

## ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA NAS CARACTERÍSTICAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

**Airton Cabral de Andrade** – kbral@puers.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Física

**Arno Krenzinger** – arno@mecanica.ufrgs.br

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

### 3.3 – Módulos Fotovoltaicos

**Resumo.** *A influência da temperatura em uma célula fotovoltaica é bastante discutida, tanto no meio acadêmico como no meio industrial. Tem-se bastante conhecimento sobre seus efeitos e, desta forma, qual sua influência sobre as principais características da célula fotovoltaica. Estas células podem ter diferentes eficiências devido aos processos de fabricação que causam alguns defeitos que estão relacionados ao aumento de resistência série, redução de resistência paralela, problemas de recombinação, dentre outros. Sendo assim, o regime de trabalho do módulo está sujeito aos fatores térmicos e elétricos resultantes da associação destas células, podendo causar distribuições de temperatura que não podem ser previstas em uma linha de produção de módulos fotovoltaicos, bem como quando se classificam estes módulos nas condições padrão. Distribuições anômalas de temperatura foram verificadas com termografias. Com estas evidências, estudos mais aprimorados foram realizados com o objetivo de verificar qual a influência da distribuição da temperatura nas curvas características de módulos fotovoltaicos bem como qual a influência desta distribuição nos valores de potência máxima fornecidos. Com este trabalho pretende-se demonstrar o quanto é significativo a influência da distribuição da temperatura nas características do módulo fotovoltaico. Também se pretende demonstrar que uma classificação de módulos nas condições padrão pode não ter o mesmo resultado em uma classificação destes módulos quando operando nas condições naturais.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Módulos Fotovoltaicos, Curva I&V, Termografia.*

## 1. INTRODUÇÃO

A classificação de módulos fotovoltaicos suscita um razoável número de discussões no meio acadêmico e industrial. Estas discussões tratam desde a conversão da energia solar em fotovoltaica até como devem ser realizados os ensaios de resistências mecânicas e ambientais dos módulos fotovoltaicos. Várias entidades internacionais apresentam normas para os ensaios dos componentes de instalações fotovoltaicas, dentre elas a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), a IEC (*International Electrotechnical Commission*) e, no Brasil, a ABNT (*Associação Brasileira de Normas Técnicas*). No âmbito destas associações, despende-se um tempo bastante grande nas discussões a respeito das normatizações para os ensaios dos módulos e componentes de instalações fotovoltaicas.

Para ensaios dos módulos fotovoltaicos na condição padrão, a norma (ASTM E-1036, 2002) estabelece que a irradiância solar e a temperatura do módulo fotovoltaico devam ser, respectivamente,  $1000\text{Wm}^{-2}$  e  $25^{\circ}\text{C}$ . No que tange a distribuição espectral as normas (ABNT NBR11876, 1992) e (ABNT NBR12137, 1991) estabelecem como espectro de referência da irradiância solar direta normal e global um espectro equivalente a uma massa de ar 1,5. A norma (IEC 1215, 1993) e (IEC 904-3, 1989) tem os mesmos critérios para irradiância e espectro (Prieb, 2002).

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho está relacionado à análise das influências da distribuição de temperatura das células em um módulo fotovoltaico, deve ser considerado o que é acei-

tável pelas normas quanto aos valores de dispersão de temperatura em um módulo fotovoltaico no instante da obtenção da curva I&V. A norma (ABNT NBR12136, 1991) estabelece que a dispersão de temperatura entre as células do módulo não deve exceder a  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Respeitadas as condições prescritas pelas normas, os módulos fotovoltaicos podem ser classificados de forma padronizada. Esta padronização é bastante importante devido ao fato de tornar possível a análise dos módulos e instalações fotovoltaicas com parâmetros comuns a todos os laboratórios de pesquisa e órgãos de certificação de equipamentos.

Entretanto, é importante ressaltar que módulos classificados na condição padrão como melhores, podem não ser melhores quando operando em condições naturais. Esta diferença de classificação pode ser explicada pela distribuição da temperatura das células do módulo fotovoltaico.

