

ENGENHARIA ELÉTRICA E A MODELAGEM MATEMÁTICA: CÉLULA FOTOVOLTAICA E PAINÉIS SOLARES.

ELECTRICAL ENGINEERING AND MATHEMATICAL MODELING: PHOTOVOLTAIC CELL AND SOLAR PANELS.

Sérgio Benjamim Rocha Filho, Fernando Luiz de C. Carvalho – Campus de Guaratinguetá – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Engenharia Elétrica – sergio_br2@yahoo.com.br – PIBIC/CNPq.

Palavras-chave: célula fotovoltaica, modelagem matemática, circuito equivalente.

Keywords: photovoltaic cell, mathematical modeling, equivalent circuit.

RESUMO

1.INTRODUÇÃO

O estudo e investimento em energias renováveis e sustentáveis é estrategicamente importante para países que dependam de fontes energéticas não renováveis, como o petróleo e o carvão. Como fonte renovável se entende os recursos hidráulicos, como a água retida em represas, a energia eólica, a biomassa, biocombustíveis, a radiação solar entre outras. No caso do Brasil, o investimento em energias renováveis com baixo impacto ambiental é de grande importância, tendo em vista que a maior fonte energética são os recursos hidráulicos, que necessitam de vastas áreas para os reservatórios e causam grande impacto ambiental, com a destruição de fauna e flora, além da emissão de gás carbônico proveniente do biomaterial que é decomposto sob a água. No Brasil, considerando-se o grande território, a alta incidência de radiação solar e o baixo impacto ambiental, o estudo de células fotovoltaicas e sua modelagem é uma alternativa potencialmente viável, cujo impacto também necessita de avaliação.

2. OBJETIVOS

- Estudo, avaliação e validação de modelos matemáticos e circuitos eletrônicos equivalentes que caracterizam o comportamento de uma célula fotovoltaica por meio de comparação com dados experimentais obtidos em banco de dados especializados na área.

3.MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no desenvolvimento do projeto foram:

- Estudo das características físicas de uma célula fotovoltaica;
- Dados experimentais de uma célula fotovoltaica de silício cristalino SFH 120 fabricada pela Siemens (LLAMAZARES);
- Software Mathematica;
- Software de captura esquemática e simulação eletrônica ISIS/Proteus;

O modelo adotado para tentar descrever o comportamento de uma célula solar se baseia no circuito equivalente (WENHAM, 2007) da Figura 1, cuja equação de corrente em função da tensão pode ser escrita como:

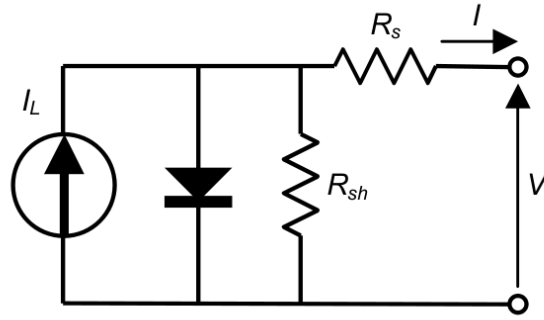


Figura 1 – Circuito equivalente de uma célula solar.

As resistências série (R_S) e shunt (R_{SH}) foram obtidas, respectivamente, pelo método de Wolf e pela inclinação da reta que passa pelo ponto de corrente de curto circuito (I_{SC} , onde $V = 0$) (WENHAN, 2007). A corrente gerada pela luz I_L pôde ser determinada a partir de I_{SC} e das resistências encontradas. A corrente de saturação I_0 e o fator de perfeição n foram determinados por meio de regressão logarítmica dos dados experimentais corrigidos pela queda de tensão de R_S e da corrente de fuga em R_{SH} (BELOTO, 1983). A regressão logarítmica não foi realizada na região em que o efeito do terceiro termo da equação é evidente, ou seja, na região em que a curva $I \times V$ assume a característica de uma reta, que passa por I_{SC} . A tensão térmica V_T é descrita em função da constante de Boltzman K , da temperatura T e da carga elementar q .

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores das resistências calculadas por meio dos métodos citados se encontram na Tabela 1.

$R_S (\Omega)$	0,51	0,33	0,36
$R_{SH} (\Omega)$	22,1	22,3	20,7

Tabela 1 – Resistências série (R_S) e shunt (R_{SH}), calculadas pelos métodos de Wolf e pela inclinação da reta em I_{SC} respectivamente.

Adotando-se $R_S = 0,33 \Omega$ e $R_{SH} = 22,3 \Omega$ foi obtido os valores de $n = 1,13$, $I_0 = 6,22 \cdot 10^{-10} \text{ A}$ e $I_L = 186 \text{ mA}$, para uma temperatura de 27°C (300 K). O gráfico da Figura 2 foi feito através do Mathematica, com a substituição dos parâmetros encontrados na equação de corrente, conforme o modelo adotado.

