

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

DIEGO VECCHIO COULDREY REBELO

ANÁLISE DE VIABILIDADE E DIMENSIONAMENTO DE UM ESTACIONAMENTO  
SOLAR FOTOVOLTAICO PARA O CAMPUS DA UFSC EM JOINVILLE

Joinville  
2019

DIEGO VECCHIO COULDREY REBELO

ANÁLISE DE VIABILIDADE E DIMENSIONAMENTO DE UM ESTACIONAMENTO  
SOLAR FOTOVOLTAICO PARA O CAMPUS DA UFSC EM JOINVILLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, no curso Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Diego Santos Greff

Joinville  
2019

## RESUMO

A migração total de fontes não renováveis para fontes limpas e renováveis ainda não é uma realidade, entretanto com a evolução das tecnologias a energia elétrica proveniente de placas solares ganha cada vez mais espaço no cenário mundial. No âmbito nacional, onde temos condições climáticas privilegiadas para explorar este tipo de energia, ainda temos um baixo aproveitamento na área. Contudo, devido a tendência de crescimento do setor nos próximos anos algumas empresas já estão percebendo as vantagens para utilização dessa fonte energética e investindo na tecnologia fotovoltaica. A fim de criar uma alternativa diferente, o trabalho propõe o projeto de um estacionamento solar fotovoltaico para o Centro Tecnológico de Joinville (CTJ). O sistema possui uma potência de 380,16kW e tem o retorno do investimento em 65 meses.

**Palavras-chave:** Energia Fotovoltaica. Placas Solares. Viabilidade Econômica. Análise Energética.

## **ABSTRACT**

The total migration of non renewable sources to clean and renewable sources is not a reality yet, in the meantime with the evolution of technologies and electric power from solar panels are gaining more and more space in the world scenario. In the national scope, where we have privileged climate conditions to explore this type of energy, we still have a low use in this area. However, due to the growing trend of the sector in the next few years some companies are already realizing the benefits of the usage of this energy resource and investing in photovoltaic energy. In order to create a different alternative, the monograph proposes the project of a solar photovoltaic parking lot for the Technological Center of Joinville (CTJ). The system has a power of 380.16kW and has the return on investment in 65 months.

**Keywords:** Photovoltaic Energy. Solar Panels. Economic Viability. Energy Analysis.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu pai Marcelo Rebelo e à minha mãe Cristina Couldrey, pelo total suporte durante os anos de graduação e apoio nos momentos que mais precisei.

Aos meus avós Sérgio Rebelo e Zuleica Rebelo, por serem um porto seguro em todas as dificuldades, me deixando apenas a preocupação com o estudo e com o futuro.

Agradeço ao meu orientador Diego Santos Greff, pelo conhecimento e auxílio na solução dos problemas.

Ao Engenheiro Eduardo Irani do CREA-SC e da FuturaSun, pela ajuda na escolha do tema e disponibilidade para solucionar problemas.

Ao Carlos Eduardo Pscheidt, pela atenção e boa vontade para resolver minhas principais dúvidas no trabalho.

À todos meus amigos de Florianópolis, que apesar da distância continuaram demonstrando o mesmo carinho e parceria.

Aos colegas de curso e amigos Felipe Carlos de Souza, Felipe Hirata, Gustavo Ramos, João Daniel e Victor Hugo Dagnoni, pelo companheirismo nos melhores e piores momentos do percurso até a formatura e por transformarem o ambiente de estudos num lugar mais agradável e descontraído.

Agradeço ao Lucas do Nascimento, Leonardo Hinckel e Géssica Pedott, os quais tive a oportunidade de dividir moradia, pela confiança e cumplicidade.

Aos amigos Arthur Dutra, Natália Morales, Luiz Guilherme Teixeira, Gabriela Dutra e Rafaela Scariot, por tornarem a vida universitária mais alegre e prazerosa.

Aos amigos do Triplo X, que me acolheram no início da faculdade e fizeram parte de grandes alegrias ao longo do curso.

À família Cascata FC, pela amizade e pelos momentos inesquecíveis em que tive a felicidade de fazer parte.

À todos que, de alguma forma, contribuíram para minha formação.

"A estrada para o sucesso está  
sempre em construção."

---

Lily Tomlin

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Painel fotovoltaico silício monocristalino . . . . .	12
Figura 2 – Painel fotovoltaico silício policristalino . . . . .	13
Figura 3 – Painel fotovoltaico silício amorfo . . . . .	13
Figura 4 – Esquema de uma célula fotovoltaica . . . . .	14
Figura 5 – Esquema de funcionamento de um sistema <i>On Grid</i> . . . . .	16
Figura 6 – Esquema de funcionamento de um sistema <i>Off Grid</i> . . . . .	16
Figura 7 – Crescimento da produção de energia fotovoltaica de 2007-2017 . . . . .	17
Figura 8 – Produção de energia fotovoltaica de 2007-2017 por países . . . . .	17
Figura 9 – Vista do local de projeto . . . . .	19
Figura 10 – Gráfico de consumos e gastos mensais . . . . .	20
Figura 11 – Dados de irradiação solar no local do projeto . . . . .	21
Figura 12 – Placa fotovoltaica CS6U - 330P . . . . .	22
Figura 13 – Implantação módulos solares no CTJ . . . . .	23
Figura 14 – Inversor ABB TRIO-50 0-TL-OUTD-400 . . . . .	24
Figura 15 – Resultados de perdas por sombreamento no Skelion . . . . .	25
Figura 16 – Modelo 3D do sombreamento no verão . . . . .	27
Figura 17 – Modelo 3D do sombreamento no outono . . . . .	28
Figura 18 – Modelo 3D do sombreamento no inverno . . . . .	29
Figura 19 – Modelo 3D do sombreamento na primavera . . . . .	30
Figura 20 – Resultados de perdas mensais por sombreamento no Skelion . . . . .	31
Figura 21 – Relação trigonométrica para obter orientação . . . . .	31
Figura 22 – Preenchimento de dados de orientação e inclinação . . . . .	33
Figura 23 – Percurso do Sol em Joinville . . . . .	34
Figura 24 – Escolha do sistema no PVSyst . . . . .	35
Figura 25 – Dimensionamento do sistema no PVSyst . . . . .	35
Figura 26 – Resultados para potência geradora do arranjo e condições de operação . . . . .	36
Figura 27 – Resultado global de área e potência do sistema . . . . .	36
Figura 28 – Diagrama unifilar do projeto . . . . .	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Arranjo ideal para uma cobertura . . . . .	24
Tabela 2 – Tabela de potência por inclinação dos painéis . . . . .	36
Tabela 3 – Valores para os itens do projeto . . . . .	38
Tabela 4 – Percentual de reajuste nos últimos 6 anos . . . . .	39
Tabela 5 – Resultados para a análise financeira . . . . .	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Célula Fotovoltaica</b>	<b>12</b>
2.1.1	Silício monocristalino (m-Si)	12
2.1.2	Silício policristalino (p-Si)	13
2.1.3	Silício amorfo	13
2.1.4	Filmes finos	13
<b>2.2</b>	<b>Efeito fotovoltaico</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Índice Solarimétrico</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Tipos de sistemas fotovoltaicos</b>	<b>15</b>
2.4.1	Sistemas <i>On Grid</i> ou conectados	15
2.4.2	Sistemas <i>Off Grid</i> ou isolados	16
<b>2.5</b>	<b>Cenário mundial e nacional</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO - ESTACIONAMENTO SUSTENTÁVEL NO CTJ</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Dados de consumo elétrico</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Índice solarimétrico do projeto</b>	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>Projeto fotovoltaico</b>	<b>21</b>
4.3.1	Escolha das placas fotovoltaicas	21
4.3.2	Estudo no Autocad para definição da quantidade de painéis	22
4.3.3	Escolha dos inversores	23
4.3.4	Perdas de eficiência	24
4.3.4.1	Perdas por tempo de uso	25
4.3.4.2	Estudo de Sombreamento com Sketchup	25
4.3.4.3	Perdas relacionadas ao posicionamento das placas	31
4.3.4.4	Perdas pela diferença entre a potência máxima nos módulos	32
4.3.5	Dimensionamento do projeto fotovoltaico utilizando o PVSyst	32
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA</b>	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>Valor Total do Projeto</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>41</b>

<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>42</b>
<b>APÊNDICE A</b> . . . . .	<b>44</b>
<b>APÊNDICE B</b> . . . . .	<b>45</b>
<b>ANEXO A</b> . . . . .	<b>48</b>
<b>ANEXO C</b> . . . . .	<b>51</b>
<b>ANEXO C</b> . . . . .	<b>53</b>
<b>ANEXO D</b> . . . . .	<b>57</b>
<b>ANEXO E</b> . . . . .	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, quando se procura cada vez mais a diminuição do uso de fontes poluentes e não-renováveis de energia, o uso de energia solar ganha força no cenário mundial. Desde a primeira célula fotovoltaica aplicada, em 1954, em uma fonte de alimentação telefônica na Geórgia, a energia fotovoltaica evoluiu muito no âmbito mundial. China, Japão, Alemanha, Estados Unidos e Itália, são países com maior capacidade solar instalada por pessoa (PORTAL SOLAR, 2017).

Os benefícios para o meio-ambiente são inúmeros. Por ser uma fonte energética que depende apenas do Sol, fonte inesgotável de radiação, e do Silício, segundo elemento químico mais encontrado na superfície terrestre, a energia fotovoltaica é considerada uma solução sustentável e limpa (FATOR SOLAR, 2016). Estima-se que a produção de carbono gerada para produção das células de Silício seja compensada em apenas 3 anos de uso, pouco tempo em relação aos 25 anos de vida útil mínima das placas.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDEE), realizado pelo Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2016), prevê aumento significativo no consumo de energia elétrica no Brasil em relação a 2016. Segundo o estudo, esse valor subirá de 516 TWh para 741 TWh, crescimento aproximado de 43,6%. Grande parte desse aumento no consumo pode ser suprido pela energia fotovoltaica devido a condição climática brasileira ser muito favorável. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST, 2017), incide diariamente sobre o Brasil, de 4,444 kWh/m<sup>2</sup> a 5,483 kWh/m<sup>2</sup>, valores que classificam o país com potencial de energia fotovoltaica consideravelmente superior a países líderes nessa tecnologia, como a Alemanha.

A difusão dessa técnica no Brasil não é tão acentuada devido ao alto custo de implantação, onde o retorno financeiro aparece em longo prazo (cerca de 5 a 6 anos). Segundo Menin (2018), o país ainda sofre com dificuldades na integração com a rede e acesso a linhas de financiamento. Em entrevista à Agência Brasil, Sauer (2017 apud INDIO, 2017) afirma que, mesmo com a crise e as dificuldades econômicas brasileiras, o país cresceu cerca de 300% nessa tecnologia em 2017, e deve continuar crescendo em grandes taxas.

Como forma de estimular ao mercado, diversos incentivos são discutidos para difundir ainda mais o uso desta energia em nosso país. Em Santa Catarina (SC) algumas situações foram criadas a fim de aumentar o uso da energia sustentável no

estado, dentre elas o Programa Bônus Fotovoltaico da CELESC, lançado em 2017, ofereceu 60% de subsídios para instalação de equipamentos solares em residências (LINDER, 2018).

Mesmo fora da lista dos estados com maior índice solarimétrico do país, o estado catarinense é o 4º colocado em unidades de geração distribuída, perdendo apenas para as federações mais populosas, sendo SC o estado líder em termos per capita (LINDER, 2018). Alguns fatores favorecem para o estado ter alcançado tal patamar. De acordo com o diretor do Instituto Ideal, Passos (2018 apud LINDER, 2018), o próprio instituto e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que é referência no setor e possui o primeiro laboratório solar do país, são impulsionadores da evolução na região.

A fim de se aprofundar num estudo prático sobre o assunto, este trabalho tem como propósito dimensionar a instalação de um sistema fotovoltaico On Grid num estacionamento solar fotovoltaico para a UFSC de Joinville, no qual permite compensar monetariamente a energia excedente, gerando descontos nas faturas subsequentes. Caso não seja suficiente, uma parcela de energia necessária é compensada pela rede elétrica da distribuidora.

Para realização deste projeto e dimensionamento do conjunto fotovoltaico, será utilizada a ferramenta de simulação fotovoltaica PVsyst, uma das mais exploradas no mercado atual.

## **1.1 Objetivo Geral**

Dimensionar um sistema fotovoltaico ligado à rede de distribuição elétrica em um estacionamento, e posteriormente, análise dos benefícios econômicos.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- a. Dimensionar o sistema fotovoltaico;
- b. Quantificar a produção mensal de energia pelo sistema;
- c. Analisar o retorno financeiro para a instituição.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

Nesse capítulo será apresentada toda parte teórica do estudo, mostrando como se dá o funcionamento da captação de energia e da placa solar, além dos materiais presentes no sistema fotovoltaico.

### 2.1 Célula Fotovoltaica

A célula solar é um dispositivo eletrônico que tem uma função essencial para o sistema fotovoltaico. É dela o trabalho de converter energia luminosa (fótons), do Sol ou de qualquer outra fonte de luz, em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. As células fotovoltaicas são ligadas em série para formação de um módulo ou placa fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

O material mais utilizado nas células é o silício, material semicondutor e segundo mais abundante na crosta terrestre. Existem diversos tipos de células, sendo as principais de silício policristalino, silício monocristalino e de filmes finos (PINHO; GALDINO, 2014).

#### 2.1.1 Silício monocristalino (m-Si)

Os painéis de silício monocristalino têm a tecnologia mais antiga e um dos maiores preços disponíveis do mercado devido sua eficiência e pureza do silício, de 99,99% a 99,9999% e por isso tem alta eficiência (RÜTHER, 2004). É formado por uma estrutura cristalina homogênea ao longo de todo material (PINHO; GALDINO, 2014). A figura 1 mostra um exemplo da tecnologia.

Figura 1 – Painel fotovoltaico silício monocristalino



Fonte: Calaia (2011).

### 2.1.2 Silício policristalino (p-Si)

As placas com silício policristalino apresentam uma perfeição menor em comparação à monocristalina, o que as tornam com menor eficiência e menor custo de produção, mesmo tendo o mesmo material como matéria-prima (RÜTHER, 2004). Na figura 2 é apresentado um modelo de placa policristalina.

Figura 2 – Painel fotovoltaico silício policristalino



Fonte: Calaia (2011).

### 2.1.3 Silício amorfo

O silício amorfo não possui estrutura cristalina, apresentando defeitos estruturais e impossibilitando, a princípio, a utilização para placas fotovoltaicas. Porém, ao adicionar hidrogênio, os efeitos negativos são minimizados. Esse processo é denominado hidrogenização. A célula de silício amorfo é a de menor custo, entretanto é a que apresenta menor rendimento elétrico, variando entre 6 a 8% (CALAIA, 2011). A figura 3 mostra um exemplo de módulo de silício amorfo.

Figura 3 – Painel fotovoltaico silício amorfo



Fonte: Calaia (2011).

### 2.1.4 Filmes finos

Segundo Calaia (2011), fazendo parte da segunda geração de módulos fotovoltaicos, o painel de filmes finos foi resultado da necessidade de redução do

consumo de silício, uma vez que o mesmo possui uma procura maior do que oferta. Os painéis solares feitos com filmes finos fabricados sobre um substrato de vidro são muito semelhantes aos painéis de vidros, revestidos por películas, muito usados na construção civil. Assim existe perspectiva de aumento da produção e barateamento do produto em curto prazo (RÜTHER, 2004).

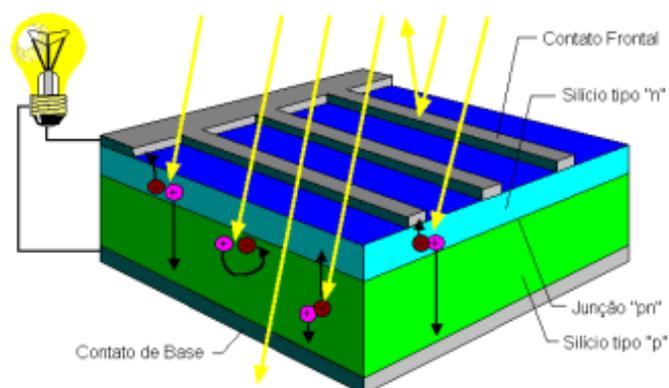
## 2.2 Efeito fotovoltaico

O silício puro é um material que não possui elétrons livres. Para que haja um campo elétrico entre duas placas, é necessária a dopagem desse silício com dois tipos de materiais, que podemos denominar “impurezas” (PINHO; GALDINO, 2014). É necessário um elemento que torne a ligação com elétrons livres na placa, fazendo com que a mesma possua carga negativa (n), e um segundo elemento que resulte no aparecimento de vazios onde eram para existir elétrons, tornando a placa de carga positiva (p). Esse sistema é chamado de junção p-n. Os elementos mais utilizados nessas dopagens são o fósforo e o boro, que deixam as placas com carga negativa e positiva, respectivamente (RÜTHER, 2004).