Para conhecer a extensão da influência desta distribuição de temperatura decidiu-se inicialmente realizar a simulação do comportamento elétrico de associações de células em diferentes condições. Este trabalho descreve o modelo matemático de corrente elétrica do módulo fotovoltaico em função da tensão, apresenta uma simulação de curvas I&V de associações de células em diferentes condições de temperatura (geradas com o programa *Crearray* (Krenzinger, 2001)) e, ao final, mostra imagens termográficas de vários módulos expostos à radiação solar com diferentes distribuições de temperatura.

## 2. MODELO MATEMÁTICO DA CORRENTE EM FUNÇÃO DA TENSÃO EM CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A célula fotovoltaica é um dispositivo semicondutor que apresenta uma junção PN. Esta junção aparece no momento em que o semicondutor é submetido a processos de inserção de determinados tipos de impurezas. O semicondutor com excesso de portadores de cargas positivas é chamado de semicondutor do tipo P e o semicondutor com um número maior de portadores de cargas negativas é chamado de semicondutor do tipo N. Conforme os processos de fornos ao qual o semicondutor é submetido, as impurezas difundidas fazem com que apareça uma junção PN. Com o objetivo de economia de passos para os processos de difusão, as lâminas de silício já vem dopadas com impurezas do tipo P ou do tipo N.

A célula fotovoltaica tem sua grande utilidade no momento em que a junção PN é iluminada. Com esta iluminação aparece uma diferença de potencial e, caso exista um circuito externo, aparece também uma corrente elétrica. O circuito equivalente de uma célula fotovoltaica real é apresentado na Fig. 1, onde  $I_L$  é a corrente fotogerada,  $I_D$  é a corrente que flui através do diodo,  $I_P$  é a corrente pela resistência paralela  $R_P$  da célula,  $R_S$  é a resistência série da célula,  $I$  é a corrente elétrica liberada pela célula e  $V$  é a tensão elétrica nos terminais da célula fotovoltaica.

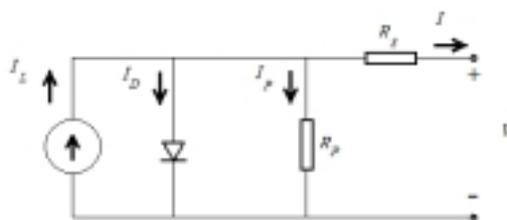


Figura 1 – Circuito equivalente a uma célula fotovoltaica

Sendo assim, a corrente que sai da célula fotovoltaica para um circuito externo é dada pela Eq.1.

$$I = I_L - I_D - I_P \quad (1)$$

A Eq. 1 pode ser escrita expandindo os termos associados à corrente de saturação do diodo e a corrente através da resistência paralela, resultando na Eq. 2

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[ \frac{e(V + IR_S)}{mkT_{cel}} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_S}{R_p} \quad (2)$$

onde  $m$  é o fator de idealidade do diodo (valor entre 1 e 2),  $k$  é a constante de Boltzman,  $I_0$  é a corrente de saturação do diodo e  $T_{cel}$  a temperatura da célula.

Considerando que um módulo fotovoltaico é composto por uma associação de células fotovoltaicas em série, pode-se escrever uma equação para a corrente elétrica fornecida pelo módulo com a Eq. 3

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[ \frac{e(V + IR_S)}{N_S mkT_{cel}} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_S}{R_p} \quad (3)$$

onde  $N_S$  é o número de células associadas em série.  $R_S$  e  $R_p$  se referem às resistências série e paralela do módulo e  $T_{cel}$  a temperatura das células, como se todas fossem iguais.

Devido a característica da associação em série, a corrente elétrica que o módulo fotovoltaico libera é a mesma que passa em cada uma de suas células. Se as células são idênticas, todas devem apresentar uma mesma tensão de polarização.

Ainda considerando células idênticas, caso o módulo esteja polarizado em curto circuito a soma das tensões de polarização das células do módulo é zero. Nesta condição o segundo e o terceiro termo da Eq. 1 tendem a zero e, desta forma, o valor de  $I$  fica igual ao valor de  $I_L$ . Quando a associação fica polarizada nesta condição o valor da corrente elétrica é denominado corrente de curto circuito e notado por  $I_{SC}$ .

Um outro ponto importante nas características do módulo é quando este está em circuito aberto. Em circuito aberto a soma dos termos  $I_D$  e  $I_P$  é igual ao valor de  $I_L$  fazendo com que o valor de  $I$  seja zero na Eq. 1. Quando a associação fica polarizada nesta condição o valor da tensão é denominado tensão de circuito aberto e notado por  $V_{OC}$ .

