

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA – PPGMEC
MESTRADO PROFISSIONAL

LEANDRO MARTIN STRÖHER

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO: ESTUDO DE
CASO COMPARANDO ENSAIOS EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

CAXIAS DO SUL

2020

LEANDRO MARTIN STRÖHER

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO: ESTUDO DE
CASO COMPARANDO ENSAIOS EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, Área de Concentração: Projeto e Fabricação.

Orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Costa

CAXIAS DO SUL

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

S921a Ströher, Leandro Martin

Análise de desempenho de um sistema fotovoltaico : estudo de caso comparando ensaios experimentais e simulação computacional / Leandro Martin Ströher. – 2020.

89 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2020.

Orientação: Carlos Alberto Costa.

1. Sistemas de energia fotovoltaica. 2. Simulação (Computadores).
3. *Software*. I. Costa, Carlos Alberto, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 621.383.51

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Michele Fernanda Silveira da Silveira - CRB 10/2334

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO: ESTUDO DE
CASO COMPARANDO ENSAIOS EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Leandro Martin Ströher

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, Área de Concentração: Projeto e Fabricação.

Caxias do Sul, 02 de abril de 2020.

Banca Examinadora:

Dr. Carlos Alberto Costa
Orientador
Universidade de Caxias do Sul

Dr. Carlos Roberto Altafini
Universidade de Caxias do Sul

Dr. Guilherme Holsbach Costa
Universidade de Caxias do Sul

Dr. Marcelo Godinho
Universidade de Caxias do Sul

RESUMO

O objetivo desta dissertação é avaliar a confiabilidade da simulação computacional no software PV*Sol, aplicado a projetos de geração de energia fotovoltaica. A utilização de *softwares* de simulação na etapa de projetos tem sido observada com bastante frequência, no entanto, há poucas análises e informações a respeito do cumprimento do desempenho projetado através da simulação computacional. Para o melhor desempenho de geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico, existem variáveis de instalação que necessitam ser observadas, como, por exemplo, a orientação solar e a inclinação na qual os módulos são instalados, a correta distribuição e ligação dos conjuntos de módulos, entre outras. Para isso, o trabalho propõe um estudo comparativo entre os resultados encontrados por uma ferramenta computacional de simulação e um cenário real de uma instalação. Para isso, foi realizada a simulação de uma usina fotovoltaica que já está instalada e em operação, monitorada de forma experimental, para que os resultados sejam comparados com os obtidos através da simulação. Entre as diferentes ferramentas de *softwares* disponíveis no mercado, foi selecionado para as simulações o *software* PV*Sol. Os resultados mostraram que os valores obtidos na simulação e os valores coletados no monitoramento do modelo experimental são muito próximos quando se observam o total e a média do período analisado, representando a diferença percentual entre o modelo teórico e o real em 4,5%. Entretanto, quando se comparam os dados mês a mês, é observada uma amplitude de 2.828,53 kWh entre os picos de máxima e mínima diferença, evidenciando uma diferença percentual significativa. O impacto da variação das condições climáticas no desempenho da geração de energia fotovoltaica fica evidente quando analisados os dados de precipitação pluviométrica.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica. Simulação computacional. *Software* PV*Sol.

ABSTRACT

The intend of this dissertation is to evaluate the reliability of the computer simulation in the PV * Sol software, applied to photovoltaic power generation projects. The use of simulation software in the design stage has been observed quite frequently, however, there is little analysis and information regarding the performance of the projected performance through computer simulation. For the best electric power generation performance of a photovoltaic system, there are installation variables that need to be observed, such as the solar orientation and the inclination in which the modules are installed, the correct distribution and connection of the module sets, among others. For this, the work proposes a comparative study between the results found by a computer simulation tool and a real scenario of an installation. For this purpose, a simulation of photovoltaic plant was carried out that is already installed and in operation, monitored experimentally, so that the results are compared with those obtained through the simulation. Among the different software tools available on the market, the PV * Sol software was selected for the simulations. The results showed that the values obtained in the simulation and the values collected in the monitoring of the experimental model, are very close when the total and the average of the analyzed period are observed, representing the percentage difference between the theoretical and the real model in 4.5 %. However, when comparing the data month by month, an amplitude of 2,828.53 kWh is observed between the peaks of maximum and minimum difference, showing a significant percentage difference. The impact of varying climatic conditions on the performance of photovoltaic power generation is evident when analyzing rainfall data.

Keywords: Photovoltaic energy. Computational simulation. PV*Sol software.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Princípio de funcionamento fotovoltaico	14
Figura 2 – Estrutura atômica dos materiais	14
Figura 3 – Ligação em série de um conjunto de 36 células.....	17
Figura 4 – Conjunto de módulos ligados em série ou <i>string</i>	18
Figura 5 – Exemplo de estruturas para telhados.....	18
Figura 6 – Diagrama de blocos de um inversor para sistemas ligados à rede	19
Figura 7 – Exemplos de perdas por direcionamento dos módulos	28
Figura 8 – Curva de tensão pela corrente	30
Figura 9 – Pontos de Máxima Potência	31
Figura 10 – Fluxograma de cálculo do <i>software</i> PV*Sol.....	34
Figura 11 – Sistema escolhido para estudo experimental.....	35
Figura 12 – Fluxograma de etapas do estudo	36
Figura 13 – Características físicas do módulo fotovoltaico	37
Figura 14 – Fixação de módulos sobre telhado metálico	38
Figura 15 – Suporte para instalação de módulos em laterais de prédio	38
Figura 16 – Inversores instalados no sistema objeto do estudo.....	38
Figura 17 – Distribuição das <i>strings</i> nos inversores.....	39
Figura 18 – Parâmetros de entrada e saída que o <i>software</i> considera	42
Figura 19 – Tela principal de monitoramento do <i>Sunny Portal</i>	43
Figura 20 – Projeto no <i>Sketchup</i>	44
Figura 21 – Projeto do sistema fotovoltaico no PV*SOL	46
Figura 22 – Previsão de geração de energia do sistema fotovoltaico	47
Figura 23 – Previsão de geração de energia por inversor.....	47
Figura 24 – Irradiação por área do módulo	48
Figura 25 – Tela de monitoramento do sistema objeto do estudo	49
Figura 26 – Geração de energia de janeiro a outubro de 2019	50
Figura 27 – Geração de energia por inversor	50
Figura 28 – Amplitude da diferença entre geração e simulação em kWh.....	52
Figura 29 – Dados da estação automática de Bento Gonçalves	54
Figura 30 – Gráficos mensais de geração de julho e agosto.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado da arte das ferramentas para simulação de sistemas fotovoltaicos	25
Tabela 2 – Ferramentas para simulação de sistemas fotovoltaicos	25
Tabela 3 – Planos e preços dos <i>softwares</i> de simulação pesquisados	27
Tabela 4 – Principais resultados da simulação	48
Tabela 5 – Comparativo de geração e simulação	51
Tabela 6 – Erro quadrático médio	52
Tabela 7 – Comparação da precipitação pluviométrica.....	54
Tabela 8 – Comparação sem julho e agosto	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	10
1.2	OBJETIVOS.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR	13
2.1.1	Conceito de células fotovoltaicas.....	13
2.2	COMPONENTES DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO ...	16
2.2.1	Módulos fotovoltaicos.....	16
2.2.2	Estruturas de suporte.....	18
2.2.3	Inversores	19
2.2.4	Condutores elétricos.....	20
2.3	TIPOS DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS	21
2.4	LEGISLAÇÃO RELACIONADA A GERAÇÃO DISTRIBUIDA	22
2.5	FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	23
2.6	PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS... ..	27
2.6.1	Parâmetros de entrada.....	27
2.6.2	Parâmetros de saída	29
2.7	MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS PELOS SISTEMAS COMPUTACIONAIS	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	AMBIENTE DE ESTUDO	35
3.2	ETAPAS DO ESTUDO	36
3.2.1	Levantamento de dados do ambiente de estudo	36
3.2.2	Construção do Modelo 3D	40
3.2.3	Parametrização e Simulação com o software PV*SOL	40
3.2.4	Monitoramento e coleta de dados	42

3.2.5	Análise comparativa dos resultados e confiabilidade do software de simulação.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	CONSTRUÇÃO DO MODELO EM 3D NO SKETCHUP.....	44
4.2	PARAMETRIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO.....	45
4.3	SIMULAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E RESULTADOS	46
4.4	MONITORAMENTO E COLETA DE DADOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA.....	49
4.5	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO E GERAÇÃO DE ENERGIA.....	51
4.6	DISCUSSÃO DOS DADOS OBSERVADOS	53
5	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	60
	ANEXO A - EXEMPLOS DE INSTALAÇÕES TÍPICAS	65
	ANEXO B – ESTADO DA ARTE DAS FERRAMENTAS PARA PROJETO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	68
	ANEXO C – DATA SHEET MÓDULO CANADIAN CS6K	74
	ANEXO D – DESTAQUES DO RELATÓRIO GERADO ATRAVÉS DO PV*SOL NA CONDIÇÃO ORIGINAL DA INSTALAÇÃO.....	76

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da última década, a geração de energia a partir de fontes renováveis apresentou um crescimento exponencial. No mesmo período, a geração a partir de fontes não renováveis apresentou queda, com exceção da geração a partir de gás natural. De acordo com os dados publicados no *World Energy Balances 2017* (IEA, 2017), o consumo de energia elétrica aumentou 1,7% nos últimos 10 anos. À mesma época, a geração de energia que utiliza as fontes carvão, nuclear e óleo teve aumento de 1,6% e, por outro lado, a geração de energia através da utilização de gás natural e de fontes renováveis teve forte elevação: aumento de 5,4% no mesmo período.

Já o Relatório da Situação Global de Energias Renováveis (REN21, 2018) destaca que o ano de 2017 representou uma nova quebra de recorde, ocorrendo o maior crescimento dentro de um período da capacidade de geração de energia a partir de fontes renováveis. O relatório também aponta que a queda do custo de implantação e o aumento dos investimentos em tecnologia facilitaram esse aumento. Entre as fontes que apresentaram maior crescimento de geração de energia elétrica, um dos enfoques do relatório está na energia solar fotovoltaica, que já ocupa lugar de destaque na matriz energética mundial, passando de 303 GW (Gigawatt) em 2016 para 402 GW (Gigawatt) em 2017, representando um aumento de capacidade instalada de geração acima de 32%.

A geração de energia elétrica com a utilização de módulos fotovoltaicos para uso em estabelecimentos ou residências já ocorre no mundo há mais de 30 anos. No Brasil, a regulamentação para acesso aos micro e minigeradoras de energia fotovoltaica ocorreu em abril de 2012, através da Resolução Normativa 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Segundo dados da Greener (2018), publicados no Estudo Estratégico de Geração Distribuída, relativo ao primeiro semestre de 2018, o Brasil encerrou o ano de 2017 com mais de 160 MW de capacidade instalada de geração de energia elétrica com fonte fotovoltaica.

As instalações de sistemas de geração fotovoltaica têm sido algo mais comum. Contudo, como na geração de qualquer outro tipo de energia, para que se obtenha o máximo de eficiência de geração, alguns fatores devem ser observados para o correto dimensionamento e instalação de um sistema fotovoltaico.

Considerando as coordenadas geográficas do estado do Rio Grande do Sul, o Norte é a melhor direção para os módulos, com ângulo de inclinação entre 30° e 34° graus em relação ao plano horizontal. De acordo com Bosch (2011), sistemas localizados na latitude de 21° a 30° têm seu melhor ângulo de instalação (α) determinado pela latitude local mais 5°, sendo

que o sombreamento também pode ser um dos fatores de perda de eficiência do sistema na geração de energia elétrica. Nem sempre é possível estabelecer as melhores condições para a instalação, principalmente em casos de instalação em telhados já existentes, pois esses nem sempre oferecem as condições ideais para a melhor orientação e inclinação dos módulos.

Existem métodos matemáticos e ferramentas computacionais para apoiar a escolha da melhor condição possível para a instalação de um sistema fotovoltaico, tais como o Solarius PV, o PVSyst, Solergo, PV*Sol, HelioScope, Sinvert, entre outros. Segundo Vera (2004), os programas de simulação podem ser ferramentas valiosas, pois permitem o melhor planejamento possível para o sistema fotovoltaico.

De acordo com Behenck (2011), o processo de simulação computacional deve atender o objetivo de verificar a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico. Para Nakano (2017), a simulação pode ser feita seguindo a configuração definida para o sistema fotovoltaico, com a posterior interação do usuário para avaliação dos resultados e ajustes necessários no modelo, permitindo ajustar progressivamente as variáveis até atingir o melhor modelo.

Esta dissertação trata da análise comparativa dos resultados obtidos em ensaios experimentais e resultados obtidos através da simulação computacional de uma instalação considerada como estudo de caso.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A geração de energia elétrica com a utilização de sistemas fotovoltaicos está em crescimento acentuado no Brasil e ainda possui um imenso potencial. Segundo Greener (2018), ao final de 2017 foi alcançada a marca de 161 MWp de potência de geração fotovoltaica instalada e conectada à rede elétrica, o que representou um aumento de 23,8% em relação ao ano de 2016, quando o número era de 130 MWp. O uso de sistemas fotovoltaicos representa uma alternativa de energia que não traz impactos durante o processo de geração e uma solução para uma possível crise energética.

Diversos aspectos técnicos são de fundamental importância para a garantia do melhor desempenho de geração de energia do sistema fotovoltaico, entre eles, a inclinação e direção dos módulos, possíveis sombreamentos, ligações e desempenho dos equipamentos que estão sendo aplicados. A simulação através de *software* das melhores condições técnicas para a instalação pode ser um grande diferencial na busca da maior eficiência e desempenho de geração do sistema.

Na literatura, são observados alguns trabalhos acadêmicos que já utilizam *softwares* de simulação ou tratam do seu desenvolvimento. Vera (2004) apresenta o *software* chamado de PVSize, desenvolvido a partir de modelos matemáticos conhecidos e validados, resultando em um programa para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos. Já Seyr Junior (2013) discorre sobre a utilização de *softwares* de simulação para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e seus componentes, com foco na mitigação de riscos de superdimensionamento ou subutilização dos equipamentos a serem instalados.

Vera e Krenzinger (2007) compararam os dados simulados no *software* PVSize, desenvolvido por Vera para fins acadêmicos, com um sistema experimental que foi instalado no Laboratório de Energia Solar da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O objetivo do laboratório é verificar o funcionamento do *software* frente a condições reais de operação.

Atualmente, é possível encontrar no mercado uma boa variedade de *softwares* de simulação para sistemas fotovoltaicos, sendo alguns desses gratuitos e disponibilizados pelos próprios fabricantes ou distribuidores de sistemas; outros são comercializados. O presente estudo busca obter informações que demonstrem a confiabilidade de dados de simulações no *software* PV*Sol quando comparados com dados reais coletados através de monitoramento de um sistema fotovoltaico em operação. Esses *softwares* podem fornecer subsídios que comprovem a eficácia das simulações realizadas neles, bem como servir de fonte para a correta tomada de decisão quanto ao investimento que está sendo realizado e aos aspectos técnicos e serem observados. Nesse contexto, este trabalho analisou a confiabilidade dos dados obtidos através do processo de simulação computacional em comparação ao desempenho físico de um sistema fotovoltaico em operação.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi definido como um estudo comparativo dos resultados obtidos através de simulação computacional com os dados experimentais coletados através do monitoramento de um sistema já instalado e em operação.

Como objetivos específicos foram definidos:

- a) identificar as variáveis envolvidas no projeto de sistemas fotovoltaicos;
- b) determinar quais são os parâmetros necessários na construção do modelo para simulação computacional;

- c) obter parâmetros físicos de *layout*, tais como orientação e inclinação de um sistema fotovoltaico já instalado, incluindo dados dos equipamentos utilizados, como especificações, materiais, e demais dados necessários para elaboração do modelo de simulação;
- d) desenvolver o modelo para simulação computacional no PV*Sol, obedecendo as características técnicas levantadas do sistema fotovoltaico durante o levantamento de campo;
- e) analisar comparativamente os dados obtidos na simulação com os dados coletados durante o experimento;
- f) avaliar e propor possíveis alterações técnicas na instalação do sistema fotovoltaico com base nos resultados obtidos através da simulação dos cenários alternativos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica aborda os tópicos fundamentais que dão base à estruturação deste trabalho, sendo apresentados os componentes, funcionamento e instalação do sistema de geração fotovoltaico, a regulamentação da energia fotovoltaica, ferramentas de simulação computacional para projetos de sistemas fotovoltaicos e parâmetros chave de entrada e saída nos sistemas fotovoltaicos.

2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

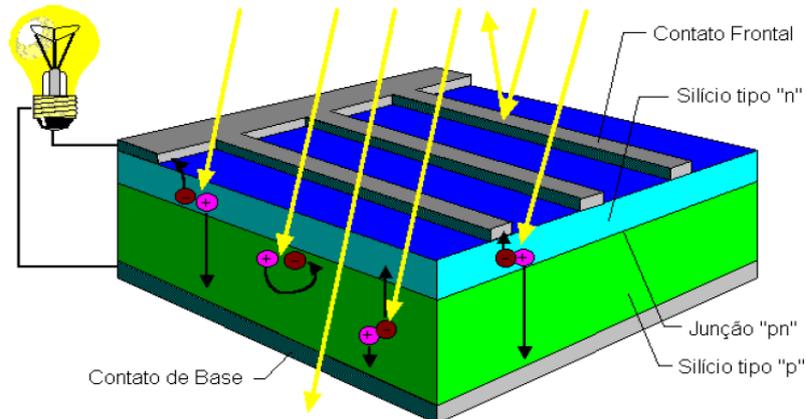
2.1.1 Conceito de células fotovoltaicas

Os painéis de geração de energia solar são compostos por células fotovoltaicas fabricadas com materiais chamados de semicondutores, em que o material mais comumente utilizado para fabricação é o Silício Grau Solar (SiGS). A célula é composta por duas camadas de silício, a camada N, onde existe excesso de elétrons; e a camada P, onde existe um déficit de elétron. Os raios solares são compostos por fótons que, ao irradiarem sobre a célula fotovoltaica, farão com que alguns elétrons da camada N absorvam a energia fornecida pelos fótons, desprendam-se e saltem a barreira potencial para a camada P, com ausência de elétrons, criando um fluxo de corrente contínua, conforme demonstrado na Figura 1.

O movimento de migração dos elétrons gera espaços vazios, que serão preenchidos por um novo elétron, e o processo se torna um fluxo constante no qual elétrons deixam átomos e preenchem outros átomos diferentes. Esse fluxo constante, por sua vez, cria uma corrente elétrica resultante do efeito fotovoltaico. Os principais tipos de células fotovoltaicas utilizam silício monocristalino, policristalino ou amorfo. A Figura 2 ilustra a estrutura atômica desses materiais.

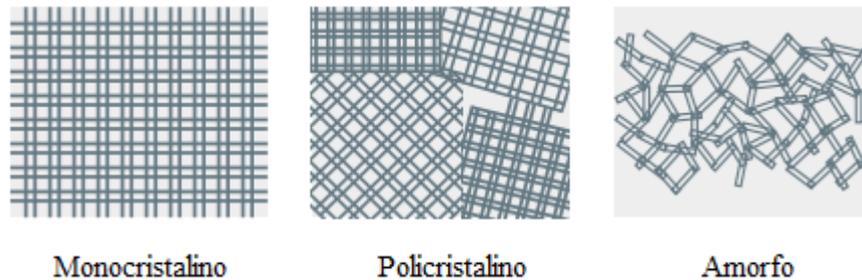
As células de silício monocristalino são compostas por um único grande cristal, previamente crescido e fatiado. De acordo com Kang *et al.* (2019), o silício monocristalino apresenta maior pureza e, dessa forma, possui maior eficiência de conversão de radiação incidente em energia elétrica, além de apresentar maior estabilidade e maior longevidade que módulos fabricados com outros materiais. Vera (2004) destaca que o limite de conversão da luz solar em energia elétrica é de 29%. Já Pinho e Galdino (2014) ressaltam que módulos fotovoltaicos monocristalinos comerciais têm eficiência média de 16,5%.

Figura 1 – Princípio de funcionamento fotovoltaico



Fonte: Castro (2002).

Figura 2 – Estrutura atômica dos materiais



Fonte: adaptado de Pereira e Oliveira (2015).

Segundo Sampaio (2018), as células de silício policristalino se originam a partir do material solidificado em forma de um bloco composto de muitos pequenos cristais. Dessa forma, apresentam custos menores de produção em comparação ao monocristalino. Por outro lado, possuem menor eficiência na conversão de irradiação em energia elétrica. Segundo Vera (2004), a eficiência dos módulos fotovoltaicos fabricados com as células policristalinas está entre 14,5% e 16,2%.

De acordo com Stuckelberger *et al.* (2017), o desempenho do silício amorfo ainda está bastante abaixo do monocristalino e do policristalino, apresentando, mesmo em laboratório, valores de eficiência na faixa de 11%. Os autores destacam, por outro lado, que o custo de produção desse tipo de silício é significativamente inferior ao silício cristalino, além da possibilidade de produção em maior escala.

A conversão de energia solar em eletricidade depende diretamente da irradiação solar (ZHOU; HOLLAND; IGIC, 2014). Segundo Pereira e Oliveira (2015), a irradiância no topo da atmosfera varia entre 1350 e 1420 W/m², sendo o valor médio de 1367 W/m² considerado como constante solar. Complementa que, ao penetrar a atmosfera, parte dessa radiação é

refletida, absorvida ou dispersada, resultando em cerca de 1000 W/m² a incidência da radiação solar sobre os módulos solares. Entretanto, parte dessa incidência é direta e parte dela é difusa: pode ser proveniente de todas as direções. Em um dia ensolarado sem nuvens, pelo menos 20% da radiação que atinge a superfície dos módulos solares é difusa, já em um dia totalmente nublado, 100% da radiação é difusa.

Eficiência (η) é definida como a relação entre a máxima potência elétrica que uma célula solar pode entregar e a potência da irradiação solar incidente sobre a célula.

$$\eta = (I_{mp} \cdot V_{mp}) / (A \cdot G) \quad (1)$$

Onde:

I_{mp} : corrente de potência máxima (A)

V_{mp} : tensão de potência máxima (V)

A: área útil do módulo (m²)

G: irradiância incidente de referência (W/m²)

De acordo com o STC (*Standard Test Conditions*), é utilizada como base a irradiância solar incidente de referência de 1000 W/m². Já a potência do módulo é expressa na unidade Wp (Watt pico) (SAUTHIER, 2019).

Por outro lado, existem as implicações de sombreamento, termo utilizado para definir quando o módulo está parcialmente coberto por algum objeto que impeça ou dificulte a chegada dos raios solares as células. É um problema possível de ocorrer e deve ser evitado na medida do possível, pois interfere diretamente no funcionamento do módulo e no rendimento da geração de energia elétrica. Segundo Goss (2014), o sombreamento pode ser o fator mais prejudicial no desempenho de um sistema fotovoltaico.