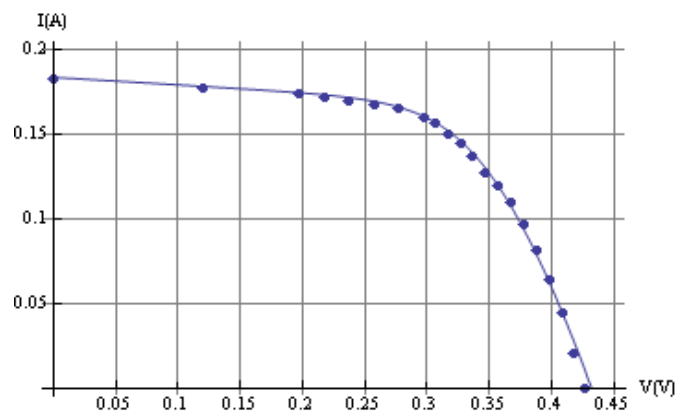


Figura 2 – Comparação da curva $I \times V$ teórica com os dados experimentais (pontos), para radiação de 414 W/m^2 em uma célula fotovoltaica SFH 120

O circuito equivalente da célula fotovoltaica foi gerado no ISIS/Proteus e pode ser visto na Figura 3. As propriedades “Saturation Current”, “Ohmic Resistance” e “Emission Coefficient” do diodo D1 foram alteradas de (Default) para, $6,22 \times 10^{-8}$, 0 e 1.13 (exatamente como se apresenta, padrão do programa), de acordo com os parâmetros obtidos anteriormente. A opção “Ohmic Resistance” é referente à resistência série do diodo D1, o que justifica a alteração do valor de (Default) para 0, por se tratar de um diodo ideal sem resistências, conforme o modelo. Não há opções para a resistência shunt, o que indica que ela não é considerada na simulação do diodo. Foi adicionado um resistor de carga RC ao circuito, calculado a partir da tensão dos dados experimentais e da corrente encontrada através da equação de corrente, conforme pode ser visto na Tabela 2.

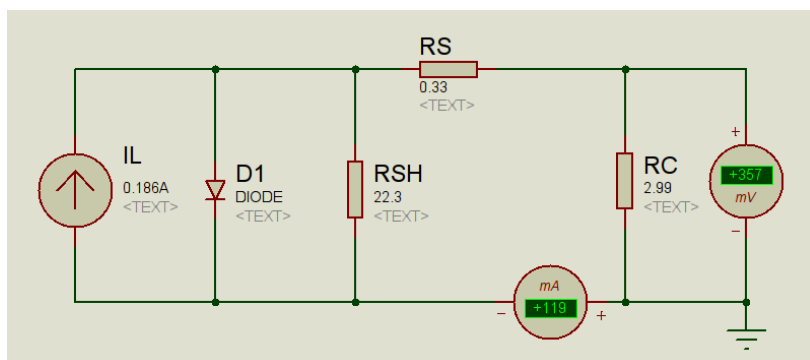


Figura 3 – Circuito equivalente da célula fotovoltaica SFH 120 com resistor de carga RC para variação da corrente e tensão.

Dados experimentais		Modelo matemático	Circuito equivalente simulado		
V(V)	I(A)	I(A)	RC(Ω)	V(V)	I(A)
0,238	0,170	0,171	1,39	0,238	0,171
0,359	0,120	0,117	3,07	0,359	0,117
0,389	0,082	0,077	5,05	0,389	0,077
0,419	0,022	0,026	16,2	0,419	0,026

Tabela 2 – Resultados encontrados pela equação matemática e pelo circuito simulado no ISIS/Proteus.

5.CONCLUSÕES

A curva teórica encontrada ficou mais próxima dos dados experimentais do que a curva obtida por Llamazares, que não levou em conta o efeito da resistência shunt. Foi notado um pequeno desvio da curva teórica na região próxima à tensão de circuito aberto. Isso pode ser explicado pelo fato de que uma célula solar pode ser melhor representada com a inclusão de outro diodo no modelo estudado, conforme Wolf e Rauschenbach, de maneira que a curva $I \times V$ seja a sobreposição de duas exponenciais (com fator de perfeição e corrente de saturação diferentes) e uma constante, além da reta relacionada à resistência shunt.

Comparando o modelo matemático e a simulação do circuito equivalente pode-se dizer que ambos fornecem praticamente os mesmos resultados, o que era esperado, pois o modelo matemático se baseia no circuito equivalente, com aplicação de leis de Kirchhoff e sobreposição de tensão e corrente.

O método utilizado para se encontrar os valores do fator de perfeição e da corrente de saturação tem o inconveniente de depender dos valores de resistências série e shunt. Segundo Beloto, esses dois parâmetros são independentes das resistências parasitas, dependendo do material utilizado para fabricação da célula e de sua junção.

Espera-se continuar os estudos de modelagem de células fotovoltaicas, obtendo-se mais dados experimentais que possam caracterizar com maior precisão seus parâmetros e inserir esses estudos em um contexto mais amplo, como a análise da viabilidade do uso de painéis solares em larga escala para a captação de energia em residências, tanto do ponto de vista energético como econômico.

6.BIBLIOGRAFIAS

LLAMAZARES, Alberto, et al. **Generación fotovoltaica:** caracterización de una celda comparando datos experimentales y simulados aplicando un modelo teórico simple. Corrientes, Universidad Nacional del Nordeste, 2000.

WENHAM, Stuart R. et al. **Applied photovoltaics.** Londres, Earthscan, 2007.

BELOTO, Antonio Fernando. **Estudo das características de células solares de silício monocristalino.** Dissertação apresentada ao Instituto de Física e Química de São Carlos para obtenção de Título de Mestre em Física Aplicada. Instituto de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1983.

WOLF, Martin, RAUSCHENBACH, Hans. **Series resistance effects on solar cell measurements.** Pacific General Meeting of the AIEE, Salt Lake City, Utah, 1961.

APOIO FINANCEIRO

PIBIC - CNPq

PROTOCOLO DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA