por Inversor	228

A figura 16 ilustra a disposição do sistema fotovoltaico na estação Suzano.

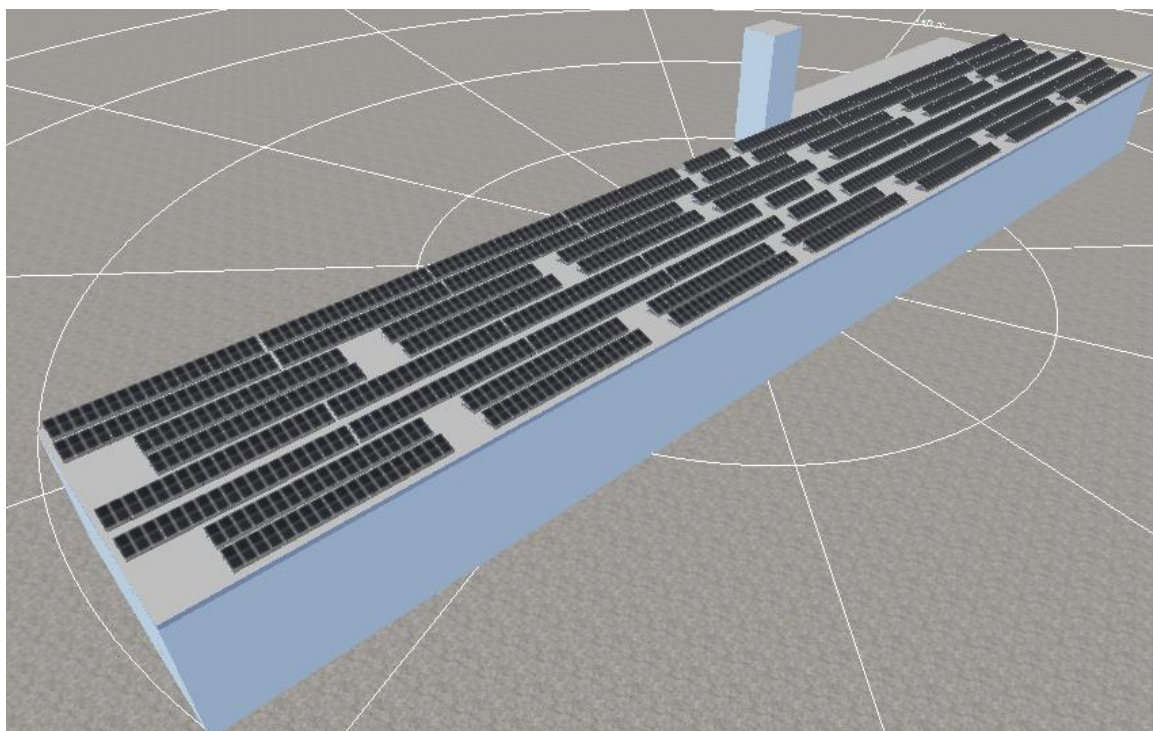
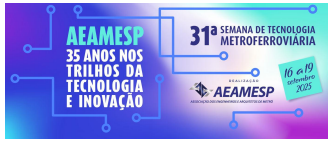


Figura 16 - Ilustração do Sistema Fotovoltaico



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Verificação da necessidade de readequação da entrada de energia

A estação possui uma tensão de entrada de 220 V e uma corrente máxima de 1600 A, logo podemos dimensionar a potência aparente de entrada (S_{in}) através da equação 37.

$$S_{in} = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S_{in} = \sqrt{3} \times 220 \times 1600 \rightarrow S_{in} = 609,7 \text{ kVA}$$

De acordo com a REN 1059 da ANEEL, a potência que pode ser instalada em projetos de micro e minigeração distribuída considerada GDIII é igual a potência disponibilizada para o atendimento da carga da unidade consumidora. Para GDIII, a potência para instalações deve ser acima de 500 kW. Considerando que o Fator de Potência deva ser de 0,92, e a potência do inversor, temos:

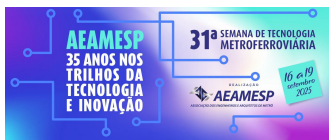
$$S_{in(Inv)} = \frac{P_{in(máx)}}{FP}$$

$$S_{in(Inv)} = \frac{510,99}{0,92} \rightarrow S_{in(Inv)} = 555,426 \text{ kVA}$$

Se considerarmos o mês com maior consumo (julho/2024) com 93,83 MWh, encontraremos a potência aparente da carga instalada.

$$S_{in(cargas)} = \frac{93,83 \cdot 10^6}{31 \times 24 \times 0,92} \rightarrow S_{in(cargas)} = 137,08 \text{ kVA}$$

Somando as potências $S_{in(Inv)}$ e $S_{in(cargas)}$, temos um total de 692,51 kVA, o que ultrapassa a potência aparente já existente na estação. Sendo assim, há a necessidade de readequação do ramal de entrada de energia da estação.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Consumo x Geração

A tabela 3 mostra a energia gerada mensalmente. Também foi verificado o quanto da demanda da estação foi possível ser atendida.

Tabela 3 – Consumo de Energia Elétrica atendido pelo Sistema Fotovoltaico

<i>Mês</i>	<i>Consumo [MWh/mês]</i>	<i>Energia Gerada [MWh/mês]</i>	<i>Energia Atendida [%]</i>
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	1058,32	788,14	74,86%

Como podemos notar, o sistema fotovoltaico supriu aproximadamente 75% do consumo anual.