Ao analisar a Eq. 3 verifica-se que a temperatura das células não é individualizada não sendo possível explicar por meio desta equação a interferência da distribuição de temperatura na corrente e na tensão elétricas do módulo fotovoltaico.

### 3. CURVA I&V DE CÉLULAS E DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O comportamento elétrico das células fotovoltaicas é basicamente governado por parâmetros internos e externos à célula. Dentre os principais parâmetros internos estão a resistência série, a resistência paralela, a corrente de saturação (fator dependente da temperatura da junção PN) e, como parâmetros externos, a irradiância e a temperatura ambiente (Ang e Lasnier, 1990).

A resistência série é o resultado da resistência do próprio semiconductor, da resistência de folha, das resistências ôhmicas entre a malha de metalização e o semiconductor (tanto para a malha frontal como para a malha posterior) da resistência ôhmica dos dedos da malha de metalização.

A resistência paralela é o resultado das fugas de corrente na junção. Geralmente esta resistência está associada a processos de recombinação e dependem basicamente do processo de fabricação da célula fotovoltaica.

A curva I&V de uma célula e/ou módulo fotovoltaico é bastante importante devido ao fato de, conforme seu perfil, evidenciar os parâmetros característicos.

Considerando a influência dos parâmetros externos, a irradiância produz variações lineares dos valores de  $I_{SC}$  e variações logarítmicas para valores de  $V_{OC}$  e a temperatura causa uma variação tanto na corrente de curto circuito como na tensão de circuito aberto. A variação da corrente de curto circuito com a temperatura, notada por  $\alpha$ , apresenta como valor típico para o silício monocristalino de  $0,06\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . A variação da tensão de circuito aberto com a temperatura notada por  $\beta$  apresentando para o silício monocristalino o valor típico  $-2,3\text{mV} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Estes valores típicos revelam a ordem de

grandeza dos coeficientes, mas devem ser substituídos por valores específicos para cada modelo de célula.

#### 4. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA INDIVIDUAL DAS CÉLULAS NA CURVA I&V DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A temperatura interfere nas características de uma célula fotovoltaica, mudando tanto a corrente como a tensão para as diferentes situações de sua polarização. Alguns parâmetros, mais evidentes na curva I&V, são a corrente de curto circuito e a tensão de circuito aberto. Como um módulo fotovoltaico é composto por associações de células, as características individuais destas interferem no comportamento global do módulo.

O regime estável de temperatura de uma célula encapsulada em um módulo fotovoltaico depende, basicamente, da quantidade de energia solar que recebe, do total das perdas térmicas e ópticas para ambiente e da parcela de energia que foi convertida em energia elétrica. Desta forma, a diferença entre estes fluxos de energia está associada à temperatura das células.

Considerando as células de um módulo fotovoltaico com características idênticas e estando elas na mesma condição de temperatura e irradiância, seus valores de polarização serão iguais. Mesmo assim, as células de um módulo fotovoltaico devem ficar com temperaturas diferentes quando operando em condições naturais, devido ao fato das células das extremidades do módulo ficarem mais frias do que as células centrais.

Entretanto, mesmo que os fabricantes de módulos classifiquem as células fotovoltaicas com o objetivo de obter uma melhor eficiência, muitos módulos fotovoltaicos apresentam diferenças entre suas células. Na maioria dos casos as variações de eficiência para as células de um módulo são pequenas, fato que repercute de forma pouco significativa no ponto mais importante de operação dos módulos fotovoltaicos, o ponto de máxima potência.

Mesmo assim, devido à grande vida útil de um sistema fotovoltaico, uma pequena diferença no ponto de máxima potência pode representar uma significativa quantidade de energia.

O fato das células fotovoltaicas terem diferentes eficiências faz com que, em determinadas condições, as células fiquem polarizadas em diferentes tensões, podendo até em algumas situações, ficarem reversamente polarizadas. Desta forma, as células que estão reversamente polarizadas deixam de ser geradores e passam a ser cargas (Alonso et al., 2001).