Melo (2012) destaca que instalações de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas frequentemente estão sujeitas a sombreamento projetado por elementos nas proximidades, como prédios, árvores, postes, torres, chaminés. Complementa que as instalações fotovoltaicas sujeitas ao sombreamento experimentam uma redução no nível de irradiação na superfície dos módulos fotovoltaicos, resultando na redução direta da energia elétrica gerada pela mesma superfície. Dessa forma, a produção de energia ao longo do ano pode ser estimada com maior precisão, aumentando a confiança no tempo estimado para o retorno do investimento.

Por último, destaca-se que, em células fotovoltaicas, a energia em corrente contínua (CC) é amplamente utilizada em aplicações de baixa tensão, como carregamento de baterias, controle de acionamentos na indústria, aplicações automotivas, aplicações de aeronaves e outras aplicações de baixa tensão e baixa corrente. Os módulos solares atualmente produzem energia em corrente contínua. Já a energia elétrica em corrente alternada (CA) é a utilizada no sistema elétrico geral, que alimenta a indústria, o comércio e as residências.

É possível observar, no setor fotovoltaico, sistemas solares portáteis e, também, dispositivos de geração de energia fotovoltaica instalados e não conectados à rede de energia elétrica. Nesse caso, muitas vezes, utilizando uma bateria para armazenamento da energia gerada e não consumida imediatamente.

A energia elétrica gerada pelas células pode ser armazenada em baterias ou imediatamente consumida. Nesse segundo caso, os módulos precisam estar conectados a um inversor capaz de converter a corrente contínua em corrente alternada. A energia em corrente alternada pode ser utilizada tanto para alimentar eletrodomésticos como equipamentos industriais no próprio local da geração, ou, ainda, ser injetada na rede elétrica da concessionária de energia.

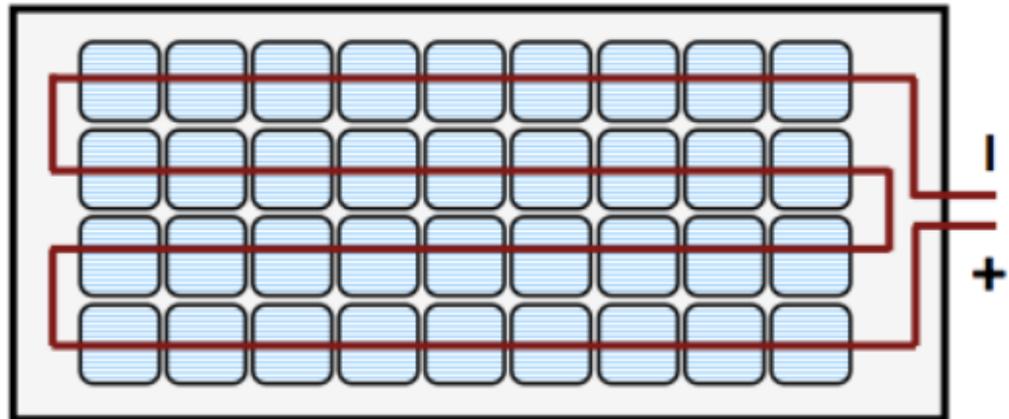
Segundo Pereira e Oliveira (2015), o efeito fotovoltaico é o fenômeno que transforma energia luminosa em energia elétrica. Uma célula fotovoltaica produz, aproximadamente, de 0,45 volts a 0,55 volts em corrente contínua. Já um módulo de energia fotovoltaica comercial é composto na maioria dos casos de 60 a 72 células ligadas em vários conjuntos de células em série, podendo gerar de 12 a 24 volts.

2.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO

2.2.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos são responsáveis pela captação dos raios solares e conversão dos mesmos em eletricidade, sendo composto por um conjunto de células fotovoltaicas. De acordo com Pereira e Oliveira (2015), os módulos podem ser construídos com diversas configurações, podendo as células estarem ligadas em série, em paralelo ou de forma mista. Essas configurações, por sua vez, podem resultar em diferentes valores de tensão, corrente e potência. A Figura 3 mostra um exemplo de configuração de módulos em série.

Figura 3 – Ligação em série de um conjunto de 36 células



Fonte: adaptado de Carneiro (2010)

De acordo com Pereira e Oliveira (2015), a determinação dos parâmetros de corrente, tensão e potência são regidos pelas equações a seguir:

– Intensidade de corrente (I_{cc})

$$I_{CC,módulo} = I_{CC,célula} \cdot N_{células \text{ em paralelo}} \quad (2)$$

Tensão (V_{co})

$$V_{CO,módulo} = V_{CO,célula} \cdot N_{células \text{ em série}} \quad (3)$$

Potência(P)

$$P_{máxima \text{ módulo}} = N_{células \text{ em paralelo}} \cdot N_{células \text{ em série}} \cdot P_{célula} \quad (4)$$

Onde:

I_{cc} é a intensidade de corrente de curto circuito (A);

N é o número de células.

V_{co} é a tensão de circuito aberto (V);

$P_{máxima \text{ módulo}}$ é a potência (Wp);

$N_{células \text{ em paralelo}}$ é o número de células com ligação em paralelo no módulo;

$N_{células \text{ em série}}$ é o número de células com ligação em série no módulo;

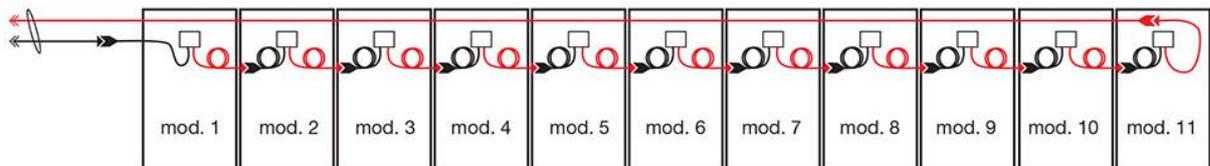
$P_{célula}$ é a potência das células do módulo.

A maioria dos módulos fotovoltaicos encontrados no mercado é constituído por 60 ou 72 células de silício, dispostas lado a lado. Segundo Pereira e Oliveira (2015), após as células serem ligadas em série e/ou paralelo, elas são encapsuladas com a finalidade de serem isoladas do ambiente exterior e protegidas das intempéries, além de conferir rigidez ao

módulo. Eles complementam que a potência dos módulos é descrita em Watt pico (Wp) e a potência do sistema fotovoltaico é descrita em quilowatt pico (kWp).

Um sistema gerador fotovoltaico é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos ligados em série, aos quais se denomina *string*, como demonstrado na Figura 4, podendo cada conjunto de módulos em série ou *string* estar ligado em paralelo a outros conjuntos de módulos ligados em série.

Figura 4 – Conjunto de módulos ligados em série ou *string*



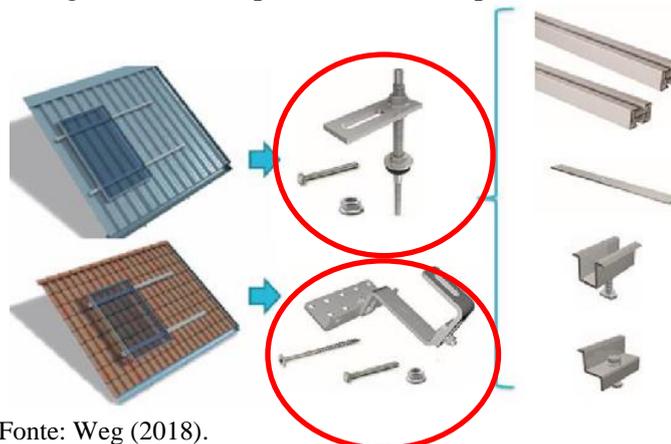
Fonte: adaptado de clube dos Instaladores de Energia Solar (2015)

Os módulos fotovoltaicos, após instalados, demandam uma necessidade de manutenção muito pequena, resumindo-se à verificação dos cabos e conectores e a limpeza periódica para remoção de poeira e possíveis resíduos que venham a se depositar sobre eles, prejudicando a irradiação das células. Outros itens de verificação são os cabos e as conexões.

2.2.2 Estruturas de suporte

As estruturas de suporte são responsáveis por suportar a instalação dos módulos e podem variar de acordo com cada local de instalação. Na Figura 5, é possível observar, em destaque, os diferentes tipos de parafusos e suportes para as estruturas, adequados ao tipo de telhado em questão.

Figura 5 – Exemplo de estruturas para telhados



Fonte: Weg (2018).

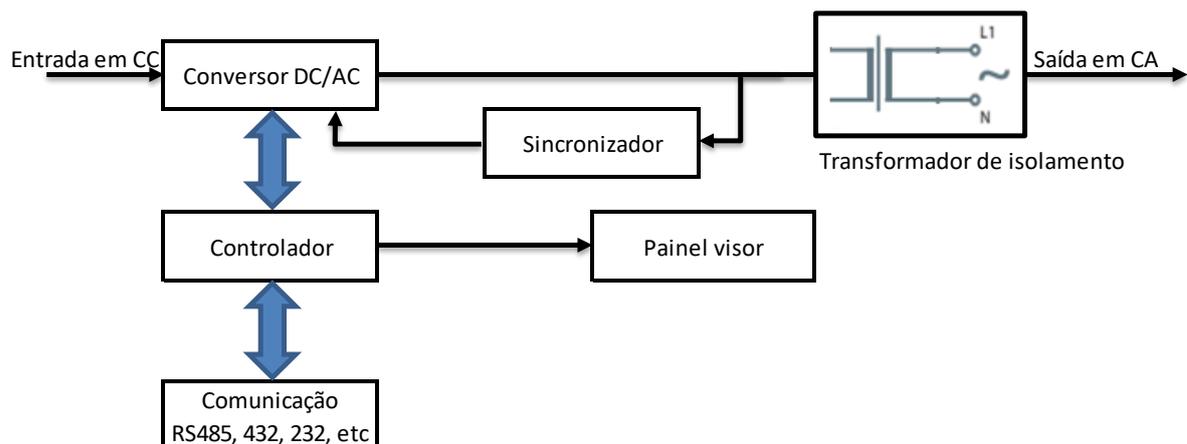
2.2.3 Inversores

Os inversores são, junto com os módulos, os componentes mais importantes do sistema fotovoltaico. Enquanto os módulos geram eletricidade em corrente contínua (CC), os inversores fazem a conversão dessa eletricidade gerada em corrente alternada (CA) (Figura 6).

Os inversores ligados à rede da concessionária normalmente apresentam os seguintes componentes básicos:

- conversor - bloco que efetivamente realiza a conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA).
- sincronizador - bloco responsável pela sincronização da tensão enviada pelo conversor e a tensão da rede da concessionária de energia elétrica.
- transformador de isolamento - responsável pelo isolamento galvânico entre a saída em corrente alternada e a rede de distribuição da concessionária.
- controlador - bloco auxiliar responsável por processar as informações de partida, parada, configurações etc.
- painel visor - destinado a mostrar informações durante a configuração e operação do inversor.
- comunicação - portas para transmissão de informações relacionadas à operação do sistema para redes de dados.

Figura 6 – Diagrama de blocos de um inversor para sistemas ligados a rede



Fonte: adaptado de Pereira e Oliveira (2015).

De acordo com Pinho e Galdino (2014), a potência durante a operação de um sistema fotovoltaico dificilmente alcança sua potência nominal, pois a condição para que isso ocorra é

de que todas as células dos módulos que compõem o sistema estejam recebendo, ao mesmo tempo, 1000 W/m². Eles destacam que, devido a essa condição, os fabricantes recomendam um fator de dimensionamento do inversor de 75% a 85% da potência nominal dos módulos.

O mercado apresenta diversas opções de inversores, mas uma das características mais importantes a ser observada na seleção desse tipo de equipamento é se o inversor é *Off Grid*, *Grid Tie*, ou ainda híbrido. Inversores *Off Grid* são utilizados para sistemas de geração que utilizam baterias para acumular a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos. Outra característica é que esses inversores não podem ser conectados à rede elétrica da concessionária. Dessa forma, o sistema opera de maneira isolada.

Os inversores *Grid Tie* são utilizados em sistemas que estão conectados simultaneamente na rede elétrica da concessionária devido à sua capacidade de sincronizar a frequência em 60 Hz, e podem converter energia tanto para o consumo instantâneo como injetar energia na rede elétrica. Esses inversores precisam estar certificados pelo Inmetro e homologados pelas concessionárias de energia elétrica. Já os inversores híbridos, cada vez mais comuns, funcionam para as duas situações, operando com baterias e conectados na rede elétrica da concessionária.

2.2.4 Condutores elétricos

A escolha dos condutores elétricos a serem utilizados na instalação do sistema fotovoltaico é importante para o melhor desempenho do sistema. Desta forma, alguns fatores devem ser observados para determinar o tipo e espessura dos cabos, principalmente em se tratando do circuito entre os módulos e inversores, onde a tensão pode atingir acima de 700 volts em alguns pontos da instalação. De acordo com Pinho e Galdino (2014), o cabo escolhido deve ter o isolamento adequado para atender o nível de tensão utilizado no sistema fotovoltaico.

Vera (2004) salienta que o dimensionamento dos cabos para um sistema fotovoltaico deve observar que a queda de tensão seja a mínima possível, sendo aceitáveis perdas menores de 1,5% entre os módulos e as cargas. Destaca também que a queda de tensão (ΔV) pode ser obtida pela equação a seguir:

$$\Delta V = \frac{2 \rho l I}{s} \quad (5)$$

Onde:

ρ é a resistividade do condutor (0,01724 Ω .mm²/m para cobre recozido);

l é o comprimento do condutor (m);

I é a corrente nominal (A).

s é a seção do condutor (mm²);

2.3 TIPOS DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados nos mais diversos locais consumidores de energia, como residências, pontos comerciais, indústrias, entre outros. Também é muito comum que essas instalações sejam feitas em cima dos telhados desses locais consumidores, podendo ainda serem vistas em fachadas de prédios, estacionamentos e estruturas específicas para instalação de módulos fotovoltaicos, instaladas diretamente no solo ou flutuantes instalados sobre a água (PINHO; GALDINO, 2014).

A seguir, alguns exemplos de instalações típicas:

- a) em edificações sobre o telhado;
- b) em edificações ou coberturas fazendo a função de telhado;
- c) em estacionamentos;
- d) em edificações em fachadas;
- e) com estruturas metálicas fixas ao solo;
- f) com estruturas flutuantes sobre a água.

Além das instalações típicas, existem outras formas de instalação e aplicações nas quais a energia fotovoltaica vem crescendo, como instalações em lugares de difícil acesso a redes elétricas da concessionária, em aplicações normalmente na zona rural em sistemas de irrigação. Nesse caso, os sistemas são *off grid*, ou seja, não estão conectados à rede elétrica da concessionária e operam isoladamente.

Outras aplicações já bastante comuns são em pequenos utensílios que fazem parte do cotidiano, como calculadoras, brinquedos, mochilas com carregadores de celular e estacionamentos para carregamento de carros elétricos, conforme demonstrado na imagem anterior. No Anexo A, constam algumas imagens que ilustram melhor os tipos de instalações.

2.4 LEGISLAÇÃO RELACIONADA À GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A publicação da Resolução Normativa 482, em abril de 2012, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), reduziu as barreiras para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição. Além de estabelecer os procedimentos gerais para a conexão à rede de mini e microgeradores, a resolução propõe a criação de um sistema de compensação de energia também já utilizado por outros países.

Com ele, o proprietário de um pequeno gerador não precisa consumir toda a energia produzida no momento da geração, uma vez que ela poderá ser injetada na rede e, nos meses seguintes, o consumidor receberá créditos em kWh na conta de luz, que poderão ser compensados pela energia consumida da rede.

Em dezembro de 2015, a ANEEL publicou a revisão da RN 482/2012, a Resolução Normativa 687/15, aprimorando alguns pontos, tais como permitir a instalação de geração distribuída em condomínios, com a repartição em porcentagens da energia gerada entre os condôminos.

A Resolução Normativa 687/15 passou a vigorar em 01 de março de 2016, visando reduzir o processo burocrático para homologação de centrais geradoras junto às concessionárias.

Entre as principais alterações com a Resolução Normativa 687/15 estabelecida pela ANEEL (2015), estão:

- a) denomina microgeração sistemas de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis até 75 kW e minigeração sistemas de geração de energia elétrica de 75 kW até 3 MW quando de fonte hídrica, e até 5 MW quando de fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração.
- b) o prazo de compensação da energia elétrica excedente passou de 36 para 60 meses, ou seja, a energia elétrica que foi gerada e não foi consumida – e, por sua vez, injetada na rede da concessionária – fica de crédito e poderá ser consumida em até 60 meses.
- c) estabelece novas modalidades de geração distribuída, onde condomínios verticais ou horizontais com sistemas de geração instalados em áreas comuns ou sobre os telhados das edificações podem distribuir os créditos da energia gerada entre os condôminos sem a necessidade de estabelecer um consórcio ou associação.

d) estabelece ainda que consumidores inscritos sob CPF ou CNPJ diferentes, desde que atendidos pela mesma concessionária, possam se associar em cooperativa ou consórcio para receber os créditos de energia através da geração compartilhada. Nesse caso, é necessário constituir uma entidade com CNPJ que receba os créditos de energia da geração compartilhada ou de uma única usina geradora que faça o rateio para os associados.

e) regulariza o auto consumo remoto, onde unidades consumidoras que estão inscritas no mesmo CPF no caso de pessoa física, ou no mesmo CNPJ no caso de pessoa jurídica, possam gerar energia em uma das unidades consumidoras e utilizar este crédito de energia nas demais unidades consumidoras sob mesma titularidade sem a necessidade de constituir uma entidade.

É de fundamental importância que, ao instalar um sistema de geração de energia fotovoltaica, ele seja homologado junto à concessionária local, conforme as determinações da Resolução Normativa 687/15 (ANEEL, 2015).

2.5 FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A simulação computacional permite realizar testes de situações próximas ao real em ambiente virtual, possibilitando variar cenários e analisar os resultados obtidos. Segundo Vieira (2006), a simulação é utilizada para modelar sistemas ou processos, visando ao apoio na tomada de decisão. O autor comenta também que sua utilização é crescente e que tem permitido avançar bons resultados na solução de problemas, redução de custos, otimização e dimensionamento adequado de recursos, aumento de desempenho, entre outros, nos diversos segmentos onde é aplicada.

Vieira (2006) destaca algumas vantagens da simulação em comparação a outros métodos analíticos ou experimentais, entre elas estão a possibilidade de variar cenários realizando modificações no modelo, analisar longos períodos em um curto espaço de tempo, organizar e separar os parâmetros controláveis dos não controláveis, estudando a influência de cada um no resultado do processo, entre outros. Segundo Vera (2004), a simulação tem fundamental importância, pois permite observar e analisar efeitos, bem como determinar suas causas, possibilitando a utilização das informações obtidas para realimentar o modelo e gerar cenários com melhor desempenho.

Pinho e Galdino (2014) comentam que, quando bem utilizadas, as ferramentas de simulação computacional para sistemas fotovoltaicos podem gerar bons resultados. Destacam ainda que os *softwares* relacionados a projetos de sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados para:

- a) Análise de viabilidade técnica e econômica do projeto.
- b) Dimensionamento dos componentes, configuração, orientação dos módulos, entre outras funções.
- c) Simulação da operação observando as variações sazonais.
- d) Determinação da melhor localização para instalação do sistema, evitando perdas com interferências e sombreamentos, entre outras aplicações.

De acordo com Junior *et al.* (2016), a utilização de simuladores permite avaliar os projetos dos sistemas fotovoltaicos do ponto de vista técnico, quanto a desempenho, variáveis que interferem na geração de energia elétrica, orientação, inclinação, etc., mas também do ponto de vista econômico, auxiliando a definir a melhor opção financeira para o projeto.

Jakica (2018) pesquisou aproximadamente 200 *softwares* de simulação, estabelecendo uma análise comparativa entre as ferramentas estudadas. A autora destaca que o estudo amplia as perspectivas acadêmicas e profissionais fornecendo conhecimento e experiência para escolha do *software* de simulação, considerando o estudo do estado da arte, quando se fala de análise comparativa entre *softwares* de simulação para sistemas fotovoltaicos. Parte dos *softwares* pesquisados e os aspectos técnicos analisados podem ser observados na Tabela 1 e no Anexo B com maior nível de detalhamento.

Alguns destes *softwares* utilizados como ferramentas de simulação para sistemas fotovoltaicos e desenvolvimento do projeto são citados em publicações científicas nacionais e internacionais. Na Tabela 2 são relacionados alguns dos *softwares* citados, elencando-se algumas informações e características fornecidas pelos autores das publicações.

Outros sistemas ainda podem ser observados no mercado como o Hybrid2, desenvolvido pela universidade de Massachusetts, o RETScreen desenvolvido como planilha de cálculo no programa Excel da Microsoft, pelo Minister of Natural Resources do Canadá, o Design Pro desenvolvido pela empresa Maui Solar Energy Software Corporation, entre outros (SHARMA; VERMA; SINGH, 2014).

Tabela 1 – Estado da arte das ferramentas para simulação de sistemas fotovoltaicos

		System Advisor Model	PV syst	PV*SOL	Skelion	Solarus-PV	Polysun	CECPV Calculator	Pwatts	DDS-CAD PV	INSEL	PV Designer	PV F CHART	SMA	SolarPro	Archelos	PV Design Pro	RETScreen	HOMER	PVScout	HELIOS3D	
Fontes de luz	naturais - sol e céu	✓	✓	✓	○	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	baterias					✓	✓							✓	✓			○	○			
Banco de dados	inversores	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	○		✓	✓
	módulos	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	○		✓	✓
Simulação/Análise	renderização / visualização				✓					✓												
	rendimento de energia fotovoltaica no tel	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	tempo de payback	✓	✓	○	✓						✓	✓	✓	✓	✓	✓	○			✓	✓	✓
Sombreamento	sombreamento	○	✓	✓	✓	✓				✓	○	✓		○	✓	✓	○		○	✓	✓	
Tecnologias Fotovoltaicas	Silício			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓				✓	✓
	Filmes Finos			✓			✓	✓		✓	✓	○		○		○	✓	✓		○		
	Híbrido			✓			✓	✓		✓		○		○		○				○		
	Todas tecnologias	✓	✓									○	✓	○	✓	○				✓	○	
Sistemas	Interface gráfica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Código aberto	✓							✓													
	Windows	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Mac	✓		✓	✓	✓	✓															
	Linux			✓																		
Preço	Grátis	✓	✓				✓									✓		✓	✓	✓		
	Grátis para estudantes																					
	Desconto para estudantes						✓													✓		
	Pago	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: adaptado de Jakica (2018).

