

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA POLITÉCNICA

MICHEL RODRIGUES SILVESTRE PEREIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICO SOBRE O EDIFÍCIO DAS SALAS TÉCNICAS DA LINHA 5 –
LILÁS DO METRÔ DE SÃO PAULO**

São Paulo

2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA POLITÉCNICA

MICHEL RODRIGUES SILVESTRE PEREIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICO SOBRE O EDIFÍCIO DAS SALAS TÉCNICAS DA LINHA 5 –
LILÁS DO METRÔ DE SÃO PAULO**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista em
Energias Renováveis, Geração Distribuída
e Eficiência Energética.

Área de Concentração:

Energia Solar Fotovoltaica

Orientador: Prof. Dr. Claudio Roberto de
Freitas Pacheco

São Paulo

2017

Aos meus colegas e amigos, a minha
família que sempre acreditou e investiu no
meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador professor Dr. Claudio Roberto de Freitas Pacheco, pela compreensão, disponibilidade, apoio, orientação e pela grande capacidade de transmissão de conhecimentos em sala de aula.

Aos professores e colegas do curso de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética pelos conhecimentos transmitidos e excelente convivência ao longo do curso.

Aos colegas de trabalho Agostinho Minicuci Junior, Marcelo Leandro Tobias, Waldomiro Puglia Junior, Noé Alves da Costa Junior, Michel Mastaler, Arlindo José Giampá e tantos outros pelo apoio e auxílio fornecido para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Elisabeth e Aurélio, aos meus irmãos Marco Aurélio e Daniel, às minhas avós Iolanda e Margarida, aos meus primos, tios e amigos pelo apoio, amor e carinho concedidos ao longo da minha vida.

RESUMO

O avanço da tecnologia e o apoio fornecido pelos governos para fomentar a geração de energia através de fontes limpas e renováveis impulsiona os estudos técnicos e de viabilidade econômica para instalação destes sistemas.

O projeto de arquitetura das futuras estações da Linha 5 do metropolitano da cidade de São Paulo previu a instalação do edifício das salas técnicas em edificação independente das estações.

Neste trabalho foi contemplado o estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema de microgeração de energia elétrica através de geradores fotovoltaicos aproveitando a área do telhado do edifício das salas técnicas da futura estação Brooklin, visando fomentar a geração de energia limpa e renovável, além de promover o fortalecimento da imagem da empresa perante a sociedade e clientes.

Foi realizado um estudo comparativo entre duas possibilidades de orientação dos painéis fotovoltaicos sendo que a orientação ao norte geográfico se mostrou a opção que promove a maior geração de energia por possibilitar a instalação de maior número de geradores.

Os cálculos efetuados mostram que a geração de energia varia ao longo dos meses, sendo que a geração média diária é de 276 kWh, suficiente para suprir o consumo das portas de plataforma.

O estudo da viabilidade econômica mostra que a implantação do sistema não é viável quando a necessidade de adequações civis para a implantação. Uma das causas para esta situação é o fato da empresa adquirir energia a preços baixos no Mercado Livre (MDL).

Palavras-chave: Energia solar, geração fotovoltaica, geração distribuída, viabilidade técnica, viabilidade econômica, módulo fotovoltaico.

ABSTRACT

The advancement of technology and the support provided by governments to foster the renewable energy generation stimulate technical and economic feasibility studies for the installation of these systems.

The project of architecture of the future stations of the metropolitan Line 5 in São Paulo predicted the construction of an independent building for the technical rooms of the stations.

This work includes the study of technical and economic feasibility for the implantation of an electric energy microgeneration system through photovoltaic generators above the roof area of the technical rooms building in the future Brooklin station, aiming to foment the generation of clean and renewable energy, In addition to promoting the strengthening of the company's image vis-à-vis society and clients.

A comparative study was carried out between two possibilities of orientation of the photovoltaic panels, and the orientation to the geographical north was the option that promotes the greater generation of energy, once it allows the installation of a larger number of generators.

The calculations show that the generation of energy varies over the months, with a daily average generation of 233.83 kWh, enough to supply the consumption of the platform screen doors.

The economic viability study shows that the implementation of the system is not feasible in the case it is necessary to execute civil adjustments for the implementation. One of the causes for this situation is the fact that the company purchases energy at low prices in the Free Market (CDM).

Keywords: Solar energy, photovoltaic generation, distributed generation, technical feasibility, economic viability, photovoltaic module.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Objetivo.....	20
1.2	Justificativa	20
1.3	Metodologia.....	20
1.4	Estrutura do trabalho.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Efeito fotovoltaico	22
2.2	Módulo fotovoltaico	24
2.2.1	Características elétricas dos painéis fotovoltaicos	25
2.3	Fatores que influenciam na geração de energia solar	28
2.4	Inversores	30
3	ESTUDO REALIZADO	33
3.1	Identificação da oportunidade.....	33
3.2	Apresentação da edificação.....	35
3.3	Descrição das cargas elétricas da estação Brooklin	37
3.3.1	Sistema de alimentação elétrica das estações da Linha 5	37
3.3.2	Identificação das cargas com potencial de atendimento pela energia solar fotovoltaica 40	
3.4	Avaliação do potencial solar no edifício objeto do estudo	41
3.5	Cálculo da potência gerada pelos painéis fotovoltaicos.....	43
3.5.1	Seleção do painel fotovoltaico.....	43
3.5.2	Cálculo do sombreamento causado pelos painéis	44
3.5.3	Distribuição de painéis ao longo do telhado.....	46
3.5.4	Cálculo da potência gerada pelos painéis fotovoltaicos.....	48
3.5.5	Seleção do inversor	51
4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	54
4.1	Custos das adequações civis necessárias	54
4.2	Custos de implantação do sistema fotovoltaico	55
4.3	Custos da energia elétrica para o metropolitano de São Paulo	57
4.4	Cálculo do retorno do investimento segundo o método do payback simples	59
5	CONCLUSÃO	62

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	65
6 ANEXOS.....	67
6.1 Especificações técnicas do painel fotovoltaico selecionado.....	67
6.2 Especificações técnicas do inversor selecionado.....	68
6.3 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de janeiro.....	69
6.4 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de fevereiro.....	70
6.5 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de março.....	71
6.6 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de abril.....	72
6.7 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de maio.....	73
6.8 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de junho.....	74
6.9 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de julho.....	75
6.10 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de agosto	76
6.11 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de setembro.....	77
6.12 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de outubro	78
6.13 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de novembro.....	79
6.14 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de dezembro	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – CÚPULA DO ACESSO PRINCIPAL DA ESTAÇÃO BROOKLIN PERMITE A ENTRADA DE LUZ DURANTE BOA PARTE DO DIA	19
FIGURA 2.1 - EFEITO FOTOVOLTAICO - ESQUEMA ATÔMICO.....	23
FIGURA 2.2 - EFEITO FOTOVOLTAICO COM DOPANTE TIPO P.....	23
FIGURA 2.3 - PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ASSOCIADOS EM PARALELO	24
FIGURA 2.4 - PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ASSOCIADOS EM SÉRIE	24
FIGURA 2.5 - CURVA CARACTERÍSTICA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO I X V	26
FIGURA 2.6 - INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A CURVA I X V	27
FIGURA 2.7 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DA CÉLULA SOBRE A CURVA I X V.....	27
FIGURA 2.8 - VALORES MÉDIOS DE RADIAÇÃO SOLAR NO MUNDO	28
FIGURA 2.9 - LIMPEZA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO SERTÃO DA BAHIA	29
FIGURA 2.10 - DISTANCIAMENTO ENTRE FILEIRAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	30
FIGURA 2.11 - RELAÇÃO DAS PERDAS ENERGÉTICAS EM FUNÇÃO DO FDI PARA A CAPITAL PAULISTA	32
FIGURA 3.1 - INSTALAÇÃO DA MONOVIA PARA ELEVAÇÃO DE CARGAS	33
FIGURA 3.2 - TESTE DE CARGA DA MONOVIA COM 10% ACIMA DA CARGA NOMINAL	34
FIGURA 3.3 - LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DAS SALAS TÉCNICAS DA ESTAÇÃO BROOKLIN.....	36
FIGURA 3.4 - EDIFÍCIO DAS SALAS TÉCNICAS DA ESTAÇÃO BROOKLIN.....	36
FIGURA 3.5 - COBERTURA DO EDIFÍCIO DAS SALAS TÉCNICAS DA ESTAÇÃO BROOKLIN.....	37
FIGURA 3.6 - TRANSFORMADOR RETIFICADOR INSTALADO NA ESTAÇÃO BROOKLIN	38
FIGURA 3.7 - EXEMPLO DE BANCO DE BATERIAS INSTALADOS NAS ESTAÇÕES DA LINHA 5.....	39
FIGURA 3.8 - RADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA EXTRATERRESTRE PARA GSC = 1353 [W/M ²].....	42
FIGURA 3.9 - PRINCIPAIS DIMENSÕES DO PAINEL SELECIONADO	44
FIGURA 3.10 - CÁLCULO DO SOMBREAMENTO CAUSADO PELOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS QUANDO ORIENTADOS A 36° NE	46
FIGURA 3.11 - DISTRIBUIÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ORIENTADOS AO NORTE GEOGRÁFICO	47
FIGURA 3.12 - DISTRIBUIÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ORIENTADOS A 36° NE	47
FIGURA 3.13 - DIAS MÉDIOS RECOMENDADOS PARA CADA MÊS.....	49
FIGURA 3.14 - INVERSOR PHB20K-DT	53
FIGURA 4.1 - CUBÍCULOS DE TRAÇÃO E MÉDIA TENSÃO INSTALADOS LOGO ABAIXO DA LAJE ONDE SERÃO INSTALADOS OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	55
FIGURA 4.2 - DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO POR DISCIPLINA	58
FIGURA 4.3 - DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO POR DISCIPLINA DESCONSIDERANDO ADEQUAÇÕES CIVIS NECESSÁRIAS.....	59
FIGURA 4.4 - DISTRIBUIÇÃO DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO AO LONGO DOS 25 ANOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA CONSIDERANDO EXECUÇÃO DAS ADEQUAÇÕES CIVIS NECESSÁRIAS	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - CARGAS DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DA ESTAÇÃO BROOKLIN	40
TABELA 3.2 – DADOS SOLARIMÉTRICOS PRÓXIMOS AO LOCAL DO OBJETO DE ESTUDO.....	41
TABELA 3.3 – DADOS SOLARIMÉTRICOS MEDIDOS NA CIDADE DE SÃO PAULO	41
TABELA 3.4 – VALORES DE RADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO $B = 24^\circ$	42
TABELA 3.5 – CÁLCULO DO SOMBREAMENTO PROVOCADO PELOS PAINÉIS	45
TABELA 3.6 – CÁLCULO DA POTÊNCIA DIÁRIA GERADA PELOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	49
TABELA 3.7 – ENERGIA DIÁRIA GERADA EM CADA MÊS DO ANO	50
TABELA 3.8 – COMPARATIVO DA DEMANDA VERSUS GERAÇÃO DE ENERGIA	51
TABELA 4.1 – CUSTO UNITÁRIO DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA.....	55
TABELA 4.2 – APRESENTAÇÃO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	56
TABELA 4.3 – CUSTO MÉDIO MENSAL COM ENERGIA ELÉTRICA NAS ESTAÇÕES	58
TABELA 4.4 – CUSTO MÉDIO MENSAL COM ENERGIA ELÉTRICA NAS ESTAÇÕES	59

1 INTRODUÇÃO

Atualmente uma das principais preocupações globais é a proteção do meio ambiente. O tema é pauta de diversos encontros entre as nações e há um consenso de que o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente necessita encontrar um ponto de inflexão nos próximos anos de forma a possibilitar que as futuras gerações encontrem condições mínimas para a sobrevivência no planeta Terra.

O principal impacto e maior desafio do momento é conter o aquecimento global. O Acordo de Paris prevê medidas das nações de forma que o aumento da temperatura média no planeta não ultrapasse os 2°C até o final do século.

Um dos principais vilões do aquecimento global é a queima de combustíveis fósseis. Atualmente esta fonte de energia corresponde a cerca de 70% da matriz energética mundial. No Brasil, segundo o BEN 2016, os combustíveis fósseis representam 55% da oferta interna de energia. Uma das políticas e ações que podem ser adotadas para conter o aquecimento global é o fomento das energias renováveis. Segundo o BEN 2016, no Brasil a participação das fontes de energia renováveis na matriz energética em 2015 foi de 41,2%. Este valor é inferior ao registrado em 2011 (44%). Um dos motivos consiste na falta de investimentos em energia nos últimos anos, aliado a escassez de chuvas para geração hidrelétrica, o que forçou a operacionalização das usinas termelétricas.

O setor de transportes também é apontado como um grande vilão no aumento da temperatura no planeta e da poluição nas cidades. Os grandes centros urbanos concentram as melhores oportunidades de emprego e acabam atraindo cada vez mais pessoas para estas regiões. A falta de infraestrutura adequada aliada ao deficiente sistema de transporte público das principais cidades do Brasil serve de incentivo ao uso de veículo próprio para deslocamentos. O Governo do Estado de São Paulo vem desde a década de 60 investindo no sistema de transporte sobre trilhos na Grande São Paulo. Além da alta capacidade de transporte de passageiros, o sistema metroferroviário é movido à energia elétrica e, portanto contribui para a redução da emissão de poluentes na atmosfera. Segundo a empresa que opera o

metropolitano na cidade de São Paulo, no ano de 2016 a operação do sistema permitiu que 949 mil toneladas de poluentes deixassem de ser lançados na atmosfera em São Paulo.

Se por um lado a movimentação de trens e operação dos equipamentos das estações não emitem gases de efeito estufa, sistemas metroviários são grandes consumidores de energia elétrica e pouco efeito surtiria se a energia elétrica demandada fosse gerada através da queima de combustíveis fósseis. Por este motivo, eficiência energética e estudo de aplicação de energias renováveis estão em pauta na empresa. Desde o projeto básico a arquitetura das estações já é concebida de forma que a operação de uma estação demande a menor quantidade de energia possível.

Figura 1.1 – Cúpula do acesso principal da estação Brooklin permite a entrada de luz durante boa parte do dia



Fonte: Metrô de São Paulo (2017)

Existem diversos estudos para geração de energia através de fontes renováveis para aplicações metroviárias. O metropolitano da cidade de Santiago do

Chile firmou um acordo com usinas de energia solar e eólica para suprimento da demanda das estações à partir de 2018. Tal notícia foi veiculada em todo o mundo, provocando impacto extremamente positivo à imagem da empresa que opera o sistema e do próprio país. Por este motivo, qualquer esforço no sentido de viabilizar a geração de energia por fontes renováveis é válido, uma vez que cresce cada vez mais a importância da questão ambiental sobre a imagem das empresas.

1.1 Objetivo

O objetivo desse trabalho consiste em analisar a viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema de geração elétrica fotovoltaica sobre o edifício das salas técnicas das futuras estações da Linha 5 – Lilás do metropolitano da cidade de São Paulo. O estudo tomará como base a futura estação Brooklin.

1.2 Justificativa

O estudo tem por intuito disseminar a ideia de geração de energia através de fontes renováveis dentro da empresa, uma vez que além dos benefícios econômicos e ambientais, existe ainda um fortalecimento da imagem da empresa perante a sociedade e seus clientes / usuários.

1.3 Metodologia

O trabalho desenvolvido parte da análise do potencial de geração de energia solar no local da instalação considerando o método de Liu Jordan. Para definir a melhor orientação dos painéis fotovoltaicos foi efetuado um estudo de sombreamento causado pelos próprios painéis solares considerando a geometria do modelo dos módulos fotovoltaicos selecionados para o desenvolvimento do estudo e a variação do ângulo de incidência solar ao longo do dia.

Para a seleção do modelo de inversor foi considerado um modelo com saída trifásica em corrente alternada visando atender algumas cargas demandas por alguns equipamentos da estação.

Para o cálculo da viabilidade econômica foram elencados todos os custos envolvidos na implantação do projeto e a economia mensal ao longo dos anos considerou a redução no consumo de energia fornecida pela concessionária. O estudo considera o cálculo através do método do payback simples, do valor presente líquido e da taxa interna de retorno da implantação do projeto.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado nos seguintes capítulos:

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO: Apresentação sobre o tema do trabalho, com explanação do objetivo e justificativa do estudo.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: Apresentação sobre conceitos do efeito fotovoltaico, da geração através de painéis fotovoltaicos, fatores que influenciam a geração e principais componentes do sistema.

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO: Apresentação da identificação da oportunidade, dos cálculos e considerações efetuadas para o dimensionamento do sistema.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: Apresentação do custo de implantação do sistema, considerando os custos das adequações civis necessárias, custos de aquisição e de serviços de engenharia.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO: Apresentação dos resultados gerais, produtos das análises efetuadas ao longo do trabalho, com a abordagem das dificuldades ou facilidades encontradas no estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: Apresentação de todo material bibliográfico consultado para subsidiar os estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Efeito fotovoltaico

O sol e a energia produzida através da fusão dos átomos de hidrogênio no seu interior são fundamentais para a existência da vida no planeta Terra. Segundo CRESESB (2004), nosso planeta recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh, o que representa cerca de 10 mil vezes o consumo de energia dos mais de 7 bilhões de habitantes terráqueos. Esta energia pode ser aproveitada de forma direta, sem necessidade de conversão, para aquecimento, aproveitando a energia em forma de calor. No entanto, a utilização desta maneira restringe o aproveitamento desta fonte inesgotável de energia. Segundo o BEN (2016), em 2015 no Brasil a eletricidade representou 17,2% do consumo final de energia.

Para a conversão da energia da luz em eletricidade, faz-se uso do efeito fotovoltaico. Segundo CRESESB (2004), o efeito fotovoltaico foi relatado por Edmond Becquerel em 1839 como o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz.