Mesmo apresentando uma uniformidade nas eficiências de suas células, os módulos fotovoltaicos podem, devido a fatores externos, terem algumas células comportando-se como cargas. Geralmente, este comportamento está associado aos sombreamentos localizados. Também podem ter este comportamento, módulos que tenham sofrido danos estruturais como por exemplo, quebras de células, descolamento do EVA (Etil Vinil Acetato) ou perda de transparência em uma determinada região do módulo.

Para verificar a influência da temperatura na curva I&V foi simulado um módulo no programa *Crearray* de maneira que foi possível alterar individualmente tanto as características do módulo como a temperatura e a radiação incidente. O módulo foi idealizado com dois grupos distintos de 18 células associados em série. O programa permite que sejam ajustadas as características das células que compõe os módulos.

Como o programa de simulação permite a escolha da temperatura e das características de cada grupo, foram feitas diversas simulações onde foram alteradas tanto as características dos grupos como as temperaturas para diversas condições. Para estas condições foram calculadas e analisadas curvas I&V. A Tab. 1 mostra as características individuais de cada grupo idealizado.

As condições simuladas foram para uma temperatura uniforme de 25°C para todo o módulo (temperatura da condição padrão) e para diferentes distribuições de temperatura. Conforme o objetivo do trabalho, as temperaturas escolhidas para cada grupo poderiam ser iguais ou diferentes, entretanto as temperaturas médias deveriam ser sempre as mesmas independente da distribuição ser uniforme ou não. As curvas na condição padrão foram feitas para que se pudesse fazer a comparação para as diferentes condições de temperaturas.

A forma escolhida para determinar a influência da distribuição da temperatura no módulo é descrita a seguir. Primeiramente os dois grupos tinham uma temperatura uniforme de 60°C, fazendo com que a temperatura média fosse igual a dos dois grupos tanto para o caso 1 (características iguais) como para o caso 2 (características diferentes). Posteriormente foram realizadas simulações em que as temperaturas dos grupos eram diferentes, entretanto a temperatura média permanecia no valor de 60°C. Para a situação de distribuição não uniforme de temperatura o grupo 1 estava a 50°C e o grupo 2 a 70°C. A Fig. 2 mostra o comportamento das curvas I&V do módulo idealizado para o caso 1 sendo a curva representada em preto equivalente a condição padrão (1000Wm<sup>-2</sup> e 25°C), a curva em azul a condição de temperatura média 60°C com temperatura uniforme e a curva representada em vermelho para a condição de temperatura média de 60°C com temperatura não uniforme.

Tabela 1. Especificações elétricas do módulo idealizado

CARACTERÍSTICA	Caso 1		Caso 2	
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2
Tensão de Máxima Potência	9,0 V	9,0 V	9,0 V	9,0 V
Corrente de Máxima Potência	3,0 A	3,0 A	3,0 A	2,8 A
Tensão de Circuito Aberto	10,8 V	10,8 V	10,8 V	10,8 V
Corrente de Curto-Circuito	3,7 A	3,7 A	3,7 A	3,2 A

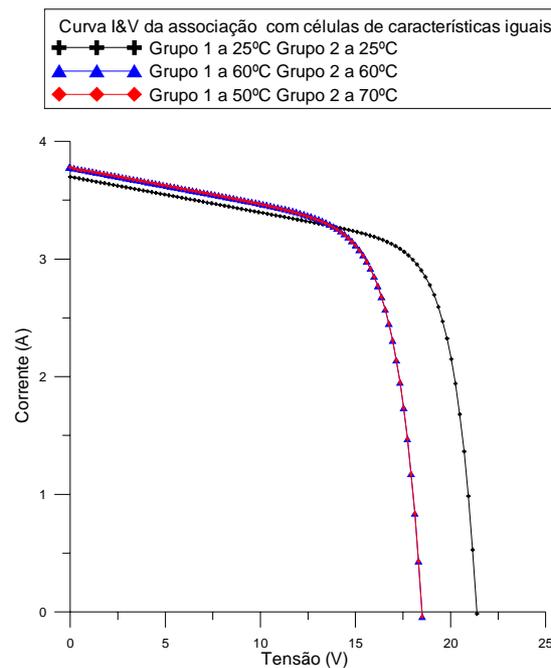


Figura 2 – Simulação de curva I&V de dois grupos de 18 células idênticas associadas em série perfazendo um módulo de 36 células.

