

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JARLAN SOARES DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA GERAÇÃO DE ENERGIA
UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS E
POLICRISTALINOS**

Alegrete

2016

JARLAN SOARES DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA GERAÇÃO DE ENERGIA
UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS E
POLICRISTALINOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Guarienti Pozzebon.

Alegrete

2016

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais)

D586a Da Silva, Jarlan Soares

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA GERAÇÃO DE
ENERGIA UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS E
POLICRISTALINOS / Jarlan Soares Da Silva.

64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2016.

"Orientação: Giovani Guarienti Pozzebon".

1. Painéis Fotovoltaicos. 2. Fontes Alternativas. I.
Título.

JARLAN SOARES DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA GERAÇÃO DE ENERGIA
UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS E
POLICRISTALINOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Engenharia Elétrica: 23, junho de 2016.

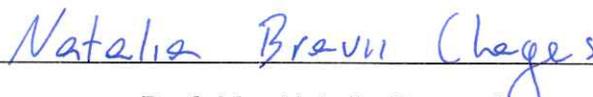
Banca examinadora:



Prof. Dr. Giovanni Guarienti Pozzebon
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Me. Guilherme Sebastião da Silva
UNIPAMPA



Prof. Me. Natalia Braun Chagas
UNIPAMPA

Dedico este Trabalho aos meus amados pais, João Rodrigues da Silva e Verbena Soares Cardoso da Silva, maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força na realização deste trabalho. Ao Prof. Giovani, meu orientador e amigo que colaborou com este trabalho. Um agradecimento especial a minha mãe Verbena Soares, ao meu pai João Rodrigues, ao meu irmão Jailton, a minha irmã Joabene Soares, que me apoiam incondicionalmente. A quem amo minha querida Gleice Garcia; minhas famílias adotivas, Martins, em São José do Rio Preto- SP e Garcia em Alegrete- RS, que me acolheram como um filho e me ajudaram a ser uma pessoa melhor, e a todos os meus amigos, colegas e professores.

“Ainda que um exército se acampe contra mim, meu coração não temerá; ainda que se declare guerra contra mim, mesmo assim estarei confiante.”.

Salmo 27,3.

RESUMO

Este trabalho realiza uma análise de painéis fotovoltaicos monocristalinos e policristalinos sob a influência de temperaturas acima de suas temperaturas nominais de operação. Para isto, foram utilizados modelos matemáticos para a obtenção das curvas que caracterizam a operação desses painéis de acordo com os níveis de irradiação solar e temperatura deste. Baseado nesses resultados, fez-se uma análise de viabilidade e do retorno financeiro para as diversas temperaturas a que os painéis seriam submetidos. Assim, foi possível ressaltar a importância dessas considerações para se projetar empreendimentos fotovoltaicos.

Palavras-Chave: Fotovoltaico, Monocristalinos, Policristalinos, Temperatura.

ABSTRACT

This work makes an analysis of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels under the influence of temperatures above their nominal operating temperatures. For this, mathematical models were used to obtain the curves which characterize the operation there of in accordance with the levels of solar radiation and temperature of the panels. Based on these results we made it a feasibility and financial return for various temperatures in which the panels will be submitted. Thus, it was possible to highlight the importance of these considerations in designing photovoltaic projects.

Keywords: Photovoltaics, Monocrystalline, Polycrystalline, Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Reflexão dos raios solares.....	26
Figura 2-Distribuição mundial de irradiância solar anual em kWh/m ²	27
Figura 3-Distribuição de irradiância solar anual em kWh/m ² no Brasil.	28
Figura 4-Lingote de silício monocristalino	29
Figura 5-Célula de silício monocristalino.	30
Figura 6-Célula policristalina	31
Figura 7-Circuito painel fotovoltaico extraído Psim.....	34
Figura 8-Circuito fotovoltaico real.....	34
Figura 9-Curva IxV característica resultados monocristalinos	39
Figura 10-Curva IxV validação resultados monocristalinos	40
Figura 11-Curva IxV característica resultados policristalinos	41
Figura 12-Validação resultados policristalinos	42
Figura 13-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 25°C.	43
Figura 14-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 45°C.	44
Figura 15-Curva potência x tensão, corrente x tensão e ponto de mppt a temperatura de 65°C.	45
Figura 16-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 25°C.	46
Figura 17-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 45°C.	47
Figura 18-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 65°C	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Retorno financeiro para painéis policristalinos	54
Tabela 2 – Retorno financeiro para painéis monocristalinos	55
Tabela 3 – Retorno financeiro para painéis policristalinos (aplicação).....	56
Tabela 4 – Retorno financeiro para painéis monocristalinos (aplicação)	56

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Objetivos.....	24
2. REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.2 Importância de se ter um bom fator de geração	28
2.3 O Painel Solar Fotovoltaico de Silício Monocristalino	29
<i>Vantagens</i>	30
<i>Desvantagens</i>	30
2.4 Painel Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino.....	31
<i>Vantagens</i>	32
<i>Desvantagens</i>	32
2.5 Motivação	32
3. METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	33
3.1 Modelo elétrico do painel fotovoltaico.....	33
3.2 I_{ph} – Fonte de Corrente Dependente	35
3.3 I_d – Diodo em paralelo.....	35
3.4 Resistências R_{sh} e R_{ph}	37
4. RESULTADOS.....	39
4.1 Painel monocristalino.....	39
4.2 Painel policristalino.....	40
4.3 Resultados obtidos do painel monocristalino	43
<i>Simulação com temperatura de operação de 25°C</i>	43
<i>Simulação com temperatura de operação de 45°C</i>	43
<i>Simulação com temperatura de operação de 65°C</i>	44
4.4 Resultados obtidos do painel fotovoltaico policristalino	46
<i>Simulação com temperatura de operação de 25°C</i>	46
<i>Simulação com temperatura de operação de 45°C</i>	47
<i>Simulação com temperatura de operação de 65°C</i>	48

4.5	Análise de custos dos painéis fotovoltaicos	49
	<i>Preço do watt do painel</i>	49
	<i>Preço da energia elétrica</i>	49
	<i>Produção diária do painel</i>	49
	<i>Tempo de retorno financeiro em anos</i>	50
4.5.1	Retorno do investimento do <i>watt</i> instalado	50
4.6	Exemplo de aplicação	52
5.	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	ANEXOS	59

1. INTRODUÇÃO

O sol é o componente primário de formação dos demais tipos de energia. A humanidade precisa utilizar diversos tipos de energia para fins de gerar trabalho, conforto e manutenção da vida, sendo a energia elétrica e as de petróleo as de maior consumo final. O petróleo é uma fonte não renovável e muito agressiva para o meio ambiente e à saúde humana, evidenciando a tendência da eletricidade se tornar a principal e mais importante [5].

Seguindo essa tendência, há necessidade de buscar meios de geração renováveis e que causem o mínimo de impacto ambiental. Em 1839, foi observado, pela primeira vez, efeito fotovoltaico que é o surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando exposto à luz visível, [3], por Edmond Becquerel. Ele verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz [2].

As células solares fotovoltaicas, inicialmente foram desenvolvidas com o objetivo de serem utilizadas como fonte de energia aplicada em satélites artificiais. Provavelmente o uso mais bem sucedido de painéis solares é em veículos espaciais, incluindo a maioria das naves espaciais que orbitam a Terra e Marte. Nas últimas décadas, as células fotovoltaicas vêm sendo melhoradas, o que permite um aumento de rendimento na geração solar, e, devido ao aumento do preço do petróleo e a busca de uma fonte de energia mais segura, que gere menores impactos ambientais, esse tipo de geração tem se destacado e sido centro de muitos estudos, trazendo grandes avanços em rendimento e melhorando, assim, seu preço e sua eficiência [4].

Existe uma grande quantidade de aparelhos e tecnologias para produzir energia solar através do efeito fotovoltaico, mas a que se destaca comercialmente são painéis compostos por células monocristalinas ou policristalinas devido ao seu custo benefício atrativo e tecnologia amplamente difundida. Os módulos solares ficam expostos diretamente à irradiação, esse absorve calor em ambiente de temperatura degradante e de difícil dissipação faz com que a temperatura de operação seja alta, o que não é desejável, pois esses painéis foram projetados para ambiente europeu e, quando submetidos ao stress de temperatura, a sua eficiência cai drasticamente [6]. Por isso, é de suma importância o estudo e a análise da geração de painéis

fotovoltaicos quanto estes são submetidos a diferentes temperaturas de operação, podendo assim estimar qual sua real eficiência em determinadas condições específicas ditadas pela região onde os painéis serão instalados.

1.1 Objetivos

Tendo em vista que o crescimento da geração fotovoltaica assume um dos grandes desafios e a escolha de um componente principal nesse sistema são os painéis fotovoltaicos; a grande crise hídrica no país exige a busca por outras fontes de energia elétrica com preferência pela energia renovável; na qual a maior fonte em sua matriz energética é a geração hidroelétrica, sendo a energia solar ainda pouco explorada. Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal a realização de um estudo da produção de energia solar, comparando duas tecnologias de painéis fotovoltaicos: monocristalinos e policristalinos, traçando suas curvas características e considerando seus comportamentos em regiões tropicais, cujas eficiências podem cair bruscamente em temperaturas acima de 25°C, o que compromete diretamente o rendimento da produção de energia.

1.2 Justificativa

Com o aumento da demanda de energia elétrica houve a necessidade novas fontes de geração de energia, especialmente a energia fotovoltaica por ser uma fonte de baixo impacto ambiental. As tecnologias de exploração de energia solar fotovoltaica que utilizamos comercialmente foram desenvolvidas na Europa, onde as temperaturas são relativamente mais baixas comparadas com o Brasil. Portanto, é de suma importância a realização de estudos que consideram diferentes temperaturas de operação desses sistemas fotovoltaicos para assim quantizar de forma mais adequada o retorno das instalações, considerando as regiões onde foram instalados. Além disso, isto também possibilita realizar um dimensionamento da potência a ser instalada mais próxima da potência necessária.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia solar

O nível de radiação solar incidente na atmosfera terrestre vai depender diretamente da distância em que o sol se posiciona em relação à terra.

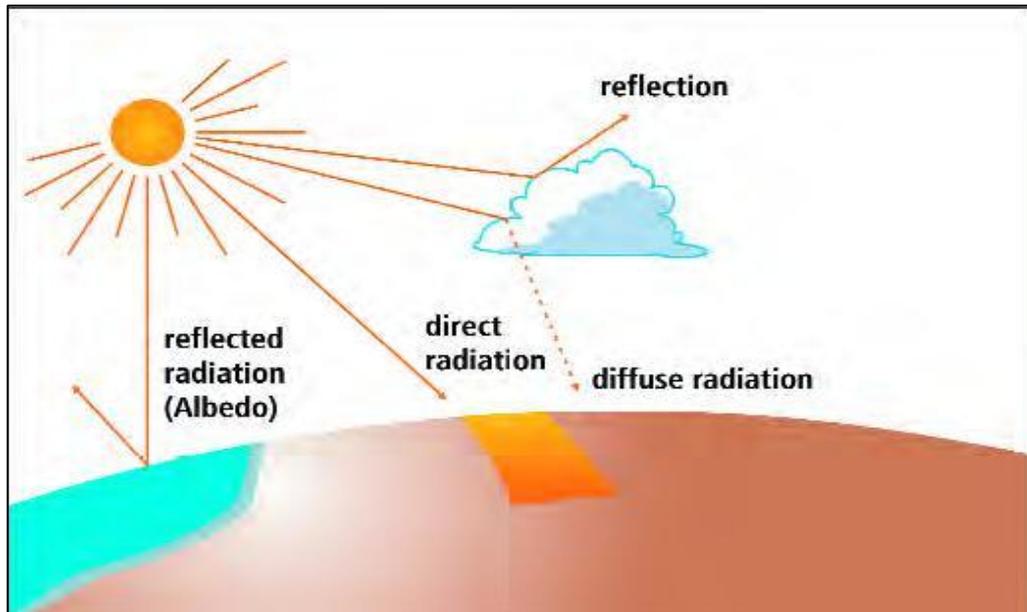
Ao longo do ano, a distância entre ambos os corpos celestiais variam entre 1.47×10^8 Km e 1.52×10^8 [2]. Como resultado, a irradiação flutua entre 1325W/m^2 e 1412W/m^2 . O valor médio é referido como uma constante solar: $E_0=1367\text{W/m}^2$ [1]. A intensidade de irradiação não alcança a superfície terrestre, não é o mesmo da atmosfera, essa reduz a insolação através da reflexão, absorção e dispersão.