O mês com maior energia disponibilizada foi no mês de dezembro com 85,27 MWh/mês.

A figura 17 mostra a produção de energia mensal.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

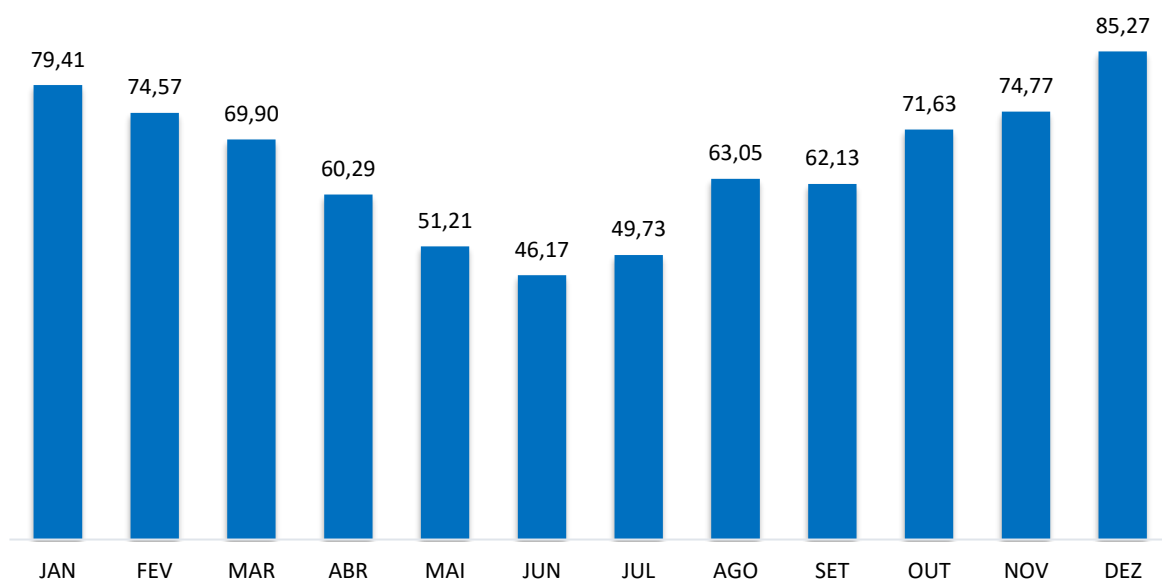


Figura 17 - Produção de Energia Gerada Mensal (EG)

A figura 18 mostra o comparativo do consumo mensal e a energia gerada estimada.

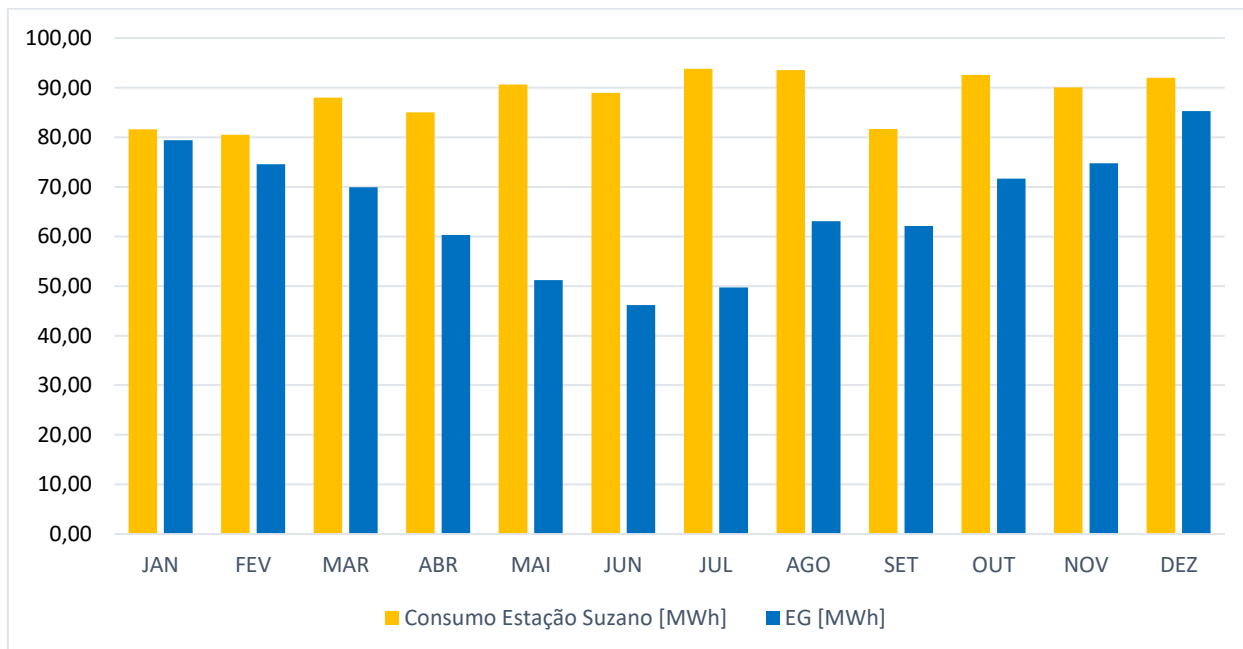
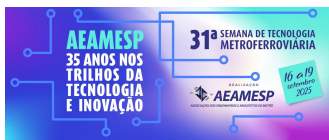