A Fig. 3 mostra uma associação simulada correspondente ao caso 2 em que os grupos de células têm características diferentes conforme pode ser verificado na Tab.1. A curva representada em preto corresponde a condição padrão, a curva em azul na condição de temperatura uniforme, a curva representada em vermelho a condição de temperatura não uniforme com o grupo 1 a 50°C e o grupo 2 a 70°C e a curva representada em verde com temperaturas de 70°C para o grupo 1 e 50°C para o grupo 2.

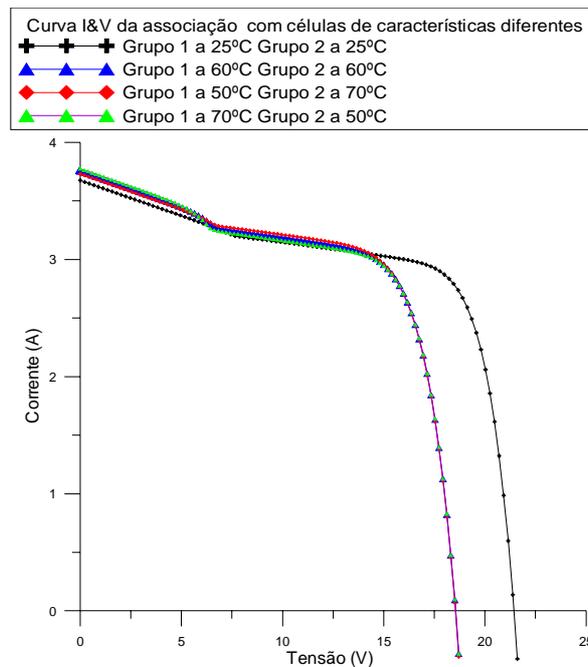


Figura 3 – Simulação de curva I&V de dois grupos 18 células associadas em série (os grupos têm características diferentes).

Pode-se verificar, a partir do gráfico da Fig. 3, que existe uma alteração de perfil da curva para as condições de temperaturas médias iguais mas com distribuições uniformes e não uniformes. Também é possível verificar que a ordem em que foi atribuída a temperatura para os grupos 1 e 2 interfere no perfil da curva I&V.

A Fig. 4 mostra uma ampliação da região em que as curvas em que se pode perceber a diferença entre as curvas de mesma temperatura média mas com diferentes distribuições de temperatura.

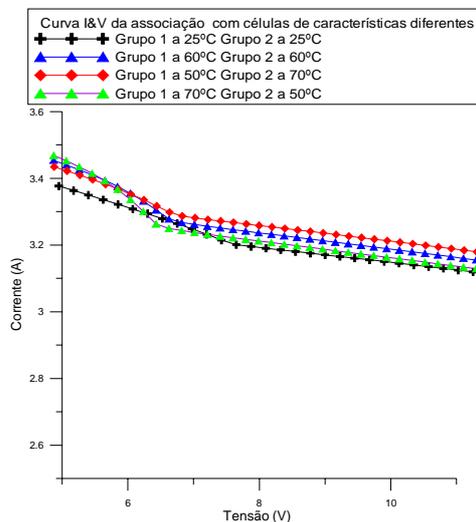


Figura 4 – Ampliação da região de parte da curva I&V com temperaturas médias iguais mas com diferentes distribuições de temperatura

## 5. DIODOS DE *BY PASS*

Em um módulo fotovoltaico as células fotovoltaicas podem ser associadas em série e /ou paralelo. Esta associação depende da necessidade de tensão e de corrente elétrica que o módulo deve

fornecer. Quando as células fotovoltaicas são associadas em série, a corrente elétrica da associação é limitada pela célula fotovoltaica que gera a menor fotocorrente. A tensão elétrica da associação é a soma das tensões individuais das células. Na associação em paralelo, a tensão da associação é igual para todas as células e a corrente elétrica é a soma das correntes individuais das células.

Para que a corrente elétrica de uma associação em série não seja limitada por uma célula que esteja por algum motivo gerando uma fotocorrente menor do que as outras células da associação, são utilizados diodos em antiparalelo ou entrelaçados com o conjunto de células. Estes dispositivos são denominados de diodos de *bypass*. Estes diodos são muito importantes porque isolam o grupo de células que contenha a célula com menor fotocorrente, não limitando a corrente do módulo pela pior célula.