Em caso de condições climáticas favoráveis ao meio dia (12:00), a irradiação pode atingir os 1000W/m^2 na superfície da Terra, podendo variar a reflexão da radiação através das nuvens, podem ocorrer picos de insolação com valores de 1400W/m^2 em curtos períodos [1]. Este valor de irradiação é independentemente relativo em relação à localização, pode ocorrer em dias parcialmente nublados. Como este valor varia muito no decorrer do ano, o ganho energético da radiação solar dará um valor global anual kWh/m^2 , variando muito de acordo com a região [3].

A luz solar que incide na superfície terrestre compreende dois tipos, conforme a Figura 1:

- * Radiação solar incidente, somente em torno de 25% penetra diretamente na superfície da Terra sem nenhuma interferência da atmosfera, constituindo a insolação direta.
- * A insolação difusa é constituída de radiação solar que é espalhada ou refletida de volta para a Terra. Ela é responsável pela claridade do céu durante o dia e pela iluminação de áreas que não recebem iluminação direta do sol [1].

Figura 1-.Reflexão dos raios solares.

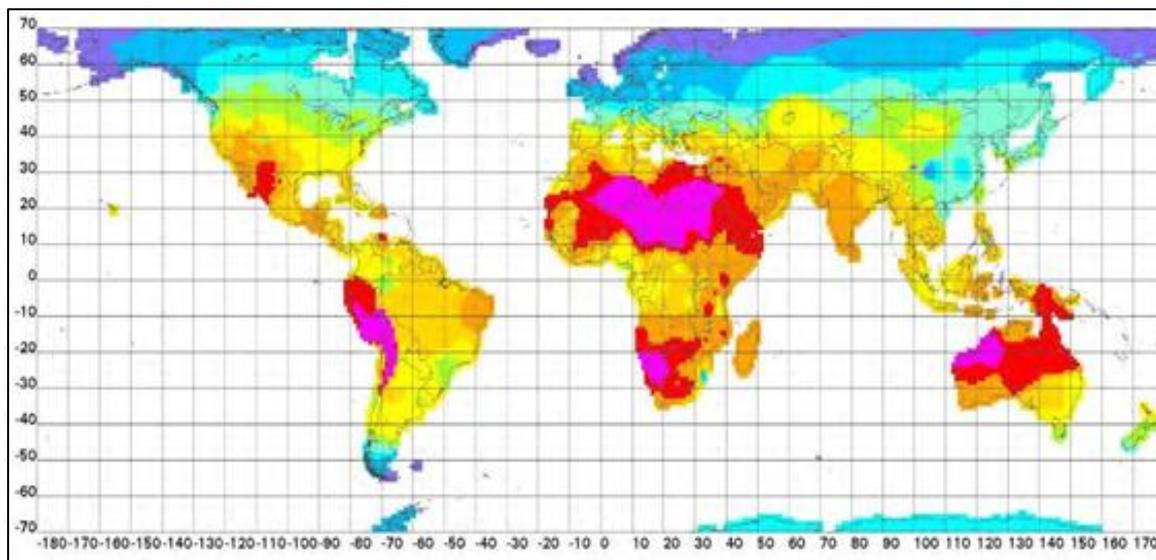


Fonte [1].

Quando se refere à irradiância, as regiões no equador são onde têm os maiores níveis com valores superiores a 2300kWh/m^2 por ano, enquanto no sul da Europa recebe anualmente sua irradiância máxima de 1700kWh/m^2 e a Alemanha recebe uma média de 1040kWh/m^2 [1].

Algumas regiões no equador atingem valores superiores a 2300kWh/m^2 por ano, enquanto o Sul da Europa recebe anualmente uma irradiância solar máxima de 1700kWh/m^2 e Alemanha, que, na atualidade é um dos grandes exploradores de energia solar, recebe uma média de 1040kWh/m^2 [1]. Porém nas regiões europeias significativas a variação principalmente as estações do ano onde há uma grande diferença de insolação, mostrado na figura 2.

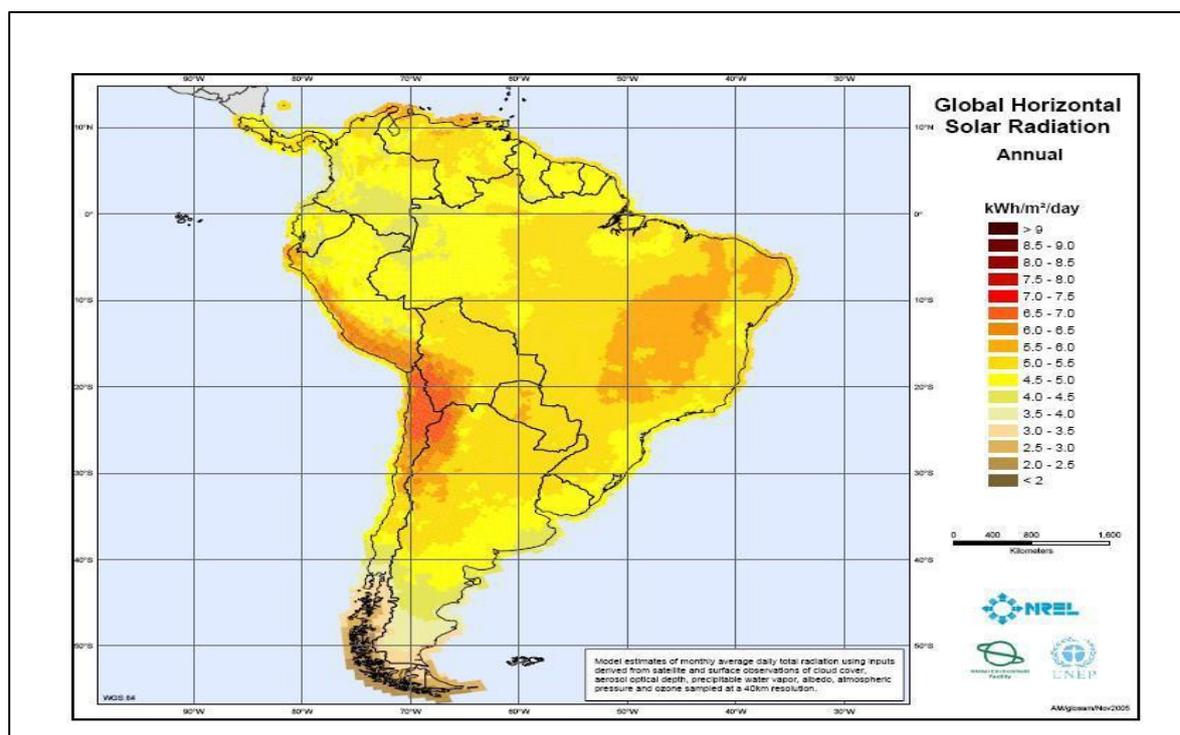
Figura 2-Distribuição mundial de irradiância solar anual em kWh/m².



Fonte.[1].

No Brasil, quando se trata de energia solar, existe um grande potencial, pois os níveis de irradiação são altos, levando em referência as grandes produtoras que ficam localizadas na Europa. Possui em média de 5,5kWh/m² dia, a média de valores 2000kWh/m² por ano. Os valores acima estão situados nos estados da região nordeste e no norte do estado de Minas Gerais, enquanto as menores médias, 4,5kWh/m² diária e 1642kWh/m² anual, estão espalhadas em pequenos pontos de todo território nacional, são variações relativamente médias [5]. Sendo um território de grandes dimensões, essa forma de gerar energia é estratégica, pois sua capacidade é grande e são poucas restrições em toda parte do estado.

Figura 3-Distribuição de irradiância solar anual em kWh/m² no Brasil.



Fonte. [5].

2.2 Importância de se ter um bom fator de geração

O grande potencial de geração de energia fotovoltaica de uma região ou país é muito importante e é preciso explorar o seu desenvolvimento e crescimento, porém não existem outros fatores que possam influenciar de maneira direta e efetiva para expansão deste tipo de sistema.

Um bom fator significa é que existe energia em potencial a ser explorada e com boa viabilidade, além de estimular empresas que exploram a geração de energia, atrai também empresas que consomem muito, pois estarão mais próximas da fonte geradora.

A energia elétrica é um dos grandes fatores que impulsionam o crescimento e desenvolvimento da humanidade, porém essa pode ser gerada de diversas maneiras e em cada parte existe um tipo característico de geração, sendo que a implementação de novo tipo deverá ser justificado por algum fator como: econômico, ambiental, demanda ou busca suprir alguma necessidade já existente e não possa suprir.

Para a escolha de geração de energia solar alguns destes itens acima devem ter sido solicitados. Mas, para que seja efetivado, é preciso ter viabilidade financeira, existem fatores que podem influenciar diretamente como influências políticas, subsídios, novos nichos de mercado, tecnologia avançada.

A localização é um fator crucial, pois os valores da área em que o empreendimento vai ser construído são determinantes, também a disponibilidade de mão-de-obra, além do clima que influencia na geração e manutenção dos conjuntos de geração.

2.3 O Painel Solar Fotovoltaico de Silício Monocristalino

Este modelo de painel fotovoltaico é uma tecnologia mais antiga, a eficiência do silício monocristalino fica em torno de 14 e 21%, comercialmente falando se levando em consideração os policristalinos, [4]. Painéis solares de silício monocristalinos (mono-Si) são facilmente reconhecíveis, pois possuem uma cor uniforme, normalmente azulado escuro, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados como você pode ver na figura 5 Eles são feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro, constituído de uma estrutura cristalina única e possui organização molecular homogênea, aí sua característica brilhante e uniforme, mostrado na figura 5.

Figura 4-Lingote de silício monocristalino



Fonte[4]

Figura 5-Célula de silício monocristalino.



Fonte[4]

O silício é fatiado para produzir *wafers*, que são finas bolachas de silício puro, contendo suas características fotovoltaicas. Estes são submetidos a vários processos químicos onde recebem impurezas em suas faces com finalidade de formar as camadas P e N, que são a base de funcionamentos da célula fotovoltaica [6].

As células fotovoltaicas têm características em seus “4 lados” cortados fora para assim otimizar a estrutura do painel, melhorando o aproveitamento de sua área.

O painel solar é composto por uma matriz de células fotovoltaicas em formações série e paralelo, a depender sua aplicação a esta configuração[4].

Vantagens

Alta eficiência dentre as tecnologias comercialmente viáveis atualmente. A eficiência dos painéis solares monocristalinos está hoje entre 14% e 21%, e, uma vez que estes painéis solares possuem uma eficiência maior, eles necessitam de menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica. Sua vida útil é maior que 30 anos, e eles vêm com garantia de 25 anos [6]. Tendem a funcionar melhor do que painéis solares policristalinos em condições de pouca luz.

Desvantagens

São produzidos através do processo chamado Czochralski para a obtenção de silício monocristalinos, que resulta em grandes lingotes. Figura 4 cilíndricos. São cortados em quatro lados dos lingotes para fazer as lâminas de silício assim uma quantidade significativa do silício desperdiçada para confecção da célula e precisa

ser reciclado. São os mais caros e a eficiência das células fotovoltaicas individualmente é maior que a do painel solar como um todo[6].