Essas placas são colocadas entre duas camadas condutoras, uma positiva e uma negativa e entre as placas de silício, uma placa metálica que permite passagem de elétrons apenas do sentido positivo para o negativo, formando uma região de depleção.

Com a incidência do fóton proveniente da luz solar, os elétrons podem ser excitados e saírem de suas posições estáveis, o mesmo acontece com os vazios. Ligando os condutores positivos e negativos tem-se um fluxo de elétrons que é chamado de circuito elétrico. Esse processo é denominado efeito fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014). Pode-se observar um esquema de funcionamento de uma célula solar na figura 4.

Figura 4 – Esquema de uma célula fotovoltaica



Fonte: Calaia (2011).

## 2.3 Índice Solarimétrico

O índice solarimétrico é responsável por mostrar a incidência solar em determinada localização, para assim obter os alguns parâmetros de dimensionamento de placas solares para o projeto. Cada local possui, além de uma incidência solar específico, um ângulo de posição das placas para que seja aproveitada maior parte da energia que o Sol transmite. Outro fator que é mostrado pelo índice é o fator de incidência mensal, para assim ser feita uma média anual (ATOMRA, 2014).

Com base em todos esses parâmetros é possível definir, dependendo da proposta, o índice solarimétrico que será usado no projeto. Posteriormente, o ângulo e quantidade de placas a serem colocadas (ATOMRA, 2014).

O índice solarimétrico da CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica) é representado pela grandeza kWh/m<sup>2</sup>.dia, ou seja será a quantidade de watts que incidem em uma área de um metro quadrado durante um dia. Este resultado apresenta uma estimativa média anual do índice solarimétrico local (ATOMRA, 2014).

## 2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Há duas formas de classificar os sistemas fotovoltaicos: *On Grid* e *Off Grid*. A diferença entre os dois influencia na forma de como a energia elétrica é utilizada ou armazenada.

### 2.4.1 Sistemas *On Grid* ou conectados

O sistema *On Grid* é aquele que possui ligação com a rede pública de distribuição de energia elétrica. Uma vez que o sistema fotovoltaico gere mais energia que o utilizado, o excedente é inserido no sistema público, gerando créditos de energia e, conseqüentemente, descontos na conta de luz (SUNERGIA, 2017).

Para implantação dessa tecnologia, são necessários alguns componentes. Um inversor, responsável pela conversão da energia gerada pelas placas em energia que passa pela rede pública, uma vez que o sistema fotovoltaico gera corrente contínua (CC) e a rede pública trabalha com correntes alternadas (SUNERGIA, 2017). Na figura 5 temos uma demonstração do processo *On Grid*.

Figura 5 – Esquema de funcionamento de um sistema *On Grid*



Fonte: ECOMAIS (2018).

#### 2.4.2 Sistemas *Off Grid* ou isolados

Diferente do sistema conectado, o *Off Grid* não possui ligação com a rede pública. Sendo assim, toda energia excedente gerada é armazenada num banco de baterias, para ser usada posteriormente quando o sistema fotovoltaico não estiver gerando energia. É recomendável utilizar este tipo de sistema em locais onde não há acesso a rede pública. Além das baterias, utilizam-se inversores para transformar corrente contínua em alternada, que é mais comum entre os aparelhos domésticos (SUNERGIA, 2017). Pode-se observar o funcionamento através da figura 6.

Figura 6 – Esquema de funcionamento de um sistema *Off Grid*

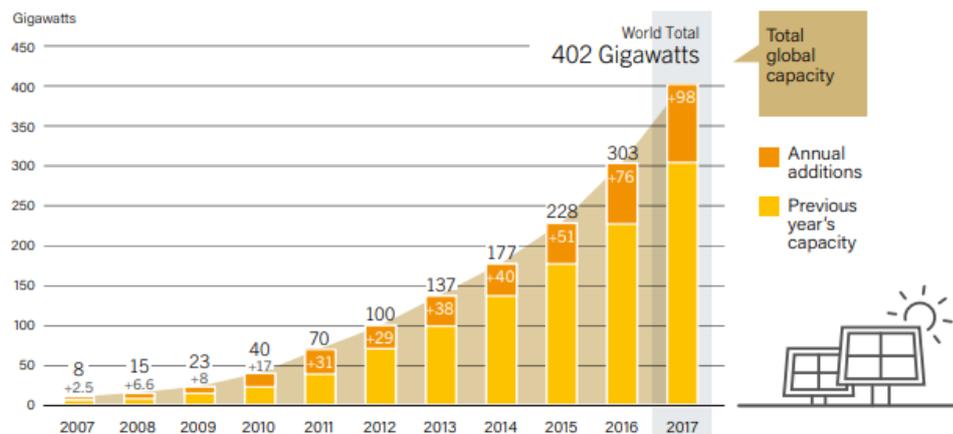


Fonte: ECOMAIS (2018).

## 2.5 Cenário mundial e nacional

Apesar da abundância nos recursos solares na Terra, a energia solar para produção de energia elétrica é pouco utilizada em muitos lugares do nosso território. Apenas alguns países possuem um considerável percentual energético de seu consumo suportado pela energia fotovoltaica. Segundo dados da REN21 a energia solar cresceu exponencialmente nos últimos anos, como mostra a figura 7.

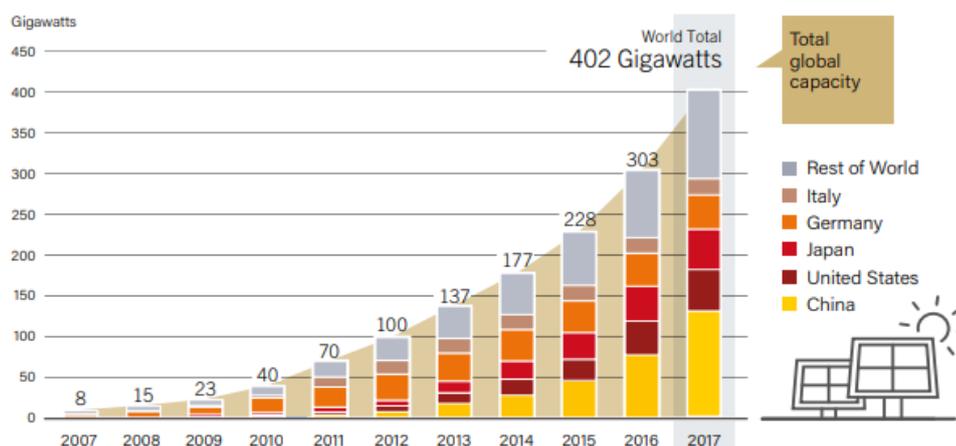
Figura 7 – Crescimento da produção de energia fotovoltaica de 2007-2017



Fonte: REN21 (2018).

Embora os dados mostrem um crescimento considerável e promissor da geração de energia proveniente do Sol, o setor ainda é dominado por uma minoria de países, os quais fazem investimentos e incentivos constantes na tecnologia. Essa hegemonia é mostrada na figura 8, onde mostra grande parte da energia fotovoltaica mundial gerada por poucos países desenvolvidos.

Figura 8 – Produção de energia fotovoltaica de 2007-2017 por países



Fonte: REN21 (2018).

### 3 MÉTODO

O trabalho tem como objetivo a elaboração de um projeto para implantação de um estacionamento coberto com sistema fotovoltaico para o Centro Tecnológico de Joinville, localizado no condomínio industrial do Perini, em Joinville-SC. Este trabalho mostrará as análises e etapas mais importantes para o dimensionamento de um sistema interligado com a rede de distribuição de energia elétrica, e posteriormente as vantagens energéticas e econômicas do investimento.

Como base para planejamento de projeto, é necessário saber consumo de energia elétrica anual do local estudado. Esse valor justifica a viabilidade do uso das placas e auxilia a estipular o valor esperado de retorno econômico. Além disso, são importantes para realização do projeto as informações da localização (latitude e longitude) do projeto e da orientação da cobertura do estacionamento. Como existe o bloco U para os estudantes e funcionários próximo e a orientação da cobertura do estacionamento não está posicionada para o norte, é necessário realizar os cálculos de perda por sombreamento e por orientação das placas, além de outras perdas do sistema.

Inicialmente utiliza-se do *software* Autocad (2018) para simular o posicionamento das coberturas e a elaboração das vistas superior, lateral e frontal do projeto. Para desenvolvimento do projeto o *software* gratuito por tempo limitado PVsyst (2019) foi utilizado para dimensionamento de placas solares. Para o estudo de sombreamento emprega-se a ferramenta Sketchup (2019) com auxílio da extensão Skeilon (2019), que possibilita a montagem do local em 3 dimensões e a análise do sistema.

Com a definição do sistema, é realizada a análise de viabilidade econômica do projeto fotovoltaico. Esta análise tem como objetivo demonstrar o rendimento das placas, o retorno financeiro em 25 anos de projeto e o tempo estimado de *payback*<sup>1</sup>.

A direção do Centro Tecnológico de Joinville colaborou as informações necessárias pra realização do trabalho, como o projeto arquitetônico, contas de energia necessárias e as visitas *in loco*.

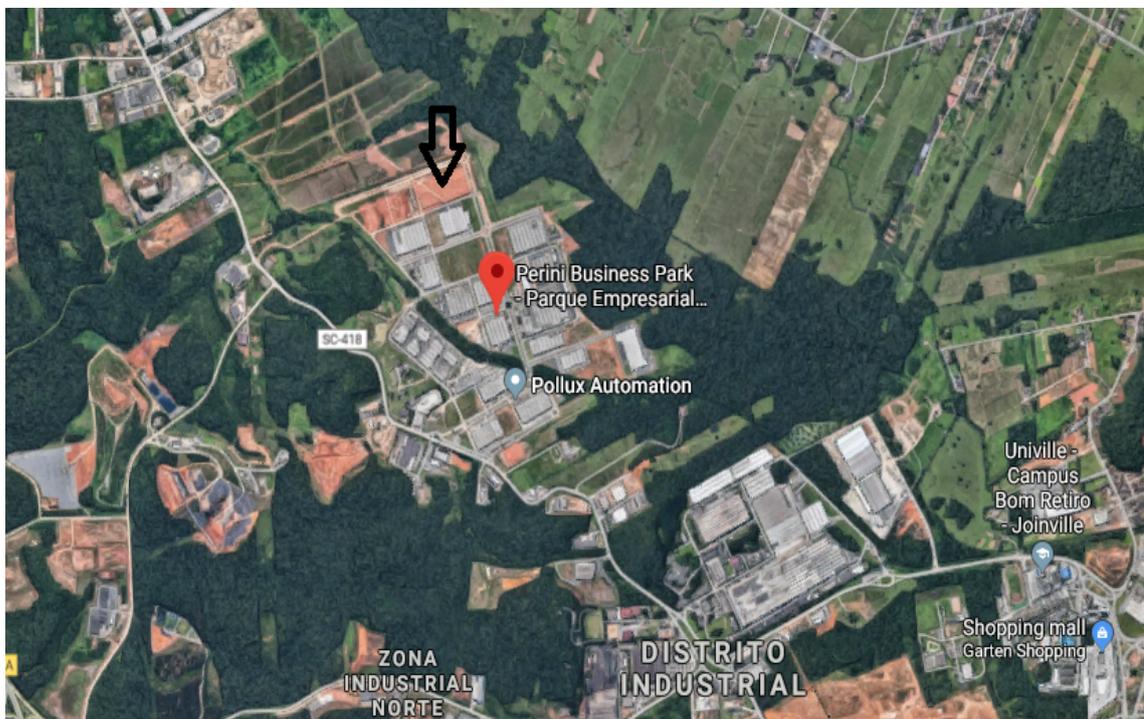
---

<sup>1</sup> Tempo estimado para retorno financeiro do projeto.

## 4 ESTUDO DE CASO - ESTACIONAMENTO SUSTENTÁVEL NO CTJ

O Centro Tecnológico de Joinville, objeto deste estudo, está localizado no Condomínio Industrial Perini Business Park, no bairro Pirabeiraba. Segundo a UFSC, o centro conta com aproximadamente 1900 alunos, 100 professores e 50 servidores. A figura 9 mostra a aproximação do local.

Figura 9 – Vista do local de projeto



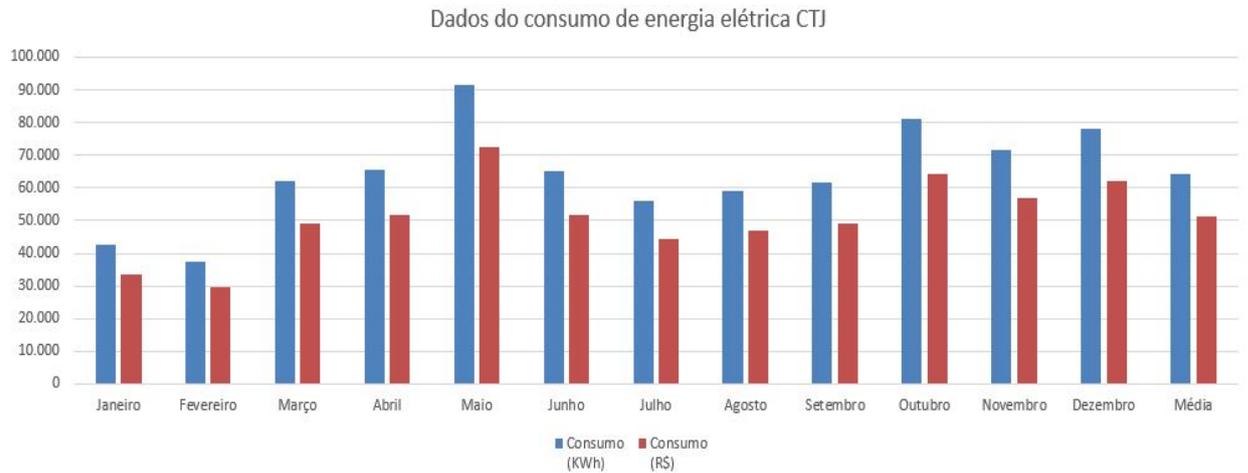
Fonte: Google Maps modificado pelo autor (2019).

### 4.1 Dados de consumo elétrico

O primeiro passo para iniciar o dimensionamento fotovoltaico é analisar o consumo de energia elétrica que o local gasta em 12 meses, fazendo observações para os meses onde é mais consumido e para outros meses que o gasto não é tão elevado. O valor de tarifa foi estimado de acordo com os dados disponibilizados pela UFSC através do Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DPAE, 2019). Como não há informações sobre os meses de Janeiro e Fevereiro, utilizou-se o valor de 75% do consumo do mês de março, valor semelhante aos outros centros da universidade. A

figura 10 mostra esses valores em kWh, juntamente com os gastos mensais em Reais.

Figura 10 – Gráfico de consumos e gastos mensais



	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média	Total
Consumo (kWh)	24.610	24.610	32.813	49.260	60.306	58.525	55.493	53.416	57.461	71.083	65.878	66.123	51631,46	619.578
Consumo (R\$)	19.540,14	19.540,14	26.053,52	39.112,44	47.882,96	46.468,85	44.061,44	42.412,30	45.624,03	56.439,90	52.307,13	52.501,66	40.995,38	491.944,54

Fonte: DPAE, modificado pelo autor (2019).

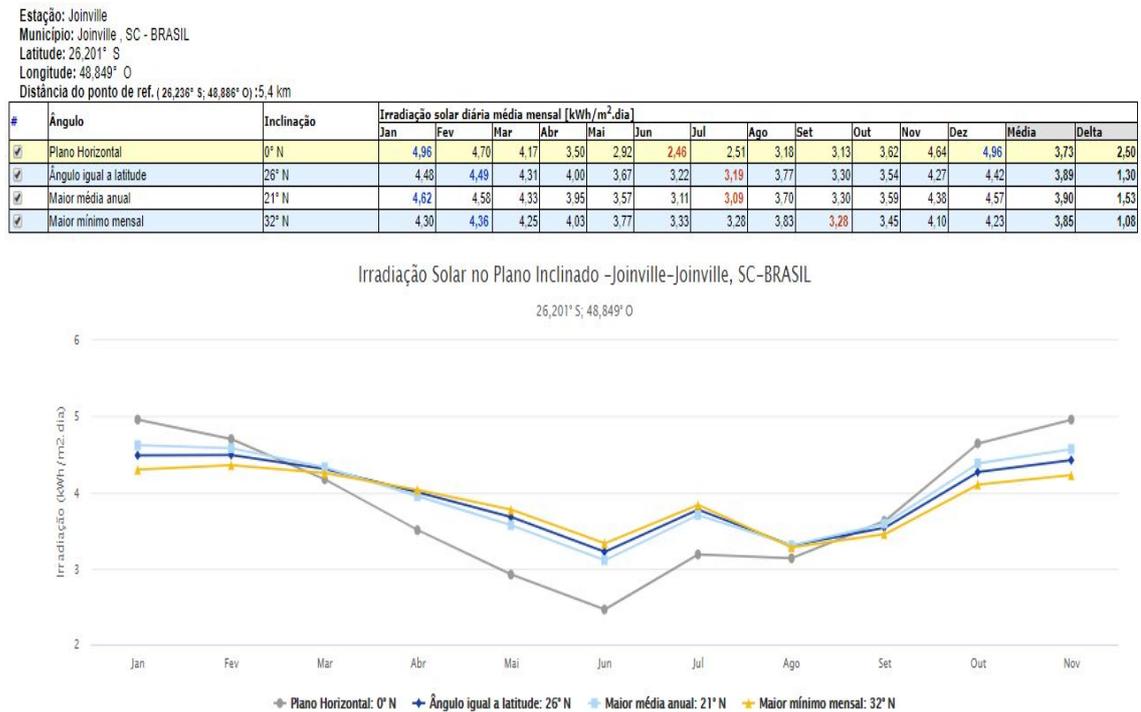
Apesar de serem meses quentes, estima-se um menor consumo em Janeiro e Fevereiro em relação aos outros meses do ano. Essa diferença é explicada pelas férias de grande parte dos funcionários e alunos, por ser um período com poucas atividades.