Figura 18 - Comparativo do Consumo Com a Energia Produzida



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

VIABILIDADE ECONÔMICA

Com a definição da potência em kWp, quantidade e modelo de painéis e inversores, é de suma importância realizarmos a análise da viabilidade financeira. Para isto, foram utilizadas ferramentas de economia como Payback Simples, Payback Descontado, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Mínima Atrativa (TMA) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Baseado no Estudo Estratégico de Geração Distribuída da Greener, para o primeiro semestre de 2024, é apresentado o valor do kWp do sistema fotovoltaico, que este é compreendido pelo kit do sistema fotovoltaico, adicionado aos serviços de integração. O sistema fotovoltaico engloba os painéis fotovoltaicos, inversores, cabos e sistema de proteção. Já o sistema de integração envolve a montagem e instalação do sistema.

Através da interpolação chegamos que, para este sistema o custo é de R\$ 2,89 para cada kWp.

A tabela 4 apresenta o valor total para implantação do sistema fotovoltaico.

Tabela 4 - Custo de Implantação do Sistema Fotovoltaico

DESCRIÇÃO	VALOR	POTÊNCIA	SUBTOTAL
Sistema Fotovoltaico	R\$/kWp 2,21	638,74 kWp	R\$ 1.411.615,40
Adequação Ramal de Entrada	R\$ 250.000,00	-	R\$ 250.000,00
VALOR TOTAL			R\$ 1.661.615,40

Outras componentes importantes para análise da viabilidade econômica são as tarifas e impostos da conta de energia. A tabela 5 mostra os valores dessas componentes para a categoria A4 (Média Tensão) para a cidade de Suzano em que a distribuidora de energia é a EDP São Paulo.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 5 - Componentes da Conta de Energia

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

A estação Suzano possui uma contratação de demanda de 150 kW, hoje se enquadrando na tarifação verde. Com a implantação do sistema, muda-se a categoria de cobrança para a categoria de Geração.

A tabela 6 mostra a média utilizada de reajustes tarifários para vigências de 2018 a 2024.

Tabela 6 - Média de Reajuste Tarifário

ANO DE VIGÊNCIA	REAJUSTE
2024	-5,31 %
2023	6,28 %
2022	20,04 %
2021	4,41 %
2020	6,52 %
2019	0,00 %
2018	17,84 %
Média	8,30 %

A Tabela 7 mostra a média da inflação para correção do valor de produtos e serviços.

Tabela 7 - Média da Inflação no Brasil

ANO	INFLAÇÃO
2023	4,62 %
2022	5,62 %
2020	4,52 %
2019	4,31 %
2018	3,75 %
Média	4,56 %



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O ano de 2021 não foi considerada, devido aos impactos gerados pela pandemia da Covid-19.

Payback Simples

O Payback Simples é um método de análise de investimentos que calcula o tempo necessário para recuperar o valor investido, considerando apenas os fluxos de caixa. Esse método é uma ferramenta útil para avaliar a rapidez com que um projeto ou investimento pode gerar retorno. No entanto, o payback simples não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, ou seja, não há desconto de juros.

A tabela 8 mostra o cálculo dos custos e retorno financeiro ao longo de 25 anos estimados como tempo de vida útil do sistema. Para os cálculos, foram considerados os custos de operação e manutenção do sistema (O&M) de 1,5% a.a. sob o valor do investimento inicial considerando a necessidade de manutenção 1 vez ao ano e retrofit dos inversores no 12º ano de operação no valor de R\$ 265.185,92 com correção de inflação média. Também consideramos a degradação dos módulos de até 2% no primeiro ano e 0,55% nos demais anos.

O cálculo do custo de demanda (CD) para o ano 0 está expresso pela equação a seguir:

$$CD_0 = 12 \times A \times B$$

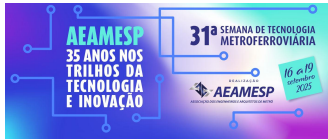
Onde:

12 – Número de meses do ano;

A – Tarifa de demanda categoria A4 + impostos: 5,24 R\$/kW;

B – Demanda Contratada: 511 kW;

Para os demais anos o custo de demanda é expresso pela equação 41.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

$$CD_n = CD_{n-1} \times (1 + C)$$

C – Média de Reajuste Tarifário: 8,30%

O cálculo do Custo de O&M e seguro no ano 0, é demonstrado na equação a seguir.

$$O\&M \text{ e } SEGURO_0 = II_0 \times D$$

Onde:

II_0 – Investimento Inicial;

D – Correção monetária de 1,5 % a. a

O cálculo dos Custos O&M e seguro para os demais anos, é demonstrado na equação abaixo.

$$O\&M \text{ e } SEGURO_n = O\&M \text{ e } SEGURO_{n-1} \times (1 + D)$$

O cálculo do custo de retrofit dos inversores para o 12º ano é expresso pela equação abaixo.

$$RETROFIT = E \times (1 + F)$$

Onde:

E – Valor total do custo dos inversores no ano 0;

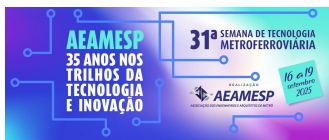
F – Acumulado da inflação do ano 1 ao ano 12;

O valor da Economia com a Geração (EG) pode ser obtido através da equação abaixo.

$$EG = G \times H$$

Onde:

G – Valor da Tarifa de energia com o desconto das componentes;



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Componentes – 100% TUSD FIO B + 40% TUSD FIO A + 100% TUSD P&D

+ 100% TE P&D + 100% TUSD TFSEE

H – Energia Gerada no ano;

O cálculo do Fluxo de Caixa Livre (FC) é demonstrado na equação a seguir.

$$FC = EG - II_0 - CD - O\&M \text{ E SEGURO}$$

O Retorno Financeiro (RF) do ano 0 pode ser expresso pela equação a seguir.