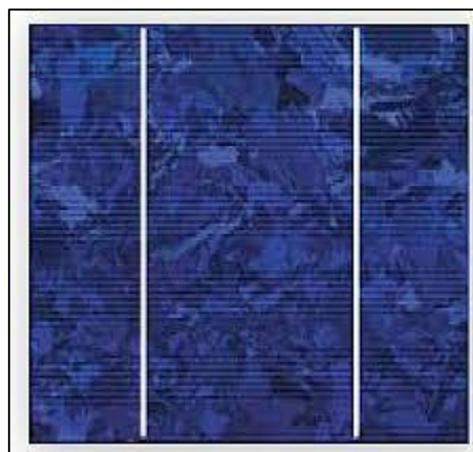
O processo de encapsular a célula fotovoltaica durante a montagem do painel solar, a luz que atinge a superfície da célula fotovoltaica, é filtrada pelo vidro em cima do painel e pelo EVA (material encapsulante) reduzindo assim a eficiência do painel como um todo [4].

2.4 Painel Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino

A tecnologia monocristalina e policristalina tem como matéria prima o silício, a principal diferença entre as tecnologias é o método utilizado na fundição dos cristais. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos cristais. Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar essa formação múltipla de cristais, elas possuem aparência heterogênea normalmente encontrada na cor azul, mas essa cor pode diferir em função do tratamento antirreflexivo empregado. Observa-se a presença de manchas em sua coloração devido o tipo do silício empregado[6]. Figura 6.

São serrados em blocos quadrados e fatiados em células assim como o monocristalinos. Sua eficiência de 13 a 17%, devido á baixa pureza do silício policristalino, é menor que levado em comparação ao monocristalino, são mais fáceis de produzir, pois não são exigidos a fidelidade com o grau de pureza [6].

Figura 6-Célula policristalina



Fonte[4]

Vantagens

A quantidade de resíduo gerado durante o processo de corte das células fotovoltaicas é menor, tendem a ser um pouco mais baratos, tem a mesma via útil que os painéis solares monocristalinos[4].

Desvantagens

A sua principal desvantagem é o uso de maior área para poder obter a mesma produção de energia.

2.5 Motivação

A necessidade de aumentar a eficiência da geração fotovoltaica exige que faça o estudo da influência da temperatura para melhor escolha do painel que se adapte melhor à situação a ser submetida. Além de obter melhor previsão de geração e durabilidade do sistema.

A dificuldade de estimar a temperatura de operação de sistemas fotovoltaicos está relacionada à localização e instalações diferenciadas, a fim de que seja adaptada ao ambiente de sua operação.

Não existe estudo que relaciona temperatura ambiente com temperatura de funcionamento do painel que possa ser aplicado de forma geral, pois a temperatura pode variar devido a vários fatores como aeração do painel, posição do painel, matérias armazenadoras de calor próximo ao painel e muitos outros fatores. Então essa função que relaciona de forma geral, pode não ter precisão mínima. Devido a diversidade de tipos de instalação existe uma dificuldade de aplicar as mesmas técnicas em diferentes empreendimentos, que podem ser aproveitados para instalações do mesmo modelo ou de natureza parecida.

Foram consideradas situações com temperatura de operação a 25°C, como a mínima, e 65°C, como a máxima. Esse valor foi escolhido por ser a temperatura que mais aproxima de situação real para regiões tropicais de funcionamento do painel de maneira geral. Segundo [5] a eficiência dos módulos fotovoltaicos é aferida a 25 °C. Como essa temperatura raramente é atingida em condições normais de operação em dias de sol claro, a temperatura do painel é tipicamente 20 a 40 °C maior do que a ambiente [4], a eficiência real é normalmente menor do que a prevista.

3. METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A evolução dos computadores e *softwares* permitiu a criação de ferramentas de simulação que facilitam o desenvolvimento de sistemas que, por meio de simulação com precisão de equipamentos, pode-se trabalhar com diversos fatores e garantida a precisão dos resultados. Foi feita a simulação de um painel solar com as características de um painel que vem sendo comercializado em escala e a ferramenta utilizada para este processo é o *PSIM*®, onde se tirou o modelo de painel fotovoltaico, já montado com finalidade de fazer o equacionamento de um algoritmo em que foi possível trabalhar com mais variáveis *Matlab*®. Após o equacionamento, foi feito um programa na plataforma *Matlab*® com base a [7], foi realizada a simulação e validados os dados com os do painel comercial, assim mantendo a fidelidade dos resultados. A constante que muda de uma simulação para outra são os parâmetros do painel e o fator de linearidade que foi utilizado 1,2 policristalino e 1,5 para monocristalino. O programa **anexo-III** está disposto a programação da simulação.

As variáveis em que se pode trabalhar são: a temperatura, a irradiação e as características do equipamento a ser testado. Foram feitas diversas simulações a fim de analisar o comportamento em diversas temperaturas, sempre cuidando para estarem dentro dos padrões do equipamento a ser analisado.

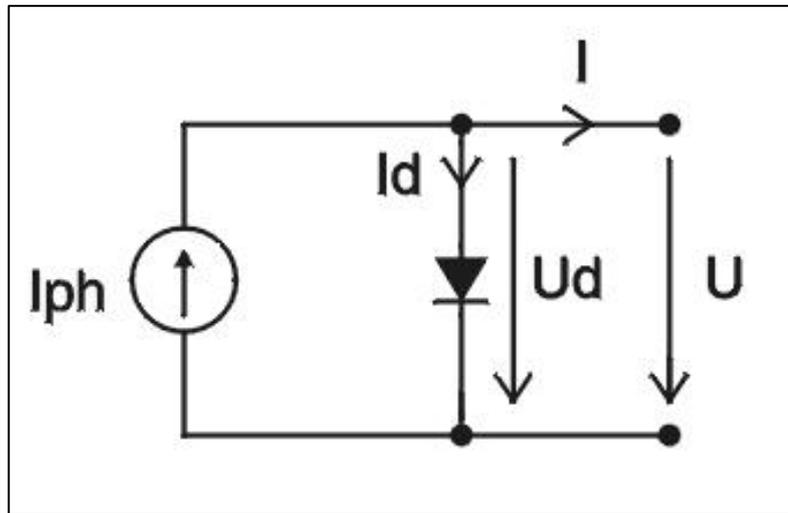
Para o comportamento dos painéis foi feito um estudo das marcas mais utilizadas no mercado, tanto para geração distribuída como para grandes parques geradores. Observou-se que, com a mesma tecnologia, a variação de parâmetro é muito pequena então, foi escolhido um, aleatoriamente, para estudo. Os preços de referência foram tirados de empresas que se destacam no setor de vendas de equipamentos e instalação na geração distribuída. Os manuais foram retirados de seus parâmetros para fazer as simulações, o modelo *all-blaCk* CS6P-265P policristalino, **Anexo I** e o modelo *all-blaCk* CS6k-265 monocristalinos, **Anexo II**.

3.1 Modelo elétrico do painel fotovoltaico.

Ao analisarmos os aspectos físicos de um painel fotovoltaico, podemos exemplificar de forma geral com um circuito figura [7], sendo constituído de uma

fonte de corrente controlada pela radiação solar em paralelo com o diodo para fazer a modelagem da junção PN nas suas características físicas do painel fotovoltaico.

Figura 7-Circuito painel fotovoltaico extraído Psim.

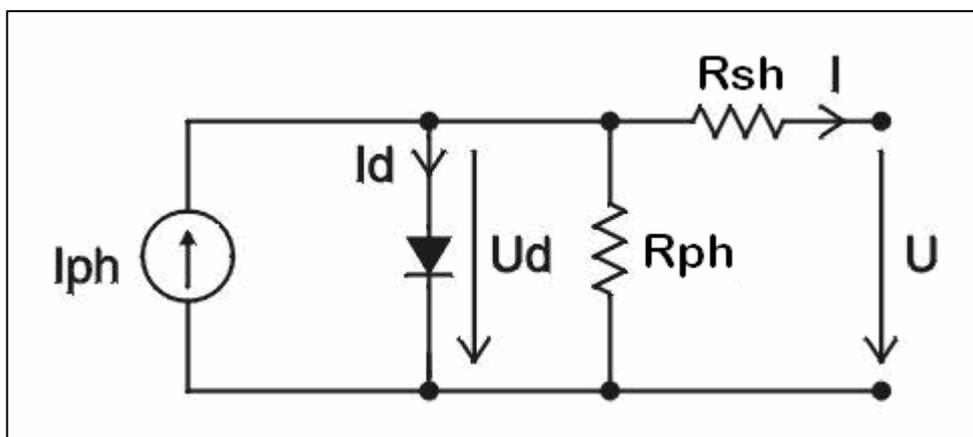


Fonte[7].

Ao realizarmos testes, concluímos que o painel, figura 7, não apresenta todas as características encontradas em um painel real, pois não são levadas em conta as correntes de fuga e perdas e não idealidade, que se encontra em um painel real.

Assim construído o modelo figura 8, que pode levar a encontrar essas variáveis e assim simular, o mais próximo possível, o comportamento de um painel em plena atividade de funcionamento, segundo [7].

Figura 8-Circuito fotovoltaico real.



Fonte[7].

O circuito da figura 8 é o modelador do painel fotovoltaico, onde a fonte de corrente, I_{ph} representada, varia em função da radiação solar e da temperatura a que se encontra o painel; I_d um diodo paralelo com a fonte de corrente, simula o comportamento não linear dependente da temperatura do painel e o estado de funcionamento; duas resistências R_{ph} em paralelo com o diodo que caracteriza a corrente de fuga e R_{sh} , na saída, que caracteriza as perdas de condução.

3.2 I_{ph} – Fonte de Corrente Dependente

A fonte de corrente dependente, I_{ph} , representada abaixo varia em função da radiação solar e da temperatura a que se encontra o painel. A equação 1 associada representa a variação [7].

$$I_{ph} = [I_{SC} + J_0 (T - T_{ref})] \frac{S}{S_{ref}} \quad (1)$$

A equação mostra que a razão entre radiação solar e temperatura do painel através de, respectivamente, I_{SC} - corrente de curto-circuito do painel; J_0 - coeficiente de temperatura; T_{ref} - temperatura de referência e radiação solar de referência, onde vemos a variação sobre influência das duas variáveis, radiação e temperatura.

3.3 I_d – Diodo em paralelo

O diodo em paralelo com a fonte de corrente apresenta um comportamento não linear que mostra a influência da temperatura no painel, aumentando a corrente quanto à elevação de temperatura. Esta equação 2 mostra o estado de funcionamento do painel fotovoltaico e a principal equação associada ao diodo de acordo a análise de [7].

$$I_d = I_0 \times \left[e^{\left(\frac{q}{N_s \times n \times K \times T} \times I \times R_{sh} + V \right)} - 1 \right] \quad (2)$$

A corrente de saturação inversa do diodo representada pela variável I_0 , sofre influência da temperatura sua equação associada segundo [7].

$$I_O = I_{DO} X \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \times e^{\left[\frac{q}{n \times K} \times E_g \times \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]} \quad (3)$$

I_{DO} é uma constante que representa características fixas do painel sua equação 4.

$$I_{DO} = \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{q \times V_{OC}}{n \times K \times T \times N_3} \right)} - 1} \quad (4)$$

E_g é uma variável que dependente da temperatura, a equação que representa [7].

$$E_g = N_S \times \left(E_{gref} - 7.02 \times 10^{-4} \times \frac{T^2}{T + 1108} \right) \quad (5)$$

Para realizar as simulações foi necessário atenção na escolha do *software*, pois a corrente do diodo paralelo é dependente da corrente do painel que, por sua vez, é dependente da corrente do diodo paralelo. Há necessidade de realimentação da corrente do painel para cálculo da corrente do diodo paralelo onde se recomenda utilizar método iterativo.

Para superar essa dificuldade foi escolhido o método Newton-Raphson, este método faz o cálculo dos zeros de uma função de forma recursiva. Seu funcionamento na simulação funciona da seguinte forma: partindo da solução inicial definida pelo operador, ele verifica o ponto e calcula o novo ponto, no intervalo definido recursivamente, e considera que a solução foi atingida, quando a diferença entre os dois valores forem iguais ou inferiores ao limite definido pelo operador.

