

MODELAMENTO E ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DA CURVA $I \times V$ DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Esley Fernando Alves Lima, esleyfernando@yahoo.com.br¹

Vanja Fontenele Nunes, vanjafnunes@gmail.com¹

Gessé de Sousa Oliveira, gesse.fisica@gmail.com¹

Francisco Nivaldo Aguiar Freire, nivaldo@ufc.br¹

¹Universidade Federal do Ceará, Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza, CEP 60020-181

Resumo: Ferramentas para a previsão de desempenho nos permitem demonstrar se um sistema será viável e eficiente, sendo um importante fator no sucesso de qualquer tecnologia nova. Para tal, as características de corrente-tensão de um módulo fotovoltaico podem ser reproduzidas modelando o sistema como um circuito elétrico equivalente. Neste trabalho é realizada a análise dos principais modelos paramétricos para sistemas fotovoltaicos disponíveis na literatura e o desenvolvimento de um novo modelo baseado em ajustes de curva, visando combinar a minimização do número de parâmetros necessários com o alcance de menores erros em confronto com os modelos já estabelecidos.

Palavras-chave: Fotovoltaico, Modelamento, Estimação de parâmetros, Energia renovável.

1. INTRODUÇÃO

A atual dependência da energia elétrica pelas atividades humanas, a presumível escassez dos combustíveis fósseis, tais como carvão, petróleo e gás natural, juntamente com o apelo ambiental, incentivam a pesquisa em fontes produtoras de energia de forma sustentável e limpa. (ZANOTTI *et al.*, 2014)

Entre as alternativas para produção de energia sustentável e limpa, destaca-se a geração fotovoltaica (FV), uma fonte de conversão direta da energia solar em energia elétrica. As vantagens da energia elétrica obtida através dos painéis fotovoltaicos estão ligadas à sua estrutura estática, silenciosa, não poluente, renovável e com baixo custo de manutenção, produzindo energia limpa de uma fonte inesgotável. (RÜTHER, 2004)

No campo dos sistemas fotovoltaicos, é essencial ter uma boa ferramenta de simulação que possa prever o comportamento físico de um painel FV, variando a irradiância solar e a temperatura de operação. A temperatura de operação também é uma variável chave do problema de previsão porque afeta diretamente as saídas elétricas (corrente, tensão e energia) e a eficiência do dispositivo solar. (CIULLA *et al.*, 2014)

A representação do módulo na forma detalhada é um modelo complexo composto por um ou dois diodos (abrangendo efeitos de difusão e recombinação), uma resistência em série (considerando perdas nos contatos metálicos) e uma resistência em paralelo (contemplando os efeitos de corrente parasítica). (GOW e MANNING, 1996)

Com o levantamento da curva característica $I \times V$ do módulo fotovoltaico, através de ensaios, podem ser determinados alguns parâmetros do modelo do módulo. Entretanto, existem parâmetros cuja determinação necessita de ensaios especiais, como por exemplo, o ensaio do módulo no escuro para determinação da resistência em série (PRIEB, 2002 e BÜHLER, 2007).

Uma maneira de se evitar os ensaios especiais é usar metodologias para estimar todos os parâmetros do módulo fotovoltaico através da curva característica, mesmo aqueles parâmetros que necessitam de ensaios específicos. Devido à complexidade das equações, subjetividade na escolha dos parâmetros e a falta de padrão no cálculo de alguns parâmetros na literatura, verifica-se a necessidade do desenvolvimento de um novo modelo, mais simplificado e eficiente, e do estudo de novas aplicações na estimação dos parâmetros do módulo fotovoltaico. (COSTA, 2010)

Este trabalho objetiva o desenvolvimento e avaliação de um novo modelo simplificado para as características elétricas de um módulo fotovoltaico. Além da implementação e do confrontamento das técnicas de extração de parâmetros dos módulos, através das curvas características, para aplicações de simulação fotovoltaica.

2. PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

2.1. Modelo Baseado em um Sistema Linear de Primeira Ordem

Costa (2010) propôs um modelo que se baseia na resposta ao degrau de um sistema linear de primeira ordem (1Ord). Para tal, o autor aplicou uma mudança de variável para a tensão de saída do módulo ($V' = V_{ca} - V$).

