

## SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE POTÊNCIA DE PLACAS FOTOVOLTAICAS PARA VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E IRRADIAÇÃO

**Emmanuel L. C. Saldanha** – emmanuel@gmail.com  
CEFET/RJ - Campus Angra dos Reis  
Rua do Areal, 522, Parque Mambucaba  
23953-030 – Angra dos Reis – RJ

**Mateus C. Machado** – mateusmachadoeng@gmail.com

**Cintia F. F. Carraro** – cintia.carraro@cefet-rj.br

**Camila B. Fernandes** – camila.fernandes@cefet-rj.br

**Resumo:** Seguindo a proposta de metodologia ativa feita pelas docentes na disciplina de fontes renováveis de energia, foi realizada uma revisão bibliográfica do artigo de Casaro e Martins em 2008 na revista *Eletrônica de Potência*. Com base nos conhecimentos adquiridos, dados e métodos propostos foi construído o presente artigo, que desenvolve e explica o método de avaliação de comportamento da potência entregue por uma placa fotovoltaica, submetida a variações de irradiação solar e temperatura, e compara o desempenho de placas solares instaladas em uma determinada região. Para exemplificar este método foi usado a placa JKM315P-72 da Jinko Solar e a CS6-265P da Canadian Solar, ambas submetidas ao clima da região de Angra dos Reis.

**Palavras-chave:** Energia solar fotovoltaica. Eficiência. Simulação. Irradiação solar. Temperatura.

### 1 INTRODUÇÃO

O curso de Engenharia Elétrica do Cefet/RJ, campus de Angra dos Reis, fornece a disciplina denominada “Fontes Renováveis de Energia”. Esta, visa aplicar uma metodologia ativa para fomentar o trabalho científico, propondo a pesquisa e desenvolvimento de um projeto para solucionar problemas relacionados às fontes renováveis de energia. Além disso, desenvolve o trabalho em equipe ao incentivar o raciocínio em conjunto e a divisão de responsabilidades.

No primeiro semestre de 2019 foi proposta a solução de problemas relacionados à energia fotovoltaica com auxílio de programação/simulação. Para tal, foi necessário buscar conhecimentos além dos apresentados em aula para atender às demandas do projeto e utilização dos softwares. Este método foi visto como algo mais próximo do cotidiano de um profissional.

Segundo o DataFolha, em 2016, 80% dos brasileiros queriam investir em energia solar fotovoltaica (Governo do Brasil, 2018). O Governo Federal, em 2018, garantiu um

investimento de mais de R\$ 3 bilhões de reais em projetos no segmento somente naquele ano (Governo do Brasil, 2018).

No entanto, um empecilho para a maior utilização da energia fotovoltaica é a variação da eficiência dos painéis conforme o clima. Então, analisar o comportamento de placas fotovoltaicas pode auxiliar no projeto das mesmas, garantindo melhor qualidade na fabricação. Estudar o comportamento do painel solar nas condições climáticas da região onde será instalado garante a escolha do melhor equipamento para um projeto.

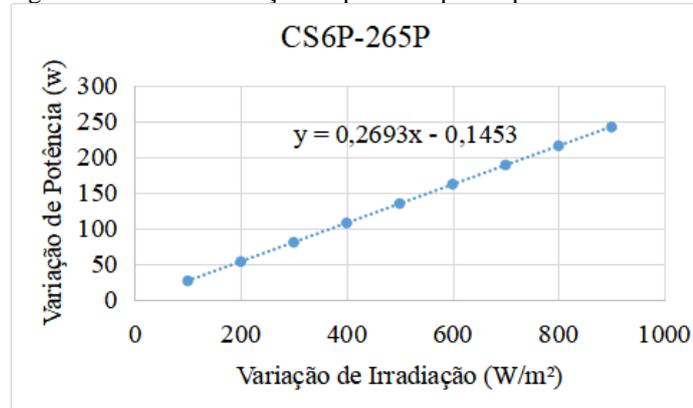
Neste artigo, estuda-se o comportamento de duas placas solares, JKM315P-72 da Jinko Solar e a CS6-265P da Canadian Solar, nas condições padrões de teste (1000 W/m<sup>2</sup>, 25 °C) e também quando são submetidas ao clima da região de Angra dos Reis, com o objetivo de determinar o melhor equipamento a ser utilizado na região.