3.4. Resistências Rsh e Rph

As equações que modelam as resistências Rsh e Rph associadas a um painel fotovoltaico foram calculadas através de constantes encontradas nas características no painel [7].

$$R_{sh} = \frac{V_{OC} - V_{MPPT}}{I_{MPPT}} \quad (6)$$

$$R_{ph} = \frac{V_{OC}}{I_{SC} - I_{MPPT}} \quad (7)$$

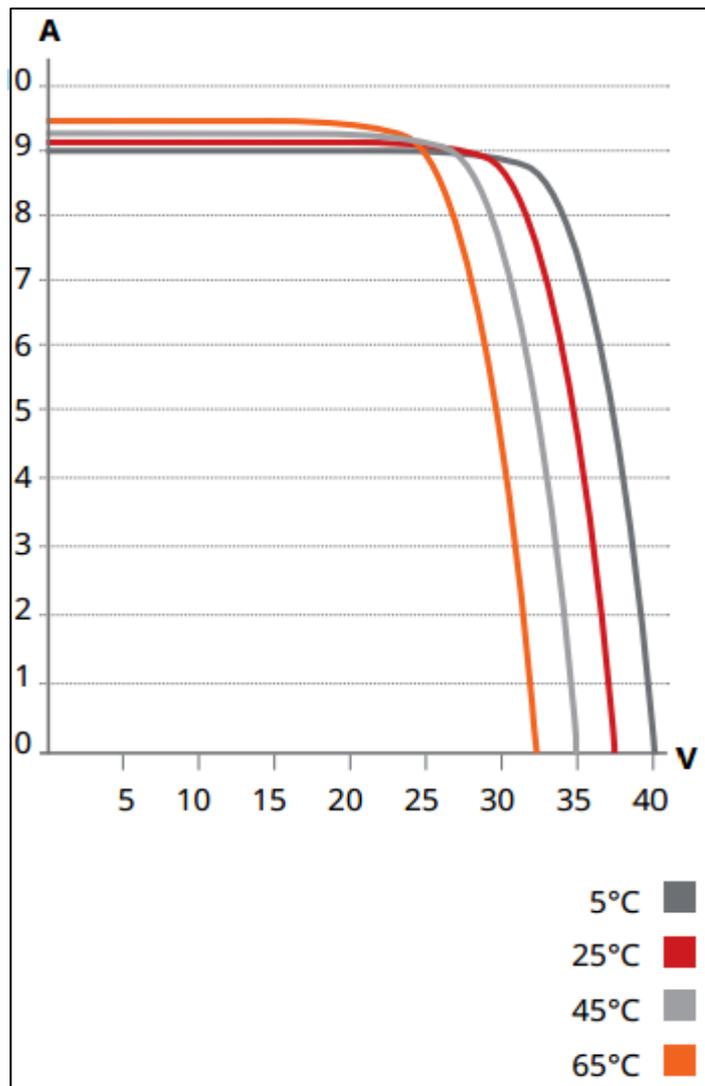
4. RESULTADOS

Para validar os resultados do algoritmo para cada tipo de painel, foram gerados os gráficos simultâneos de tensão e corrente em uma irradiância de 1000w/m^2 , utilizando temperaturas de 20°C , 56°C e 65°C . O comportamento característico dos painéis fotovoltaicos que foram escolhidos foram obtidos através dos respectivos manuais.

4.1 Painel monocristalino.

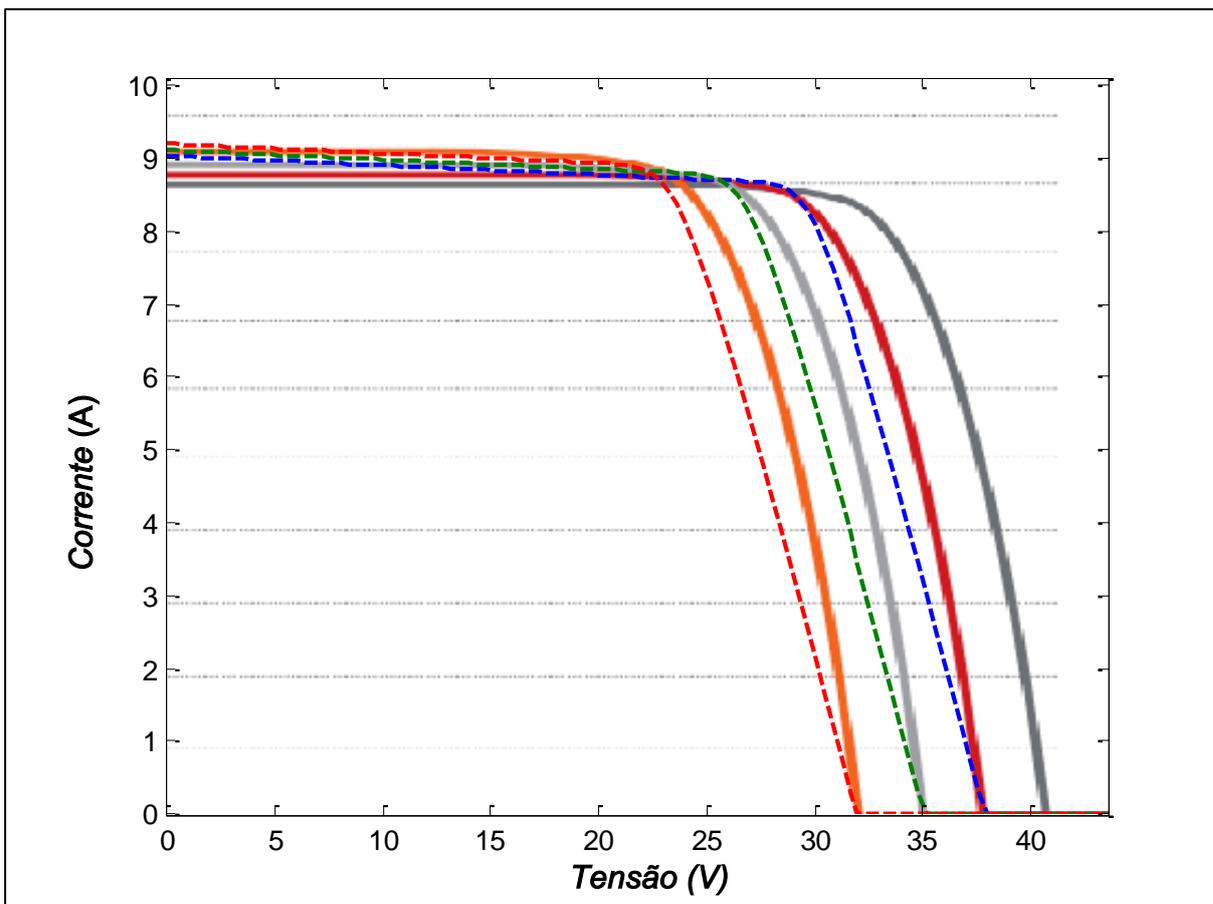
O painel all-blacK CS6k-265 monocristalinos, **anexo II**, foi simulado o algoritmo onde a figura 9 demonstra curva obtida através do manual e o figura 10, o resultado da simulação sobre a o algoritmo.

Figura 9-Curva IxV característica resultados monocristalinos



Fonte[Anexo II].

Figura 10-Curva IxV validação resultados monocristalinos



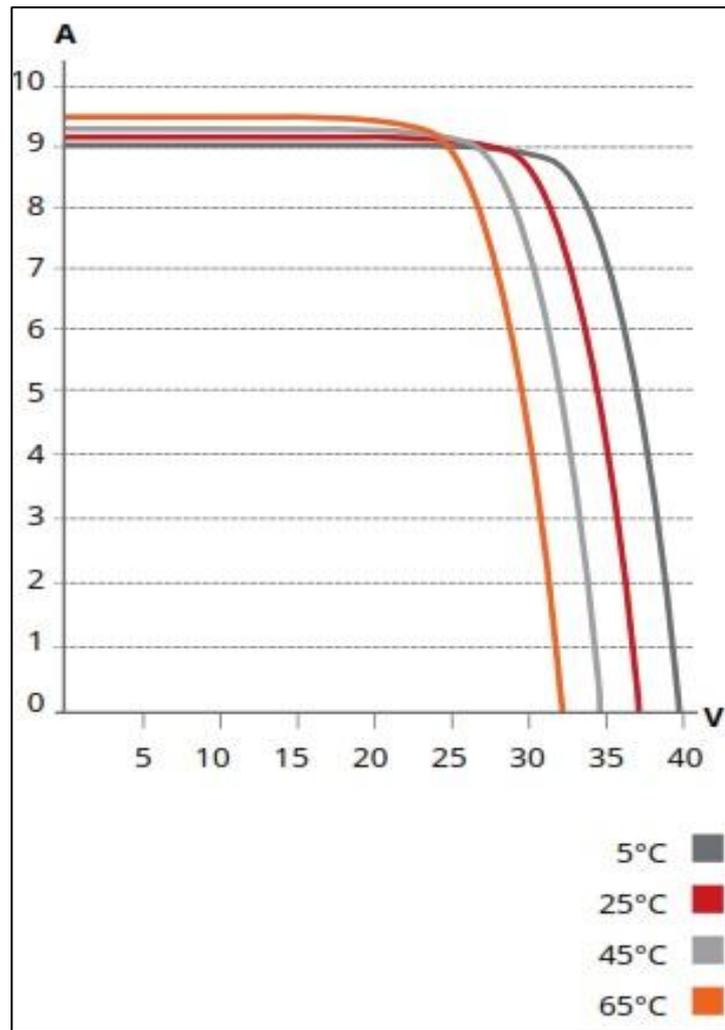
Fonte[própria].

O painel simulado atende as mesmas características, mantendo a fidelidade dos resultados obtidos no manual. A linha vermelha é acompanhada de uma linha azul, tracejada na temperatura de 25°C; linha cinza acompanhada da verde a 40°C e laranja acompanhada da linha tracejada vermelha a 65°C. Visualmente nota-se uma pequena diferença nas curvas, estas curvas são de uma marca, seu produto onde possuem métodos e parâmetros únicos, o algoritmo foi construído para testes o comportamento de qualquer painel, não dando interferência no resultado final.