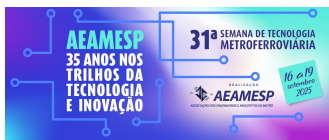
$$RF_0 = FC_0$$

O Retorno Financeiro (RF) dos demais anos, é demonstrado pela equação abaixo.

$$RF_n = FC_n + RF_{n-1}$$

Tabela 8 - Retorno Financeiro Pelo Método do Payback Simples

ANO	CUSTO DE DEMANDA	CUSTOS O&M E SEGURO	ECONOMIA COM A GERAÇÃO	FLUXO DE CAIXA LIVRE	RETORNO FINANCEIRO	ANO
0	R\$ 32.153,69	R\$ 24.924,23	R\$ 208.077,25	-R\$ 1.446.308,69	-R\$ 1.478.462,38	0
1	R\$ 34.821,38	R\$ 25.298,09	R\$ 222.408,01	R\$ 231.931,29	-R\$ 1.246.531,09	1
2	R\$ 37.710,39	R\$ 25.677,57	R\$ 241.101,17	R\$ 253.133,99	-R\$ 993.397,09	2
3	R\$ 40.839,10	R\$ 26.062,73	R\$ 261.225,28	R\$ 276.001,65	-R\$ 717.395,44	3
4	R\$ 44.227,38	R\$ 26.453,67	R\$ 282.890,60	R\$ 300.664,31	-R\$ 416.731,13	4
5	R\$ 47.896,78	R\$ 26.850,48	R\$ 306.215,86	R\$ 327.262,16	-R\$ 89.468,97	5
6	R\$ 51.870,61	R\$ 27.253,23	R\$ 331.328,93	R\$ 355.946,31	R\$ 266.477,34	6
7	R\$ 56.174,15	R\$ 27.662,03	R\$ 358.367,55	R\$ 386.879,66	R\$ 653.357,00	7
8	R\$ 60.834,73	R\$ 28.076,96	R\$ 387.480,04	R\$ 420.237,81	R\$ 1.073.594,81	8
9	R\$ 65.881,98	R\$ 28.498,12	R\$ 418.826,17	R\$ 456.210,04	R\$ 1.529.804,85	9
10	R\$ 71.347,99	R\$ 28.925,59	R\$ 452.577,99	R\$ 495.000,40	R\$ 2.024.805,25	10
11	R\$ 77.267,50	R\$ 29.359,47	R\$ 488.920,82	R\$ 536.828,84	R\$ 2.561.634,09	11
12	R\$ 83.678,12	R\$ 261.879,86	R\$ 528.054,22	R\$ 349.852,48	R\$ 2.911.486,57	12
13	R\$ 90.620,62	R\$ 30.246,86	R\$ 570.193,15	R\$ 630.566,91	R\$ 3.542.053,48	13
14	R\$ 98.139,11	R\$ 30.700,56	R\$ 615.569,12	R\$ 683.007,66	R\$ 4.225.061,14	14
15	R\$ 106.281,38	R\$ 31.161,07	R\$ 664.431,44	R\$ 739.551,75	R\$ 4.964.612,89	15



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

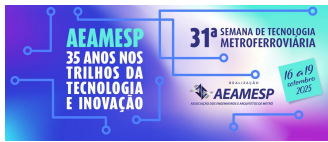
ANO	CUSTO DE DEMANDA	CUSTOS O&M E SEGURO	ECONOMIA COM A GERAÇÃO	FLUXO DE CAIXA LIVRE	RETORNO FINANCEIRO	ANO
16	R\$ 115.099,19	R\$ 31.628,49	R\$ 717.048,66	R\$ 800.519,36	R\$ 5.765.132,25	16
17	R\$ 124.648,59	R\$ 32.102,92	R\$ 773.709,97	R\$ 866.255,64	R\$ 6.631.387,89	17
18	R\$ 134.990,27	R\$ 32.584,46	R\$ 834.726,87	R\$ 937.132,67	R\$ 7.568.520,57	18
19	R\$ 146.189,96	R\$ 33.073,23	R\$ 900.434,81	R\$ 1.013.551,55	R\$ 8.582.072,11	19
20	R\$ 158.318,85	R\$ 33.569,33	R\$ 971.195,11	R\$ 1.095.944,64	R\$ 9.678.016,75	20
21	R\$ 171.454,04	R\$ 34.072,87	R\$ 1.047.396,89	R\$ 1.184.778,06	R\$ 10.862.794,82	21
22	R\$ 185.679,01	R\$ 34.583,96	R\$ 1.129.459,24	R\$ 1.280.554,29	R\$ 12.143.349,11	22
23	R\$ 201.084,18	R\$ 35.102,72	R\$ 1.217.833,52	R\$ 1.383.814,99	R\$ 13.527.164,10	23
24	R\$ 217.767,47	R\$ 35.629,26	R\$ 1.313.005,88	R\$ 1.495.144,09	R\$ 15.022.308,18	24
25	R\$ 235.834,91	R\$ 36.163,70	R\$ 1.415.499,87	R\$ 1.615.171,07	R\$ 16.637.479,26	25