## 2 COMPARAÇÃO ENTRE AS PLACAS - PADRÃO (STC)

Fez-se uso dos programas, modelos e circuitos chaveados apresentados pelos autores Casaro e Martins em 2008 na revista Eletrônica de Potência para obter os dados de comparação discutidos neste artigo.

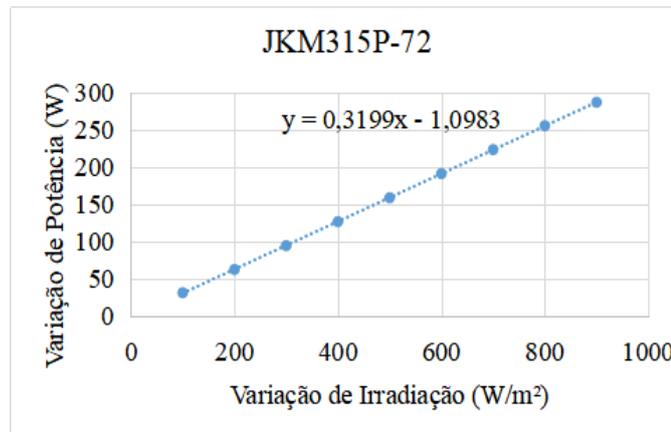
Para comparar as placas, foi realizada uma análise de variação de potência ( $\Delta P$ ) devido à variação de irradiação solar ( $\Delta P_{sun}$ ). Para isso, adotou-se como referência a irradiação solar em (=1000W/m<sup>2</sup>) e calculou-se  $\Delta P$ , quando  $\Delta P_{sun}$  variava de 100 a 900W/m<sup>2</sup> ao passo de 100W/m<sup>2</sup>. Os resultados são apresentados nas "Figuras 1 e 2".

Figura 1. Curva de variação de potência para a placa CS6P-265P.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2. Curva de variação de potência para a placa JKM315P-72.



Fonte: Autoria própria.

Pelas “Figuras 1 e 2” nota-se que a placa CS6P-265P apresenta melhor estabilidade, pois o coeficiente angular de sua curva apresenta módulo menor que o de sua concorrente. Logo, a perda de potência pela variação da irradiação é mais expressiva para a JKM315P-72.

Além disso, considerou-se uma variação mais branda da irradiação incidente nas placas para melhor representar a realidade, adotando uma perda de 200W/m² como padrão para determinado valor de referência. Assim, a “Tabela 2” torna mais explícita a perda de energia das placas ao realizar a média de variação de potência para qualquer 200W/m² perdidos.

Tabela 1. Variação média de potência nas placas para uma variação de 200W/m² de irradiação solar.

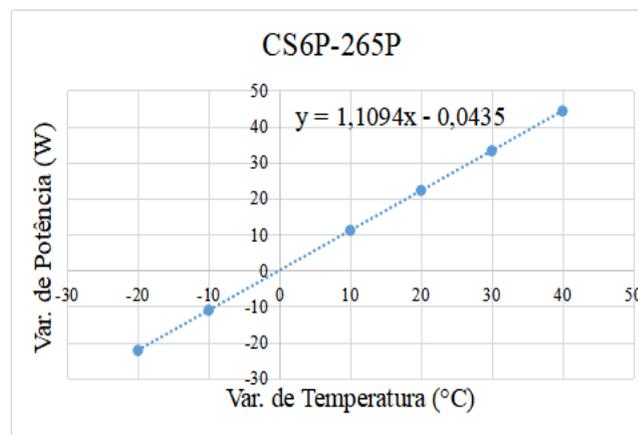
$\Delta P_{sun}(W/m^2)$	$\Delta P(W)$ - CS6P-265P	$\Delta P(W)$ - JKM315P-72
1000→800	53,6	62,6
800→600	54	64
600→400	54,2	64,4
400→200	53,67	64,14
<b>MÉDIA</b>	<b>53,87</b>	<b>63,79</b>

Fonte: Autoria própria.