Tabela 2 – Ferramentas para simulação de sistemas fotovoltaicos

(continua)

Seq.	Software	Descrição resumida	Desenvolvedor	Referência
1	Solarus PV	Entre as funcionalidades, está a utilização de dados climáticos, a possibilidade de verificar os efeitos do sombreamento, geração prevista para os períodos, desempenho global do sistema fotovoltaico, rentabilidade e amortização do investimento. Um dos pontos negativos é o de que sua configuração é complexa a nível de usuário.	Desenvolvido pela empresa italiana ACCA .	UMAR <i>et al.</i> , 2018
2	SOLergo	Permite o dimensionamento total do sistema fotovoltaico e seu banco de dados já está parametrizado com as normas técnicas e fiscais brasileiras. Entre suas funcionalidades se destaca a	Desenvolvido pela empresa italiana Electro Graphics.	HIPERENERGY, 2018

elaboração de *layout*, diagrama elétrico e memorial descritivo.

- | | | | | |
|---|------------|--|---|-------------------------------------|
| 3 | PV*SOL | Possibilita projetar e simular sistemas em 3D. Em função do seu grande banco de dados de módulos, inversores etc., permite a criação de perfis diferentes de potências de sistemas para atender uma mesma necessidade de geração | Desenvolvido pela Di Valentin Energy Software da Alemanha | SHARMA;
VERMA;
SINGH, 2014 |
| 4 | HelioScope | Suas funcionalidades incluem interface com a ferramenta de <i>design</i> do AutoCAD. Apresenta a simulação de energia a ser gerada levando em consideração as condições climáticas, componentes e <i>layout</i> do sistema. Um ponto negativo é a falta de análise financeira e de viabilidade do investimento. | Desenvolvido pela Folsom Lab USA | FOLSOM LABS,
2016 |
| 5 | Homer | Para projetar e simular sistemas híbridos de forma simplificada. Além de sistemas fotovoltaicos, simula sistemas eólicos, hídricos, geradores a combustão, além de sistemas de armazenamento como banco de baterias e hidrogênio. Sua interface é muito amigável em nível de usuário. | Desenvolvido no National Renewable Energy Laboratory (NREL), nos EUA. | LALWANI;
KOTHARI;
SINGH, 2010 |
| 6 | Insel | Possivelmente é um dos programas mais antigos para projetar e simular sistemas fotovoltaicos. Funciona a partir de um editor gráfico, onde o usuário pode configurar através de um diagrama de blocos. Sua biblioteca inclui módulos, inversores, baterias, geradores eólicos, sistemas de bombeamento, cálculos de irradiação. Sua interface baseada em um editor gráfico também lhe torna bastante amigável em nível de usuário. | Desenvolvido pela Universidade de Oldenburg da Alemanha | SHARMA;
VERMA;
SINGH, 2014 |
| 7 | SolarPro | Entre as funções básicas do programa está a possibilidade de simular objetos em 3D que possam gerar sombras sobre os módulos e prejudicar a geração de energia. O programa está equipado para realizar a análise financeira, quantidade de energia gerada em função da latitude, longitude, condição atmosférica e características elétricas dos componentes. | Desenvolvido em Kyoto no Japão | LALWANI;
KOTHARI;
SINGH, 2010 |
| 8 | PVSyst | Suas funcionalidades incluem o estudo, | Desenvolvido na | SHARMA; |

dimensionamento, simulação e análise dos dados obtidos para sistemas fotovoltaicos. Possui um extenso banco de dados de componentes de sistemas, dados climáticos e ferramentas em geral.

Suíça e comercializado pela PVSyst AS.

VERMA; SINGH, 2014

Fonte: elaborado pelo autor.

Para o presente estudo foi utilizado o *software* de simulação PV*SOL. Sua escolha foi determinada pela familiaridade com ele e pelo fato de a Valentin Software disponibilizar uma versão completa do *software* de forma gratuita por 30 dias, além da versão para estudante que permite acesso a todas as funcionalidades do *software*, com licença válida de 180 dias com custo de 60,00 Euros, o que reforça a escolha desse *software* para desenvolvimento do trabalho, sendo que outros *softwares* pesquisados apresentam custo mais elevado. A Tabela 3 demonstra os valores de alguns dos outros *softwares* pesquisados.

Tabela 3 – Planos e preços dos *softwares* de simulação pesquisados

<i>Software</i>	Teste	Mensal	Anual	Bi anual
Solaris	30 dias	€ 29,00	€ 199,00	€ 359,00
Solergo	Não Informado	Preço compra: € 1.110,00		
HelioScope	Não Informado	\$ 95,00	\$ 950,00	-
Homer	30 dias	\$ 24,00	\$ 144,00	-
Insel	Não Informado	Preço compra: € 850,00		
SolarPro	Não Informado			
PVSyst	30 dias	Preço compra: € 959,00		

Fonte: elaborado pelo autor.

2.6 PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.6.1 Parâmetros de entrada

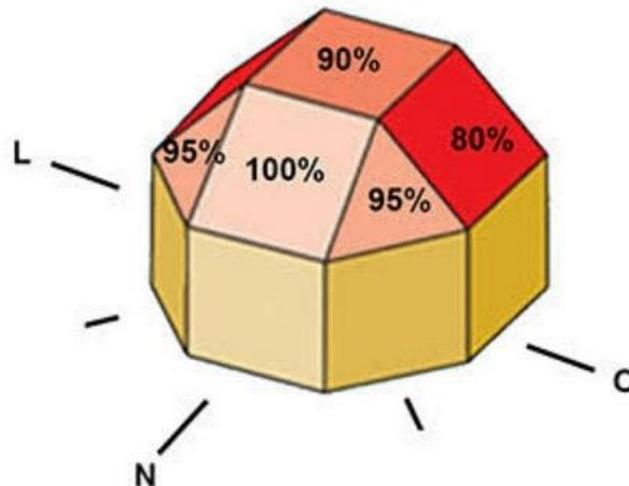
Para Vera (2004), ao criar um projeto no *software*, a confiabilidade dos parâmetros de entrada e os modelos matemáticos utilizados são de fundamental importância para que a simulação reflita a condição física real do sistema que está sendo projetado. Carvalho (2011) destaca que a localização geográfica deve ser conhecida, bem como a trajetória do sol, pois definirá o melhor direcionamento e inclinação para os módulos fotovoltaicos para melhor

aproveitamento da irradiação solar, durante todos os horários do dia. De acordo com Vera (2004), o melhor direcionamento para instalação dos módulos é norte, pois nessa direção será possível obter a melhor incidência dos raios solares durante todas as horas do dia.

Nos casos em que não é possível direcionar os módulos a norte, é importante que se encontre um direcionamento que minimize as perdas. Módulos com as faces direcionadas a leste ou oeste podem ter perdas variando de 12 a 20%, já quando direcionados a nordeste ou noroeste, as perdas podem variar entre 3 e 8% (PEREIRA; OLIVEIRA, 2015).

A Figura 7 ajuda a ilustrar o comportamento das perdas, levando em consideração que o melhor direcionamento é o norte, ou seja, se os módulos estiverem com suas faces direcionadas ao norte geográfico, teremos o rendimento de 100% da capacidade de geração projetada para o sistema fotovoltaico.

Figura 7 – Exemplos de perdas por direcionamento dos módulos



Fonte: WA Solar (2018).

Outro fator importante é o ângulo de inclinação dos módulos (α). O ângulo de inclinação igual ou menor ao da latitude do local de instalação, normalmente, é o melhor ângulo para se instalar um módulo fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo Vera (2004), os dados climáticos históricos também são parâmetros fundamentais para uma simulação que reflita a realidade do local de instalação. O *software* deve ser capaz de cruzar dados climáticos de diversas estações de medição, principalmente os relacionados à irradiação, a horas médias de sol no dia e a comportamento de temperatura.

É importante que o *software* de simulação tenha uma biblioteca constantemente atualizada com os módulos, inversores e demais componentes do sistema fotovoltaico. A utilização de dados de potência e eficiência atualizados irá conferir ao projeto maior precisão

e confiabilidade nos dados. As características de desempenho dos componentes do sistema podem interferir diretamente no seu desempenho (MERMOUD; WITTMER, 2017).

Ainda durante a elaboração do projeto no *software*, é necessário observar se existe algum tipo de interferência próxima ao local da instalação que possa causar sombreamento, mesmo que em parte do dia. Na medida do possível, o sombreamento deve ser evitado pois, conforme Rampinelli e Krenzinger (2006) destacam, ele é um dos grandes causadores de perdas.

Uma vez elaborado o projeto, vem a etapa de simulação quando, então, o *software* irá apresentar os resultados dos parâmetros da simulação. Vieira (2006) destaca entre as vantagens da simulação em ambiente virtual, a possibilidade de criar variações alternativas do projeto e simular o seu desempenho, fazendo comparativos entre eles, visando a obter cenários com melhor rendimento, no caso deste estudo, a melhor geração de energia elétrica.

2.6.2 Parâmetros de saída

Após a elaboração do projeto e realizada a simulação do primeiro cenário, é o momento de avaliar alguns parâmetros de saída fornecidos pela simulação. Durante o processo de avaliação, é possível que surjam oportunidades que poderão melhorar o desempenho do sistema fotovoltaico em questão. É então que se observa, na prática, uma das vantagens já comentadas: a possibilidade de realizar pequenas alterações no projeto e simular vários cenários alternativos até obter algum que apresente o melhor desempenho e que seja possível de executar fisicamente. A simulação de diversos cenários para o projeto permitirá que os resultados de cada simulação sejam avaliados comparativamente, sendo que alguns pontos chave são fundamentais para a melhor avaliação de desempenho.

Durante a etapa de comparação dos resultados dos cenários, é importante observar alguns parâmetros chave que irão indicar o comportamento e o desempenho do sistema fotovoltaico. Entre esses parâmetros está a quantidade de energia gerada (em kWh) durante o período simulado, o que será autoconsumo e o que será injetado na rede da concessionária, eficiência dos cenários simulados e perdas por sombreamento. Alguns *softwares* de simulação, com base na energia elétrica gerada através de fonte renováveis, indicam a quantidade de CO₂ evitada caso a energia tivesse sido gerada por fonte não renovável (MERMOUD; WITTMER, 2017).

Os parâmetros econômicos a serem observados nas simulações dos cenários são o prazo de amortização do investimento, a taxa interna de retorno, o custo de geração com o

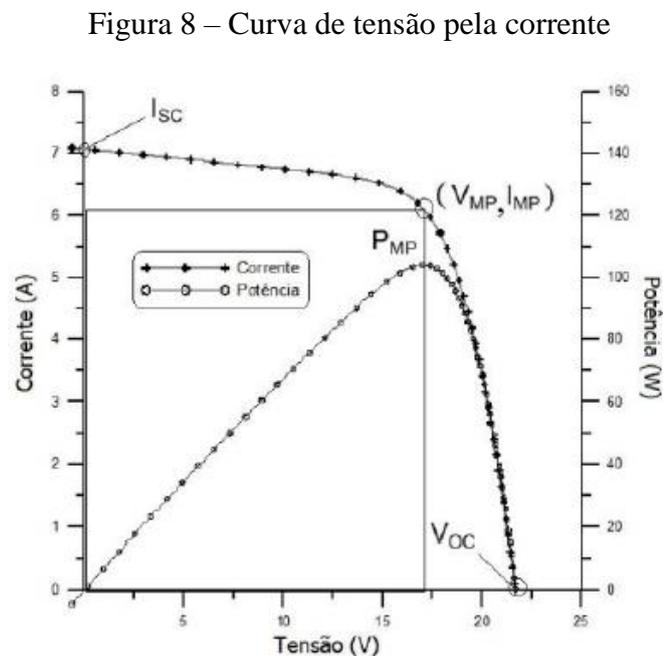
sistema fotovoltaico e, se possível, o fluxo de caixa acumulado a longo prazo (MARINI; ROSSI, 2005).

2.7 MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS PELOS SISTEMAS COMPUTACIONAIS

Os *softwares* de simulação de sistemas fotovoltaicos são compostos por modelos matemáticos responsáveis por realizar cálculos baseados nos parâmetros de entrada fornecidos pelo usuário. Esses modelos não são muito diferentes entre os *softwares* de mercado.

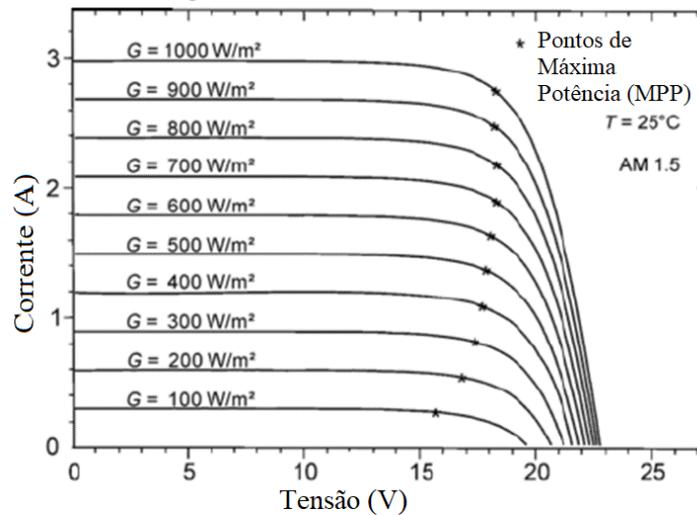
Conforme já exposto, a irradiância solar normalmente considerada é de 1000 W/m^2 , a uma temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Já a potência de um módulo é obtida pela curva da corrente (I) versus tensão (V), conforme demonstrado na Figura 8.

Os pontos de máxima Potência (MPP) variam de acordo com a irradiância incidente (G) nos módulos fotovoltaicos, resultando também na variação da corrente e tensão gerada pelo sistema, conforme demonstrado na Figura 9.



Fonte: Koutrouli (2008).

Figura 9 – Pontos de Máxima Potência



Fonte: Sauthier (2019).

Carneiro (2009) procurou demonstrar de forma simplificada a modelagem matemática básica que serve de base para os cálculos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e também para os *softwares* de simulação fotovoltaico. Ele destaca que os dois componentes principais do sistema fotovoltaico são os módulos e os inversores e comenta ainda que as especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes são de grande importância para o dimensionamento do sistema fotovoltaico e para os cálculos.

Para Carneiro (2009), os pontos de partida para o cálculo são a determinação da área útil existente para instalação dos módulos, isso irá definir a quantidade dos módulos e, por sua vez, a potência nominal do sistema que poderá ser instalado no local. Uma vez definida a potência nominal, o cálculo da potência do inversor é definido pela equação a seguir:

$$0,7 \cdot P_{FV} < P_{max}^{INV} < 1,2 \cdot P_{FV} \quad (6)$$

Onde:

P_{FV} representa a potência nominal do sistema fotovoltaico (W);

P_{max}^{INV} representa a potência nominal máxima do inversor (W) em corrente contínua.

Segundo Carneiro (2009), a equação (7) representa como é obtida a máxima corrente suportada pela entrada do inversor em função da potência máxima do inversor em corrente contínua especificada pelo fabricante:

$$I_{FV} = P_{max}^{INV} / V_{INV} \quad (7)$$

Onde:

V_{INV} é a faixa de intervalo de tensão para cada entrada do inversor informada pelo fabricante, para cada tipo e modelo de inversor.

Pereira e Oliveira (2015) destacam que a quantidade de tensão durante a operação do sistema é resultante do somatório das tensões geradas por cada módulo ligado em série na *string*. Já a intensidade de corrente máxima admitida por cada entrada do inversor limita o número de *strings* em paralelo que podem ser conectadas na mesma entrada através da inequação (8).

$$N_P < I_{FV}/I_{max} \quad (8)$$

Onde:

N_P representa a quantidade de *strings* em paralelo;

I_{FV} representa a intensidade máxima de corrente da entrada do inversor (A);

I_{max} representa a intensidade máxima de corrente (A) de uma *string*, que também é igual à corrente máxima fornecida pelo módulo, informação que pode ser obtida no *datasheet* do módulo.

Carneiro (2009) complementa que, após definido o número de *strings* em paralelo, é possível estabelecer matematicamente a intensidade de corrente de trabalho através da equação (9)

$$I = N_P \cdot I_{max} \quad (9)$$

Onde:

I representa a intensidade de corrente (A) de trabalho do sistema.

Já a secção transversal dos cabos e suas possíveis perdas são calculados com base na seguinte equação (CARNEIRO, 2009):

$$S = (L \cdot P)/(\sigma \cdot e \cdot U^2) \quad (10)$$

Onde:

L representa o comprimento do cabo condutor (m);

P representa a potência (W);

σ representa a condutividade elétrica do cabo (m/($\Omega \cdot \text{mm}^2$));

e representa a queda de tensão (V);

U^2 representa a tensão de trabalho do inversor (V).

Enquanto a energia gerada por um sistema fotovoltaico em um dia pode ser obtida através da equação a seguir (CARNEIRO, 2009):

$$E_{real}^{dia} = PR \cdot (K_T \cdot H_S \cdot P_{max}^r) \quad (11)$$

Onde:

PR representa o índice de desempenho de um sistema fotovoltaico e é obtido através da equação (12).

$$PR = \eta_{inv} \cdot F_C \quad (12)$$

Sendo que:

η_{inv} representa o rendimento do inversor (%), informação que é fornecida pelo fabricante do inversor;

F_C representa as perdas de energia na cablagem do sistema (%), alguns simuladores requerem que esta informação seja fornecida, onde usualmente é utilizada uma perda de 1 a 3%;

Já K_T representa o fator de correção de temperatura do módulo e é obtido através da equação:

$$K_T = [1 - 0,005 \cdot (T - 25 \text{ } ^\circ\text{C})] \quad (13)$$

Sendo que:

T representa a temperatura ($^\circ\text{C}$) do módulo em operação;

Já H_s representa as horas de Sol no dia que se deseja calcular a geração de energia e é obtido através da equação (14).

$$H_S = E/G^r \quad (14)$$

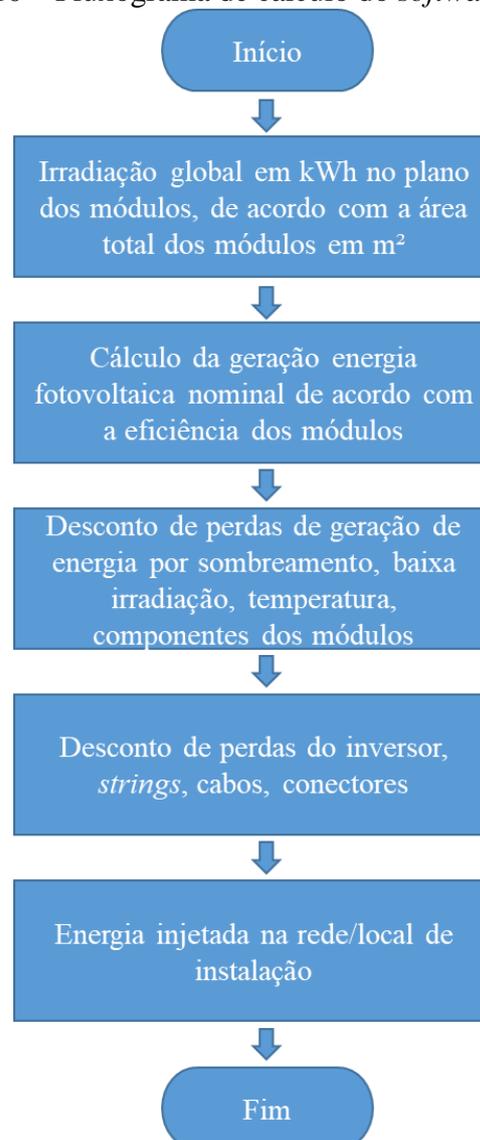
Sendo que:

E representa a energia da radiação global (Wh/m^2) incidente durante as horas de um dia e é fornecido pelas estações de monitoramento climático;

G^r representa a radiação solar incidente nas condições de referência que é de 1.000 W/m².

Por fim, P_{max}^r representa a potência máxima real do módulo informada pelo fabricante ou P_{FV} que é a potência nominal do sistema fotovoltaico obtido pelo somatório das potências dos módulos do sistema. A Figura 10 exemplifica sucintamente em forma de fluxograma, a sequência utilizada pelo *software* PV*Sol para realização dos cálculos. O ponto de partida é a irradiação total aplicada no plano dos módulos instalados e o resultado final é a geração de energia que efetivamente será injetada na rede elétrica do local de instalação do sistema fotovoltaico.

Figura 10 – Fluxograma de cálculo do *software* PV*Sol



Fonte: adaptado de Solarize (2017).

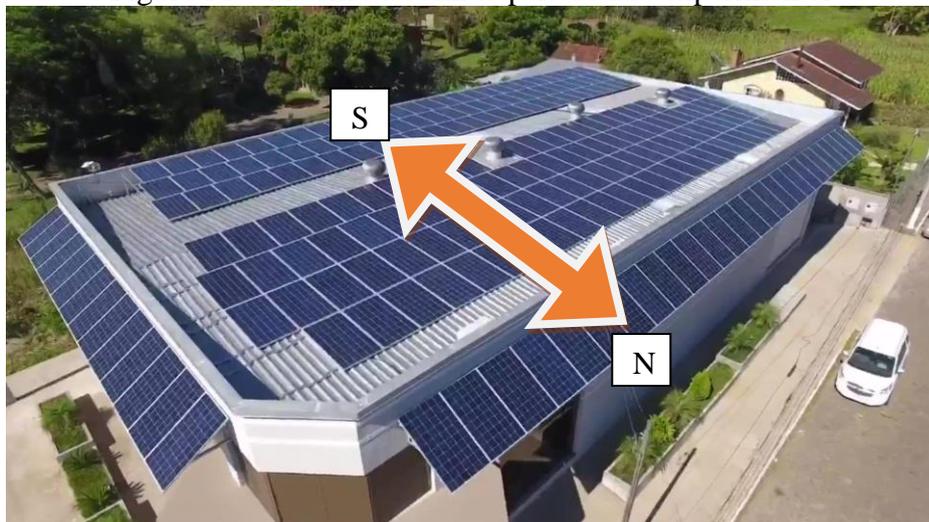
3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentados os passos para realização do experimento, contemplando o detalhamento das etapas de levantamento de campo, construção e parametrização do modelo no *software* de simulação, bem como os métodos de pesquisa aplicados para elaboração do presente trabalho.

3.1 AMBIENTE DE ESTUDO

O estudo experimental foi realizado em um sistema instalado em pavilhão comercial, localizado no município de Garibaldi – RS, na latitude -29.269867 e longitude -51.52681. Para criação do modelo em 3D, foram utilizadas as medidas reais do prédio em questão obtidas através de projetos cedidos pelos proprietários do imóvel e por levantamento dos dados no local. O sistema está em operação desde dezembro de 2018 e possui potência de 62,1 kWp. A Figura 11 mostra o prédio em questão com os painéis solares instalados em sua cobertura. Também é demonstrada a orientação norte e sul do prédio.