Como podemos ver, o retorno do investimento ocorre no sexto ano de operação do sistema, quando o retorno financeiro fica positivo. Podemos calcular em quantos meses do 6º ano esse retorno virá.

$$Meses = \frac{\text{Retorno Financeiro do 5º ano}}{\text{Fluxo de Caixa Livre do 6º ano}} \times 12 = \frac{89.468,97}{355.946,31} \times 12 \cong 3,01 \text{ meses}$$

Portanto, através do método de Payback Simples, o retorno do investimento acontecerá em aproximadamente 6 anos e 3 meses.

A figura 19 mostra os ganhos com economia de energia com a operação do sistema fotovoltaico ao longo dos anos.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

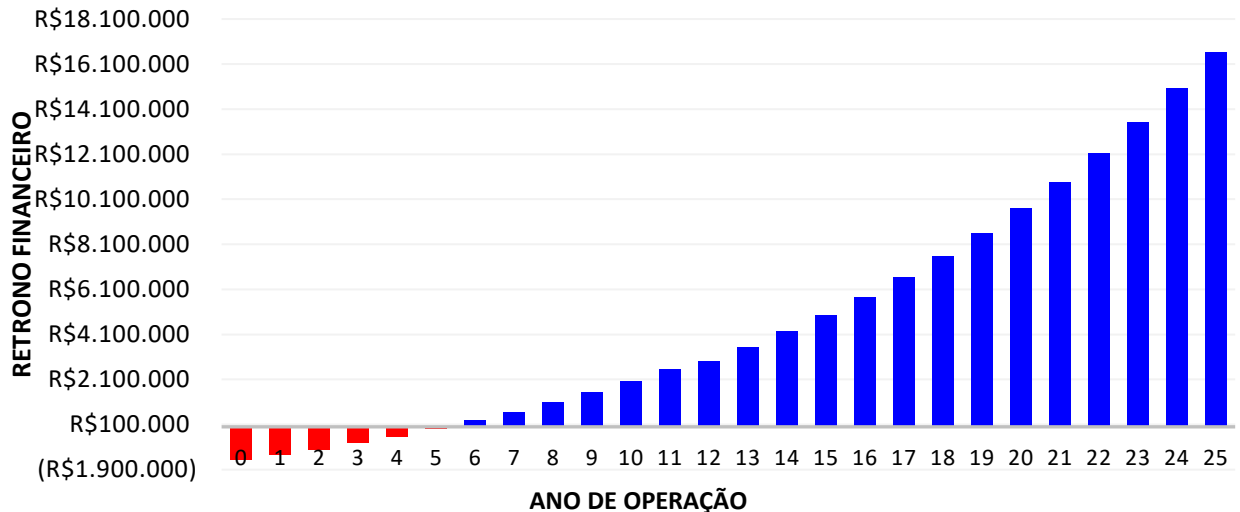


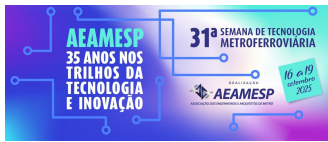
Figura 19 - Retorno Financeiro Através do Payback Simples

Payback Descontado

Outro método que é o mais utilizado é o Payback Descontado. É uma métrica de análise de investimentos que leva em consideração o valor do dinheiro no tempo. Ele parte do princípio de que um real recebido no futuro não tem o mesmo valor que o mesmo real recebido no presente. Assim é aplicada uma taxa de desconto ao fluxo de caixa futuro, trazendo todos os valores a valor presente. Para isto usamos como taxa de desconto a Taxa de Longo Prazo (TLP). Esta é a taxa praticada pelo BNDES para empréstimos e financiamentos. A tabela 9 mostra a Taxa de Longo Prazo.

Tabela 9 - Taxa de Longo Prazo (TLP)

ANO DE VIGÊNCIA	TLP (a.a)
2024	6,89 %
2023	7,05 %
2022	6,36 %
2021	4,80 %
2020	5,04 %
2019	6,19 %
2018	6,72 %
Média	6,15 %



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Os cálculos de Custo de Demanda, Custos O&M e Seguro, Economia com a Geração seguem os mesmos princípios de cálculos demonstrados no Payback Simples. O para o cálculo do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) do ano zero utilizamos:

$$FCD_0 = EG - II_0 - CD - O\&M \text{ E } SEGURO$$

Já para os demais anos, o Fluxo de Caixa Descontado segue a equação abaixo.

$$FCD_n = FC_n / (1 + i)^n$$

Onde:

i – Taxa de Desconto;

Para o Cálculo do Retorno Financeiro (RF) no ano zero segue a equação a seguir.

$$RF_0 = FCD_0$$

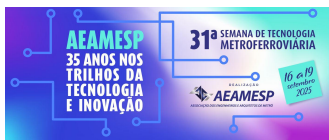
O Retorno Financeiro dos demais anos, é demonstrado pela equação abaixo.

$$RF_n = FCD_n + RF_{n-1}$$

A tabela 10 mostra os valores dos custos e retorno financeiro ano a ano considerando o fluxo de caixa descontado, usando uma taxa de desconto média de 6,15%, conforme a tabela 9.