Observando que esta curva é semelhante à que descreve a corrente de saída do módulo em função da nova variável V' , Costa (2010) descreveu a corrente no módulo fotovoltaico substituindo o tempo por V' , e obteve a nova expressão:

$$I = K \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(V_{ca} - V)}{\tau} \right] \right\} \quad (1)$$

O ganho K e a constante τ são dinâmicos e variam de acordo com estas condições. Pode ser observado que o ganho é a própria corrente de curto-circuito, expresso por:

$$K(G_c, T_c) = I_{ph}(G_c, T_c) = I_{cc}(G_c, T_c) = \frac{G_c}{G_r} [I_{ccr} - \alpha(T_c - T_r)] \quad (2)$$

Para a determinação da expressão de τ , foram utilizadas ferramentas computacionais para implementação do método para o ajuste de curvas. Os dados utilizados nesta ferramenta foram retirados da curva característica do módulo fotovoltaico. A Tabela 2 apresenta os valores ajustados de τ para diferentes condições de irradiância e temperatura.

Tabela 1. Dados para determinação da expressão de τ .

Irradiância (W/m²)	Temperatura (°C)	τ
800	20	1,680
900	20	1,729
1000	20	1,779
700	80	1,906
800	80	1,957
900	80	2,008

Fonte: Adaptado de Costa (2010).

Segundo Costa (2010), a grande vantagem deste modelo é a sua simplicidade, por não requerer técnicas de estimação de parâmetros e representar melhor o módulo fotovoltaico real em comparação ao modelo com resistência em série.

2.2. Modelo de ajuste de curva exponencial com correção linear para efeitos de R_p

Observando-se a curva corrente-tensão para um módulo com severos efeitos de resistência parasita, pode ser notado uma constante acentuação da inclinação na região próxima à corrente de curto-circuito em baixos valores de tensão de saída do módulo.

O modelo 1Ord proposto não contempla tais efeitos, sendo menos preciso quando comparado ao modelo R_p , portanto se propõe um novo modelo, no qual é adicionado uma correção linear para valores de resistência paralela em um ajuste de curva exponencial (ExpL).

Para o ajuste de curva do método é utilizado inicialmente a seguinte expressão para a corrente e função da tensão no módulo:

$$I = I_{ph} \{ 1 + pV - \exp[r(V_{ca} - V)] \} \quad (3)$$

onde:

p parâmetro de correção linear do modelo ExpL;

r parâmetro de ajuste exponencial do modelo ExpL.

Para simulações que considerem as resistências em série e em paralelo é indicado a adaptação da Eq. (3) através de valores corrigidos:

$$I_{ccc} = I_{cc} \left(\frac{R_p}{R_s + R_p} \right) \quad (4)$$

$$V_{cac} = n_s m_1 V_t \ln \left(1 + \frac{I_{cc}}{I_{01}} - \frac{V_{ca}}{R_p I_{01}} \right) \quad (5)$$

onde:

I_{ccc} corrente de curto-circuito corrigida;

V_{cac} tensão de circuito aberto corrigida.

O valor corrigido de tensão de circuito aberto é uma aproximação obtida para valores significativos de R_s/R_p, e seu uso é indicado apenas em tais situações. Em outros casos (quando R_s/R_p se aproxima de 0) utiliza-se o valor de V_{ca}.

E ainda, para que se normalize a equação e a corrente sempre esteja contida no intervalo [0, I_{ccc}], deve-se dividir a expressão por um fator de normalização como se segue:

$$I = \frac{I_{ccc}(1 + pV - \exp(-r(V_{cac} - V)))}{(1 - \exp(-rV_{cac}))} \quad (6)$$

Utilizando o método dos mínimos quadrados não-linear para aproximar a função escolhida de um conjunto de pontos obtidos da curva I-V, é possível obter-se os valores para os parâmetros do método proposto.

A função de mérito do método dos mínimos quadrados é descrita como:

$$\chi^2(p, r) = \sum_i (I_i - I(V_i))^2 \quad (7)$$

com:

χ^2 função de mérito do método dos mínimos quadrados;

V_i valores pontuais de tensão (V);

I_i valores pontuais de corrente (A).

Otimizando a função de mérito para obter o menor desvio possível dos pontos da curva, chega-se a um sistema de equações de onde é possível se retirar os valores para os parâmetros p e r.

2.3. Simulações e Comparação entre os modelos

A partir dos diversos modelos apresentados foram escritos os códigos de simulação para os módulos fotovoltaicos. Ao todo foram desenvolvidos seis programas de simulação, um para cada modelo, com o objetivo de avaliar o comportamento de cada um para diversos valores de resistências em série e em paralelo. Foi utilizado como referência o modelo com dois diodos, para comparar os outros modelos, por ser o mais completo.

