

MODELAGEM COMPUTACIONAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Arthur Costa de Souza, Fernando Cardoso Melo, José Rubens Macedo Jr.
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia/MG, Brasil
E-mail: arthur_costasouza@hotmail.com, fernandocardoso101@gmail.com, jrubens@ieee.org

Resumo – O presente trabalho tem como objetivo apresentar a modelagem matemática e simulação computacional de um módulo fotovoltaico a partir das características físico-elétricas fornecidas pelos fabricantes. A modelagem matemática foi implementada no *software* Matlab-Simulink®, considerando-se a análise do comportamento dos módulos fotovoltaicos em relação às variações de irradiância e temperatura. Os resultados obtidos demonstraram, ainda que de forma preliminar, uma boa correlação entre as respostas computacionais e as informações técnicas fornecidas por diferentes fabricantes.

Palavras-Chave – modelagem computacional, módulo fotovoltaico, Matlab-Simulink.

COMPUTATIONAL MODELING OF PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract - This paper presents a mathematical modeling and simulation of photovoltaic modules considering the physical and electrical characteristics provided by different manufacturers. The mathematical modeling was carried out using Matlab/Simulink software, considering the analysis of the photovoltaic modules behavior under different conditions of irradiance and temperature. The results obtained show, on a preliminary basis, a good correlation between the computational outcomes and the technical features provided by the manufactures.

Keywords – Computational Modeling, photovoltaic module, simulation, Simulink.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a necessidade e a dependência da energia elétrica aumentaram de forma significativa, resultando uma preocupação crescente quanto ao suprimento da demanda de energia elétrica de maneira sustentável. A questão ambiental circunda diversos segmentos e, nesse sentido, o setor elétrico também necessita adaptar seus mecanismos de maneira a buscar a redução de impactos ambientais na geração da energia elétrica. Com o intuito de reduzir o uso de combustíveis fósseis, iniciou-se uma grande investigação por alternativas renováveis para produção de energia elétrica, ao mesmo tempo em que o uso consciente da energia elétrica tem sido estimulado. A energia solar fotovoltaica é uma fonte alternativa de energia que não apresenta impactos ambientais relevantes, além de não contar com elevados custos de manutenção e grandes obras civis [1].

A conversão da energia solar em energia elétrica pode ser utilizada em uma enorme variedade de aplicações [2]. Existem duas diferentes formas de utilizar a energia solar: a ativa e a passiva. A primeira caracteriza-se na transformação dos raios

solares em outras formas de energia como térmica e elétrica; enquanto a segunda, emprega o aproveitamento da energia para o aquecimento de edifícios ou prédios, por meio de concepções e estratégias construtivas [2].

A conversão da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação sobre os dispositivos denominados por células solares, que lidam constantemente com os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O efeito termoelétrico caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas; enquanto o efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons das células fotovoltaicas perante a radiação solar, convertendo diretamente a energia solar em eletricidade, na forma de tensão e corrente elétrica contínua. Dependendo de uma única fonte de geração de energia elétrica não é viável, porque na ausência desta fonte primária, acontece a paralisação parcial/total dos setores comerciais e industriais do país, devido à grande dependência da energia elétrica advindas, principalmente, das hidrelétricas. Um exemplo disso é a crise hídrica de 2015 no Brasil.

Sistemas fotovoltaicos foram inicialmente utilizados no Brasil considerando-se arranjos para operação isolada (sem conexão com a rede elétrica convencional), a exemplo dos sistemas associados com programas sociais, como o PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios) [3]. Esse tipo de utilização de sistemas fotovoltaicos é muito comum em regiões de difícil acesso ou em locais onde a instalação de redes de distribuição de energia elétrica não seja economicamente viável.

Mais recentemente os sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede são instalados para fornecer energia ao consumidor, que pode usar a energia da rede elétrica convencional para complementar a quantidade de energia demandada, caso haja algum aumento do consumo de energia em sua residência ou estabelecimento comercial. O consumidor pode também vender a energia gerada pelo sistema para a distribuidora, caso use menos energia do que a gerada pelo sistema [3].

Na análise dos módulos fotovoltaicos com as mudanças de condições de carga, diversos valores de corrente e tensão podem ser medidos e arranjados graficamente. A curva gerada é chamada de curva característica I-V e está associada às condições de intensidade solar, temperatura, dentre outras. As condições padrão de teste (STC) para o módulo fotovoltaico são: irradiância solar de 1000 W/m² e temperatura da célula de 25°C. Neste trabalho, foi desenvolvido um modelo para módulos fotovoltaicos, com o intuito de simular seu funcionamento perante a variação da intensidade da radiação solar e temperatura. Pretende-se desta forma prover um recurso alternativo que auxilie as concessionárias e empresas do setor elétrico nos estudos e análises de comportamento do fluxo de energia e desempenho da rede elétrica, com foco em analisar o impacto que esta geração distribuída, utilizando sistemas fotovoltaicos, pode acarretar ao sistema.