## 4.2 Índice solarimétrico do projeto

Para realizar o cálculo prévio de energia fotovoltaica gerada é necessário saber o índice solarimétrico do local estudado. Inicialmente, é necessário encontrar a latitude e longitude onde o dimensionamento será executado. Essas informações podem ser encontradas no Google Maps. A longitude e latitude do projeto são, respectivamente,  $-48,884^\circ$  e  $-26,236^\circ$ .

Em seguida, com auxílio do site da CRESESB, são inseridos os valores encontrados para latitude e longitude. O site retorna os valores médios mensais e anuais para três estações próximas do local. Foi selecionada a estação mais próxima do local de projeto, que fica cerca de 5,4km de distância. A figura 11 apresenta os dados da estação.

Figura 11 – Dados de irradiação solar no local do projeto



Fonte: CRESESB (2019).

Esses valores encontrados são para a incidência de irradiação para uma região plana, 26°, 21° e 32°. Os valores de média máxima são maiores nas inclinações de 26° e 21°, com uma diferença pouco significativa. Rüther (2004) aconselha utilizar o valor mais próximo da latitude do local, portanto será utilizada a inclinação de 26°, cujo índice solarimétrico do projeto é de 3,89[kWh/m<sup>2</sup>.dia]. Como a cidade de Joinville está localizada no hemisfério sul, as placas devem estar direcionadas para o norte.

### 4.3 Projeto fotovoltaico

Ao obter os dados anteriores, é possível iniciar o projeto fotovoltaico.

#### 4.3.1 Escolha das placas fotovoltaicas

Com base em todas as características apresentadas no estudo teórico, decidiu-se usar no projeto placas de silício policristalino, devido sua boa eficiência e tempo de vida útil, apresentando custos menores em relação ao painel monocristalino. O modelo escolhido foi o CSUP - 330P da Canadian Solar, tendo em vista maior acessibilidade à marca no cenário nacional e o atendimento às especificações da normativa 482 da ANEEL. Todos detalhes e características do módulo fotovoltaico escolhido estão representados no Anexo A, nos dados do fabricante. Um exemplo da placa escolhida é mostrado na figura 12.

Figura 12 – Placa fotovoltaica CS6U - 330P



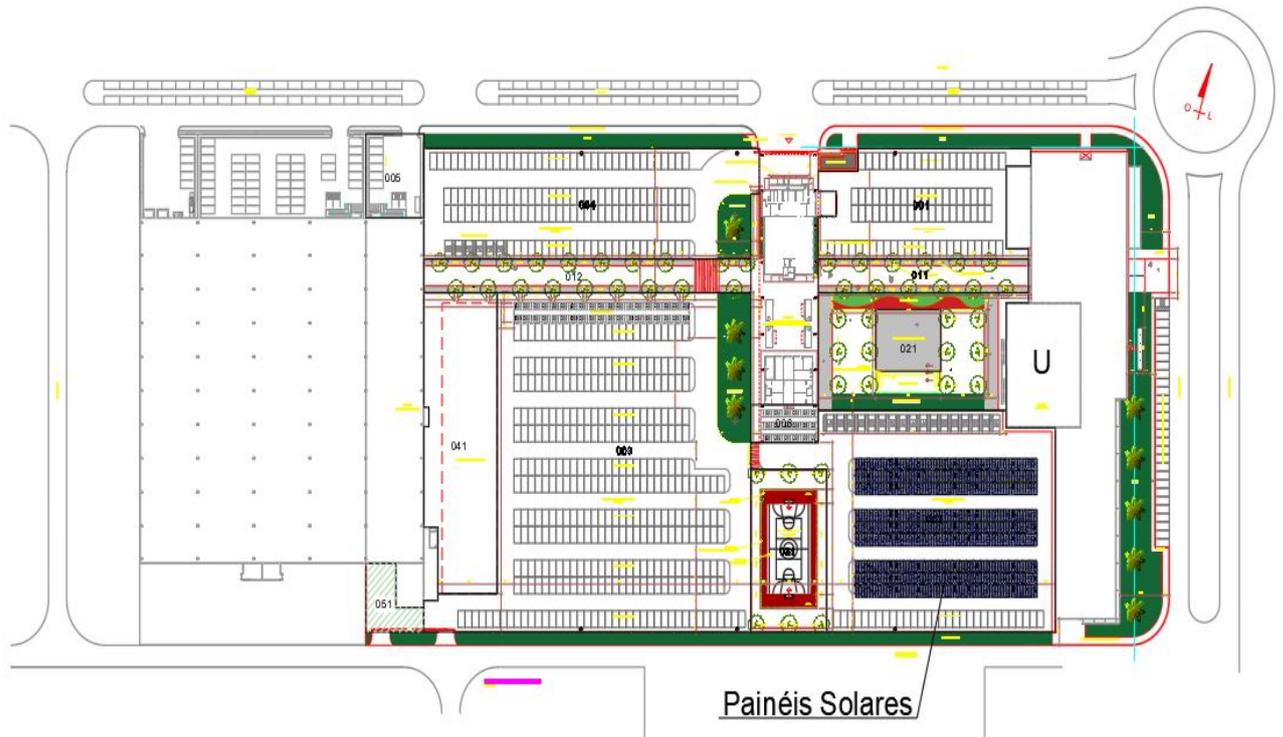
Fonte: Canadian Solar(2016).

#### 4.3.2 Estudo no Autocad para definição da quantidade de painéis

O campus possui 4 áreas de estacionamentos, onde para este projeto foi utilizada a área disponível no estacionamento entre o bloco U e a quadra de esportes. De acordo com o espaço disponível para implantação das coberturas fotovoltaicas, é realizado o dimensionamento da localização e tamanho das mesmas buscando melhor utilização do local e aproveitamento da luz solar. O projeto tem como objetivo, além da geração energética, originar sombras para os veículos, portanto a estrutura apresenta uma altura relativamente baixa, contando com 2,52m na sua menor altura e 7,68m na maior.

Para estipular o número de painéis, foi considerado a quantidade que garantisse o melhor arranjo para o sistema. Realizando a cobertura de 156 vagas, o projeto ficou dividido em 3 coberturas solares de 6x64 módulos solares, totalizando 384 placas por cobertura e 1152 placas no total. As dimensões foram atribuídas pelo autor levando em consideração as especificações das placas e a inclinação de projeto e estão disponíveis no Anexo B. A figura 14 mostra a implantação das placas dentro do campus.

Figura 13 – Implantação módulos solares no CTJ



Fonte: Direção do CTJ, modificado pelo autor(2019).

O sistema dimensionado tem uma potência de aproximadamente 380,16kWp. Como os arranjos serão feitos para cada cobertura separadamente, utiliza-se o valor de potência individual por cobertura, que é de 126,72kWp.

#### 4.3.3 Escolha dos inversores

Seguindo o processo, com as características dos módulos e a quantidade dos mesmos no sistema já conhecidas, nessa etapa é necessário escolher o inversor que será utilizado para o sistema fotovoltaico. A marca escolhida é a ABB e o modelo é o TRIO-50 0-TL-OUTD-400, que possui uma boa compatibilidade com a placa escolhida, diminuindo a porcentagem de perdas pelo sistema. No Anexo C apresenta-se as características de um inversor similar. A figura 13 mostra o inversor escolhido.

Figura 14 – Inversor ABB TRIO-50 0-TL-OUTD-400



Fonte: ABB (2017).

Com os painéis fotovoltaicos e inversores definidos, calcula-se a melhor organização dos mesmos na cobertura solar. O arranjo escolhido, para uma cobertura, é representado pela tabela 1.

Tabela 1 – Arranjo ideal para uma cobertura

Detalhes do arranjo	
Número de inversores	2
Número de strings em paralelo por inversor	12
Número de placas FV em série por string	16

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

#### 4.3.4 Perdas de eficiência

Diversos fatores devem ser considerados quando realizado o cálculo da eficiência das placas. Cada local de projeto fotovoltaico necessita de um estudo especial e diferenciado. Existem perdas por tempo de uso, sujeiras, por sombreamento causados por outras estruturas, por variação da orientação em relação ao azimute, pela sobreposição das placas, pelas características dos equipamentos (módulos, inversores e cabos) e, para ligações em série, pela não homogeneidade entre a potência máxima de módulos.

#### 4.3.4.1 Perdas por tempo de uso

É incorreto considerar a mesma eficiência em todo tempo de vida útil dos módulos fotovoltaicos, isso se deve a perda por tempo de uso dos mesmos. Segundo Feijóo (2017) essa queda de rendimento varia entre 1% e 2% no primeiro ano e 0,5% e 0,8% nos anos seguintes e é esperado que possua 90% do seu rendimento inicial após 10 anos de uso. Esses valores influenciam no *payback* do projeto, uma vez que o tempo esperado de retorno dos investimentos pode ser maior devido a queda de rendimento do sistema.

Para o estudo de caso presente, é considerado a pior situação, ou seja, 2% de perda no primeiro ano e 0,8% nos anos decorrentes. Esses valores serão considerados na análise de viabilidade financeira, realizada após o dimensionamento fotovoltaico.

#### 4.3.4.2 Estudo de Sombreamento com Sketchup

Deve-se considerar que nem sempre é possível que todas as placas estejam dentro da área de incidência solar, muitas vezes existem edifícios, terrenos ou qualquer outro tipo de obstáculo que podem ocasionar sombras em algumas placas, acarretando em perdas de energia. É indicado que se tenha muito cuidado na análise do sombreamento, dado que a potência da placa de menor rendimento, num arranjo em série, é que determina a corrente do sistema. Essas perdas podem ser quantificadas através do estudo de sombreamento, com auxílio do *software* Sketchup e sua extensão Skelion.

O Sketchup é uma ferramenta em 3D onde é possível modelar a situação presente em campo e seu devido sombreamento com as condições solares do local do projeto. Com a extensão Skelion pode-se simular a presença das placas fotovoltaicas e obter um relatório detalhado das perdas, disponível no Anexo D. Um resumo dos resultados para as perdas totais do conjunto está apresentado na figura 15.

Figura 15 – Resultados de perdas por sombreamento no Skelion

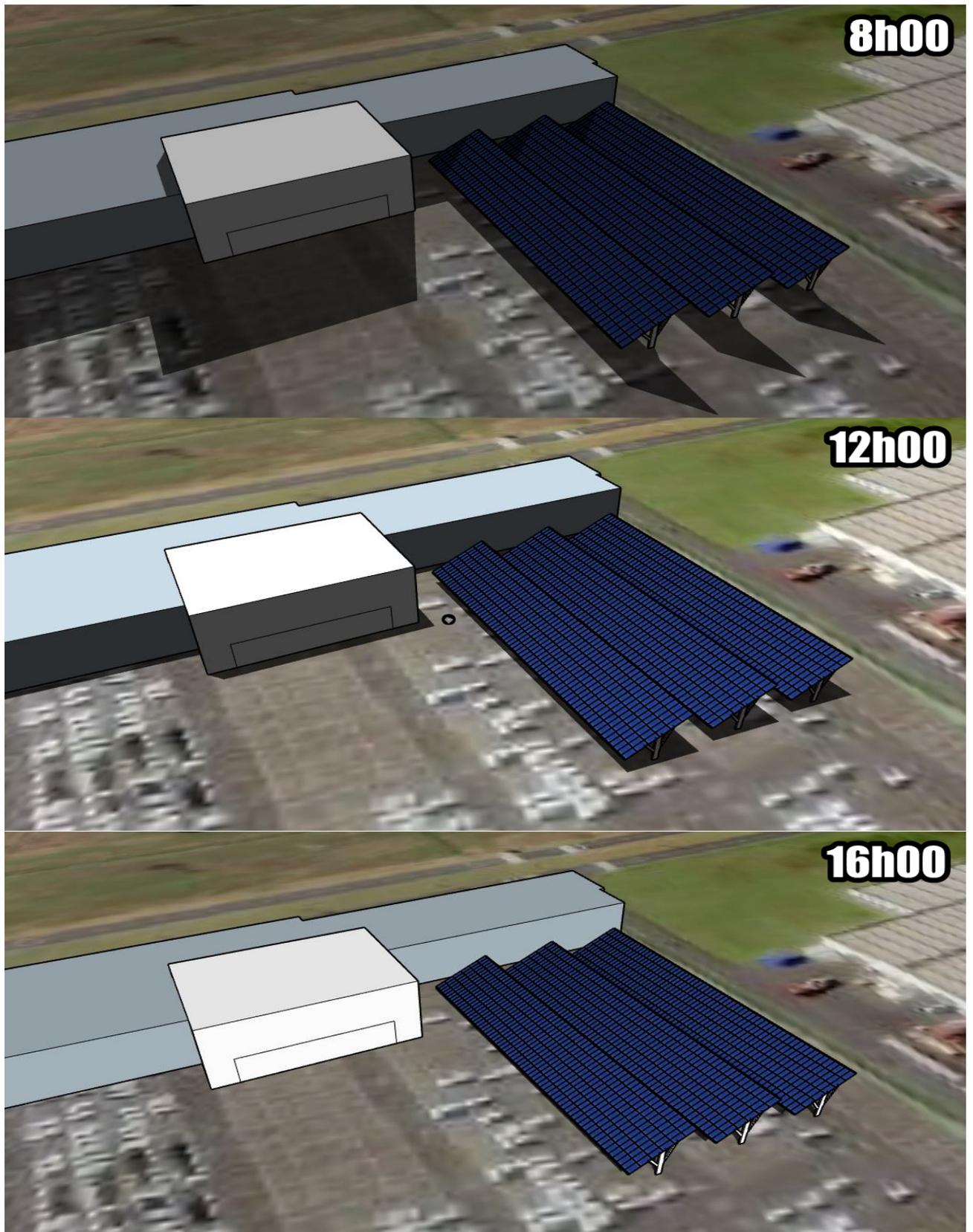
Faces global results					
Solar panels	NºP.	P. power (Wp)	P.weight (kg)	Power (kWp)	Shading L. (%)
Canadian Solar:CS6U-330P	1152	330,00	22,40	380,16	3,67

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Calcula-se que o sombreamento em alguns painéis diminui em 3,67% a energia gerada pelo sistema apresentado. Essa porcentagem deve ser descontada do valor de energia que o sistema pode gerar.