Foi necessária a utilização de métodos iterativos para a resolução das equações para o cálculo da corrente, devido às expressões matemáticas não serem equações explícitas em relação a variável desejada. O método de resolução escolhido foi o Método de Newton-Raphson que, apesar de não garantir a convergência para qualquer valor inicial testado, é um dos melhores com relação à velocidade de convergência.

Para a comparação entre os modelos foram utilizados alguns parâmetros importantes como: a corrente de curto-circuito, a tensão de circuito aberto, a potência máxima e corrente e tensão no ponto de máxima potência. Outro parâmetro utilizado como comparação é o fator de forma, que é a razão entre a potência máxima do módulo e o produto entre corrente de curto-circuito e tensão de circuito aberto, dado por:

$$FF = \frac{P_m}{I_{cc}V_{ca}} \quad (8)$$

Para a simulação é necessário conhecer alguns parâmetros que não são fornecidos pelos fabricantes, que são: o fator de idealidade do diodo, as resistências série e paralelo e os coeficientes da corrente de saturação reversa dos diodos. Aqui foram usados os resultados da estimação destes parâmetros por Costa (2010), apresentados na Tab. 3 e os parâmetros fornecidos da Tab. 2.

Tabela 2. Dados do fabricante do módulo KC50T da Kyocera®.

Parâmetro	Valor
Corrente de curto-circuito (CPT) - I _{ccr}	3,31 A
Tensão de circuito aberto (CPT) - V _{car}	21,7 V
Máxima potência - P _m	54 W
Corrente de máxima potência - I _m	3,11 A
Tensão de máxima potência - V _m	17,4 V
Número de células ligadas em série - ns	36
Coefficiente de temperatura de I _{cc} - α	1,33x10 ⁻³ A/°C
Coefficiente de temperatura de V _{ca} - β	-8,21x10 ⁻² V/°C
Tolerância	+15% / -5%

Fonte: Adaptado de Costa (2010).

Tabela 3. Valores estimados dos parâmetros não fornecidos.

Parâmetros	Valores
m_1	1,50
m_2	1,75
I_{0r_1}	$0,578 \times 10^{-6}$ A
I_{0r_2}	$0,012 \times 10^{-6}$ A

Fonte: Adaptado de Costa (2010).

Os modelos foram simulados de acordo com o proposto por Costa (2010), para posteriores comparações, para quatro conjuntos de dados, tendo como objetivo a observação do efeito da variação das resistências série e paralelo. Estes valores são apresentados na Tab. 4.

A seguir, são apresentados os gráficos das curvas características de cada simulação e as tabelas com os principais valores. Também são mostradas as curvas de erros das correntes de saída dos modelos em relação ao modelo de dois diodos, que é utilizado como modelo de referência. Todas as curvas foram simuladas para uma irradiância de 1000 W/m^2 e temperatura do módulo de 25°C .

Tabela 4. Valores das resistências do módulo fotovoltaico para as simulações.

Parâmetros	1ª Simulação	2ª Simulação	3ª Simulação	4ª Simulação
R_s	$0,404 \Omega$	3Ω	$0,404 \Omega$	3Ω
R_p	1000Ω	1000Ω	20Ω	20Ω
τ	2,25	7,65	5,40	10,35

Fonte: Adaptado de Costa (2010).

Os valores calculados para os parâmetros p e r do método ExpL, além do RMSE (*root-mean-square error*, erro médio quadrático) e do coeficiente de determinação R^2 (R quadrado) para cada uma das quatro simulações propostas estão dispostos na Tab. 5.

Tabela 5. Valores dos parâmetros do método ExpL para as simulações.

Parâmetros	1ª Simulação	2ª Simulação	3ª Simulação	4ª Simulação
p	0,0002026	-0,003337	-0,01397	-0,001163
r	0,4535	0,1472	0,5244	0,1218
RMSE	0,05502	0,15520	0,04795	0,04795
R^2	0,9938	0,9777	0,9964	0,9970

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Primeira Simulação

Tabela 6. Resultado da primeira simulação.