Tabela 10 - Retorno Financeiro Pelo Método do Payback Descontado

ANO	CUSTO DE DEMANDA	CUSTOS O&M E SEGURO	ECONOMIA COM A GERAÇÃO	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	RETORNO FINANCEIRO	ANO
0	R\$ 32.153,69	R\$ 24.924,23	R\$ 208.077,25	-R\$ 1.446.308,69	-R\$ 1.446.308,69	0
1	R\$ 34.821,38	R\$ 25.298,09	R\$ 222.408,01	R\$ 218.496,86	-R\$ 1.227.811,83	1
2	R\$ 37.710,39	R\$ 25.677,57	R\$ 241.101,17	R\$ 224.658,14	-R\$ 1.003.153,69	2
3	R\$ 40.839,10	R\$ 26.062,73	R\$ 261.225,28	R\$ 230.764,62	-R\$ 772.389,07	3
4	R\$ 44.227,38	R\$ 26.453,67	R\$ 282.890,60	R\$ 236.823,76	-R\$ 535.565,31	4
5	R\$ 47.896,78	R\$ 26.850,48	R\$ 306.215,86	R\$ 242.842,68	-R\$ 292.722,63	5
6	R\$ 51.870,61	R\$ 27.253,23	R\$ 331.328,93	R\$ 248.828,19	-R\$ 43.894,44	6



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

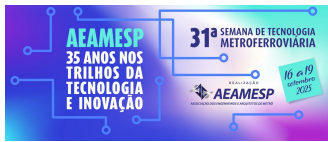
31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANO	CUSTO DE DEMANDA	CUSTOS O&M E SEGURO	ECONOMIA COM A GERAÇÃO	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	RETORNO FINANCEIRO	ANO
7	R\$ 56.174,15	R\$ 27.662,03	R\$ 358.367,55	R\$ 254.786,74	R\$ 210.892,30	7
8	R\$ 60.834,73	R\$ 28.076,96	R\$ 387.480,04	R\$ 260.724,53	R\$ 471.616,83	8
9	R\$ 65.881,98	R\$ 28.498,12	R\$ 418.826,17	R\$ 266.647,46	R\$ 738.264,29	9
10	R\$ 71.347,99	R\$ 28.925,59	R\$ 452.577,99	R\$ 272.561,19	R\$ 1.010.825,48	10
11	R\$ 77.267,50	R\$ 29.359,47	R\$ 488.920,82	R\$ 278.471,11	R\$ 1.289.296,59	11
12	R\$ 83.678,12	R\$ 261.879,86	R\$ 528.054,22	R\$ 170.968,11	R\$ 1.460.264,70	12
13	R\$ 90.620,62	R\$ 30.246,86	R\$ 570.193,15	R\$ 290.300,10	R\$ 1.750.564,79	13
14	R\$ 98.139,11	R\$ 30.700,56	R\$ 615.569,12	R\$ 296.228,90	R\$ 2.046.793,69	14
15	R\$ 106.281,38	R\$ 31.161,07	R\$ 664.431,44	R\$ 302.173,42	R\$ 2.348.967,11	15
16	R\$ 115.099,19	R\$ 31.628,49	R\$ 717.048,66	R\$ 308.138,09	R\$ 2.657.105,20	16
17	R\$ 124.648,59	R\$ 32.102,92	R\$ 773.709,97	R\$ 314.127,14	R\$ 2.971.232,34	17
18	R\$ 134.990,27	R\$ 32.584,46	R\$ 834.726,87	R\$ 320.144,70	R\$ 3.291.377,04	18
19	R\$ 146.189,96	R\$ 33.073,23	R\$ 900.434,81	R\$ 326.194,71	R\$ 3.617.571,76	19
20	R\$ 158.318,85	R\$ 33.569,33	R\$ 971.195,11	R\$ 332.281,03	R\$ 3.949.852,78	20
21	R\$ 171.454,04	R\$ 34.072,87	R\$ 1.047.396,89	R\$ 338.407,34	R\$ 4.288.260,12	21
22	R\$ 185.679,01	R\$ 34.583,96	R\$ 1.129.459,24	R\$ 344.577,26	R\$ 4.632.837,38	22
23	R\$ 201.084,18	R\$ 35.102,72	R\$ 1.217.833,52	R\$ 350.794,27	R\$ 4.983.631,66	23
24	R\$ 217.767,47	R\$ 35.629,26	R\$ 1.313.005,88	R\$ 357.061,77	R\$ 5.340.693,43	24
25	R\$ 235.834,91	R\$ 36.163,70	R\$ 1.415.499,87	R\$ 363.383,07	R\$ 5.704.076,50	25

Como podemos ver, Payback Descontado o retorno acontece somente no sétimo ano de operação do sistema. Agora calculamos com quantos meses do sétimo ano isso ocorrerá.

$$\text{Meses} = \frac{\text{Retorno Financeiro do 6º ano}}{\text{Fluxo de Caixa Descontado do 7º ano}} \times 12 = \frac{43.894,44}{254.786,74} \times 12 \cong 2,07 \text{ meses}$$

Portanto, através do método de Payback Descontado, o retorno do investimento acontecerá em aproximadamente 7 anos e 2 meses.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A figura 20 mostra os ganhos com economia de energia com a operação do sistema fotovoltaico ao longo dos anos de operação.