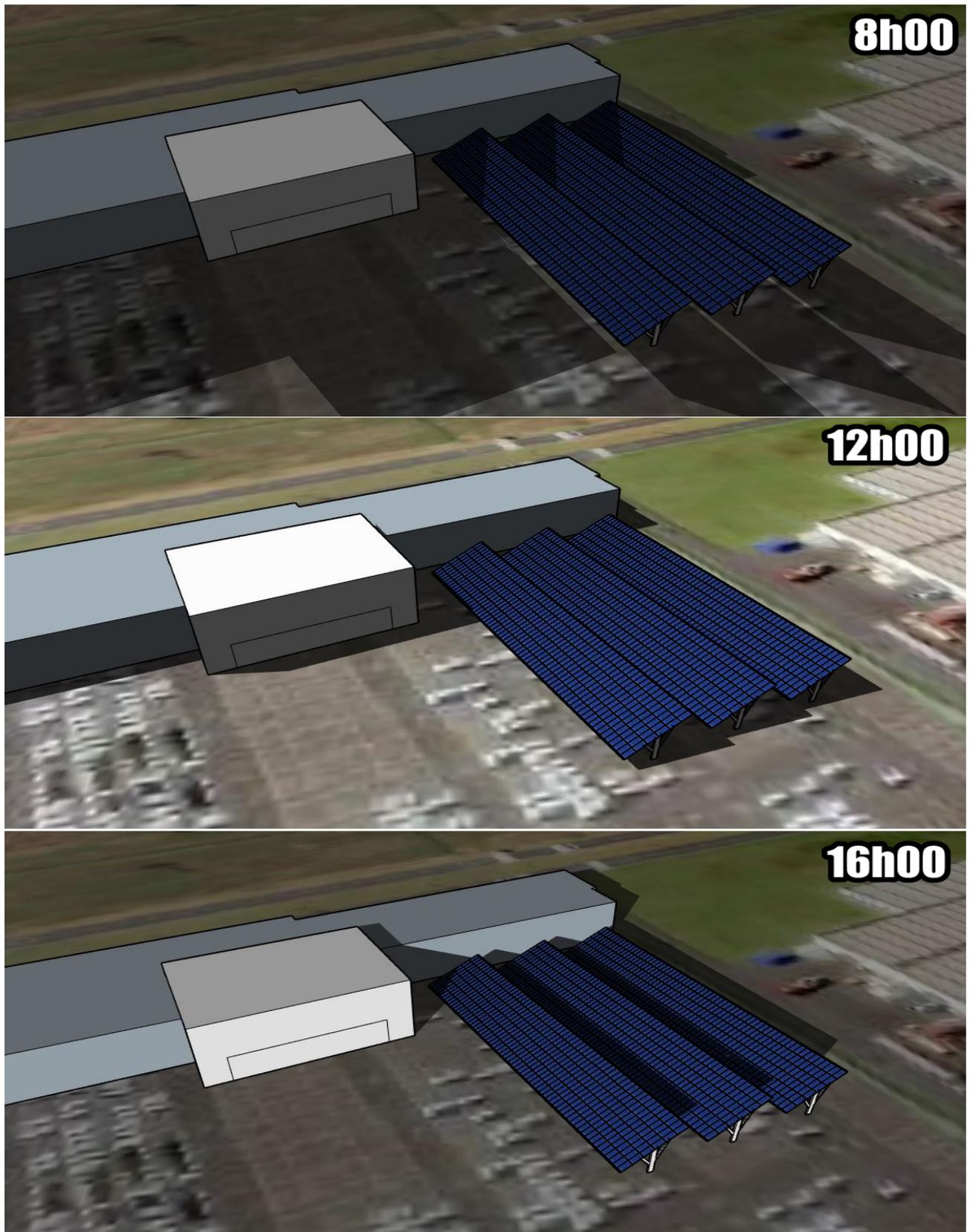
No projeto deve ser considerado o Bloco U como possível responsável por sombras nas placas no início do dia, levando em consideração que as coberturas contam com 5,10 metros de altura no seu centro. Outro sombreamento é causado pelas próprias coberturas nas coberturas que estão atrás. As simulações 3D são mostradas nas figuras seguintes, de acordo com a estação do ano e para 8, 12 e 16 horas.

Figura 16 – Modelo 3D do sombreamento no verão



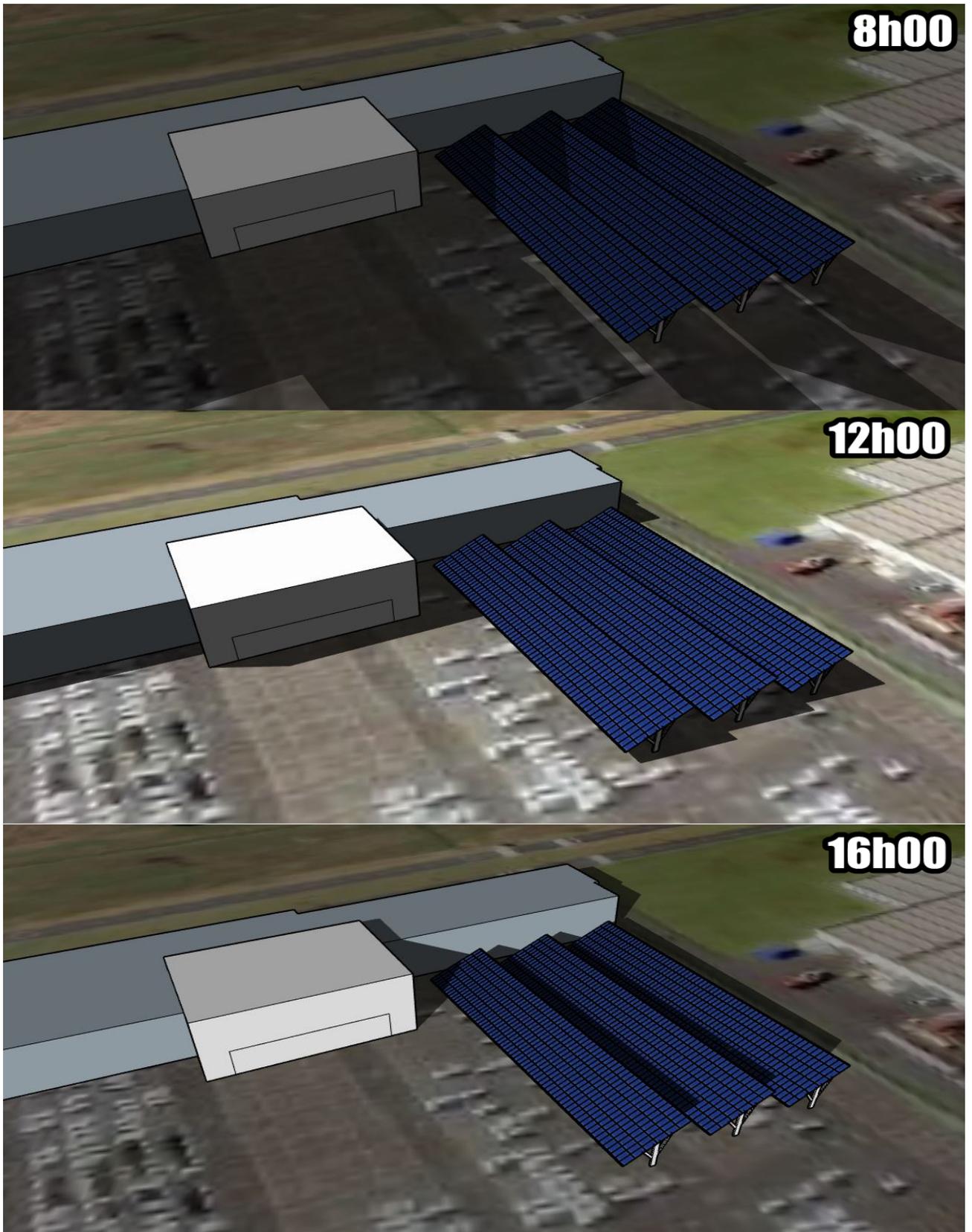
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 17 – Modelo 3D do sombreamento no outono



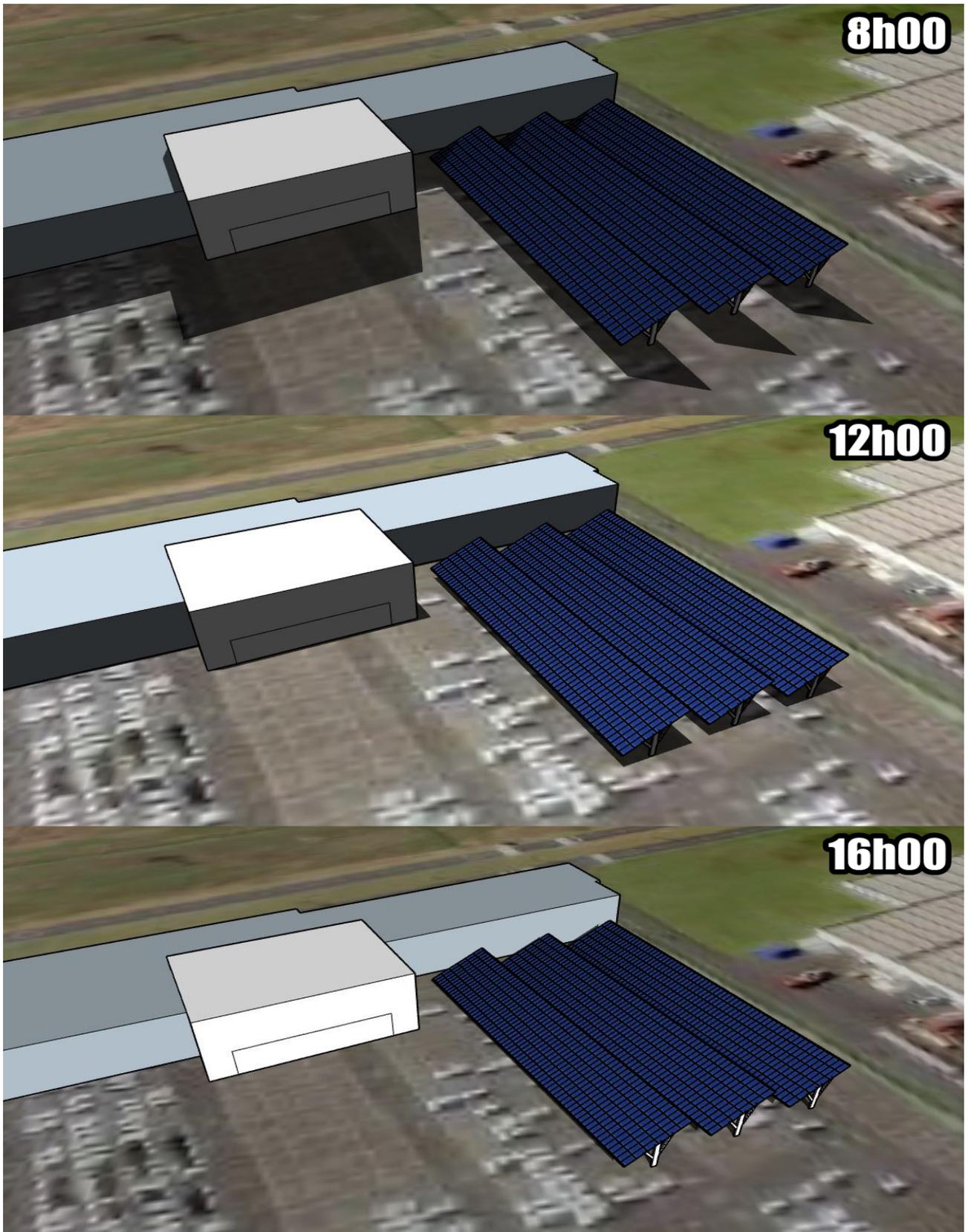
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 18 – Modelo 3D do sombreamento no inverno



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 19 – Modelo 3D do sombreamento na primavera



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como observa-se nas simulações, o período outono/inverno é o que mais possui perdas para o sistema, sendo nas outras estações, quase nulo o sombreamento. A figura 20 mostra os valores de perdas mensais e corrobora com o que é visto nas imagens.

Figura 20 – Resultados de perdas mensais por sombreamento no Skelion

Monthly Shading Losses (%)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0,12	0,22	0,44	1,33	4,36	7,79	6,29	2,24	0,60	0,23	0,11	0,07
2	0,12	0,23	1,33	5,09	9,02	14,56	13,52	6,06	1,91	0,31	0,11	0,07
3	0,12	0,23	1,33	5,09	8,98	14,53	13,46	6,06	1,91	0,31	0,11	0,07
<b>Mean</b>	0,12	0,22	1,04	3,84	7,45	12,29	11,09	4,79	1,48	0,28	0,11	0,07

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

#### 4.3.4.3 Perdas relacionadas ao posicionamento das placas

Como método de prevenção foi considerado também o posicionamento das placas, ou seja, quantos graus de distância as mesmas estão em relação ao alinhamento do norte, que seria o melhor caso. Através de uma simples análise trigonométrica, podemos chegar no valor aproximado de  $17^\circ$  de variação azimutal para o oeste. A figura 21 demonstra a análise.

Figura 21 – Relação trigonométrica para obter orientação



Fonte: Google Earth, modificado pelo autor (2019).

Conhecidos os valores de inclinação e orientação das placas, é possível colocá-los no PVSyst, que simula uma perda de percentual na eficiência total das placas. No relatório gerado posteriormente pelo *software*, a perda já está descontada.

#### 4.3.4.4 Perdas pela diferença entre a potência máxima nos módulos

As perdas ocasionadas por causa da diferença entre as potências de cada módulo são denominadas *module mismatch losses*. Deve-se considerar que as placas trabalham com sua potência somada ou subtraída à uma margem de erro, que é aproximadamente 5% podendo chegar até 10% em alguns casos, segundo Rütther (2004). Num arranjo em série, a corrente é a mesma para todos módulos, portanto considerando que alguns atuam com a potência decrescida por esta variação e que estes que determinam a corrente, haverá perda de rendimento no sistema.

Como o sistema apresentado possui módulos em série para cada *string*, a perda por este motivo deve ser levada em consideração. O PVSyst faz os cálculos contando com este desconto.

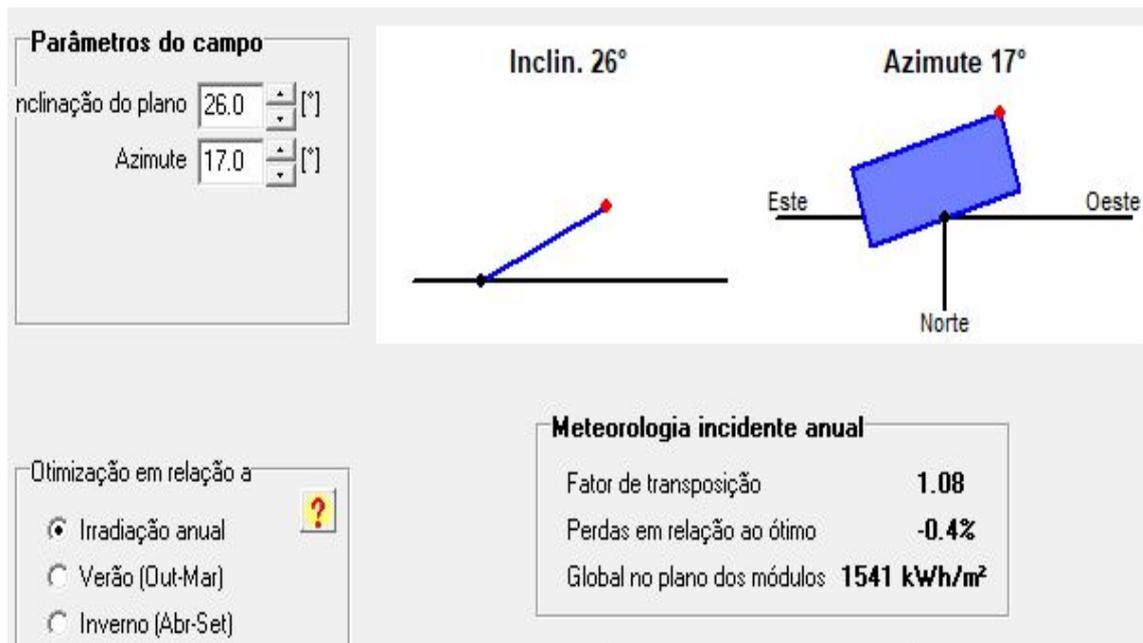
#### 4.3.5 Dimensionamento do projeto fotovoltaico utilizando o PVSyst

O PVSyst é um *software* destinado ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e é muito empregado no cenário mundial pelas empresas do ramo. Sua confiabilidade é bastante grande devido a possibilidade de entrar com os dados específicos do caso estudado. Os relatórios das simulações são completos e é possível até obter análises econômicas. Com o *software* é possível realizar o estudo para uma ampla quantidade de módulos e inversores fotovoltaicos de diferentes marcas e capacidades, realizar testes e simulações de sombreamento, definir as perdas por orientação e inclinação das placas, observar o caminho percorrido pelo Sol para os diferentes locais e níveis de irradiação, entre outras ferramentas.

Ao longo do capítulo será mostrado as etapas para o dimensionamento no programa, assim como os resultados obtidos pelo mesmo em suas simulações. O cálculo será feito para uma cobertura solar e posteriormente multiplicado pelas 3 coberturas implantadas no projeto.

Inicialmente, indicamos no programa os parâmetros de orientação, obtidos nas análises do capítulo anterior, e da inclinação, baseada nos índices de irradiação e na latitude. A inserção dos dados é mostrada na figura 22.