4.2 Painel policristalino.

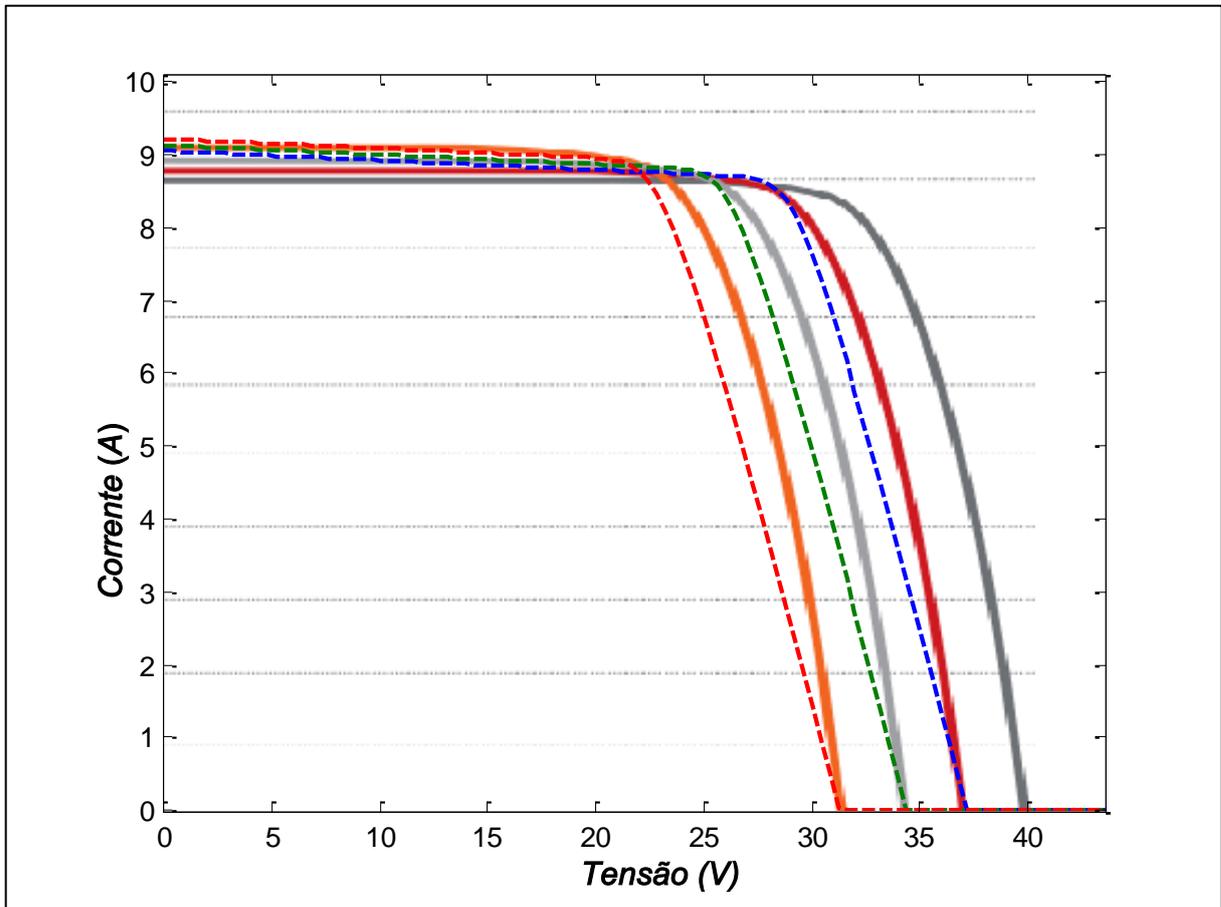
O painel *all-blacK* CS6P-265P policristalinos **anexo I** e foi simulado o algoritmo onde a figura[11] demonstra curva obtida através do manual e o figura [12] o resultado da simulação onde foi plotado as três curvas sobre a original.

Figura 11-Curva IxV característica resultados policristalinos



Fonte[Anexo I]

Figura 12-Validação resultados policristalinos



Fonte[própria].

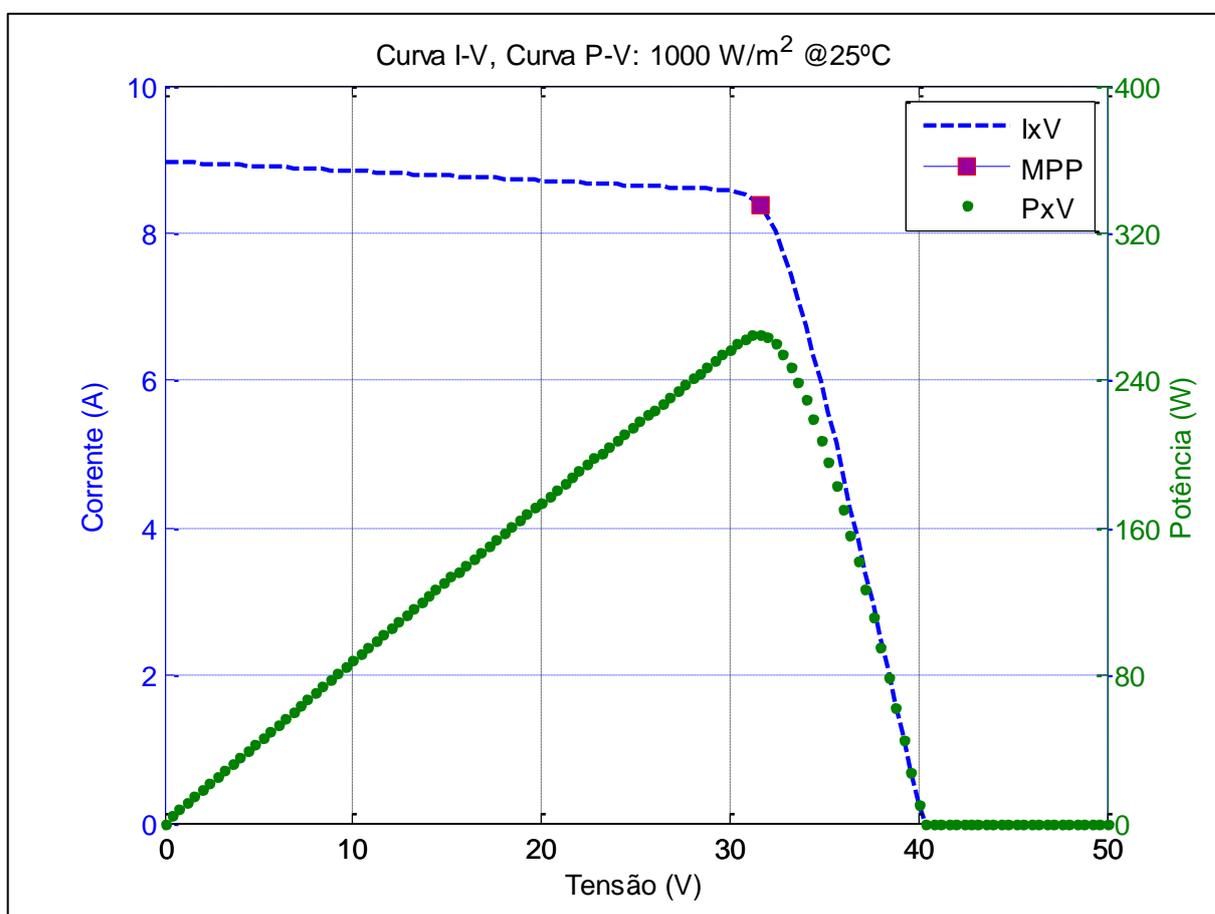
O painel simulado mantém características e fidelidades dos resultados obtidos no manual. A linha vermelha é acompanhada de uma linha azul tracejada na temperatura de 25°C; cinza acompanhada da verde a 40°C e laranja acompanhada da linha tracejada vermelha a 65°C. Visualmente nota-se uma pequena diferença nas curvas, esta curva são de uma marca de seu produto onde possuem métodos e parâmetros únicos. O algoritmo foi construído para testar o comportamento de qualquer painel, não dando interferência no resultado final. Ao se comparar com os monocristalinos nota-se uma pequena queda de tensão que é compensada com aumento da corrente mantendo a mesma potência.

4.3 Resultados obtidos do painel monocristalino

Simulação com temperatura de operação de 25°C

O painel em sua temperatura de teste em operação de 25°C na célula, esta gerando sua máxima potência 265,0001W com irradiância 1000 W/m², sendo essa a temperatura da célula, a temperatura ambiente deve estar abaixo. A tensão de 31,6v e correntes 8,38a. Como mostrado na figura 13.

Figura 13-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 25°C.



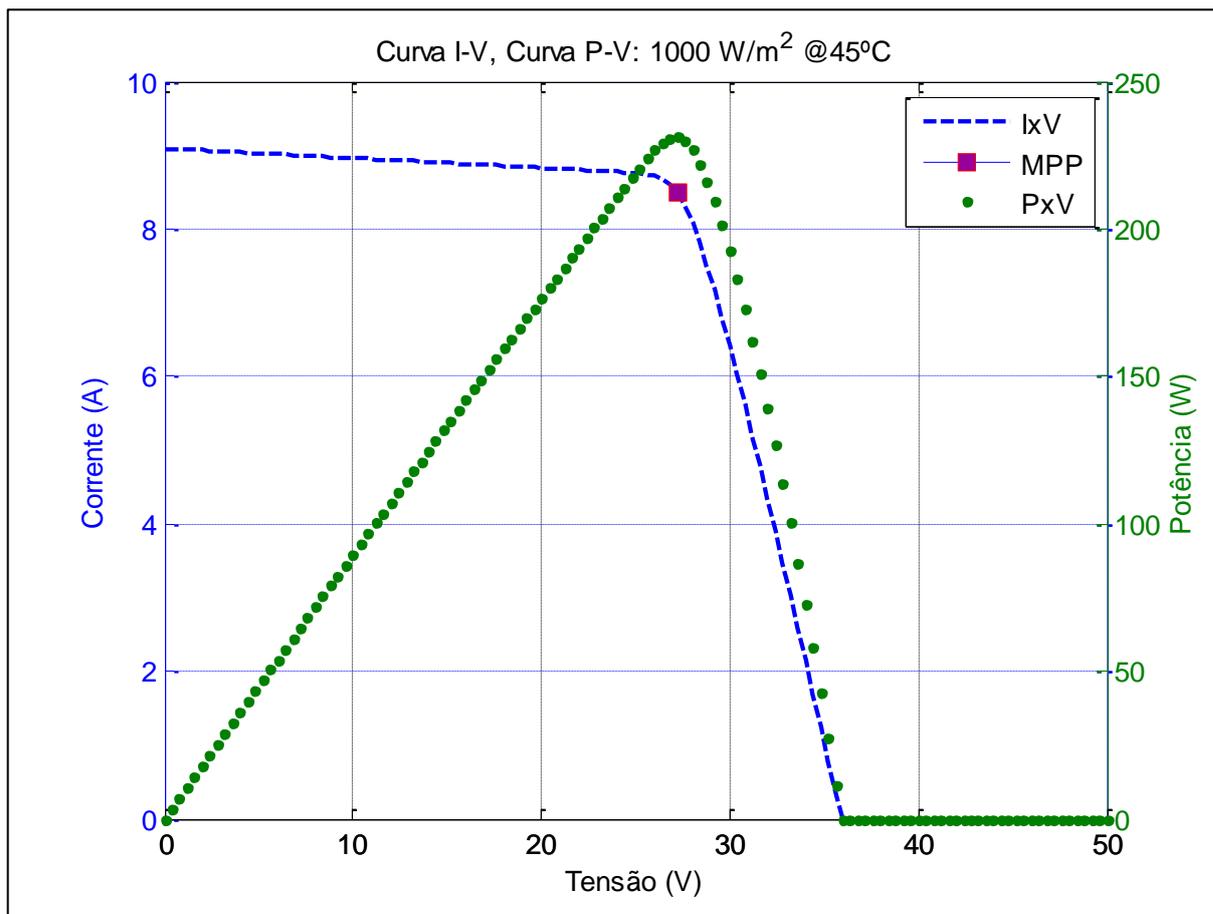
Fonte[própria]

Simulação com temperatura de operação de 45°C

O painel em sua temperatura nominal de operação 45°C na célula, esta gerando sua potência nominal 231,0956w com irradiância 1000 W/m² a temperatura ambiente por volta de 20°C, nota-se que, com aumento da temperatura, a tensão e a corrente tiveram uma queda expressiva, obtendo 27,2000V e 8,4962A.

Com o aumento de temperatura para 45°C, a potência gerada pelo painel decresce cerca de 12,79%, a tensão decresce cerca de 12,42%, sendo que a corrente cresce cerca de 1,31% em relação a temperatura de teste 25°C. Como mostrado na figura 14.

Figura 14-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 45°C.