Figura 11 – Sistema escolhido para estudo experimental



Fonte: banco de imagens da empresa.

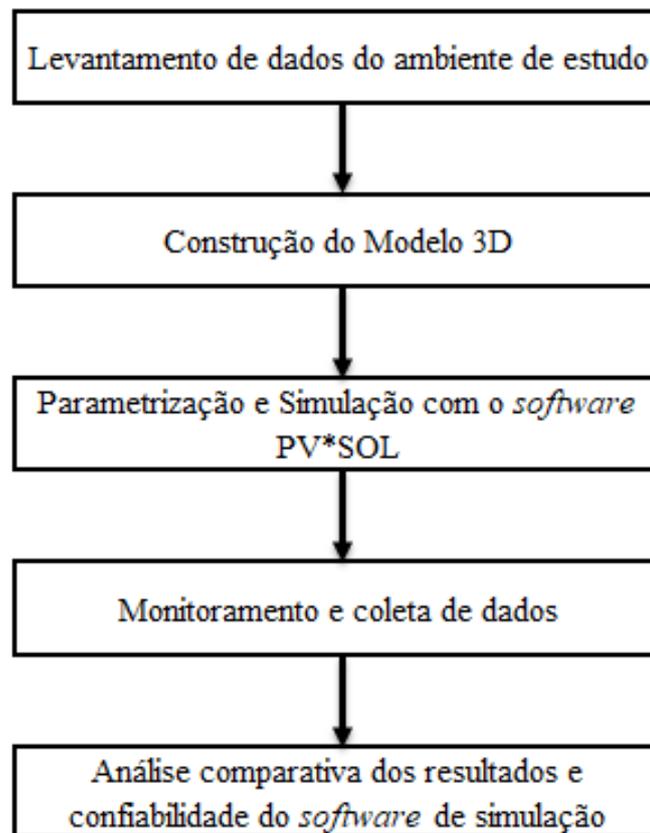
Trata-se de um sistema *on grid* composto por 230 módulos de 270 Wp cada, dos quais 188 módulos são instalados sobre o telhado, 28 módulos em estrutura metálica em uma das laterais do prédio e os demais 14 módulos em estrutura metálica em outra lateral do prédio. O sistema também é composto por 2 inversores da marca SMA, de 25 kWp cada e demais componentes. No momento do levantamento, a empresa utilizava apenas cerca de 30% da

energia gerada pelo sistema fotovoltaico, o restante é injetado na rede da concessionária, ficando de crédito para ser compensação em 60 meses.

3.2 ETAPAS DO ESTUDO

Para o melhor entendimento dos passos envolvidos neste trabalho, foi definida uma sequência de etapas para o estudo, apresentada de forma macro no fluxograma da Figura 12.

Figura 12 – Fluxograma de etapas do estudo



Fonte: elaborado pelo autor.

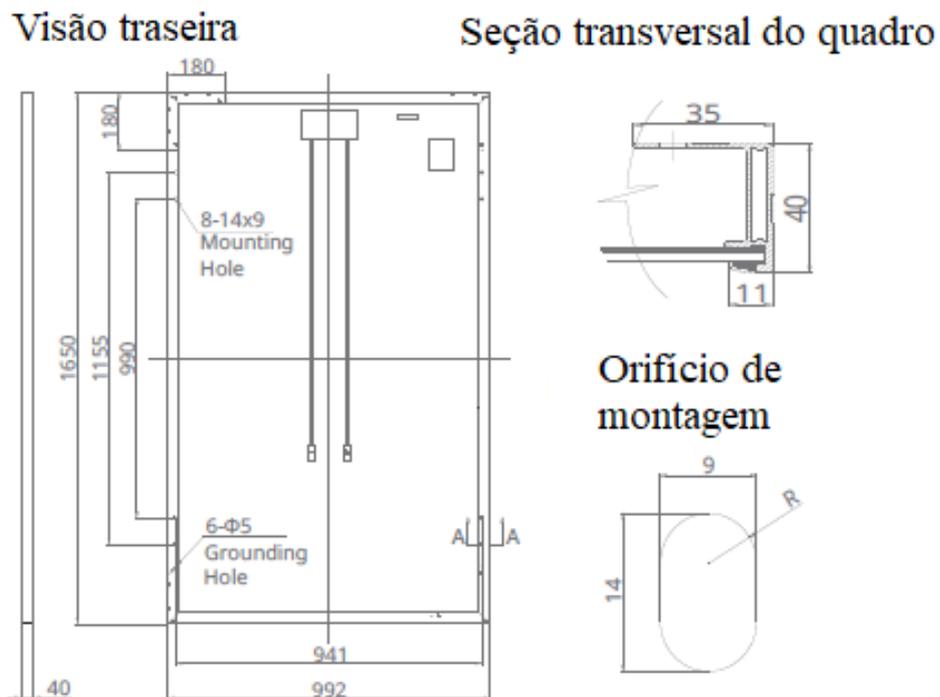
3.2.1 Levantamento de dados do ambiente de estudo

O levantamento de dados visa a suprir todas as informações necessárias para elaboração do projeto. Nesta etapa, foram buscados todos os dados físicos do local de instalação do sistema fotovoltaico, tais como medidas do prédio, tipo e inclinações dos telhados e demais locais utilizados para instalação dos módulos, tipo de entrada de energia do estabelecimento, tipo e potência dos módulos utilizados na instalação, tipo e potência dos inversores, forma de ligação das *strings* e demais componentes do sistema e dados teóricos,

para que se possa reproduzir um projeto fiel ao encontrado fisicamente, no modelo e no *software* de simulação.

O sistema fotovoltaico experimental é composto por 230 módulos do tipo policristalino, da marca Canadian e modelo CS6K-270, com as características físicas demonstradas na Figura 13 e maiores detalhes conforme *datasheet* do Anexo C.

Figura 13 – Características físicas do módulo fotovoltaico



Fonte: Canadian (2018).

O sistema está instalado com parte dos módulos sobre o telhado e parte dos módulos fixos na lateral do prédio. Os módulos instalados sobre o telhado estão fixos através de uma estrutura em alumínio exemplificada na Figura 14. O segmento de módulos instalado na direção norte do prédio está com inclinação de $29,5^\circ$.

Já os módulos instalados na lateral do prédio estão fixos através de suportes, na forma de triângulos, conforme demonstrado na Figura 15. Esses suportes estão instalados a cada dois metros ao longo da parede e sobre eles foram instalados dois perfis longitudinais de alumínio, onde os módulos estão fixos.

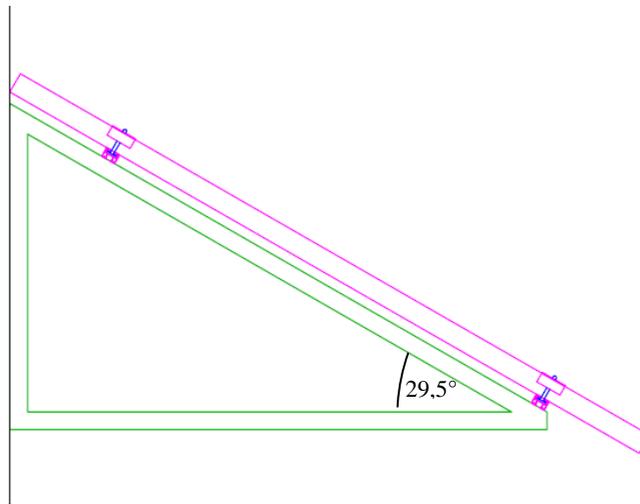
Os inversores estão instalados no interior do prédio, sendo 2 inversores de 25 kWp da marca SMA, modelo Sunny Tripower (Figura 16). A Figura 17 apresenta a distribuição esquemática dos *strings* nos dois inversores.

Figura 14 – Fixação de módulos sobre telhado metálico



Fonte: Weg (2018).

Figura 15 – Suporte para instalação de módulos em laterais de prédio



Fonte: Weg (2018).

Figura 16 – Inversores instalados no sistema objeto do estudo



Fonte: banco de imagens da empresa.

As *strings* estão distribuídas da seguinte forma:

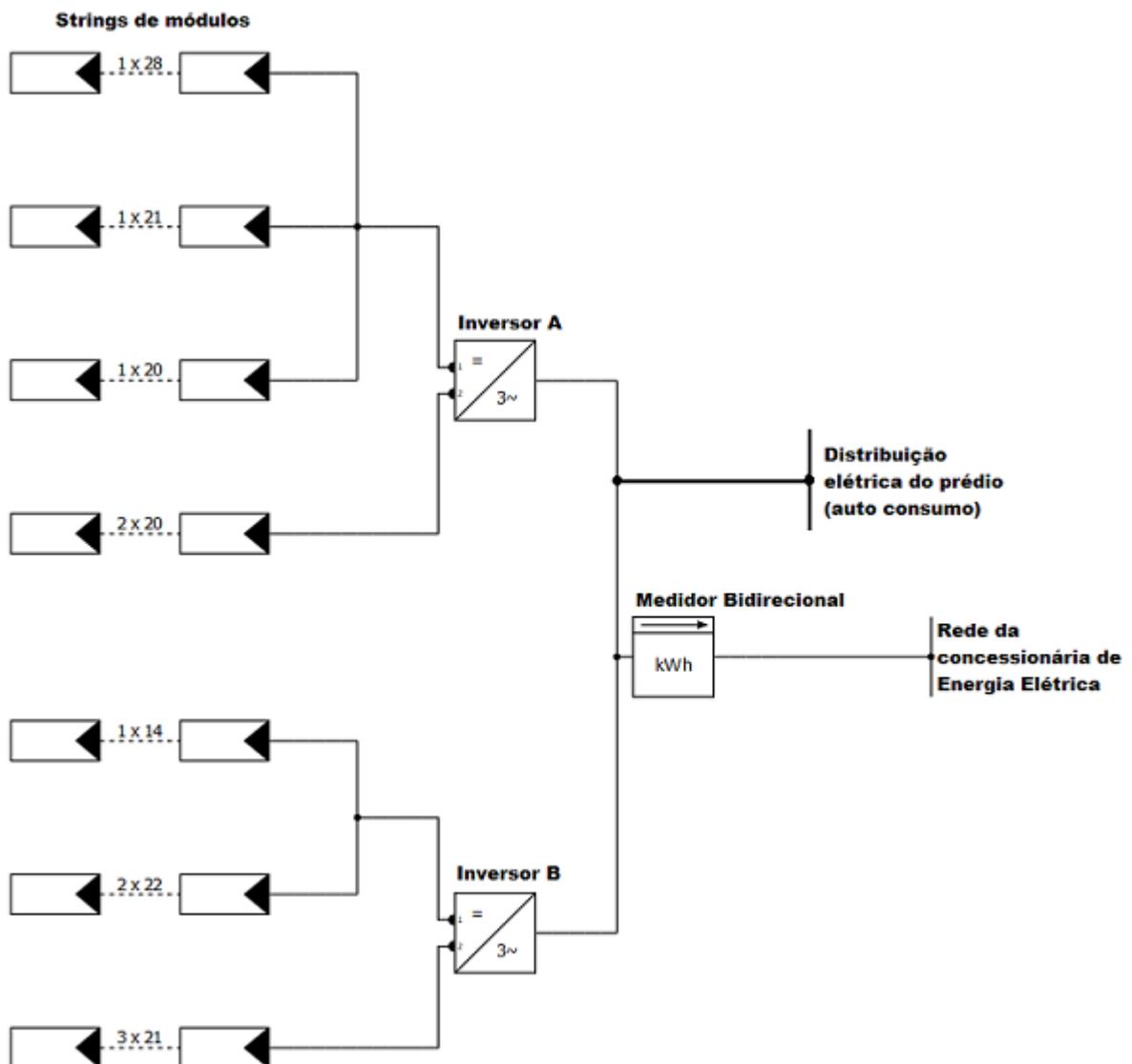
Inversor A → 109 módulos:

- a) 1 *string* de 28 módulos;
- b) 1 *string* de 21 módulos;
- c) 3 *strings* de 20 módulos.

Inversor B → 121 módulos:

- a) 1 *string* de 14 módulos;
- b) 2 *strings* de 22 módulos;
- c) 3 *strings* de 21 módulos.

Figura 17 – Distribuição das *strings* nos inversores



Fonte: elaborado pelo autor.

3.2.2 Construção do Modelo 3D

Entre os primeiros passos para elaboração e simulação de um projeto de sistema fotovoltaico aplicado em prédios, está a construção do modelo do prédio ou edificação em 3D, ou seja, o projeto arquitetônico do prédio onde o sistema será instalado.

O *software* PV*SOL possibilita que o projeto do prédio ou local de instalação do sistema fotovoltaico seja construído no próprio ambiente do programa, porém, para o presente estudo, optou-se pela utilização de outro *software* para a construção do modelo. Para construção do modelo em 3D do prédio, foi utilizado um *software* aplicado nas áreas de engenharia e arquitetura para criação de projetos 3D chamado Sketchup. Pinheiro e Diniz (2013) corroboram que o Sketchup é um *software* bem conhecido no cenário internacional de projeto arquitetônico. Destacam, ainda, que possui interface amigável com o usuário além de vários recursos importantes para criar e projetar tridimensionalmente de maneira rápida e eficiente.

A maior disponibilidade de recursos gráficos justifica a escolha deste *software* para elaboração do projeto do prédio, possibilitando, assim, a representação mais fiel da edificação nas suas dimensões, inclinações e demais detalhes importantes para o estudo. O Sketchup é um *software* que apresenta grande facilidade na sua programação.

De acordo com Trimble (2017), o *software* Sketchup Make conta com funcionalidades para elaboração de projetos 3D de *layouts*, modelagem de terrenos com topografias variadas, através de comandos simples e intuitivos. Outra função que este *software* traz, e que tem relação direta com projetos de sistemas fotovoltaicos, é a possibilidade de geolocalização quanto à latitude e à longitude, o que, por sua vez, irá permitir verificar os níveis de incidência solar e, a partir disso, estudar as melhores alternativas para alcançar o melhor resultado.

3.2.3 Parametrização e Simulação com o *software* PV*SOL

Conforme já exposto, o *software* de simulação escolhido para este estudo foi o PV*SOL, desenvolvido pela Valentin Software GmbH, na Alemanha. O *software* é representado e tem suporte técnico da empresa Solarize no Brasil. Segundo a Solarize (2017), o *software* foi desenvolvido para a modelagem e simulação de sistemas de energia solar e é reconhecido pela facilidade de uso. Destaca, ainda, que entre suas principais características estão:

- a) o menu orienta o usuário na elaboração do projeto, numa sequência lógica e simples;
- b) é possível criar cenários 3D de fácil compreensão;
- c) possibilita a utilização de mapas de satélites, como por exemplo do Google *Earth*;
- d) possibilita a importação e utilização de modelos 3D gerados por imagens de drones ou criados em programas arquitetônicos como, por exemplo, o Sketchup;
- e) o *software* possui funcionalidades que permitem simular o efeito de objetos no sombreamento, como prédios, recortes no telhado, vegetação, antenas etc.;
- f) parametrização de módulos e inversores de acordo com a necessidade do projeto;
- g) possui ampla biblioteca de dados climáticos precisos e detalhados;
- h) apresenta o resultado da simulação em relatório que, além dos dados de geração de energia, inclui dados de retorno financeiro, gráficos, entre outros;
- i) é traduzido em português e adaptado às peculiaridades brasileiras mais importantes.

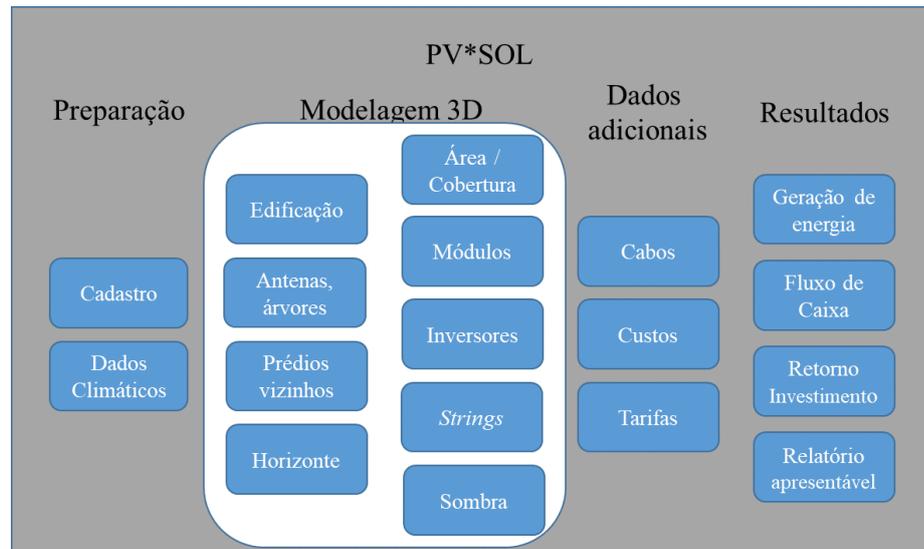
O PV*SOL é um programa dinâmico para simulação de sistemas fotovoltaicos que permite ótima visualização 3D e nível de detalhamento muito bom para avaliação de sombreamento. Contém ampla biblioteca de componentes, como módulos, inversores, componentes mecânicos etc., além da facilidade em alterar parâmetros da simulação, possibilidade de avaliar a amortização do investimento entre outras funcionalidades.

Contudo, é possível destacar algumas atividades críticas durante a elaboração do projeto, pois elas podem influenciar fortemente no desempenho do sistema fotovoltaico e/ou maximizar ou minimizar os resultados da simulação. Entre as atividades críticas estão a escolha dos componentes adequados ao sistema fotovoltaico que está sendo projetado; a correta localização geográfica do projeto; a precisa indicação de direcionamento, e inclinação dos módulos além da observância das normas regulamentadoras e normas técnicas aplicáveis.

A Figura 18 demonstra de forma sucinta as etapas de parametrização do *software*, divididas em preparação, modelagem, dados adicionais e resultados.

Após a simulação, é possível gerar e imprimir um relatório de engenharia incluindo os parâmetros utilizados para a simulação e os principais resultados. As ferramentas do sistema incluem o gerenciamento do banco de dados meteorológico através da importação de diversas fontes e de componentes do sistema fotovoltaico, incluindo dados dos fabricantes sobre módulos, inversores etc.

Figura 18 – Parâmetros de entrada e saída que o *software* considera



Fonte: adaptado Solarize (2017).

3.2.4 Monitoramento e coleta de dados

Uma vez elaborado o modelo com a devida parametrização, dispõem-se de condições para realizar a simulação do sistema no PV*Sol e, em paralelo, coletar os dados do monitoramento para posterior comparação.

Para monitoramento, os inversores da SMA possuem seu próprio aplicativo, que pode ser acessado através do site www.sunnyportal.com. Para ter acesso aos dados do sistema, é necessário que os inversores estejam conectados na internet e que seja criado um cadastro do sistema fotovoltaico no *site*. Durante o cadastro do sistema fotovoltaico, devem ser preenchidas algumas informações, tais como nome do sistema em questão, local de instalação, data que ele entrou em operação, potência do sistema, dados dos inversores, incluindo número de série e cadastro das pessoas que terão acesso ao monitoramento do sistema. Também é possível fazer *upload* de uma foto do sistema fotovoltaico.

Após o cadastro do sistema no Sunny Portal, é possível consultar informações a respeito de sua operação, podendo visualizar os estados mais importantes do sistema, como a potência instantânea, o estado de operação do sistema naquele momento, a energia gerada no dia e outras. Isso pode ser observado na Figura 19, que demonstra uma das telas de monitoramento do Sunny Portal de um sistema fotovoltaico aleatório. Nela, além das diversas informações que estão disponíveis para visualização, é possível obter um maior detalhamento através dos *links* disponíveis.

Figura 19 – Tela principal de monitoramento do Sunny Portal



Fonte: Sunny Portal (2019).

O sistema também apresenta uma grande gama de gráficos, com as informações pertinentes a desempenho e funcionamento do sistema.

3.2.5 Análise comparativa dos resultados e confiabilidade do software de simulação

A análise comparativa dos resultados visa a avaliar a confiabilidade dos dados gerados pela simulação no PV*Sol quando comparados aos dados coletados através do monitoramento no Sunny Portal.

Durante a análise, uma das variáveis fundamentais a ser avaliada é a quantidade de energia gerada por mês e no período da simulação. Paralelamente, outras variáveis podem ser observadas, como os resultados econômicos do sistema fotovoltaico em questão, analisando a rentabilidade do investimento ao longo do tempo e buscando subsídios que possam determinar se foi realizado um bom investimento ou não.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

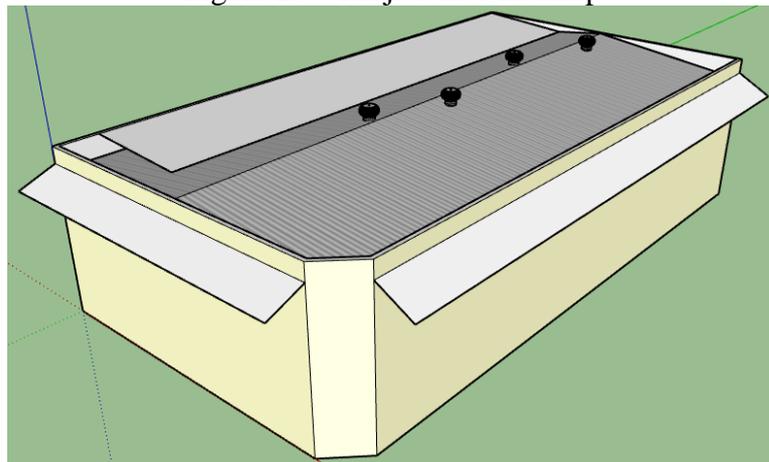
Neste capítulo, são mostrados os resultados dos cenários simulados. Primeiramente, demonstram-se o modelo desenvolvido no Sketchup, a parametrização do *software* PV*SOL e os cenários simulados. Por fim, serão apresentados os resultados da simulação.

4.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO EM 3D NO SKETCHUP

Após o levantamento dos dados no ambiente de estudo, a primeira etapa seguinte foi a construção do modelo em 3D utilizando um *software* de engenharia empregado no desenvolvimento de projetos denominado Sketchup.

Diante de todas as informações coletadas, a próxima etapa foi desenvolver o modelo levando em consideração as medidas, ângulos, planos da geometria que puderam conferir ao modelo uma aparência fiel ao prédio real. Também foram considerados aspectos como a presença de exaustores eólicos sobre o telhado e a textura das telhas para fazer a réplica virtual muito próxima à construção real. Exaustores, chaminés ou elementos sobre o telhado podem configurar geradores de sombras sobre os módulos fotovoltaicos. A Figura 20 ilustra a elaboração do projeto do prédio no Sketchup.

Figura 20 – Projeto no Sketchup



Fonte: elaborado pelo autor.