A “Tabela 1” deixa claro que a placa JKM315P-72 apresenta maior variação de potência que a placa CS6P-265P, perdendo mais potência para cada 200W/m² de variação sendo menos eficiente.

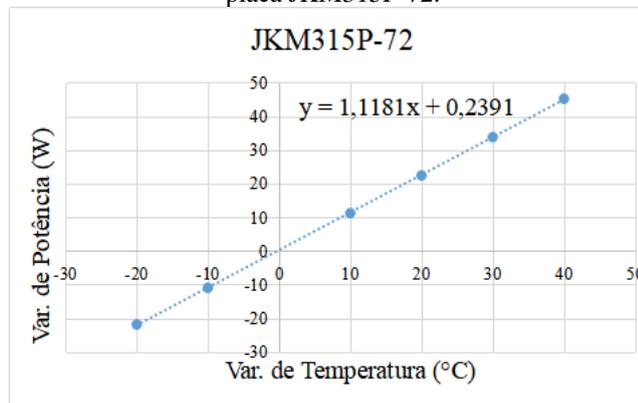
Analisou-se a variação de potência em função da variação da temperatura ( $\Delta T$ ), adotando como referência 25°C e variando  $\Delta T$  de -10°C até 40°C ao passo de 10. Os resultados são apresentados nas “Figuras 3 e 4”.

Figura 3. Curva de variação de potência com a temperatura, placa CS60-265P.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4. Curva de variação de potência com a temperatura, placa JKM315P-72.



Fonte: Autoria própria.

Pelas “Figuras 3 e 4” observa-se que a potência das placas é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, a potência diminui com o aumento da temperatura do ambiente, o que pode ser explicado pelo aumento da resistência elétrica do painel com o aquecimento dos componentes. Analisando o coeficiente angular das curvas, nota-se que a CS6-256P possui uma estabilidade maior com a variação de temperatura, o que torna sua previsão de carga mais confiável, porém apresenta a desvantagem de ter um ganho de potência menor do que a sua concorrente quando a temperatura abaixa.

Para determinar a média de  $\Delta P$  por  $\Delta T$ , calculou-se  $\Delta P$  quando  $\Delta T$  variava de 5°C até 65°C, num passo de 10°C. Os resultados são apresentados a seguir.

Tabela 2. Variação média de potência devido variação de temperatura.

$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (W) CS6P-265P	$\Delta P$ (W) JKM315P-72
5→15	11.2	10.9
15→25	11.1	11

25→35	11.1	11.2
35→45	11.1	11.2
45→55	11	11.4
55→65	11.1	11.4
<b>MÉDIA</b>	11.1	11.18

Fonte: Autoria própria.

Ao comparar a “Tabela 2” com a “Tabela 1” percebe-se que a perda de potência com a variação de temperatura é menor do que com a variação de irradiação. Portanto, a variação de irradiação é um fator mais importante que a variação de temperatura.

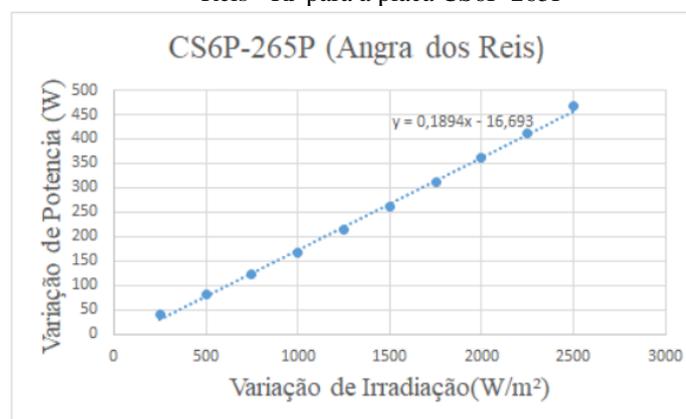
Para as avaliações nas condições padrões de teste, a placa JKM315P-72 apresenta maiores perdas de potência segundo a variação de irradiação solar e temperatura. Logo, afirma-se que, nas condições padrões de teste, a placa CS6P-365P é mais estável que sua concorrente, pois, embora possua menor potência máxima, apresenta menor variação de potência conforme a variação da irradiação solar e da temperatura, tornando-se mais confiável na alimentação do sistema à que está ligada.