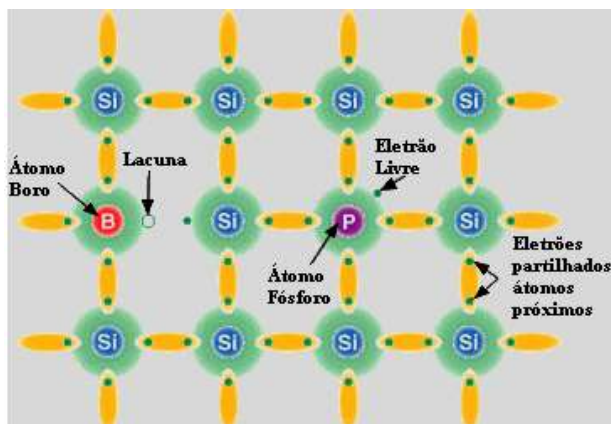
Segundo CRESESB (2006), o semicondutor mais utilizado é o silício, que por possuir 4 elétrons de valência, quando associado à átomos com 5 elétrons de ligação, como o fósforo, resulta na existência de um elétron que não pode ser associado, ficando fracamente ligado ao seu núcleo de origem. Com isto, com pouca energia térmica é possível fazer com que este elétron fique na banda de condução. Neste caso, diz-se que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n.

Existe ainda a possibilidade da dopagem p, que ocorre quando o átomo adicionado possui apenas 3 elétrons de ligação. Desta forma, haverá a ausência de um elétron para satisfazer a ligação com os átomos de silício. A existência desta lacuna faz com que, com pouca energia térmica, um elétron vizinho passe a ocupar esta posição, gerando uma corrente elétrica.

Quando em uma rede de átomos de silício são adicionados átomos de fósforo em uma metade e de boro na outra, cria-se o que se chama de junção pn. Segundo

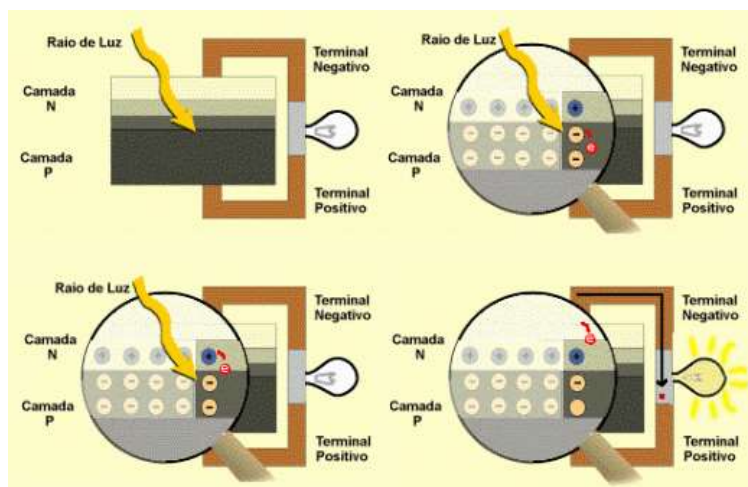
CRESESB (2006) nesta junção os elétrons livres do lado n passam ao lado p, onde são capturados pelas lacunas existentes. Desta maneira, o lado n fica carregado positivamente enquanto que o lado p fica carregado positivamente. À medida que todas as lacunas do lado p são ocupadas por elétrons, um campo elétrico é gerado de forma que impede a transferência de elétrons pela junção. No entanto, quando expostos a fótons com energia maior do que a das lacunas, são gerados pares elétron-lacuna. Quando isto ocorre em locais onde o campo elétrico é diferente de zero, este campo acelera as cargas, criando uma corrente elétrica na junção pn. A diferença de potencial causada por esta transferência de cargas é chamada de efeito fotovoltaico. A Figura 2.1 apresenta o esquema explicado acima.

Figura 2.1 - Efeito fotovoltaico - esquema atômico



Fonte: <https://www.electronica-pt.com/efeito-fotovoltaico>

Figura 2.2 - Efeito fotovoltaico com dopante tipo p

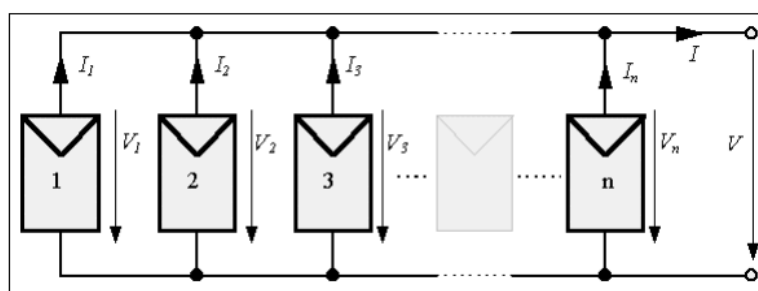


Fonte: CRESESB (2006)

2.2 Módulo fotovoltaico

A conversão da energia da radiação solar em energia elétrica explanada no item 2.1 é realizada na prática por painéis ou módulos fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos são constituídos por células fotovoltaicas ligadas em série. A tensão e corrente elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos individualmente é muito baixa, o que dificulta sua utilização. Por este motivo, os painéis fotovoltaicos são associados em série e/ou em paralelo para que produzam energia em valores de tensão e corrente elétrica favoráveis as aplicações desejadas. A Figura 2.3 apresenta um exemplo de arranjo de painéis fotovoltaicos em paralelo. Nesta configuração, a corrente elétrica gerada é a soma da corrente gerada por cada painel individualmente, enquanto que o valor da tensão é igual a gerada por um único painel.

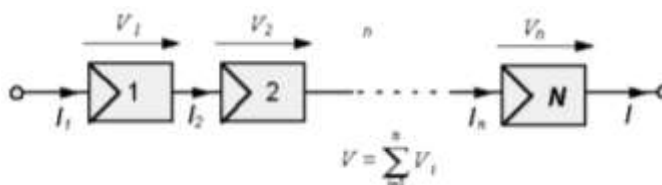
Figura 2.3 - Painéis fotovoltaicos associados em paralelo



Fonte: CRESESB (2006)

A Figura 2.4 apresenta os painéis fotovoltaicos associados em série. Neste caso, a tensão do conjunto é igual a soma da tensão elétrica gerada individualmente por cada painel, enquanto que a corrente elétrica é igual a corrente gerada por um painel fotovoltaico individualmente.

Figura 2.4 - Painéis fotovoltaicos associados em série



Fonte: CRESESB (2006)

2.2.1 Características elétricas dos painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado apresentam em seus respectivos catálogos especificações cujos valores são obtidos em testes realizados em laboratório. Por este motivo, tais valores servem como referência para comparação da eficiência entre os modelos definidos, porém os valores tabelados não representam com fidelidade o que de fato será obtido com a instalação em campo.

Os testes são executados sob as seguintes condições:

2.2.1.1 STC – Standard test conditions

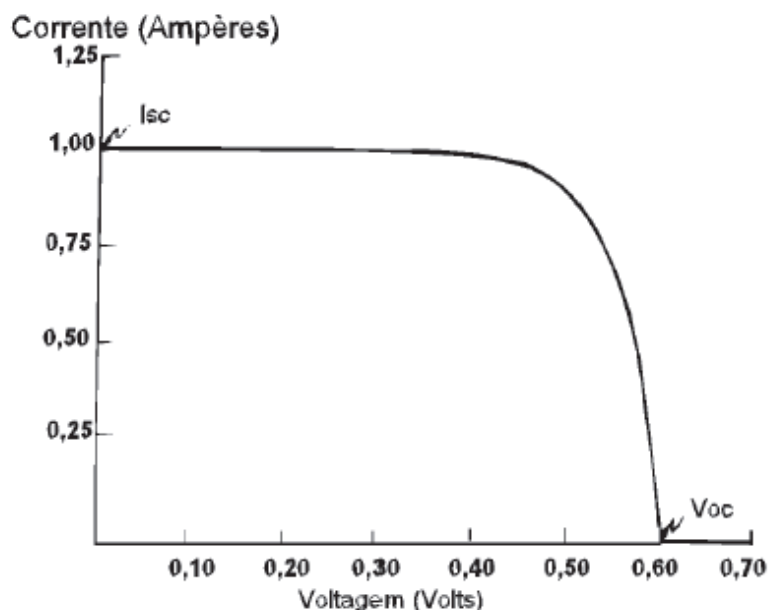
Os testes segundo a STC são realizados em laboratórios nos quais os painéis fotovoltaicos são submetidos a:

- Radiação solar de 1000 W/m^2 ;
- Massa de ar de 1,5;
- Temperatura da célula de 25°C .

O produto do teste realizado sob a STC é a geração da curva $I \times V$, apresentada na Figura 2.5. É possível verificar alguns pontos notáveis na curva, cujos valores são apresentados nos catálogos. São eles:

- Voltagem de circuito aberto (VOC): maior valor de tensão entre os terminais do painel fotovoltaico. Ocorre quando não há carga conectada ao sistema;
- Corrente de curto-circuito (ISC): É a máxima corrente elétrica de saída do módulo fotovoltaico quando há captação de radiação solar, mas não há tensão elétrica nos terminais do módulo.

Figura 2.5 - Curva característica de um painel fotovoltaico I x V



Fonte: CRESESB (2014)

Para cada ponto da curva apresentada na Figura 2.5, existe um valor de potência. Segundo CRESESB (2014) para um painel fotovoltaico existe apenas um valor de tensão e corrente para a qual se extrai a máxima potência do painel. Estes três valores, representados como P_m (potência máxima), V_{mp} (tensão de máxima potência) e I_{mp} (corrente de máxima potência) junto com os valores de VOC e ISC são os cinco parâmetros que especificam o painel fotovoltaico sob a STC.

2.2.1.2 NOCT – Normal Operation Cell Temperature

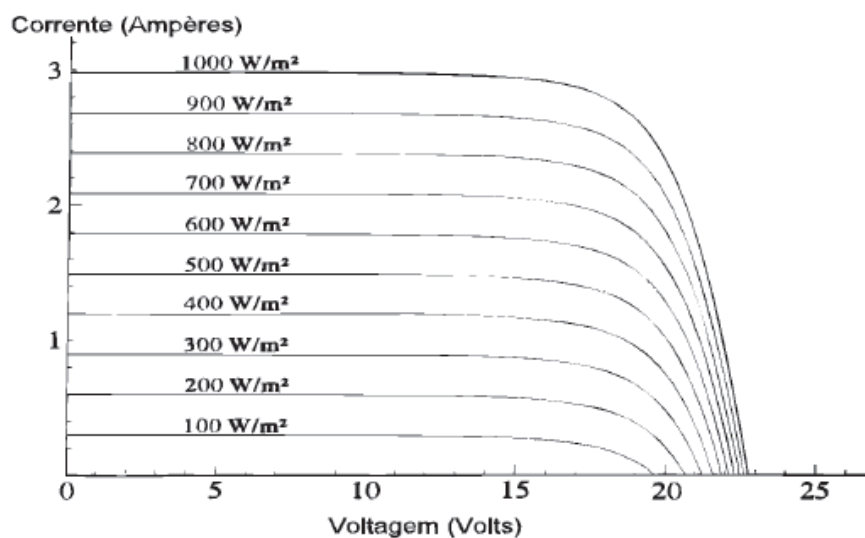
Segundo CRESESB (2014) os testes segundo a NOCT são realizados quando submetidos as seguintes condições:

- Radiação solar de 800 W/m²;
- Temperatura ambiente de 20°C;
- Ventos incidindo a 1 m/s;
- Arranjo fotovoltaico em circuito aberto.

Os valores obtidos nestes testes são apresentados pelos fabricantes nos catálogos.

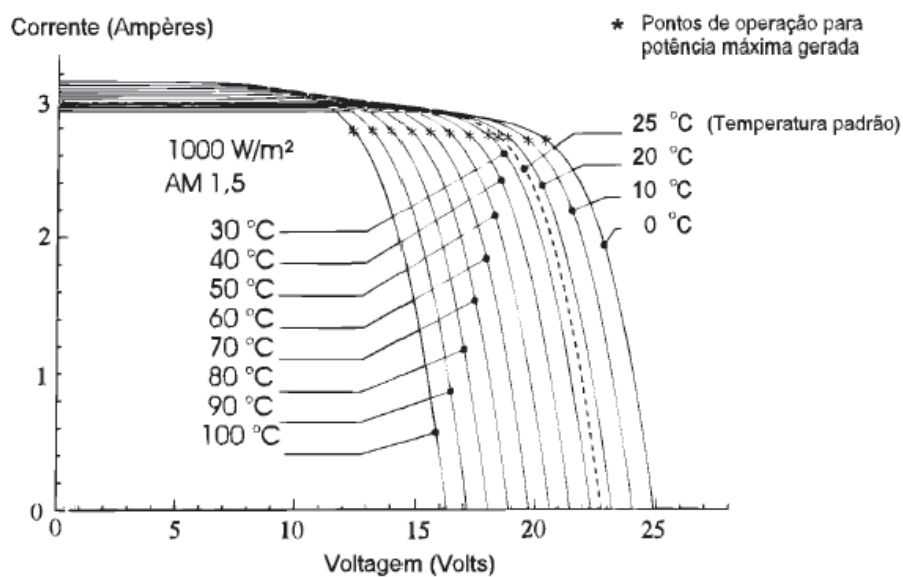
Os valores dos parâmetros obtidos nos dois testes diferem entre si. As Figuras 2.6 e 2.7 apresentam como a curva I x V é alterada quando ocorre variação na radiação solar e na temperatura da célula fotovoltaica.

Figura 2.6 - Influência da radiação solar sobre a curva I x V



Fonte: CRESESB (2014)

Figura 2.7 - Influência da temperatura da célula sobre a curva I x V



Fonte: CRESESB (2014)

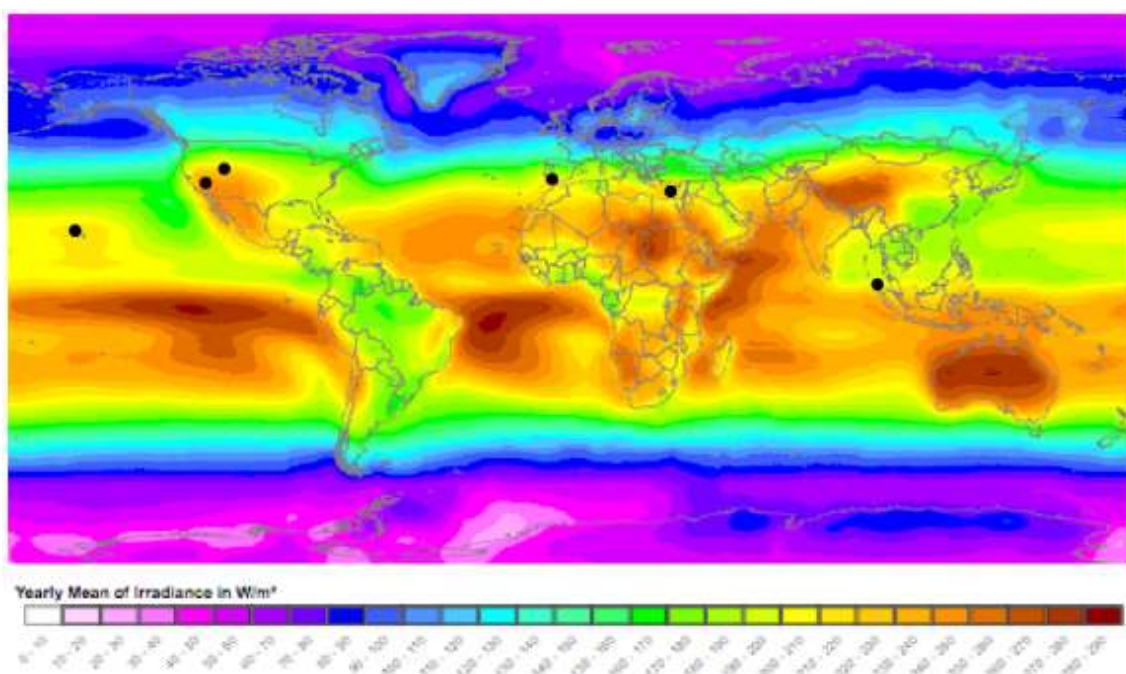
Analisando a Figura 2.6, verifica-se que quanto maior a radiação solar, maior será o valor da corrente obtida. No entanto, quanto maior a radiação solar, maior será a temperatura da célula e, conforme Figura 2.7, quanto maior o valor da temperatura, menor será a tensão gerada. Assim, faz-se necessária uma análise criteriosa da condição existente no local de forma a trabalhar com estas variáveis conflitantes.

2.3 Fatores que influenciam na geração de energia solar

A geração de energia solar sofre influência de alguns fatores que podem determinar a viabilidade ou não da instalação do sistema. Alguns desses fatores são geográficos, tal qual a latitude, enquanto outros são específicos do local de instalação.

A Figura 2.8 apresenta o valor médio da radiação solar mundial. Nota-se que os maiores valores se concentram próximo a linha do Equador. Vale destacar que existem outros fatores de influência.

Figura 2.8 - Valores médios de radiação solar no mundo



Fonte: Intech (2017) <https://www.intechopen.com/books/biofuel-s-engineering-process-technology/paving-the-road-to-algal-biofuels-with-the-development-of-a-genetic-infrastructure>

Outro fator de influência na geração de energia solar é a orientação dos painéis fotovoltaicos. Segundo CRESESB (2004), para instalações no Brasil os painéis fotovoltaicos, via de regra, devem estar orientados ao Norte Verdadeiro (geográfico). Porém existem outros fatores climáticos envolvidos que podem fazer com que a maior geração ocorra com outra orientação.