Para utilização no PV*SOL, o projeto, depois de pronto no Sketchup, foi exportado no formato Collada, para posteriormente ser importado no *software* de simulação e ser utilizado na etapa a seguir de parametrização do sistema fotovoltaico.

4.2 PARAMETRIZAÇÃO DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO

Já com o modelo 3D importado no *software* de simulação PV*SOL, foram inseridos os parâmetros fornecidos pelo levantamento de dados do cenário atual. Este processo iniciou pela criação do projeto, identificando-o e especificando a localização geográfica da instalação.

Posteriormente, algumas ações foram fornecidas e ordenadas a seguir:

- a) selecionar o tipo de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica;
- b) selecionar os dados climáticos ou importar dados da cidade/região do projeto;
- c) cadastrar os parâmetros técnicos, voltagem, fator de potência etc.;
- d) dispor a orientação dos módulos fotovoltaicos;
- e) definir a área disponível para a instalação dos módulos;
- f) fornecer a potência do sistema em questão;
- g) definir as áreas que não podem ser utilizadas para os módulos dentro da área prevista de instalação;
- h) selecionar o tipo e potência dos módulos e colocação na área definida;
- i) selecionar o tipo e potência dos inversores e configurá-los;
- j) estabelecer os tipos de módulos e inversores a serem utilizados;
- k) definir o tipo de seção dos cabos;
- l) configurar as *strings*;
- m) informar o investimento.

Com base nisso, tem-se a configuração básica para a simulação do sistema. Após essa etapa, foi realizada uma primeira simulação para testes, cujos resultados se destinam a verificar se o modelo de simulação criado está respondendo aos parâmetros inicialmente informados.

Já com essa primeira simulação, podem ser inseridos parâmetros específicos como possíveis geradores de sombreamento, como árvores na redondeza, chaminés no telhado ou outros componentes que possam afetar a incidência do sol em algum período do dia. Também neste momento devem ser informados parâmetros específicos de perdas, caso já identificados, e dados financeiros para a avaliação econômica do sistema de geração de energia, bem como definir o período de tempo em que será realizado o experimento e a coleta de dados de geração de energia. No caso do sistema objeto do estudo, existem quatro exaustores eólicos sobre o telhado, que foram representados no modelo 3D criado no Sketchup. Ao final da parametrização, o sistema apresentava as características básicas demonstradas na Figura 21.

Figura 21 – Projeto do sistema fotovoltaico no PV*SOL



Fonte: elaborado pelo autor.

Cada simulação realizada até a completa inserção dos dados pode ser salva para que possa ser comparada com as anteriores a fim de avaliar o impacto da inserção do detalhamento nos resultados obtidos.

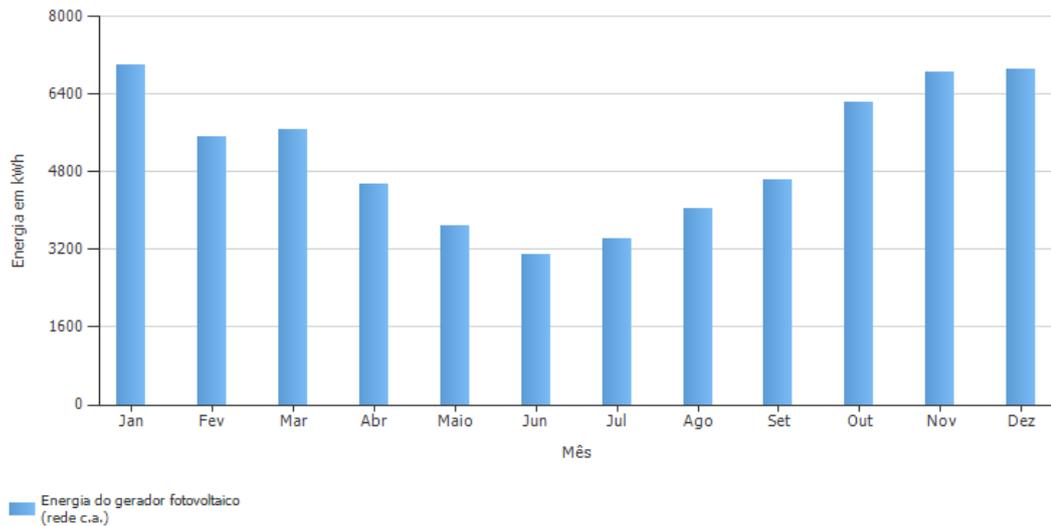
O maior desafio nesta etapa é elaborar no *software* de simulação um modelo que reflita exatamente o sistema fotovoltaico fisicamente instalado. Para isso, foram observadas principalmente as especificações dos módulos, inversores e cabos que compõem o sistema. Também foram especificadas a orientação e inclinação dos módulos sobre o telhado, as ligações das *strings*, os objetos causadores de sombreamento, como neste caso os exaustores eólicos.

4.3 SIMULAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E RESULTADOS

Elaborado o modelo representando o sistema fotovoltaico que está efetivamente instalado de 62,1 kWp, obtiveram-se as condições para realizar a simulação. Nesta etapa, foi simulado o cenário completo criado, coletando os dados apresentados pelo *software* PV*SOL, entre eles, a geração de energia elétrica para os períodos em avaliação.

É possível observar no gráfico da Figura 22 a previsão de geração de energia ao longo do ano, ficando evidente a maior geração de energia nos meses de verão, quando a trajetória solar está mais ao hemisfério sul e, por consequência, os dias têm mais horas de irradiação solar. De acordo com a simulação, o mês de pico de maior geração é janeiro, atingindo os 6.989,10 kWh de energia gerada, enquanto a menor geração ocorre em junho, com 3.095 kWh de geração.

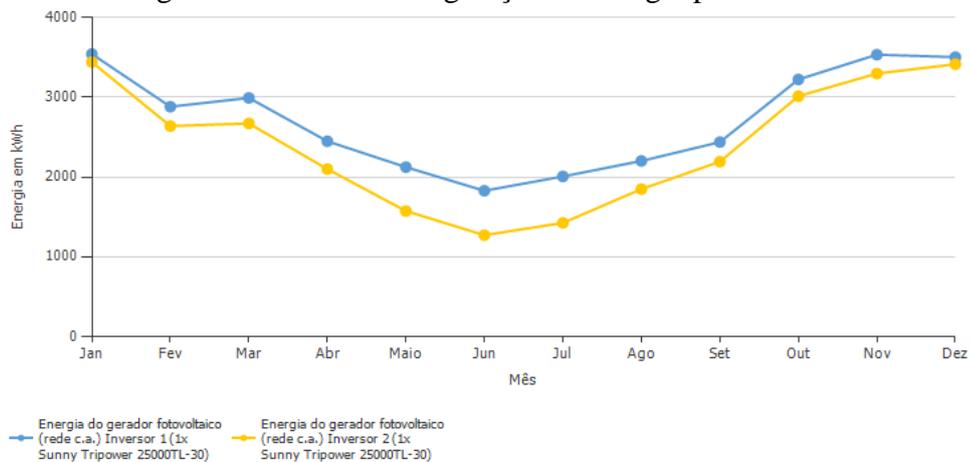
Figura 22 – Previsão de geração de energia do sistema fotovoltaico



Fonte: elaborado pelo autor.

Outro dado que pode ser observado através da simulação é a geração de energia por inversor, conforme apresentado no gráfico da Figura 23, onde pode ser observado qual é o equilíbrio entre os inversores. Vale destacar que nem sempre é obtido um total equilíbrio entre os inversores devido a fatores relacionados principalmente à orientação dos módulos, onde deve ser evitado ao máximo a utilização de *strings* com módulos em orientações diferentes. No sistema objeto do estudo, trabalhou-se com essa situação em que 14 módulos estão orientados a leste, ficando isolados em uma *string* ligada ao inversor 2 (B) que, por consequência, teve seu rendimento afetado.

Figura 23 – Previsão de geração de energia por inversor

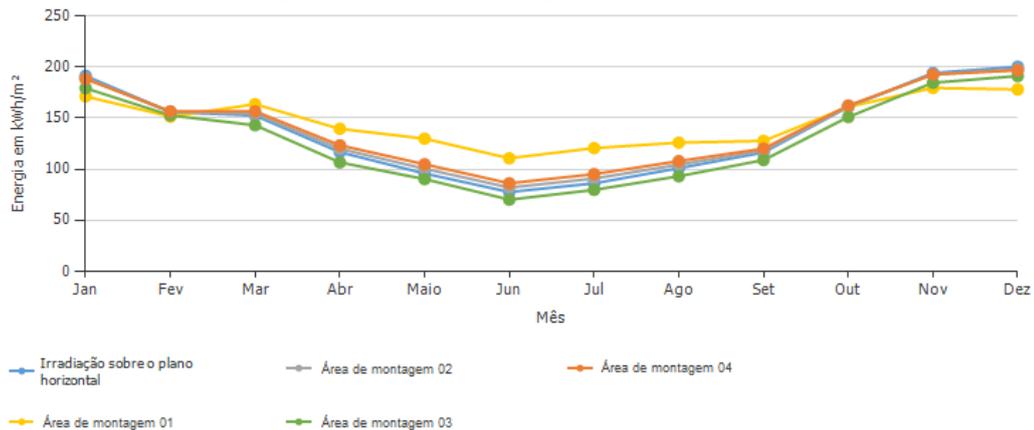


Fonte: elaborado pelo autor.

O simulador também apresenta o comparativo de cada área de montagem criada durante a parametrização com a irradiação sobre o plano horizontal. É possível observar, no

gráfico da Figura 24, que as três áreas sobre o plano inclinado (áreas de montagem 01, 02 e 04) com inclinação a norte, sendo elas as duas áreas sobre o telhado e a área na lateral do prédio, estão com irradiação maior que o calculado para o plano horizontal. Entretanto, a área de montagem 03 que, apesar de estar no plano inclinado, mas orientada a leste, apresenta irradiação menor que a irradiação sobre o plano horizontal.

Figura 24 – Irradiação por área do módulo



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 4 resume os principais resultados e informações apresentadas pelo relatório gerado através do PV*Sol após a simulação. Outros dados podem ser observados no Anexo D.

Tabela 4 – Principais resultados da simulação

Resumo do relatório	
Dados climáticos:	Garibaldi, BRA (1991 - 2010)
Potência do gerador fotovoltaico:	62,1 kWp
Área do gerador fotovoltaico:	376,5 m²
Quantidade de módulos:	230
Quantidade de inversores:	2
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.):	61.628 kWh
Rendimento anual específico:	992,41 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR):	58,50%
Diminuição do rendimento por sombreamento:	28,0 %/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas:	36.977 kg/ano
Investimento total:	242.000,00 R\$
Taxa interna de retorno:	25,57%
Prazo de amortização:	4,5 Anos
Custos de geração da energia:	0,18 R\$/kWh
Fluxo de caixa acumulado:	1.771.364,34 R\$
Investimento específico:	3.896,94 R\$/kWp
Remuneração total no primeiro ano:	52.071,62 R\$/Ano

Fonte: elaborado pelo autor.

4.4 MONITORAMENTO E COLETA DE DADOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

Em paralelo à simulação, foi realizado o acompanhamento do sistema fotovoltaico em questão através do *software* de monitoramento Sunny Portal, coletando os dados que possibilitem a comparação com os dados da simulação. O objetivo é obter o máximo de meses de geração possíveis para comparar com a simulação. Como foi comentado, o sistema entrou em operação em dezembro de 2018, portanto, para fins de monitoramento, foram considerados os meses de janeiro de 2019 a outubro de 2019, totalizando dez meses de operação, o que representa uma amostra significativa de meses.

A Figura 25 demonstra a tela principal de monitoramento do sistema, que apresenta algumas informações a respeito da operação dele, como potência instantânea, que depende do estado do sistema. Outras informações podem ser observadas, como o total de energia gerada desde o início da operação do sistema, uma estimativa de redução de emissão de CO₂, o Sunny portal considera como redução de emissões aproximadamente 700 gramas de CO₂ por kWh de energia gerada, este valor foi obtido através da divisão dos 198 kg de redução de emissões de CO₂ pelos 282,51 kWh de energia fotovoltaica gerada, ambos valores observados na Figura 30 e referentes ao dia em que a imagem da tela foi capturada.

Figura 25 – Tela de monitoramento do sistema objeto do estudo



Fonte: imagem capturada pelo autor.

Outras informações estão disponíveis nesta tela, entre elas a “Compensação”, ou seja, um cálculo de amortização do investimento, que leva em consideração o valor de tarifa de R\$ 0,83 por kWh de energia gerada. Através desse dado, é possível acompanhar o valor deixado

de ser pago para a concessionária referente a consumo de energia elétrica (282,51 kWh x R\$ 0,83/kWh = R\$ 234,48).

O monitoramento através do Sunny Portal ainda traz uma grande gama de gráficos para acompanhar o desempenho do sistema em diferentes visões, entre elas a geração de energia total por ano, por mês e por dia. Um dos gráficos mais utilizados para acompanhamento é o que traz a informação da geração mensal do sistema demonstrado no gráfico da Figura 26. Essa será a principal informação a ser utilizada para a comparação com os dados gerados na simulação no PV*SOL.

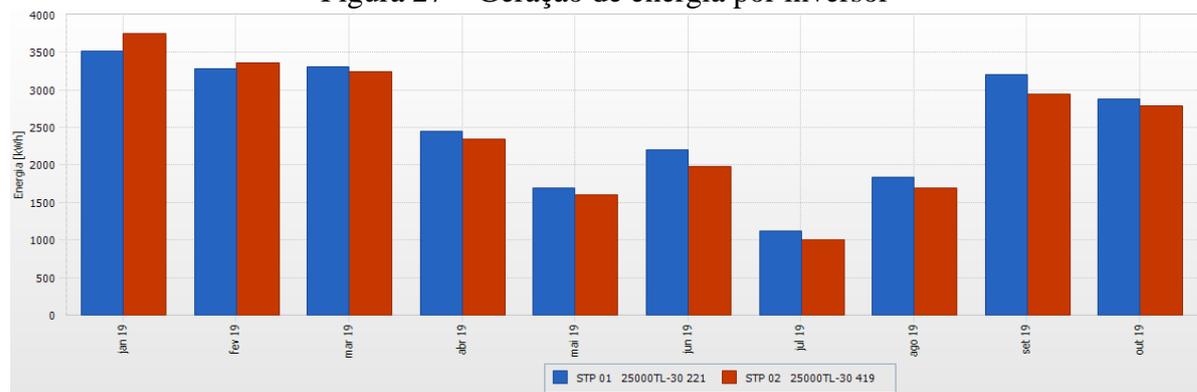
Figura 26 – Geração de energia de janeiro a outubro de 2019



Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda é possível fazer a comparação do desempenho de geração entre os inversores, demonstrado no gráfico da Figura 27. Esse comparativo apresentou algo não esperado: o inversor que possui a *string* de módulos orientados a leste conectados a ele apresentou um desempenho melhor que o outro inversor nos meses de janeiro e fevereiro. Após uma análise mais criteriosa, observou-se que isso ocorria porque nesses meses a trajetória solar está mais ao hemisfério sul da Terra, diferente dos meses posteriores em que a trajetória solar passa a se deslocar e ocorrer mais ao norte da Terra.

Figura 27 – Geração de energia por inversor



Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados coletados no monitoramento, em especial a geração de energia mês a mês, foram utilizados a seguir para comparativo com os dados de simulação.

4.5 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO E GERAÇÃO DE ENERGIA

Após validado o modelo, realizada a simulação e coletados os dados de geração através do monitoramento, é possível comparar os dados obtidos. A Tabela 5 demonstra o comparativo dos dados de geração de energia efetiva e dos valores obtidos na simulação no PV*SOL entre os meses de janeiro de 2019 e outubro de 2019.

Tabela 5 – Comparativo de geração e simulação

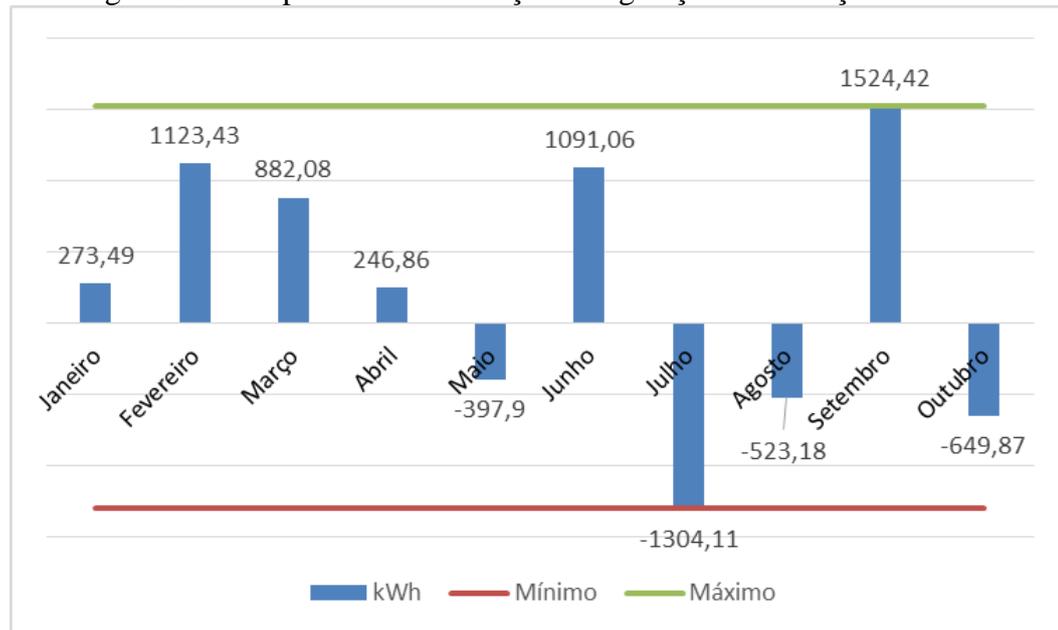
Energia Elétrica (kWh)				
Mês	Geração	Simulação	Diferença	Dif. %
Janeiro	7.262,59	6.989,10	273,49	3,8%
Fevereiro	6.646,73	5.523,30	1.123,43	16,9%
Março	6.548,68	5.666,60	882,08	13,5%
Abril	4.795,46	4.548,60	246,86	5,1%
Maio	3.298,20	3.696,10	-397,90	-12,1%
Junho	4.186,06	3.095,00	1.091,06	26,1%
Julho	2.125,19	3.429,30	-1.304,11	-61,4%
Agosto	3.526,02	4.049,20	-523,18	-14,8%
Setembro	6.155,22	4.630,80	1.524,42	24,8%
Outubro	5.676,13	6.326,00	-649,87	-11,4%
Total 10 meses	50.220,28	47.954,00	2.266,28	4,5%
Média 10 meses	5.020,03	4.795,40	226,63	4,5%

Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo a observação inicial dos dados, principalmente as diferenças entre a geração e o valor obtido na simulação, obteve-se uma diferença de 4,5% entre a geração e a simulação. Apesar da diferença apresentada não ser significativa quando comparada a médias dos 10 meses, observando os resultados mês a mês nota-se uma grande variação em alguns meses. O gráfico da Figura 28 destaca a diferença em kWh apurada bem como a amplitude através do comparativo entre energia gerada e valores obtidos através da simulação.

Outra forma de observar e comparar os resultados da simulação e os dados reais coletados é através do cálculo do erro quadrático médio. Esse pode servir como um parâmetro estatístico para medir o desempenho indicando o desvio entre os dados coletados e os simulados. A Tabela 6 apresenta o cálculo do erro quadrático médio.

Figura 28 – Amplitude da diferença entre geração e simulação em kWh



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Erro quadrático médio

Períodos	Geração	Simulação	Diferença	Quadrado da diferença
Janeiro	7262,59	6989,10	273,49	74796,78
Fevereiro	6646,73	5523,30	1123,43	1262094,96
Março	6548,68	5666,60	882,08	778065,13
Abril	4795,46	4548,60	246,86	60939,86
Maio	3298,20	3696,10	-397,9	158324,41
Junho	4186,06	3095,00	1091,06	1190411,92
Julho	2125,19	3429,30	-1304,11	1700702,89
Agosto	3526,02	4049,20	-523,18	273717,31
Setembro	6155,22	4630,80	1524,42	2323856,34
Outubro	5676,13	6326,00	-649,87	422331,02
Soma dos quadrados da dif. =				8245240,62
Média dos quadrados da dif. =				824524,06
Raiz quadrada do erro quadrático médio =				908,03

Fonte: elaborado pelo autor.

O cálculo resultou em um erro quadrático médio da raiz de 908,03 kWh. Segundo Wang e Lu (2017), o erro quadrático médio da raiz é amplamente adotado para medir a diferença entre a predição e o valor real, representando, dessa forma, o erro de previsão entre o simulado no PV*Sol e o medido através do monitoramento do sistema fotovoltaico objeto do estudo.

4.6 DISCUSSÃO DOS DADOS OBSERVADOS

A ideia deste projeto surgiu para buscar resposta a respeito da confiabilidade da simulação de sistemas fotovoltaicos. Foi então que se chegou ao tema proposto da análise comparativa entre a simulação e a efetiva geração de energia de um sistema já instalado e em operação. Os desafios estiveram presentes desde o início, desde a escolha do *software* de simulação, a disponibilidade de um sistema instalado e em operação ao qual se pudesse ter acesso para toda coleta de informações.

De acordo com os dados comparados de geração de energia e valores da simulação, é possível observar, na média dos dez meses, uma diferença de 226,63 kWh/mês a menor da geração de energia simulada em relação à energia efetivamente gerada. Como observado, os valores dos modelos ficaram muito próximos, sendo que a diferença percentual entre o modelo teórico e o real ficou em 4,5%. Esta diferença, em primeira análise, não aparenta ser significativa. Já quando observada a amplitude, nos picos de máxima e mínima diferença, tem-se 2.828,53 kWh e o erro quadrático médio de 908,03 kWh. Observa-se um erro considerável entre a previsão da simulação e a medição da geração.

Após uma nova checagem e conferência do modelo de simulação e dos dados coletados, a hipótese levantada para a variação obtida, que se apresentou bem acentuada em alguns meses, foi de que poderia haver alguma relação com os dados climáticos utilizados pelo *software*. De acordo com o já exposto, o *software* de simulação PV*Sol utiliza dados climáticos históricos de 20 anos, sendo esse período de 1991 a 2010, fornecidos pelo *software* Meteonorm. Através de consulta realizada em versão de demonstração do *software*, observou-se que o mesmo fornece ao PV*Sol dados de irradiação mensal em W/m², obtidos através de modelos de cálculos de radiação. Pinker e Laszlo (2003), atribuir grande parte da incerteza da irradiação solar na superfície estimada pelos modelos computacionais a variabilidade da cobertura de nuvens. Campos e Alcantara (2016), observaram em estudos realizados que o índice de precipitação pluviométrica tende a acompanhar a nebulosidade, enquanto a irradiação incidente apresenta tendência inversa a ambos. Já a geração se refere a leitura real através do monitoramento, dos meses de janeiro a outubro de 2019.