A Fig.5 mostra duas curvas I&V de uma associação em série de dois grupos de 18 células. As características elétricas de cada grupo são distintas e os dois grupos estão submetidos à mesma radiação. Na simulação, um grupo de 18 células está a uma temperatura de 55° e o outro grupo está a 70°C. A curva representada com pontos pretos corresponde a situação em que os diodos de *bypass* estavam presentes e a curva representada em vermelho a mesma condição sem a presença dos diodos.

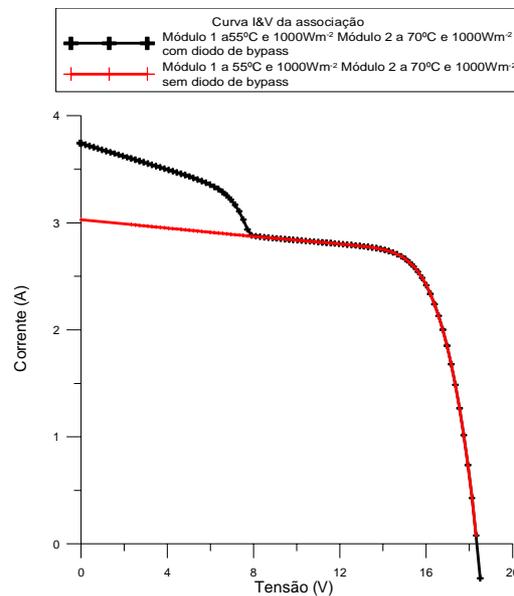


Figura 5 – Curva I&V de um módulo fotovoltaico idealizado com diodos de *by pass* (pontos pretos) e sem diodos (pontos vermelhos)

Pode-se verificar por meio de uma análise gráfica que a presença do diodo isola as células no momento em que as piores células começam a limitar a corrente elétrica da associação. Também é possível visualizar que para polarizações do módulo com valores de tensões menores do que 5V a influência do diodo faz com que uma parcela da potência fornecida não seja perdida.

## 6. MEDIDA TERMOGRÁFICA DA DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Medir a temperatura de uma superfície é relativamente fácil. Entretanto, a redução dos erros associados ao processo de medida é muito difícil e dispendiosa.

Erros associados a termometria de contato estão relacionados às incertezas de equipamentos, dos sensores e do método utilizado para a aquisição dos dados. Além destes erros, o contato entre sensor e corpo a ser medido causa uma interferência no processo de transferência de energia sob a forma de calor. Esta interferência pode aumentar ou diminuir a difusividade local. O aumento estaria associado ao fato do sensor funcionar como um dissipador de calor e a redução à associada ao fato de que ao isolar o sensor do ambiente também isolar o local do contato.

A termometria sem contato interfere menos com o objeto a ser medido. Os erros estão relacionados ao não conhecimento da emissividade do corpo que se está medindo e da reflexão da radiação infravermelha dos objetos que o circundam. Também existem erros associados ao equipamento de medida.

Vários trabalhos apresentam medidas de temperatura a partir de termografias e, em geral analisando pontos quentes em módulos fotovoltaicos (Alonso et. Al., 2001, King et. Al. 2000)

De posse de um termógrafo foi realizado um ensaio em que um conjunto de módulos fotovoltaicos foi exposto às condições de operação naturais. Estes módulos fotovoltaicos mostrados nas imagens são compostos por 72 células associadas em série, sendo cada grupo de 24 células conectado a um diodo de *bypass*. A Fig. 6 mostra uma termografia de três módulos fotovoltaicos em que os dois módulos à esquerda da imagem estão polarizados em circuito aberto e o módulo a direita está polarizado em curto circuito.