Parâmetros		Icc (A)	Vca (V)	Pm (W)	Im (A)	Vm (V)	FF
2D	Valor	3,309	21,700	51,350	3,027	16,960	0,715
Ideal	Valor	3,310	21,700	55,500	3,075	18,050	0,773
	Erro (%)	0,030	0,000	8,082	1,586	6,427	8,049
R_s	Valor	3,310	21,700	51,720	3,042	17,000	0,720
	Erro (%)	0,030	0,000	0,721	0,496	0,236	0,690
R_p	Valor	3,309	21,700	51,430	3,031	16,980	0,716
	Erro (%)	0,000	0,000	0,156	0,132	0,118	0,156
I_{0rd}	Valor	3,310	21,700	49,310	2,921	16,880	0,687
	Erro (%)	0,030	0,000	3,973	3,502	0,472	4,002
ExpL	Valor	3,309	21,700	49,770	2,936	16,950	0,693
	Erro (%)	0,000	0,000	3,077	3,006	0,059	3,077

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Aqui foram observados os efeitos de baixos valores de R_s e altos valores de R_p . Para tais valores as curvas características de todos os modelos demonstraram aproximadamente o mesmo comportamento. Como o modelo ideal é o mais simplificado e não considera o efeito das resistências do módulo fotovoltaico será idêntico em todas as

simulações. Os modelos 1Ord e ExpL têm praticamente o mesmo comportamento dos modelos Rs, Rp e 2D. Um maior valor de erro foi observado em todos os métodos quando a tensão tende a V_{ca} . Esse erro é devido ao baixo valor da corrente próximo de zero. Mesmo uma variação pequena de corrente gera um erro alto quando comparada a correntes quase nulas. A Figura 1 apresenta uma comparação das curvas características para esta simulação. A Tabela 6 apresenta os valores resultantes da simulação, com os erros relativos, onde se percebe uma boa precisão do método proposto, ficando por volta de 3% o erro no máximo.

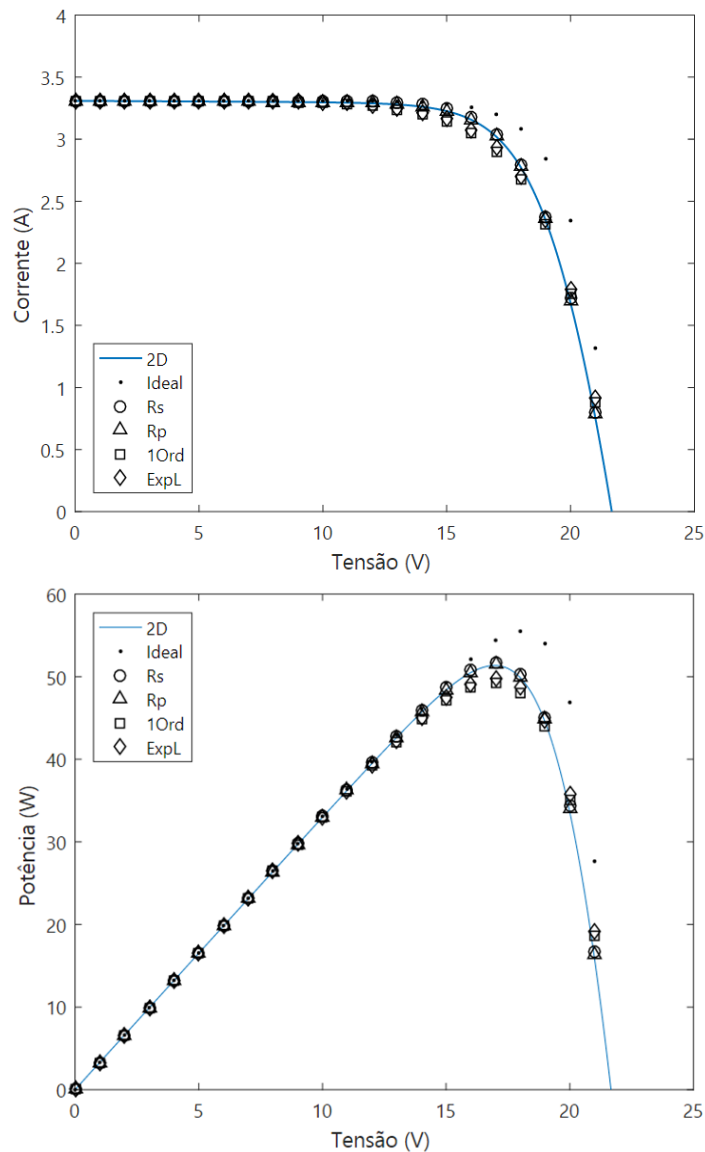


Figura 1. Curvas I_xV e P_xV (Primeira simulação): comparação entre os modelos.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.2. Segunda Simulação

