

ENSAIOS DE INVERSORES PARA CONEXÃO À REDE: EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO E EFICIÊNCIA DO SEGUIDOR DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA

Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@ufrgs.br

João Batista Dias – dias_jb@hotmail.com

Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica

3.6 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Resumo. Para realizar uma simulação confiável de um sistema fotovoltaico é fundamental conhecer as características de cada equipamento que o compõe, implementar modelos matemáticos que descrevam o funcionamento do sistema e fazer ensaios que auxiliam na caracterização desses equipamentos. O inversor para conexão à rede é um dos principais equipamentos de um sistema fotovoltaico. Dessa maneira, é importante conhecer bem o seu comportamento, que inclui eficiência de conversão de corrente contínua em corrente alternada, fator de potência, distorção harmônica total e eficiência do seguidor do ponto de máxima potência. O Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul está desenvolvendo um programa de simulação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. O programa dispõe de um banco de dados de inversores. Este trabalho apresenta os resultados de ensaios de eficiência de conversão e eficiência do seguidor do ponto de máxima potência incluindo os modelos matemáticos utilizados no programa de simulação que utiliza estes parâmetros. Para a realização dos ensaios foram utilizados nove diferentes modelos de inversores de três fabricantes. A partir da comparação entre as curvas medidas e as curvas teóricas foram obtidos os parâmetros do modelo matemático que representam cada inversor. Esses parâmetros foram inseridos no banco de dados de inversores do programa de simulação FVCONNECT.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas Fotovoltaicos em Conexão a Rede, Inversor, Eficiência, Simulação.

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Energia Solar (LES) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) está desenvolvendo um projeto com financiamento da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras) e Finep (Financiadora de Estudos e Projetos), que tem como objetivo o desenvolvimento de um programa de simulação de sistemas fotovoltaicos em conexão a rede, denominado FVCONNECT (Krenzinger et al, 2007). Para simular os equipamentos que constituem um sistema fotovoltaico conectado à rede é necessário o conhecimento dos parâmetros construtivos de tais equipamentos. Alguns dos dados necessários são fornecidos com bastante confiabilidade pelo fabricante. Entretanto, outros dados devem ser obtidos a partir de ensaios específicos.

Para uma simulação de sistemas fotovoltaicos em conexão com a rede que apresente confiabilidade e conformidade com resultados experimentais é necessário dispor de uma série de parâmetros a cada componente do sistema, tais como dados meteorológicos e de localização, dados dos módulos fotovoltaicos, dados dos inversores e dados da rede elétrica.

O inversor é um dos componentes fundamentais deste tipo de sistema por ser o dispositivo responsável por converter a corrente contínua dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada tipicamente igual a da rede elétrica.

Uma das etapas do projeto consiste na realização de diversos ensaios de diferentes modelos de inversores para conexão à rede incluindo a criação de um banco de dados e a implementação de modelos matemáticos que descrevam o componente (inversor). Os resultados principais destes ensaios são a eficiência de conversão e a eficiência do seguidor do ponto de máxima potência. Os resultados dos ensaios de fator de potência e distorção harmônica total dos mesmos inversores ensaiados são apresentados em Rampinelli, Dias e Krenzinger (2008).

2. MODELAGEM MATEMÁTICA

Para realizar uma confiável simulação de um inversor para conexão à rede é necessária a implementação de diversos modelos matemáticos que descrevam as características, parâmetros e funcionalidade do mesmo. Algumas informações como a potência nominal, a potência máxima de operação, a corrente máxima de operação e a máxima e mínima tensão de entrada, podem ser obtidas a partir dos manuais disponíveis pelos fabricantes. Outras informações como a eficiência de conversão, a distorção harmônica total, a eficiência do seguidor do ponto de máxima potência e o fator de potência necessitam de estudos aprofundados e implementação de modelos matemáticos.

Os resultados dos ensaios para determinação da curva de eficiência dos inversores e a determinação da curva de eficiência do seguidor do ponto de máxima potência são apresentados a seguir. Os parâmetros dos modelos matemáticos

que descrevem a eficiência de conversão e a eficiência do seguidor do ponto de máxima potência do inversor foram obtidos a partir das curvas medidas.

A eficiência de conversão do inversor η_{inv} (Eq. 1) é definida como a razão entre a energia elétrica na saída do inversor (entregue a rede elétrica) e a energia na entrada do inversor (obtida no arranjo fotovoltaico).

$$\eta_{inv} = \frac{E_{CA}}{E_{CC}} = \frac{\int P_{CA} \cdot dt}{\int P_{CC} \cdot dt} = \frac{\int P_{CA} \cdot dt}{\int P_{CA} \cdot dt + Perdas} \quad (1)$$

onde E_{CA} é a energia elétrica entregue à rede; E_{CC} é a energia elétrica na entrada do inversor; P_{CA} é a potência elétrica entregue à rede; P_{CC} é a potência elétrica na entrada do inversor; P_{NOM} é a potência elétrica nominal do inversor.

Representando as perdas de conversão de corrente contínua em corrente alternada por um polinômio de segundo grau, a Eq. (2) apresenta o modelo matemático para a curva de eficiência de conversão dos inversores ensaiados (Jantsch et. al., 1992).

$$\eta_{inv} = \frac{\frac{P_{CA}}{P_{NOM}}}{\frac{P_{CA}}{P_{NOM}} + \left(K_0 + K_1 \frac{P_{CA}}{P_{NOM}} + K_2 \left(\frac{P_{CA}}{P_{NOM}} \right)^2 \right)} \quad (2)$$

onde K_0 representa as perdas devido ao auto-consumo do inversor e que independem da potência de operação; K_1 representa as perdas linearmente dependentes da potência de operação (diodos, dispositivos de comutação, etc); K_2 representa as perdas que dependem do quadrado da potência de operação (cabos, bobinas, resistências, etc).