### 3 COMPARAÇÃO ENTRE AS PLACAS - SITUAÇÃO REAL

As análises seguindo o padrão STC não abrangem valores dentro da realidade da região de Angra dos Reis, desse modo, foi feito um novo estudo levando em conta valores de irradiação e temperatura típicos da região.

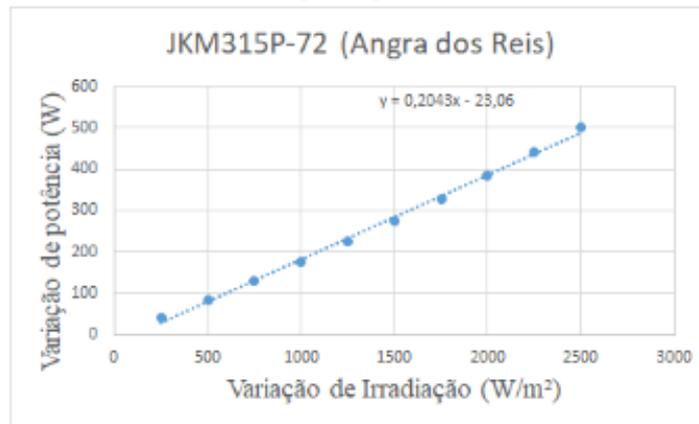
Para comparar a eficiência das placas nessas condições, primeiro foi feito um estudo da variação da potência ( $\Delta P$ ) em função da variação de irradiação ( $\Delta P_{sun}$ ). Adotando como referência a irradiação solar de  $5500 \text{ W/m}^2$  (Atlas Rio Solar, 2016), calculou-se  $\Delta P$  quando  $\Delta P_{sun}$  variava de  $250 \text{ W/m}^2$  até  $2500 \text{ W/m}^2$  num passo de  $250 \text{ W/m}^2$ . Os resultados são apresentados nas “Figuras 5 e 6”.

Figura 5: Curva da variação da potência na região de Angra dos Reis - RJ para a placa CS6P-265P



Fonte: Autoria própria.

Figura 6: Curva da variação da potência na região de Angra dos Reis - RJ para a placa JKM315P-72



Fonte: Autoria própria.

Analisando as “Figuras 5 e 6” constata-se o mesmo resultado obtido para as condições padrões: o painel CS6P-265P apresenta uma perda de potência menor, pois o coeficiente angular de sua reta possui módulo menor que sua concorrente. Entretanto, vê-se que ambos equipamentos apresentam perdas de potência menores quando em condições reais.

Como no tópico anterior, encontrou-se a variação média de potência de cada painel. Para tal, foi considerada a variação de potência para qualquer perda de 250 W/m<sup>2</sup>.

Tabela 3: Média da variação de potência das placas para cada diminuição de 250 W/m<sup>2</sup>.

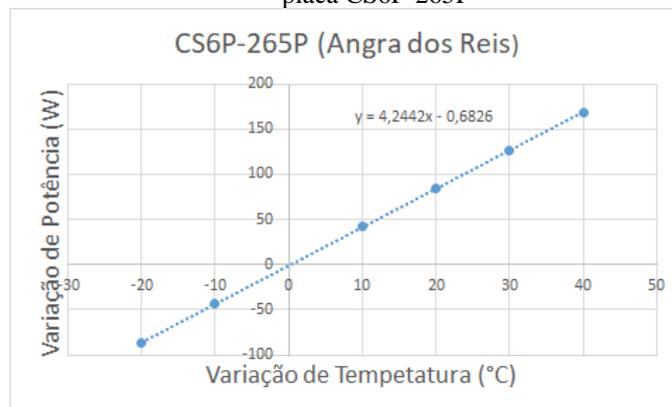
$\Delta P_{sun}$ (W/m <sup>2</sup> )	$\Delta P(W)$ - CS6P-265P	$\Delta P(W)$ - JKM315P-72
5500→5250	40	41
5250→5000	41	42
5000→4750	43	45
4750→4500	44	47
4500→4250	45.9	49
4250→4000	47.3	51
4000→3750	48.9	53
3750→3500	50.5	55.3
3500→3250	52	57.6
3250→3000	53.6	59.7
<b>MÉDIA</b>	<b>46.62</b>	<b>50.06</b>

Fonte: Autoria própria.