Figura 22 – Preenchimento de dados de orientação e inclinação

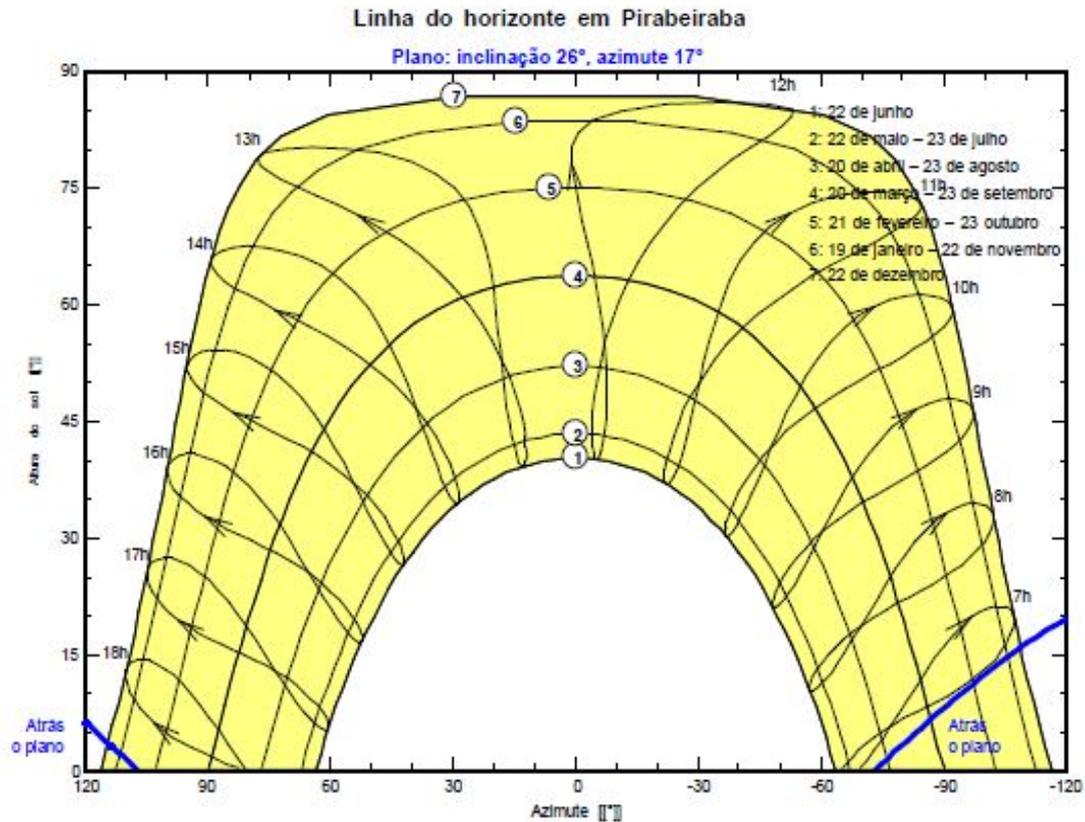


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como pode-se ver nos resultados do software e citado anteriormente na seção de perdas, o sistema perde 0,3% de potência devido à orientação das placas em relação ao ideal, considerando que a inclinação é a mais adequada para o dimensionamento e não ocasiona perdas.

Na figura 23 temos o percurso do Sol nos dias ao decorrer do ano, tendo em vista as informações do local.

Figura 23 – Percurso do Sol em Joinville



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com a análise do percurso solar, pode-se visualizar os horários com maior incidência solar no local de projeto. Este intervalo, aproximado entre 10h e 15h, é o mais eficaz para geração de energia. É possível observar também a maior incidência nos meses entre setembro a março, sendo os restantes menos favoráveis para captação energética.

Em seguida, deve-se inserir o sistema escolhido, ou seja, os modelos e marcas de placas e inversores, definidos anteriormente. Na figura 24 é demonstrada a seleção de placa e inversor no software.

Figura 24 – Escolha do sistema no PVSyst

The screenshot displays two main sections in the PVSyst software:

- Seleção do módulo FV (PV Module Selection):**
  - Available modules: Canadian Solar Inc.
  - Filter: All PV modules
  - Number of modules needed: 384
  - Selected module: 330 Wp 31V Si-poly CS6U - 330P 1000V Since 2017
  - Manufacturer: Manufacturer 2017
  - Dimensions at 60°C: 31.7 V
  - Voc at -10°C: 50.9 V
  - Use Optimizer:
- Seleção do inversor (Inverter Selection):**
  - Output voltage: 400 V Tri 50Hz
  - Available inverters: ABB
  - Selected inverter: 50 kW 300 - 950 V TL 50/60 Hz TRIO-50 0-TL-OUTD-400 Since 2016
  - Number of inverters: 2
  - Operating voltage: 300-950 V
  - Global inverter power: 100 kWac
  - Maximum input voltage: 1000 V
  - Inverter string with 16 inputs
  - Frequency options:  50 Hz,  60 Hz

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como pode-se visualizar na figura 24 e já escrito anteriormente, foi optado pela placa CSUP - 330P da Canadian Solar e pelo inversor ABB TRIO-50 0-TL-OUTD-400.

O programa calcula uma perda de 0,3% sobre potência do sistema, valor aceitável para o dimensionamento. Com os parâmetros do sistema especificados no *software*, o mesmo realiza uma divisão de 16 módulos em série para 24 *strings*, como mostra a figura 25.

Figura 25 – Dimensionamento do sistema no PVSyst

The screenshot displays the 'Dimensionamento do grupo' (Group Sizing) window in PVSyst:

- Número de módulos e strings (Number of modules and strings):**
  - Mod. em série (Modules in series): 16 (range: entre 10 e 19)
  - Nr. strings (Number of strings): 24 (range: entre 19 e 24)
- Perdas sobre-pot. (Overpower losses):** 0.3 %
- Rácio Pnom (Pnom ratio):** 1.27
- Nr. módulos (Number of modules):** 384
- Superfície (Area):** 747 m<sup>2</sup>
- Buttons: Ver dimension (View sizing), ? (Help)

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Após inserir os dados de arranjo do sistema, o software calcula os valores para potência nominal de geração, além das condições de funcionamento para diferentes temperaturas. Como citado, o sistema sofre uma pequena perda sobre potência, porém considerada irrelevante para o PVSyst. A figura 26 mostra os dados obtidos.

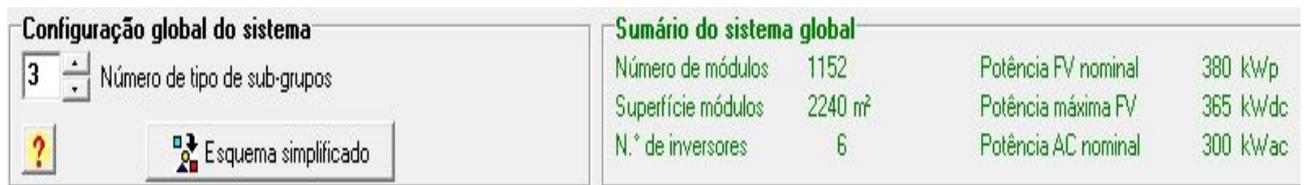
Figura 26 – Resultados para potência geradora do arranjo e condições de operação



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Definindo no programa que existem 3 grupos (3 coberturas) do sistema dimensionado, o mesmo retorna os valores totais de área e potência para o sistema total, como mostra a figura 27.

Figura 27 – Resultado global de área e potência do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Ao término da simulação, o PVSyst gera um relatório completo do sistema proposto, mostrando a potência total que o conjunto pode gerar para diferentes inclinações considerando as perdas causadas pelo arranjo. A tabela 2 mostra as potências para as diferentes inclinações. O relatório completo encontra-se no anexo E.

Tabela 2 – Tabela de potência por inclinação dos painéis

Inclinação	Quantidade de painéis	Strings	Painéis/String	Potência (MWh/ano)
0°	1152	72	16	456,7
10°	1152	72	16	475,0
20°	1152	72	16	483,5
26°	1152	72	16	483,9
30°	1152	72	16	482,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

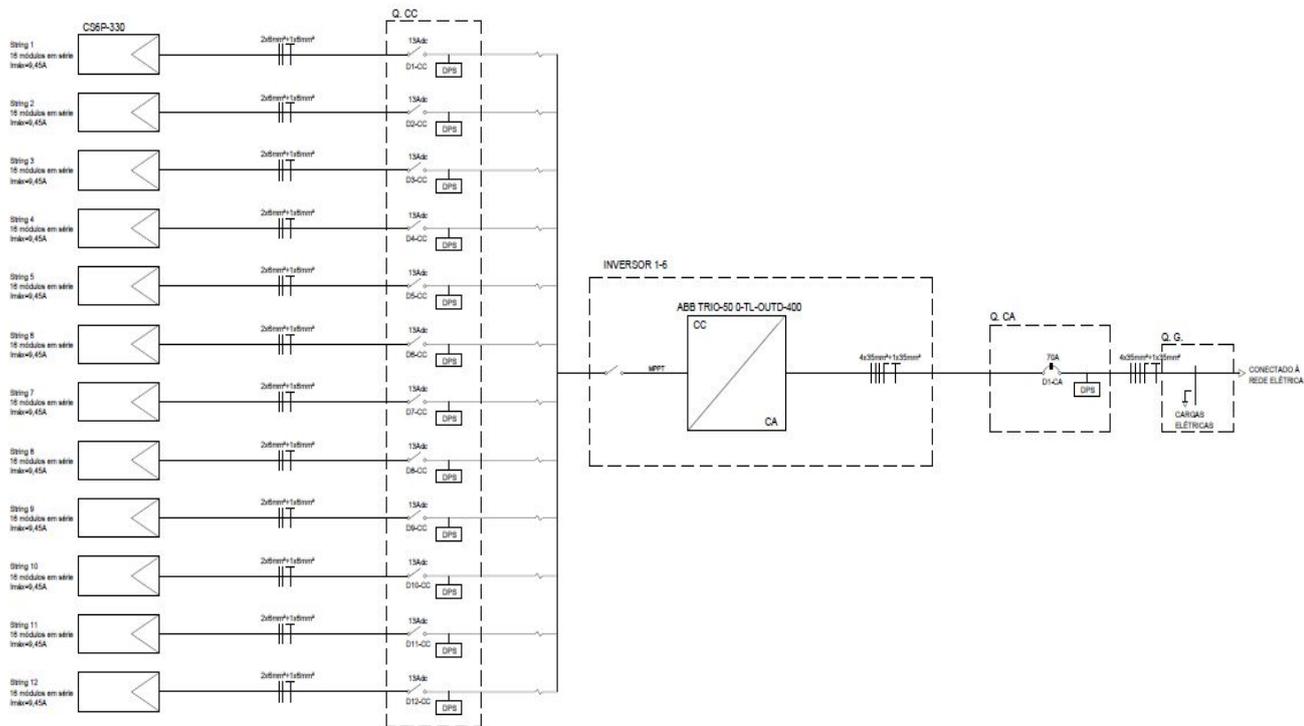
A tabela 2 mostra que a inclinação mais próxima da latitude, a de 26° é a que

gera maior energia do sistema, como foi descrito anteriormente, sendo assim a mais adequada para execução do projeto.

A potência calculada pelo *software* ainda não leva em consideração as perdas por sombreamento. Com auxílio do relatório obtido no Sketchup, tem-se que a potência total do sistema é de 466,14MWh/ano, uma vez que é perdido 3,67% de geração energética devido às sombras.

Para finalizar o projeto, é necessário esquematizar um diagrama unifilar do conjunto, presente na figura 28. O memorial de cálculo para escolha dos disjuntores e cabos está apresentado no apêndice A.

Figura 28 – Diagrama unifilar do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

## 5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Com o dimensionamento do sistema fotovoltaico realizado, é necessário fazer o estudo de viabilidade. Condições financeiras, tempo de payback e lucro nos 25 anos de vida útil serão abordados neste capítulo.

### 5.1 Valor Total do Projeto

Para contabilidade do valor total encontrado no projeto foi levado em consideração apenas o projeto fotovoltaico, seus equipamentos e valores estruturais. Esta etapa do trabalho contou com a colaboração da empresa FuturaSun (2019) que forneceu o orçamento total do projeto fotovoltaico. A empresa, localizada na Itália e atuante na área de energia solar, realiza o projetos e instalação de equipamentos fotovoltaicos em mais de 70 países. O valor por metro quadrado das estruturas é de R\$204,05 e foi estimado pelo *software* espanhol CYPE (2019) que possui um site com gerador de preços para diversos serviços de engenharia.

A tabela 3 descreve os valores separados em projeto fotovoltaico e estrutural, assim como o valor total do serviço.

Tabela 3 – Valores para os itens do projeto

Item	Unidade	Quantidade	Valor (R\$)	Valor Total (R\$)
Placas 330Wp	Unid.	1152	1.410.063,80	1.867.135,80
Inversores 50kW	Unid.	6		
Materiais elétricos	Conf. Proj.	Conf. Proj.		
Materias para suporte e fixação	Conf. Proj.	Conf. Proj.		
Instalações e frete	Conf. Proj.	Conf. Proj.		
Estruturas	m2	2240	457.072,00	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os dois primeiros itens da tabela 3 são as placas e os inversores utilizados no projeto. O item "materiais elétricos" diz respeito ao material utilizado nas ligações, como cabeamento, disjuntores e conexões. Os valores foram estimados e podem ser modificados durante a execução do serviço de acordo com a necessidade. Posteriormente são apresentados os materiais para suporte e fixação dos painéis na inclinação proposta no dimensionamento. No penúltimo item, mostra-se uma estimativa

de preço para instalação e frete do materiais. E por fim, apresentam-se os valores estruturais, que contam com fundação, estrutura e cobertura do estacionamento.

O custo total do projeto é de R\$1.867.135,80, sendo o conjunto fotovoltaico responsável por 76% do valor total. Os custos indiretos (BDI) do projeto já foram contabilizados nos orçamentos.

Para análise de retorno financeiro do sistema, são utilizados os parâmetros VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno). O valor presente líquido de um projeto pode ser definido pela soma algébrica dos valores de todos os elementos presentes no fluxo de caixa, portanto o VPL é a medida do valor presente da riqueza futura gerada pelo projeto. O critério de aprovação de projetos é ter o VPL maior ou igual a zero (PUCCINI, 2011).

A taxa de retorno interna de um fluxo de caixa é uma fórmula financeira onde determina-se a taxa de juros que torna o valor presente líquido nulo, logo a TIR seria a taxa de retorno de investimento (PUCCINI, 2011).

Para a análise, considera-se os reajustes feitos nos últimos anos pela CELESC, responsável pelo fornecimento de energia à UFSC. A tabela 4 mostra os valores dos reajustes nos últimos 8 anos juntamente com a média dos mesmos, que será usada para o cálculo de *payback*. Os valores percentuais foram retirados para o consumo B3 da ANEEL, onde se encaixa a UFSC (serviço público).

Tabela 4 – Percentual de reajuste nos últimos 6 anos

Ano	Reajuste
2018	13,15%
2017	7,9%
2016	-2,62%
2015	3,63%
2015E	19,28%
2014	22,76%
2013	13,47%
2013E	-18,46%
Média	7,39%

Fonte: CELESC (2019).

Com base nas variáveis apresentadas anteriormente, calcula-se o *payback* do projeto e o valor total para 25 anos. Os cálculos estão apresentados no Apêndice B. A tabela 5 mostra um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 5 – Resultados para a análise financeira

Investimento	R\$1.867.135,80
Economia após 25 anos (nominal)	R\$21.426.992,90
Tarifa atual (R\$/kWh) sem o sistema FV	0,79
Tarifa atual (R\$/kWh) com o sistema FV	0,20
Porcentagem de economia	75%
TIR mensal	1,50%
TIR anual	17,40%
Taxa de desconto anual (TMA)	7%
Taxa de desconto mensal (TMA)	0,58%
Valor presente das economias	R\$6.165.867,42
Energia gerada em 25 anos	10.375 MWh
Payback simples	5 anos e 5 meses

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Observa-se na tabela 5 um valor de TIR positivo, o que prova a viabilidade do projeto. O TIR de 17,4% anual é uma boa taxa, sendo mais vantajosa que muitas aplicações meramente financeiras. O tempo de *payback* é de 65 meses, tornando o projeto lucrativo após esse prazo.

## 6 CONCLUSÕES

O Brasil possui um vasto potencial para fontes sustentáveis de energia, mas atualmente apresenta uma energia muito onerosa em relação ao resto do mundo, o que diminui o interesse de indústrias estrangeiras e afeta a competitividade das indústrias nacionais. Paralelamente a isso, há uma forte estratégia mundial para a utilização de fontes de energia renováveis, visando a diminuição dos gases de efeito estufa.

O trabalho teve como propósito a verificação da viabilidade técnica e econômica para a execução de 3 coberturas para o estacionamento do CTJ com sistemas fotovoltaicos. Para isto, foi realizado um estudo para conhecimento dos dados de irradiação no local do projeto. Em seguida definiu-se as áreas de implantação, buscando atender o principal objetivo que é a cobertura dos veículos, porém sem grandes perdas por orientação e sombreamento. O dimensionamento do sistema foi realizado no software PVSyst.

A viabilidade técnica foi comprovada, pois há disponibilidade de execução do projeto com mão-de-obra e equipamentos disponíveis no mercado nacional. A análise econômica mostrou-se viável também, apresentando um tempo de retorno de investimento de 5 anos e 5 meses. Como o sistema possui 25 anos estimados de vida útil, o sistema é de grande benefício para o Campus da UFSC, que passa a ter saldo financeiro positivo após o payback. Vale ressaltar que o sistema gera 75% da energia consumida mensalmente pela universidade, sendo possível a implantação de outra cobertura de mesma dimensão e placas, aumentando a geração para 100%. Esta cobertura poderia ser dimensionada na área de estacionamento dos alunos.

O sistema foi implantado numa região com irradiação baixa se comparada com outras regiões do Brasil. Mesmo assim, o projeto se mostra lucrativo. Em regiões que apresentam irradiações bem maiores, projetos semelhantes são muito interessantes.

Para estudos futuros sugere-se a inclusão de mais um estacionamento com sistema fotovoltaico, com objetivo de cobrir 100% dos gastos em energia elétrica da UFSC. Na parte econômica, um estudo de reinvestimento do dinheiro economizado pode diminuir o tempo de payback do projeto.