Existe ainda a definição da inclinação dos painéis fotovoltaicos em relação ao plano horizontal. Segundo SIMÕES MOREIRA (2017) a maior parte dos sistemas instalados são estacionários e é instalado de forma a privilegiar a geração de energia próximo do meio-dia, horário no qual ocorre a maior incidência solar ao longo do dia. Segundo CRESESB (2004) a inclinação dos painéis fotovoltaicos deve ser igual a latitude do local, porém nunca menor do que 10° , para favorecer a auto-limpeza dos painéis. Segundo SIMÕES MOREIRA (2017) pode-se maximizar a geração de energia ao instalar sistemas de rastreamento solar, que podem alterar a inclinação e orientação dos painéis através da rotação em dois eixos. No entanto, o custo de implantação (CAPEX) e o custo de operação (OPEX) deste tipo de sistema são maiores, o que requer uma análise mais criteriosa para avaliar a viabilidade da sua instalação.

Especificidades do local da instalação também podem influenciar na geração de energia. Regiões desertas e sertões apresentam alto índice de radiação solar, porém os painéis ficam sujeitos a alta temperatura nas células fotovoltaicas e à tempestades de areia, que prejudicam a eficiência do sistema.

Figura 2.9 - Limpeza de painéis fotovoltaicos no sertão da Bahia

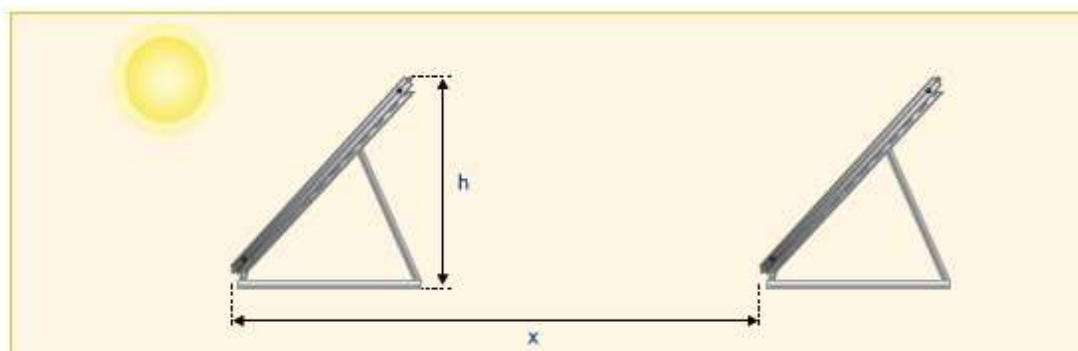


Fonte: Imagem particular do autor.

A sujeira acumulada prejudica o aproveitamento da radiação solar na sua plenitude, prejudicando a eficiência do sistema. A presença de sombreamento sobre os painéis solares também é uma ameaça à eficiência energética e à viabilidade da implantação do sistema. Para minimizar as perdas ocorridas em decorrência de sombras, visto que as células dos painéis fotovoltaicos estão ligados em série e a corrente elétrica fica limitada à célula menos favorável, são instalados diodos by-pass. Este diodo representa um caminho alternativo para desvio de uma eventual célula defeituosa.

A definição do local da instalação dos painéis fotovoltaicos também deve considerar os efeitos do sombreamento causado pelos próprios painéis ou por anteparos existentes nas adjacências. Instalações urbanas devem considerar a possibilidade de construção de edificações posteriores à instalação do sistema que possam vir a impactar negativamente na viabilidade da instalação do sistema.

Figura 2.10 - Distanciamento entre fileiras de painéis fotovoltaicos



Fonte: LusoSol (2017)

2.4 Inversores

Os painéis fotovoltaicos geram energia elétrica em corrente contínua. A utilização da energia elétrica desta forma limitaria a sua aplicação, visto que a maior parte do consumo de energia elétrica ocorre em corrente alternada. Os inversores são os responsáveis por efetuar esta conversão.

Segundo CRESESB (2014) os inversores são parte do sistema e a seleção do modelo adequado à aplicação é importante para garantir a máxima eficiência do

sistema. Assim, os inversores devem dissipar o mínimo de potência e devem produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos, em sincronismo com a rede elétrica, caso o Sistema Fotovoltaico esteja interligado à rede.

Segundo MACEDO (2006) os inversores são comumente equipados com seguidores de máxima potência (MPPT). A função deste dispositivo é rastrear a melhor condição a cada momento, na qual será gerada a maior quantidade de energia. Quando ligados a sistemas fotovoltaicos, cujos fatores climáticos são os atores principais, os seguidores de máxima potência devem identificar com rapidez a variação das condições existentes para encontrar o ponto ótimo de operação em determinado momento. A eficiência dos seguidores de máxima potência geralmente é superior a 90%.

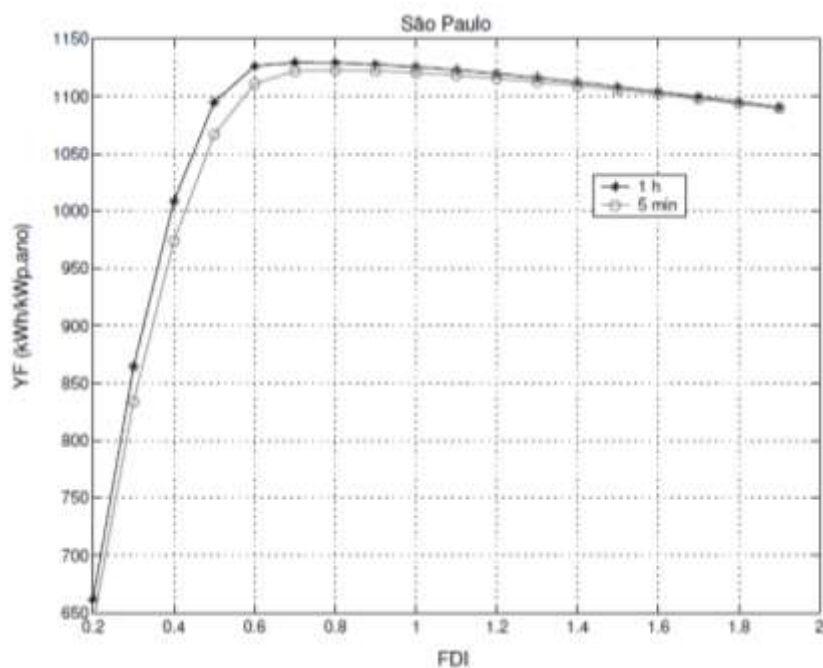
Para o dimensionamento do inversor do sistema, devem ser realizados os cálculos dos seguintes parâmetros:

- Máxima potência fotovoltaica: a potência dos painéis fotovoltaicos associados ao inversor deve ser igual ou menor do que a máxima potência de entrada;
- Tensão dos painéis fotovoltaicos: a tensão dos painéis fotovoltaicos associados ao inversor deve ser igual ou menor a tensão máxima de entrada CC;
- Faixa de operação do seguidor de máxima potência: a tensão dos painéis fotovoltaicos associados ao inversor deverá estar dentro da faixa de operação do seguidor de máxima potência;
- Corrente dos painéis fotovoltaicos: a corrente elétrica dos painéis fotovoltaicos não deve exceder a corrente máxima de operação dos inversores;

Para o dimensionamento dos inversores existe ainda o Fator de Dimensionamento de Inversor (FDI). O FDI é a razão entre a potência nominal do inversor e a potência nominal dos painéis fotovoltaicos a ele associados. Segundo MACEDO (2006), para a cidade de São Paulo valores de $0,6 < \text{FDI} < 1,0$ apresentam a menor perda de energia. Por este motivo, os inversores devem ser

dimensionados considerando esta faixa de valores. A Figura 2.11 apresenta as perdas energéticas em função do valor do FDI para a cidade de São Paulo.

Figura 2.11 - Relação das perdas energéticas em função do FDI para a capital paulista



Fonte: MACEDO (2006)

3 ESTUDO REALIZADO

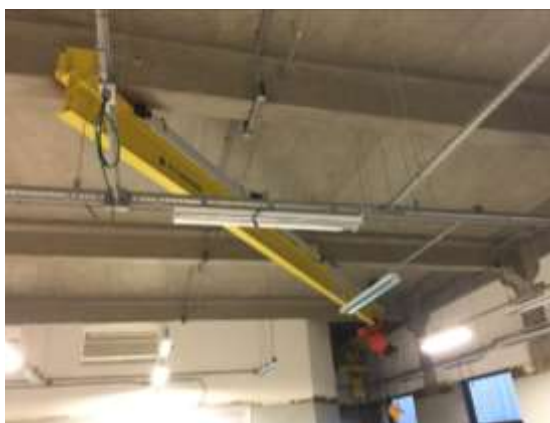
3.1 Identificação da oportunidade

A concepção do projeto civil das novas estações da expansão da Linha 5 – Lilás do transporte metropolitano da cidade de São Paulo definiu a instalação das subestações elétricas e salas técnicas em edifícios independentes das estações, com exceção da futura estação Campo Belo. Nas estações operacionais da Linha 5 e nas demais estações das Linhas 1, 2 e 3, a subestação elétrica, assim como as respectivas salas técnicas, foram instaladas dentro do corpo das estações.

A quantidade elevada e diversa de equipamentos eletromecânicos e eletrônicos presentes em cada estação para promover o maior conforto e segurança aos usuários do sistema metroviário demanda uma grande área para acomodação dos painéis que alimentam e controlam todos estes equipamentos. Desta forma, a área requerida para acomodação dos transformadores, gerador a diesel, cubículos de média tensão e painéis elétricos e eletrônicos é grande.

Um dos motivos da decisão do desmembramento do edifício das salas técnicas do corpo da estação foi facilitar o acesso para entrada dos transformadores, gerador a diesel, painéis e demais equipamentos necessários. Para o transporte destes equipamentos, que chegam a possuir 3 toneladas, até o 3º piso do edifício, foi prevista na concepção do projeto a instalação de uma monovia para elevação destas cargas, com capacidade para suportar até 3,5 toneladas.

Figura 3.1 - Instalação da monovia para elevação de cargas



Fonte: Imagem do próprio autor.

Figura 3.2 - Teste de carga da monovia com 10% acima da carga nominal



Fonte: Imagem do próprio autor.

A necessidade de instalação da monovia demandou um reforço na estrutura de sustentação dos telhados do edifício. Este reforço estrutural não foi executado

apenas na região de instalação da monovia, mas ao longo do edifício como um todo. Diante disto, a estrutura da edificação está superdimensionada para o restante da edificação. Como um dos entraves para instalação dos painéis fotovoltaicos sobre os telhados de edifícios é justamente o reforço da estrutura para suportar a carga adicional, esta restrição não se faz presente no caso apresentado.

A empresa responsável pela construção e operação da Linha 5 tem como visão desde a sua fundação a busca pela inovação e conformidade com as normas e melhores práticas vigentes, tendo sido pioneira no Brasil na construção e operação de sistema metroviário na década de 70 e transporte de massa em sistema de monotrilho em 2013. Atualmente a preocupação com o meio ambiente é um fator que agrega valor a imagem das organizações e pessoas que as põem em prática.

Todos estes fatores aliados, especialmente a inexistência de necessidade de reforço estrutural e o caráter inovador da empresa, apontam para a existência de uma grande oportunidade para instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura destas edificações.

3.2 Apresentação da edificação

O objeto de estudo deste trabalho será o estudo de viabilidade de instalação de painéis fotovoltaicos sobre o edifício das salas técnicas construído para a futura estação Brooklin da Linha 5 – Lilás do sistema metroviário da cidade de São Paulo. As coordenadas do local são:

- Latitude: 23,626542° Sul
- Longitude: 46,688316 Oeste

A área na qual o edifício está construído é apresentada na Figura 3.3. A área destacada em vermelho indica a localização do edifício objeto do estudo. A área delimitada em amarelo indica o espaço que compreende a estação. Desta forma, por pertencer à empresa que opera a estação, a probabilidade de construção de um edifício que provoque sombreamento no telhado é baixíssima. Nas adjacências, existem condomínios de casas de alto padrão. Devido ao elevado valor venal destas

residências, a probabilidade de construção de um edifício que venha a ocupar o espaço ocupado por estas atualmente também é baixa. Atualmente, os edifícios construídos na adjacência não causam sombreamento no telhado do edifício em nenhuma hora do dia.

Figura 3.3 - Localização do edifício das salas técnicas da estação Brooklin



Fonte: Imagem de satélite retirada do site Google Maps e editada pelo próprio autor.

A construção do edifício foi concluída, conforme Figura 3.4.

Figura 3.4 - Edifício das Salas Técnicas da estação Brooklin



Fonte: Imagem do próprio autor.

A Figura 3.5 apresenta o telhado instalado atualmente na parte superior do edifício. A proposta para este local é a remoção das telhas instaladas para instalação dos painéis fotovoltaicos.

Figura 3.5 - Cobertura do edifício das Salas Técnicas da estação Brooklin



Fonte: Imagem do próprio autor.

3.3 Descrição das cargas elétricas da estação Brooklin

3.3.1 Sistema de alimentação elétrica das estações da Linha 5

O sistema de alimentação elétrica das estações da Linha 5 é composto por subestações primárias e retificadores, além de transformadores que rebaixam a tensão elétrica aos diversos níveis desejados e demandados pelos equipamentos das estações.

A concessionária fornece energia em tensão de 88 kV. Nas subestações primárias, uma localizada próxima ao futuro pátio de manutenção Guido Caloi e a outra localizada na avenida dos Bandeirantes, transformadores rebaixam a tensão a

22 kV. A energia elétrica chega às estações neste nível de tensão através de cabos elétricos lançados ao longo dos túneis. Estes cabos ao chegar a cada estação, sobem através de prumadas de cabos até as salas técnicas.

3.3.1.1 Rebaixamento da tensão em corrente contínua para o sistema de tração de trens

Nas estações a tensão de 22 kV é retificada e rebaixada a 1500 Vcc para alimentação do sistema de tração dos trens.

A Figura 3.6 apresenta o transformador retificador instalado na estação Brooklin.

Figura 3.6 - Transformador retificador instalado na estação Brooklin



Fonte: Imagem do próprio autor.

3.3.1.2 Rebaixamento da tensão em corrente alternada

Além do transformador retificador, existem ainda os transformadores que mantêm a tensão em corrente alternada. Neste caso, a transformação da tensão ocorre em série.

Primeiramente a tensão de 22 kV é rebaixada para 460 V, para alimentação dos sistemas auxiliares, tais quais escadas rolantes, elevadores, bombas e sistemas de ventilação mecânica. Existem ainda transformadores de baixa tensão, que rebaixam os 460 V para 220V para atender as cargas de sistemas específicos, tais quais ar-condicionado, portas de plataforma, iluminação e tomadas.

3.3.1.3 Rebaixamento da tensão em corrente contínua para os circuitos vitais da estação

Existem ainda retificadores que transformam 460 V em 125 Vcc para alimentação dos circuitos vitais da estação, relacionados aos sistemas de segurança das estações, tais quais iluminação de emergência e detecção de incêndio.

Para o caso de interrupção no fornecimento de energia elétrica pela concessionária, em todas as estações são instalados bancos de baterias que são alimentados em 125 Vcc para o suprimento de energia aos circuitos vitais em caso de degradação do sistema.

Figura 3.7 - Exemplo de banco de baterias instalados nas estações da Linha 5



Fonte: Imagem do próprio autor.

3.3.2 Identificação das cargas com potencial de atendimento pela energia solar fotovoltaica

Conforme apresentado no item 3.3.1, os equipamentos de uma estação metro ferroviária demandam energia elétrica em níveis de tensão e tipos de corrente diversas. Desta forma, a identificação das cargas com potencial de atendimento pela energia gerada pelos painéis fotovoltaicos deve ser criteriosa.

Inicialmente as cargas elétricas que poderiam ser mais facilmente atendidas são aquelas alimentadas em 125 Vcc, visto que a energia é gerada pelos painéis fotovoltaicos em corrente contínua. Dependendo do arranjo dos painéis, não seria necessária a instalação de inversores de frequência.

Partindo para as cargas alimentadas em corrente alternada, existe uma diversidade de sistemas que poderiam ser atendidos.

A Tabela 3.1 apresenta um breve resumo dos sistemas e respectivas cargas.

Tabela 3.1 - Cargas dos principais equipamentos da estação Brooklin

SISTEMA / EQUIPAMENTO	TENSÃO	POTÊNCIA	HORAS DIÁRIAS DE OPERAÇÃO
Ventilação de Salas Técnicas e Operacionais	460 V	20 kW	24h
Ar-condicionado	220 V	28 kW	24h
Escadas Rolantes	460 V	298 kW	20h
Iluminação de Emergência	127 V	19 kW	24h
Iluminação e Tomadas	220 V / 127 V	90 kW	24h
Elevadores	380 V	20 kW	5h
Portas de Plataforma	220 V	6,5 kW	24h

Analisando os valores da Tabela 3.1, pode-se concluir que há possibilidades nas mais diversas formas e que a definição de qual carga será atendida só poderá ser realizada após a realização dos cálculos de potência de geração de energia.

A Tabela 3.4 apresenta os valores dos índices de claridade (KT) diário para o dia médio de cada mês. O valor da irradiação solar média mensal (H) fornecida pelo CRESESB e apresentada na Tabela 3.3 foi utilizada para a realização dos cálculos.

Para o cálculo da radiação extraterrestre diária média mensal, para uma constante solar de $GSC = 1353 \text{ W/m}^2$, o valor foi interpolado através da Figura 3.8 para a latitude do local.