Para melhor avaliação da hipótese dos dados climáticos quanto a sua consistência, foram selecionados os meses com maior variação entre os valores obtidos na simulação e na geração, sendo estes Fevereiro, Junho, Julho e Setembro, todos com valores de variações obtidos, maiores que o erro quadrático médio. Já em relação aos dados climáticos foram utilizados os dados de precipitação, uma vez estes tem relação inversa com a irradiação.

Os dados climáticos foram obtidos através do site do INMET. Porém, como Garibaldi não possui estação meteorológica automática interligada com o INMET, foram utilizados os dados da estação mais próxima do local de instalação do sistema objeto do estudo, que é a estação código 83941, de Bento Gonçalves, que apresenta os valores de precipitação pluviométrica acumulada mensal no período de 1981 a 2010, conforme demonstrado na Figura 29.

Figura 29 – Dados da estação automática de Bento Gonçalves

Normal Climatológica do Brasil 1981-2010															
Precipitação Acumulada (mm)															
Código	Nome da Estação	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
83941	BENTO GONCALVES	RS	162,1	151,7	117,8	124,3	130,3	144,4	188,5	148,9	161,3	185,6	138,4	128,6	1781,9

Fonte: INMET (2019).

Também do site do INMET foram obtidos os dados de precipitação pluviométrica acumulada mensal medidos em 2019 e desses dados extraídos os valores dos meses foco da análise. A Tabela 7 demonstra a relação entre esses dados e os dados históricos. Observou-se que todos os meses analisados do ano de 2019 apresentaram precipitação menor que a normal histórica, o que explica o fato de fevereiro, junho e setembro terem apresentado uma geração acima do simulado, mas não explicava por que julho apresentou uma geração 1.304,11 kWh, a menor que o obtido na simulação, uma vez que também foram observados índices de precipitação bem abaixo da média histórica para o mês, o que trouxe uma nova interrogação em relação aos dados do mês de julho.

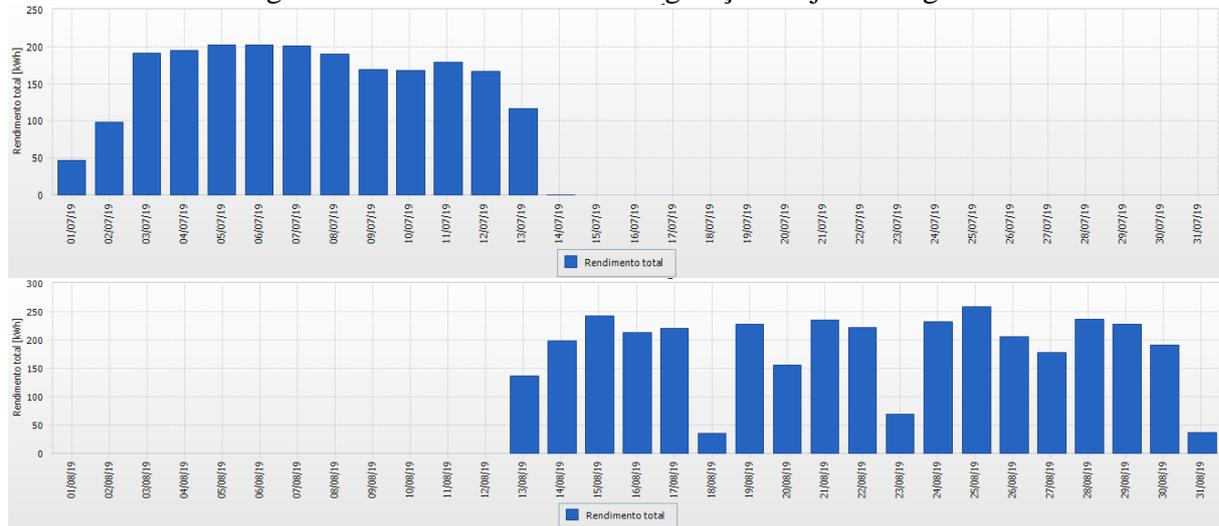
Períodos	1981-2010	2019	2019/Normal
Fev	151,7	128,0	84,38%
Jun	144,4	78,0	54,02%
Jul	188,5	35,0	18,57%
Set	161,3	73,0	45,26%

Fonte: adaptado de INMET (2019).

Analisando os dados da simulação através do Sunny Portal, foi constatado que o sistema fotovoltaico ficou fora de operação do dia 14 de julho até o dia 13 de agosto, conforme ilustrado na Figura 30. Portanto, esses dois meses estavam com dados parciais de geração. Em contato com o antigo proprietário do pavilhão, constatou-se que esse período coincide com a época que o pavilhão foi vendido e, por esse motivo, a energia elétrica foi

desconectada, ficando o sistema fotovoltaico desligado parte do mês de julho e parte do mês de agosto. Dessa forma, esses meses não estão aptos a participar a análise. Portanto, uma nova comparação foi realizada entre a geração e simulação, conforme Tabela 8.

Figura 30 – Gráficos mensais de geração de julho e agosto



Fonte: adaptado de Sunny Portal.

Tabela 8 – Comparação sem julho e agosto

Energia Elétrica (kWh)				
Períodos	Geração	Simulação	Diferença	Dif. %
Janeiro	7.262,59	6.989,10	273,49	3,8%
Fevereiro	6.646,73	5.523,30	1.123,43	16,9%
Março	6.548,68	5.666,60	882,08	13,5%
Abril	4.795,46	4.548,60	246,86	5,1%
Mai	3.298,20	3.696,10	-397,90	-12,1%
Junho	4.186,06	3.095,00	1.091,06	26,1%
Julho				
Agosto				
Setembro	6.155,22	4.630,80	1.524,42	24,8%
Outubro	5.676,13	6.326,00	-649,87	-11,4%
Total 8 meses	44.569,07	40.475,50	4.093,57	9,2%
Média 8 meses	5.571,13	5.059,44	511,70	9,2%

Fonte: adaptado de INMET (2019).

De acordo com a nova comparação, sem os meses de julho e agosto, o percentual da diferença média entre a simulação e a geração passou para 9,2%, ou seja, a expectativa de resultado de energia para os oito meses restantes ficou 4.093,57 kWh abaixo da geração efetiva do sistema fotovoltaico, o que reforça ainda mais a hipótese do impacto das condições climáticas na geração de energia fotovoltaica. Segundo dados do INMET registrados pela estação meteorológica de Bento Gonçalves, a média anual de precipitação no período de 1981

a 1990 foi de 1782 mm, enquanto a precipitação registrada no ano de 2019 foi de 1370 mm, representando uma redução de 23% em relação à média histórica, impactando de forma positiva na geração de energia fotovoltaica.

Contudo, o estudo demonstrou que, ao analisar períodos maiores de meses, a simulação apresenta resultados médios muito próximo da efetiva geração ou rendimento do sistema fotovoltaico, o que corrobora a hipótese de que a simulação de sistemas fotovoltaicos apresenta boa confiabilidade para desenvolvimento de projetos em ambiente virtual e análise prévia da possibilidade de geração, podendo ainda testar diferentes cenários em busca do melhor desempenho possível para o sistema fotovoltaico a ser instalado.

Ainda após uma análise mais detalhada do sistema e observando alguns comportamentos através dos resultados da simulação no PV*Sol, observou-se que a área de montagem 3, composta por 14 módulos, estava apresentando uma perda de 5,96% em função da orientação dos módulos para leste, o que, por sua vez, estava prejudicando o desempenho do inversor nº 2. Como tecnicamente não existe viabilidade aparente de orientar esses módulos a norte, foi realizada uma simulação retirando esta *string* do inversor nº 2 e adicionando um novo inversor de 3 kWp exclusivamente para essa área de módulos.

Foi realizada uma nova simulação nessas condições e observou-se o aumento na geração de energia elétrica em 5.097 kWh no ano, melhorando o desempenho do sistema em 9,6 %, passando dos 47.954,00 kWh previstos pela simulação inicial para o período estudado de dez meses, para 52.571,70 kWh nessa nova simulação.

De acordo com valores coletados junto a um fornecedor, o investimento no inversor de 3 kWp é de R\$ 8.329,68. Deve-se somar a isso custos de mão de obra e materiais elétricos, como cabos, conectores e dispositivos de proteção. Mas, no geral, representa um investimento relativamente pequeno frente ao ganho que irá proporcionar.

Outras sugestões, como modificações em inclinação, que poderiam, por ventura, trazer alguma melhoria, não foram consideradas, pois estão limitadas pela viabilidade técnica e econômica, uma vez que se trata de um sistema fotovoltaico já instalado sobre o telhado e seguindo a inclinação do mesmo. De qualquer forma, as propostas de alteração serão apresentadas oportunamente ao proprietário do sistema ambiente de estudo.

Embora a análise seja preliminar, é a primeira etapa no desenvolvimento de um ambiente de simulação no PV*Sol e comparação com dados de geração de energia elétrica de um sistema em operação. Dessa forma, propõe-se como trabalhos futuros as sugestões a seguir:

- a) discutir sobre dados climáticos históricos utilizados pelo *software* de simulação e as condições ambientais atuais;
- b) avaliar modelos de simulação de forma mais aprofundada, bem como o impacto da irradiância, orientação e inclinação no desempenho do sistema, influência da temperatura, velocidade do vento e posição geográfica no resultado da simulação;
- c) avaliar materiais semicondutores empregados na fabricação de módulos fotovoltaicos e seu impacto na geração de energia;
- d) analisar economicamente a geração de energia fotovoltaica em comparação a outras fontes de geração de energia.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise comparativa entre um sistema fotovoltaico instalado e sua simulação em ambiente virtual no *software* PV*Sol. Ressalta-se que o trabalho teve como foco o estudo de caso do caráter funcional do projeto de sistemas fotovoltaicos e sua simulação computacional, bem como a comparação dos resultados.

Esse viés foi utilizado desde a definição dos objetivos, revisitados a seguir:

a) identificar as variáveis envolvidas no projeto de sistemas fotovoltaicos:

A identificação das variáveis envolvidas no projeto de sistemas fotovoltaicos apresentou conceitos relacionados à geração fotovoltaica, tipos de materiais utilizados na fabricação das células, componentes de um sistema de geração fotovoltaico e suas funções específicas, tipos de instalações e alguns tópicos importantes relacionados à legislação que regulamenta a geração distribuída.

b) determinar quais são os parâmetros necessários na construção do modelo para simulação computacional:

Nesta etapa, foram apresentadas algumas ferramentas pesquisadas para projeto e simulação computacional de sistemas fotovoltaicos, bem como suas características gerais. Foram demonstrados os principais parâmetros de entrada e saída do modelo de simulação, bem como identificados os principais modelos matemáticos utilizados pelos *softwares*.

c) obter parâmetros físicos de *layout*, tais como orientação e inclinação de um sistema fotovoltaico já instalado, incluindo dados dos equipamentos utilizados, como especificações, materiais, e demais dados necessários para elaboração do modelo de simulação:

As visitas e levantamento de campo no local da instalação do sistema permitiram evidenciar os parâmetros físicos do ambiente de estudo, principalmente de *layout*, orientação e inclinação dos módulos, além de características específicas como fabricante, modelo, potência, entre outros. Também se evidenciaram dados relacionados aos inversores, como potência, forma de ligação das *strings* e demais parâmetros físicos necessários para elaboração do modelo de simulação.

d) desenvolver o modelo para simulação computacional no PV*Sol obedecendo as características técnicas levantadas do sistema fotovoltaico durante o levantamento de campo:

Com os parâmetros físicos especificados, passou-se ao desenvolvimento do modelo 3D no *software* Sketchup e posterior parametrização no *software* PV*Sol, reproduzindo as características técnicas levantadas do sistema fotovoltaico instalado e em operação.

e) analisar comparativamente os dados obtidos na simulação com os dados coletados durante o experimento:

Realizada a simulação e coletados os dados, esses foram comparados com os obtidos do monitoramento do sistema fotovoltaico em operação. Confrontando a geração de energia no período estudado e os dados da simulação, observou-se uma diferença menor de 4,5% no resultado acumulado dos meses na simulação, ou seja, a geração real de energia superou a expectativa. Observou-se também que alguns meses apresentaram variação mais acentuada entre os valores de geração e simulação. Eles foram objeto para análise mais aprofundada, ficando evidenciado, em vários dos meses analisados, um menor índice de precipitação pluviométrica, o que explica a geração de energia bem maior nesses meses em 2019. Também foi constatada a geração de energia parcial em dois meses do período analisado, sendo, então, retirados da análise.

f) avaliar e propor possíveis alterações técnicas na instalação do sistema fotovoltaico com base nos resultados obtidos através da simulação dos cenários alternativos:

Por fim, através do relatório de simulação do PV*Sol, observou-se a perda de desempenho no inversor nº 2, causada por um conjunto de módulos orientados para leste. Então, foi simulada a condição de retirada do conjunto de módulos desse inversor e aplicado um inversor dedicado a esses módulos. Simulado esse cenário, melhorou-se o desempenho do sistema em 9,6%, ficando, dessa forma, como sugestão de melhoria.

Contudo, fica evidenciado o impacto da variação das condições climáticas no desempenho da geração de energia fotovoltaica, principalmente em se tratando de precipitação pluviométrica.

O *software* PV*Sol demonstrou ser uma ferramenta de grande utilidade no projeto, simulação e avaliação operacional do sistema fotovoltaico, possibilitando, também, analisar opções que pudessem conferir ao projeto melhor desempenho na geração de energia.

A crescente demanda por energia e a busca por energias alternativas justificam o desenvolvimento do mercado da energia fotovoltaica e o crescimento desse na planta energética mundial. Neste contexto, todos os estudos e discussões em torno desse tema são importantes. Observa-se o interesse cada vez maior de empresas, órgãos públicos e consumidores residenciais que buscam na instalação de um sistema fotovoltaico uma forma de reduzir despesas com energia e, por sua vez, alcançar menores custos nas suas operações.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 482**. Brasília, DF: ANEEL, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 687**. Brasília, DF: ANEEL, 2015.

BEHENCK, Ivann Soares. **Estudo comparativo da viabilidade de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, através do software Homer**. 2011. 121 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Curso de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2011.

BOSCH SOLAR ENERGY CORP. **Installation and safety manual ver. 1.1**. Germany: Bosch, 2011. 23 p.

CAMPOS, Mayara Soares; ALCANTARA, Licinius D. S. Interpretação dos efeitos de tempo nublado e chuvoso sobre a radiação solar em Belém/PA para uso em sistemas fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4 (suppl.), 570-579, 2016.

CARNEIRO, Joaquim. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2009. 37 f. Projeto Interdisciplinar II - Universidade do Minho, Escola de Ciências, Departamento de Física. Guimarães, Portugal, 2017.

_____. **Módulos fotovoltaicos: características e associações**. 2010. 18 f. Apostila (Eletromagnetismo B) – Universidade do Minho, Escola de Ciências, Departamento de Física. Guimarães, Portugal, 2017.

CARVALHO, Daniel Rizzo. **Desenvolvimento de um rastreador solar biaxial**. 2011. 42 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Viçosa, 2011.

CASTRO, Rui M. G. **Introdução a energia fotovoltaica**. 2002. 51 f. Apostila (Energias Renováveis e Produção Descentralizada) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Deec – Secção de Energia, Lisboa, Portugal, Disponível em: <http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018.

CLUBE DOS INSTALADORES DE ENERGIA SOLAR. **Ligação dos cabos**. 2015. Disponível em: <<http://energiasolarbrasil.forumeiros.com/t12-ligacao-dos-cabos>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOSS, Brian *et al.* Irradiance modelling for individual cells of shaded solar photovoltaic arrays. **Solar Energy 110 ELSEVIER**, p. 410-419. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X14004770>>. Acesso em: 25 out 2019.

GREENER. **Estudo estratégico mercado fotovoltaico de geração distribuída**. São Paulo: Greener, 2018. 131 p.

HIPERENERGY. Disponível em: <<http://hiperenergy.com.br/>>. Acesso em: 09 out. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Balances**: 2017 edition. Paris, France: IEA, 2018. 21 p.

JAKICA, Nebojsa. State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews 81 ELSEVIER**, p. 1296-1328, 2018. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117307281>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

JUNIOR, Alcy M. *et al.* **Análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos com diferentes ângulos de inclinação e azimute localizados em Palmas-TO**. XIV CEEL – Uberlândia, MG, n. 5, outubro 2016. Disponível em: <http://www.arandanet.com.br/revista/fotovolt/materia/2017/02/21/desempenho_de_sistemas_fv.html>. Acesso em: 10 out. 2018.

KANG, Hyuna *et al.* **Techno-economic performance analysis of the smart solar photovoltaic blinds considering the photovoltaic panel type and the solar tracking method**: Energy & Buildings. Seul, Korea: ELSEVIER, 2019.

KOUTROULIS, Eftichios Koutroulis; KALAITZAKIS, Kostas; TZITZILONIS, Vasileios. Development of an FPGA-based system for real-time simulation of photovoltaic modules. **Microelectronics Journal 40 ELSEVIER**, p. 1094-1102, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002626920800236X>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

LALWANI, Mahendra; KOTHARI, D.P.; SINGH, Mool. Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares. **International Journal of Applied Engineering Research**, India, v. 1 n. 18, janeiro 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Operacional-01/Downloads/Investigation_of_Solar_Photovoltaic_Simulation_Sof.pdf>. Acesso em: 25 set. 2018.

MARINI, José A.; ROSSI, Luiz A. Sistematização do dimensionamento técnico e econômico de sistemas fotovoltaicos isolados por meio de programa computacional. **SciELO**, São Paulo, v. 25 n. 9, p. 67-75, abril 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/G_Rampinelli/publication/237488264>. Acesso em: 14 out. 2018.

MELO, Emerson G. de. **Geração solar fotovoltaica**: estimativa do fator de sombreamento e irradiação em modelos tridimensionais de edificações. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2012.

MERMOUD, André; WITTMER, Bruno. **Tutorial PVSyst**. 2017. Suíça. Disponível em: <http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst_Tutorials.pdf>. Acesso em: 01 out. 2018.

NAKANO, Alvaro. **Simulação de desempenho energético de tecnologias fotovoltaicas em fachada de edifício no município de São Paulo**. 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2017.

PEREIRA, Enio Bueno *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, Filipe Alexandre de Sousa; OLIVEIRA, Manuel Ângelo Sarmiento. **Curso técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica**. 2. ed. Porto, Portugal: Publindústria, 2015.

PINHEIRO, Wilma Fernandes; DINIZ, Diego Claudino de Souza. **Modelagem Tridimensional**: o uso do programa Google SketchUp na representação do projeto arquitetônico. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE AMBIENTES HIPERMÍDIA PARA APRENDIZAGEM, João Pessoa, PB, 2013. Disponível em: <http://wright.ava.ufsc.br/~alice/conahpa/anais/2013/assets/modelagem_tridimensional_wilma.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2018.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014. Disponível em: <https://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf>. Acesso em: 13 set. 2018.

PINKER, Rachel T. et al. **Surface radiation budgets in support of the GEWEX Continental-Scale International Project (GCIP) and the GEWEX Americas Prediction Project (GAPP), including the North American Land Data Assimilation System (NLDAS) Project**. *Journal of Geophysical Research* Vol. 108, NO. D22, 8844, 2003.

PVSYST, **User's Guide – PVSyst Contextual Help**. 2012. Disponível em: <<http://files.pvsyst.com/pvsyst5.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2018.

RAHIMIAN, Mina; IULO, Lisa D.; DUARTE, José M. Pinto. A Review of Predictive Software for the Design of Community Microgrids. **Hindawi Journal of Engineering**, Egito, v. 2018, p. 13. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/je/2018/5350981/abs/>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

RAMPINELLI, Giuliano Arns; KRENZINGER, Arno. Efeito do sombreamento em células de uma associação de módulos fotovoltaicos conectados à rede. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, Argentina, v. 10 n. 8, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/G_Rampinelli/publication/237488264>. Acesso em: 10 out. 2018.

REN21 SECRETARIAT. **Renewables Global Status Report**: 2018. Paris, France: REN21, 2018. 324 p.

SAMPAIO, Priscila G. V. *et al.* Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis. Renewable and Sustainable. **Energy Reviews 93 ELSEVIER**, p. 215-224, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325389474_Photovoltaiic_technologies_Mapping_from_patent_analysis>. Acesso em: 24 out. 2019.

SAUTHIER, Luís Fernando. **Modelagem Matemática de Módulos Fotovoltaicos Aplicados a Ambientes de Simulação de Geração Distribuída**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Ijuí, 2019.

SEYR JUNIOR, Ubirajara. **Avaliação de programas computacionais para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2013. 110 f. Monografia (Especialização em Eficiência Energética) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Curitiba, 2013.

SHARMA, Dinesh Kumar; VERMA, Varsha; SINGH, Anil Pratap. Review and Analysis of Solar Photovoltaic Softwares. **International Journal of Current Engineering and Technology**, Índia, v. 4 n. 7, abril 2014. Disponível em: <<https://inpressco.com/wp-content/uploads/2014/04/Paper48725-731.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2018.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES. Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SOLARIZE, **Tutoriais para Software PV*SOL**. 2017. Disponível em: <https://www.solarize.com.br/site_content/22-software-pv-sol/147-tutoriais-para-o-software-pv-sol-portugues>. Acessado em: 16 dez. 2018.

STUCKELBERGER, Michael *et al.* Review: Progress in solar cells from hydrogenated amorphous silicone. **Renewable and Sustainable Energy Reviews 76 ELSEVIER**, p. 1497-1523, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116309467>>. Acesso em: 24 out. 2019.

TRIMBLE. Disponível em: <<https://www.sketchup.com/pt-BR/products/sketchup-make>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

UMAR, Najibhamisu *et al.* Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant. **International Journal of Engineering Science Invention**, Índia, v. 7 n. 14, p. 11-24, julho 2018. Disponível em: <[http://www.ijesi.org/papers/Vol\(7\)i7/Version-2/C0707021124.pdf](http://www.ijesi.org/papers/Vol(7)i7/Version-2/C0707021124.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2018.

VERA, Luis Horacio. **Programa Computacional para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 2004. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, Porto Alegre, 2004.

VERA, Luis Horacio; KRENZINGER, Arno. **Comparação entre valores simulados e medidos para um sistema fotovoltaico autônomo**. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, Fortaleza, CE, n. 10, abril 2007. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/266230585>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

VIEIRA, Guilherme Ernani. **Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais**. In: XIII SIMPEP, Bauru, SP, n. 10, nov. 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/676.pdf>. Acessado em: 09 out. 2018.

WA SOLAR. Disponível em: <<http://www.wasolar.com.br/melhor-direcao-e-inclinacao-do-painel-solar>>. Acesso em: 25 set. 2018.