II. MODELAGEM DE UMA CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os modelos teóricos das células solares são derivados da física do estado sólido. Essas derivações são elementares e resultam em modelos que são especialmente úteis para o pesquisador da área. O circuito elétrico equivalente de uma célula solar pode ser sintetizado conforme modelo ideal mostrado na Figura 1 [4]. Este modelo apresenta uma fonte de corrente de magnitude I_{ph} , equivalente a intensidade luminosa (irradiância) e temperatura ambiente, além de uma corrente I_d que flui internamente na junção PN do semiconductor em uma determinada temperatura absoluta T , e a tensão nos terminais, V .

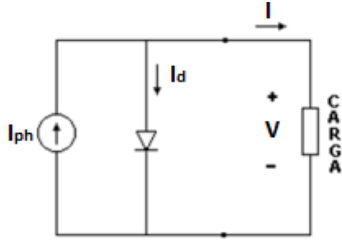


Fig. 1. Modelo ideal da célula solar.

A equação da célula solar básica derivada da física do estado sólido não representa as características reais das células solares com precisão suficiente para a análise de engenharia. Dessa forma, uma variedade de condições de teste levou à inclusão de três parâmetros adicionais, quais sejam: A (fator de idealização), R_s (resistência série), e R_p (resistência paralela) [4], conforme descrito pela equação (1) e ilustrado na Figura 2.

$$I = I_{ph} - I_o \left\{ \exp \left[\frac{e(V + IR_s)}{AKT} \right] - 1 \right\} - \frac{V}{R_p} \quad (1)$$

Em que:

- R_s – Resistência série da célula;
- R_p – Resistência paralela da célula;
- I – Corrente de saída da célula;
- I_{ph} – Corrente fotogerada;
- I_o – Corrente de saturação do diodo;
- e – Carga elétrica, $1,6 \times 10^{-19}$ coulomb [C];
- V – Tensão nos terminais da célula;
- K – Constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$;
- T – Temperatura absoluta, em Kelvin [K];
- A – Fator de idealização (assumindo valores de 1 a 5);

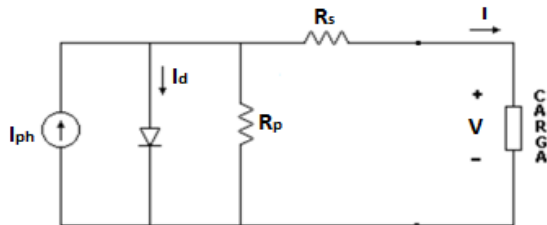


Fig. 2. Modelo real da célula solar.

Vale ressaltar que a R_p em paralelo com o diodo representa as perdas por correntes de fuga que ocorrem nas extremidades da célula solar, enquanto a resistência série R_s , na saída, caracteriza as quedas de tensão na condução de carga entre o material semiconductor e o contato externo. Este modelo de célula solar tem sido amplamente utilizado para estudos

diversos [4]. No entanto, o mesmo ainda apresenta alguns pequenos desvios na curva característica $V-I$ da célula solar. Uma das razões para tais desvios é a dificuldade de se medir com precisão a resistência série (R_s), a corrente de saturação do diodo (I_o) e o fator de idealização (A) [4]. Não existe um único modelo, neste momento, capaz de representar com precisão todas as células solares.

Na referência [4] foram abordados três modelos típicos de células solares. Para o presente trabalho foi adotado o terceiro modelo citado no referido trabalho, devido, fundamentalmente, à sua menor complexidade em relação aos outros dois modelos, porém não há comprometimento significativo nos resultados. O modelo escolhido pode ser matematicamente representado pela equação (2).

$$I = I_{sc} \left(1 - C_1 \left\{ e^{\left[\frac{V}{C_2 V_{oc}} \right]} - 1 \right\} \right) \quad (2)$$

Onde

$$C_1 = \left[1 - \left(\frac{I_{mp}}{I_{sc}} \right) \left\{ e^{\left[\frac{-V_{mp}}{C_2 V_{oc}} \right]} \right\} \right] \quad (3)$$

e

$$C_2 = \left[\left(\frac{V_{mp}}{V_{oc}} \right) - 1 \right] \left[\ln \left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}} \right) \right]^{-1} \quad (4)$$

