

## **DESCRIÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA A TEMPERATURA OPERACIONAL DE INVERSORES PARA CONEXÃO À REDE ELÉTRICA.**

**G. A. Rampinelli, A. Krenzinger.**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Energia Solar  
Rua Sarmento Leite, 425 Porto Alegre, RS, Brasil. Tel. (51)33086841 – Fax 33086841  
e-mail: giuliano.rampinelli@ufrgs.br e arno.krenzinger@ufrgs.br

**RESUMO:** A análise técnica da quantidade e qualidade da energia convertida por um sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser realizada através de um monitoramento experimental da instalação ou por simulação computacional. O Laboratório de Energia Solar da UFRGS está desenvolvendo um programa de simulação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (FVCONNECT). Para realizar uma simulação confiável é necessária a implementação de modelos matemáticos que descrevam o comportamento de cada componente do sistema. O inversor é um dos componentes centrais por ser o equipamento responsável pela conversão DC/AC. Alguns parâmetros técnicos dos inversores são fornecidos pelos fabricantes, entretanto, características elétricas e térmicas necessitam de uma modelagem matemática que deve ser obtida a partir de ensaios específicos. Este trabalho apresenta uma descrição de um modelo matemático para a temperatura de inversores. O modelo requer a determinação experimental de dois coeficientes térmicos. A curva da temperatura do inversor simulada e a curva da temperatura do inversor medida apresentaram similaridade e as perdas energéticas devido ao sobre-aquecimento do inversor foram previstas pelo software.

**Palavras chaves:** Energia Solar Fotovoltaica, Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, Inversores DC/AC, Simulação Computacional.

### **INTRODUÇÃO**

A análise técnica da quantidade e qualidade da energia convertida por um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de distribuição pode ser realizada de duas maneiras distintas: através do monitoramento experimental de grandezas físicas da instalação ou por simulação computacional (Muñoz et. al., 2008; Dias, 2006; Macêdo, 2006; Burger e Rütther, 2006; Abella e Chenlo, 2004). As instalações fotovoltaicas conectadas à rede comumente incorporam um sistema de monitoramento experimental que tem a vantagem de retornar dados reais e confiáveis, mas implica na necessidade de equipamentos de medidas adequados e tempo para aquisição dos dados. A simulação computacional não requer equipamentos e ensaios e tem uma rápida resposta dos resultados. No entanto, para realizar uma simulação confiável é necessário que o programa computacional seja validado e tenha as ferramentas necessárias para que os dados simulados sejam correspondentes aos dados reais.

O Laboratório de Energia Solar (LES) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) está em fase final de desenvolvimento, com o financiamento da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras) e FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), de um programa de simulação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (Krenzinger et. al., 2007 e Krenzinger, 2008), denominado FVCONNECT. A finalidade básica do programa é realizar uma simulação do comportamento elétrico e térmico de cada componente de um sistema conectado à rede ao longo de um período pré-determinado pelo usuário. Na área de projeto do programa é inserida a instalação fotovoltaica que se deseja simular. O programa disponibiliza um banco de dados com as características elétricas e térmicas de diversos módulos fotovoltaicos e inversores permitindo inclusive ao usuário editar os parâmetros. Os dados meteorológicos podem ser inseridos pelo usuário ou serem gerados pelo próprio *software*. O programa retorna dados de temperatura dos componentes, corrente e tensão elétrica em vários pontos do circuito e quantidade e qualidade da energia entregue à rede sendo que os dados podem ter uma base de tempo horária ou ainda minuto a minuto.

Para realizar uma simulação confiável é necessária a implementação de modelos matemáticos que descrevam o comportamento de cada componente do sistema. Os modelos matemáticos devem ser validados a partir de ensaios experimentais. Um sistema fotovoltaico conectado à rede é basicamente constituído por um arranjo de módulos fotovoltaicos, por inversores e pela rede elétrica em que a energia convertida está sendo injetada. A equipe técnica do laboratório realizou ensaios específicos para cada componente do sistema.

O laboratório tem instalado um sistema fotovoltaico conectado à rede. A instalação é composta por 48 módulos de células de silício monocristalino de potência nominal de 100 W<sub>p</sub> e tensão nominal de 24 V. O sistema fotovoltaico entrou em operação em 2004 e está sendo monitorado e estudado continuamente (Dias, 2006; Rampinelli, 2007). Cada módulo da instalação fotovoltaica foi ensaiado e caracterizado individualmente pela equipe do laboratório (Krenzinger e Prieb, 2005). Para os ensaios de inversores a instalação está formada por seis painéis de oito módulos ligados em série. Os painéis são conectados em paralelo de acordo com a potência do inversor que está sendo ensaiado. A Fig. 1 apresenta a instalação fotovoltaica conectada à rede instalada na fachada do prédio do Laboratório de Energia Solar.

Figura 1 – Sistema fotovoltaico conectado à rede do LES/UFRGS.

## FUNDAMENTAÇÃO

O inversor é o equipamento responsável por converter corrente contínua (energia convertida pelo arranjo fotovoltaico) em corrente alternada (energia entregue à rede elétrica). Para realizar uma simulação detalhada deste componente é necessário implementar modelos matemáticos que descrevam as características deste componente. Alguns parâmetros dos inversores são fornecidos pelos fabricantes dos mesmos, entretanto, o comportamento da eficiência de conversão, eficiência do seguidor do ponto de máxima potência, fator de potência, distorção harmônica e da temperatura operacional necessitam de uma modelagem matemática que deve ser obtida a partir de ensaios específicos.

A caracterização e descrição do comportamento da eficiência de conversão e eficiência do seguidor do ponto de máxima potência podem ser encontradas em (Rampinelli et. al., 2008(a)) enquanto que o fator de potência e a distorção harmônica são descritas e caracterizadas em (Rampinelli et. al., 2008(b)). Os coeficientes dos modelos matemáticos que descrevem as características de funcionamento de inversores e dados técnicos obtidos dos manuais dos fabricantes dos mesmos foram inseridos em um banco de dados disponível no programa de simulação e que pode ser alterado pelo usuário. Essas características elétricas de inversores têm sido tema de diversos trabalhos (Chen et. al. 2007; Haeberlin et. al. 2006; Batrinu et. al. 2006; Cardona e Carretero, 2005).

Este trabalho apresenta uma descrição de um modelo matemático para a temperatura operacional de inversores. A simulação da temperatura de inversores é importante para prever ocorrências de sobre-aquecimento dos mesmos. A Fig. 2 apresenta o comportamento da temperatura operacional do inversor, da potência fotovoltaica convertida pelo arranjo de módulos e da irradiância para um período em que a temperatura do inversor varia em uma faixa permitida pelo fabricante do mesmo.

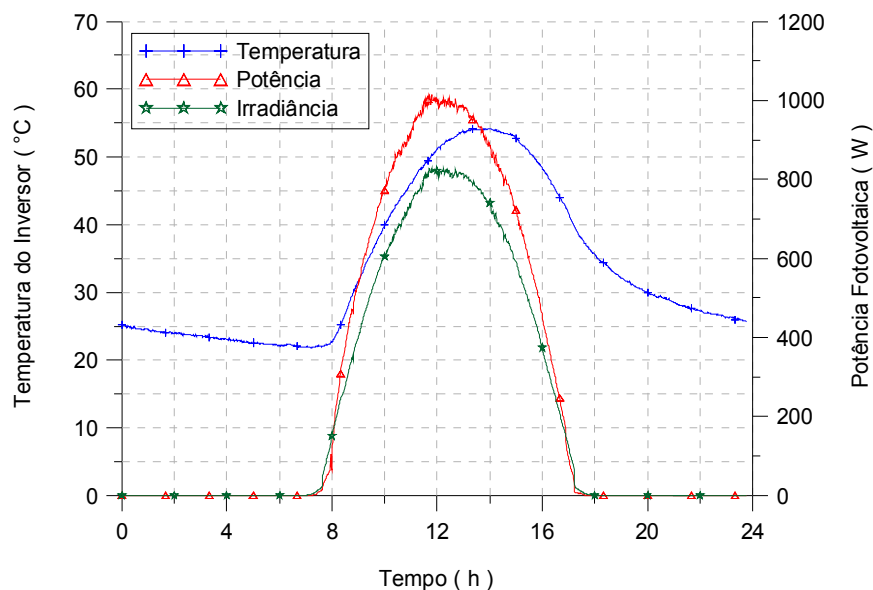


Figura 2 – Comportamento da temperatura do inversor sem sobre-aquecimento.

A Fig. 3 apresenta o comportamento da temperatura do inversor, da potência fotovoltaica e da irradiância para um período em que a temperatura de operação do inversor atinge um limite máximo.

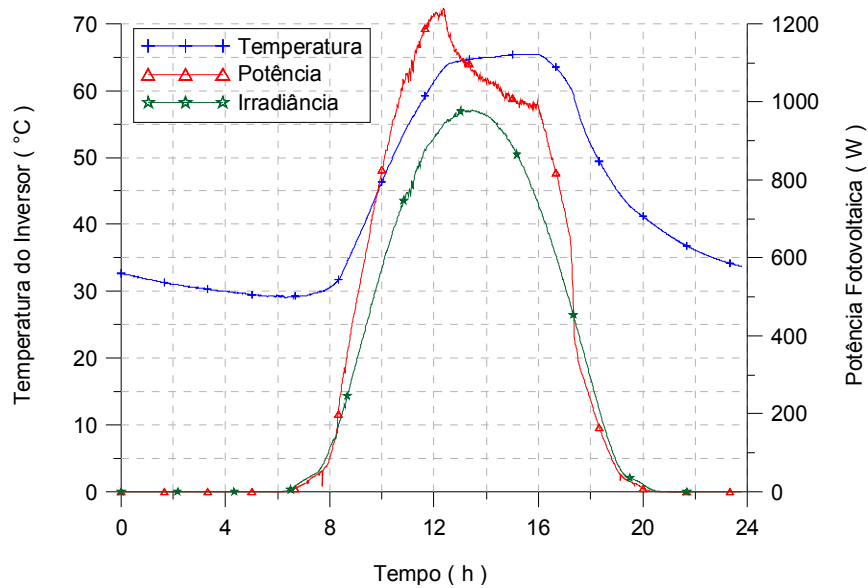


Figura 3 – Comportamento da temperatura do inversor com sobre-aquecimento.

As curvas apresentadas anteriormente foram medidas pelo sistema de monitoramento da instalação fotovoltaica do laboratório e representam duas situações típicas que ocorrem ao longo do ano. Verifica-se que na situação em que a temperatura do inversor não atinge a temperatura limite, a curva de potência do arranjo é similar à curva de irradiância. Entretanto, quando a temperatura excede o limite permitido, a curva de potência apresenta um corte que não é verificado na curva de irradiância. A potência do arranjo é reduzida porque o inversor desloca o ponto de polarização do arranjo.

Diferentes tecnologias de inversores têm comportamentos variados sob condição de sobre-aquecimento. Alguns inversores desconectam-se da rede elétrica quando a temperatura do inversor atinge a máxima temperatura admitida pelo fabricante, enquanto que outros inversores incorporam, para proteger o inversor de danos causados por um sobre-aquecimento, um sistema eletrônico que desloca o ponto de otimização do arranjo para polarizar o mesmo em um ponto de menor potência (menor corrente e maior tensão). Este ponto está localizado à direita do “joelho” da curva I-V do arranjo fotovoltaico.

Esta situação implica em perdas energéticas uma vez que o inversor não está polarizando o arranjo no ponto ótimo. O sobre-aquecimento de inversores ocorre comumente em períodos de alta irradiância e temperatura ambiente elevada se o fator de dimensionamento do inversor (Eq. 1) for inadequado. O programa de simulação que não considerar esse fenômeno poderá estimar equivocadamente a energia convertida pelo sistema durante o período estabelecido pelo usuário.

$$FDI = \frac{P_{INV}}{P_{PMP}} \quad (1)$$

onde,  $P_{INV}$  é a potência nominal do inversor e  $P_{PMP}$  é a potência do ponto de máxima potência do arranjo.

Este trabalho tem o objetivo de implementar um modelo matemático de simples compreensão física para descrever o comportamento da temperatura de inversores, que permita a obtenção dos coeficientes a partir de ensaios simples. O modelo parte do pressuposto de que a energia elétrica em corrente contínua que não é convertida em energia elétrica em corrente alternada pelo inversor é convertida em energia térmica que implica em aquecimento do mesmo (Eq. 2).

$$P_T = P_D + F_{CAP} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = (1 - \eta) \cdot P_{CC} \quad (2)$$

onde,  $P_T$  é a potência térmica (energia elétrica convertida em energia térmica pelo inversor no processo de conversão de corrente contínua em corrente alternada),  $P_D$  é a potência dissipada (energia térmica dissipada pelo inversor),  $F_{CAP}$  é a capacidade térmica do inversor,  $T$  é a temperatura do inversor,  $t$  é o tempo de aquecimento,  $\eta$  é a eficiência do inversor,  $P_{CC}$  é a potência em corrente contínua convertida pelo arranjo fotovoltaico.

A potência dissipada transfere energia térmica para o ambiente por uma combinação entre processos de transferência de calor por radiação e convecção. A potência dissipada pode ser descrita conforme a Eq. (3).

$$P_D = (F_D \cdot (T_{INV} - T_{AMB})) \quad (3)$$

onde,  $T_{INV}$  é a temperatura do inversor,  $T_{AMB}$  é a temperatura ambiente e  $F_D$  é o fator de dissipação do inversor que depende dos coeficientes de transferência de calor por radiação e convecção e da área do dissipador.

O modelo matemático para a temperatura operacional do inversor pode ser obtido combinando-se as Eq.(2) e Eq.(3) e é descrito na Eq. (4). O fator de capacidade térmica do inversor é a energia necessária para aumentar em 1°C a temperatura do mesmo e o fator de dissipação do mesmo é a energia que o inversor necessita dissipar para diminuir sua temperatura em 1°C.

$$T_2 = T_1 + \left( \left( \frac{1-\eta}{F_{CAP}} \right) \cdot P_{CC} \cdot \Delta t \right) - \left( \left( \frac{F_D}{F_{CAP}} \right) \cdot (T_{INV} - T_{AMB}) \cdot \Delta t \right) \quad (4)$$

onde,  $T_2$  é a temperatura é a temperatura do inversor em um instante de tempo  $t_2$ ,  $T_1$  é a temperatura do inversor em um instante  $t_1$  e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

## METODOLOGIA DE ENSAIOS DOS INVERSORES

Para os ensaios foram utilizados nove modelos diferentes de inversores, sendo quatro de tecnologia *SMA* modelo *Sunny Boy*, três de tecnologia *Fronius* modelo *IG* e dois de tecnologia *Mastervolt* modelo *Sunmaster QS*. A Tab. 1 apresenta as características elétricas de potência dos inversores ensaiados. Estes dados foram obtidos a partir dos manuais técnicos dos inversores (*Fronius*, 2005; *Mastervolt*, 2005; *SMA*, 2005) e (*Kreutzmann e Welter*, 2005).

Fabricante	Modelo	Potência de Entrada (W)		Potência de Saída (W)	
		Máxima	Nominal	Máxima	Nominal
<i>SMA</i>	SB 700U	1000	780	700	700
<i>SMA</i>	SB 2500U	2800	2380	2500	2200
<i>SMA</i>	SB 3800U	4800	4040	3800	3800
<i>SMA</i>	SB 1100E	1350	1100	1100	1000
<i>Fronius</i>	IG 15	2000	1400	1500	1300
<i>Fronius</i>	IG 20	2700	1940	2000	1800
<i>Fronius</i>	IG 30	3600	2690	2650	2500
<i>Mastervolt</i>	QS 2000	2100	1750	1725	1600
<i>Mastervolt</i>	QS 3200	3600	2750	2750	2600

Tabela 1. Características técnicas básicas dos inversores ensaiados.

Para a realização dos ensaios dos inversores foi montada uma bancada de testes (Fig. 4a), composta por um analisador de potência Fluke 434 (Fig. 4b) e um computador para a aquisição de dados. As medidas de temperaturas são realizadas por sensores PT 100.



Figura 4 – (a) Bancada de ensaios e (b) analisador de potência FLUKE 434.

O modelo matemático proposto para a temperatura operacional do inversor necessita a determinação de dois coeficientes, o fator de capacidade térmica e o fator de dissipação térmica do inversor. Para determinação desses coeficientes são

estabelecidos alguns critérios. Quando o inversor não está conectado à rede a temperatura do inversor é a mesma que a temperatura ambiente. Assim que o inversor conecta-se à rede, a energia fotovoltaica não convertida em energia elétrica é convertida em energia térmica resultando em aquecimento do inversor a parcela que não é dissipada pelo mesmo. Entretanto, a parcela que é dissipada é desprezível e pode-se considerar que toda energia térmica está resultando em aquecimento do inversor. A partir dessa consideração pode-se determinar o fator de capacidade térmica através da Eq. (5). Enquanto a diferença percentual entre a temperatura do inversor e a temperatura ambiente é menor que 10 %, a energia térmica dissipada pode ser desprezada. Nessa condição a variação da temperatura do inversor resultante da dissipação é inferior a 0,03 °C.

$$F_{CAP} = \frac{((1 - \eta) \cdot P_{CC} \cdot \Delta t)}{(T_2 - T_1)} \quad (5)$$

O fator de dissipação térmica dos inversores pode ser determinado de duas maneiras. Quando a temperatura do inversor atinge um regime estacionário ( $T_2 = T_1$ ), a energia térmica convertida pelo inversor que resulta em aquecimento é igual a energia térmica que está sendo dissipada pelo mesmo e pode-se determinar o fator de dissipação do inversor a partir da Eq. (6).

$$F_D = \frac{((1 - \eta) \cdot P_{CC})}{(T_{INV} - T_{AMB})} \quad (6)$$

Quando o inversor é desconectado da rede (desligado) não há mais energia de aquecimento e o fator de dissipação pode ser determinado a partir da Eq. (7). Os inversores que possuem apenas um sistema de dissipação natural têm apenas um fator de dissipação natural ( $F_{DN}$ ). Esse fator pode ser determinado a partir da Eq. (6) ou Eq. (7). Entretanto, os inversores que possuem um sistema de dissipação forçada possuem dois fatores, um fator de dissipação natural que deve ser determinado a partir da Eq. (7) e outro fator de dissipação forçada ( $F_{DF}$ ) que pode ser obtido a partir da Eq. (6).

$$F_D = \frac{(T_2 - T_1) \cdot F_{CAP}}{(T_1 - T_{AMB}) \cdot \Delta t} \quad (7)$$

Os inversores que possuem um sistema de dissipação térmica forçada possuem um ventilador com rotação variável. A rotação do ventilador depende da temperatura de operação do inversor e da potência fotovoltaica que está sendo convertida pelo mesmo.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS ENSAIOS DE INVERSORES

O fator de dissipação está associado a coeficientes de transferência de calor por radiação entre o inversor e as superfícies e a coeficientes de transferência de calor por convecção entre o inversor e o ambiente. Os inversores possuem dissipadores para facilitar esse o processo de transferência de calor. O processo de dissipação térmica, nos inversores *SMA*, ocorre apenas naturalmente, enquanto nos inversores *Fronius* e *Mastervolt*, ocorre dissipação térmica natural e forçada. Os inversores *SMA* possuem apenas um fator de dissipação enquanto os inversores *Fronius* e *Mastervolt* possuem um fator de dissipação para quando há apenas convecção natural e outro fator de dissipação para quando houver convecção natural e forçada. A Tab. 2 apresenta os coeficientes de capacidade térmica, dissipação térmica do modelo matemático da temperatura do inversor e os respectivos desvios padrão.

Fabricante	Modelo	$F_{CAP}$ (J/°C)	Desvio Padrão	$F_{DN}$ (W/°C)	Desvio Padrão	$F_{DF}$ (W/°C)	Desvio Padrão	$F_{Dmédio}$ (W/°C)
<i>SMA</i>	SB 700U	8250	530	2,10	0,60	Não	Não	2,10
<i>SMA</i>	SB 1100E	9200	450	2,80	0,45	Não	Não	2,80
<i>SMA</i>	SB 2500U	10600	370	3,20	0,22	Não	Não	3,20
<i>SMA</i>	SB 3800U	11200	530	2,20	0,60	7,20	0,50	3,50
<i>Fronius</i>	IG 15	2682	315	1,28	0,20	5,35	0,25	3,31
<i>Fronius</i>	IG 20	2449	330	1,36	0,10	5,22	0,16	3,29
<i>Fronius</i>	IG 30	2750	515	1,42	0,20	7,87	0,36	3,35
<i>Mastervolt</i>	QS 2000	3210	340	1,93	0,48	5,20	0,04	3,56
<i>Mastervolt</i>	QS 3200	3520	490	1,80	0,44	5,47	0,06	3,63

Tabela 2. Fator de capacidade térmica e fator de dissipação térmica dos inversores ensaiados.

A Fig. 5 apresenta uma comparação entre o comportamento da temperatura do inversor previsto pelo modelo matemático e o comportamento da temperatura do inversor medido pelo sensor de temperatura.

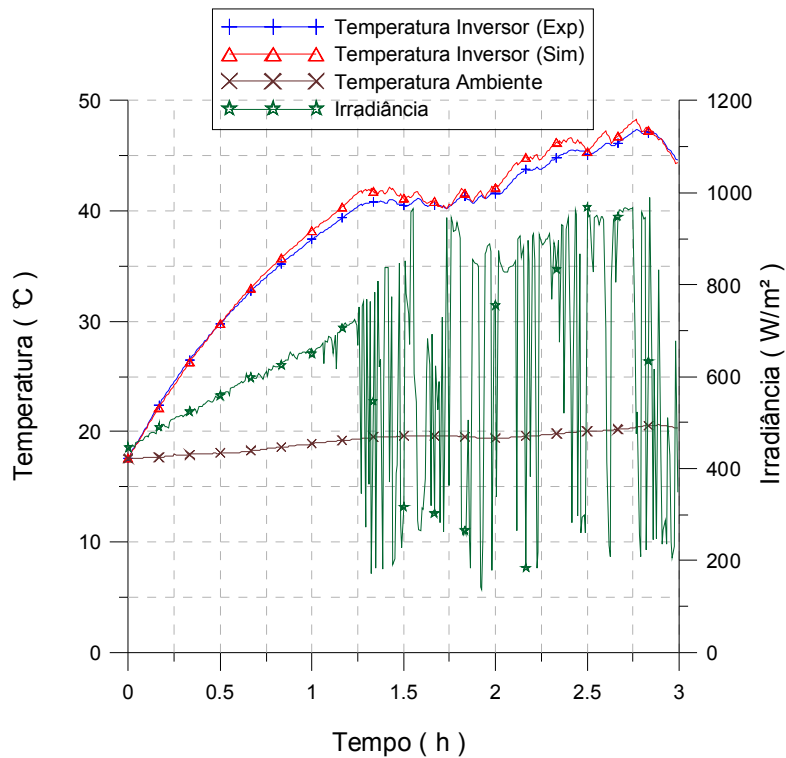


Figura 5 – Comparação entre a temperatura do inversor simulada e experimental.

O modelo matemático da temperatura do inversor e os coeficientes determinados através dos ensaios realizados foram inseridos no programa de simulação FVCONNECT. O programa permite visualizar os dados de saída simulados através de uma interface gráfica. A Fig. 6 apresenta o comportamento da potência fotovoltaica convertida pelo arranjo e da temperatura operacional do inversor ao longo de um período de uma semana.

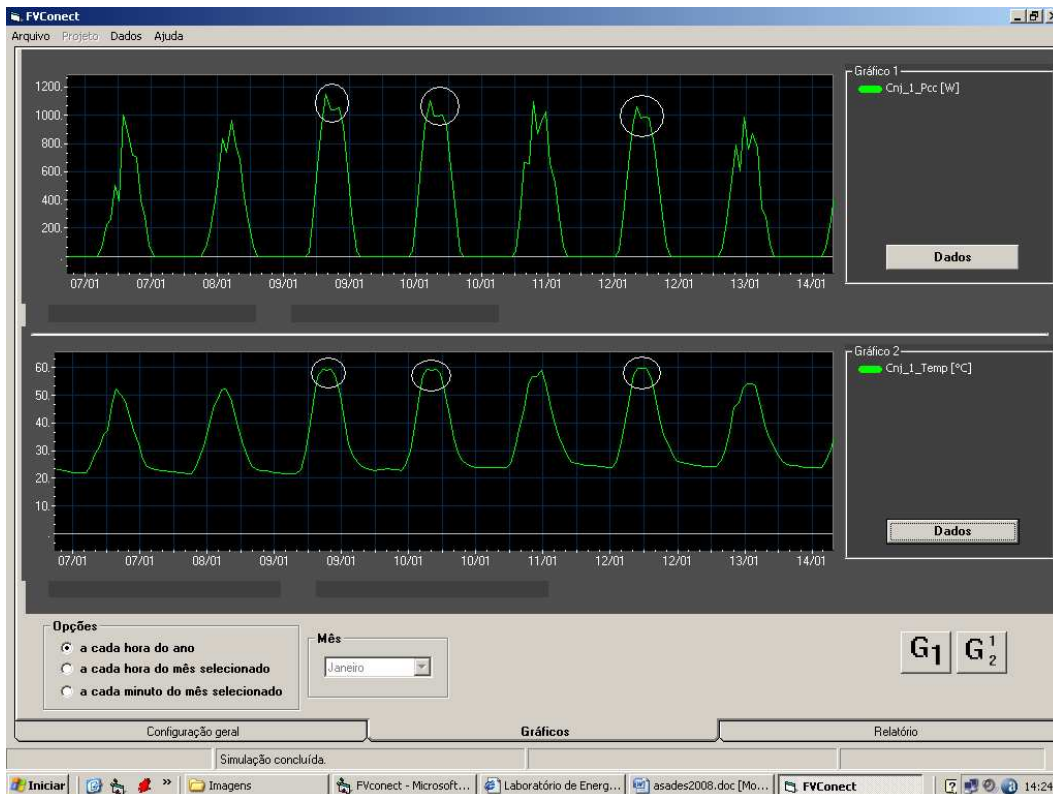


Figura 6 – Comportamento da potência fotovoltaica e temperatura do inversor para um período determinado. Quando a temperatura do inversor atinge 60°C, para evitar danos aos componentes eletrônicos, o ponto de operação do arranjo é deslocado para um ponto de menor potência a fim de reduzir a corrente elétrica e conseqüentemente a temperatura

do inversor (áreas em destaque). Esse comportamento apenas poderia ser previsto a partir da simulação da temperatura do inversor. A Fig. 7 apresenta a simulação da temperatura do inversor, da potência fotovoltaica convertida pelo arranjo e a irradiância incidente para um período de dois dias.

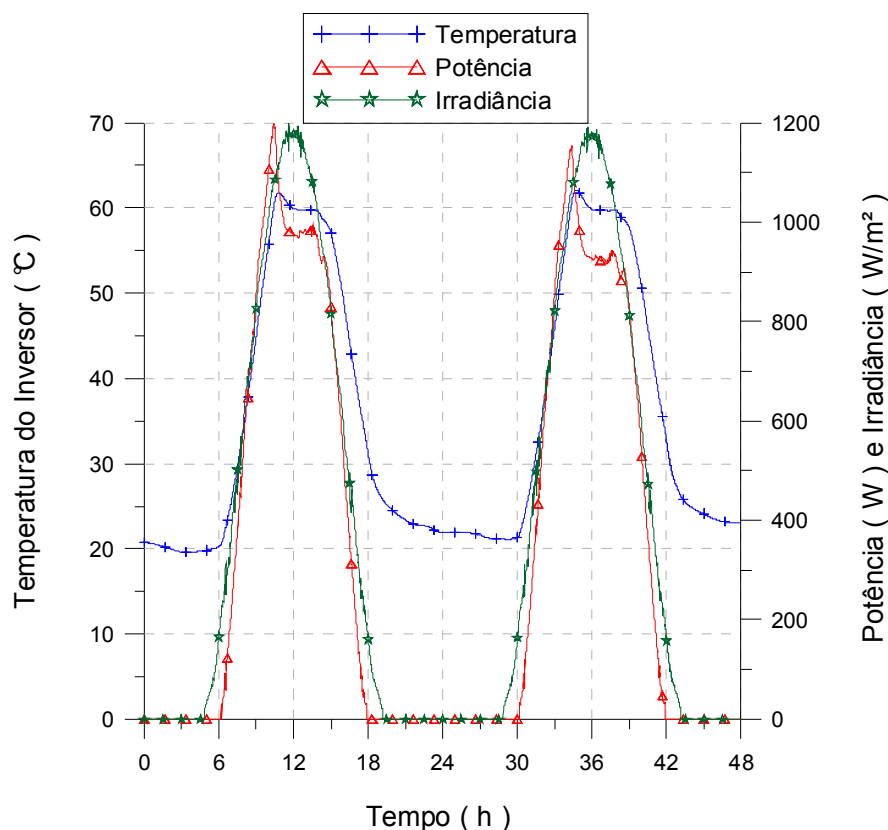


Figura 7 – Comportamento da temperatura do inversor, da potência e da irradiância para um período de dois dias.

No caso da temperatura do inversor ser desconsiderada, a curva da potência fotovoltaica seria similar a curva da irradiância, implicando em uma previsão energética que não corresponderia a energia realmente obtida pelo sistema. Além da visualização gráfica, o programa oferece um relatório resumindo a simulação realizada pelo usuário e permite que os dados de saída sejam exportados em um arquivo de dados.

## CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um modelo matemático para descrever o comportamento da temperatura de inversores para conexão à rede elétrica. A simulação da temperatura do inversor é importante para que o programa computacional possa prever situações de sobre-aquecimento que influenciam na previsão da energia convertida para o sistema e período estabelecidos pelo usuário. O modelo proposto é de simples compreensão física e necessita a determinação de dois coeficientes experimentais, um fator de capacidade térmica e um fator de dissipação térmica. Foram ensaiados nove modelos de inversores de três fabricantes diferentes. Os coeficientes dos inversores ensaiados foram inseridos no banco de dados do programa de simulação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em desenvolvido no Laboratório de Energia Solar. A comparação entre a temperatura do inversor simulada a partir do modelo matemático proposto e a temperatura do inversor medida apresentaram similaridade e as perdas energéticas do sistema devido períodos de sobre-aquecimento do inversor foram previstas pelo programa computacional FVCONNECT implicando em uma simulação mais precisa e confiável.

### Agradecimentos

O trabalho contou com o apoio 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. A Model for Energy Production Estimation of PV Grid Connected Systems Based on Energetic Losses and Experimental Data. On Site Diagnosis. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, June, Paris, 2447-2450.
- Batrinu, F.; Chicco, G.; Schlabbach, J.; Spertino, F., 2006. Impacts of Grid Connected Photovoltaic Plant Operation on the Harmonic Distortion. 13<sup>th</sup> IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference.

- Burger, B., Rütther, R., 2006. Inverter Sizing of Grid Connected Photovoltaic Systems in the Light of Local Solar Resource Distribution Characteristics and Temperature. *Solar Energy*, Vol. 80, pp 32-45.
- Cardona, M. S., Carretero, J., 2005. Analysis of the Current Total Harmonic Distortion for Different Single Phase Inverters for Grid Connected PV Systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 87, pp 529-540.
- 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.
- Dias, J. B., 2006. Instalação Fotovoltaica Conectada à Rede: Estudo Experimental para Otimização do Fator de Dimensionamento. Tese de Doutorado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- Fronius, 2005. Manual de Instrução do Equipamento Fronius. Descrição Técnica do Fabricante.
- Haeblerlin, H., Borgna, L., Kaempfer, M., Zwahlen, U., 2006. News Tests at Grid-Connected PV Inverters: Overview over Tests Results and Measured Values of Total Efficiency. 21<sup>st</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany.
- Krenzinger, A., 2008. Simulação Realista de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. In: CIES 2008 – XIV Congresso Ibérico e IX Congresso Iberoamericano de Energia Solar. Vigo, Galicia, Espanha.
- Krenzinger, A. et al, 2007. Simulação Computacional de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. In: CBENS 2007 – I Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Krenzinger, A., Prieb, C. W. M., 2005. Clasificación y Selección de Módulos Fotovoltaicos para una Central Conectada a la Red. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 9, pp 04.19-04.24.
- Kreutzmann, A., Welter, P. 2005. Market Survey on Inverters for Grid-tied PV Systems. *PHOTON International The Photovoltaic Magazine*, vol.4.
- Mastervolt Sunmaster, 2005. Manual de Instrução do Equipamento Mastervolt. Descrição Técnica do Fabricante.
- Macêdo, W. N., 2006. Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Tese de Doutorado, PIPGE/USP, São Paulo, Brasil.
- Muñoz, J. V., Fuentes, M., Nofuentes, G., Aguilera, J., Almonacid, G., Pérez, P., Gómez, P., 2008. Métodos para Evaluar el Correcto Funcionamiento de una Instalación Fotovoltaica Conectada a La Red. In: CIES 2008 – XIV Congresso Ibérico e IX Congresso Iberoamericano de Energia Solar. Vigo, Galicia, Espanha.
- Rampinelli, G. A., Dias, J. B., Krenzinger, A., 2008(a). Ensaios de Inversores para Conexão à Rede: Eficiência de Conversão e Eficiência do Seguidor do Ponto de Máxima Potência. In: CBENS 2008 – II Congresso Brasileiro de Energia Solar. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Rampinelli, G. A., Dias, J. B., Krenzinger, A., 2008(b). Ensaios de Inversores para Conexão à Rede: Fator de Potência e Distorção Harmônica. In: CBENS 2008 – II Congresso Brasileiro de Energia Solar. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Rampinelli, G. A., 2007. Análise da Distribuição de Tensões Elétricas em uma Associação de Módulos de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Tese de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- SMA Technologie AG, 2005. Sunny Family. Descrição Técnica do Fabricante.

## DESCRIPTION OF A MODEL MATHEMATICAL FOR OPERATIONAL TEMPERATURE OF GRID CONNECTED INVERTERS

**ABSTRACT:** The technical analysis of the quantity and quality of the converted energy for a grid connected photovoltaic system can be carried out either through experimental monitoring of the installation or through computational simulation. The Solar Energy Laboratory at UFRGS is currently developing a simulation software for grid connected photovoltaic systems (FVCONECT). The accomplishment of a reliable simulation of photovoltaic systems behavior relies on the correct mathematical modeling of its components. The inverter is a central component for being the responsible equipment for DC to AC conversion. Some parameters of the inverters are supplied by the manufactures, however, electric and thermal characteristics need a mathematical modeling that must be obtained from specific tests. This work presents a description of a mathematical model for the inverters temperature. The model requires the experimental determination of two thermal coefficients. The curves of inverter temperature simulated and experimental presented similar behavior. The energy losses due to overheating of the inverter had been foreseen by the software.

**Keywords:** solar energy, grid-connected photovoltaic system, inverters, software.