WANG, Weijie; LU, Yanmin. **Analysis of the Mean Absolute Error (MAE) and the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Rounding Model**. In: CONFERENCE ON MECHANICAL ENGINEERING, MATERIALS SCIENCE AND CIVIL ENGINEERING, Kuala Lumpur, Malaysia, dez. 2017,

WEG. Estruturas_GD. 2018. Disponível em:

<<https://documentcenter.weg.net/WEGSOLARBOX/SitePages/Home.aspx>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

ZHOU, Zhongfu; HOLLAND, Paul; IGIC, Petar M. MPPT algorithm test on a photovoltaic emulating system constructed by a DC power supply and an indoor solar panel. **Energy Conversion and Management 85 ELSEVIER**, p. 460-469, 2014. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414005317#!>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ANEXO A - EXEMPLOS DE INSTALAÇÕES TÍPICAS

a) Em edificações sobre o telhado:



b) Em edificações ou coberturas fazendo a função de telhado:



c) Em estacionamentos:



d) em edificações em fachadas:



e) Com estruturas metálicas fixas ao solo:



f) Com estruturas flutuantes sobre a água:



Outra aplicação na qual a energia fotovoltaica vem crescendo são na zona rural, algumas vezes em locais de difícil acesso a redes elétricas da concessionária. Neste caso, os sistemas são *off grid*, não estão conectados à rede elétrica da concessionária e operam isoladamente.

g) Sistema de irrigação, instalação *off grid*



h) Pontos de recarga de carros elétricos:



ANEXO B – ESTADO DA ARTE DAS FERRAMENTAS PARA PROJETO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Tabela 1 – Análise de ferramentas de projeto solar

		PV																			
		System Advisor Model	PVsyst	PV*SOL	Skellon	Solarus-PV	Polysun	CECPV Calculator	PVwatts	DDS-CAD PV	INSEL	PV Designer	PV F-CHART	SMA Off-Grid Configurator	SolarPro	Archeios	PV-DesignPro	RETScreen Plus	HOMER Pro	PVscout	HELIOS3D
light sources	natural - sun and sky (simplified/POA)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	natural - sun and sky (CIE/Perez)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
database	batteries	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	inverters database	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	PV modules database	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
PV performance models	Sandia	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	CEC	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	one/two diode (equivalent circuit)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	PVFORM (PVWatts)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
simulations/analyses	rendering/visualisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	BAPV/roof-mounted PV energy yield	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	LCOE/LCC/payback time	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
shading	simplified near-filed shading	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	c-Si	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
PV technology	thin film	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	hybrid (HIT)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	all technologies	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
design phase	conceptual/early phase	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	schematic	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	design development	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
design workflow	real-time simulation/progressive	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	multiple solutions comparison	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	integrated optimisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	dynamic simulation (other renewables)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	3D environment	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
computation	CPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	GPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	multi-threading	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	local network (multi-node)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	web/cloud	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	instancing (proxies)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
system	graphical user-interface	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	open-source	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	Windows	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	Mac OSX	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
integration general	UNIX (Linux)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	stand alone	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	3D plugin	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
integration general 3D	CAAD/BIM integrated plugin	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	(online/cloud/app) web based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	Edificius	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
interoperability	DDS-CAD	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	Sketchup	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	CAD/BIM interoperability (IFC, IGES)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	DDE (dynamic data exchange)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	CAD interoperability (fox, dwg, dxf, sat)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	BIM interoperability (IFC, IGES)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	freeware	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	free for educational/non commercial use	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	educational/student discount	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	payware	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	flexible payment options (subscription)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	bundled	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑

▼ Polysun

standard feature
 tweaking possible
 data not provided
 not supported

Tabela 2 – Análise de ferramentas de projeto solar, óptico, multifísica, luz do dia, energia de edificações inteiras e urbanas

		optical design/multiphysics											daylighting/whole building energy											urban						
		TracePro	Photopia	OpticStudio	ASAP	FRED	OptiCAD	LightTools	SPEOS, THEIA RT	Integra Lumiccept	LucidShape	OSLO	OptiX	COMSOL	TAS Engineering	OpenStudio	Sefaira	DesignBuilder	IES-VE	Green Building Studio	BSim	Honeybee	Mr. Comfy	COMPEN	ODS Studio	Vabi building performance	AECOSim Building Designer	ArchWIZARD	ARCHSIM	umi - urban daylighting
light sources	natural - sun and sky (CIE/Perez)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	natural - sun and sky (Preenham)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	natural - sun and sky (Hosek-Wilkie)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	image-based (HDRI) lighting	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	artificial - IES/EULUMDAT (luminaires)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
geometry	solid (NURBS)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	polygon mesh	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
simulations/analyses	rendering/visualisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	photometric (illum.-lum.)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	radiometric (irrad.-rad.)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	colorimetric	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	human vision	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	daylighting (climate-based/annual)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	daylighting (point-in-time)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	green certification report (LEED, etc.)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	BAPV/roof-mounted PV energy yield	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	BIPV energy yield	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	whole building energy	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	glare	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	lighting cost/LCC	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
floating point images output	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
accuracy of calculation	unbiased (physically-based)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	biased	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
radiosity	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
raytracing	radiosity	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	forward (from light source)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	backward (from camera, sensor)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	bi-directional	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
hybrid calculation	ray paths preview	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	radiosity+raytracing	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
light spectrum	rasterization+raytracing	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	visible - RGB	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	visible - spectral	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	UV-VIS-IR - spectral	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
BSDF	polarisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	BPDF (.xml)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	Material Definition Language	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	custom material BRDF	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
scale	basic materials BRDF	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	urban	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	building	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	single room	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	module (facade component)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
design phase	cell	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	conceptual/early phase	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	schematic	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
design workflow	design development	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	real-time simulation/progressive	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	multiple solutions comparison	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	integrated optimisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
computation	parametric design (node based)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	CPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	GPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	multi-threading	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	local network (multi-node)	☑																												

Tabela 4 – Análise de ferramentas de *design* solar para visualização

(continua)

		visualisation (images)																																
		mental ray/Standalone	Iray	Lightworks Iray+	DAZ Studio Pro	FurryBall RT	RealityServer	m4d	[Ox1] IrayForMaya	Bloom Unit	FUZOR	DS Bunkspeed	Vray	Corona renderer	OctaneRenderer	Maxwell Renderer	FELIX Renderer	LuxRender	Thea renderer	Cinema 4D renderer	Renderworks	CineRender	Artlantis	Render[re]	AIR	Airon	moskitoRender	FinalRender	indigo RT	indigo renderer	Brazil	MOD0 render	Twilight Render	
light sources	natural - sun and sky (CIE/Perez)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	natural - sun and sky (Preenham)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	natural - sun and sky (Hosek-Wilkie)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	image-based (HDR) lighting	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	artificial - IES/EULUMDAT (luminaires)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
geometry	solid (NURBS)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	polygon mesh	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
simulations/analyses	rendering/visualisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	photometric (illum.-lum.)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	radiometric (irrad.-rad.)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	daylighting (point-in-time)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	BAPV/roof-mounted PV energy yield	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	BIPV energy yield	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
accuracy of calculation	lighting	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	floating point images output	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
radiosity	unbiased (physically-based)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	biased calculation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
raytracing	radiosity	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	forward (from light source)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	backward (from camera, sensor)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
hybrid calculation	bi-directional	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	radiosity+raytracing	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
light spectrum	rasterization+raytracing	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	visible - RGB	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
BSDF	visible - spectral	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	Material Definition Language	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	custom material BRDF	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
scale	basic materials BRDF	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	urban	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	building	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	single room	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
design phase	module (facade component)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	conceptual/early phase	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
design workflow	schematic	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	design development	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
computation	real-time simulation/progressive	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	parametric design (node based)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	CPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	GPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	multi-threading	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	local network (multi-node)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
system	web/cloud	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	graphical user-interface	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	open-source	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	Windows	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
integration general	Mac OSX	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	UNIX (Linux)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	stand alone	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
interoperability	3D plugin	☑	☑																															

(conclusão)

		visualisation (animations, real-time presentation)										game engines											
		Showcase	CL3VER	REALIS3D	Houdini Mantra	clarisse JFX	Guerilla Render	RenderMan	3delight	Arnold	Lumion	Lumenrt	Twinmotion	Unity 3D	Unreal Engine	CRYENGINE	Brigade	Mizuchi	Delta	Torque 3D	Stingray	Frostbite	
light sources	natural - sun and sky (CIE/Perez)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	natural - sun and sky (Preenham)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	natural - sun and sky (Hosek-Wilkie)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	image-based (HDR) lighting	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
geometry	artificial - IES/EULUMDAT (luminaires)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	solid (NURBS)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
simulations/ analyses	polygon mesh	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	rendering/visualisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	photometric (illum.-lum.)																						
	radiometric (irrad.-rad.)																						
	daylighting (point-in-time)																						
	BAPV/roof-mounted PV energy yield																						
	BIPV energy yield																						
accuracy	lighting																						
	floating point images output	☑	○	○	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	○	○	○	○	○	○	○	○	☑	
radiosity	unbiased (physically-based) calculation	☑	☑	☑	○	☑	☑	☑	☑	☑	○	○	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	☑	☑	☑	
	biased calculation	☑	☑	☑	○	☑	☑	☑	☑	☑	○	○	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	☑	☑	☑	
raytracing	radiosity									○	○												
	forward (from light source)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	○	☑	☑	☑	☑	☑	○	☑	☑	☑	☑	
	backward (from camera, sensor)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	○	☑	☑	☑	☑	☑	○	☑	☑	☑	☑	
hybrid calculation	bi-directional (MLT, photon mapping)				☑		☑	☑			○	○					☑					☑	
	radiosity+raytracing									○	○												
light spectrum	rasterization+raytracing		☑							○	○		☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	visible - RGB	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
BSDF	visible - spectral	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	Material Definition Language (MDL)		○																				
	custom material BRDF	☑	☑	○	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	○	☑	○	○	☑	☑	☑	○	☑	☑	☑	
scale	basic materials BRDF	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	urban	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	building	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	single room	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
design phase	module (facade component)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	conceptual/early phase	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	schematic	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
design workflow	design development	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	real-time simulation/progressive	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
computation	parametric design (node based)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	CPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	GPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	multi-threading	☑	○	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	☑	☑	☑	○	
	local network (multi-node)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
system	web/cloud	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	graphical user-interface	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	open-source	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Windows	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
pricing	Mac OSX	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	UNIX (Linux)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	freeware	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	free for educational/non commercial use	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	educational/student discount	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
validation	payware	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	flexible payment options (subscription)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	bundled	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
	validated (CIE 171:2006)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

- ▼ Unity
- ▼ RenderMan
- ▲ Nvidia IRay/Optix
- ☑ standard feature
- ☑ tweaking possible
- data not provided
- not supported

ANEXO C – DATA SHEET MÓDULO CANADIAN CS6K



CS6K-260 | 265 | 270 | 275P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.



*Black frame product can be provided upon request.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency of up to 16.80 %
-  High PTC High PTC rating of up to 91.89 %
-  Outstanding low irradiance performance of up to 96.5 %
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 6000 Pa, wind load up to 4000 Pa *

25
years

linear power output warranty

10
years

product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / TÜV-Rheinland / CE / MCS / CEC AU / INMETRO / CQC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1
IEC 60068-2-68: SGS
Take-e-way



* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

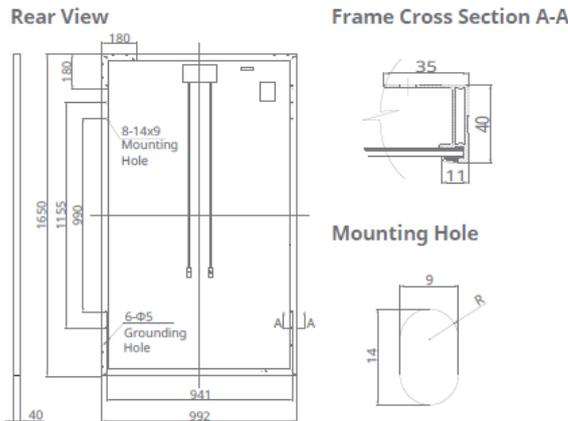
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 17 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

*For detail information, please refer to Installation Manual.

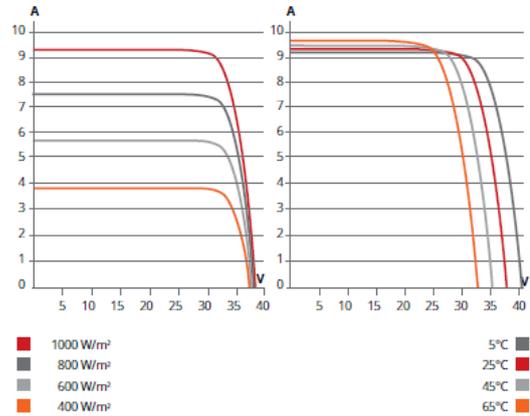
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6K-270P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W	275 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V	31.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A	9.45 A
Module Efficiency	15.88%	16.19%	16.50%	16.80%
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	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 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)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per container (40' HQ)	728 pieces

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	189 W	192 W	196 W	199 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.7 V	27.9 V	28.1 V	28.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.80 A	6.88 A	6.97 A	7.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.5 V	34.7 V	34.8 V	34.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.39 A	7.48 A	7.55 A	7.66 A

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

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

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

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

PARTNER SECTION



ANEXO D – DESTAQUES DO RELATÓRIO GERADO ATRAVÉS DO PV*SOL NA CONDIÇÃO ORIGINAL DA INSTALAÇÃO

Teste Maio

Número da proposta: Teste Maio

Vista geral do projeto

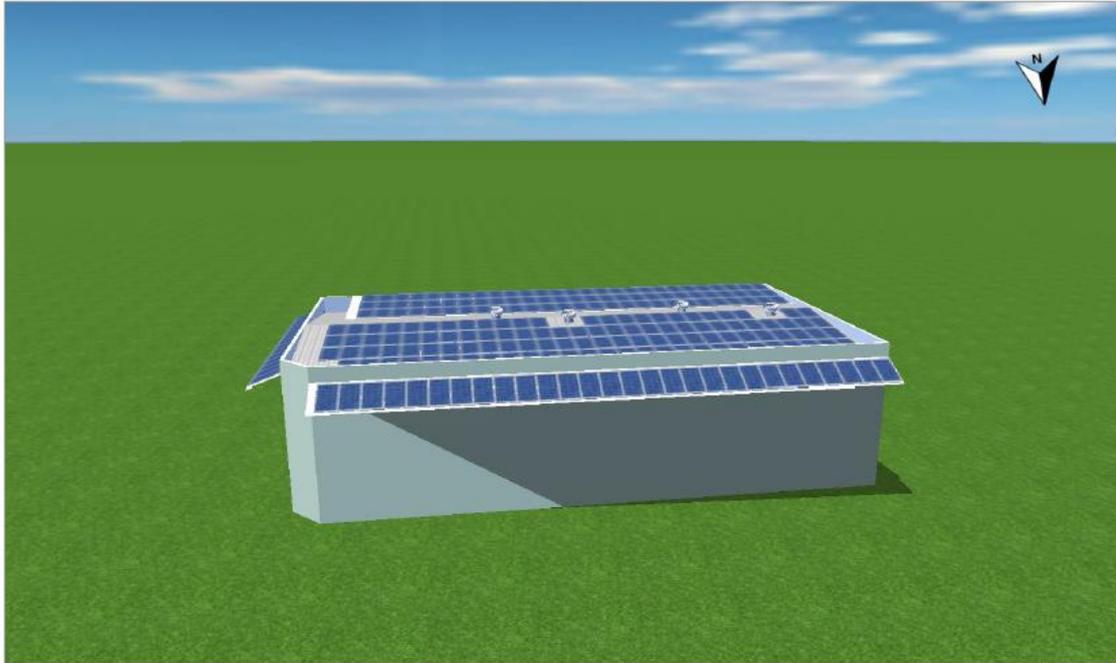


Figura: Imagem panorâmica, Modelagem 3D

Sistema fotovoltaico

3D, Sistema fv conectado à rede

Dados climáticos	Garibaldi, BRA (1991 - 2010)
Potência do gerador fotovoltaico	62,1 kWp
Area do gerador fotovoltaico	376,5 m ²
Quantidade de módulos	230
Quantidade de inversores	2

Teste Maio

Número da proposta: Teste Maio

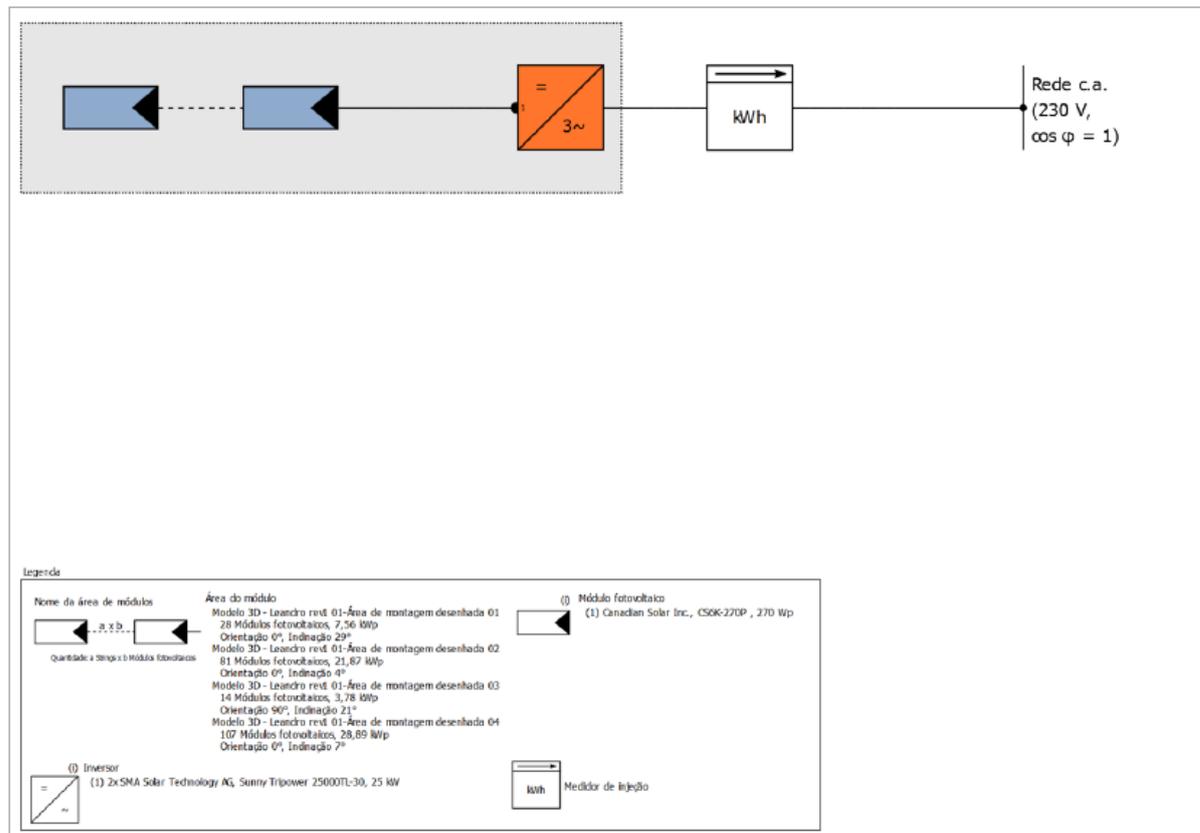


Figura: Esquema elétrico

O rendimento

O rendimento

Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	61.628 kWh
Injeção na rede	61.628 kWh
Limitação no ponto de injeção	0 kWh
Autoconsumo	0,0 %
Fração solar	0,0 %
Rendimento anual específico	992,41 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	58,5 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	28,0 %/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	36.977 kg/ano

Análise financeira

Seus lucros

Investimento total	242.000,00 R\$
Taxa interna de retorno	25,57 %
Prazo de amortização	4,5 Anos
Custos de geração da energia	0,18 R\$/kWh
Balanço / Conceito de injeção	Injeção total

Teste Maio

Número da proposta: Teste Maio

Configuração do sistema

Vista geral

Dados do sistema

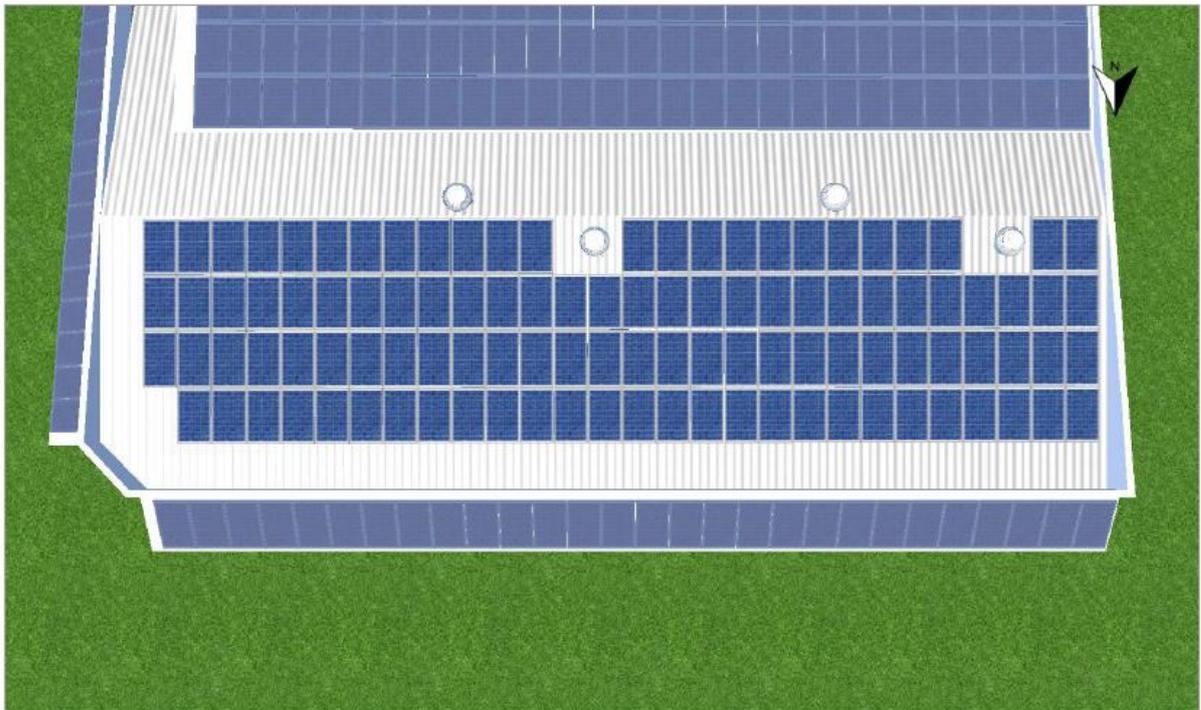
Tipo de sistema	3D, Sistema fv conectado à rede
Início da operação	31/05/2019