A utilização da equação (2) resulta em um erro considerável na irradiância solar acima de duas constantes solares. A investigação empírica revelou que um melhor entendimento entre as características calculadas e reais pode ser obtido em irradiâncias mais altas, conforme equação (5) [4].

$$I = K_6 - \left[e^{(K_4 V^m - K_5)} \right] \quad (5)$$

Expressando as constantes (K_4 , K_5 e K_6) em termos dos três pontos característicos das células (I , I_{sc} e V) resulta na equação (6).

$$I = I_{sc} \left\{ 1 - C_3 \left[e^{(C_4 V^m)} - 1 \right] \right\} \quad (6)$$

As constantes m , C_4 , C_5 e C_6 são definidas respectivamente nas equações (7) a (10).

$$m = \left[\frac{\ln \left(\frac{C_5}{C_6} \right)}{\ln \left(\frac{V_{mp}}{V_{oc}} \right)} \right] \quad (7)$$

$$C_4 = \frac{C_6}{(V_{oc})^m} \quad (8)$$

$$C_5 = \ln \left\{ \frac{[I_{sc}(1+C_3) - I_{mp}]}{(C_3 I_{sc})} \right\} \quad (9)$$

$$C_6 = \ln \left[\frac{(1+C_3)}{C_3} \right] \quad (10)$$

A constante C_3 não pode ser expressa em termos dos três pontos característicos, mas por meio de tentativa e erro, verificou-se que um valor de 0,01175 para C_3 produz o mínimo de erros na gama de iluminação e temperatura considerada [4]. Com este valor substituído por C_3 , as expressões referentes às outras constantes são reduzidas, como mostrado nas equações (11) a (14).

$$C_6 = 4,46 \quad (11)$$

$$m = \left[\frac{\ln \left(\frac{C_5}{4,46} \right)}{\ln \left(\frac{V_{mp}}{V_{oc}} \right)} \right] \quad (12)$$

$$C_4 = \frac{4,46}{(V_{oc})^m} \quad (13)$$

$$C_5 = \ln \left[\frac{(0,01175 \cdot I_{sc} - I_{mp})}{(0,01175 \cdot I_{sc})} \right] \quad (14)$$

Qualquer modelo de célula solar utilizado para a análise de seu desempenho, deve atender os seguintes critérios:

1. Apresentar precisão suficiente para simular as curvas $I-V$ durante o intervalo de interesse da temperatura, nível de iluminação (irradiação), e da degradação ambiental; e;
2. Permitir, com uma precisão suficiente, a manipulação das curvas $I-V$, conforme necessário, para prever o desempenho do arranjo sob certas condições de funcionamento especificado.

A curva ou o modelo celular, descrita na equação (6) corresponde a uma curva $I-V$ de referência arbitrária. Ela é válida somente em um nível de irradiação e temperatura. Para torná-la, aplicável a outros níveis de irradiação e temperatura são utilizadas as equações de (15) a (20) [4].

$$\Delta T = T - T_{ref} \quad (15)$$

$$\Delta I_{sc} = I_{sc} \cdot \left(\frac{S}{S_{ref}} - 1 \right) + \alpha \cdot \Delta T \quad (16)$$

$$\Delta I_{mp} = I_{mp} \cdot \left(\frac{S}{S_{ref}} - 1 \right) + \alpha \cdot \Delta T \quad (17)$$

$$\Delta V = \beta \cdot \Delta T - \Delta I_{sc} \cdot R_s \quad (18)$$

$$V_{new} = V_{ref} + \Delta V \quad (19)$$

$$I_{new} = I_{ref} + \Delta I \quad (20)$$

onde

- V – Tensão nos terminais da célula (V);
- V_{oc} – Tensão de circuito aberto (V);
- V_{mp} – Tensão de máxima potência (V);
- V_{ref} – Tensão nas condições de referência (V);
- I – Corrente de saída da célula (A);
- I_{sc} – Corrente de curto-circuito (A);
- I_{mp} – Corrente de máxima potência (A);
- I_{ref} – Corrente nas condições de referência (A);
- α – Coeficiente de temperatura para a corrente de curto-circuito na radiação solar de referência (A/°C);
- β – Coeficiente de temperatura para a tensão de circuito aberto na radiação solar de referência (V/°C).
- R_s – Resistência série da célula;
- S – Irradiância solar total no plano do gerador fotovoltaico (W/m²);
- S_{ref} – Irradiância solar de referência (1000 W/m²);
- T – Temperatura da célula solar (°C);
- T_{ref} – Temperatura de referência da célula solar (25 °C);