Aqui pode-se observar o efeito do alto valor de R_s , influenciando no termo IR_s . Porém, o alto valor de R_p diminui o termo $(V + IR_s)/R_p$ fazendo com que os modelos R_s , R_p e 2D tenham praticamente o mesmo comportamento. O modelo ideal não se altera, pois não considera o efeito das resistências. Quando se compara o modelo 1Ord com o modelo ExpL, percebe-se que este último alcança um valor para I_{cc} muito mais preciso, além de se aproximar bem mais da curva do método 2D. Aliás, o valor de R_s utilizado é um valor extremo que representa uma grande perda devido aos contatos metálicos do módulo fotovoltaico não sendo indicado a utilização de painéis com tais valores. Como explicado na primeira simulação, o aumento do erro quando a tensão tende a V_{ca} é devido a corrente tender a zero neste ponto. A Figura 2 ilustra as curvas características para a segunda simulação. A Tabela 7 apresenta os valores da simulação, com os desvios relativos ao modelo 2D. Nesta simulação o modelo ExpL obteve desempenho pior em relação às outras simulações, mas ainda assim superou o método 1Ord.

Tabela 7. Resultado da segunda simulação.

Parâmetros		Icc (A)	Vca (V)	Pm (W)	Im (A)	Vm (V)	FF
2D	Valor	3,299	21,700	30,490	2,522	12,090	0,426
	Erro (%)	0,333	0,000	82,027	21,927	49,297	81,422
Ideal	Valor	3,310	21,700	55,500	3,075	18,050	0,773
	Erro (%)	0,333	0,000	82,027	21,927	49,297	81,422
Rs	Valor	3,310	21,700	30,650	2,533	12,100	0,427
	Erro (%)	0,333	0,000	0,525	0,436	0,083	0,191
Rp	Valor	3,300	21,700	30,560	2,528	12,090	0,427
	Erro (%)	0,033	0,000	0,230	0,238	0,000	0,196
1Ord	Valor	3,116	21,700	29,410	2,130	13,810	0,435
	Erro (%)	5,547	0,000	3,542	15,543	14,227	2,123
ExpL	Valor	3,300	21,700	30,470	2,265	13,450	0,425
	Erro (%)	0,033	0,000	0,066	10,190	11,249	0,099

Fonte: Elaborado pelo Autor.