Figura 3.8 - Radiação média diária extraterrestre para $G_{sc} = 1353 \text{ [W/m}^2\text{]}$

ϕ	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
30	21.3	25.7	31.5	36.8	40.0	41.1	40.4	37.8	33.2	27.4	22.2	19.9
25	24.2	28.2	33.2	37.5	39.8	40.4	40.0	38.2	34.6	29.6	25.0	22.9
20	27.0	30.5	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.2	35.6	31.6	27.7	25.8
15	29.6	32.6	35.9	38.0	38.5	38.4	38.3	38.0	36.4	33.4	30.1	28.5
10	32.0	34.4	36.8	37.9	37.5	37.0	37.1	37.5	37.0	35.0	32.4	31.1
5	34.2	36.0	37.5	37.4	36.3	35.3	35.6	36.7	37.2	36.3	34.5	33.5
0	36.2	37.4	37.8	36.7	34.8	33.5	34.0	35.7	37.2	37.3	36.3	35.7
-5	38.0	38.5	37.9	35.8	33.0	31.4	32.1	34.4	36.9	38.0	37.9	37.6
-10	39.5	39.3	37.7	34.5	31.1	29.2	29.9	32.9	36.3	38.5	39.3	39.4
-15	40.8	39.8	37.2	33.0	28.9	26.8	27.6	31.1	35.4	38.7	40.4	40.9
-20	41.8	40.0	36.4	31.3	26.6	24.2	25.2	29.1	34.3	38.6	41.2	42.1
-25	42.5	40.0	35.4	29.3	24.1	21.5	22.6	27.0	32.9	38.2	41.7	43.1
-30	43.0	39.7	34.0	27.2	21.4	18.7	19.9	24.6	31.2	37.6	42.0	43.8

Fonte: DUFFIE (2013)

Tabela 3.4 – Valores de radiação solar no plano inclinado $\beta = 24^\circ$

	δ	H	H0	KT	ω_s	ω_s^*	ω_s^{**}	Hd/H	Hd	Rb	Ht
Jan	-20,9	4,10	42,36	0,348	99,79	99,79	115,09	0,589	8,691	0,84	13,55
Fev	-13,0	4,77	40,00	0,429	95,90	95,90	104,86	0,498	8,554	0,93	16,38
Mar	-2,4	4,15	35,60	0,420	91,07	91,07	92,67	0,488	7,285	1,06	15,24
Abr	9,4	4,04	29,70	0,490	85,77	85,77	79,41	0,392	5,708	1,21	16,31
Mai	18,8	3,91	24,60	0,572	81,28	81,28	67,78	0,308	4,338	1,31	17,03
Jun	23,1	3,79	22,04	0,619	79,05	79,05	61,72	0,271	3,691	1,34	16,98
Jul	21,2	4,09	23,12	0,637	80,06	80,06	64,48	0,271	3,987	1,33	18,20
Ago	13,5	4,37	27,42	0,574	83,86	83,86	74,54	0,327	5,144	1,26	18,39
Set	2,2	3,95	33,18	0,429	89,02	89,02	87,55	0,467	6,637	1,12	14,99
Out	-9,6	3,93	38,28	0,370	94,32	94,32	100,83	0,545	7,708	0,97	13,77
Nov	-18,9	4,59	41,60	0,397	98,77	98,77	112,35	0,538	8,891	0,86	15,25
Dez	-23,0	4,08	42,90	0,342	100,89	100,89	118,13	0,600	8,810	0,82	13,36

As unidades das grandezas apresentadas na Tabela 3.4 são:

- $\delta, \omega_s, \omega_s^*$ e $\omega_s^{**} = [^\circ]$;
- $H = [\text{kWh} / \text{m}^2 \text{ dia}]$;
- H_0, H_d e $H_t = [\text{MJ} / \text{m}^2 \text{ dia}]$.

3.5 Cálculo da potência gerada pelos painéis fotovoltaicos

Conforme apresentado na Figura 3.3, observa-se que o edifício objeto de estudo possui a face mais favorável indicada para nordeste, precisamente $\alpha = 36^\circ$ NE. Assim, existem duas possibilidades de disposição de painéis fotovoltaicos:

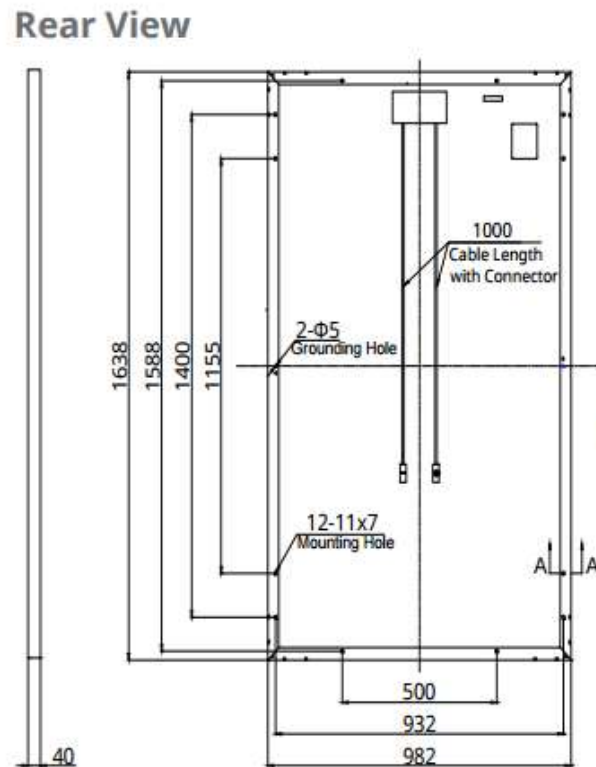
- Orientados a 36° NE;
- Orientados a 0° N para aproveitamento máximo da energia solar.

As duas possibilidades serão estudadas.

3.5.1 Seleção do painel fotovoltaico

Para o desenvolvimento do estudo, foi selecionado o painel fabricado pela Canadian Solar modelo CS6P-265P, cujas especificações se encontram no Anexo 7.1. A opção por este painel foi baseada na Tabela de Eficiência Energética – Sistema de Energia Fotovoltaica – Módulos – Edição 2017 elaborada e disponibilizada pelo Inmetro. (http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf). Além disso, este painel é facilmente encontrado no mercado, ao custo médio de R\$ 650,00 o que indica um custo de 2,45 R\$/W.

Figura 3.9 - Principais dimensões do painel selecionado



Fonte: Canadian Solar (2017)

3.5.2 Cálculo do sombreamento causado pelos painéis

Considerando a inclinação β dos painéis igual a 24° e a instalação dos mesmos sobre um suporte com 20 cm de altura, a altura total do conjunto será de cerca de 87 cm.

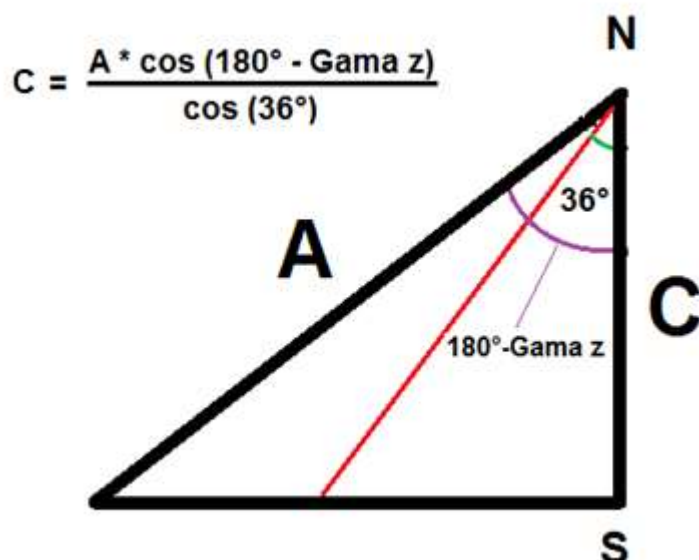
Diante desta informação, é possível calcular o sombreamento causado pelos próprios painéis. Para este cálculo, será considerado o dia 21 de junho, dia no qual o sol atinge maior declinação em relação à latitude, provocando um maior sombreamento.

A Tabela 3.5 apresenta os valores obtidos para o cálculo do sombreamento. Como se pode observar, o maior sombreamento ocorre por volta das 07:30h. O sombreamento provocado pelos painéis quando orientados ao norte geográfico é de 3,2 metros e de 3,96 metros quando orientados a 36° NE. Entretanto, a geração de energia solar nas primeiras horas de insolação é muito baixo. Verifica-se na tabela que o sombreamento às 08:30h é de 1,54m, o que representa menos da metade da distância exigida às 07:30h. Por este motivo, será considerado o espaço calculado para às 08:30h.

Tabela 3.5 – Cálculo do sombreamento provocado pelos painéis

						Norte	36° NE
HL	HS	ω [°]	θ_z [°]	γ_s [°]	A [m]	X [m]	X [m]
05:30	5,36	-99,565	107,41	108,54	-2,775	-	-
06:30	6,36	-84,565	94,58	113,62	-10,854	-	-
07:30	7,36	-69,565	82,30	119,83	6,437	3,202	3,958
08:30	8,36	-54,565	70,87	127,70	2,508	1,534	1,896
09:30	9,36	-39,565	60,76	137,96	1,554	1,154	1,427
10:30	10,36	-24,565	52,78	151,38	1,145	1,005	1,243
11:30	11,36	-9,565	47,99	168,16	0,966	0,945	1,168
12:30	12,36	5,435	47,37	173,22	0,945	0,939	1,160
13:30	13,36	20,435	51,09	155,69	1,078	0,982	1,214
14:30	14,36	35,435	58,31	141,31	1,409	1,100	1,360
15:30	15,36	50,435	67,92	130,25	2,145	1,386	1,713
16:30	16,36	65,435	79,05	121,81	4,498	2,371	2,930
17:30	17,36	80,435	91,14	115,20	-43,823	-	-

Figura 3.10 - Cálculo do sombreamento causado pelos painéis fotovoltaicos quando orientados a 36° NE



Fonte: Imagem do próprio autor

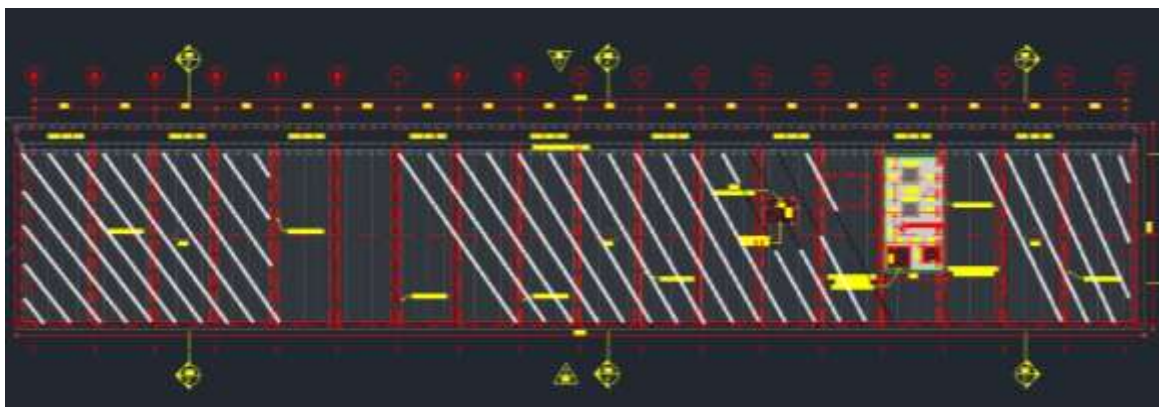
3.5.3 Distribuição de painéis ao longo do telhado

Considerando o espaçamento apresentado na Tabela 3.5 para os dois casos a serem estudados, o próximo passo é determinar a quantidade de painéis fotovoltaicos que podem ser instalados seguindo cada orientação.

3.5.3.1 Distribuição de painéis orientados ao norte geográfico

A Figura 3.11 apresenta a distribuição dos painéis fotovoltaicos orientados ao norte geográfico ($Y = 180^\circ$). As linhas em branco indicam a localização das fileiras de painéis. Nas áreas do telhado sem as linhas apresentam impedimentos técnicos para sua instalação, seja devido à restrição de carga da laje na região da monovia ou por sombreamento causado pelos muros e saída do ar exaurido das salas técnicas.

Figura 3.11 - Distribuição de painéis fotovoltaicos orientados ao norte geográfico



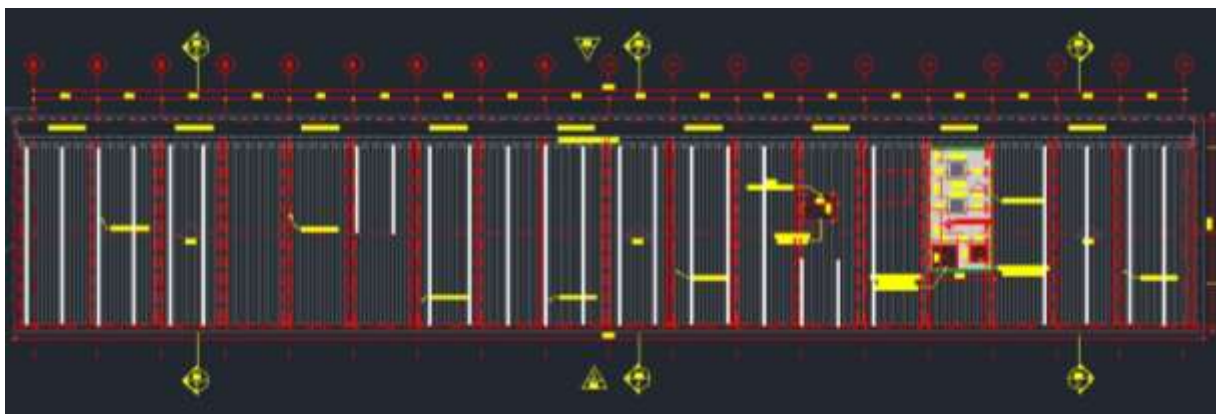
Fonte: imagem do próprio autor

Nesta configuração é possível instalar 260 painéis fotovoltaicos do modelo apresentado no item 3.5.1.

3.5.3.2 Distribuição de painéis orientados à 36° NE

A Figura 3.12 apresenta a distribuição dos painéis fotovoltaicos orientados ao norte geográfico ($\gamma = 144^\circ$). As linhas em branco indicam a localização das fileiras de painéis. Assim como no item 3.5.3.1, existem áreas do telhado que apresentam impedimentos técnicos para instalação dos painéis, seja devido à restrição de carga da laje na região da monovia ou por sombreamento causado pelos muros e saída do ar exaurido das salas técnicas.

Figura 3.12 - Distribuição de painéis fotovoltaicos orientados a 36° NE



Fonte: imagem do próprio autor

Nesta configuração é possível instalar 204 painéis fotovoltaicos do modelo apresentado no item 3.5.1, o que representa 21% a menos do que quando orientados ao norte geográfico.

Desta forma, conclui-se que a distribuição mais eficiente dos painéis fotovoltaicos ocorre com os mesmos orientados ao norte geográfico. Isto ocorre devido ao menor sombreamento causado pelos próprios painéis quando comparados à orientação voltada a 36° NE. A quantidade de painéis fotovoltaicos no primeiro caso é significativamente maior, o que implica numa geração de energia 27% superior ao outro caso estudado. Assim, chegada a esta conclusão, o estudo daqui para frente considerará os painéis orientados apenas ao norte geográfico.

3.5.4 Cálculo da potência gerada pelos painéis fotovoltaicos

Para o cálculo do potencial de geração de energia, iremos utilizar o método do mês mais crítico. Segundo PINHO, GALDINHO (2014), este método consiste no dimensionamento do sistema de forma que o mesmo possa atender os requisitos do projeto mesmo no mês mais desfavorável em relação à incidência solar ao longo do ano. Desta forma, para todos os demais meses do ano, as premissas do projeto seriam atendidas.

Conforme apresentado na Tabela 3.3, o mês que possui a menor média de radiação solar no local de estudo é o mês de junho.

Considerando a utilização da carga durante 24 horas diárias e seguindo a recomendação apresentada na Figura 3.13 para o dia médio de cada mês, será utilizado o dia 11 de junho ($n = 162$ e $\delta = 23,09^\circ$) com referência. A Tabela 3.6 apresenta os resultados obtidos.