## REFERÊNCIAS

- ABB. **Dados do fabricante**. 2019. Disponível em: <[https://library.e.abb.com/public/4d8140daa2b24c7c9ca4a37638e153bc/TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480\\_Rev.G.pdf](https://library.e.abb.com/public/4d8140daa2b24c7c9ca4a37638e153bc/TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480_Rev.G.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- ANEEL. **Resolução Normativa 482**. [S.l.: s.n.], 2012.
- ATOMRA. **Descubra o índice solarimétrico do seu local de projeto**. 2014. Disponível em: <<http://www.atomra.com.br/indice-solarimetrico-do-local>>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- AUTOCAD. **Autocad 2018**. 2018. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/education/free-educational-software>>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- BRASIL, C. Índio do. **Economia: Energia solar fotovoltaica pode crescer mais de 300% até o fim do ano, diz setor**. Agência Brasil, 2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-07/energia-solar-fotovoltaica-pode-crescer-mais-de-300-ate-o-fim-do-ano-diz>>. Acesso em: 04 mai. 2018.
- CALAIA, F. J. **Estudo comparativo de três tecnologias fotovoltaicas: Estudo experimental com transposição para um nível macro**. [S.l.: s.n.], 2011.
- Canadian Solar. **Dados do fabricante**. 2019. Disponível em: <<http://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto34226IdArquivo4451.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- CELESC. **Tarifas**. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>>. Acesso em: 03 mai. 2018.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO - CRESESB. 2019. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 07 abr. 2019.
- DEPARTAMENTO DE PROJETOS DE ARQUITETURA E ENGENHARIA - DPAAE. **RELATÓRIO DE ENERGIA ELÉTRICA 2018**: Relatório de acompanhamento sobre energia elétrica de todos os Campi e unidades da UFSC. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- ECOMAIS. **Energia solar**. 2018. Disponível em: <<http://www.ecomais.ind.br/energia-solar>>. Acesso em: 1 . 2018.
- ENEL Soluções. **Tudo sobre energia solar** : tipos de sistema (On Grid e Off Grid). 2016. Disponível em: <<https://www.enelsolucoes.com.br/blog/2016/06/energia-solar-tipos-de-sistema-on-grid-e-off-grid/>>. Acesso em: 07 mai. 2018.
- FATOR SOLAR. **Conheça o Silício: matéria-prima das placas fotovoltaicas e abundante no Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://fatorsolar.eco.br/>>

- conheca-o-silicio-materia-prima-das-placas-fotovoltaicas-e-abundante-no-brasil/>. Acesso em: 06 mai. 2018.
- FEIJÓO, G. C. **Fatores que Influenciam a Geração de Energia Solar (Parte 2)**. 2017. Disponível em: <<https://medium.com/@guilhermefeijoo/fatores-que-influenciam-a-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-solar-parte-2-b0310f02f7c7>>. Acesso em: 11 maio 2019.
- FUTURASUN. 2019. Disponível em: <<https://www.futurasun.com/>>. Acesso em: 12 mai. 2019.
- GOOGLE. **Google Earth**. 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 05 ago. 2019.
- LINDER, L. **Energia solar avança em Santa Catarina**. Diário Catarinense, 2018. Disponível em: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2018/03/energia-solar-avanca-em-santa-catarina-10198052.html>>. Acesso em: 03 mai. 2018.
- MENIN, R. **O futuro da energia solar no Brasil : A hora do Sol**. Distrito Federal: MRV Engenharia, 2018. Disponível em: <<https://www.mrv.com.br/newsletter/noticias/o-futuro-da-energia-solar-no-brasil-a-hora-do-sol>>. Acesso em: 06 mai. 2018.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano decenal de expansão de energia 2026**. Brasil: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026>>. Acesso em: 04 mai. 2018.
- PINHO; GALDINO. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. [S.l.]: GTEs, 2014.
- PORTAL SOLAR. **TOP 7 Países que mais usam energia solar**. 2017. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/top-7-paises-que-mais-usam-energia-solar.html>>. Acesso em: 06 ago. 2018.
- PUCCINI, E. C. **Matemática Financeira e Análise de Investimentos**. [S.l.: s.n.], 2011.
- PVSYST. **PVSYST 6.7.9**. 2019. Disponível em: <<http://www.pvsyst.com/en/software/download>>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- REN21. **RENEWABLES 2018: Global status report**. [S.l.: s.n.], 2018.
- RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. [S.l.]: UFSC/LABSOLAR, 2004.
- SKELION. **Skelion v5.2.5**. 2019. Disponível em: <<http://skelion.com/en/download.htm?v1.0.0>>. Acesso em: 20 mai. 2019.
- SKETCHUP. **Sketchup 2019**. 2019. Disponível em: <<https://www.sketchup.com/pt-BR/download/all>>. Acesso em: 20 mai. 2019.
- SUNERGIA. **Qual a diferença entre sistemas On-Grid e Off-Grid**. 2017. Disponível em: <<https://sunergia.com.br/blog/qual-a-diferenca-entre-sistemas-on-grid-e-off-grid/>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

## APÊNDICE A - MEMORIAL DE CÁLCULO PARA CABOS E DISJUNTORES

Cabo Corrente Alternada	
Corrente de Projeto	66
K do agrupamento	0,8
Corrente corrigida I	82,5
K temperatura	0,79
Corrente corrigida II	104,43
Queda de tensão	2,00%
Cabo escolhido:	#35mm <sup>2</sup> Flex 70 <sup>o</sup>

Capacidade de corrente do cabo	41
K do agrupamento	0,8
K temperatura	0,79
Capacidade de corrente corrigida	25,91

Disjuntor escolhido	70
---------------------	----

Cabo Corrente Contínua	
Corrente de Projeto	9,45
K do agrupamento	0,7
Corrente corrigida I	13,50
K temperatura	0,71
Corrente corrigida II	19,01
Queda de tensão	2,00%
Cabo escolhido:	#6mm <sup>2</sup> Sintenax

Capacidade de corrente do cabo	54
K do agrupamento	0,7
K temperatura	0,71
Capacidade de corrente corrigida	26,84

Disjuntor escolhido	13
---------------------	----

## **APÊNDICE B - ANÁLISE MENSAL DE RETORNO DE INVESTIMENTO**

Mês	Geração (kWh)	Eficiência com o tempo	Geração estimada (kWh)	Reajuste na tarifa	Tarifa (R\$/kWh)	Consumo médio mensal (kWh)	Economia (R\$)	Economia acumulada (R\$)	VP (Fluxo de caixa descontado) (R\$)	VP acumulado (R\$)	
1	set/19	38.845,00	100%	38.845,00		0,79	51.631,46	30.842,93	30.842,93	30.664,06	30.664,06
2	out/19	38.845,00	99,75%	38.747,89		0,79	51.631,46	30.765,82	61.608,75	30.410,00	61.074,06
3	nov/19	38.845,00	99,50%	38.650,78		0,79	51.631,46	30.688,72	92.297,47	30.157,87	91.231,93
4	dez/19	38.845,00	99,25%	38.553,66		0,79	51.631,46	30.611,61	122.909,08	29.907,63	121.139,56
5	jan/20	38.845,00	99,00%	38.456,55		0,79	51.631,46	30.534,50	153.443,58	29.659,29	150.798,85
6	fev/20	38.845,00	98,75%	38.359,44		0,79	51.631,46	30.457,39	183.900,97	29.412,81	180.211,66
7	mar/20	38.845,00	98,50%	38.262,33		0,79	51.631,46	30.380,29	214.281,26	29.168,20	209.379,87
8	abr/20	38.845,00	98,25%	38.165,21		0,79	51.631,46	30.303,18	244.584,43	28.925,44	238.305,31
9	mai/20	38.845,00	98,00%	38.068,10		0,79	51.631,46	30.226,07	274.810,51	28.684,51	266.989,82
10	jun/20	38.845,00	97,75%	37.970,99		0,79	51.631,46	30.148,96	304.959,47	28.445,41	295.435,23
11	jul/20	38.845,00	97,50%	37.873,88		0,79	51.631,46	30.071,86	335.031,33	28.208,11	323.643,34
12	ago/20	38.845,00	97,25%	37.776,76	7,39%	0,85	51.631,46	32.211,36	367.242,69	30.039,78	353.683,12
13	set/20	38.845,00	97%	37.679,65		0,85	51.631,46	32.128,56	399.371,24	29.788,79	383.471,91
14	out/20	38.845,00	96,94%	37.656,99		0,85	51.631,46	32.109,23	431.480,48	29.598,22	413.070,14
15	nov/20	38.845,00	96,88%	37.634,33		0,85	51.631,46	32.089,91	463.570,39	29.408,86	442.479,00
16	dez/20	38.845,00	96,83%	37.611,67		0,85	51.631,46	32.070,59	495.640,98	29.220,70	471.699,69
17	jan/21	38.845,00	96,77%	37.589,01		0,85	51.631,46	32.051,27	527.692,25	29.033,73	500.733,42
18	fev/21	38.845,00	96,71%	37.566,35		0,85	51.631,46	32.031,95	559.724,20	28.847,95	529.581,37
19	mar/21	38.845,00	96,65%	37.543,69		0,85	51.631,46	32.012,63	591.736,83	28.663,35	558.244,72
20	abr/21	38.845,00	96,59%	37.521,03		0,85	51.631,46	31.993,31	623.730,14	28.479,91	586.724,63
21	mai/21	38.845,00	96,53%	37.498,37		0,85	51.631,46	31.973,99	655.704,12	28.297,64	615.022,27
22	jun/21	38.845,00	96,48%	37.475,71		0,85	51.631,46	31.954,66	687.658,79	28.116,53	643.138,80
23	jul/21	38.845,00	96,42%	37.453,05		0,85	51.631,46	31.935,34	719.594,13	27.936,57	671.075,37
24	ago/21	38.845,00	96,36%	37.430,39	7,39%	0,92	51.631,46	34.274,62	753.868,75	29.809,04	700.884,41
25	set/21	38.845,00	96%	37.407,74		0,92	51.631,46	34.253,87	788.122,61	29.618,22	730.502,64
26	out/21	38.845,00	96,24%	37.385,08		0,92	51.631,46	34.233,12	822.355,73	29.428,61	759.931,25
27	nov/21	38.845,00	96,18%	37.362,42		0,92	51.631,46	34.212,37	856.568,10	29.240,21	789.171,46
28	dez/21	38.845,00	96,13%	37.339,76		0,92	51.631,46	34.191,62	890.759,72	29.053,00	818.224,46
29	jan/22	38.845,00	96,07%	37.317,10		0,92	51.631,46	34.170,87	924.930,59	28.866,98	847.091,44
30	fev/22	38.845,00	96,01%	37.294,44		0,92	51.631,46	34.150,12	959.080,71	28.682,14	875.773,58
31	mar/22	38.845,00	95,95%	37.271,78		0,92	51.631,46	34.129,37	993.210,08	28.498,47	904.272,05
32	abr/22	38.845,00	95,89%	37.249,12		0,92	51.631,46	34.108,62	1.027.318,70	28.315,97	932.588,02
33	mai/22	38.845,00	95,83%	37.226,46		0,92	51.631,46	34.087,87	1.061.406,58	28.134,62	960.722,64
34	jun/22	38.845,00	95,78%	37.203,80		0,92	51.631,46	34.067,12	1.095.473,70	27.954,43	988.677,07
35	jul/22	38.845,00	95,72%	37.181,14		0,92	51.631,46	34.046,38	1.129.520,08	27.775,38	1.016.452,45
36	ago/22	38.845,00	95,66%	37.158,48	7,39%	0,98	51.631,46	36.540,12	1.166.060,20	29.636,92	1.046.089,37
37	set/22	38.845,00	96%	37.135,82		0,98	51.631,46	36.517,84	1.202.578,03	29.447,07	1.075.536,45
38	out/22	38.845,00	95,54%	37.113,16		0,98	51.631,46	36.495,55	1.239.073,59	29.258,43	1.104.794,88
39	nov/22	38.845,00	95,48%	37.090,50		0,98	51.631,46	36.473,27	1.275.546,86	29.070,99	1.133.865,87
40	dez/22	38.845,00	95,43%	37.067,84		0,98	51.631,46	36.450,99	1.311.997,85	28.884,73	1.162.750,60
41	jan/23	38.845,00	95,37%	37.045,18		0,98	51.631,46	36.428,71	1.348.426,56	28.699,66	1.191.450,26
42	fev/23	38.845,00	95,31%	37.022,52		0,98	51.631,46	36.406,42	1.384.832,98	28.515,76	1.219.966,03
43	mar/23	38.845,00	95,25%	36.999,86		0,98	51.631,46	36.384,14	1.421.217,12	28.333,04	1.248.299,06
44	abr/23	38.845,00	95,19%	36.977,20		0,98	51.631,46	36.361,86	1.457.578,98	28.151,47	1.276.450,53
45	mai/23	38.845,00	95,13%	36.954,54		0,98	51.631,46	36.339,58	1.493.918,56	27.971,05	1.304.421,58
46	jun/23	38.845,00	95,08%	36.931,88		0,98	51.631,46	36.317,29	1.530.235,85	27.791,78	1.332.213,36
47	jul/23	38.845,00	95,02%	36.909,22		0,98	51.631,46	36.295,01	1.566.530,87	27.613,65	1.359.827,01
48	ago/23	38.845,00	94,96%	36.886,56	7,39%	1,06	51.631,46	38.953,28	1.605.484,15	29.464,22	1.389.291,23

49	set/23	38.845,00	95%	36.863,91		1,06	51.631,46	38.929,36	1.644.413,51	29.275,35	1.418.566,58
50	out/23	38.845,00	94,84%	36.841,25		1,06	51.631,46	38.905,43	1.683.318,93	29.087,67	1.447.654,25
51	nov/23	38.845,00	94,78%	36.818,59		1,06	51.631,46	38.881,50	1.722.200,43	28.901,19	1.476.555,44
52	dez/23	38.845,00	94,73%	36.795,93		1,06	51.631,46	38.857,57	1.761.058,00	28.715,90	1.505.271,34
53	jan/24	38.845,00	94,67%	36.773,27		1,06	51.631,46	38.833,64	1.799.891,63	28.531,78	1.533.803,11
54	fev/24	38.845,00	94,61%	36.750,61		1,06	51.631,46	38.809,71	1.838.701,34	28.348,83	1.562.151,94
55	mar/24	38.845,00	94,55%	36.727,95		1,06	51.631,46	38.785,78	1.877.487,12	28.167,04	1.590.318,98
56	abr/24	38.845,00	94,49%	36.705,29		1,06	51.631,46	38.761,85	1.916.248,98	27.986,41	1.618.305,39
57	mai/24	38.845,00	94,43%	36.682,63		1,06	51.631,46	38.737,92	1.954.986,90	27.806,92	1.646.112,31
58	jun/24	38.845,00	94,38%	36.659,97		1,06	51.631,46	38.713,99	1.993.700,89	27.628,58	1.673.740,89
59	jul/24	38.845,00	94,32%	36.637,31		1,06	51.631,46	38.690,06	2.032.390,95	27.451,37	1.701.192,26
60	ago/24	38.845,00	94,26%	36.614,65	7,39%	1,13	51.631,46	41.523,56	2.073.914,51	29.290,93	1.730.483,19
61	set/24	38.845,00	94%	36.591,99		1,13	51.631,46	41.497,86	2.115.412,38	29.103,03	1.759.586,23
62	out/24	38.845,00	94,14%	36.569,33		1,13	51.631,46	41.472,17	2.156.884,54	28.916,33	1.788.502,56
63	nov/24	38.845,00	94,08%	36.546,67		1,13	51.631,46	41.446,47	2.198.331,01	28.730,82	1.817.233,38
64	dez/24	38.845,00	94,03%	36.524,01		1,13	51.631,46	41.420,77	2.239.751,78	28.546,49	1.845.779,87
65	jan/25	38.845,00	93,97%	36.501,35		1,13	51.631,46	41.395,07	2.281.146,86	28.363,32	1.874.143,19
66	fev/25	38.845,00	93,91%	36.478,69		1,13	51.631,46	41.369,38	2.322.516,24	28.181,32	1.902.324,51
67	mar/25	38.845,00	93,85%	36.456,03		1,13	51.631,46	41.343,68	2.363.859,91	28.000,48	1.930.324,99
68	abr/25	38.845,00	93,79%	36.433,37		1,13	51.631,46	41.317,98	2.405.177,89	27.820,79	1.958.145,78
69	mai/25	38.845,00	93,73%	36.410,71		1,13	51.631,46	41.292,28	2.446.470,18	27.642,24	1.985.788,02
70	jun/25	38.845,00	93,68%	36.388,05		1,13	51.631,46	41.266,59	2.487.736,76	27.464,83	2.013.252,85
71	jul/25	38.845,00	93,62%	36.365,39		1,13	51.631,46	41.240,89	2.528.977,65	27.288,54	2.040.541,39
72	ago/25	38.845,00	93,56%	36.342,73	7,39%	1,22	51.631,46	44.260,99	2.573.238,65	29.117,05	2.069.658,44
73	set/25	38.845,00	94%	36.320,08		1,22	51.631,46	44.233,40	2.617.472,04	28.930,14	2.098.588,58
74	out/25	38.845,00	93,44%	36.297,42		1,22	51.631,46	44.205,80	2.661.677,84	28.744,42	2.127.333,00
75	nov/25	38.845,00	93,38%	36.274,76		1,22	51.631,46	44.178,20	2.705.856,05	28.559,87	2.155.892,87
76	dez/25	38.845,00	93,33%	36.252,10		1,22	51.631,46	44.150,61	2.750.006,66	28.376,50	2.184.269,37
77	jan/26	38.845,00	93,27%	36.229,44		1,22	51.631,46	44.123,01	2.794.129,67	28.194,30	2.212.463,67
78	fev/26	38.845,00	93,21%	36.206,78		1,22	51.631,46	44.095,41	2.838.225,08	28.013,25	2.240.476,92
79	mar/26	38.845,00	93,15%	36.184,12		1,22	51.631,46	44.067,82	2.882.292,90	27.833,36	2.268.310,28
80	abr/26	38.845,00	93,09%	36.161,46		1,22	51.631,46	44.040,22	2.926.333,12	27.654,61	2.295.964,90
81	mai/26	38.845,00	93,03%	36.138,80		1,22	51.631,46	44.012,62	2.970.345,74	27.477,00	2.323.441,90
82	jun/26	38.845,00	92,98%	36.116,14		1,22	51.631,46	43.985,03	3.014.330,77	27.300,52	2.350.742,42
83	jul/26	38.845,00	92,92%	36.093,48		1,22	51.631,46	43.957,43	3.058.288,20	27.125,16	2.377.867,58
84	ago/26	38.845,00	92,86%	36.070,82	7,39%	1,31	51.631,46	47.176,25	3.105.464,45	28.942,59	2.406.810,16
85	set/26	38.845,00	93%	36.048,16		1,31	51.631,46	47.146,61	3.152.611,06	28.756,66	2.435.566,83
86	out/26	38.845,00	92,74%	36.025,50		1,31	51.631,46	47.116,98	3.199.728,04	28.571,92	2.464.138,74
87	nov/26	38.845,00	92,68%	36.002,84		1,31	51.631,46	47.087,34	3.246.815,38	28.388,35	2.492.527,09
88	dez/26	38.845,00	92,63%	35.980,18		1,31	51.631,46	47.057,71	3.293.873,09	28.205,94	2.520.733,03
89	jan/27	38.845,00	92,57%	35.957,52		1,31	51.631,46	47.028,07	3.340.901,16	28.024,70	2.548.757,73
90	fev/27	38.845,00	92,51%	35.934,86		1,31	51.631,46	46.998,43	3.387.899,59	27.844,61	2.576.602,35
91	mar/27	38.845,00	92,45%	35.912,20		1,31	51.631,46	46.968,80	3.434.868,39	27.665,67	2.604.268,02
92	abr/27	38.845,00	92,39%	35.889,54		1,31	51.631,46	46.939,16	3.481.807,55	27.487,87	2.631.755,89
93	mai/27	38.845,00	92,33%	35.866,88		1,31	51.631,46	46.909,53	3.528.717,07	27.311,20	2.659.067,09
94	jun/27	38.845,00	92,28%	35.844,22		1,31	51.631,46	46.879,89	3.575.596,96	27.135,66	2.686.202,75
95	jul/27	38.845,00	92,22%	35.821,56		1,31	51.631,46	46.850,25	3.622.447,22	26.961,23	2.713.163,98
96	ago/27	38.845,00	92,16%	35.798,90	7,39%	1,40	51.631,46	50.280,66	3.672.727,88	28.767,54	2.741.931,51
97	set/27	38.845,00	92%	35.776,25		1,40	51.631,46	50.248,84	3.722.976,71	28.582,60	2.770.514,11
98	out/27	38.845,00	92,04%	35.753,59		1,40	51.631,46	50.217,01	3.773.193,72	28.398,83	2.798.912,94