A média de  $\Delta P$  apresentada pela “Tabela 3” confirma a maior estabilidade da placa CS6P-265P sobre a JKM315P-72. Além disso, trabalhando com maiores magnitudes de irradiação, ambos equipamentos apresentam maior estabilidade, pois, se comparados com a “Tabela 1”, apresentam média de  $\Delta P$  menor reafirmando o que foi dito quando analisado os coeficientes angulares. Uma explicação para tal é um possível efeito de saturação das células fotovoltaicas.

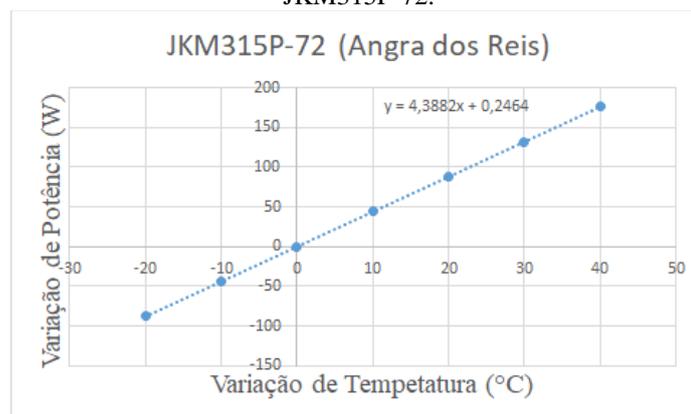
Para análise de variação de temperatura, tomou-se como referência 25°C e variou-se  $\Delta T$  de -20°C até 40°C, ao passo de 10°C. Os resultados são apresentados nas “Figuras 7 e 8”.

Figura 7: Curva da variação da potência devido a variação da temperatura na região de Angra dos Reis - RJ para a placa CS6P-265P



Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Curva da variação da potência na devido a variação de temperatura na região de Angra dos Reis-Rj da placa JKM315P-72.



Fonte: Autoria própria.

As “Figuras 7 e 8” mostram uma variação significativa no coeficiente angular das curvas se comparado ao resultado obtido nas condições padrões. Assim, os efeitos de temperatura são mais importantes nas situações reais e apresentam maior magnitude. No entanto, a placa JKM315P-72 continua a apresentar maior  $\Delta P$ , mantendo o resultado final.

Para obter o  $\Delta P$  médio em função de  $\Delta T$ , fixou-se a irradiação em  $4250 \text{ W/m}^2$ , que é a média dos valores de irradiação usados anteriormente, e tomou-se como referência a temperatura de  $25^\circ\text{C}$ .  $\Delta T$  foi variado de  $5^\circ\text{C}$  à  $65^\circ\text{C}$  com um passo de  $10^\circ\text{C}$ . Os dados são apresentados a seguir.

Tabela 4: Variação da temperatura e variação da potência das placas.

$\Delta T$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta P(\text{W})$ - CS6P-265P	$\Delta P(\text{W})$ - JKM315P-72
5→15	43	43
15→25	43	44
25→35	42.2	44
35→45	42.3	44
45→55	42.2	44
55→65	41.9	43.9
<b>MÉDIA</b>	<b>42.43</b>	<b>43.82</b>

Fonte: Autoria própria.

A “Tabela 4” confirma o resultado da análise das “Figuras 7 e 8” e explicita ainda mais a importância dos efeitos da variação de temperatura quando analisando situações reais devido a proximidade entre os valores de  $\Delta P$  segundo  $\Delta T$  e  $\Delta P_{\text{sun}}$  neste caso.