A potência do módulo é o produto da tensão e corrente de saída sob determinados níveis de irradiação (S), como mostra (21).

$$P(S) = V(S) \cdot I(S) \quad (21)$$

III. FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS DO PAINEL FOTOVOLTAICO

A. Influência da Irradiância na Curva $I-V$

A corrente do painel é diretamente proporcional à irradiação do sol, sabendo disso podem-se traçar as curvas que representam a influência da intensidade de irradiação nas características de tensão e corrente da célula solar. Quando ocorre uma redução luminosa incidente nos painéis solares, a corrente de curto-circuito (I_{sc}) e a tensão de circuito aberto (V_{oc}) diminuem, alterando os valores de tensão e corrente fornecidos à carga, como mostrado na Figura 3.

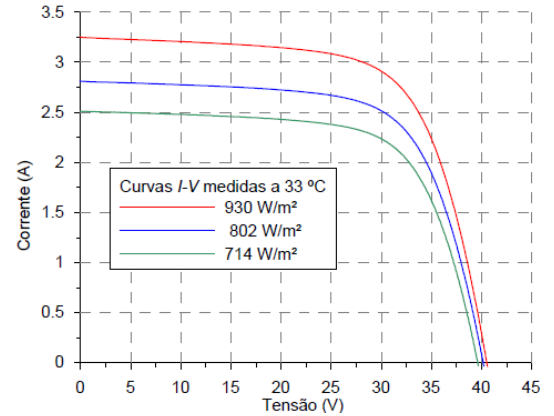


Fig. 3. Influência da irradiação na curva $I-V$ da célula solar [5].

B. Influência da Temperatura na Curva $I-V$

A corrente de operação do painel também está em função da temperatura e, pela Figura 4 verifica-se que, ao contrário da irradiação, a influência da temperatura é negativa, pois com seu aumento, o ponto de potência máxima é atenuado.

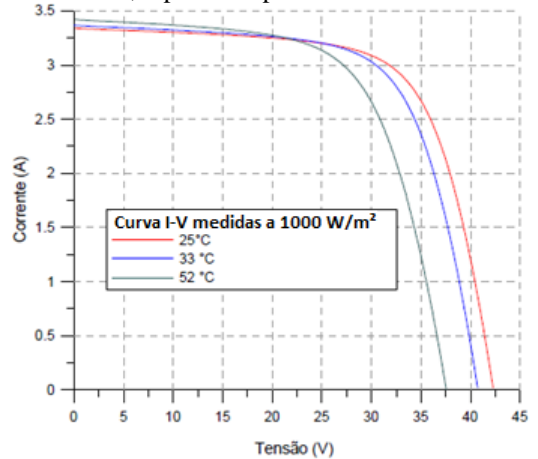


Fig. 4. Influência da temperatura na curva $I-V$ da célula solar [5].

C. Influência das Resistências Série e Paralelo

A resistência série está associada aos seguintes elementos: base das células, região do emissor, resistências de contato entre o metal e o semiconductor (lados frontal e posterior). Desta forma, um resultado esperado é que módulos com maior número de células associadas em série apresentem um maior valor de R_s . O efeito desta resistência no desempenho de um módulo é o da redução na potência [5]. A Figura 5 mostra o

efeito causado pela variação da resistência série no módulo solar.

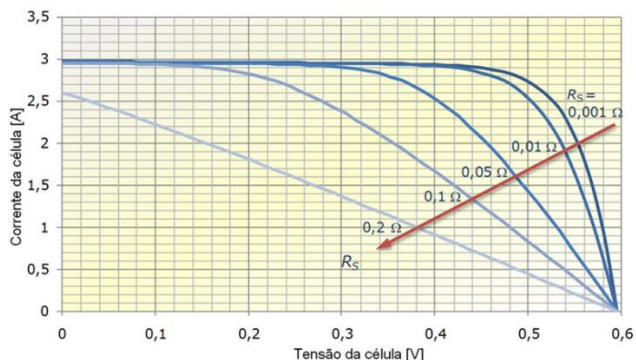


Fig. 5. Influência da variação da resistência série [2].