## **ANEXO A - ESPECIFICAÇÕES DO MÓDULO FOTOVOLTAICO**



Nova tecnologia de célula  
com 5 barras

 **CanadianSolar**



## MAXPOWER CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

Os novos módulos policristalinos MAXPOWER da Canadian Solar usam a mais recente tecnologia inovadora de célula de cinco barras, aumentando a saída de potência do módulo e a confiabilidade do sistema.

### PRINCIPAIS RECURSOS



Confiabilidade aprimorada com a tecnologia de célula de 5 barras



Eficiência da célula de até 18,8%



Excepcional desempenho de baixa irradiação: 96%



Caixa de derivação IP67, resistência de longo prazo ao clima



Carga de neve pesada até 5.400 Pa, carga de vento até 2.400 Pa



de garantia de saída de potência linear



de garantia do produto em materiais e mão de obra

### CERTIFICADOS DE SISTEMA DE GESTÃO\*

ISO 9001:2008/Sistema de gestão da qualidade

ISO/TS 16949:2009/O sistema de gestão de qualidade do setor automotivo

ISO 14001:2004/Padrões para sistema de gestão ambiental

OHSAS 18001:2007/Padrões internacionais para saúde e segurança no trabalho

### CERTIFICADOS DO PRODUTO\*

IEC 61215/IEC 61730: VDE/CE

UL 1703: CSA/IEC 61701 ED2: VDE/IEC 62716: VDE/Take-e-way



\* As exigências de certificação são diferentes em cada mercado, portanto solicite a seu representante de vendas local da Canadian Solar os certificados válidos para os produtos na região em que eles serão usados.

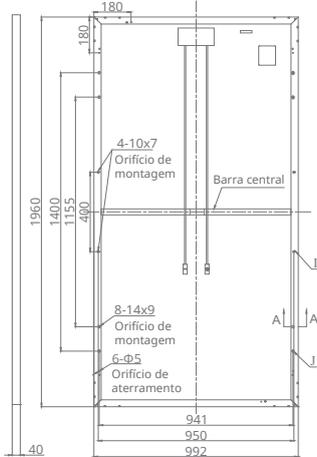
**A CANADIAN SOLAR INC.** está comprometida a fornecer produtos solares, soluções de sistemas solares e serviços de alta qualidade para clientes em todo o mundo. Como desenvolvedora de projetos fotovoltaicos e fabricante líder de módulos solares com mais de 15 GW instalados em todo o mundo desde 2001, a Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas de energia solar mais lucrativas do mundo.

### CANADIAN SOLAR INC.

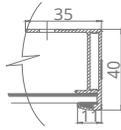
2430 Camino Ramon, Suite 240 San Ramon, CA, USA 94583-4385, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [sales.us@canadiansolar.com](mailto:sales.us@canadiansolar.com)

## DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)

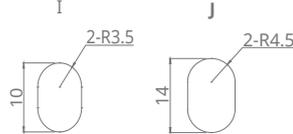
### Vista traseira



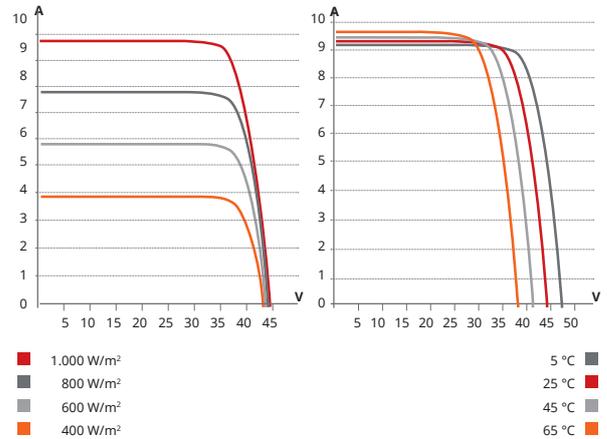
### Seção cruzada da estrutura A-A



### Orifício de montagem



## CS6U-320P | CURVAS I-V



## DADOS ELÉTRICOS/STC\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P <sub>máx</sub> )	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	36,6 V	36,8 V	37,0 V	37,2 V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	8,61 A	8,69 A	8,78 A	8,88 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	45,1 V	45,3 V	45,5 V	45,6 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	9,18 A	9,26 A	9,34 A	9,45 A
Eficiência do módulo	16,20%	16,46%	16,72%	16,97%
Temperatura operacional	-40 °C ~ +85 °C			
Tensão máxima do sistema	1.000 V (IEC) ou 1.000 V (UL)			
Desempenho do módulo contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Classificação máx. de fusíveis da série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

\* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiação de 1.000 W/m<sup>2</sup>, espectro AM de 1,5 e temperatura de célula de 25 °C.

## DADOS ELÉTRICOS/NOCT\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P <sub>máx</sub> )	228 W	232 W	236 W	239 W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	33,4 V	33,6 V	33,7 V	33,9 V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	6,84 A	6,91 A	6,98 A	7,05 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	41,5 V	41,6 V	41,8 V	41,9 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	7,44 A	7,50 A	7,57 A	7,66 A

\* Sob temperatura operacional normal da célula (NOCT), irradiação de 800 W/m<sup>2</sup>, espectro AM de 1,5, temperatura ambiente de 20 °C, velocidade do vento de 1 m/s.

## DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, eficiência média relativa de 96% a partir de uma irradiação de 1.000 W/m<sup>2</sup> a 200 W/m<sup>2</sup> (AM 1,5, 25 °C).

A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e à venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e o manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-los. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

## DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalino, 6 polegadas
Organização das células	72 (6 × 12)
Dimensões	1.960 × 992 × 40 mm (77,2 × 39,1 × 1,57 pol.)
Peso	22,4 kg (49,4 lb)
Tampa dianteira	Vidro temperado de 3,2 mm
Material da estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de derivação	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm <sup>2</sup> (IEC) ou 4 mm <sup>2</sup> e 12 AWG 1.000 V (UL), 1.160 mm (45,7 pol.)
Conectores	T4 (IEC/UL)
Por palete	26 peças
Por contêiner (40' HQ)	572 peças

## CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificação	Dados
Coeficiente de temperatura (P <sub>máx</sub> )	-0,41%/°C
Coeficiente de temperatura (V <sub>oc</sub> )	-0,31%/°C
Coeficiente de temperatura (I <sub>sc</sub> )	0,053%/°C
Temperatura operacional nominal da célula	45±2 °C

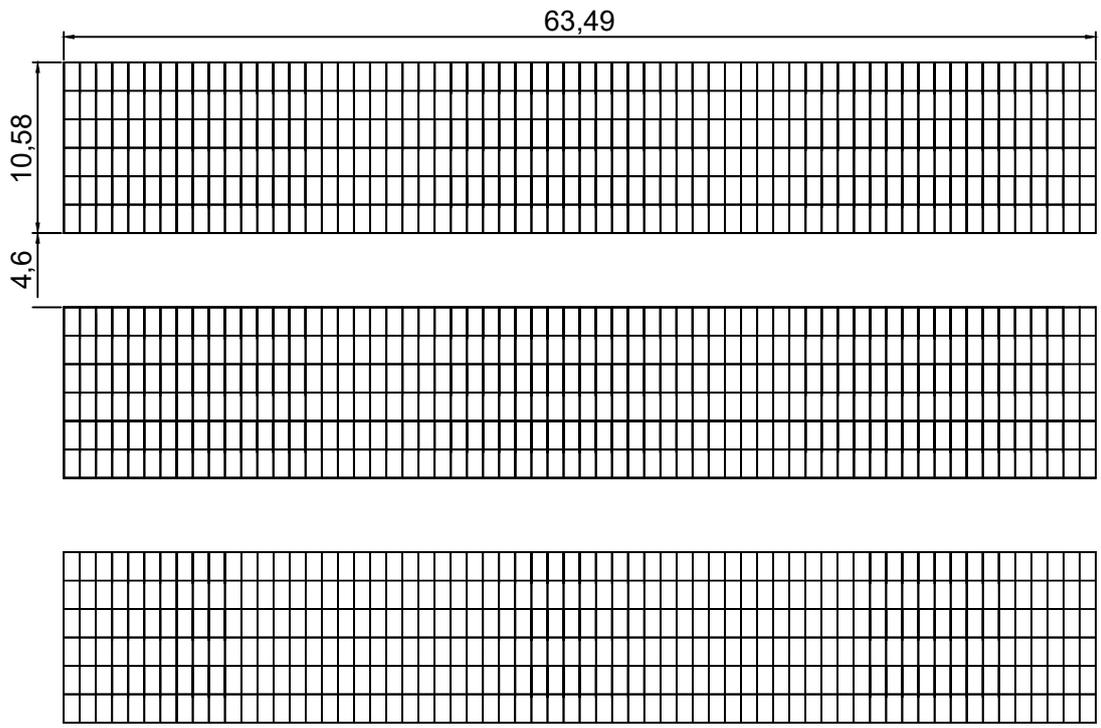
## SEÇÃO DO PARCEIRO



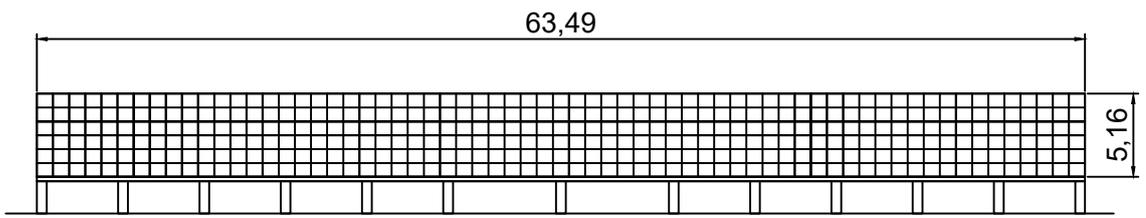
## CANADIAN SOLAR INC.

Julho de 2016. Todos os direitos reservados. Ficha técnica do produto do módulo fotovoltaico V5.51P1\_NA

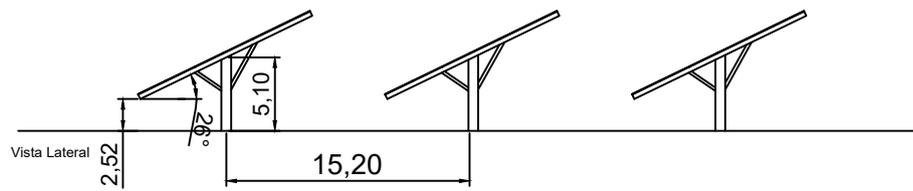
## **ANEXO C - IMPLANTAÇÃO DO PROJETO NO CTJ**



Vista Superior



Vista Frontal



## **ANEXO C - ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR**

SOLAR INVERTERS

## ABB string inverters

TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480

50 kW



01

01 TRIO-50.0-TL  
outdoor string inverter

The new TRIO-50.0 inverter is ABB's three-phase string solution for cost efficient large decentralized photovoltaic systems for both commercial and utility applications.

### Modular design

TRIO-50.0 has a landscape modular design to guarantee maximum flexibility.

The separate and configurable AC and DC compartments increase the ease of installation and maintenance with their ability to remain separately wired from the inverter module inside the system.

The TRIO comes with the most complete wiring box configurations available including 12 or 16 DC inputs, AC and DC disconnect switches and monitored type II AC and DC surge arresters.

### Flexibility of installation

The TRIO 50's forced air cooling system over an external heatsink, designed for a simple and fast installation, enables for the maximum flexibility of installation. The option of horizontal or vertical mounting brackets enables the best use of space available beneath or behind the solar modules.

The most powerful ABB string inverter available today, the TRIO-50.0 has been designed to maximize the ROI in large systems. It has all the advantages of a decentralized configuration for both rooftop and ground-mounted installations.

### Design flexibility

The double stage conversion topology offers the advantage of a wide input voltage range for maximum flexibility of the system design.