Figura 3.13 - Dias médios recomendados para cada mês

Month	n for i th Day of Month	For Average Day of Month		
		Date	n	δ
January	i	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

Fonte: DUFFIE (2013)

Tabela 3.6 – Cálculo da potência diária gerada pelos painéis fotovoltaicos

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	ϕ	β	ω_s	a	b
[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	-	-	-	[MJ/m ²]	-	-	-	-	-	-	80,2379	-	-
20,531	11,592	0,565	0,349	0,957	5,134	0,043	21,18	17,000	198,000	-23,630	24,000	64,858	0,451	0,621

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θ_z	rb	Id	I	lb	It	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,922	-0,992	0,930						19,75	19,75	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,859	-0,934	0,920						19,44	19,44	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,737	-0,823	0,896						19,13	19,13	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,565	-0,665	0,850						18,82	18,82	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,354	-0,472	0,751						18,51	18,51	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,119	-0,256	0,466						18,20	18,20	0,00	0,00
06:30	-82,5	-	-	0,124	-0,033	-3,720						17,89	17,89	0,00	0,00
07:30	-67,5	0,009	0,009	0,359	0,182	1,973	0,05	0,10	0,06	0,16	44,381	17,58	18,83	11,94	3,10
08:30	-52,5	0,047	0,040	0,570	0,375	1,519	0,20	0,55	0,34	0,72	199,571	17,27	22,88	52,81	13,73
09:30	-37,5	0,107	0,080	0,742	0,533	1,393	0,41	1,24	0,84	1,56	434,600	16,96	29,18	112,06	29,14
10:30	-22,5	0,158	0,108	0,864	0,644	1,340	0,55	1,83	1,28	2,25	626,346	16,65	34,27	158,08	41,10
11:30	-7,5	0,186	0,122	0,927	0,702	1,320	0,63	2,16	1,53	2,64	734,270	16,34	36,99	183,16	47,64
12:30	7,5	0,186	0,122	0,927	0,702	1,320	0,63	2,16	1,53	2,64	734,270	16,25	36,90	183,24	47,64
13:30	22,5	0,158	0,108	0,864	0,644	1,340	0,55	1,83	1,28	2,25	626,346	17,37	34,99	157,59	40,97
14:30	37,5	0,107	0,080	0,742	0,533	1,393	0,41	1,24	0,84	1,56	434,600	18,47	30,69	111,36	28,95
15:30	52,5	0,047	0,040	0,570	0,375	1,519	0,20	0,55	0,34	0,72	199,571	19,59	25,20	52,31	13,60
16:30	67,5	0,009	0,009	0,359	0,182	1,973	0,05	0,10	0,06	0,16	44,381	20,71	21,96	11,79	3,07
17:30	82,5	-	-	0,124	-0,033	-3,720						21,83	21,83	0,00	0,00
18:30	97,5	-	-	-0,119	-0,256	0,466						23,00	23,00	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,354	-0,472	0,751						22,35	22,35	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,565	-0,665	0,850						21,70	21,70	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,737	-0,823	0,896						21,05	21,05	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,859	-0,934	0,920						20,40	20,40	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,922	-0,992	0,930						19,75	19,75	0,00	0,00
Somatório												1034,34		268,93	

Os parâmetros apresentados na Tabela 3.6 são:

- ω = ângulo horário [°];

- r_T = fração horária da radiação total;
- r_D = fração horário da radiação difusa;
- r_B = razão da radiação direta no plano do painel e no plano horizontal;
- I_d = irradiação difusa horária sobre superfície horizontal [J/m^2];
- I = irradiação integrada horária sobre superfície horizontal [J/m^2];
- I_b = irradiação direta horária sobre superfície horizontal [J/m^2];
- I_T = irradiação sobre a superfície inclinada [J/m^2];
- G_T = radiação solar média no plano do painel fotovoltaico [W/m^2];
- T_a = temperatura ambiente média horária no mês [$^{\circ}C$];
- T_c = temperatura da superfície da célula fotovoltaica [$^{\circ}C$];
- P_{FV} = potência elétrica gerada por cada painel fotovoltaico [W];
- P_{gN} = potência elétrica gerada pelos 260 painéis orientados ao norte geográfico [kW];

O mesmo estudo foi efetuado para os demais meses do ano. Apesar de a irradiação solar média mensal apontar o mês de junho como o mais desfavorável, observa-se que a menor geração de energia ocorre no mês de dezembro. Este fato comprova que além da irradiação, outros fatores influenciam na geração de energia fotovoltaica, tais quais as temperaturas ambiente e da célula fotovoltaica. A Tabela 3.7 apresenta o resumo da geração de energia média diária prevista em cada um dos meses.

Tabela 3.7 – Energia diária gerada em cada mês do ano

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ENERGIA DIÁRIA GERADA [kWh/dia]	288,14	310,75	269,24	258,25	251,66	267,67	268,93	288,23	257,88	258,93	308,30	284,22

3.5.4.1 Análise da energia gerada versus a energia demandada pelos sistemas

Considerando os valores das cargas apresentadas na Tabela 3.1 e a potência gerada calculada e apresentada na Tabela 3.6, pode-se comparar e avaliar se a energia gerada é capaz de suprir a demanda de energia de algum dos sistemas. A Tabela 3.8 apresenta os valores comparativos:

Tabela 3.8 – Comparativo da demanda versus geração de energia

SISTEMA / EQUIPAMENTO	DEMANDA [kWh/dia]	ENERGIA N [kWh/dia]	Δ ENERGIA N [kWh/dia]
Ventilação de Salas Técnicas e Operacionais	480	251,66	-228,34
Ar-condicionado	672		-420,34
Escadas Rolantes	5960		-5708,34
Iluminação de Emergência	456		-204,34
Iluminação e Tomadas	2160		-1908,34
Elevadores	100		151,66
Portas de Plataforma	156		95,66

A Tabela 3.8 indica que a energia gerada é capaz de suprir a demanda diária de energia das portas de plataforma e ainda sobram 95,66 kWh que podem ser utilizados no suprimento energético de outro sistema.

3.5.5 Seleção do inversor

Para a seleção dos inversores faz-se necessária a realização de cálculos de potência, tensão e corrente do conjunto de painéis fotovoltaicos.

$$P_{GFV}^0 = n^{\circ} \text{ de painéis} \times P_{\text{max}} \text{ nominal} = 260 \times 265 \text{ W} = 68,9 \text{ kW};$$

Considerando que o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) deve estar na faixa de $0,6 < \text{FDI} < 0,9$, será adotado o valor de 0,80 para o cálculo da potência requerida pelo inversor.

$$P_{INV}^0 = \text{FDI} \times P_{GFV}^0 = 0,80 \times 68,9 = 55,12 \text{ kW}$$

Considerando o inversor fotovoltaico modelo PHB20K-DT do fabricante PHB Solar, cujas especificações se encontram no Anexo 7.2, são necessários três inversores para atendimento da potência indicada. Seguem abaixo os principais dados do inversor selecionado:

- Máxima potência fotovoltaica: 20,5 kW;
- Máxima tensão em corrente contínua: 1000 V;
- Faixa de operação SPMP: 260 a 850 V;
- Corrente máxima em corrente contínua: 22 A;
- Número de strings em paralelo: 4 – 2 strings por MPPT.

A utilização dos três inversores possibilita a utilização de 12 strings para definição do arranjo dos painéis fotovoltaicos. Desta maneira, considerando uma distribuição uniforme dos painéis em cada string, conclui-se que haverão 8 strings com 21 painéis fotovoltaicos e outros 4 strings com 22 painéis fotovoltaicos. Cada painel fotovoltaico possui uma tensão de operação de 30,6 V e uma corrente de operação de 8,66 A.

Desta forma, a associação dos painéis fotovoltaicos em série não ultrapassa os limites de operação do inversor. A tensão e corrente nos strings com 21 painéis fotovoltaicos serão de 642,6 V e 8,66 A. Já nos strings com 22 painéis fotovoltaicos serão de 673,2 V e 8,66 A.

A potência elétrica nos strings com 21 e 22 painéis fotovoltaicos serão de 5,56 kW e 5,83 kW.

Considerando que os quatro strings com 22 painéis fotovoltaicos serão associados ao mesmo inversor, pode-se calcular o FDI de cada inversor:

$$\text{Inversor 22 PV: FDI} = 20,5 / 23,32 = 0,88;$$

$$\text{Inversor 21 PV: FDI} = 20,5 / 22,24 = 0,92.$$

Segundo Macedo (2006) para a cidade de São Paulo a perda existente na faixa de $0,60 < PDI < 1,0$ é muito pequena. Desta forma, a distribuição apresentada representa a configuração final do sistema.

Figura 3.14 - Inversor PHB20K-DT



Fonte: PHB Solar (2017)

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

4.1 Custos das adequações civis necessárias

Conforme apresentado no Capítulo 3, o local escolhido para instalação dos painéis fotovoltaicos é a cobertura do edifício das salas técnicas da estação Brooklin da Linha 5 – Lilás do metropolitano da cidade de São Paulo. No projeto original, que foi executado, não estava prevista a instalação do sistema fotovoltaico. Por este motivo, no local se encontra instalado um telhado metálico, conforme apresentado na Figura 3.5. Portanto, para viabilizar a instalação do sistema, serão necessários alguns serviços de adequação da obra civil.

O primeiro serviço a ser executado é a desmontagem do telhado. Por este serviço não estar previsto no projeto e consequentemente não estar contido na tabela de preços das atividades das obras civis, iremos utilizar o valor pago para desmontagem de canteiro de obra. O valor previsto neste caso é de R\$ 145,00 por m².

O segundo serviço a ser realizado será a impermeabilização da laje. Com a retirada do telhado, faz-se necessário um reforço na impermeabilização existente. Vale destacar que abaixo da laje onde serão instalados os painéis fotovoltaicos se encontram os cubículos de tração e média tensão, além de todos os painéis e quadros elétricos de baixa tensão. A Figura 4.1 apresenta os cubículos de tração e média tensão. O valor previsto em contrato para impermeabilização de lajes é de R\$ 212,00 por m².

Figura 4.1 - Cubículos de tração e média tensão instalados logo abaixo da laje onde serão instalados os painéis fotovoltaicos



Fonte: Imagem do próprio autor

4.2 Custos de implantação do sistema fotovoltaico

Os custos de implantação do sistema fotovoltaico podem ser divididos em custos de equipamentos e custos de serviços de engenharia e instalação. O valor dos equipamentos e materiais necessários são apresentados na Tabela 4.1. Os valores citados foram obtidos após consulta de preço no mercado.

Tabela 4.1 – Custo unitário dos equipamentos do sistema

Equipamento	Unidade
Painel Fotovoltaico Canadian Solar Cs6P-265	R\$570,00
Inversor PHB	R\$23.000,00

Para os custos do desenvolvimento do projeto executivo do sistema, consideraremos 80h para o desenvolvimento, ao custo de R\$ 51,00 por hora para o projetista e de R\$ 92,00 ao supervisor de projetos, que estará junto ao projetista em 50% do tempo do desenvolvimento do projeto.

Para os custos de instalação, iremos considerar a necessidade de dois montadores mecânicos para a instalação dos painéis fotovoltaicos sobre a laje. Por conta da necessidade de instalação da base dos painéis e a preocupação em não romper a impermeabilização realizada, será considerado o tempo de 1h para a instalação de cada painel fotovoltaico por dois trabalhadores. O custo da hora de trabalho do montador mecânico é de R\$ 38,00.

Para a instalação elétrica, isto é, lançamento e conexão de cabos e instalação dos inversores de frequência, será considerada a necessidade de 1h de trabalho por painel fotovoltaico com a atividade sendo executada por dois trabalhadores, em atendimento à Norma Regulamentadora NR-10. O custo do montador elétrico / eletricista será considerado R\$ 38,00 por hora.

A supervisão dos serviços será realizada por um engenheiro ao custo de R\$ 149,00 por hora e por um técnico de segurança no trabalho, ao custo de R\$ 45,00 por hora.

A Tabela 4.2 apresenta os custos citados nos itens 4.1 e 4.2.

Tabela 4.2 – Apresentação dos custos de implantação do sistema

Equipamento	R\$ Unitário	Quantidade	Total
Desmontagem do telhado	R\$145,00	700,0	R\$101.500,00
Impermeabilização com manta asfáltica	R\$212,00	700,0	R\$148.400,00
Painel Fotovoltaico Canadian Solar Cs6P - 265	R\$570,00	260,0	R\$148.200,00
Inversor PHB	R\$23.000,00	3,0	R\$69.000,00
Projetista	R\$51,00	80,0	R\$4.080,00
Supervisor de Projetos	R\$92,00	40,0	R\$3.680,00
Montador mecânico	R\$520,00	38,0	R\$19.760,00
Montador elétrico / eletricista	R\$520,00	38,0	R\$19.760,00
Técnico de Segurança	R\$52,00	45,0	R\$2.340,00
Engenheiro supervisor	R\$104,00	149,0	R\$15.496,00
TOTAL			R\$532.216,00

4.3 Custos da energia elétrica para o metropolitano de São Paulo

Conforme descrito no Capítulo 3, a empresa que opera o transporte metropolitano na cidade de São Paulo recebe a energia elétrica da concessionária de energia na tensão de 88 kV. Desta forma, a empresa se enquadra do subgrupo A2 (88kV a 138 kV).

A empresa optou pela compra de energia no Mercado Livre (MDL) em detrimento do Mercado Cativo e o custo total da energia elétrica consumida é dividido em três grupos:

- Custo com a energia apenas (sem impostos), pago ao comercializador da energia, com contrato válido até 2018 – R\$ 239,74/MWh.
- Custo com o uso do sistema de distribuição e impostos – Tarifas da AES Eletropaulo, regulamentadas pela resolução ANEEL nº 2.214, disponíveis no site da AES Eletropaulo [<https://www.aeseletropaulo.com.br/Paginas/aes-eletropaulo.aspx>].
- Custo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE – Liquidação de Curto Prazo e Energia de Reserva.

Considerando os custos dos três grupos acima, chega-se a um custo médio em energia elétrica de R\$ 394,00 / MWh, já considerando os impostos que incidem sobre o produto e serviço.

No entanto, de forma a tornar o cálculo mais preciso, pode-se utilizar o custo da energia especificamente da Linha 5 – Lilás, uma vez que por fatores diversos, existe diferenciação no valor pago pela energia entre as diversas linhas do metropolitano. A Tabela 4.3 apresenta o consumo médio de energia pelas estações em operação da Linha 5 – Lilás e o valor pago pelo kWh.

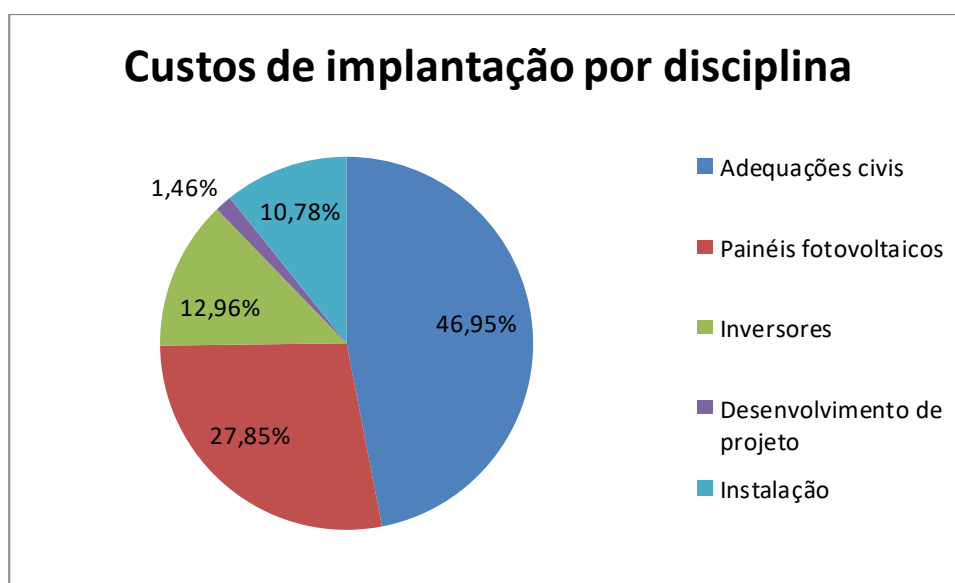
Tabela 4.3 – Custo médio mensal com energia elétrica nas estações

CUSTO MÉDIO MENSAL COM ENERGIA NAS ESTAÇÕES	
Consumo médio mensal das estações da L5 [kWh]	711.000
Custo do kWh	R\$0,38819
Custo médio mensal com energia	R\$276.003,09

Conforme apresentado na Tabela 4.3, o custo do MWh para a Linha 5 é de R\$ 388,19.

A Figura 4.2 apresenta a distribuição dos custos por disciplina. Ao analisar o percentual de cada uma delas, percebe-se que o maior custo está envolvido nas adequações civis necessárias. Este fato comprova a importância de se considerar a instalação do sistema desde a concepção do projeto. Vale destacar que no caso em estudo não há necessidade de reforço na estrutura do edifício para receber os painéis fotovoltaicos pelos motivos descritos no Capítulo 3. O custo de aquisição de equipamentos também representa uma parcela importante no custo de implantação, enquanto que os custos com projeto representam menos que 2%.

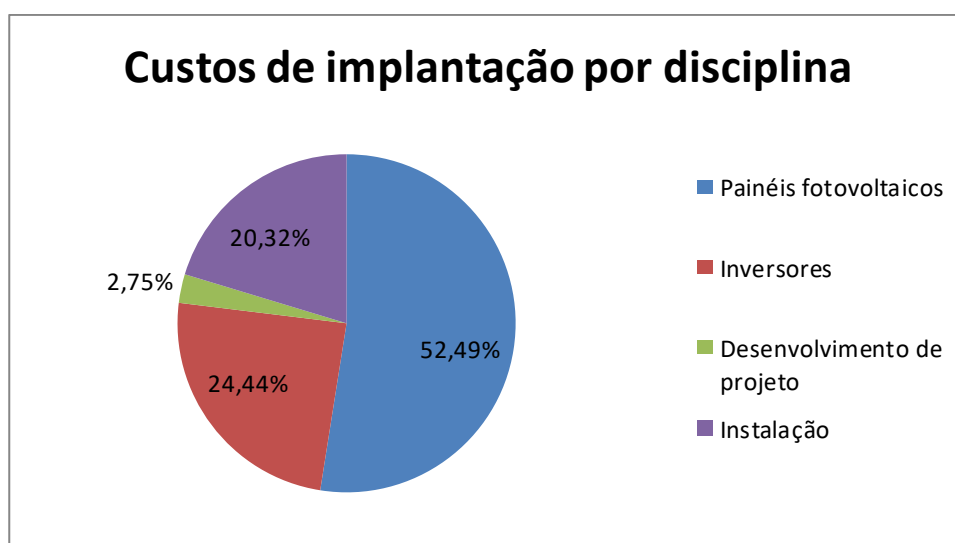
Figura 4.2 - Distribuição dos custos de implantação por disciplina



Fonte: Imagem do próprio autor

A Figura 4.3 apresenta a distribuição dos custos por disciplina desconsiderando os custos com adequações civis. O objetivo deste gráfico é apresentar a distribuição dos custos em uma condição na qual o projeto básico já contempla a instalação do sistema fotovoltaico. Fica evidente que nesta condição, os custos com painéis fotovoltaicos representam mais da metade do investimento, enquanto que os custos com projeto e instalação representam apenas cerca de 25% do custo.