A resistência paralela está associada a perdas de corrente elétrica pelo gerador fotovoltaico. Idealmente um módulo teria um valor de R_p infinito, o que representaria inexistência de corrente de fuga. Valores baixos de R_p causam queda na potência fornecida pelo dispositivo fotovoltaico, devido a um caminho alternativo que a corrente elétrica fotogerada tem para circular. A resistência paralela é responsável por um incremento na inclinação da curva $I-V$ na região de curto circuito até o joelho da mesma. Verifica-se então, que baixos valores de R_p causam uma diminuição no valor da tensão de circuito aberto (V_{oc}) [5]. A Figura 6 mostra o efeito causado pela variação da resistência paralela no módulo solar.

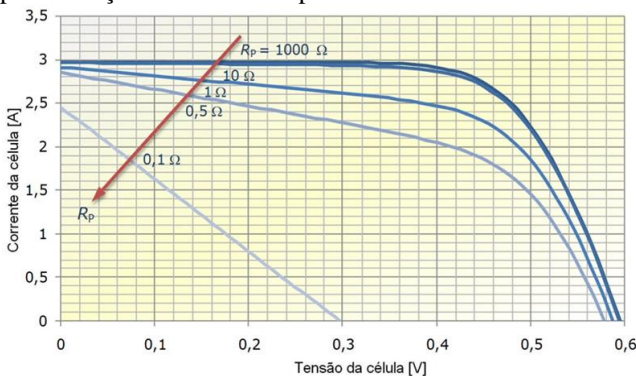


Fig. 6. Influência da variação da resistência paralela [2].

IV. ASSOCIAÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Múltiplos módulos podem ser conectados para formar o chamado arranjo fotovoltaico, como ilustrado na Figura 7. Em geral, quanto maior a área de um módulo, mais eletricidade será produzida. Do ponto de vista elétrico eles também podem ser ligados em série e em paralelo para produzir qualquer combinação de tensão e corrente.

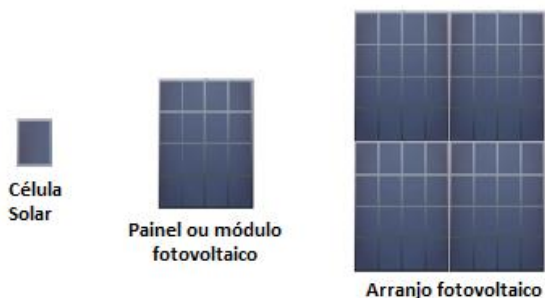


Fig. 7. Célula, módulo e arranjo fotovoltaico.

A. Associação em Série

Na conexão série, o terminal positivo de um dispositivo fotovoltaico é conectado ao terminal negativo do outro dispositivo, e assim sucessivamente. Para dispositivos idênticos e submetidos à mesma irradiância, quando a ligação é em série, as tensões são somadas e a corrente elétrica não é afetada, como indicam (22) e (23).

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (22)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (23)$$

Se os dispositivos são idênticos e encontram-se sob as mesmas condições de irradiância e temperatura, então, as correntes elétricas individuais são iguais, conforme apresentado na equação (13). No caso de se associarem os dispositivos em série com diferentes correntes de curto-circuito, a corrente elétrica da associação será limitada pela menor corrente. Entretanto, a associação de módulos de correntes diferentes não é recomendada na prática, pois pode causar superaquecimento [6]. A Figura 8 ilustra o resultado da associação série dos módulos solares.

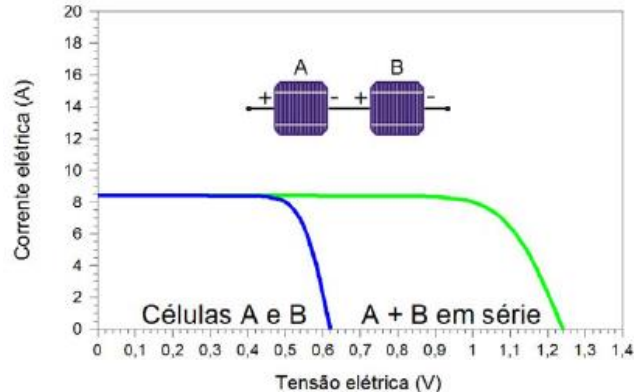


Fig. 8. Associação em série dos módulos solares [6].