Para maximizar a conversão da energia solar é imprescindível que o inversor tenha um eficiente algoritmo de seguimento do ponto de máxima potência do arranjo fotovoltaico. A importância do tema é comprovada pelo amplo número de trabalhos científicos publicados (De Cesare et al, 2006; Duru, 2006; Enrique et al, 2007, Salas et al, 2006, Huang et al, 2006; Kawamura et al, 1997).

A eficiência do seguidor do ponto de máxima potência η_{SPMP} é definida (Abella e Chenlo, 2004) como a razão entre a energia elétrica na entrada do inversor e a energia que o inversor deveria converter se o mesmo operasse idealmente no ponto de máxima potência Eq. (3).

$$\eta_{SPMP} = \frac{E_{CC}}{E_{PMP}} = \frac{\int P_{CC} \cdot dt}{\int P_{PMP} \cdot dt} \quad (3)$$

onde E_{CC} é a energia elétrica obtida no arranjo com o SPMP real; E_{PMP} é a energia elétrica obtida no arranjo se o SPMP fosse ideal; P_{PMP} é a potência elétrica no ponto de máxima potência do arranjo se o SPMP fosse ideal.

Devido à implementação de algoritmos de busca do ponto de máxima potência mais sofisticados e eficientes, atualmente a eficiência do seguidor do ponto de máxima potência dos inversores é próxima de 100 %, de acordo com os fabricantes. Esses algoritmos podem ser classificados em três grupos: métodos de controle indiretos, métodos de controle diretos e métodos de inteligência artificial (Salas et al, 2006). Entre os métodos de controle indiretos pode-se destacar os métodos baseados no ajuste da curva, procura em arquivos de dados, na tensão de circuito aberto do arranjo fotovoltaico, na corrente de curto circuito do arranjo fotovoltaico e na tensão de circuito aberto de uma célula teste ou referência. Os métodos de controle diretos podem ser divididos em métodos de amostragem que podem ser por diferenciação, perturbação e observação, incremento da condutância, condutância parasita e métodos por modulação. Recentemente, métodos que utilizam inteligência artificial como algoritmos genéticos, lógica difusa e redes neurais têm sido propostos como algoritmos para buscar o ponto de máxima potência, e têm apresentando bons resultados. Diferentemente dos métodos mencionados anteriormente, esses algoritmos não utilizam modelos matemáticos.

A dificuldade da determinação dessa eficiência a partir de ensaios experimentais está condicionada à precisão da medida do ponto de máxima potência com SPMP ideal do inversor. Existem diversas metodologias que propõem a determinação dessa potência. Martin (1998) e Gergaud et. al. (2002) propõem uma determinação analítica através da Eq. (4).

$$P_{PMP} = P_{FV}^0 \cdot \frac{H_{t,\beta}}{H_{ref}} \cdot \left(1 - \gamma_{PMP} (T_C - T_{C,ref}) \right) \quad (4)$$

onde P_{PMP} é a potência máxima se a eficiência do seguidor do ponto de máxima potência for considerada como 100 %; P_{FV}^0 é a potência do arranjo na condição padrão; $H_{t,\beta}$ é a irradiância na condição de medida; T_C é a temperatura do módulo na condição de medida; H_{ref} é a irradiância de referência (1000 W/m²); $T_{C,ref}$ é a temperatura de referência do módulo (25°C) e γ_{PMP} é o coeficiente de variação do ponto de máxima potência com a temperatura.

A incerteza intrínseca da medida da irradiância no plano do arranjo fotovoltaico e da temperatura de operação do mesmo dificulta a determinação do ponto de máxima potência ideal. Além disso, o coeficiente de variação do ponto de máxima com a temperatura é de difícil determinação. King et al (1997) alertam que a utilização de um único coeficiente de variação do ponto de máxima potência com a temperatura deve ser evitada.

Prieb e Krenzinger (2007) propõem a utilização de um sistema eletrônico, que inicialmente desconectaria o arranjo da rede elétrica para medir a curva característica do mesmo em uma dada condição e em seguida conectaria novamente o sistema à rede para medir o ponto em que o inversor está polarizando o arranjo. O inconveniente do método é a não simultaneidade das medidas. Entretanto, se o intervalo entre as medidas for suficientemente pequeno pode-se considerar que as condições de irradiância e temperatura são idênticas para as duas medidas, desde que seja um instante com céu limpo (ausência total de nuvens nas proximidades).

Na literatura encontra-se que as curvas da eficiência de conversão de inversores são similares à curva apresentada na Fig. 1a (*SMA Technologie AG, 2003*) e que as curvas da eficiência do seguidor do ponto de máxima potência devem ser semelhantes à curva apresentada na Fig. 1b (Chen et. al., 2007).