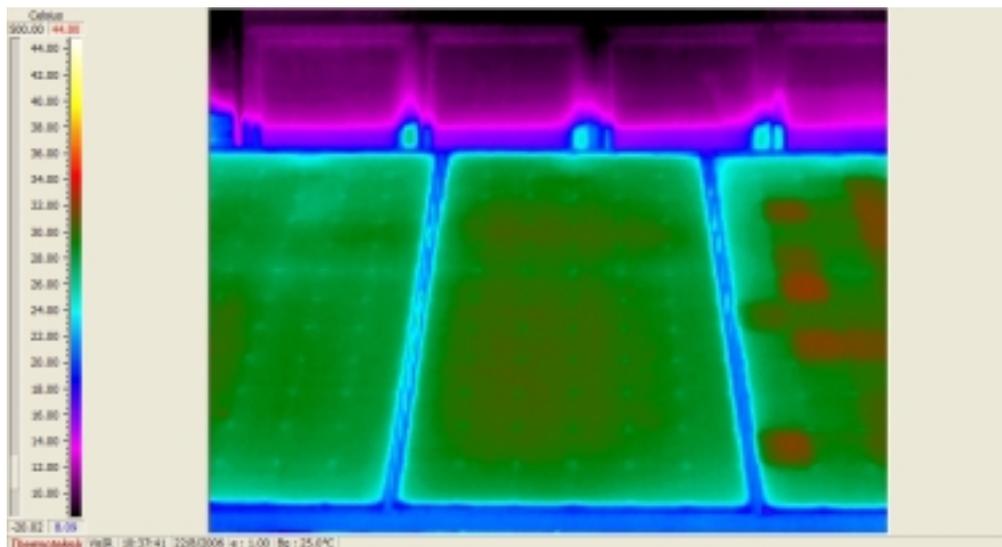


Figura 6 – Termografia de módulos fotovoltaicos em circuito aberto (2 módulos à esquerda) e em curto circuito (módulo à direita).

Pode-se verificar que a distribuição de temperaturas dos módulos em circuito aberto é mais uniforme do que a do módulo em curto circuito. Também é possível visualizar que existem células do módulo em curto circuito, posicionadas na borda, que tem temperaturas mais elevadas do que células localizadas na parte central. Este fato contraria a expectativa de que as temperaturas das células localizadas nas bordas deveriam ser menores do que a temperatura das células posicionadas na parte central do módulo fotovoltaico.

Outra importante constatação pode ser obtida a partir da Fig. 7 onde mostra que os módulos polarizados em curto circuito (os dois da direita) apresentam distribuições de temperaturas diferentes. Com o objetivo de permitir uma comparação entre as Figs. 6 e 7 foi utilizada a mesma escala de cores associadas às temperaturas.

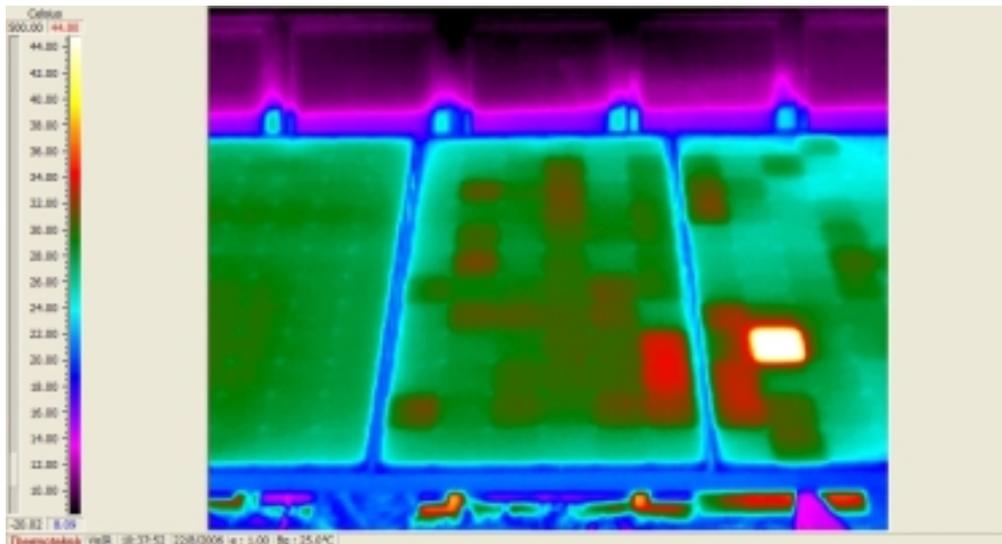


Figura 7 – Termografia de módulos fotovoltaicos em circuito aberto (módulo à esquerda) e em curto circuito (módulos à direita)

Conforme as simulações realizadas neste trabalho, pode-se verificar na seção 3 que a distribuição de temperatura das células de um módulo fotovoltaico interfere no perfil da sua curva característica. Foi possível perceber que módulos com mesma temperatura média, porém com distribuições uniformes ou não uniformes têm comportamentos diferentes em relação às suas curvas características.