B. Associação em Paralelo

Na associação em paralelo, os terminais positivos dos módulos são interligados entre si, assim como os terminais negativos. A Figura 9 ilustra o resultado da soma das correntes elétricas em células ideais conectadas em paralelo, enquanto a tensão permanece inalterada. Sendo assim, tem-se as equações apresentadas em (24) e (25):

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (24)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (25)$$

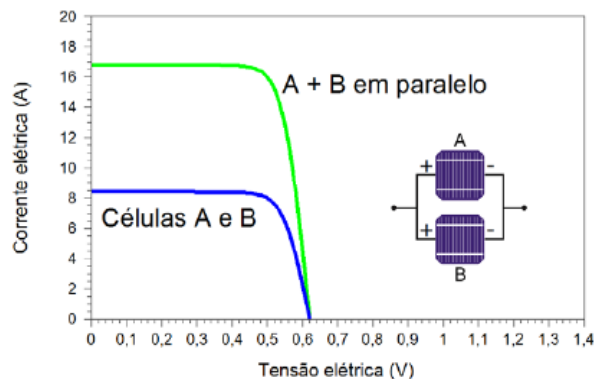


Fig. 9. Associação em paralelo dos módulos solares [6].

V. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A partir da modelagem supracitada, foi implementado o modelo de painéis solares no software MATLAB®/Simulink, criado com base nas equações (2) a (20). A Figura 10 apresenta a modelagem matemática de uma célula solar, com seus parâmetros de entrada irradiância (S) e temperatura (T).

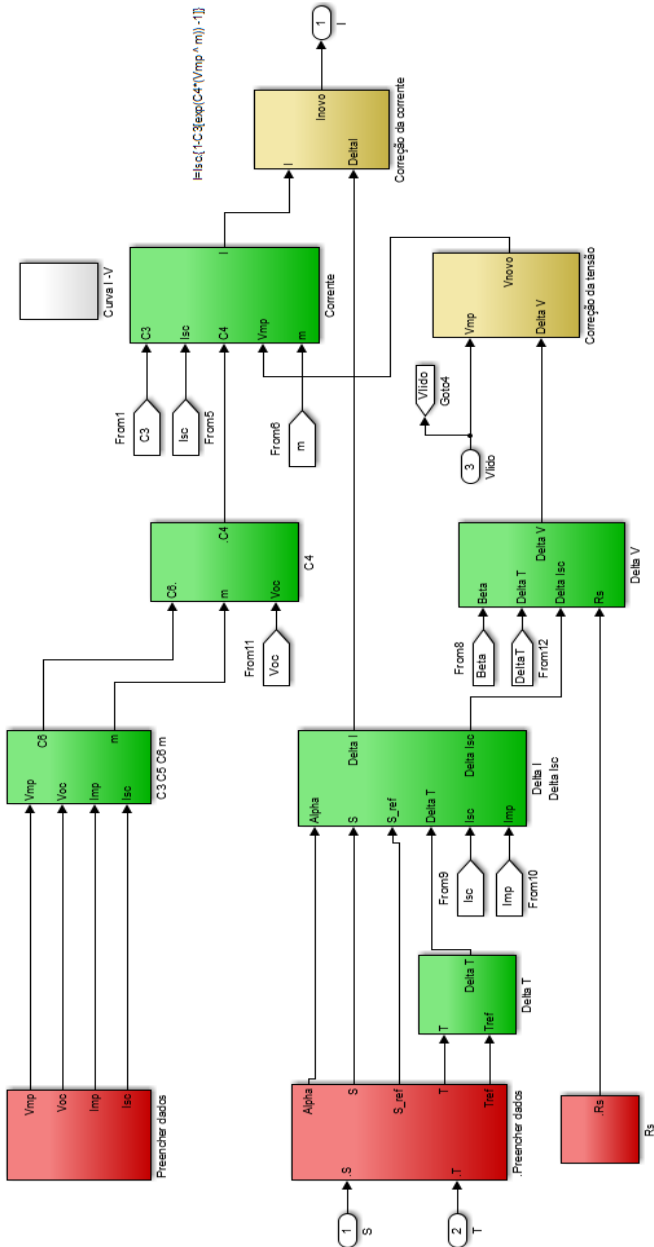


Fig. 10. Circuito equivalente da célula solar no Matlab/Simulink.

A resistência série (R_s) muitas vezes não é fornecido pelo fabricante, e uma das razões para tais desvios é a dificuldade em realizar a medição com precisão. A resistência série foi determinada através de um software livre (*PV-Analysator*), que com o preenchimento de alguns parâmetros do módulo foi possível a sua obtenção, os respectivos parâmetros são: I_{mp} (corrente máxima de operação), I_{sc} (corrente de curto-circuito), V_{mp} (tensão máxima de operação) e V_{oc} (tensão de circuito aberto).