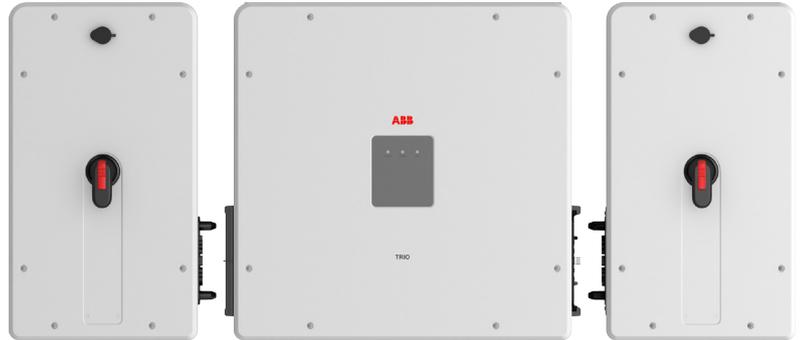
### Highlights

- Modular landscape design to guarantee maximum flexibility
- Separate and configurable AC and DC compartments increase the ease of installation and maintenance
- Complete wiring box configurations; including, 12 or 16 inputs, AC and DC disconnect switches
- Forced air cooling system over external heat sink
- Mounting supports for both horizontal or vertical positions allowing 90 degrees of installation
- Wide input voltage range for maximum flexibility of the system design
- Transformerless topology
- Each inverter is set on specific grid codes which can be selected directly in the field
- Lockable wiring boxes

# ABB string inverters

## TRIO-50.0-TL-OUTD-US

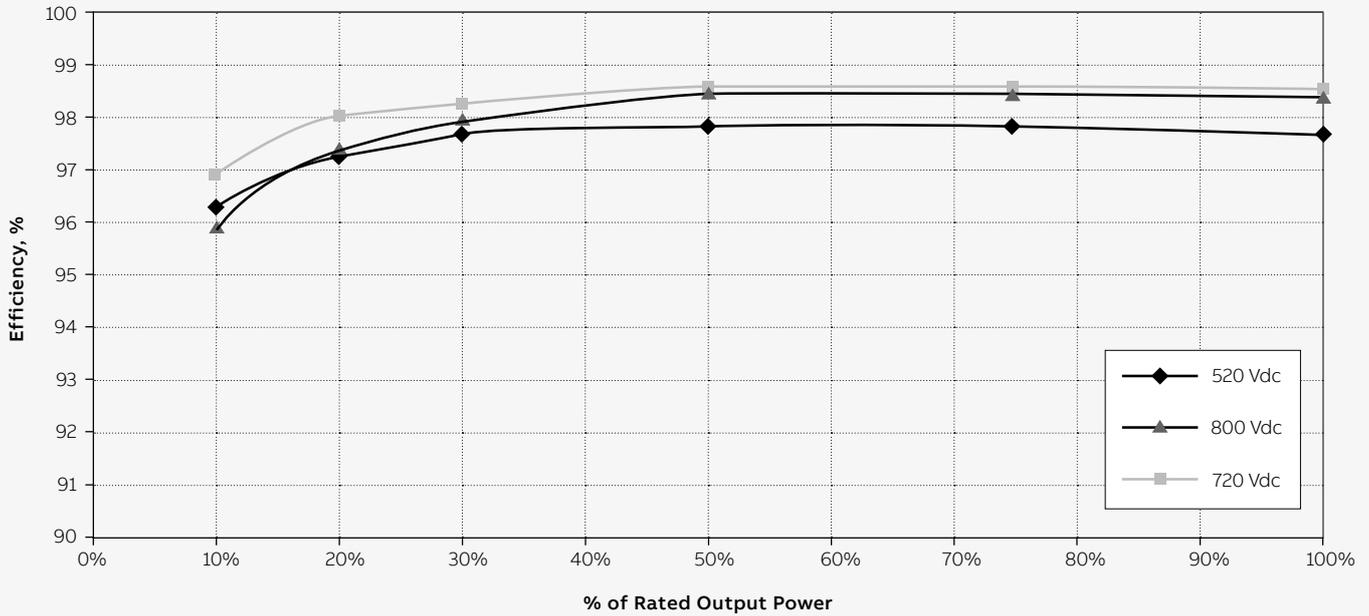
### 50 kW



#### Technical data and types

Type code	TRIO-50.0-TL-OUTD-US
<b>Input side</b>	
Absolute maximum DC input voltage ( $V_{max,abs}$ )	1000 V
Start-up DC input voltage ( $V_{start}$ )	300...500 V (Default 360)
Operating DC input voltage range ( $V_{dcmin}...V_{dcmax}$ )	0.7x $V_{start}$ ...950 V (min 250 V)
Rated DC input voltage ( $V_{dcr}$ )	715 Vdc
Rated DC input power ( $P_{dcr}$ )	51250 W
Number of independent MPPT	1
MPPT input DC voltage range ( $V_{MPPTmin} ... V_{MPPTmax}$ ) at $P_{acr}$	520-800 Vdc
Maximum DC input current ( $I_{dcmax}$ )	100 A
Maximum input short circuit current	144 A
Number of DC inputs string / pairs	12 or 16 string combiner version available / standard version 2
DC connection type	Input lugs (type 1), 12/16 string field wired fuse holders (type 2), 12/16 string quick connectors (type 3)
<b>Input protection</b>	
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source; type 3: reverse polarity indicators
Input over voltage protection - varistor	Yes
Input over voltage protection - plug In modular surge arrester (optional 12 and 16 string DC combiner option)	Type 2
Photovoltaic array isolation control	According to US standards
DC switch rating	200 A / 1000 V
<b>Output side</b>	
AC Grid connection type	3Ø, Y / 3W+GND or 4W+GND
Rated AC power ( $P_{acr} @ \cos\phi=1$ )	50000 W
Maximum AC output power ( $P_{acmax} @ \cos\phi=1$ )	50000 W
Maximum apparent power ( $S_{max}$ )	50000 VA
Rated AC grid voltage ( $V_{acr}$ )	480 V
AC voltage range	422-528 V
Maximum AC output current ( $I_{ac,max}$ )	61 A
Contributory fault current	66 A
Rated output frequency (f)	60 Hz
Output frequency range ( $f_{min}...f_{max}$ )	57...63 Hz
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, 0...± 1 with max $S_{max}$
AC connection type	Screw terminal block
<b>Output protection</b>	
Anti-islanding protection	According to US standards
Maximum external AC overcurrent protection	90 A
Output overvoltage protection - varistor	Yes
<b>Operating performance</b>	
Maximum efficiency ( $\eta_{max}$ )	98.6%
Weighted efficiency (CEC)	98.0%
<b>Safety</b>	
Isolation level	Transformerless
Marking	TUV
Safety and EMC standard	UL1741, Rule 21, HECO tester per UL 1741 SA, UL1699B, IEEE1547, IEEE1547.1, CSA C22.2 107.1-01-2001, FCC Part 15 Sub-part B Class B Limits
<b>Communication</b>	
Remote monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.), VSN700 Data Logger (opt.)
Wireless local monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.)
User interface	LEDs / No display; Aurora Manager Lite software required
Available port	2 RS485

CEC Efficiency = 98.0 percent



Technical data and types

<b>Type code</b>	<b>TRIO-50.0-TL-OUTD-US</b>
<b>Environmental</b>	
Ambient temperature range	-13...+144°F (-25...+60°C) with derating > 122°F (50°C)
Relative humidity	0...100 % condensing
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft
<b>Physical</b>	
Environmental protection rating	NEMA 4X (NEMA 3R for fan tray)
Cooling	Forced air over external heatsink
Dimension (H x W x D)	28.5" x 58.7" x 12.4" / 725 mm x 1491 mm x 315 mm
Weight	209 lbs overall; 145 lbs power module, 33 lbs AC wiring box (Full options), 31 lbs DC wiring box (Full options)
Mounting system options	Wall bracket, horizontal support



DC Wiring Box Model Number	Description
DCWB-1-TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480	Input lugs for use with external combiner, DC disconnect switch, conduit entry
DCWB-2-TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480/12	Touch-safe fuse holder 12 string combiner, DC disconnect switch, AFCI, DC SPD, conduit entry
DCWB-2-TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480/16	Touch-safe fuse holder 16 string combiner, DC disconnect switch, AFCI, DC SPD, conduit entry
DCWB-3-TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480/12*	Board mounted fused 12 string combiner, DC disconnect switch, AFCI, DC SPD, Amphenol connector
DCWB-3-TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480/16*	Board mounted fused 16 string combiner, DC disconnect switch, AFCI, DC SPD, Amphenol connector

\*Available late 2016



AC Wiring Box Model Number	Description
ACWB-TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480	AC output lugs, conduit entry
ACWB-A-TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480	AC output lugs, conduit entry and AC SPD
ACWB-B-TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480	AC output lugs, conduit entry, AC SPD and AC disconnect switch

Power Module Model Number	Description
TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480-POWER MODULE	Inverter section / power module

Bracket Model Number	Description
TRIO-50.0-BRACKET-VERTICAL	Wall mounting bracket; 90 to 16 degrees from horizontal
TRIO-50.0-BRACKET-HORIZONTAL	Mounting bracket; 15 to 0 degrees horizontal

Remark. Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

## **ANEXO D - ESTUDO DE SOMBREAMENTO**



## Basic report

Latitude,Longitude: -26.235394317266184 -48.88437509536743  
Joinville, SC BRA

## Faces analysis

Faces global results					
Solar panels	N°p.	P. power (Wp)	P.weight (kg)	Power (kWp)	Shading L. (%)
Canadian Solar:CS6U-330P	1152	330,00	22,40	380,16	3,67

Results for solar modules in each face									
Face	Model	N°p.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Weight (kg)	Azimuth	Tilt	Relative tilt	Shading L. (%)
1	Canadian Solar:CS6U-330P	384	330,00	126,72	8601,60	343,00	26,00	0,00	2,04
2	Canadian Solar:CS6U-330P	384	330,00	126,72	8601,60	343,00	26,00	0,00	4,50
3	Canadian Solar:CS6U-330P	384	330,00	126,72	8601,60	343,00	26,00	0,00	4,49

Monthly Shading Losses (%)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0,12	0,22	0,44	1,33	4,36	7,79	6,29	2,24	0,60	0,23	0,11	0,07
2	0,12	0,23	1,33	5,09	9,02	14,56	13,52	6,06	1,91	0,31	0,11	0,07
3	0,12	0,23	1,33	5,09	8,98	14,53	13,46	6,06	1,91	0,31	0,11	0,07
<b>Mean</b>	0,12	0,22	1,04	3,84	7,45	12,29	11,09	4,79	1,48	0,28	0,11	0,07



## Groups analysis

Groups global results				
Solar panels	NºP.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Shading L. (%)
Canadian Solar:CS6U-330P	1152	330,00	380,16	3,67

Results for solar modules in each group (grouped by same tilt, azimuth and panel model)							
Group	Model	NºP.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Azimuth	Tilt	Shading L. (%)
1	Canadian Solar:CS6U-330P	1152	330,00	380,16	343,00	26,00	3,67

Monthly Shading Losses (%)												
Group	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0,12	0,22	1,04	3,84	7,45	12,29	11,09	4,79	1,48	0,28	0,11	0,07
<b>Mean</b>	0,12	0,22	1,04	3,84	7,45	12,29	11,09	4,79	1,48	0,28	0,11	0,07

**ANEXO E - RELATÓRIO DE RESULTADOS DO PVSYST**

## Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação

**Projeto :** EstacionamentoUFSC

**Localização geográfica** Pirabeiraba País **Brazil**

**Localização** Latitude -26.24° S Longitude -48.88° W  
 Tempo definido como Tempo legal Fuso horário TU-3 Altitude 7 m  
 Albedo 0.20

**Dados meteorológicos:** Pirabeiraba Meteonorm 7.2, Sat=100% - Sintético

**Variante da simulação :** Nova variante da simulação

Data da simulação 19/06/19 02h25

**Parâmetros da simulação** Tipo de sistema **No 3D scene defined, no shadings**

**Orientação do plano dos módulos** Inclinação 26° Azimute 17°

**Modelos utilizados** Transposição Perez Difuso Perez, Meteonorm

**Horizonte** Sem horizonte

**Sombras próximas** Sem sombras

**Exigências do consumidor :** Carga ilimitada (rede)

### Características do grupo FV

**Módulo FV** Si-poly Modelo **CS6U - 330P 1000V**  
 Original PVsyst database Fabricante Canadian Solar Inc.  
 Número de módulos FV Em série 16 módulos Em paralelo 24 strings  
 Número total de módulos FV Nr. módulos 384 Potência unitária 330 Wp  
 Potência global do grupo Nominal (STC) **127 kWp** Em condições de func. 114 kWp (50°C)  
 Características de funcionamento do grupo (50°C) Umpp 531 V I mpp 214 A  
 Superfície total Superfície módulos **747 m<sup>2</sup>** Superfície célula 673 m<sup>2</sup>

**Inversor** Modelo **TRIO-50\_0-TL-OUTD-400**  
 Original PVsyst database Fabricante ABB  
 Características Tensão de funcionamento 300-950 V Potência unitária 50.0 kWac  
 Bateria de inversores N.º de inversores 2 unidades Potência total 100 kWac  
 Rácio Pnom 1.27

### Fatores de perda do grupo FV

Fator de perdas térm. U<sub>c</sub> (const.) 20.0 W/m<sup>2</sup>K U<sub>v</sub> (vento) 0.0 W/m<sup>2</sup>K / m/s  
 Perdas ôhmicas nos cabos Res. global do grupo 42 mOhm Fração perdas 1.5 % em STC  
 Perdas de qualidade dos módulos Fração perdas -0.4 %  
 Perdas de módulos com mismatch Fração perdas 1.0 % no MPP  
 Perdas de strings com mismatch Fração perdas 0.10 %  
 Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000

## Sistema acoplado à rede: Resultados principais

**Projeto :** EstacionamentoUFSC

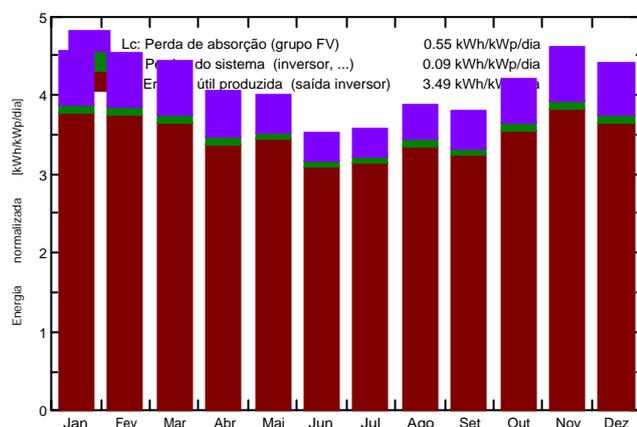
**Variante da simulação :** Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	26°	azimute 17°
Módulos FV	Modelo	CS6U - 330P 1000V	Pnom 330 Wp
Grupo FV	Número de módulos	384	Pnom total <b>127 kWp</b>
Inversor	Modelo	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	Pnom 50.0 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	2.0	Pnom total <b>100 kW ac</b>
Exigências do consumidor	Carga ilimitada (rede)		

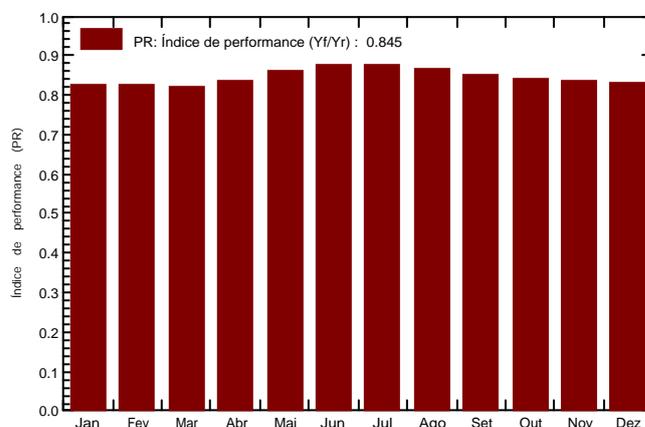
### Resultados principais da simulação

Produção do sistema **Energia produzida 161.3 MWh/ano** Prod. específica 1273 kWh/kWp/ano  
Índice de performance (PR) **84.49 %**

Produções normalizadas (por kWp instalado): Potência nominal 127 kWp



Índice de performance (PR)



### Nova variante da simulação Balanços e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	
<b>Janeiro</b>	154.2	87.81	25.13	141.2	137.2	15.19	14.79	0.826
<b>Fevereiro</b>	131.5	76.83	24.74	127.0	123.8	13.65	13.29	0.826
<b>Março</b>	130.5	68.13	24.34	137.7	134.6	14.75	14.36	0.823
<b>Abril</b>	106.4	52.46	21.50	121.4	118.9	13.20	12.86	0.836
<b>Mai</b>	98.9	50.31	18.34	123.8	121.3	13.88	13.55	0.864
<b>Junho</b>	79.6	39.92	16.53	105.6	103.7	12.02	11.74	0.877
<b>Julho</b>	85.7	42.08	15.16	110.6	108.5	12.61	12.31	0.879
<b>Agosto</b>	101.1	53.52	16.67	119.8	117.3	13.51	13.18	0.868
<b>Setembro</b>	104.4	56.20	18.05	114.1	111.5	12.65	12.34	0.853
<b>Outubro</b>	130.6	72.32	21.13	130.6	127.6	14.31	13.93	0.842
<b>Novembro</b>	149.8	78.94	22.35	137.9	134.5	14.97	14.59	0.835
<b>Dezembro</b>	150.7	88.03	24.40	136.6	133.0	14.74	14.35	0.829
<b>Ano</b>	1423.3	766.55	20.67	1506.4	1471.9	165.48	161.29	0.845

Legendas: GlobHor	Irradiação global horizontal	GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
T_Amb	Temperatura ambiente	E_Grid	Energia injetada na rede
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores	PR	Performance Ratio (Quociente de performance)

## Sistema acoplado à rede: Diagrama de perdas

**Projeto :** EstacionamentoUFSC

**Variante da simulação :** Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	26°	azimute 17°
Módulos FV	Modelo	CS6U - 330P 1000V	Pnom 330 Wp
Grupo FV	Número de módulos	384	Pnom total <b>127 kWp</b>
Inversor	Modelo	TRIO-50_0-TL-OUTD-400	Pnom 50.0 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	2.0	Pnom total <b>100 kW ac</b>
Exigências do consumidor	Carga ilimitada (rede)		

### Diagrama das perdas do ano inteiro