Fonte[própria]

Simulação com temperatura de operação de 65°C

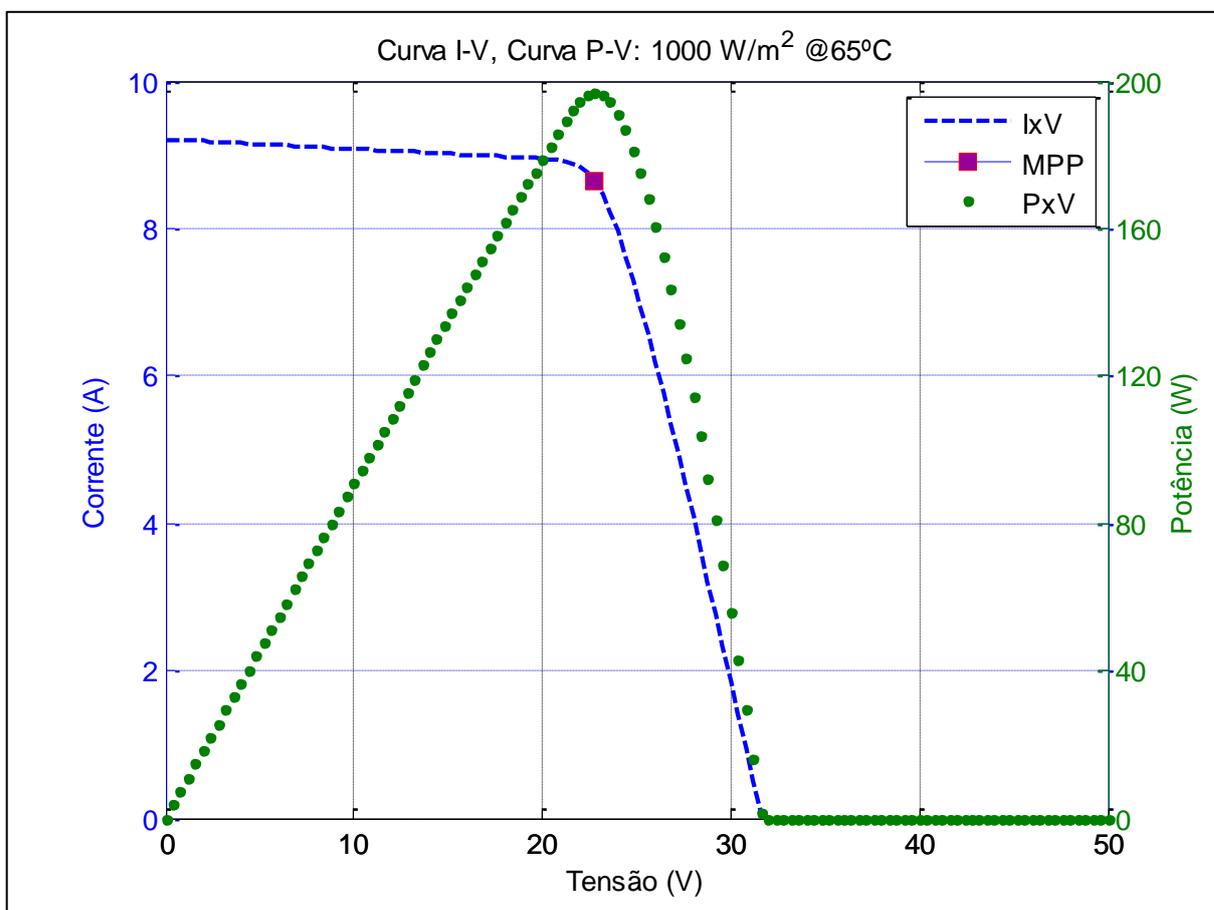
Foi realizada a simulação a uma temperatura de 65°C em que se estima temperatura aproximada ambiente de 45°C. O painel já está funcionando próximo a sua situação crítica 85°C, potência gerada 196,92W, tensão de 22,8V e corrente 8,63^a,s. Porém a temperatura normal para estações quentes em regiões tropicais simulando com uma irradiância 1000 W/m², teve uma perda de 14,78% de potência em relação a sua temperatura nominal de operação e 25,69% em relação aos testes.

Elevando-se a temperatura a 65°C, houve uma queda de tensão de 16,45% em relação a temperatura de operação e 27,84%, em relação a temperatura de teste, a corrente aumentou cerca 1,64% em relação a temperatura nominal e 2,98% em relação aos testes.

Ao serem analisados os resultados, foi identificado que as maiores quedas, foram da tensão, seguindo da potência, tendo a corrente um pequeno aumento, é notório que são quedas altamente expressivas, a queda não é linear e pode, em situações reais, ter um aumento desta temperatura, conseqüentemente, a menor eficiência do equipamento.

São altas as quedas de rendimento nos equipamentos em relação a geração de energia, além do desgaste do equipamento que é elevado, também em conseqüências as altas temperaturas. Como mostrado na figura 15.

Figura 15-Curva potência x tensão, corrente x tensão e ponto de mppt a temperatura de 65°C.



Fonte[própria]

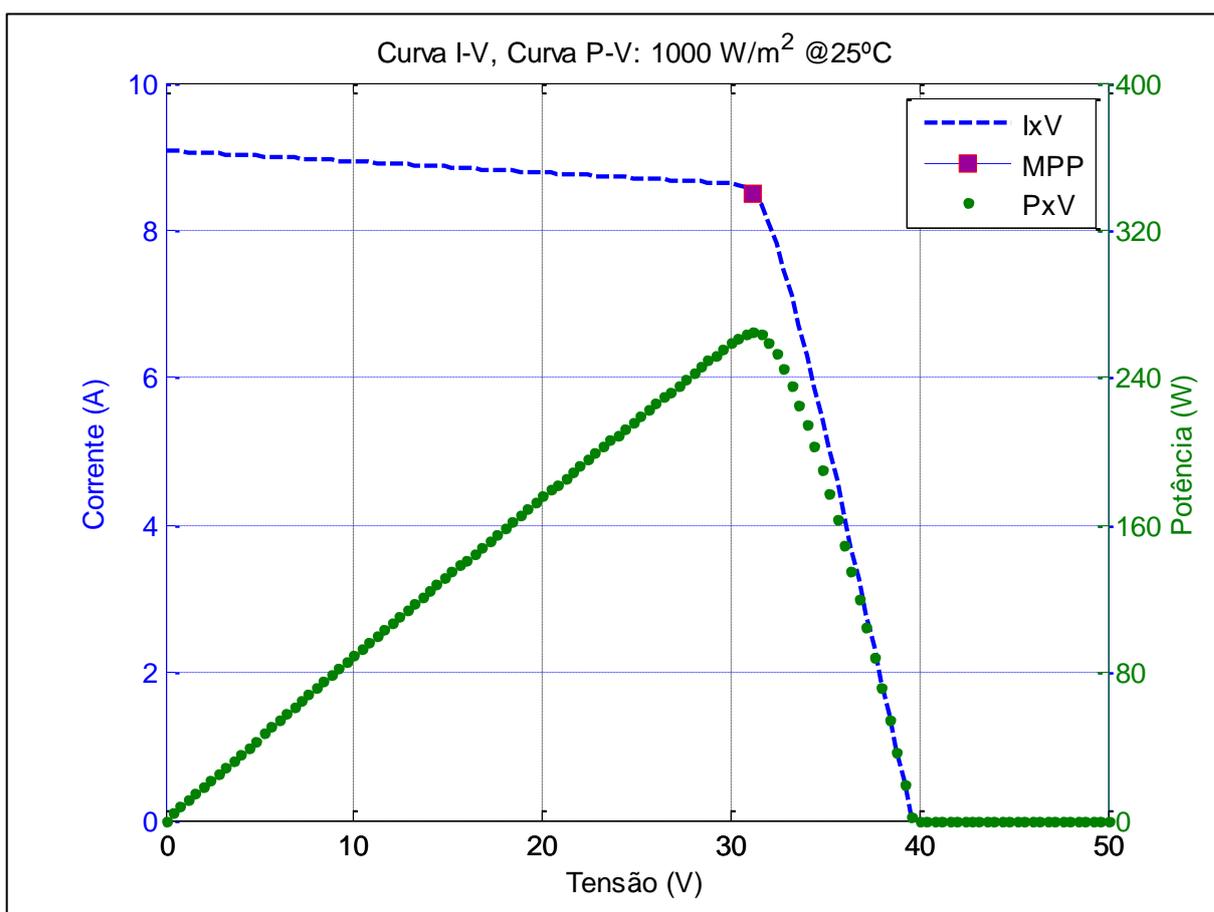
4.4 Resultados obtidos do painel fotovoltaico policristalino

Simulação com temperatura de operação de 25°C.

O painel foi a simulação em condições de testes em uma temperatura de 25°C e uma irradiância de 1000 W/m². Assim é possível obter a máxima potência que o painel pode gerar 265,00 W com tensão 31,20 V e corrente 8,49 A, essas condições são o melhor cenário para produzir energia fotovoltaica, figura 16.

Ao compará-lo com o painel monocristalino nota-se uma pequena queda de tensão e aumento de corrente para manter a mesma potência gerada, característico dos painéis policristalinos.

Figura 16-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 25°C.

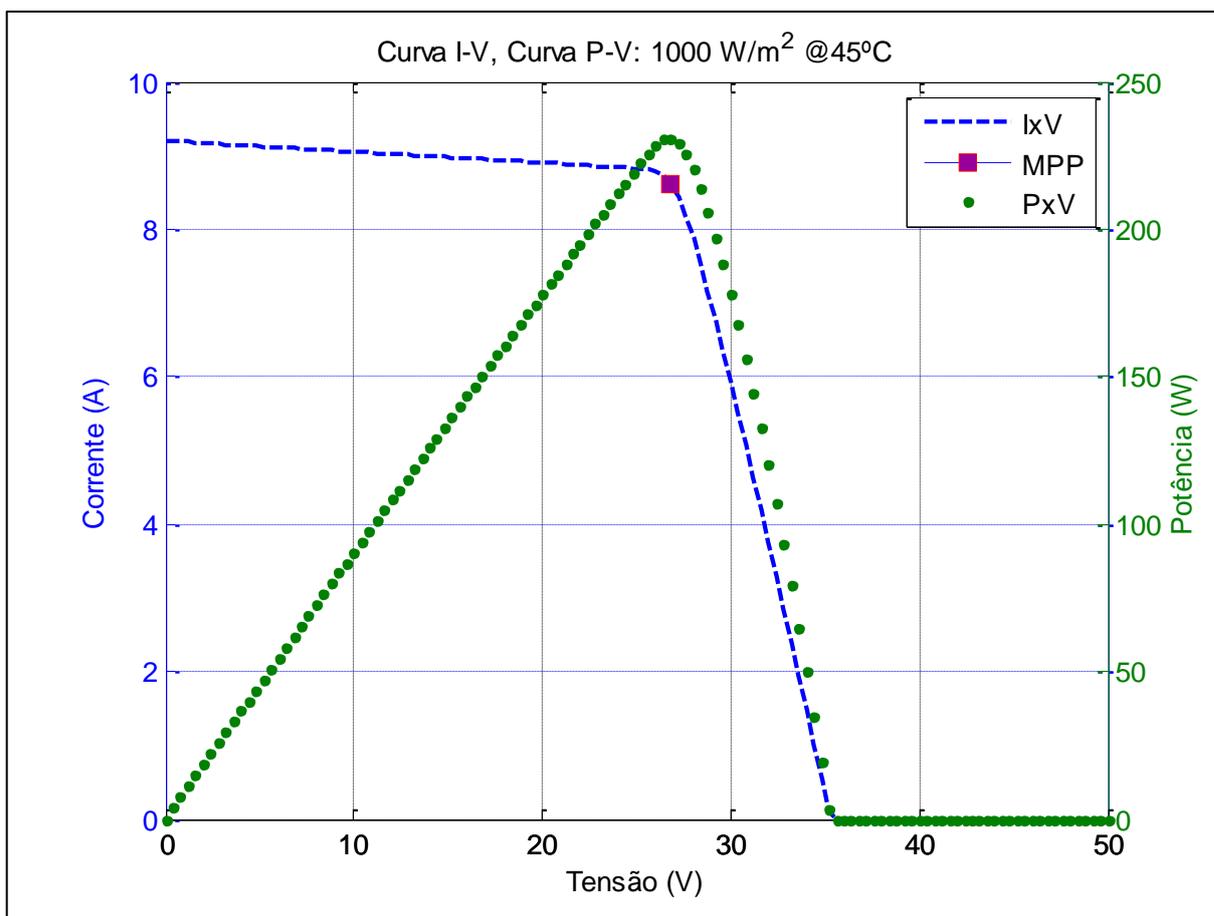


Fonte[própria].

Simulação com temperatura de operação de 45°C.