Figura 4.3 - Distribuição dos custos de implantação por disciplina desconsiderando adequações civis necessárias



Fonte: Imagem do próprio autor

4.4 Cálculo do retorno do investimento segundo o método do payback simples

A Tabela 4.4 apresenta a geração de energia elétrica gerada mensalmente pelos painéis fotovoltaicos.

Tabela 4.4 – Custo médio mensal com energia elétrica nas estações

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
ENERGIA DIÁRIA GERADA [kWh/dia]	288,14	310,75	269,24	258,25	251,66	267,67	268,93	288,23	257,88	258,93	308,30	284,22	3312,22
ENERGIA MENSAL GERADA [MWh]	8,93	8,70	8,35	7,75	7,80	8,03	8,34	8,94	7,74	8,03	9,25	8,81	100,65

Considerando o custo da energia em R\$ 388,19 / MWh e a geração anual de 100,65 MWh, obtém-se uma economia anual de R\$39.071,32.

O payback simples é calculado pela Equação 4.1.

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Fluxo de Caixa Anual}} \quad \text{Equação (4.1)}$$

Onde:

Payback simples – tempo de retorno do investimento, em anos;

Investimento inicial – Valor empregado para implantação do gerador fotovoltaico, em R\$;

Fluxo de Caixa – Economia anual com o consumo da energia fotovoltaica, em R\$.

Assim, temos que o Payback simples será:

$$\text{Payback simples} = \frac{532.216,00}{33,093,20}$$

$$\text{Payback simples} = 13,62 \text{ anos}$$

Caso o projeto básico contemplasse a instalação do sistema e não seja necessária a execução de adequações civis, o Payback simples seria.

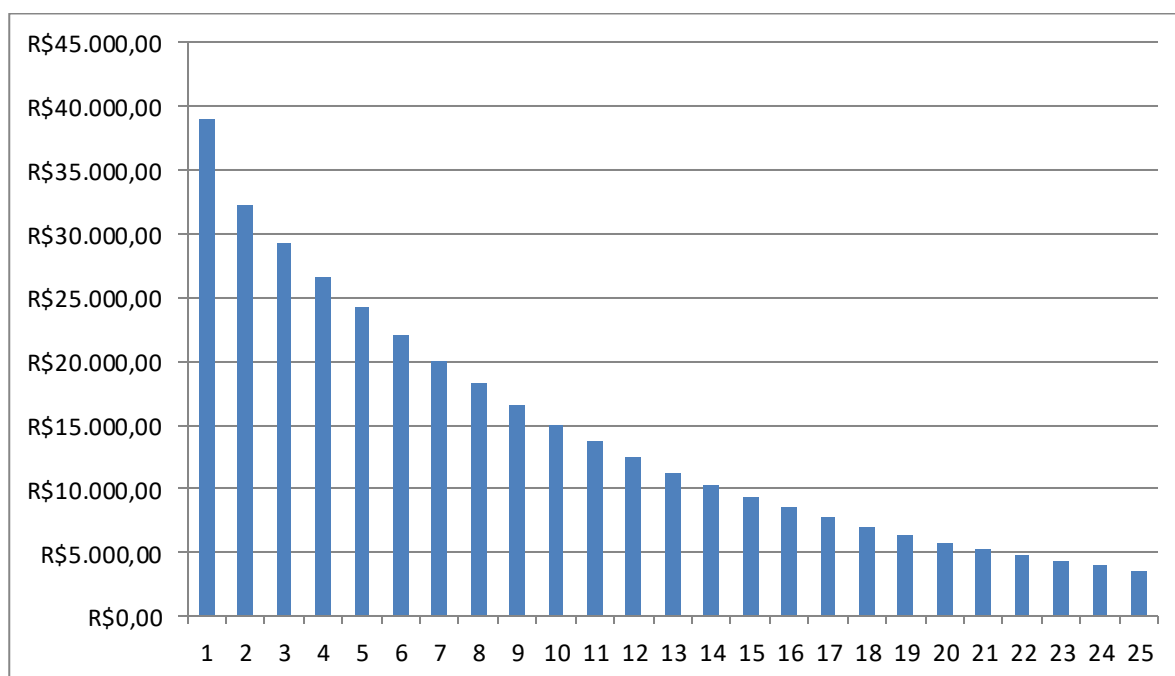
$$\text{Payback simples} = \frac{282.316,00}{33,093,20}$$

$$\text{Payback simples} = 8,53 \text{ anos}$$

4.5 Cálculo do retorno do investimento segundo o método do valor presente líquido

Para o cálculo do valor presente líquido do projeto, será considerada uma taxa de desconto de 7,5% a.a. Esta taxa é a utilizada pelo BNDES para projetos que tragam retorno à sociedade nas áreas de infraestrutura e meio ambiente, dentre outros. Para o caso do projeto em questão, no qual há necessidade de execução de adequações civis, os valores do fluxo de caixa para uma taxa de desconto de 10% a.a são apresentados na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Distribuição do valor presente líquido ao longo dos 25 anos de operação do sistema considerando execução das adequações civis necessárias



Fonte: Imagem do próprio autor

Para este caso, o VPL ao final dos 25 anos é de R\$ 438.272,65. Como o custo de implantação do projeto é de mais de R\$ 500.000,00 a implantação do projeto não é viável sob o ponto de vista financeiro.

Para a condição na qual o projeto básico já contemple a instalação do sistema, o custo de implantação seria de R\$ 282.316,00. Neste caso o projeto seria viável, o retorno financeiro ocorreria após 10 anos de investimento e a taxa interna de retorno seria de 5%.

5 CONCLUSÃO

A análise do local da instalação permite concluir que a posição geográfica do edifício é favorável à instalação do sistema. Foi realizado um estudo comparativo com o objetivo de definir a orientação de instalação dos painéis. Ao contrário do que se suspeitava instalar os painéis fotovoltaicos orientados ao norte permite a instalação de cerca de 20% mais painéis do que quando orientados a 36° NE, orientação original da edificação. O motivo desta diferença é o maior sombreamento causado pelos próprios painéis quando orientados a 36° NE, o que requer uma maior distância entre as fileiras de equipamentos.

O edifício está localizado em uma área nobre da cidade de São Paulo e a chegada do metrô na região contribui para o aumento da especulação imobiliária nos arredores. Esta especulação representa um risco à eficiência do sistema, visto que segundo o Plano Diretor da cidade de São Paulo, é permitida a construção de edifícios comerciais e residenciais mais altos em regiões próximas às estações do metrô. Entretanto, os arredores da estação Brooklin já se encontram habitados, inclusive por diversos edifícios. Esta ocupação existente prejudica o investimento imobiliário na região, visto que o custo de aquisição dos imóveis é muito elevado, e reduz o risco da construção de edificações que venham causar prejuízo à eficiência do sistema.

A energia gerada pelos painéis fotovoltaicos atinge o valor médio de 276 kWh diários ao longo do ano, sendo que o mês de maior geração é o mês de fevereiro (311 kWh / dia) enquanto que a menor geração de energia ocorre no mês de maio (251 kWh / dia). Era esperado que a menor geração ocorresse em junho, mês no qual a irradiação solar média apresenta o menor valor ao longo do ano. Este desvio no resultado comprova que além da incidência de luz, fatores como a temperatura das células fotovoltaicas também apresentam influência na geração fotovoltaica.

Analisando a energia demandada para operação dos principais equipamentos da estação objeto de estudo, conclui-se que é possível atender a carga consumida

pelas portas de plataforma e a sobra da energia poderia ser utilizada para atender parcialmente a demanda de energia de outros equipamentos.

Estações com portas de plataforma são vistas pelos usuários do sistema e pela mídia como estação mais seguras e modernas, visto que poucos sistemas metroviários no mundo contam com esta tecnologia. Além de proverem maior segurança aos usuários, as portas de plataforma possibilitam a exploração do espaço para fins publicitários, visto que a totalidade dos usuários que utilizam o sistema de transporte passa obrigatoriamente por elas antes do embarque nos trens. Mensagens de publicidade poderiam informar os usuários que o equipamento é movido por energia solar, visto que os painéis não estariam à vista das pessoas e seria necessário expor esta condição de alguma maneira. Certamente haveria um grande impacto positivo à imagem da empresa, que já está associada à preservação ambiental, pois permite que milhões de pessoas deixem seus veículos particulares em casa para se locomover por transporte coletivo.

A análise da viabilidade econômica da instalação não se mostra favorável, visto que a economia com energia gerada não compensa o investimento de implantação considerando uma vida útil de 25 anos. Em parte, este retorno está associado ao baixo valor pago pela empresa pela energia elétrica, uma vez que a empresa optou por adquirir energia no Mercado Livre (MDL). A análise dos custos envolvidos indica um custo elevado na adequação da obra civil para recebimento dos painéis. Vale destacar que este valor poderia ser ainda maior caso a estrutura da edificação não estivesse preparada para receber a carga extra dos painéis fotovoltaicos. Este custo elevado ressalta a importância em se prever a instalação do sistema fotovoltaico desde a concepção do projeto, uma vez que os custos aqui citados se tratam de adequações de instalações já prontas. Para o caso em que não são necessárias adequações civis, a implantação do projeto é viável com retorno do investimento em 10 anos e TIR de 5%.

O custo dos painéis fotovoltaicos e dos inversores dimensionados para o sistema também representam uma parcela importante dos custos do projeto. Existe a expectativa de crescimento na produção de painéis fotovoltaicos no Brasil, o que pode resultar em uma redução de preços. Entretanto, o Brasil ainda carece de uma

política federal de incentivo aos fabricantes e consumidores. A redução da carga tributária neste setor pode ser uma das ações para alavancar o seu crescimento.

Em suma, a análise econômica da implantação do sistema indica a necessidade da concepção do projeto considerar a implantação do sistema para evitar a necessidade de adequações civis. Existem ainda fatores de difícil valoração, como a agregação de valor à imagem da empresa. Talvez este seja o ponto principal no momento, em que grandes empresas destinam parte de seu orçamento para serem reconhecidas como empresas com preocupação e zelo pelo meio ambiente.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar Engineering on Thermal Processes**. Editora John Wiley & Sons, 4ª ed, 2013.

PACHECO, Cláudio Roberto de Freitas – **Apostilas da Disciplina ERG006 – Energia Solar I** do curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

SOWRY, Daniel Setrak – **Apostilas da Disciplina ERG007 – Energia Solar II** do curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

INMETRO; Serviço Público Federal - **Tabela de Eficiência Energética – Sistema de Energia Fotovoltaica – Módulos – Edição 2017** – Acesso em 07/06/2017 (http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf).

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Acesso em 07/05/2017 (http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_315)

ZILLES, Roberto; MACEDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sérgio Henrique F. de Oliveira. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Editora Oficina de Textos, 1ª ed, 2012.

COSTA, Higor José Serafim. **Avaliação do fator de dimensionamento de inversor em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010.

MACEDO, Wilson Negrão. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2006.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Energia solar princípios e aplicações**. 2006. Acesso em 09/07/2017 (http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2004. Acesso em 09/07/2017

([http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual de Engenharia FV 2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual%20de%20Engenharia%20FV%202004.pdf))

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2004. Acesso em 09/07/2017 ([http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual de Engenharia FV 2004.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual%20de%20Engenharia%20FV%202004.pdf))

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional**. 2016. Acesso em 09/07/2017 (<http://www.cbdb.org.br/informe/img/63socios7.pdf>)

METRÔ – Companhia do Metropolitano de São Paulo – Acesso em 11/08/2017 (<http://www.metro.sp.gov.br>)

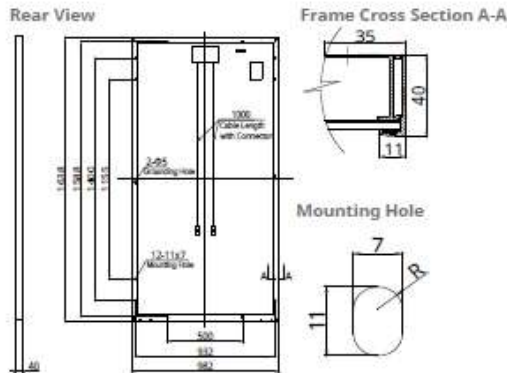
CANADIAN SOLAR – Fabricante de painéis fotovoltaicos - Acesso em 11/08/2017 (http://www.canadiansolar.com/fileadmin/user_upload/downloads/datasheets/en/v5.54/EN_CS6P-P_en-v5.54.pdf)

PHB Solar – Fabricante de inversores para sistemas fotovoltaicos - Acesso em 11/08/2017 (http://www.phb.com.br/produtos/solar/inversores/20kW_br.aspx)

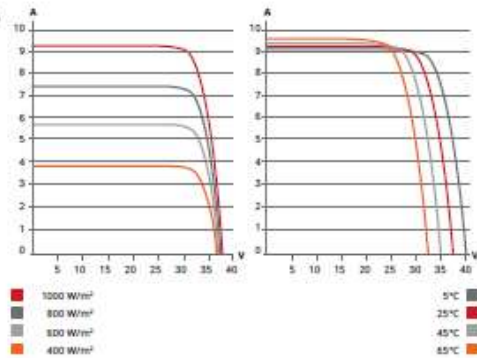
6 ANEXOS

6.1 Especificações técnicas do painel fotovoltaico selecionado

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6P-265P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (P _{max})	260 W	265 W	270 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	30.4 V	30.6 V	30.8 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	8.56 A	8.66 A	8.75 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	37.5 V	37.7 V	37.9 V
Short Circuit Current (I _{sc})	9.12 A	9.23 A	9.32 A
Module Efficiency	16.16%	16.47%	16.79%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1638×982×40 mm (64.5×38.7×1.57 in)
Weight	18 kg (39.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 515 kg (1135.4 lbs)
Per Container (40' HQ)	728 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (P _{max})	191 W	195 W	198 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	28.0 V	28.2 V	28.3 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	6.83 A	6.92 A	7.00 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	34.9 V	35.1 V	35.3 V
Short Circuit Current (I _{sc})	7.36 A	7.45 A	7.53 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (I _{sc})	0.053 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.5 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

PARTNER SECTION



Scan this QR-code to discover solar projects built with this module



6.2 Especificações técnicas do inversor selecionado

Max. Potência Fotovoltáica[W]	20500
Max. Tensão CC [V]	1000
Faixa de Operação SPMP [V]	260~850
Tensão CC de Partida [V]	250
Corrente CC Máxima [A]	22/22
Número de Strings em Paralelo	4/2 (permite paralelo)
Conector CC	SUNCLIX, MC IV (opcional)
Consumo em Standby [W]	10

Dados da Saída CA

Potência CA Nominal [W]	20000
Max. Potência CA [W]	20000
Max. Corrente CA [A]	30
Saída Nominal CA	60Hz; 380/220Vca
Faixa de Operação CA	57.5~62Hz; 176~242Vca
THD	<5%
Fator de Potência	Unitário (0.9 Capacitivo. / 0.9 Indutivo)
Conexão CA	Trifásico (3F+N+T)

Eficiência

Max. Eficiência	98.2%
Eficiência SPMP	>99.5%

Segurança do Equipamento

Monitoramento de corrente de fuga	Integrado
Proteção Anti-ilhamento	AFD
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, RD1699, G59/2, AS4777.2/3
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116

Normas de Referência

EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2,
	EN 61000-6-3, EN 61000-6-4
Segurança	IEC 62109-1, AS3100

Dados Gerais

Dimensões (L*A*P) [mm]	516*650*203
Peso Líquido [kg]	39
Ambiente de Operação	Interno ou Externo
Montagem	Fixado na parede
Temperatura de Operação	-25~60°C (acima 50°C com derate)
Umidade relativa	0~95%
Altitude [m]	2000
Grau de Proteção IP	IP65
Topologia	Sem Transformador
Ventilação	Ventilação Forçada
Nível de Ruído [dB]	<45
Display	5" LCD (Português)
Comunicação	USB2.0 e RS485
Cor	Vermelho
Garantia [anos]	5/10/15/20/25 (opcional)

6.3 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de janeiro

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	ϕ	β	ω_s	a	b
[MJ/m²]	[MJ/m²]	-	-	-	[MJ/m²]	-	-	17,000	17,000	-23,630	24,000	99,6261	0,819	0,272
41,961	16,200	0,386	0,552	0,957	8,941	0,043	-20,92	17,000	17,000	-23,630	24,000	114,772	0,819	0,272

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θ_z	rb	Id	I	lb	lt	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[W/m²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,928	-0,705	1,316						19,80	19,80	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,865	-0,648	1,336						19,89	19,89	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,743	-0,536	1,387						19,98	19,98	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,571	-0,378	1,511						20,07	20,07	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,360	-0,184	1,951						20,16	20,16	0,00	0,00
05:30	-97,5	0,003	0,005	-0,124	0,031	-3,956	0,048	0,048	0,000	0,047	13,020	20,25	20,62	3,48	0,90
06:30	-82,5	0,026	0,043	0,120	0,255	0,469	0,39	0,42	0,03	0,39	108,716	20,34	23,40	28,71	7,46
07:30	-67,5	0,052	0,080	0,355	0,471	0,755	0,72	0,84	0,12	0,79	218,986	20,43	26,59	57,08	14,84
08:30	-52,5	0,078	0,113	0,566	0,664	0,853	1,01	1,27	0,26	1,20	332,751	20,52	29,88	85,55	22,24
09:30	-37,5	0,102	0,140	0,739	0,822	0,899	1,25	1,65	0,40	1,57	436,088	20,61	32,87	110,71	28,79
10:30	-22,5	0,120	0,159	0,861	0,934	0,922	1,42	1,94	0,51	1,85	514,826	20,70	35,18	129,43	33,65
11:30	-7,5	0,129	0,169	0,924	0,992	0,932	1,51	2,09	0,58	2,01	557,428	20,79	36,47	139,37	36,23
12:30	7,5	0,129	0,169	0,924	0,992	0,932	1,51	2,09	0,58	2,01	557,428	20,80	36,48	139,36	36,23
13:30	22,5	0,120	0,159	0,861	0,934	0,922	1,42	1,94	0,51	1,85	514,826	20,80	35,28	129,37	33,64
14:30	37,5	0,102	0,140	0,739	0,822	0,899	1,25	1,65	0,40	1,57	436,088	20,80	33,06	110,62	28,76
15:30	52,5	0,078	0,113	0,566	0,664	0,853	1,01	1,27	0,26	1,20	332,751	20,80	30,16	85,45	22,22
16:30	67,5	0,052	0,080	0,355	0,471	0,755	0,72	0,84	0,12	0,79	218,986	20,80	26,96	56,99	14,82
17:30	82,5	0,026	0,043	0,120	0,255	0,469	0,39	0,42	0,03	0,39	108,716	20,80	23,86	28,66	7,45
18:30	97,5	0,003	0,005	-0,124	0,031	-3,956	0,048	0,048	0,000	0,047	13,020	20,80	21,17	3,47	0,90
19:30	112,5	-	-	-0,360	-0,184	1,951						20,80	20,80	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,571	-0,378	1,511						20,80	20,80	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,743	-0,536	1,387						20,80	20,80	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,865	-0,648	1,336						20,80	20,80	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,928	-0,705	1,316						20,80	20,80	0,00	0,00
													Somatório	1108,24	288,14

6.4 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de fevereiro

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	ϕ	β	ω_s	a	b
[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	-	-	-	[MJ/m ²]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39,536	18,000	0,455	0,476	0,957	8,564	0,043	-12,95	17,000	47,000	-23,630	24,000	104,607	0,761	0,326

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θ_z	rb	Id	I	Ib	It	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,968	-0,795	1,217						24,70	24,70	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,902	-0,735	1,227						24,75	24,75	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,775	-0,618	1,252						24,79	24,79	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,595	-0,454	1,311						24,84	24,84	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,374	-0,252	1,487						24,88	24,88	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,129	-0,027	4,822						24,93	24,93	0,00	0,00
06:30	-82,5	0,021	0,031	0,126	0,206	0,609	0,27	0,38	0,11	0,33	90,558	24,97	27,52	23,51	6,11
07:30	-67,5	0,048	0,066	0,371	0,432	0,861	0,56	0,87	0,31	0,81	224,503	25,02	31,33	57,37	14,92
08:30	-52,5	0,077	0,096	0,592	0,633	0,934	0,82	1,38	0,55	1,32	366,423	25,06	35,37	92,05	23,93
09:30	-37,5	0,103	0,121	0,772	0,798	0,967	1,04	1,85	0,81	1,79	497,606	25,11	39,10	123,00	31,98
10:30	-22,5	0,123	0,139	0,899	0,915	0,983	1,19	2,21	1,01	2,16	598,670	25,15	41,99	146,12	37,99
11:30	-7,5	0,133	0,148	0,965	0,975	0,989	1,27	2,40	1,13	2,35	653,687	25,20	43,58	158,43	41,19
12:30	7,5	0,133	0,148	0,965	0,975	0,989	1,27	2,40	1,13	2,35	653,687	26,00	44,38	157,86	41,04
13:30	22,5	0,123	0,139	0,899	0,915	0,983	1,19	2,21	1,01	2,16	598,670	26,80	43,64	145,06	37,72
14:30	37,5	0,103	0,121	0,772	0,798	0,967	1,04	1,85	0,81	1,79	497,606	27,60	41,60	121,66	31,63
15:30	52,5	0,077	0,096	0,592	0,633	0,934	0,82	1,38	0,55	1,32	366,423	28,40	38,71	90,73	23,59
16:30	67,5	0,048	0,066	0,371	0,432	0,861	0,56	0,87	0,31	0,81	224,503	29,20	35,51	56,36	14,65
17:30	82,5	0,021	0,031	0,126	0,206	0,609	0,27	0,38	0,11	0,33	90,558	30,00	32,55	23,02	5,99
18:30	97,5	-	-	-0,129	-0,027	4,822						30,00	30,00	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,374	-0,252	1,487						28,84	28,84	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,595	-0,454	1,311						27,68	27,68	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,775	-0,618	1,252						26,52	26,52	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,902	-0,735	1,227						25,36	25,36	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,968	-0,795	1,217						24,20	24,20	0,00	0,00
Somatório														1195,18	310,75

6.5 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de março

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	ϕ	β	ω_p	a	b
[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	-	-	-	[MJ/m ²]	-	-	-	-	-	-	91,0585	-	-
35,374	14,616	0,413	0,493	0,957	7,206	0,043	-2,42	16,000	75,000	-23,630	24,000	92,653	0,680	0,404

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θ_z	rb	ld	l	lb	lt	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,991	-0,891	1,113						22,40	22,40	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,923	-0,829	1,114						22,43	22,43	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,793	-0,709	1,118						22,47	22,47	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,608	-0,540	1,126						22,50	22,50	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,383	-0,333	1,148						22,53	22,53	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,131	-0,103	1,274						22,57	22,57	0,00	0,00
06:30	-82,5	0,014	0,020	0,130	0,136	0,954	0,14	0,20	0,06	0,20	54,352	22,60	24,13	14,31	3,72
07:30	-67,5	0,043	0,053	0,382	0,367	1,040	0,38	0,62	0,24	0,62	172,469	22,63	27,48	44,79	11,64
08:30	-52,5	0,074	0,082	0,608	0,574	1,059	0,59	1,08	0,49	1,09	303,166	22,66	31,19	77,52	20,15
09:30	-37,5	0,103	0,106	0,792	0,743	1,066	0,77	1,51	0,74	1,54	427,264	22,70	34,71	107,63	27,98
10:30	-22,5	0,126	0,123	0,923	0,863	1,070	0,89	1,84	0,95	1,89	524,448	22,73	37,48	130,55	33,94
11:30	-7,5	0,139	0,132	0,990	0,924	1,071	0,95	2,03	1,07	2,08	577,823	22,76	39,01	142,88	37,15
12:30	7,5	0,139	0,132	0,990	0,924	1,071	0,95	2,03	1,07	2,08	577,823	22,80	39,05	142,86	37,14
13:30	22,5	0,126	0,123	0,923	0,863	1,070	0,89	1,84	0,95	1,89	524,448	21,60	36,35	131,19	34,11
14:30	37,5	0,103	0,106	0,792	0,743	1,066	0,77	1,51	0,74	1,54	427,264	22,40	34,42	107,76	28,02
15:30	52,5	0,074	0,082	0,608	0,574	1,059	0,59	1,08	0,49	1,09	303,166	23,20	31,73	77,34	20,11
16:30	67,5	0,043	0,053	0,382	0,367	1,040	0,38	0,62	0,24	0,62	172,469	24,00	28,85	44,53	11,58
17:30	82,5	0,014	0,020	0,130	0,136	0,954	0,14	0,20	0,06	0,20	54,352	24,80	26,33	14,18	3,69
18:30	97,5	-	-	-0,131	-0,103	1,274						26,80	26,80	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,383	-0,333	1,148						25,82	25,82	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,608	-0,540	1,126						24,84	24,84	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,793	-0,709	1,118						23,86	23,86	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,923	-0,829	1,114						22,88	22,88	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,991	-0,891	1,113						21,90	21,90	0,00	0,00
												Somatório		1035,54	269,24

6.6 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de abril

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	ϕ	β	ω_s	a	b
[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	-	-	-	[MJ/m ²]	-	-	-	-	-	-	85,8397	-	-
29,443	12,996	0,441	0,450	0,957	5,851	0,043	9,41	15,000	105,000	-23,630	24,000	79,526	0,577	0,502

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θ_z	rb	Id	I	lb	It	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,977	-0,962	1,016						26,20	26,20	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,910	-0,901	1,011						26,23	26,23	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,782	-0,783	0,999						26,27	26,27	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,599	-0,616	0,974						26,30	26,30	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,376	-0,411	0,915						26,33	26,33	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,128	-0,184	0,696						26,37	26,37	0,00	0,00
06:30	-82,5	0,006	0,008	0,130	0,052	2,477	0,05	0,08	0,03	0,13	34,779	26,40	27,38	9,04	2,35
07:30	-67,5	0,028	0,041	0,379	0,280	1,351	0,24	0,36	0,12	0,39	109,256	26,43	29,50	28,13	7,31
08:30	-52,5	0,067	0,071	0,602	0,485	1,241	0,42	0,88	0,46	0,98	271,290	26,46	34,09	68,52	17,82
09:30	-37,5	0,107	0,096	0,784	0,651	1,203	0,56	1,39	0,83	1,54	428,430	26,50	38,55	106,16	27,60
10:30	-22,5	0,138	0,113	0,912	0,769	1,186	0,66	1,80	1,13	1,99	553,782	26,53	42,11	135,10	35,12
11:30	-7,5	0,156	0,122	0,979	0,831	1,179	0,72	2,02	1,31	2,24	623,360	26,56	44,09	150,74	39,19
12:30	7,5	0,156	0,122	0,979	0,831	1,179	0,72	2,02	1,31	2,24	623,360	26,60	44,13	150,71	39,18
13:30	22,5	0,138	0,113	0,912	0,769	1,186	0,66	1,80	1,13	1,99	553,782	27,22	42,80	134,68	35,02
14:30	37,5	0,107	0,096	0,784	0,651	1,203	0,56	1,39	0,83	1,54	428,430	27,84	39,89	105,54	27,44
15:30	52,5	0,067	0,071	0,602	0,485	1,241	0,42	0,88	0,46	0,98	271,290	28,46	36,09	67,94	17,66
16:30	67,5	0,028	0,041	0,379	0,280	1,351	0,24	0,36	0,12	0,39	109,256	29,08	32,15	27,82	7,23
17:30	82,5	0,006	0,008	0,130	0,052	2,477	0,05	0,08	0,03	0,13	34,779	29,70	30,68	8,91	2,32
18:30	97,5	-	-	-0,128	-0,184	0,696						30,30	30,30	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,376	-0,411	0,915						29,18	29,18	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,599	-0,616	0,974						28,06	28,06	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,782	-0,783	0,999						26,94	26,94	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,910	-0,901	1,011						25,82	25,82	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,977	-0,962	1,016						24,70	24,70	0,00	0,00
													Somatório	993,28	258,25

6.7 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de maio

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	ϕ	β	ω_s	a	b
[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	-	-	-	[MJ/m ²]	-	-	-	-	-	-	81,4384	-	-
23,670	11,484	0,485	0,402	0,957	5,665	0,043	18,79	15,000	135,000	-23,630	24,000	68,097	0,480	0,594

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θ_z	rb	ld	l	lb	lt	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,936	-0,989	0,947						16,90	16,90	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,873	-0,930	0,938						16,99	16,99	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,749	-0,817	0,916						17,08	17,08	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,574	-0,657	0,874						17,17	17,17	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,360	-0,461	0,781						17,26	17,26	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,121	-0,242	0,501						17,35	17,35	0,00	0,00
06:30	-82,5	0,001	0,001	0,126	0,016	7,853	0,01	0,01	0,01	0,05	14,226	17,44	17,84	3,84	1,00
07:30	-67,5	0,002	0,002	0,364	0,203	1,797	0,01	0,02	0,01	0,03	8,151	17,53	17,76	2,20	0,57
08:30	-52,5	0,054	0,046	0,578	0,399	1,450	0,26	0,62	0,36	0,77	213,962	17,62	23,64	56,45	14,68
09:30	-37,5	0,108	0,081	0,753	0,559	1,347	0,46	1,24	0,78	1,50	417,173	17,71	29,44	107,45	27,94
10:30	-22,5	0,153	0,106	0,877	0,672	1,304	0,60	1,76	1,16	2,10	582,793	17,80	34,19	147,13	38,25
11:30	-7,5	0,179	0,119	0,941	0,731	1,287	0,68	2,05	1,37	2,43	675,842	17,89	36,90	168,66	43,85
12:30	7,5	0,179	0,119	0,941	0,731	1,287	0,68	2,05	1,37	2,43	675,842	17,90	36,91	168,65	43,85
13:30	22,5	0,153	0,106	0,877	0,672	1,304	0,60	1,76	1,16	2,10	582,793	19,32	35,71	146,18	38,01
14:30	37,5	0,108	0,081	0,753	0,559	1,347	0,46	1,24	0,78	1,50	417,173	20,74	32,47	106,09	27,58
15:30	52,5	0,054	0,046	0,578	0,399	1,450	0,26	0,62	0,36	0,77	213,962	22,16	28,18	55,40	14,40
16:30	67,5	0,002	0,002	0,364	0,203	1,797	0,01	0,02	0,01	0,03	8,151	23,58	23,81	2,15	0,56
17:30	82,5	0,001	0,001	0,126	0,016	7,853	0,01	0,01	0,01	0,05	14,226	25,00	25,40	3,73	0,97
18:30	97,5	-	-	-0,121	-0,242	0,501						26,40	26,40	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,360	-0,461	0,781						25,62	25,62	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,574	-0,657	0,874						24,84	24,84	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,749	-0,817	0,916						24,06	24,06	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,873	-0,930	0,938						23,28	23,28	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,936	-0,989	0,947						22,50	22,50	0,00	0,00
												Somatório		967,93	251,66

6.8 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de junho

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	φ	β	ωs	a	b
[MJ/m²]	[MJ/m²]	-	-	-	[MJ/m²]							79,2521		
20,703	10,584	0,511	0,378	0,957	5,156	0,043	23,09	11,000	162,000	-23,630	24,000	62,142	0,428	0,643

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θz	rb	ld	l	lb	lt	Gt	Ta	Tc	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[W/m²]	[°C]	[°C]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,909	-0,993	0,916						13,50	13,50	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,847	-0,936	0,905						13,27	13,27	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,727	-0,826	0,881						13,04	13,04	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,557	-0,670	0,832						12,81	12,81	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,349	-0,480	0,729						12,58	12,58	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,118	-0,267	0,440						12,35	12,35	0,00
06:30	-82,5	0,001	0,008	0,123	-0,047	-2,600	0,04	0,01	-0,03	0,12	33,128	12,12	13,05	2,37
07:30	-67,5	0,020	0,020	0,355	0,165	2,144	0,10	0,21	0,11	0,33	92,579	11,89	14,49	6,59
08:30	-52,5	0,040	0,034	0,563	0,356	1,581	0,17	0,43	0,25	0,57	157,586	11,66	16,09	11,14
09:30	-37,5	0,106	0,078	0,732	0,511	1,432	0,40	1,12	0,72	1,43	396,191	11,43	22,57	27,29
10:30	-22,5	0,162	0,109	0,852	0,621	1,372	0,56	1,71	1,15	2,13	591,873	11,20	27,85	39,90
11:30	-7,5	0,194	0,126	0,915	0,678	1,348	0,65	2,05	1,40	2,53	702,359	10,97	30,72	46,78
12:30	7,5	0,194	0,126	0,915	0,678	1,348	0,65	2,05	1,40	2,53	702,359	11,00	30,75	46,78
13:30	22,5	0,162	0,109	0,852	0,621	1,372	0,56	1,71	1,15	2,13	591,873	11,93	28,58	39,78
14:30	37,5	0,106	0,078	0,732	0,511	1,432	0,40	1,12	0,72	1,43	396,191	12,86	24,00	27,14
15:30	52,5	0,040	0,034	0,563	0,356	1,581	0,17	0,43	0,25	0,57	157,586	13,79	18,22	11,05
16:30	67,5	0,020	0,020	0,355	0,165	2,144	0,10	0,21	0,11	0,33	92,579	14,72	17,32	6,51
17:30	82,5	0,001	0,008	0,123	-0,047	-2,600	0,04	0,01	-0,03	0,12	33,128	15,65	16,58	2,34
18:30	97,5	-	-	-0,118	-0,267	0,440						16,60	16,60	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,349	-0,480	0,729						15,32	15,32	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,557	-0,670	0,832						14,04	14,04	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,727	-0,826	0,881						12,76	12,76	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,847	-0,936	0,905						11,48	11,48	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,909	-0,993	0,916						10,20	10,20	0,00
Somatório													1029,50	267,67

6.9 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de julho

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	cos θ	cos θz	rs	δ	Dia	n	φ	β	ωz	a	b
[MJ/m²]	[MJ/m²]	-	-	-	-	[MJ/m²]	-	-	-	-	-	-	80,2379	-	-
20:531	11,592	0,565	0,349	0,957	5,134	0,043	21,18	17,000	198,000	-23,630	24,000	64,858	0,451	0,621	0,621