As termografias demonstram que a temperatura de um módulo, dependendo da sua tensão de polarização, pode apresentar distribuições anômalas. Ao analisar estas distribuições verifica-se que a temperatura média do módulo não é igual à temperatura média dos grupos de células. A partir da análise das imagens associadas às constatações feitas por meio das simulações, pode-se considerar plausível a explicação de que a distribuição de temperatura de um módulo fotovoltaico cause influências no perfil das suas curvas características. Desta forma, ao considerar a temperatura média do módulo como se fosse homogênea, pode estar sendo negligenciado o fato de que este módulo teria características distintas com uma distribuição verdadeiramente homogênea (condição forçada em laboratório).

## 7. CONCLUSÕES

A distribuição de temperatura interfere na curva característica de módulos fotovoltaicos.

Módulos em circuito aberto tendem a ficar com temperatura mais uniforme do que módulos em curto circuito.

Módulos operando em condições naturais apresentam distribuições anômalas de temperatura.

O efeito da distribuição de temperatura sobre a curva I&V é muito mais significativo em módulos com células com características diferentes do que em módulos onde todas as células são iguais.

### *Agradecimentos*

Este trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico – CNPq

## REFERÊNCIAS

- Alonso, M. C., Hermann, W., Boehmer, R., Wambach, K., 2001. Outdoor Hot-Spot Investigations in Crystalline Silicon Solar Modules, 17<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich.
- ASTM E-1036, 2002. American Society for Testing and Materials, Standard Methods of Testing Electrical Performance of Nonconcentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells.
- ABNT NBR11876, 1992. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Módulos Fotovoltaicos, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT NBR12136, 1991. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Módulos Fotovoltaicos – Determinação de Características Fotoelétricas, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT NBR12137, 1991. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Módulos fotovoltaicos-Ensaio Mecânicos e Ambientais, Rio de Janeiro, Brasil.
- IEC 1215, 1993. International Electrotechnical Commission, Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic Modules – Design Qualification and Type Approval, Genève, Suisse.
- IEC 904-3, 1989. International Electrotechnical Commission, Photovoltaic Devices Part 3: Measurement Principles for Terrestrial Photovoltaic (PV) Solar Devices with Reference Spectral Irradiance Data, Genève, Suisse.
- King, D. L., Kratochvil, J. A., Quitana, M. A., 2000. Applications for Infrared Imaging Equipment in Photovoltaic Cell, Module, and System Testing, IEEE Conference.
- Krenzinger, A. 2001. An Algorithm for PV Array Analysis. 17<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. Munique, Alemanha (CD – ROM).
- Lasnier, F. and Ang, T. G., 1990. Photovoltaic Engineering Handbook, IOP Publishing Ltd.
- Prieb, C. W. M., 2002. Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos, Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.

## STUDY OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION INFLUENCE ON THE PHOTOVOLTAIC MODULE CHARACTERISTICS.

**Abstract.** *The temperature influence on a photovoltaic cell is quite discussed in the academic and in the industrial media. Temperature effects and its influence on the main photovoltaic cell characteristics are well known. Different efficiencies are observed in these PV-cells due to the manufacturing processes that can some defects related to the increase of the series resistance, reduction of parallel resistance, beside others. Thus way the module work condition are subject to thermal and electric factors resultant from the cell associations, which cause operational temperature distributions that cannot be foreseen in the PV module production line, else when these modules are being classified in standard condition. Evidences of these anomalous temperature distributions were reported with thermography. From these evidences, more profound studies were performed, in order to verify the influence of the temperature distribution on the PV module characteristic curves and consequently on their maximum power. This works intents do demonstrate how much the temperature distribution can influence the PV module characteristics, and that a classification of PV modules at standard conditions can result different from a classification of these same modules when operating in natural conditions.*

**Key words:** *Solar Energy, Photovoltaic Modules, I&V Curve, Thermography.*