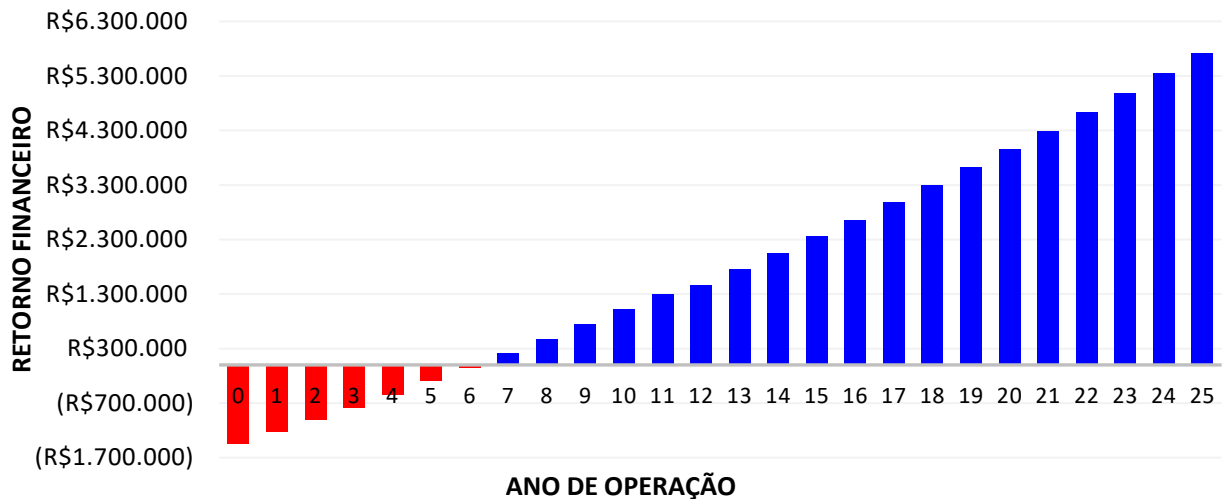


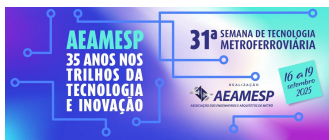
Figura 20 - Retorno Financeiro Através do Payback

Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) tem como objetivo calcular o valor presente de um determinado fluxo de caixa, descontando os valores futuros para a data presente e permite avaliar se um investimento é viável, considerando o retorno em relação ao custo de capital. Um VPL positivo indica que o investimento trará retorno acima da taxa de desconto, sendo considerado atrativo. Já um VPL negativo indica que o investimento não é viável, pois o retorno esperado é inferior ao custo de capital. A equação a seguir, mostra como pode ser calculado.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Onde:



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

FC_t : Fluxo de Caixa de um determinado período;

i : Taxa de desconto aplicada;

t : Período analisado;

I_0 : Investimento Inicial;

A tabela 11 apresenta o fluxo de caixa livre e os valores presentes. Os valores presentes da economia são os fluxos de caixa descontados expressos pela equação 50.

Tabela 11 - Cálculo do Valores Presentes

ANO	FLUXO DE CAIXA LIVRE	VALOR PRESENTE DA ECONOMIA	ANO
0	-R\$ 1.446.308,69	-R\$ 1.446.308,69	0
1	R\$ 231.931,29	R\$ 218.496,86	1
2	R\$ 253.133,99	R\$ 224.658,14	2
3	R\$ 276.001,65	R\$ 230.764,62	3
4	R\$ 300.664,31	R\$ 236.823,76	4
5	R\$ 327.262,16	R\$ 242.842,68	5
6	R\$ 355.946,31	R\$ 248.828,19	6
7	R\$ 386.879,66	R\$ 254.786,74	7
8	R\$ 420.237,81	R\$ 260.724,53	8
9	R\$ 456.210,04	R\$ 266.647,46	9
10	R\$ 495.000,40	R\$ 272.561,19	10
11	R\$ 536.828,84	R\$ 278.471,11	11
12	R\$ 349.852,48	R\$ 170.968,11	12
13	R\$ 630.566,91	R\$ 290.300,10	13
14	R\$ 683.007,66	R\$ 296.228,90	14
15	R\$ 739.551,75	R\$ 302.173,42	15
16	R\$ 800.519,36	R\$ 308.138,09	16
17	R\$ 866.255,64	R\$ 314.127,14	17
18	R\$ 937.132,67	R\$ 320.144,70	18
19	R\$ 1.013.551,55	R\$ 326.194,71	19
20	R\$ 1.095.944,64	R\$ 332.281,03	20
21	R\$ 1.184.778,06	R\$ 338.407,34	21
22	R\$ 1.280.554,29	R\$ 344.577,26	22
23	R\$ 1.383.814,99	R\$ 350.794,27	23
24	R\$ 1.495.144,09	R\$ 357.061,77	24
25	R\$ 1.615.171,07	R\$ 363.383,07	25



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Soma dos valores presentes: R\$ 7.150.385,19

Investimento Inicial: R\$ 1.661.615,40

Logo:

$$VPL = R\$ 7.150.385,19 - R\$ 1.661.615,40$$

$$\therefore VPL = R\$ 5.488.769,79$$

Isto significa que, a soma de todos os lucros durante os 25 anos a uma taxa de desconto de 6,15% representa no ano do investimento inicial (ano zero) a quantia de R\$ 5.488.769,79.