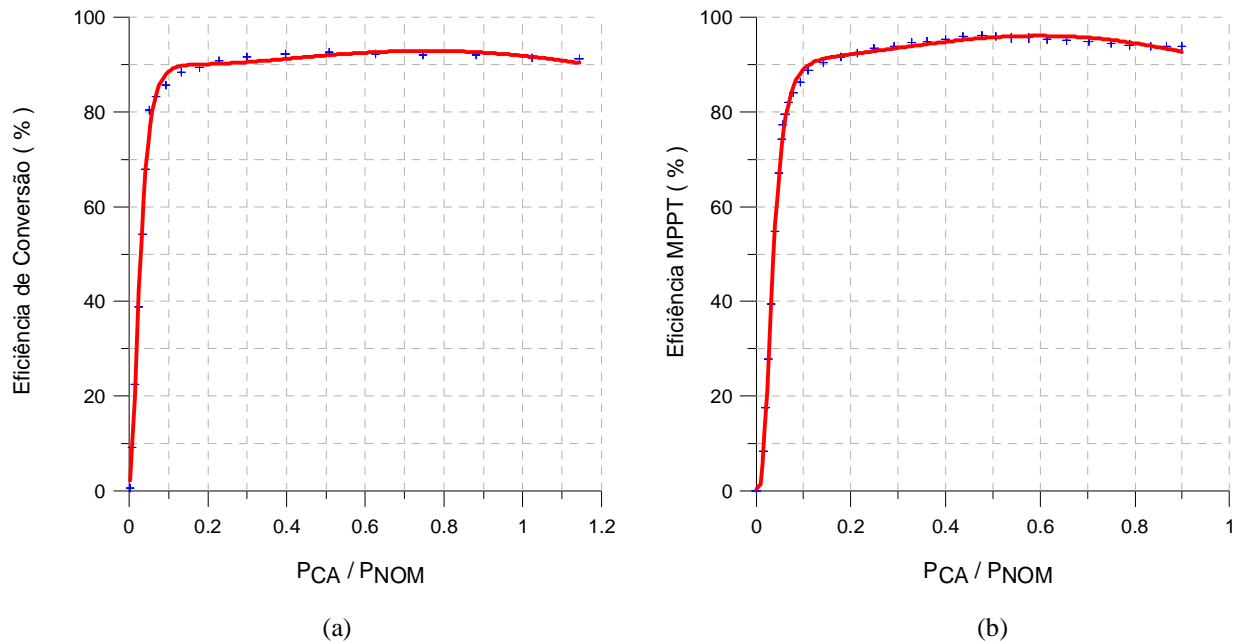


Figura 1 – (a) Curvas típicas de eficiência de conversão e (b) eficiência do seguidor do ponto de máxima potência.

3. INVERSORES ENSAIADOS

Para os ensaios foram adquiridos nove modelos diferentes de inversores, sendo quatro de tecnologia *SMA*, três de tecnologia *Fronius* e dois de tecnologia *Mastervolt*. Esses inversores são comumente empregados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Apresenta-se na Fig. 1 um modelo de inversor de cada fabricante.

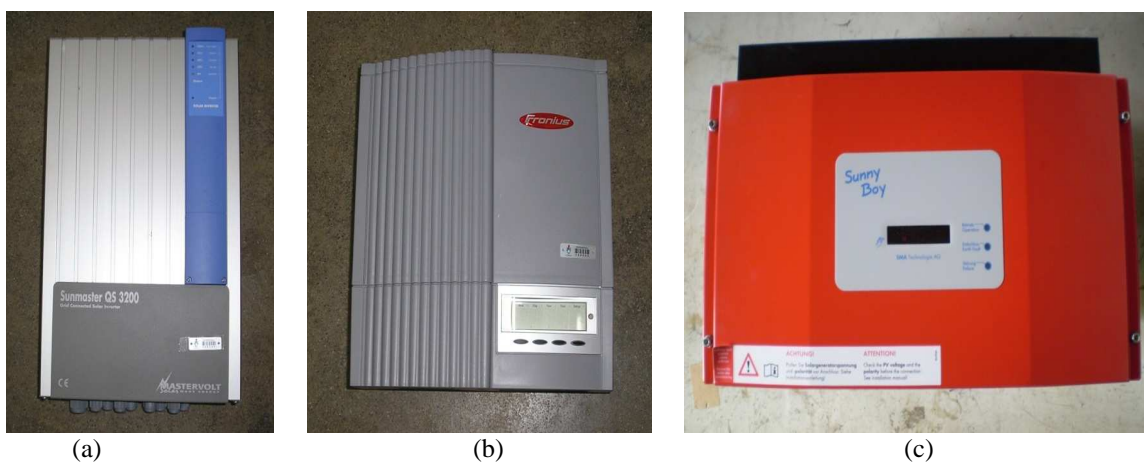


Figura 1 – Modelos de inversores: (a) *Mastervolt* , (b) *Fronius* e (c) *SMA*.

A Tabela 1 apresenta as características básicas dos inversores ensaiados. Estes dados foram obtidos a partir dos manuais técnicos dos mesmos (*Fronius*, 2005; *Mastervolt Summaster*, 2005; *SMA Technologie AG*, 2005).

Tabela 1 – Características técnicas básicas dos inversores ensaiados.

Fabricante	Modelo	Potência de entrada (W)		Potência de saída (W)		Eficiência
		Máxima	Nominal	Máxima	Nominal	
<i>SMA</i>	SB 700U	1000	780	700	700	93,6 %
<i>SMA</i>	SB 2500U	2800	2380	2500	2200	94,1 %
<i>SMA</i>	SB 3800U	4800	4040	3800	3800	95,6 %
<i>SMA</i>	SB 1100E	1350	1100	1100	1000	93 %
<i>Fronius</i>	IG 15	2000	1400	1500	1300	94,2 %
<i>Fronius</i>	IG 20	2700	1940	2000	1800	94,3 %
<i>Fronius</i>	IG 30	3600	2690	2650	2500	94,3 %
<i>Mastervolt</i>	QS 2000	2100	1750	1725	1600	95 %
<i>Mastervolt</i>	QS 3200	3600	2750	2750	2600	95 %

4. ENSAIOS E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para a realização dos ensaios dos inversores para conexão à rede elétrica foi montada uma bancada de testes (Fig. 2a), composta por um analisador de potência *Fluke 434* (Fig. 2b), dois multímetros digitais (Fig. 2c), e um computador para a aquisição de dados.

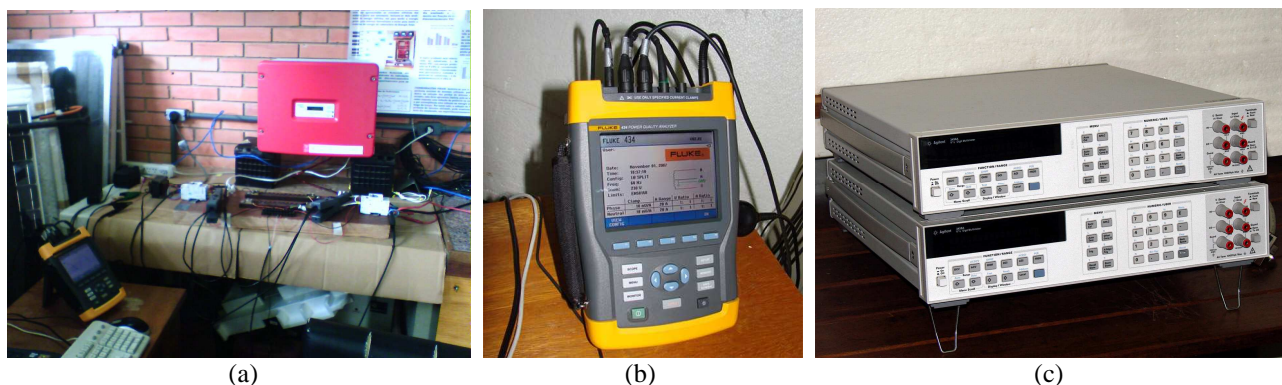


Figura 2 – (a) Bancada de ensaios, (b) analisador de potência *FLUKE 434* e (c) multímetros digitais.