Dados climáticos

Local	Garibaldi, BRA (1991 - 2010)
Resolução dos dados	1 h
Modelos de simulação utilizados:	
- Irradiação difusa no plano horizontal	Hofmann
- Irradiação sobre o plano inclinada	Hay & Davies

Gerador fotovoltaico, 4. Área do módulo - Modelo 3D - Leandro rev1 01-Área de montagem desenhada 04

Nome	Modelo 3D - Leandro rev1 01-Área de montagem desenhada 04
Módulos fotovoltaicos	107 x CS6K-270P
Fabricante	Canadian Solar Inc.
Inclinação	7 °
Orientação	Norte 0 °
Situação de montagem	Paralelo ao telhado - boa ventilação traseira
Area do gerador fotovoltaico	175,1 m ²



Degradação do módulo, 4. Área do módulo - Modelo 3D - Leandro rev1 01-Área de montagem desenhada 04

Potência restante após 20 anos

90 %

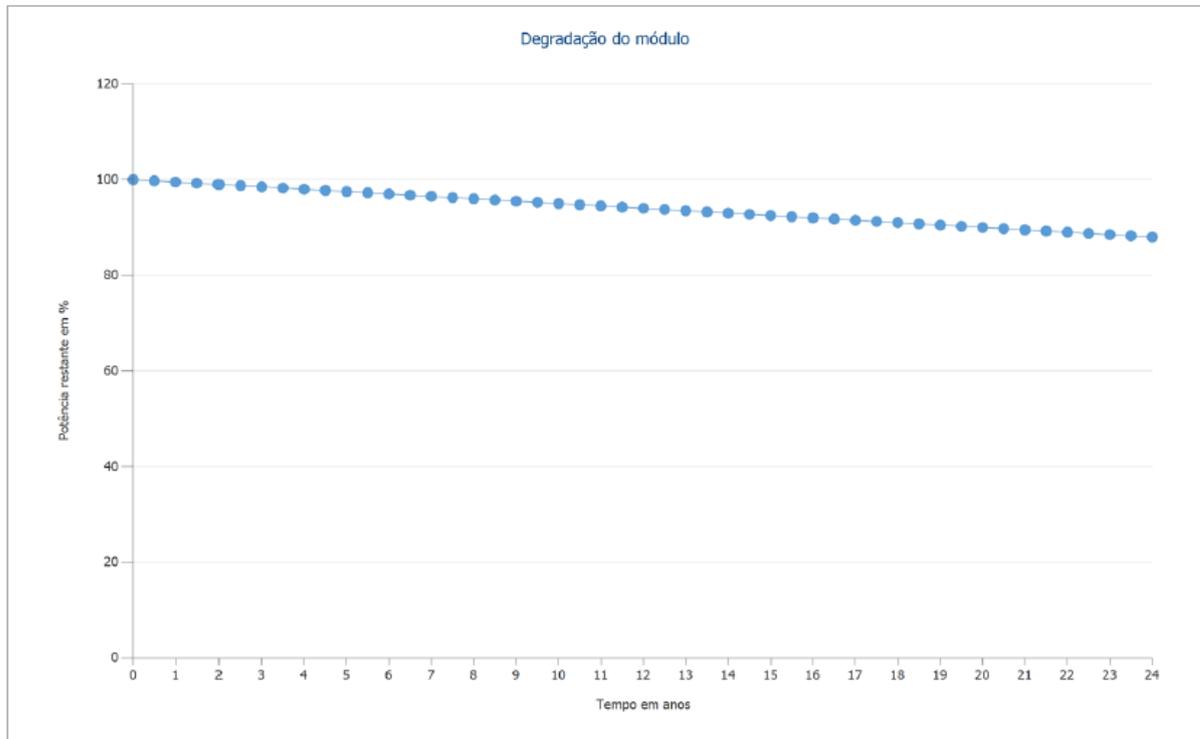
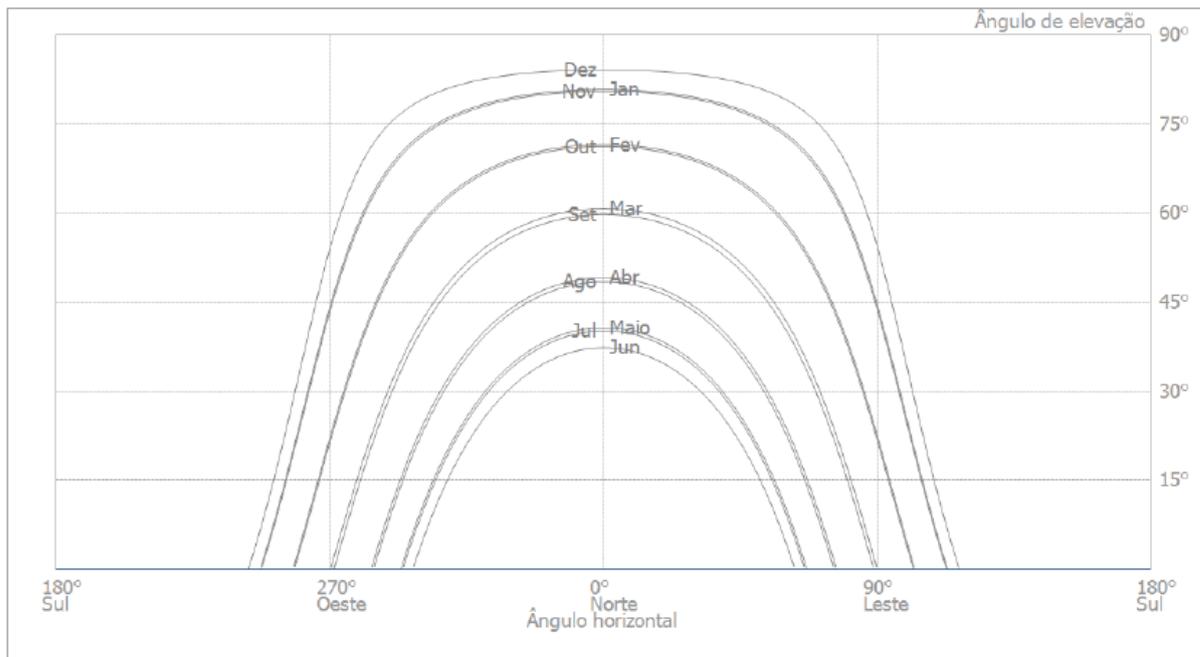


Figura: Degradação do módulo, 4. Área do módulo - Modelo 3D - Leandro rev1 01-Área de montagem desenhada 04

Linha do horizonte, Modelagem 3D



Configuração do inversor

Configuração 1

Áreas do módulo	Modelo 3D - Leandro rev1 01-Área de montagem desenhada 01 + Modelo 3D - Leandro rev1 01-Área de montagem desenhada 02
Inversor 1	
Fabricante	SMA Solar Technology AG
Modelo	Sunny Tripower 25000TL-30
Quantidade	1
Fator dimensionamento	117,7 %
Configuração	PMP 1: 1 x 28 1 x 21 1 x 20 PMP 2: 2 x 20

Configuração 2

Áreas do módulo	Modelo 3D - Leandro rev1 01-Área de montagem desenhada 03 + Modelo 3D - Leandro rev1 01-Área de montagem desenhada 04
Inversor 1	
Fabricante	SMA Solar Technology AG
Modelo	Sunny Tripower 25000TL-30
Quantidade	1
Fator dimensionamento	130,7 %
Configuração	PMP 1: 1 x 14 2 x 22 PMP 2: 3 x 21

Rede c.a.

Rede c.a.

Quantidade de fases	3
Tensão da rede (monofásica)	230 V
Fator de potência (cos phi)	+/- 1

Resultados da simulação

Resultados Sistema completo

Sistema fotovoltaico

Potência do gerador fotovoltaico	62,1 kWp
Rendimento anual específico	992,41 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	58,5 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	28,0 %/Ano
Injeção na rede	61.628 kWh/Ano
Injeção na rede no primeiro ano (incl. degradação do módulo)	61.447 kWh/Ano
Consumo em espera (Inversor)	24 kWh/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	36.977 kg/ano

Gráfico do fluxo de energia

Projeto: Teste Maio



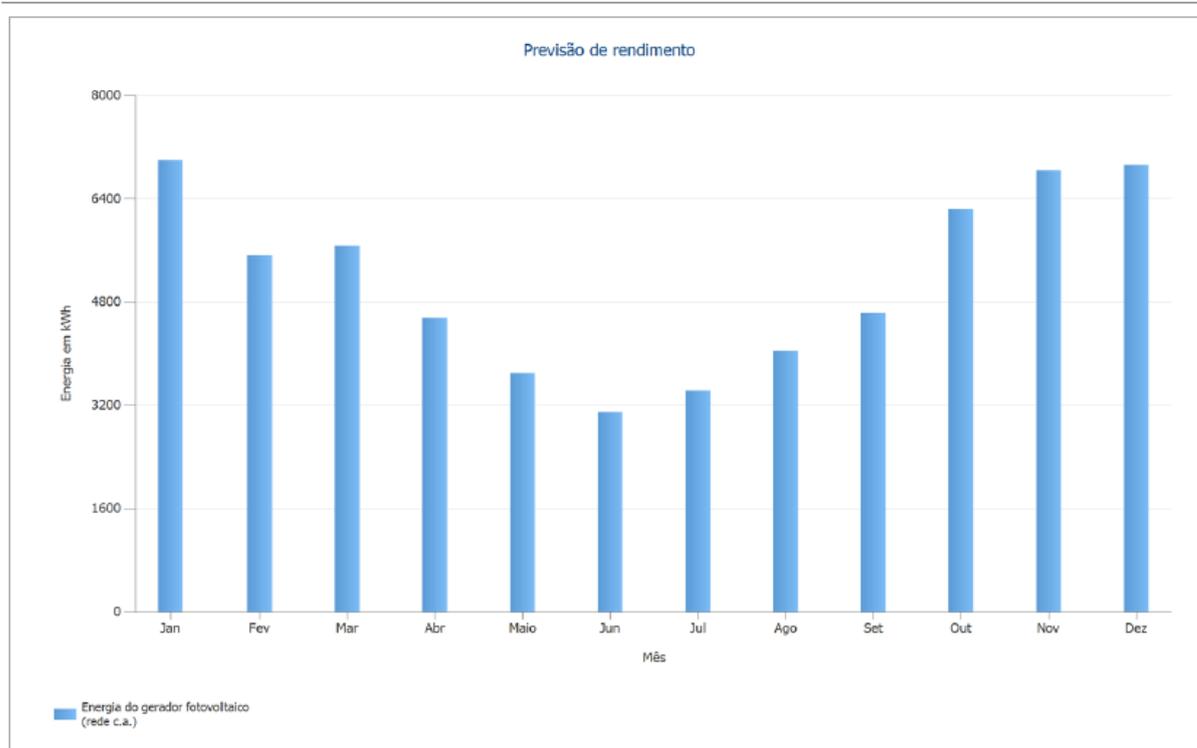
Todos os valores em kWh
Pequenos desvios nos valores podem ser causados pelo arredondamento dos números.
created with PV*SOL

Capturas da tela, Modelagem 3D

Ambiente



Previsão de rendimento mensal



Balanco energético do sistema fotovoltaico

Balanco energético do sistema fotovoltaico

Irradiação global - horizontal	1.649,51 kWh/m²	
Desvio em relação ao espectro padrão	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Reflexão do solo (albedo)	5,85 kWh/m ²	0,35 %
Orientação e inclinação do plano dos módulos	44,48 kWh/m ²	2,69 %
Sombreamento independente do módulo	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Reflexão na superfície de módulo	-16,43 kWh/m ²	-0,97 %
Irradiação global no plano dos módulos	1.683,41 kWh/m²	
	1.683,41 kWh/m ²	
	x 376,46 m ²	
	= 633.744,84 kWh	
Irradiação global fotovoltaica	633.744,84 kWh	
Sujeira	0,00 kWh	0,00 %
Conversão de STC (eficiência nominal do módulo 16,47 %)	-529.398,41 kWh	-83,53 %
Energia fotovoltaica nominal	104.346,43 kWh	
Sombra parcial, específica do módulo	-26.231,36 kWh	-25,14 %
Comportamento sob baixa irradiação	-1.259,11 kWh	-1,61 %
Desvio em relação à temperatura nominal do módulo	-4.404,86 kWh	-5,73 %
Diodos	-300,43 kWh	-0,41 %
Mismatch (indicações do fabricante)	0,00 kWh	0,00 %
Mismatch (conexão/sombra)	-8.065,58 kWh	-11,18 %
Energia fotovoltaica (c.c.) sem redução pelo inversor	64.085,10 kWh	
Potência CC mínima não atingida	-19,80 kWh	-0,03 %
Redução devido à faixa de tensão PMP	-11,46 kWh	-0,02 %
Redução devido à corrente c.c. máx.	0,00 kWh	0,00 %
Redução devido à potência c.c. máx.	0,00 kWh	0,00 %
Redução devido à potência c.a. máx./cos phi	-82,99 kWh	-0,13 %
Perda no seguidor PMP	-186,02 kWh	-0,29 %
Energia fotovoltaica (c.c.)	63.784,83 kWh	
Energia na entrada do inversor	63.784,83 kWh	
Divergência entre tensão de entrada e tensão nominal	-151,91 kWh	-0,24 %
Conversão c.c./c.a.	-1.381,96 kWh	-2,17 %
Consumo em espera (Inversor)	-24,19 kWh	-0,04 %
Perda cabeamento total	-622,75 kWh	-1,00 %
Energia fotovoltaica (c.a.) menos consumo em espera	61.604,02 kWh	
Injeção na rede	61.628,43 kWh	

Análise financeira

Vista geral

Dados do sistema

Injeção na rede no primeiro ano (incl. degradação do módulo)	61.447 kWh/Ano
Potência do gerador fotovoltaico	62,1 kWp
Início da operação do sistema	31/05/2019
Prazo do projeto	24 Anos
Juro do capital	1 %

Parâmetros econômicos

Taxa interna de retorno	25,57 %
Fluxo de caixa acumulado	1.771.364,34 R\$
Prazo de amortização	4,5 Anos
Custos de geração da energia	0,18 R\$/kWh

Vista geral de pagamentos

Investimento específico	3.896,94 R\$/kWp
Custos de investimento	242.000,00 R\$
Pagamentos únicos	0,00 R\$
Subsídios	0,00 R\$
Custos anuais	0,00 R\$/Ano
Outros lucros ou economias	0,00 R\$/Ano

Remuneração e Economia

Remuneração total no primeiro ano	52.071,62 R\$/Ano
LIGHT - Comercial classe B	
Validade	01/12/2018 - 30/11/2117
Tarifa de injeção específica	0,8263 R\$/kWh
Tarifa de injeção	52.071,62 R\$/Ano
Inflação da tarifa de injeção	5,00 %/Ano

Fluxo de caixa

Tabela Fluxo de Caixa

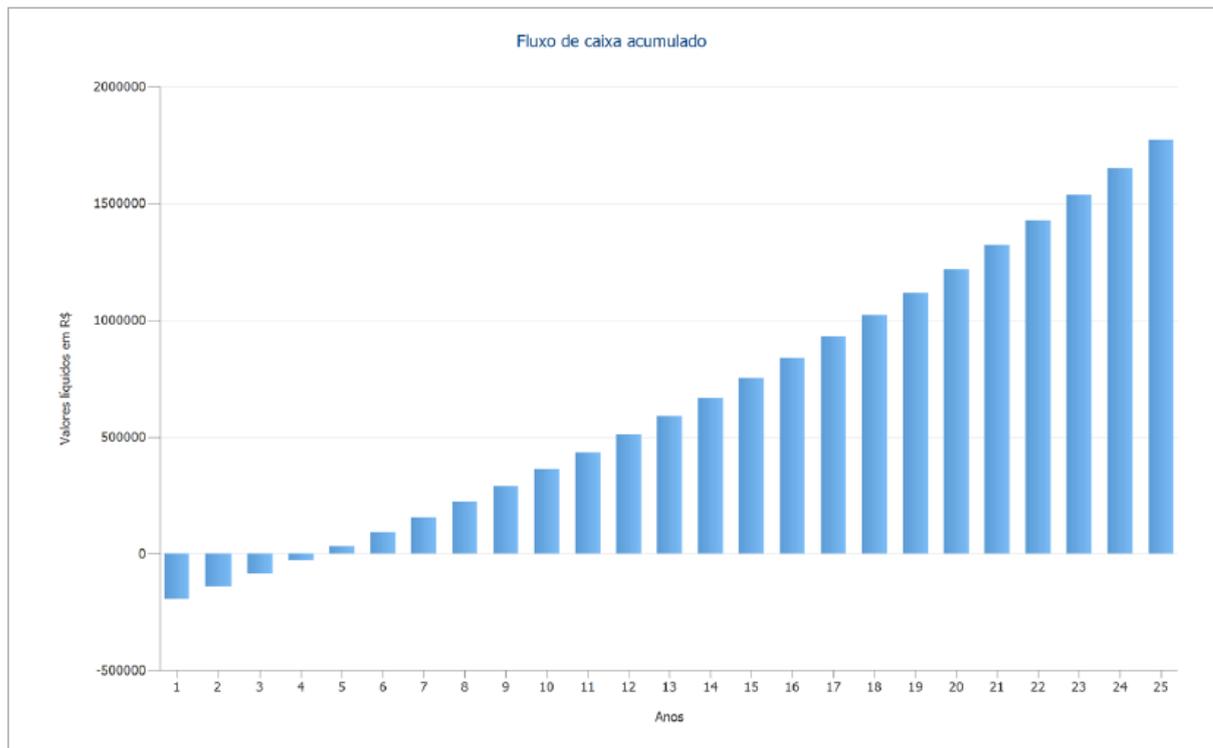
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Investimentos	-R\$ 242.000,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Tarifa de injeção	R\$ 48.631,12	R\$ 53.388,11	R\$ 55.283,86	R\$ 57.245,46	R\$ 59.275,12
Fluxo de caixa anual	-R\$ 193.368,88	R\$ 53.388,11	R\$ 55.283,86	R\$ 57.245,46	R\$ 59.275,12
Fluxo de caixa acumulado	-R\$ 193.368,88	-R\$ 139.980,77	-R\$ 84.696,91	-R\$ 27.451,46	R\$ 31.823,66

	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Investimentos	R\$ 0,00				
Tarifa de injeção	R\$ 61.375,13	R\$ 63.547,87	R\$ 65.795,76	R\$ 68.121,33	R\$ 70.527,17
Fluxo de caixa anual	R\$ 61.375,13	R\$ 63.547,87	R\$ 65.795,76	R\$ 68.121,33	R\$ 70.527,17
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 93.198,79	R\$ 156.746,66	R\$ 222.542,42	R\$ 290.663,75	R\$ 361.190,92

	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
Investimentos	R\$ 0,00				
Tarifa de injeção	R\$ 73.015,96	R\$ 75.590,48	R\$ 78.253,56	R\$ 81.008,16	R\$ 83.857,31
Fluxo de caixa anual	R\$ 73.015,96	R\$ 75.590,48	R\$ 78.253,56	R\$ 81.008,16	R\$ 83.857,31
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 434.206,88	R\$ 509.797,36	R\$ 588.050,92	R\$ 669.059,08	R\$ 752.916,38

	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Investimentos	R\$ 0,00				
Tarifa de injeção	R\$ 86.804,14	R\$ 89.851,88	R\$ 93.003,87	R\$ 96.263,54	R\$ 99.634,42
Fluxo de caixa anual	R\$ 86.804,14	R\$ 89.851,88	R\$ 93.003,87	R\$ 96.263,54	R\$ 99.634,42
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 839.720,52	R\$ 929.572,41	R\$ 1.022.576,28	R\$ 1.118.839,82	R\$ 1.218.474,25

	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
Investimentos	R\$ 0,00				
Tarifa de injeção	R\$ 103.120,18	R\$ 106.724,57	R\$ 110.451,48	R\$ 114.304,90	R\$ 118.288,96
Fluxo de caixa anual	R\$ 103.120,18	R\$ 106.724,57	R\$ 110.451,48	R\$ 114.304,90	R\$ 118.288,96
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 1.321.594,43	R\$ 1.428.319,00	R\$ 1.538.770,48	R\$ 1.653.075,38	R\$ 1.771.364,34



Folha de dados módulo fotovoltaico

Módulo fotovoltaico: CS6K-270P

Fabricante	Canadian Solar Inc.
Disponível	Sim
Dados elétricos	
Tipo de célula	Si policristalino
Exige inversor com transformador	Não
Número de células	60
Número de diodos de desvio	3
Dados mecânicos	
Largura	992 mm
Altura	1650 mm
Profundidade	40 mm
Largura da moldura	35 mm
Peso	18,2 kg
Com moldura	Não
Características U-I sob STC	
Tensão PMP	30,8 V
Corrente PMP	8,75 A
Potência nominal	270 W
Tensão de circuito aberto	37,9 V
Corrente de curto-circuito	9,32 A
Aumento da tensão de circuito aberto até estabilização	0 %
Características em carga parcial U-I	
Fonte dos valores	Fabricante/próprio
Irradiação	200 W/m ²
Tensão PMP com carga parcial	30,0294 V
Corrente PMP com carga parcial	1,7385 A
Tensão de circuito aberto com carga parcial	35,3364 V
Corrente de curto-circuito sob carga parcial	1,8647 A
Mais	
Coefficiente de tensão	-117,11 mV/K
Coefficiente de corrente	4,66 mA/K
Coefficiente de potência	-0,4 %/K
Fator de correção do ângulo	99 %
Tensão máxima do sistema	1000 V
Capacidade térmica esp.	920 J/(kg*K)
Coefficiente de absorção	70 %
Coefficiente de emissão	85 %

Folha de dados inversor

Inversor: Sunny Tripower 25000TL-30

Fabricante	SMA Solar Technology AG
Disponível	Sim
Dados elétricos	
Potência nominal c.c.	25,55 kW
Potência nominal c.a.	25 kW
Potência c.c. máx.	25,55 kW
Potência c.a. máx.	25 kVA
Consumo em espera	12,5 W
Consumo noturno	1 W
Injeção a partir de	84 W
Corrente de entrada máx.	66 A
Tensão de entrada máx.	1000 V
Tensão nominal c.c.	600 V
Quantidade de fases de injeção	3
Quantidade de entradas c.c.	6
Com transformador	Não
Alteração do eficiência se a tensão de entrada se desviar da tensão nominal	-0,49 %/100V
Seguidor PMP	
Potência de saída < 20% da potência nominal	97 %
Potência de saída > 20% da potência nominal	100 %
Quantidade de seguidores es PMP	2
Corrente de entrada máx. por seguidor PMP	33 A
Potência de entrada máx. por seguidor PMP	25,55 kW
Tensão mín. do PMP	150 V
Tensão máx. PMP	800 V