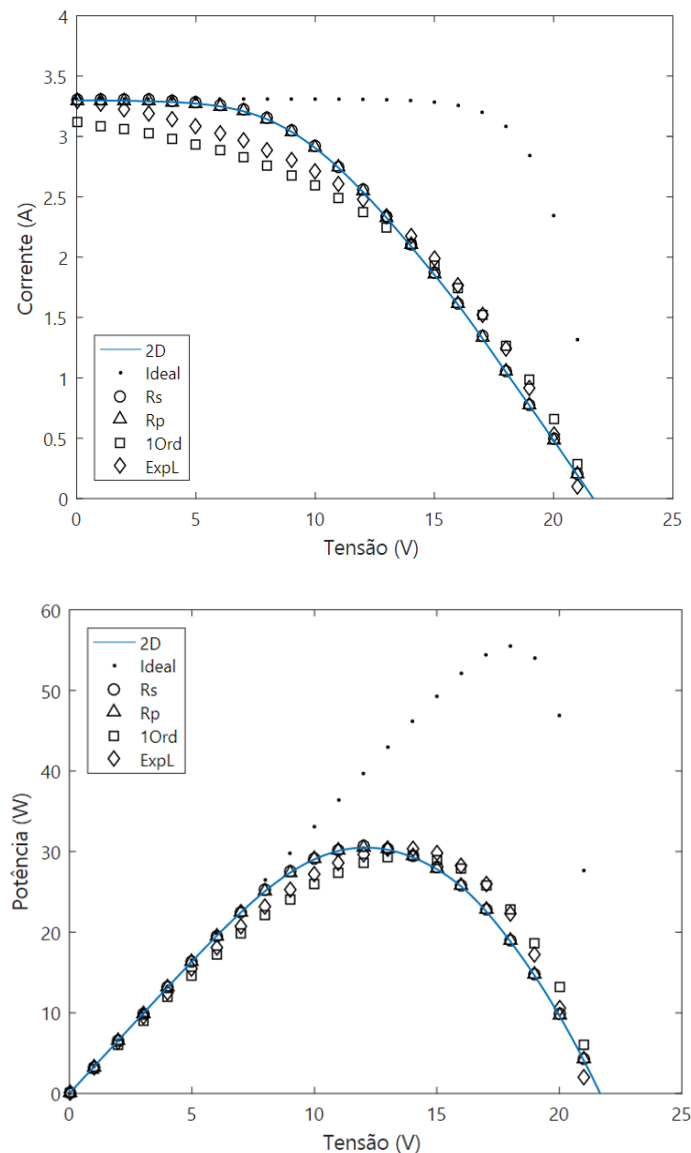


Figura 2. Curvas IxV e PxV (Segunda simulação): comparação entre os modelos.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.3. Terceira Simulação

Os modelos Rp e 2D apresentam praticamente o mesmo comportamento, mesmo com um baixo valor de Rp do módulo. Entretanto, o modelo Rs não se altera em relação a primeira simulação, pois não leva em consideração o efeito de Rp. O modelo ideal não se altera em relação às outras simulações, o que mostra que este não é um modelo preciso

para tais condições. O modelo de 1Ord apresenta uma precisão melhor que o modelo Rs. O modelo ExpL apresenta um resultado muito bom, com erros de menos de 1%, sendo comparável apenas ao modelo Rp, mesmo sendo bem mais simples. O valor Rp utilizado nesta simulação é um valor extremo que representa uma grande perda, devido às correntes parasíticas no módulo fotovoltaico. A Figura 3 mostra as curvas características para a terceira simulação. A Tabela 8 apresenta os valores da simulação, com os desvios em relação ao 2D.

Tabela 8. Resultado da terceira simulação.

Parâmetros		Icc (A)	Vca (V)	Pm (W)	Im (A)	Vm (V)	FF
2D	Valor	3,244	21,140	37,740	2,308	16,350	0,550
	Erro (%)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ideal	Valor	3,310	21,700	55,500	3,075	18,050	0,773
	Erro (%)	2,035	2,649	47,059	33,232	10,398	40,407
Rs	Valor	3,310	21,700	51,720	3,044	16,990	0,720
	Erro (%)	2,035	2,649	37,043	31,889	3,914	30,844
Rp	Valor	3,244	21,140	37,740	2,308	16,350	0,550
	Erro (%)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1Ord	Valor	3,250	21,700	35,350	2,418	14,620	0,501
	Erro (%)	0,185	2,649	6,333	4,766	10,581	8,918
ExpL	Valor	3,244	21,040	37,730	2,322	16,250	0,553
	Erro (%)	0,000	0,473	0,026	0,607	0,612	0,449

Fonte: Elaborado pelo Autor.