Para realizar os ensaios da eficiência de conversão dos inversores foram medidas simultaneamente duas potências, uma em corrente contínua obtida no arranjo fotovoltaico e outra em corrente alternada entregue a rede elétrica pelo inversor. Estas medidas foram realizadas em toda faixa de operação dos inversores.

A partir do ajuste dos modelos matemáticos teóricos apresentados para a eficiência de conversão com os dados experimentais foram obtidos os parâmetros de cada inversor. Estes parâmetros foram inseridos no banco de dados de inversores do programa *FVCONNECT*. Para determinação da eficiência média, consideram-se resultados obtidos para potências de operação a partir de 50 % da potência nominal dos inversores.

Os diferentes inversores ensaiados apresentam diferentes algoritmos para seguir o ponto de máxima potência do arranjo fotovoltaico. Entretanto, há similaridades entre os algoritmos destes inversores. O arranjo fotovoltaico é polarizado mediante perturbação na tensão de operação do inversor. Essa perturbação é da ordem de 1 V para os inversores *SMA* e *Fronius*, enquanto para os inversores *Mastervolt* essa perturbação varia entre 1 V e 3 V. O intervalo entre cada perturbação varia conforme a tecnologia do inversor. Anteriormente foi descrito a dificuldade experimental para medir essa eficiência. Para diminuir as incertezas nessa medida foi adotado o procedimento descrito na seqüência.

Em dias de céu limpo (ausência completa de nuvens) a irradiância é muito pouco alterada em um intervalo de um minuto. Estudos experimentais mostram que sob essa condição de céu limpo, a variação na irradiância é menor que a própria incerteza na medida (Rampinelli, 2007), sendo que a hipótese da irradiância constante é razoável e pode ser adotada. Além dessa hipótese, adota-se o pressuposto que durante esse intervalo de tempo o seguidor encontra o ponto de máxima potência do arranjo para aquela determinada irradiância. Essa aproximação é válida enquanto o fator de potência do inversor é próximo de 1. Nesta situação o fator de potência de deslocamento também é próximo de 1, ou seja, há pequena defasagem entre a componente fundamental da tensão e a componente fundamental da corrente, e a distorção harmônica de corrente é inferior a 5 %. A partir dessas suposições foi possível estimar a eficiência do

seguidor do ponto de máxima potência para três inversores de modelos diferentes. Esta eficiência é da ordem de 99 % e pode ser considerada constante na faixa de operação entre 20 e 100 % da potência nominal do inversor.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros dos inversores para o modelo matemático da eficiência de conversão e para o modelo matemático do fator de potência.

Tabela 2 – Parâmetros do modelo matemático da eficiência de conversão dos inversores.

Eficiência de Conversão			
Modelo	K_0	K_1	K_2
SB 700U	0,0185	0,0393	0,0562
SB 2500U	0,0139	0,0395	0,0465
SB 3800U	0,0187	0,0368	0,044
SB 1100E	0,0154	0,0562	0,0519
IG 15	0,0209	0,0895	-0,0113
IG 20	0,0349	0,057	0,0218
IG 30	0,0205	0,0438	0,0477
QS 2000	0,0164	0,0696	0,0199
QS 3200	0,0201	0,0606	0,0366

Os parâmetros determinados são suscetíveis de interpretação física. Para o modelo matemático de eficiência de conversão, K_0 , K_1 e K_2 são coeficientes que representam perdas associadas ao processo de conversão de corrente contínua em corrente alternada.

O coeficiente de perda K_0 independe da potência elétrica de operação do inversor. Na literatura encontram-se valores médios de 1 a 2 % para esse coeficiente. Entre os inversores ensaiados esse coeficiente varia de 1,4 a 3,5 %.

O coeficiente K_1 , associado a perdas com dependência linear da potência elétrica de operação varia de 3,9 a 8,9 % enquanto que o coeficiente K_2 , que está associado a perdas com dependência quadrática da potência de operação varia de 2 a 5,6 % entre os inversores testados. Na seqüência são apresentados os coeficientes de ajuste do modelo teórico dos inversores ensaiados (Fig. 3 e Fig. 4).

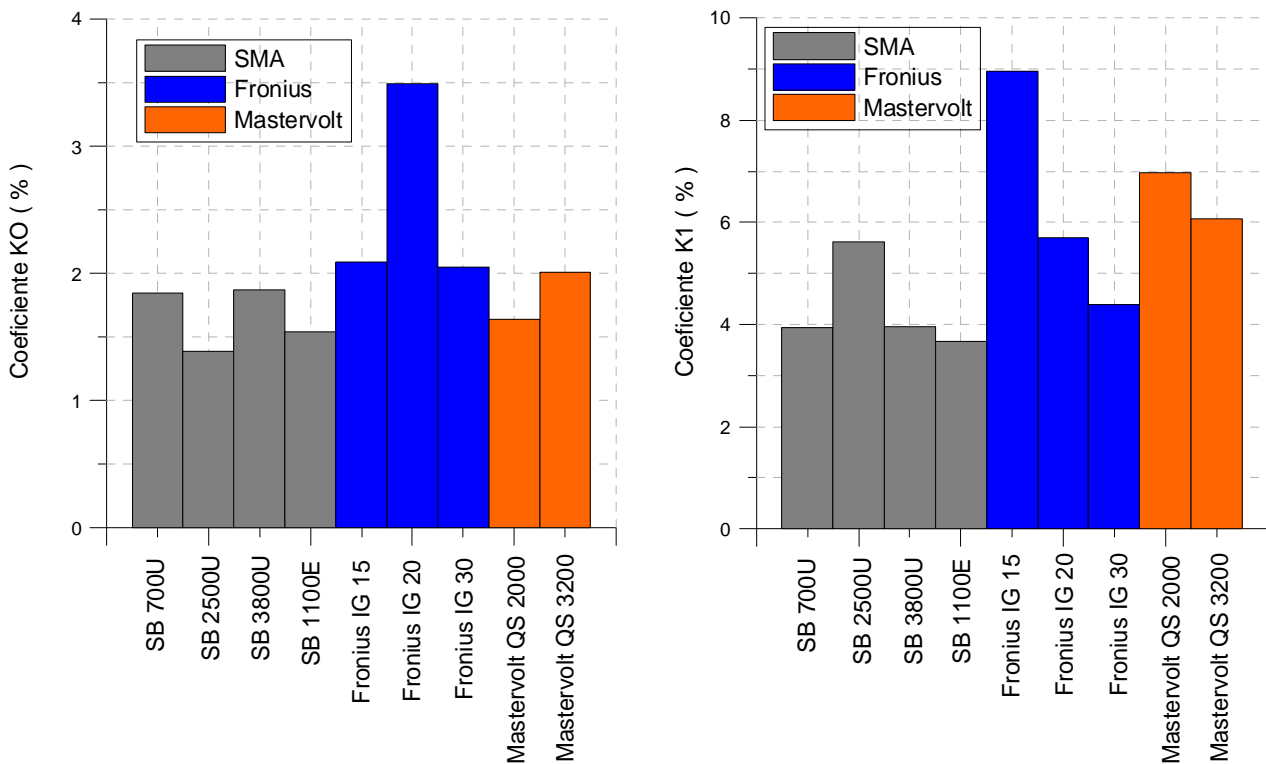


Figura 3 – Coeficiente K_0 e coeficiente K_1 dos inversores ensaiados.

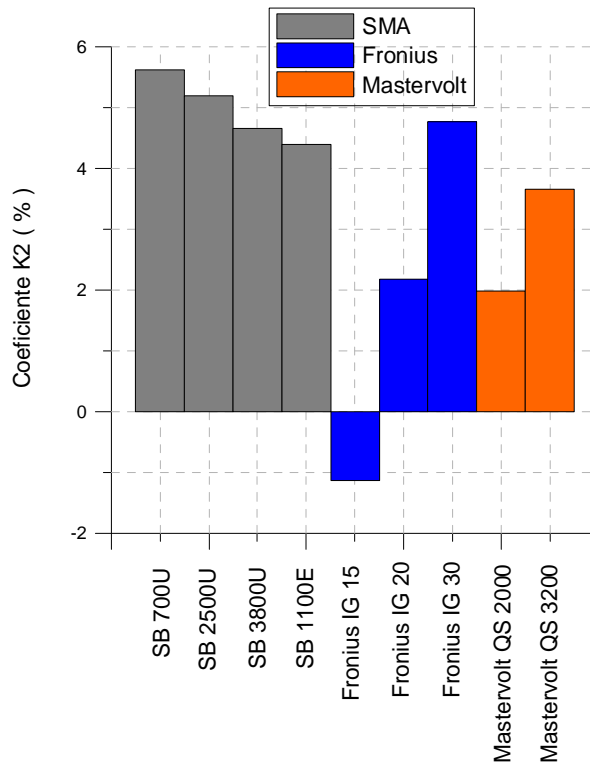


Figura 4 – Coeficiente K2 dos inversores ensaiados.

A curva de eficiência dos inversores é aproximadamente constante para potências de operação acima de 20-30 % da potência de operação dependendo do modelo e fabricante do inversor. Entretanto, para potências inferiores, a eficiência de conversão decai rapidamente e acentuadamente. Esse comportamento deve-se principalmente ao fator de potência de deslocamento que mede a defasagem entre a componente fundamental da tensão e a componente fundamental da corrente (Rampinelli, Dias e Krenzinger, 2008). Essa defasagem entre as componentes aumenta significativamente com a redução da potência de operação dos inversores.

Os inversores de tecnologia SMA apresentam, a partir de potências de operação maiores que 20 % da potência nominal, eficiência de conversão de 90 % e fator de potência próximo de 1. Apenas o inversor SMA Sunny Boy 700U apresenta um fator de potência entre 0,8 e 1. As curvas da eficiência de conversão em função da razão das potências de operação e nominal dos inversores de tecnologia SMA são apresentadas nas Fig. 5 e Fig. 6.

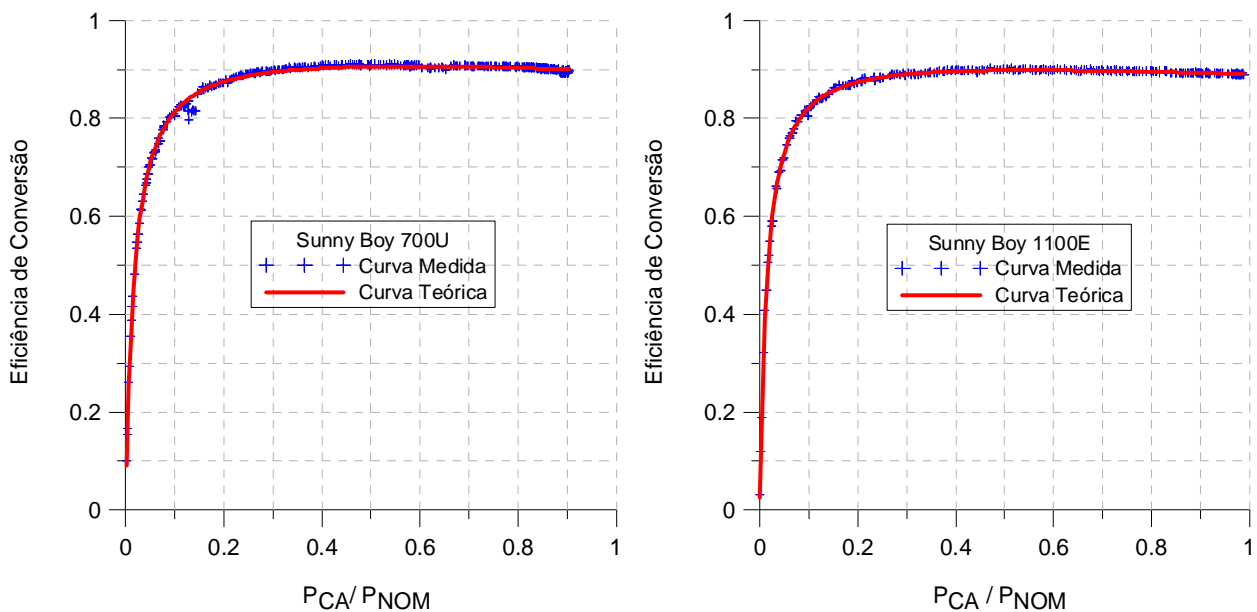


Figura 5 – Curva da eficiência de conversão dos inversores Sunny Boy 700U e Sunny Boy 1100E.

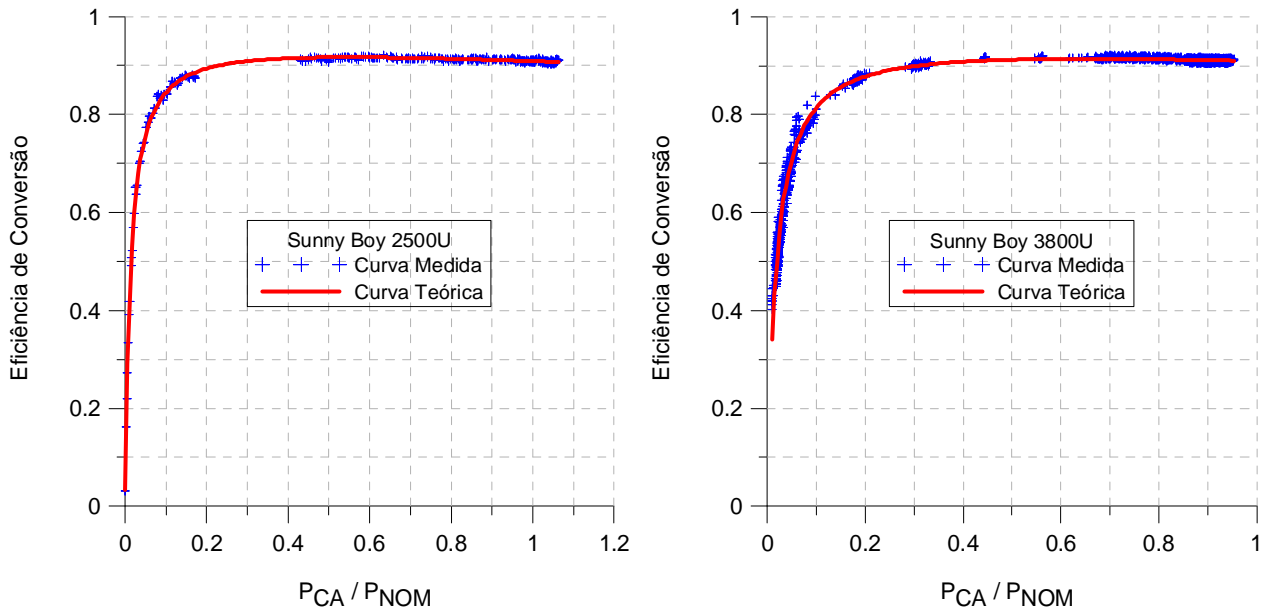


Figura 6 – Curva da eficiência de conversão dos inversores *Sunny Boy 2500U* e *Sunny Boy 3800U*.

Os inversores de tecnologia *Mastervolt Sunmaster* apresentam eficiência de conversão de 90 % quando estão operando a 30 % da potência nominal. O Fator de potência destes inversores aproxima-se de 1 quando estão operando acima de 60 % da potência nominal. As curvas da eficiência de conversão em função da razão das potências de operação e nominal dos inversores de tecnologia *Mastervolt Sunmaster* são apresentadas na Fig. 7.

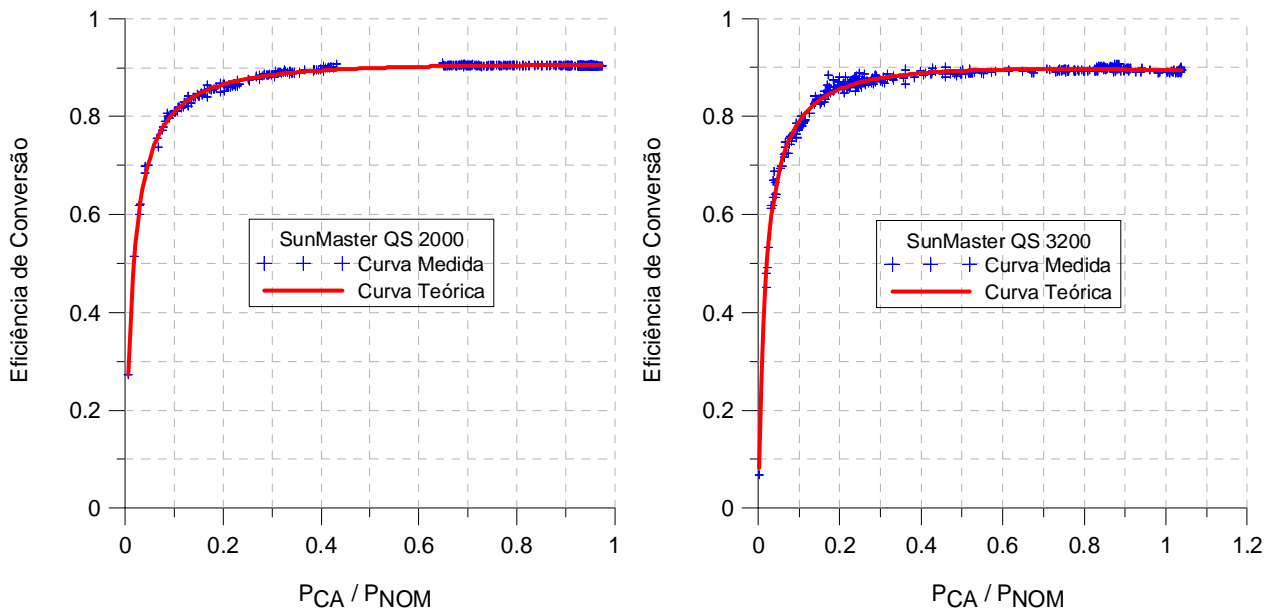


Figura 7 – Curva da eficiência de conversão dos inversores *Mastervolt Sunmaster QS 2000* e *Mastervolt Sunmaster QS 3200*.

Os inversores de tecnologia *Fronius IG 15* e *IG 20* apresentam, a partir de potências de operação maiores que 40 % da potência nominal, eficiência de conversão de 90 % enquanto o inversor *Fronius IG 30* apresenta eficiência de conversão de 90 % a partir de uma potência de operação maior que 20 % da potência nominal. As curvas da eficiência de conversão em função da potência de operação dos inversores de tecnologia *Fronius* são apresentadas nas Fig. 8 e Fig. 9.

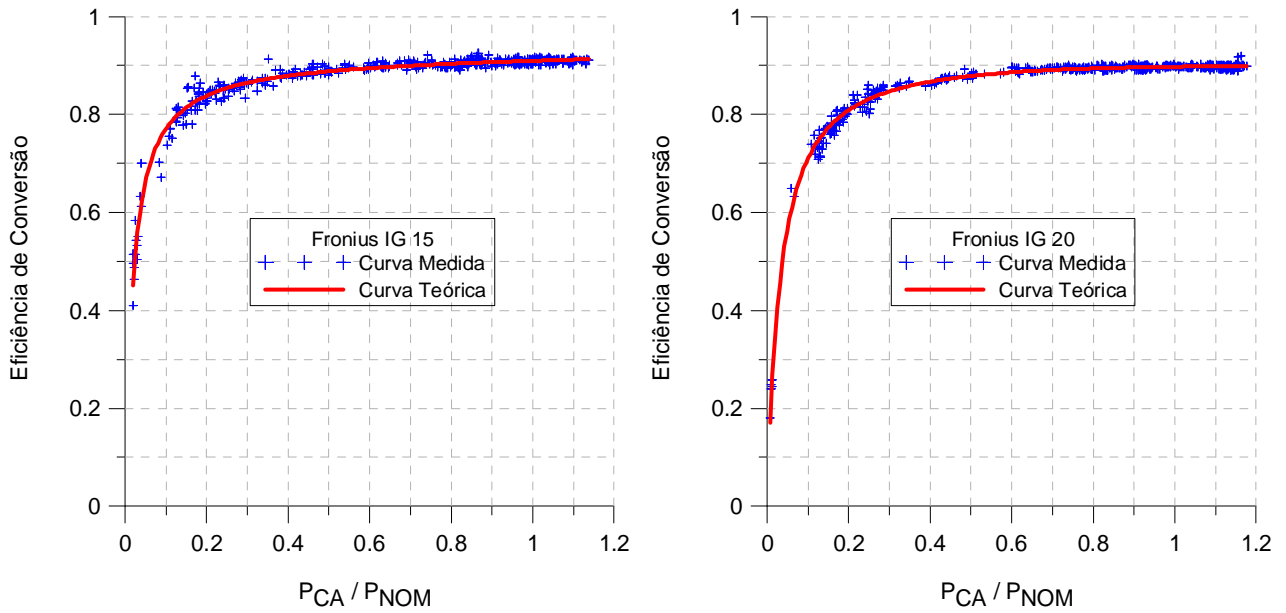


Figura 8 – Curva da eficiência de conversão dos inversores *Fronius IG 15* e *Fronius IG 20*.

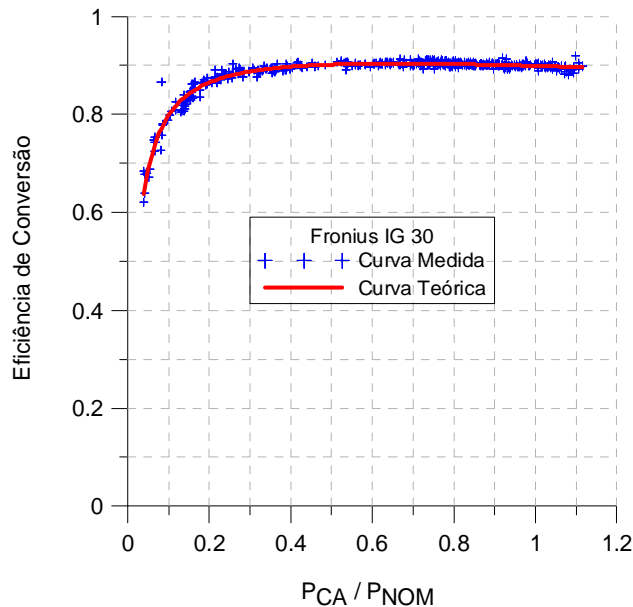


Figura 9 – Curva da eficiência de conversão do inversor *Fronius IG 30*.