A temperatura nominal de operação desse modelo de painel fotovoltaico são exatamente 45°C, porém, se compararmos com as condições em que o painel foi submetido a teste, podemos notar uma grande perda de potência, pois apesar da temperatura nominal de operação 45°C, em condições especiais, como a condição de teste, seu rendimento é maior. Foi percebido que a queda de potência devido ao aumento de temperatura foi de 12,88%, a potência gerada a 45°C, 230,86 W, maior foi a perda de tensão 14,10%, que foi simulado agora 26,8V, tendo um pequeno aumento na corrente 1,41%, indo para 8,61 A. Figura 16.

Figura 17-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 45°C.



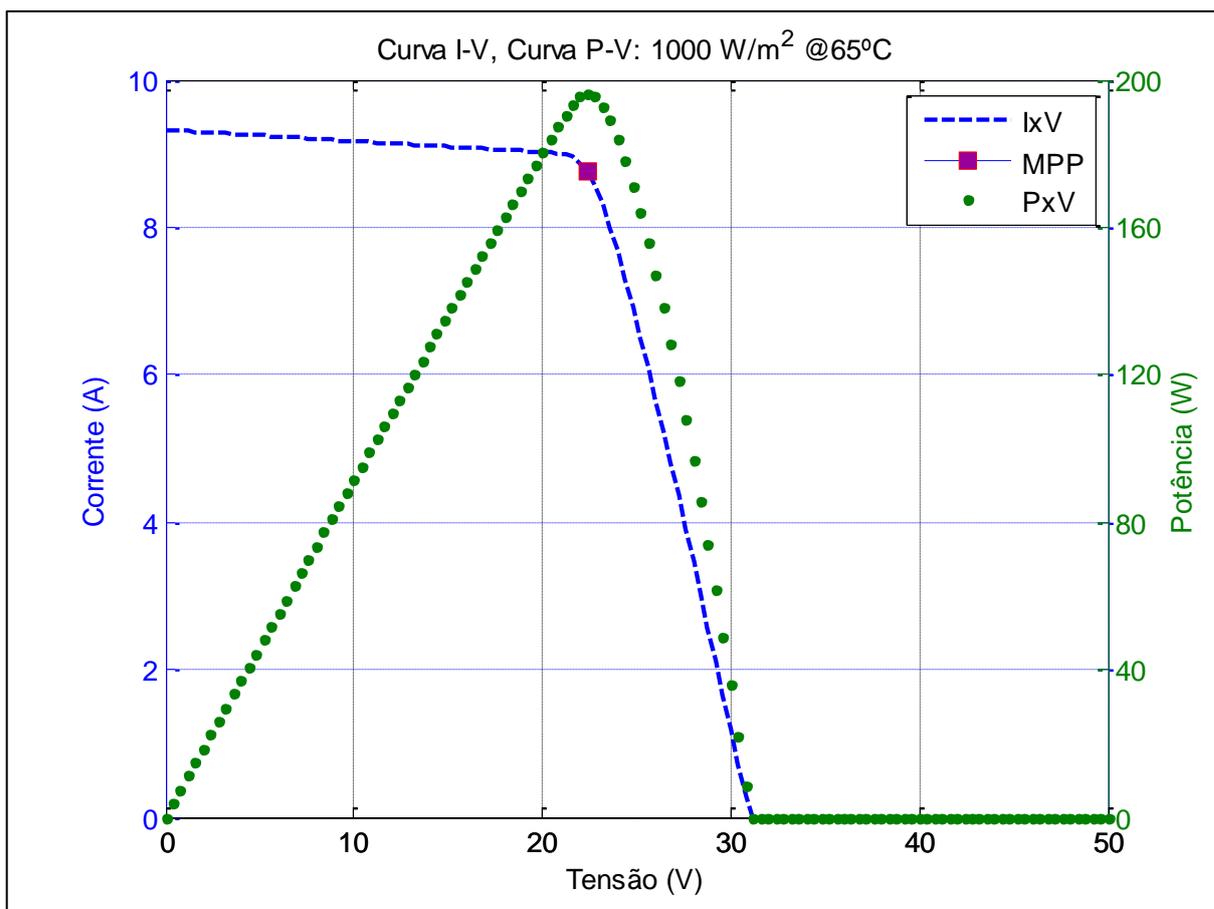
Fonte[própria].

Simulação com temperatura de operação de 65°C

Neste caso a tensão de forma exponencial não linear afetando diretamente o sistema fotovoltaico, além do rendimento ao aumento brusco de tensão pode comprometer o sistema, a perda de potência 14,96%, levando em conta a temperatura nominal e 25,09%, caso use de referência a temperatura de teste 196,32 W e tensão 22,44 V e um pequeno aumento de corrente 8,76 A, figura 18.

As tecnologias monocristalina e policristalina têm comportamentos similares, quando se trata de funcionamento em altas temperaturas, porém têm uma pequena diferença, é preciso analisar corretamente, quando for escolher o painel para o empreendimento.

Figura 18-Curva potência tensão, corrente tensão e ponto de mppt a temperatura de 65°C



Fonte[própria]

4.5 Análise de custos dos painéis fotovoltaicos

As equações utilizadas para se calcular o retorno financeiro do investimento no *watt* de painel fotovoltaico não consideram o reajuste da energia elétrica, queda de preço do *watt* do painel fotovoltaico e os índices de inflação. Para isso, também se considera apenas os custos do *watt* dos painéis monocristalino e policristalino, ficando de fora todos os outros custos de equipamentos necessários e mão de obra para a instalação. O preço *watt* de energia é o que vigora na concessionária local, com imposto na data de 10 de junho de 2016, em Alegrete, Rio Grande do Sul, para clientes residenciais. A insolação diária utilizada é da cidade de Alegrete. Os preços dos painéis fotovoltaicos foram estabelecidos através das médias de preços obtidas de três vendedores aleatórios que comercializam painéis diretamente para o consumidor.

Preço do watt do painel

Preço do *watt* do painel (PW)

T_p =potência do painel em *watt*

PP=preço do painel em reais

$$PW = \frac{T_p}{PP} \quad (8)$$

Preço da energia elétrica

Preço da energia elétrica em *watt* (P_e)

PkW=preço do killowatt por hora

1000=constante para conversão *killowatt* por hora em *watt* por hora

$$P_e = \frac{PkW}{1000} \quad (9)$$

Produção diária do painel

Produção diária do painel (P_d)

T_{pp} =Produção diária coletado no algoritmo em função da temperatura de operação em *watt*

T_p =tamanho do painel em *watt*

Rd=radiação diária do local

$$P_d = \frac{T_{pp}}{T_p} * R_d \quad (10)$$

Tempo de retorno financeiro em anos.

Retorno tempo de retorno financeiro do *watt* (Rt)

PW=preço do *watt* do painel

Pe =preço da energia elétrica em *watt*

Pd=produção diária do painel

$$Rt = \left(\frac{PW}{Pe * Pd} \right) \div 365 \quad (11)$$

4.5.1 Retorno do investimento do *watt* instalado

Os retornos mostrados nas Tabelas 1 e 2 foram calculados considerando somente o um *watt* do painel solar, sem considerar os demais componentes necessários para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Neste caso, utilizou-se o mesmo critério para os dois modelos e painéis. A radiação solar é o número de horas de sol pleno diário em determinada localização [17]. A temperatura média foi retirada de [16], e considerado 10°C acima para a simulação. A terceira coluna mostra a produção em watts que um painel de 265 W produz durante o dia, considerando as situações anteriores. O preço do *watt* e o preço do painel, dividido pelo sua potência, fornece o custo de cada *watt*, e o preço da energia elétrica, considerando o preço da região de Alegrete, para um consumidor residencial com impostos. A produção do *watt* no dia é obtida através da radiação plena no dia multiplicada por um *watt*, e o tempo de retorno do investimento é o número de anos que se leva para se pagar cada *watt* instalado no sistema. Vale salientar que o painel é apenas um do componentes a ser instalado, e que o retorno vai sofrer um aumento se considera os demais componentes do sistema de geração fotovoltaica.

Tabela 1 - Retorno financeiro para painéis policristalinos

Radiação solar(h)	Temperatura (°C)	Produção (W)	Preço (R\$/W)	Preço da energia elétrica (R\$/W)	Produção do watt no dia (W)	Tempo de retorno do investimento (anos)
5,77	25	265	2,81	0,00084	5,88	1,56
4,77	25	265	2,8	0,00084	4,86	1,88
5,00	25	265	2,81	0,00084	5,09	1,80
5,77	45	231	2,81	0,00084	5,12	1,79
4,77	45	231	2,81	0,00084	4,23	2,16
5,00	45	231	2,81	0,00084	4,44	2,06
5,77	65	196,9	2,81	0,00084	4,36	2,10
4,77	65	196,9	2,81	0,00084	3,61	2,54
5,00	65	196,9	2,81	0,00084	3,78	2,42

Fonte[própria]

Tabela 2 - Retorno financeiro para painéis monocristalinos

Radiação solar(h)	Temperatura (°C)	Produção (W)	Preço (R\$/W)	Preço da energia elétrica (R\$/W)	Produção do watt no dia (W)	Tempo de retorno do investimento (anos)
5,77	25	265	3,33	0,00084	5,88	1,85
4,77	25	265	3,33	0,00084	4,86	2,23
5,00	25	265	3,33	0,00084	5,09	2,13
5,77	45	231	3,33	0,00084	5,12	2,12
4,77	45	231	3,33	0,00084	4,23	2,56
5,00	45	231	3,33	0,00084	4,44	2,44
5,77	65	196,9	3,33	0,00084	4,36	2,49
4,77	65	196,9	3,33	0,00084	3,61	3,01
5,00	65	196,9	3,33	0,00084	3,78	2,87

Fonte[própria]

Ao se comparar a produção de energia no silício de monocristalino e policristalino e o mesmo tendo em vista que foi feita a compensação de rendimento no painel, assim e o comportamento deste a temperatura são praticamente iguais não onde não se consegue visualizar em pequena escala.

Após a análise dos dois tipos de painéis, foi possível verificar que, nas condições simuladas, o modelo do painel policristalino possui o melhor retorno financeiro. No entanto, a escolha do modelo de um painel, pode ser determinada por diversos fatores, como por exemplo, o painel monocristalino tem a vantagem de ser menor, portanto pode ser aplicado onde há limitação de área ou de peso.

4.6 Exemplo de aplicação

Para a aplicação do estudo foram escolhidas duas cidades de região distinta do Brasil, com características distintas, uma com grande radiação, porém com temperatura média alta e outra com radiação menor, porém com temperaturas mais amenas.

Dados utilizados de radiação [17] e de temperaturas [16] foram simulados nos dois tipos de painéis e foi considerada uma constante de temperatura média, mas, segundo relatos de meteorologistas, a temperatura média acrescido de 10 graus Celsius é temperatura sol nascente sol poente. Então foi considerado, também, temperatura de sol nascente e sol poente.

Cidades escolhidas, Bom Jesus Da Lapa, no estado da Bahia, onde a temperatura média anual é de 25,4°C; sol nascente e sol poente 35,4°C; radiação diária, 5,77 kWh/m²/d. A outra, é Alegrete, no estado do Rio Grande do Sul, onde a temperatura média anual é de 18,7°C; sol nascente, sol poente 28,7°C e radiação diária a 4,77 kWh/m²/d. As Tabelas 3 e 4 apresentam a radiação de 5,77 horas/dia referente à cidade Bom Jesus Da Lapa e 4,77 horas/dia referente a cidade de Alegrete.