Dentre este cenário, caso o estudo opere com mais de um módulo em série, deve-se aplicar uma correção no valor da

resistência, para isso aplica-se o fator de correção conforme a equação (26), encontrada por meio empírico, a qual foi testada em outros módulos apresentando respostas bastantes satisfatórias.

$$F_c = \frac{R_{st}}{num \cdot R_s} \quad (26)$$

Sendo:

F_c – Fator de correção;

R_{st} – Resistência série total (Ω);

R_s – Resistência série de um único módulo (Ω);

Tanto a resistência R_{st} quanto a resistência R_s são determinados pelo software *PV-Analysator*. A Figura 11 exibe a correção da resistência série implementado no *simulink*. Nota-se que para o modelo da placa solar KD135SX-UPU do fabricante KYOCERA, o fator de correção corresponde a 0,834. Esta operação define o valor total da resistência série do arranjo fotovoltaico, permitindo, assim, uma boa correspondência entre as curvas simuladas com as curvas fornecidas pelos fabricantes.

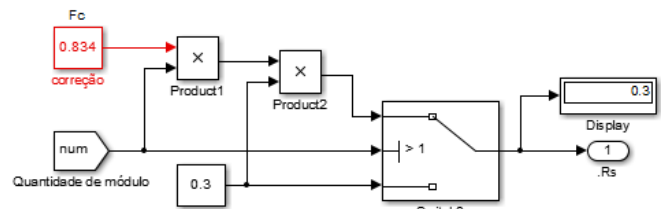


Fig. 11. Correção da resistência série.

VI. SIMULAÇÕES

A Figura 12 ilustra o painel fotovoltaico alimentando uma carga resistiva (R). A tensão medida na carga (V_{lido}) é transmitida para o modelo da célula, de forma a completar a equação e garantir um comportamento dinâmico do arranjo. Assim, se a corrente aumentar a tensão aumenta e vice-versa, respeitando a curva característica $I-V$.

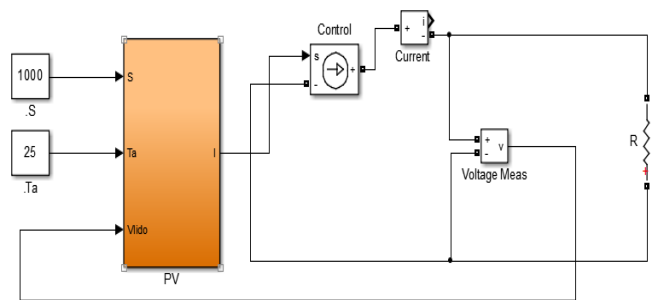


Fig. 12. Painel fotovoltaico alimentando uma carga.

As curvas características $I-V$ e as curvas de potência do módulo serão analisadas de forma a validar o modelo desenvolvido. Assim, tais curvas serão comparadas com as curvas fornecidas pelo fabricante em sua folha de dados. Como apresentado anteriormente, os parâmetros foram extraídos do *datasheet* de um módulo policristalino do fabricante KYOCERA, modelo KD135SX-UPU.

Na Figura 13 são apresentadas as curvas da folha de dados do fabricante para cinco níveis de irradiância solar e são mostrados os resultados oriundos das simulações. As curvas foram elaboradas levando-se em consideração uma temperatura fixa de 25°C.

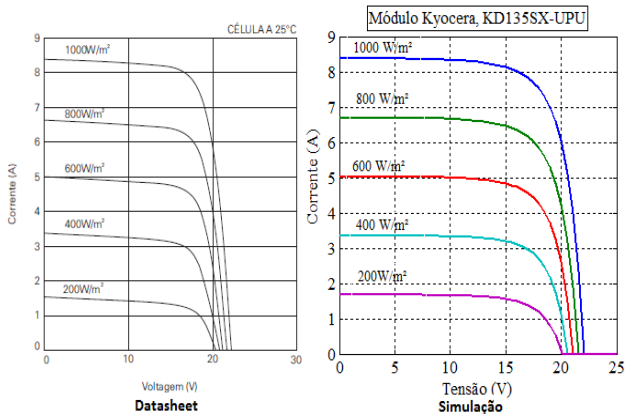


Fig. 13. Curva I - V em vários níveis de irradiância.

Como pode ser visto na Figura 13 a corrente da célula fotovoltaica é fortemente dependente da radiação solar. Enquanto a tensão do módulo é minimamente influenciado por este fator. A Figura 14 apresenta as curvas de potência para vários níveis de irradiância com a temperatura fixa em 25 °C.