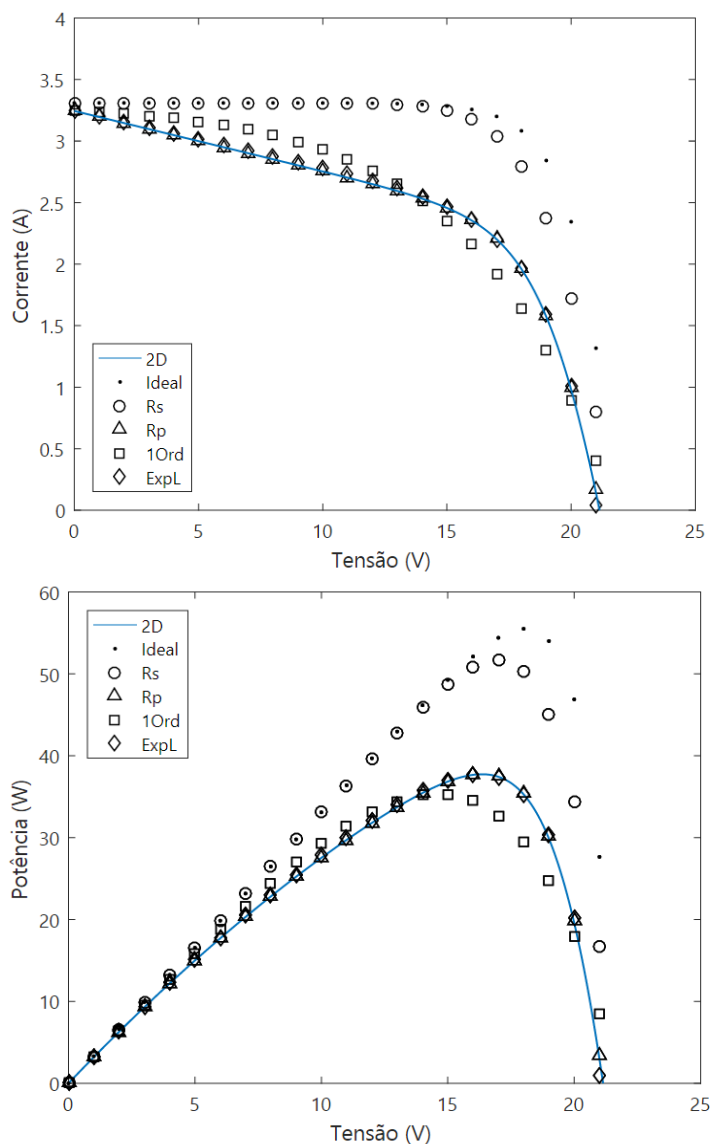


Figura 3. Curvas IxV e PxV (Terceira simulação): comparação entre os modelos.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.4. Quarta Simulação

Tabela 9. Resultado da quarta simulação.

Parâmetros		Icc (A)	Vca (V)	Pm (W)	Im (A)	Vm (V)	FF
2D	Valor	2,878	21,140	25,350	2,021	12,540	0,417
	Erro (%)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ideal	Valor	3,310	21,700	55,500	3,075	18,050	0,773
	Erro (%)	15,010	2,649	118,935	52,152	43,939	85,448
Rs	Valor	3,309	21,700	30,650	2,533	12,100	0,427
	Erro (%)	14,976	2,649	20,907	25,334	3,509	2,445
Rp	Valor	2,878	21,160	25,400	2,020	12,570	0,417
	Erro (%)	0,000	0,095	0,197	0,049	0,239	0,103
1Ord	Valor	2,903	21,700	24,470	1,855	13,190	0,388
	Erro (%)	0,869	2,649	3,471	8,214	5,183	6,772
ExpL	Valor	2,878	20,920	24,840	1,930	12,870	0,413
	Erro (%)	0,000	1,041	2,012	4,503	2,632	0,981

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nesta última simulação observa-se o efeito do alto valor de R_s e do baixo valor de R_p . O modelo R_s , por não considerar o efeito de R_p , apresenta o mesmo resultado da segunda simulação. O modelo ideal novamente não se altera, como previsto, pois não leva em conta os efeitos das resistências. Os modelos R_p e 2D possuem praticamente respostas idênticas. O modelo ExpL consegue acompanhar, com erros menores que 1%, os modelos R_p e 2D, além disto, sendo melhor que o método 1Ord e o R_s . A Figura 4 ilustra as curvas características para a quarta simulação. A Tabela 9 apresenta os valores da simulação, com os desvios em relação ao método 2D, usado como referência.