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θz	rb	ld	l	lb	lt	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgW
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[W/m²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,922	-0,992	0,930						19,75	19,75	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,859	-0,934	0,920						19,44	19,44	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,737	-0,823	0,896						19,13	19,13	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,565	-0,665	0,850						18,82	18,82	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,354	-0,472	0,751						18,51	18,51	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,119	-0,256	0,466						18,20	18,20	0,00	0,00
06:30	-82,5	-	-	0,124	-0,033	-3,720						17,89	17,89	0,00	0,00
07:30	-67,5	0,009	0,009	0,359	0,182	1,973	0,05	0,10	0,06	0,16	44,381	17,58	18,83	11,94	3,10
08:30	-52,5	0,047	0,040	0,570	0,375	1,519	0,20	0,55	0,34	0,72	199,571	17,27	22,88	52,81	13,73
09:30	-37,5	0,107	0,080	0,742	0,533	1,393	0,41	1,24	0,84	1,56	434,600	16,96	29,18	112,06	29,14
10:30	-22,5	0,158	0,108	0,864	0,644	1,340	0,55	1,83	1,28	2,25	626,346	16,65	34,27	158,08	41,10
11:30	-7,5	0,186	0,122	0,927	0,702	1,320	0,63	2,16	1,53	2,64	734,270	16,34	36,99	183,16	47,62
12:30	7,5	0,186	0,122	0,927	0,702	1,320	0,63	2,16	1,53	2,64	734,270	16,25	36,90	183,24	47,64
13:30	22,5	0,158	0,108	0,864	0,644	1,340	0,55	1,83	1,28	2,25	626,346	17,37	34,99	157,59	40,97
14:30	37,5	0,107	0,080	0,742	0,533	1,393	0,41	1,24	0,84	1,56	434,600	18,47	30,69	111,36	28,95
15:30	52,5	0,047	0,040	0,570	0,375	1,519	0,20	0,55	0,34	0,72	199,571	19,59	25,20	52,31	13,60
16:30	67,5	0,009	0,009	0,359	0,182	1,973	0,05	0,10	0,06	0,16	44,381	20,71	21,96	11,79	3,07
17:30	82,5	-	-	0,124	-0,033	-3,720						21,83	21,83	0,00	0,00
18:30	97,5	-	-	-0,119	-0,256	0,466						23,00	23,00	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,354	-0,472	0,751						22,35	22,35	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,565	-0,665	0,850						21,70	21,70	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,737	-0,823	0,896						21,05	21,05	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,859	-0,934	0,920						20,40	20,40	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,922	-0,992	0,930						19,75	19,75	0,00	0,00
Somatório														1034,34	268,93

6.10 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de agosto

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	φ	β	ωs	a	b
[MJ/m²]	[MJ/m²]	-	-	-	[MJ/m²]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,808	13,392	0,500	0,401	0,957	6,313	0,043	13,45	16,000	228,000	-23,630	24,000	83,9916	0,537	0,539

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θz	rb	ld	l	lb	lt	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[W/m²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,963	-0,977	0,986						19,50	19,50	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,897	-0,916	0,979						19,14	19,14	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,770	-0,800	0,962						18,78	18,78	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,591	-0,636	0,929						18,42	18,42	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,371	-0,434	0,854						18,06	18,06	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,125	-0,210	0,599						17,70	17,70	0,00	0,00
06:30	-82,5	0,002	0,001	0,128	0,023	5,576	0,01	0,03	0,02	0,12	33,450	17,34	18,28	9,02	2,34
07:30	-67,5	0,019	0,019	0,374	0,248	1,509	0,12	0,25	0,13	0,32	87,634	16,98	19,44	23,51	6,11
08:30	-52,5	0,063	0,055	0,594	0,449	1,321	0,35	0,84	0,50	1,00	276,566	16,62	24,40	72,74	18,91
09:30	-37,5	0,108	0,085	0,773	0,614	1,260	0,53	1,44	0,91	1,67	463,348	16,26	29,29	119,42	31,05
10:30	-22,5	0,144	0,105	0,900	0,730	1,233	0,67	1,93	1,26	2,21	614,016	15,90	33,17	155,69	40,48
11:30	-7,5	0,164	0,116	0,966	0,790	1,222	0,73	2,20	1,47	2,51	698,127	15,54	35,17	175,51	45,63
12:30	7,5	0,164	0,116	0,966	0,790	1,222	0,73	2,20	1,47	2,51	698,127	15,50	35,13	175,54	45,64
13:30	22,5	0,144	0,105	0,900	0,730	1,233	0,67	1,93	1,26	2,21	614,016	16,92	34,19	155,02	40,30
14:30	37,5	0,108	0,085	0,773	0,614	1,260	0,53	1,44	0,91	1,67	463,348	18,34	31,37	118,38	30,78
15:30	52,5	0,063	0,055	0,594	0,449	1,321	0,35	0,84	0,50	1,00	276,566	19,74	27,52	71,81	18,67
16:30	67,5	0,019	0,019	0,374	0,248	1,509	0,12	0,25	0,13	0,32	87,634	21,16	23,62	23,12	6,01
17:30	82,5	0,002	0,001	0,128	0,023	5,576	0,01	0,03	0,02	0,12	33,450	22,58	23,52	8,83	2,30
18:30	97,5	-	-	-0,125	-0,210	0,599						24,00	24,00	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,371	-0,434	0,854						23,10	23,10	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,591	-0,636	0,929						22,20	22,20	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,770	-0,800	0,962						21,30	21,30	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,897	-0,916	0,979						20,40	20,40	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,963	-0,977	0,986						19,50	19,50	0,00	0,00
Somatório														1108,59	288,23

6.11 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de setembro

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	ϕ	β	ω_s	a	b
[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	-	-	-	[MJ/m ²]	-								
32,855	13,500	0,411	0,487	0,957	6,924	0,043	2,22	15,000	258,000	-23,630	24,000	89,0296	0,641	0,440

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θ_z	rb	ld	I	lb	lt	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,990	-0,923	1,073						17,50	17,50	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,923	-0,861	1,072						17,72	17,72	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,792	-0,742	1,068						17,94	17,94	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,608	-0,573	1,062						18,16	18,16	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,382	-0,366	1,045						18,38	18,38	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,130	-0,135	0,964						18,60	18,60	0,00	0,00
06:30	-82,5	0,009	0,012	0,131	0,104	1,257	0,08	0,12	0,04	0,12	34,223	18,82	19,78	9,17	2,38
07:30	-67,5	0,039	0,045	0,383	0,335	1,143	0,31	0,52	0,21	0,54	150,633	19,04	23,28	39,80	10,35
08:30	-52,5	0,072	0,075	0,609	0,542	1,123	0,52	0,97	0,46	1,02	282,335	19,26	27,20	73,40	19,08
09:30	-37,5	0,104	0,099	0,793	0,711	1,116	0,68	1,41	0,72	1,47	409,144	19,48	30,99	104,70	27,22
10:30	-22,5	0,129	0,116	0,923	0,830	1,112	0,80	1,75	0,94	1,83	509,275	19,70	34,02	128,67	33,45
11:30	-7,5	0,143	0,125	0,991	0,892	1,111	0,87	1,93	1,07	2,03	564,512	19,92	35,80	141,54	36,80
12:30	7,5	0,143	0,125	0,991	0,892	1,111	0,87	1,93	1,07	2,03	564,512	20,00	35,88	141,50	36,79
13:30	22,5	0,129	0,116	0,923	0,830	1,112	0,80	1,75	0,94	1,83	509,275	20,58	34,90	128,18	33,33
14:30	37,5	0,104	0,099	0,793	0,711	1,116	0,68	1,41	0,72	1,47	409,144	21,16	32,67	103,96	27,03
15:30	52,5	0,072	0,075	0,609	0,542	1,123	0,52	0,97	0,46	1,02	282,335	21,74	29,68	72,65	18,89
16:30	67,5	0,039	0,045	0,383	0,335	1,143	0,31	0,52	0,21	0,54	150,633	22,32	26,56	39,27	10,21
17:30	82,5	0,009	0,012	0,131	0,104	1,257	0,08	0,12	0,04	0,12	34,223	22,90	23,86	9,02	2,35
18:30	97,5	-	-	-0,130	-0,135	0,964						23,50	23,50	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,382	-0,366	1,045						22,50	22,50	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,608	-0,573	1,062						21,50	21,50	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,792	-0,742	1,068						20,50	20,50	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,923	-0,861	1,072						19,50	19,50	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,990	-0,923	1,073						17,50	17,50	0,00	0,00
Somatório														991,86	257,88

6.12 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de outubro

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	cos θ	Hd	Rs	δ	Dia	n	φ	β	ω _z	a	b
[MJ/m²]	[MJ/m²]	-	-	-	-	[MJ/m²]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,922	14,508	0,383	0,533	0,957	-	7,537	0,043	-9,60	15,000	288,000	-23,630	24,000	100,685	0,691	0,393

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θz	rb	Id	I	lb	It	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[W/m²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,979	-0,829	1,181						21,00	21,00	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,912	-0,768	1,188						21,00	21,00	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,783	-0,650	1,205						21,00	21,00	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,601	-0,483	1,245						21,00	21,00	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,378	-0,279	1,357						21,00	21,00	0,00	0,00
05:30	-97,5	-	-	-0,130	-0,051	2,541						21,00	21,00	0,00	0,00
06:30	-82,5	0,018	0,027	0,128	0,185	0,691	0,21	0,26	0,05	0,23	65,271	21,00	22,84	17,28	4,49
07:30	-67,5	0,045	0,061	0,376	0,413	0,912	0,46	0,65	0,19	0,62	172,513	21,00	25,85	45,10	11,73
08:30	-52,5	0,074	0,091	0,599	0,617	0,971	0,69	1,08	0,39	1,05	290,681	21,00	29,18	74,95	19,49
09:30	-37,5	0,102	0,116	0,781	0,783	0,997	0,87	1,48	0,60	1,45	402,603	21,00	32,32	102,45	26,64
10:30	-22,5	0,123	0,133	0,910	0,901	1,009	1,00	1,79	0,78	1,76	490,120	21,00	34,78	123,42	32,09
11:30	-7,5	0,135	0,142	0,976	0,982	1,015	1,07	1,95	0,88	1,94	538,148	21,00	36,14	134,74	35,03
12:30	7,5	0,135	0,142	0,976	0,982	1,015	1,07	1,95	0,88	1,94	538,148	21,00	36,14	134,74	35,03
13:30	22,5	0,123	0,133	0,910	0,901	1,009	1,00	1,79	0,78	1,76	490,120	21,00	34,78	123,42	32,09
14:30	37,5	0,102	0,116	0,781	0,783	0,997	0,87	1,48	0,60	1,45	402,603	21,00	32,32	102,45	26,64
15:30	52,5	0,074	0,091	0,599	0,617	0,971	0,69	1,08	0,39	1,05	290,681	21,00	29,18	74,95	19,49
16:30	67,5	0,045	0,061	0,376	0,413	0,912	0,46	0,65	0,19	0,62	172,513	21,00	25,85	45,10	11,73
17:30	82,5	0,018	0,027	0,128	0,185	0,691	0,21	0,26	0,05	0,23	65,271	21,00	22,84	17,28	4,49
18:30	97,5	-	-	-0,130	-0,051	2,541						21,00	21,00	0,00	0,00
19:30	112,5	-	-	-0,378	-0,279	1,357						21,00	21,00	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,601	-0,483	1,245						21,00	21,00	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,783	-0,650	1,205						21,00	21,00	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,912	-0,768	1,188						21,00	21,00	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,979	-0,829	1,181						21,00	21,00	0,00	0,00
Somatório														995,89	258,93

6.13 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de novembro

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	cosθ	Hd	Rs	δ	Dia	n	φ	β	ω _z	a	b
[MJ/m²]	[MJ/m²]	-	-	-	[MJ/m²]	[MJ/m²]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41,142	18,000	0,438	0,501	0,957	8,285	0,043	-18,91	14,000	318,000	-23,630	24,000	112,061	0,722	0,363	

HS	ω	rT	rd	cosθ	cosθz	rb	ld	l	lb	lt	Gt	Ta	Tc	Pgv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[MJ/m²]	[W/m²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,940	-0,729	1,289						19,60	19,60	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,876	-0,671	1,306						19,60	19,60	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,753	-0,558	1,350						19,60	19,60	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,578	-0,398	1,453						19,60	19,60	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,364	-0,202	1,805						19,60	19,60	0,00	0,00
05:30	-97,5	0,001	0,003	-0,126	0,017	-7,480	0,02	0,02	0,00	0,01	2,388	19,60	19,67	0,64	0,17
06:30	-82,5	0,023	0,040	0,121	0,243	0,499	0,33	0,41	0,08	0,36	99,656	19,60	22,40	26,42	6,87
07:30	-67,5	0,048	0,076	0,360	0,462	0,780	0,63	0,87	0,24	0,79	220,768	19,60	25,81	57,73	15,01
08:30	-52,5	0,075	0,108	0,574	0,658	0,873	0,90	1,35	0,46	1,27	352,044	19,60	29,50	90,65	23,57
09:30	-37,5	0,100	0,135	0,748	0,818	0,915	1,11	1,80	0,69	1,71	475,139	19,60	32,96	120,58	31,35
10:30	-22,5	0,119	0,153	0,872	0,931	0,937	1,27	2,15	0,88	2,05	570,812	19,60	35,65	143,21	37,23
11:30	-7,5	0,130	0,163	0,936	0,989	0,946	1,35	2,33	0,99	2,24	623,145	19,60	37,13	155,35	40,39
12:30	7,5	0,130	0,163	0,936	0,989	0,946	1,35	2,33	0,99	2,24	623,145	20,10	37,63	155,02	40,31
13:30	22,5	0,119	0,153	0,872	0,931	0,937	1,27	2,15	0,88	2,05	570,812	20,60	36,65	142,60	37,08
14:30	37,5	0,100	0,135	0,748	0,818	0,915	1,11	1,80	0,69	1,71	475,139	21,10	34,46	119,82	31,15
15:30	52,5	0,075	0,108	0,574	0,658	0,873	0,90	1,35	0,46	1,27	352,044	21,63	31,53	89,89	23,37
16:30	67,5	0,048	0,076	0,360	0,462	0,780	0,63	0,87	0,24	0,79	220,768	22,16	28,37	57,12	14,85
17:30	82,5	0,023	0,040	0,121	0,243	0,499	0,33	0,41	0,08	0,36	99,656	22,69	25,49	26,09	6,78
18:30	97,5	0,001	0,003	-0,126	0,017	-7,480	0,02	0,02	0,00	0,01	2,388	22,80	22,87	0,63	0,16
19:30	112,5	-	-	-0,364	-0,202	1,805						22,30	22,30	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,578	-0,398	1,453						21,80	21,80	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,753	-0,558	1,350						21,30	21,30	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,876	-0,671	1,306						20,80	20,80	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,940	-0,729	1,289						19,60	19,60	0,00	0,00
Somatório														1185,75	308,30

6.14 Potência horária fornecida pelo gerador fotovoltaico no mês de dezembro

H0	H	Kt	Hd/H	Rd	Hd	Rs	δ	Dia	n	ϕ	β	ω_s	a	b
[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	-	-	-	[MJ/m ²]	-	-					100,729		
42,380	16,308	0,385	0,558	0,957	9,096	0,043	-23,05	10,000	344,000	-23,630	24,000	117,805	0,736	0,350

HS	ω	rT	rd	cos θ	cos θ_z	Rb	Id	I	Ib	It	Gt	Ta	Tc	Pfv	PgN
[horas]	[°]	-	-	-	-	-	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[MJ/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[W]	[kW]
00:30	-172,5	-	-	-0,915	-0,679	1,348						21,50	21,50	0,00	0,00
01:30	-157,5	-	-	-0,853	-0,622	1,371						21,50	21,50	0,00	0,00
02:30	-142,5	-	-	-0,733	-0,512	1,431						21,50	21,50	0,00	0,00
03:30	-127,5	-	-	-0,563	-0,356	1,579						21,50	21,50	0,00	0,00
04:30	-112,5	-	-	-0,355	-0,166	2,141						21,50	21,50	0,00	0,00
05:30	-97,5	0,004	0,008	-0,123	0,047	-2,615	0,08	0,06	-0,01	0,11	30,156	21,50	22,35	8,00	2,08
06:30	-82,5	0,025	0,048	0,118	0,267	0,440	0,43	0,40	-0,03	0,40	112,469	21,50	24,66	29,55	7,68
07:30	-67,5	0,049	0,086	0,350	0,480	0,729	0,78	0,81	0,03	0,77	214,526	22,00	28,03	55,58	14,45
08:30	-52,5	0,075	0,120	0,558	0,670	0,832	1,09	1,23	0,14	1,17	324,868	22,00	31,14	83,08	21,60
09:30	-37,5	0,099	0,147	0,727	0,826	0,881	1,34	1,62	0,28	1,54	428,172	22,00	34,04	108,17	28,12
10:30	-22,5	0,118	0,167	0,848	0,936	0,906	1,52	1,92	0,40	1,83	508,386	22,00	36,30	127,20	33,07
11:30	-7,5	0,127	0,177	0,910	0,993	0,916	1,61	2,08	0,47	1,99	552,240	22,00	37,53	137,44	35,73
12:30	7,5	0,127	0,177	0,910	0,993	0,916	1,61	2,08	0,47	1,99	552,240	22,50	38,03	137,14	35,66
13:30	22,5	0,118	0,167	0,848	0,936	0,906	1,52	1,92	0,40	1,83	508,386	23,35	37,65	126,46	32,88
14:30	37,5	0,099	0,147	0,727	0,826	0,881	1,34	1,62	0,28	1,54	428,172	24,20	36,24	107,15	27,86
15:30	52,5	0,075	0,120	0,558	0,670	0,832	1,09	1,23	0,14	1,17	324,868	25,05	34,19	82,02	21,32
16:30	67,5	0,049	0,086	0,350	0,480	0,729	0,78	0,81	0,03	0,77	214,526	25,90	31,93	54,68	14,22
17:30	82,5	0,025	0,048	0,118	0,267	0,440	0,43	0,40	-0,03	0,40	112,469	26,75	29,91	28,91	7,52
18:30	97,5	0,004	0,008	-0,123	0,047	-2,615	0,08	0,06	-0,01	0,11	30,156	27,60	28,45	7,80	2,03
19:30	112,5	-	-	-0,355	-0,166	2,141						26,10	26,10	0,00	0,00
20:30	127,5	-	-	-0,563	-0,356	1,579						24,60	24,60	0,00	0,00
21:30	142,5	-	-	-0,733	-0,512	1,431						23,10	23,10	0,00	0,00
22:30	157,5	-	-	-0,853	-0,622	1,371						21,60	21,60	0,00	0,00
23:30	172,5	-	-	-0,915	-0,679	1,348						19,60	19,60	0,00	0,00
Somatório														1093,17	284,22