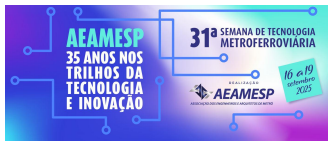
Portanto, a implantação do projeto é viável.

Taxa Mínima Atrativa e Taxa Interna de Retorno

Taxa Mínima Atrativa (TMA)

A Taxa Mínima Atrativa é utilizada para avaliar a viabilidade de investimentos, representando a remuneração mínima exigida pelo investidor. Ela é aplicada em projetos de longo prazo, considerando fatores como risco, custo de oportunidade e inflação. A TMA é importante para analisar se um investimento trará retorno superior ao custo de capital, auxiliando na tomada de decisão por parte das empresas e investidores.

Adotaremos como a taxa mínima atrativa o percentual da taxa SELIC no ano de 2024, que foi de 10,88% segundo dados do Instituto ASSAF.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno é um indicador de rentabilidade de um investimento, representando a taxa de desconto que torna o valor presente líquido igual a zero. Sua importância reside no fato de possibilitar a avaliação da viabilidade de projetos, permitindo comparar diferentes opções de investimento. A equação 42 demonstra a fórmula de cálculo.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Onde:

FC_t : Fluxo de Caixa de um determinado período;

TIR : Taxa Interna de retorno;

t : Período analisado;

Há uma relação entre a TMA e a TIR que pode ser analisada para aprovação de um projeto.

$TIR > TMA \rightarrow$ *Aprovação do Projeto* $\rightarrow$ *Taxa de retorno maior que o esperado*

$TIR = TMA \rightarrow$ *Indiferente aprovar, não haverá lucro e nem prejuízo*

$TIR < TMA \rightarrow$ *Reprovação do Projeto* $\rightarrow$ *Taxa de retorno menor que o esperado*

Com base na tabela 12, obtemos uma Taxa Interna de Retorno de 17%, sob uma taxa de desconto de 6,15%. Comparando o valor da TIR com a TMA adotada de 10,88%, logo $TIR > TMA$, portanto, o projeto é rentável e deve ser aprovado.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

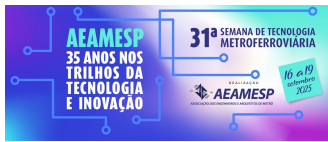
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

Este trabalho abrangeu conceitos técnicos, financeiros e regulatórios para a implantação de um sistema fotovoltaico na estação Suzano da CPTM. Com base nos cálculos desenvolvidos através dos dados dos inversores e módulos fotovoltaicos escolhidos, a potência nominal do sistema é de 638,74 kWp, potência dos inversores de 510,99 kW, se enquadrando na categoria GD-III segundo a Lei 14.300, assim disponibilizando uma energia à rede elétrica de 788,14 MWh/ano, o que atende 74,47% do consumo da estação com base no levantamento do consumo no ano de 2024. Esta métrica pode variar de acordo com instalações de novas cargas a serem instaladas na estação.

A Análise financeira nos permitiu verificar que o projeto é viável de ser implantado, uma vez que os métodos de análises nos deram resultados positivos em que obtemos um retorno do investimento no 6º ano de operação do sistema pelo método do Payback Simples, e no 7º ano pelo método do Payback Descontado. O valor do VPL foi positivo, pois retornou um VPL de R\$ 5.488.769,79 a uma taxa de desconto média de 6,15%. E por fim, uma TIR de 17% sendo maior que a TMA adota 10,88%, referente a taxa SELIC de 2024, assim confirmando que o projeto é viável, tendo em vista o aspecto financeiro.

Ainda que o sistema fotovoltaico não atenda a consumo total da estação, podemos concluir que este geraria uma grande economia financeira com as faturas de energia elétrica, além de diminuir a emissão dos gases do efeito estufa e atender as metas ESG da companhia, incentivando o uso de energias renováveis tornando a companhia e o planeta mais sustentáveis.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSolar – **Matriz Elétrica Brasileira 2025.**

Disponível em: <absolar.org.br/mercado/infografico/>

CPTM – **Contexto da malha ferroviária.**

Disponível em: <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.

Portal Solar – **Conceito de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.**

<portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>

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>

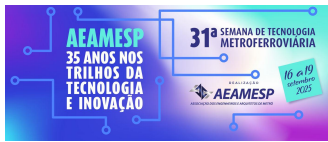
Meteoblue – **Dados Climatológicos para a Cidade de Suzano/SP.**

<www.meteoblue.com>

Weather Spark – **Dados Climatológicos para a Cidade de Suzano/SP.**

<pt.weatherspark.com>

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



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

<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 e inflação**

<institutoassaf.com.br/rendimentos-financeiros/>

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

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

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

Sacchi, Rodrigo e Costa, Hirdan Katarina de Medeiros: Universidade de São Paulo (USP):
Conteúdo da Disciplina. PECE-USP: EGR 011 – Regulação da Geração Distribuída – 2023.