5. CONCLUSÕES

Uma simulação confiável de sistemas fotovoltaicos em conexão com a rede elétrica depende de uma confiável implementação de modelos matemáticos que descrevam os equipamentos que constituem tal sistema, sendo o inversor um destes. O trabalho apresentou uma modelagem matemática para simulação da eficiência de conversão e eficiência do seguidor do ponto de máxima potência de alguns modelos de inversores *SMA*, *Fronius* e *Mastervolt* a partir de ensaios experimentais. Os dois parâmetros obtidos e que representam as características dos inversores foram inseridos no banco de dados do programa de simulação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, denominado FVCONNECT. Foram ensaiados nove inversores de três diferentes tecnologias. Os inversores apresentaram eficiências médias entre 84 e 88 % para o modelo *Fronius*, aproximadamente 90 % para os *SMA* e entre 86 e 88 % para os *Mastervolt*. A eficiência do seguidor do ponto de máxima potência pode ser determinada a partir de uma consideração (a irradiância em um intervalo de um minuto não varia em dias de céu limpo) e um pressuposto (o seguidor encontra o ponto de máxima potência do arranjo nesse intervalo). A eficiência do seguidor do ponto de máxima potência estimada para os inversores ensaiados é da ordem de 99 %, considerando a faixa de operação entre 20 e 100 % da potência nominal.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

REFERÊNCIAS

- Abella, M. A., Chenlo, F., 2004. Choosing the Right the Inverter for Grid-Connected PV Systems. *Renewable Energy World*. vol. 7, n.2, p. 132-147.
- Chen, W.; Shen, H.; Shu, B.; Qin, H.; Deng, T., 2007. Evaluation of Performance of MPPT devices in PV Systems with Storage Batteries. *Renewable Energy*. v. 32, pp. 1611-1622.
- De Cesare, G.; Caputo, D.; Nascetti, A., 2006. Maximum Power Point Tracker for Portable Photovoltaic Systems with Resistive-like Load. *Solar Energy*. v. 80, pp. 982-988.
- Duru, H. T., 2006. A Maximum Power Tracking Algorithm Based on $I_{MPP} = f(P_{MAX})$ function for Matching Passive and Active Loads to a Photovoltaic Generator. *Solar Energy*. v. 80, pp. 812-822.
- Enrique, J. M.; Durán, E.; Cardona, M. S.; Andújar, J. M., 2007. Theoretical Assessment of the Maximum Power Point Tracking Efficiency of Photovoltaic Facilities with Different Converter Topologies. *Solar Energy*. v. 81, pp 31-38.
- Fronius, 2005. Manual de Instrução do Equipamento *Fronius*. Descrição Técnica do Fabricante.
- Gergaud, O.; Multon, B.; Ahmed, H. B., 2002. Analysis and Experimental Validation of Various Photovoltaic System Models. 7th International Electrimacs Congress, Montreal.
- Huang, B. J.; Sun, F. S.; Ho, R. W., 2006. Near Maximum Power Point Operation (nMPPO) Design of Photovoltaic Power Generation System. *Solar Energy*. v. 80, pp. 1003-1020.
- Jantsch, M.; Schmidt, H.; Schmid, J., 1992. Results of the Concerted Action on Power Conditioning and Control. 11th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Montreux, Suíça, pp 1589-1593.
- Kawamura, T.; Harada, K.; Ishihara, Y.; Todaka, T.; Oshiro, T.; Nakamura, H.; Imataki, M., 1997. Analysis of MPPT Characteristics in Photovoltaic Power System. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. v. 47, pp. 155-165.
- King, D. L.; Kratochvil, J. A.; Boyson, W. E., 1997. Temperature Coefficients for PV Modules and Arrays: Measurements methods, difficulties, and results. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, Califórnia.
- Krenzinger, A. et al, 2007. Simulação Computacional de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. In: I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar. v.CD-ROM.
- Martín E. C., 1998. Edifícios Fotovoltaicos Conectados a La Red Eléctrica: Caracterización y Análisis, Doctoral Thesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
- Mastervolt Sunmaster, 2005. Manual de Instrução do Equipamento *Mastervolt*. Descrição Técnica do Fabricante.
- Prieb, C. W. M.; Krenzinger, A., 2007. Determinação de Curva Característica de Arranjo Fotovoltaico. In: I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar. v.CD-ROM.
- Rampinelli, G. A., Dias, J. B., Krenzinger, A., 2008. Ensaio de Inversores para Conexão à Rede: Fator de Potência e Distorção Harmônica. II CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- Rampinelli, G. A., 2007. Análise da Distribuição de Tensões em uma Associação de Módulos Fotovoltaicos Conectados à Rede. Tese de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- Salas, V.; Olías, E.; Barrado, A.; Lázaro, A., 2006. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol 90, pp 1555–1578.
- SMA Technologie AG, 2005. Sunny Family. Descrição Técnica do Fabricante.
- SMA Technologie AG, 2003. Manual de Instrução do Equipamento *Sunny Boy*. Descrição Técnica do Fabricante.

TESTS OF GRID-CONNECTED INVERTERS: CONVERSION EFFICIENCY AND MAXIMUM POWER POINT TRACKING EFFICIENCY

Abstract. *The accomplishment of a reliable simulation of photovoltaic systems behavior relies on the correct mathematical modeling of its components and their mutual interaction. Such models can be obtained from experimental tests. Being the heart of a grid connected photovoltaic system, a special attention must be given to the modeling of the inverter. The main factors to be considered are DC to AC conversion efficiency, power factor, total harmonic distortion and maximum power point tracker (MPPT) efficiency. The Solar Energy Laboratory at Federal University of Rio Grande do Sul is currently developing a simulation software (FVCONNECT) of grid connected photovoltaic systems. A data base of inverters is included in this program. This work presents the results for measured DC/AC conversion and MPPT efficiencies, as well as the proposed mathematical models. The input parameters of these models, for nine different specimens from three inverters manufactures, were obtained by fitting measured data. These parameters were inserted in the inverters data base of the simulation software.*

Key words: *Solar Energy, Photovoltaic Systems Grid Connected, Inverter, efficiency, Simulation.*