Conclui-se que o painel CS6P-265P é mais estável que o JKM315P-72 tanto nas condições padrões quanto no clima de Angra dos Reis. Além disto, as análises feitas neste trabalho podem ser de fundamental importância para a escolha do melhor equipamento para determinado projeto.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos supor que as diferenças na eficiência das placas, mesmo sendo ambas poli cristalinas, é devido a qualidade da pureza dos semicondutores, o que afeta o real valor da energia da banda proibida. A qualidade da fundição dos semicondutores e de dopagem do material também influencia na real qualidade de absorção de luz solar, o sombreamento que a própria estrutura causa nas células.

Com essa comparação pode-se observar a importância de fazer a análise proposta, pois não está presente nos datasheets informações sobre o comportamento das placas expostas a irradiação e temperatura variáveis, que é fundamental para a aplicação, já que esses parâmetros variam constantemente com a posição do sol durante o dia e a estação do ano. Sem esse estudo o comprador não tem uma informação precisa sobre a carga entregue pela placa, que é fundamental para elaboração de qualquer projeto.

Dessa forma um projetista ao avaliar qual painel solar implementar no seu projeto, visando o melhor custo-benefício, deve se atentar a essas avaliações, pois, para fazer os devidos dimensionamentos de um sistema é preciso ter uma noção bem aproximada da carga

que o painel solar entregará. Assim, caso o projetista não leve estes fatores em consideração, o projeto pode apresentar falhas ou respostas insatisfatórias, acarretando grandes prejuízos ao comprador.

Como foi exposto, o desempenho do equipamento em circunstâncias reais está diretamente relacionado com a variação de irradiação e temperatura. Assim, os programas propostos por Casaro e Martins pode também ser aplicados para a escolha de placas solares para um determinado projeto e o cálculo da previsão de carga do mesmo.

Além disso, baseado nos resultados obtidos, afirma-se que o modelo de ensino proposto pela disciplina "Fontes Renováveis de Energia" teve sucesso. Foram apresentadas as dificuldades no desenvolvimento de um artigo científico, botando à prova a capacidade dos autores de solucionar problemas de engenharia e lidar com fenômenos inesperados no desenvolvimento do projeto. Logo, foi apresentada na prática a função de um engenheiro e pesquisador.

## REFERÊNCIAS

IEPUC; EGPEnergia. **Atlas Rio Solar – Atlas Solarimétrico do Estado do Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/atlas-rio-solar-portal-energia.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2019.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S.R. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2014.

JKM315P-72: banco de dados. Disponível em: [https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM315P-72\(4BB\).pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM315P-72(4BB).pdf). Acesso em: 19 abr. 2019.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C.. MODELO DE ARRANJO FOTOVOLTAICO DESTINADO A ANÁLISES EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA VIA SIMULAÇÃO, **Eletrônica de Potência**, v. 13, n. 3, p. 141-146, 2008.

QUARTECH CS6P-260/265/270P: banco de dados. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FFile-1473078632.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2019.

Governo do Brasil. **Conheça as condições especiais para investir em energia solar**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2018/06/conheca-as-condicoes-especiais-para-investir-em-energia-solar>. Acesso em: 20 abr. 2019.

Shayani, R. A.; Oliveira, M. A. G.; Camargo, I. M. T. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2006, DF, Brasília.

## SIMULATION AND ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC PANELS POWER FOR TEMPERATURE AND IRRADIATION VARIATIONS

**Abstract:** *Following a proposal of bibliographical analysis of the paper by Casaro and Martins in 2008 in the journal Power Electronics and based on the knowledge acquired and the data and methods proposed, the present paper develops and follows the method of evaluation of the power attributed to a photovoltaic panel, subjected to solar radiation and temperature variables, and the comparison of solar panels installed in a given region. The*

*solar panels used were a JKM315P-72 panel from Jinko Solar and a CS6-265P panel from Canadian Solar, both panels were submitted to the climate of Angra dos Reis region.*

**Key-words:** *solar fotovoltaic energy, efficiency, simulation, solar irradiation, temperature.*