Tabela 3 - Retorno financeiro para painéis policristalinos (aplicação)

Radiação solar(h)	Temperatura (°C)	Produção (W)	Preço (R\$/W)	Preço da energia elétrica (R\$/W)	Produção do watt no dia (W)	Tempo de retorno do investimento (anos)
5,77	25,4	264,18	2,81	0,00084	5,86	1,56
5,77	35,4	247,49	2,81	0,00084	5,49	1,67
4,77	18,7	275,5	2,81	0,00084	5,04	1,81
4,77	28,7	231	2,81	0,00084	4,23	2,16

Fonte[própria]

Tabela 4 - Retorno financeiro para painéis monocristalinos (aplicação)

Radiação solar(h)	Temperatura (°C)	Produção (W)	Preço (R\$/W)	Preço da energia elétrica (R\$/W)	Produção do watt no dia (W)	Tempo de retorno do investimento (anos)
5,77	25,4	264,18	3,33	0,00084	5,86	1,85
5,77	35,4	247,49	3,33	0,00084	5,49	1,981
4,77	18,7	275,5	3,33	0,00084	5,05	2,15
4,77	28,7	258,73	3,33	0,00084	4,23	2,56

Fonte[própria]

O retorno financeiro é um dos critérios fundamentais para escolha de equipamentos a serem utilizados. O painel de tecnologia monocristalina tem um rendimento melhor, porém conseqüentemente, ocupa menos área, e, quando se trata de retorno econômico, estes apresentam desvantagem em relação aos policristalinos.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou a comparação de duas tecnologias de painéis fotovoltaicos que podem ser utilizados em larga escala na geração de energia. Primeiramente, foram extraídos os parâmetros das duas tecnologias comerciais, através dos dados fornecidos pelo fabricante. Estes parâmetros foram utilizados para traçar as curvas características dos painéis, simulando a operação deles submetidos a uma irradiação solar escolhida e diferentes temperaturas. Com isto, foi possível determinar o quanto cada uma das tecnologias é capaz de gerar quando instalada em determinada região do Brasil. Para isso foi considerada duas regiões que apresentam temperaturas médias anuais distintas, sendo uma delas no Nordeste e outra no Sul. Assim, foi possível estimar as principais vantagens e desvantagens dos modelos monocristalinos e policristalinos.

A principal vantagem do painel monocristalino é a ocupação de uma área menor, porém a sua viabilidade fica dificultada pelo fato de seu preço ser maior e seu comportamento, na geração, em relação ao policristalino é praticamente igual. Já o painel policristalino tem sua como desvantagem uma maior área de ocupação que o monocristalino, porém seu preço faz com que sua viabilidade seja significativamente maior em relação à da outra tecnologia.

A análise comportamental de módulos solares monocristalinos e policristalinos demonstra a necessidade de se trabalhar com métodos que, além de considerarem a radiação diária considerem também a temperatura de operação dos painéis, pois assim é possível também realizar estudos e projetos para a redução de temperatura dos arranjos utilizando métodos eficazes de resfriamento, pois os danos com o aumento de temperatura além de ocasionar uma queda produção de energia, pode provocar desgastes nos equipamentos e instalações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BORGES, Bruno Augusto Fernandes. **Implementação de um conversor para painel fotovoltaico**. Vila Real. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2009. Disponível em: <https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/261/1/msc_bafborges.pdf> Acesso em: 23 abr, 2016. 05:38
- [2] VALLÊRA, Antônio M. Meio **Século de História Fotovoltaica**. Gazeta. 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>>. Acesso em : 15 mar, 2016. 16:40.
- [3] EDUCACIONAL, Blue sol. **O efeito fotovoltaico**. Dez 2011. Disponível em :<<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico/>>. Acesso em: 07 mar, 2016. 04:37.
- [4] Tipos de painel solar fotovoltaicos. **Portal solar** 2016. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em: 11 fev, 2016. 21:54.
- [5] ALVES, Gustavo. **Energia Solar**. Setembro 2014. Disponível em: <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/a-revista/1500-energia-solar-no-brasil.html>> Acesso em: 09 mar, 2016. 06:16.
- [6] Gradella Villalva, Marcelo. **Energia Solar Fotovoltaica**. São Paulo: Saraiva, 2015
- [7] Silva, André Nelson Matias e. **Sistema de Conversão de Energia Solar**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Disponível em <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59213/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em : 15 mar, 2016. 16:40
- [8] KIM^a, Ji Hoom. Effects of various light-intensity and temperature environments on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. **Sciencedirect**. Busan, out. 2014, v. 113, p. 251–257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X15000158>> Acesso em: 23 mai, 2016. 04:36.
- [9] MACHNIEWICZ, Anna. Effect of Transition Temperature on Efficiency of PV/PCM Panels. **Sciencedirect**. Łódź nov. 2015, v. 78, p.1684-1689 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021501989x> Acesso em: 25 abri, 2016. 03:53.
- [10] GOKMEN, Nuri.. Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy locations. **Sciencedirect**. Aalborg set. 2015, v. 90, p.283–290 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116300179>> Acesso em: 03 mai, 2016. 15:37.
- [11] IRWAN ^a, Y.M. Indoor Test Performance of PV Panel through Water Cooling Method. **Sciencedirect**. Malaysia ,nov. 2015, v. 79, p. 604-611. Disponível em:

- <[Http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215022729](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215022729)> Acesso em: 05 mai, 2016. 08: 43.
- [12] ELDIN^a, Sharaf S.A Feasibility of solar tracking systems for PV panels in hot and cold regions. **Sciencedirect**.. Cairo, fev. 2016,v. 85, p. 228–233 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811530074>> Acesso em : 06 mai, 2016. 07:08
- [13] CHANDER^a, Subhash. A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline silicon solar cell with cell temperature. **Sciencedirect**. Udaipur ,nov. 2015, v.1, p.104–109. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484715000189>> Acesso em: 07 mai, 2016. 14:32.
- [14] FERNÁNDES, Eduardo F. A new procedure for estimating the cell temperature of a high concentrator photovoltaic grid connected system based on atmospheric parameters. **Sciencedirect**. Jaen,jul. 2015,v. 103, p. 1031–10395. Disponível em: [Http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415006858](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415006858) Acesso em: 16 de maio, 2016. 18:34.
- [15] DUBEY, Swapnil. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World. **Sciencedirect**. Singapore, jun.2013, v.33, p.311-321 Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213000829>>: Acesso em: 23 mai, 2016. 04:36
- [16] Climate data org. **climate-data.org** Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/43241/>>. Acesso em: 27 mai, 2016. 07:46.
- [17] STACKHOUSE *Paul W., Jr., Ph.D.* **NASA Surface meteorology and Solar Energy**. 2015. Disponível em:<<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets@nrcan.gc.ca/>> Acesso em: 27 mai, 2016. 07:46.

ANEXOS

Anexo I



 **CanadianSolar**

CS6P-260 | 265P

High quality and reliability in all Canadian Solar modules is ensured by 14 years' experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency up to 16.47%
-  Outstanding low irradiance performance: 96.5%
-  +5Wp Positive power tolerance up to 5 W
-  No. 1 PTC High PTC rating up to 92.0%
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa wind load up to 2400 Pa
-  Salt mist, ammonia and blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments

CANADIAN SOLAR INC.

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



*Black frame product can be provided upon request.

25
years

insurance-backed warranty
non-cancelable, immediate warranty insurance
linear power output warranty

10
years

product warranty on materials
and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

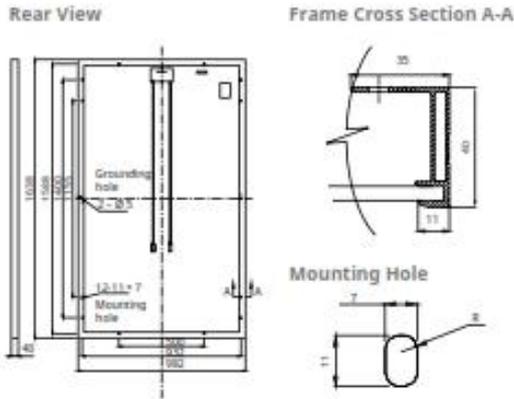
IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / JET / SIL / CEC AU / INMETRO / CQC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62710: VDE / IEC 60068-2-08: SGS
PV CYCLE (EU) / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1



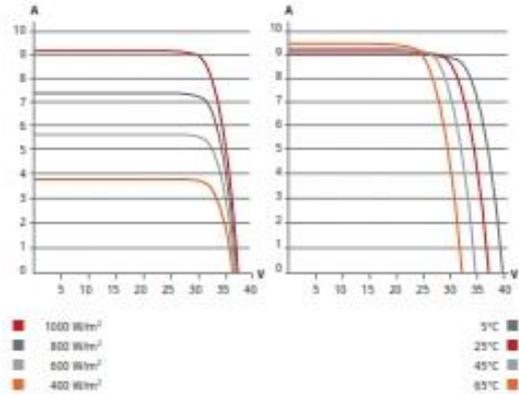
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 10 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

MODULE / ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6P-260P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

Electrical Data CS6P	260P	265P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A
Module Efficiency	16.16%	16.47%
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.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

Electrical Data CS6P	260P	265P
Nominal Max. Power (Pmax)	189 W	192 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.7 V	27.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.80 A	6.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.5 V	34.7 V
Short Circuit Current (Isc)	7.39 A	7.48 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.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiation, average 96.5% relative efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 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.

MODULE | MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1638×982×40 mm (64.5×38.7×1.57 in)
Weight	18 kg (39.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	Friends PV2a (IEC), Friends PV2b (IEC / UL)
Standard	26 pieces, 515 kg (1135.4 lbs)
Packaging	(quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	728 pieces (40' HQ)

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

PARTNER SECTION



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



Anexo II



ALL-BLACK CS6K-265 | 270M

ALL-BLACK CS6K-M modules are equipped with dark mono-crystalline cells, dark colored backsheet and a black frame to enhance the aesthetic appearance of our standard mono modules. This product can improve the aesthetics of a rooftop.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency up to 16.5%
-  Outstanding low irradiance performance: 96.5%
-  Positive power tolerance up to 5 W
-  Anti-glare module surface available
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa
wind load up to 2400 Pa

-  **25 years** insurance-backed warranty
non-cancelable, immediate warranty insurance
linear power output warranty
-  **10 years** product warranty on materials
and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health and safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / CEC AU
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
UL 1703: CSA / PV CYCLE (EU)



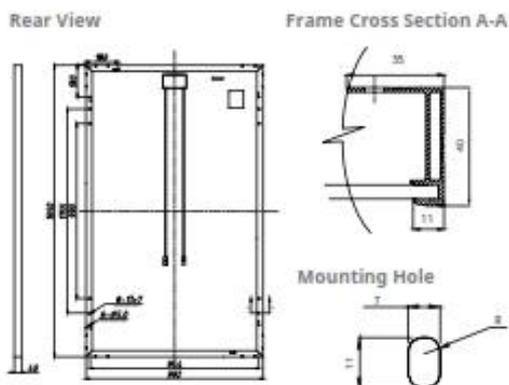
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 10 GW of premium quality module deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

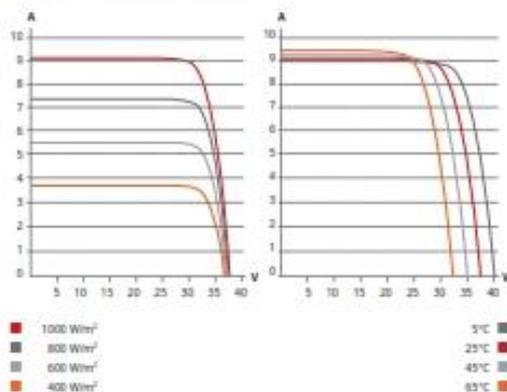
CANADIAN SOLAR INC.

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

MODULE / ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6K-265M / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

Electrical Data CS6K	265M	270M
Nominal Max. Power (Pmax)	265 W	270 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.9 V	31.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 V	8.67 V
Open Circuit Voltage (Voc)	37.9 V	38.2 V
Short Circuit Current (Isc)	9.11 A	9.19 A
Module Efficiency	16.19%	16.50%
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.

ELECTRICAL DATA / NOCT[†]

Electrical Data CS6K	265M	270M
Nominal Max. Power (Pmax)	191 W	195 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	28.2 V	28.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.79 A	6.87 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.8 V	35.0 V
Short Circuit Current (Isc)	7.37 A	7.44 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.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance, average 96.5% relative efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 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.

MODULE / MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-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 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connectors	Friends PV2a (IEC), Friends PV2b (IEC / UL)
Standard	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Packaging	(quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	728 pieces (40' HQ)

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

PARTNER SECTION