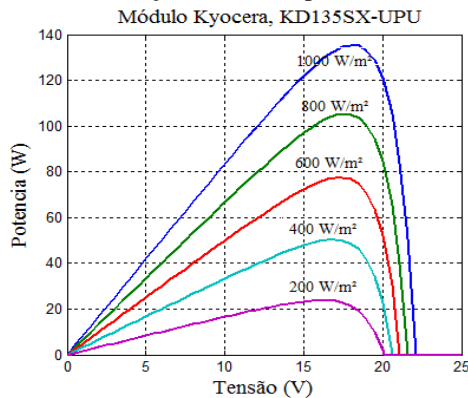


Fig. 14. Curva de potência em vários níveis de irradiância.

Conforme ilustrado na Figura 14, a diminuição da intensidade luminosa acarreta uma redução da eficiência do módulo. A Figura 15 mostra as curvas I - V , em três temperaturas distintas, retiradas da folha de dados do fabricante, assim como as correspondentes curvas geradas pelo modelo desenvolvido no *Simulink*. Nesse caso, a irradiância solar manteve-se fixa em 1000W/m² e a temperatura variou em intervalos de 25°C.

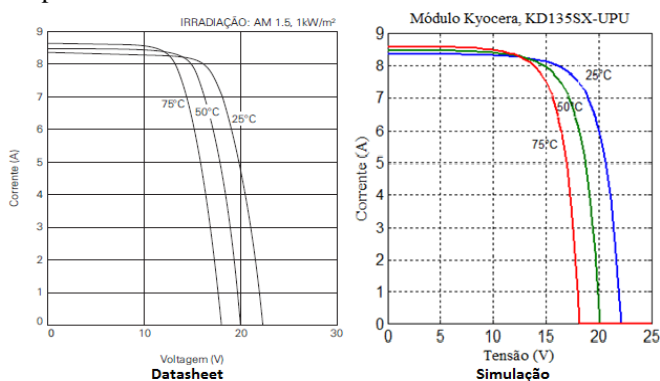


Fig. 15. Curva I - V em três temperaturas distintas.

A Figura 16 apresenta as curvas de potência obtidas para as três temperaturas distintas com a irradiância fixa em 1000W/m². Observa-se que com o aumento de temperatura a potência fornecida pelo módulo é reduzida consideravelmente.

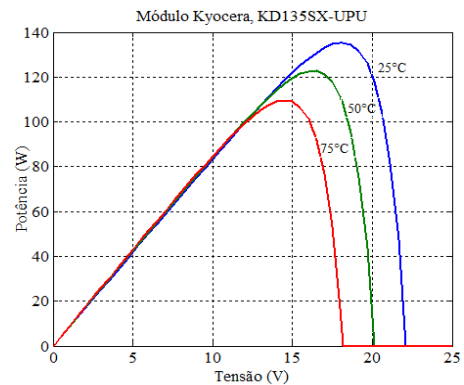


Fig. 16. Curva de potência em três temperaturas distintas.

VII. CONCLUSÕES

Este trabalho descreveu a modelagem de um módulo solar fotovoltaico com suas respectivas curvas características de corrente-tensão. Além disso, foram apresentadas as curvas de potência do painel solar para diversas situações de irradiância e temperatura. Com o intuito de validar a modelagem desenvolvida, comparou-se as curvas geradas através de simulações computacionais com as curvas fornecidas por um determinado fabricante. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios e suficientes para validação dos modelos desenvolvidos. Dessa forma, verifica-se que a simulação computacional é uma ferramenta importante para a análise do funcionamento de um sistema fotovoltaico contribuindo para a redução de seus custos, já que se pode prever e avaliar diversas situações, em prol do desempenho eficiente do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] Aramizu, Juliana. “Modelagem e Análise de Desempenho de um Módulo Fotovoltaico em Operação Isolada e em Paralelo com uma Rede de Distribuição de Energia Elétrica”. Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, 2010.
- [2] Cunha, G. H. B. “Modelagem matemática e implementação computacional no ATP de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede de baixa tensão” Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em engenharia Elétrica na UFU- Universidade Federal de Uberlândia, 2013.
- [3] G. M. Jannuzzi, F. K. de O. M. Varella, R. D. M. Gomes. “Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação” Relatório Final IEI- *International energy initiative*, Outubro de 2009, Campinas/SP.
- [4] H. S. Rauschenbach, 'Solar Cell Array Design Handbook, Chapter 2. Van Nostrand Reinhold Company, New York 1980.
- [5] Buhler, A. J. “Determinação de Parâmetros Fotovoltaicos a Partir de Ensaio de Curvas Características Sem Iluminação”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na UFRGS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Março de 2007.
- [6] João Tavares Pinho, Marco Antonio Galdino. “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos” Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPTEL, DTE, CRESESB, Rio de Janeiro, Março de 2014.