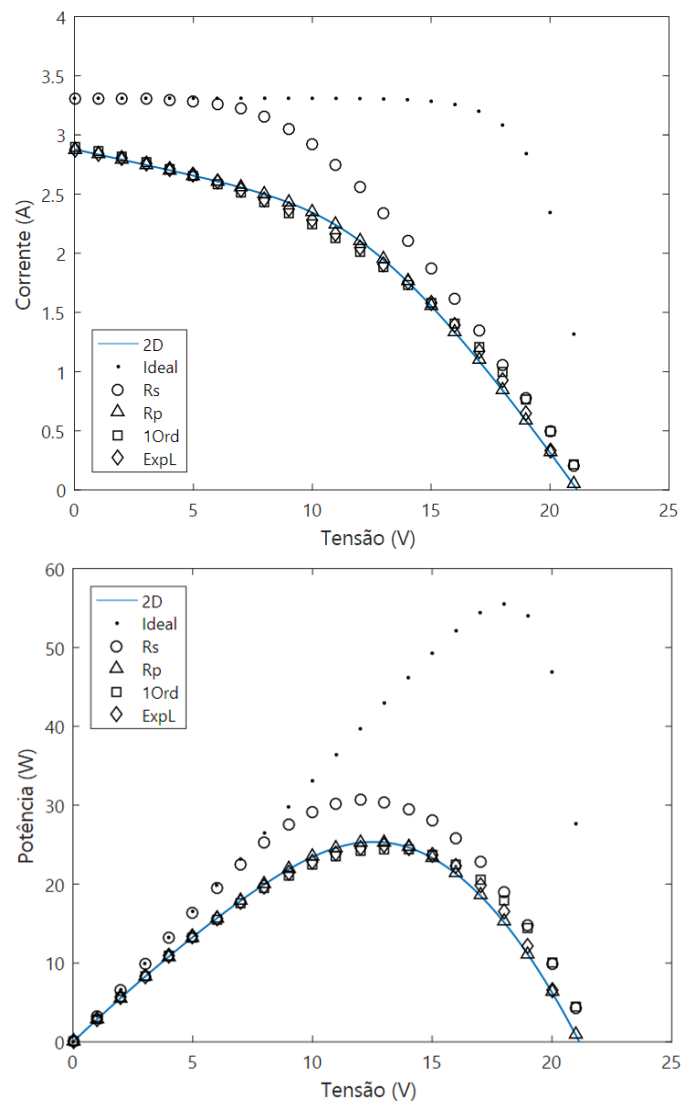


Figura 4. Curvas IxV e PxV (Quarta simulação): comparação entre os modelos.

Fonte: Elaborado pelo Autor

4. CONCLUSÃO

Foram analisados os principais modelos dos parâmetros de sistemas fotovoltaicos para o desenvolvimento de um novo modelo baseado em ajustes de curva. Este método proposto se destaca por, além de ser simples e não necessitar de métodos iterativos para o cálculo da corrente, melhorar a sensibilidade do método 1Ord quanto aos efeitos mais severos de fuga de corrente e perdas nos contatos do módulo. Estabeleceram-se quatro rotinas de simulação para confrontar o modelo proposto com o modelo anterior de ajuste de curva e com os modelos baseados em circuitos equivalentes de um diodo. Verificou-se que em todas as simulações o modelo ExpL foi superior aos demais, exceto o modelo Rp, em relação as características de ponto de máxima potência, tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito. Foram obtidos erros menores que 1% para valores baixos de resistência em série e resistência em paralelo e erros da ordem de 2% para valores severos de tais parâmetros.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela CAPES, Universidade Federal do Ceara, Laboratório de Filmes Finos e Energias Renováveis - UFC.

6. REFERÊNCIAS

- Bühler, A. J., 2007, “Determinação de parâmetros fotovoltaicos a partir de curvas características sem iluminação”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.
- Ciulla, G.; Lo Brano, V.; Di Dio, V.; Cipriani, G., 2014, “A comparison of different one-diode models for the representation of I–V characteristic of a P.V cell”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; v. 32, pp. 684–696.
- Costa, W. T., 2010, “Modelagem, estimação de parâmetros e método MPPT para módulos fotovoltaicos”. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória.
- Gow, J. A.; Manning, C. D., 1996, “Development of a model for photovoltaic arrays suitable for use in simulation studies of solar energy conversion systems.” *Power Electronics and Variable Speed Drives. Sixth International Conference on* (Conf. Publ. No. 429), p. 69–74.
- Prieb, C. W. M., 2002, “Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.
- Rüther, R., 2004, “Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil” – Florianópolis: LABSOLAR.
- Zanotti, J. W., Dos Santos W. M., Martins, D. C., 2014, “The Maximum Power Point Tracking for PV systems: Introduction to the Input Characteristic Impedance method”. *IEEE 5th International Symposium on Power*.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

MODELING AND ESTIMATION OF IxV CURVE PARAMETERS OF PHOTOVOLTAIC MODULES

Esley Fernando Alves Lima, esleyfernando@yahoo.com.br¹

Vanja Fontenele Nunes, vanjafnunes@gmail.com¹

Gessé de Sousa Oliveira, gesse.fisica@gmail.com¹

Francisco Nivaldo Aguiar Freire, nivaldo@ufc.br¹

¹Universidade Federal do Ceará, Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza, CEP 60020-181

Abstract. Performance prediction tools allow us to demonstrate whether a system will be viable and efficient, being an important factor in the success of any new technology. For this, the current-voltage characteristics of a photovoltaic module can be reproduced by modeling the system as an equivalent electric circuit. In this work the analysis of the main parametric models for photovoltaic systems available in the literature and the development of a new model based on curve adjustments are performed, aiming to combine the minimization of the number of necessary parameters with the achievement of the smallest errors in comparison with the models already settled down.

Keywords: Photovoltaic, Modeling, Parameter estimation, Renewable energy.