

# INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL EM ESCALA REAL DE SELEÇÃO DE SISTEMA ARREFECEDOR PARA USINAS FOTOVOLTAICAS

Miguel Edgar Morales Udaeta – udaeta@pea.usp.br

Vinícius Oliveira da Silva – viniucius.oliveira.silva@usp.br

André Luiz Veiga Gimenes – gimenes@pea.usp.br

Angélica Luana Linhares – angelicallinhares@gmail.com

Universidade de São Paulo, Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Resumo.** O objetivo do trabalho é analisar o impacto da utilização de dois sistemas de arrefecimento de módulos Fotovoltaicos (PV) na produção de energia elétrica em Unidade de Provas (U.P.) e determinar o modelo com melhor desempenho para a instalação em uma Usina Solar Fotovoltaica (UFV). A metodologia baseia-se na medição e verificação (M&V) empírica e análise das temperaturas de operação em módulos PV com e sem arrefecimento e estudo do comportamento do sistema de alimentação de água dos arrefecedores em uma micro UFV on-grid de 1.45 kW<sub>p</sub> de capacidade instalada. Através das análises dos dados constatou-se que, quando estão gerando energia, os módulos PV com sistema de arrefecimento sempre operam com temperaturas inferiores aos módulos PV sem arrefecimento. Durante o período de testes, no qual a temperatura do módulo PV sem arrefecimento operou acima de 60,00°C com máxima de 68,06°C, as temperaturas máximas registradas nos sensores do módulo PV com modelo de arrefecedor A foram de 43,55°C e 44,75°C e no módulo PV com modelo B foram de 46,76 e 48,33°C. Além disso, o módulo PV com modelo A foi o único que apresentou temperaturas de operação sempre inferiores ao NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) 47±2°C. Portanto, o modelo A foi selecionado para ser produzido em série e instalado no protótipo de UFV.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Fotovoltaico/Térmico, Sistema de Arrefecimento de FV

## 1. INTRODUÇÃO

A Unidade de Provas (U.P.), ver Fig. 1, utilizada para testes e seleção do modelo final de unidade modular arrefecedora (UMAr) possui as mesmas características construtivas da Usina Solar Fotovoltaica (UFV). A U.P. é uma micro UFV dotada de cinco módulos PV rígidos p-Si, com dimensões de 1.976x990x50 mm, peso de 23 kg e potência de 290 W<sub>p</sub> cada (SunEdison, 2012), totalizando 1.450 W<sub>p</sub> de potência instalada. O arranjo está ligado em série e conectado a um inversor *grid tie*, responsável por inverter a energia elétrica gerada pelo módulo PV, de CC para CA a tensão de 220 V, garantir a segurança da U.P. e armazenar dados da geração de energia. Em relação à montagem física, a U.P. possui estrutura metálica, para sustentação dos módulos, consistindo em vigas de aço zincado do tipo terça fixadas sobre duas colunas de concreto estrutural horizontal sobre o terraço de edifício. Além disso, as vigas metálicas possuem diversas furações ao longo do corpo, onde está instalado um quadro de força para fornecimento de energia à bomba d' água (KSB, 2007), responsável pela alimentação de água dos arrefecedores, e ao *datalogger*, equipamento responsável pelo armazenamento dos dados de temperatura de operação dos módulos PV, arrefecido e não arrefecido, medidos pelos sensores de temperatura.

A proposta do trabalho é estudar e analisar sistematicamente o funcionamento dos modelos de UMaR em uma micro UFV *on-grid*, com o intuito de determinar e selecionar o modelo com melhor desempenho térmico.



Figura 1 - Unidade de Provas.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia se baseia no detalhamento e descrição dos procedimentos e métodos empíricos empregados na realização dos testes de operação da Unidade de Provas (U.P.).

### 2.1 Sistema de arrefecimento da U.P.

Os testes na usina U.P. compreendem as medições de temperatura, a produção de energia e consumo de água durante sua operação e seu funcionamento, ver Fig. 2, consiste em:

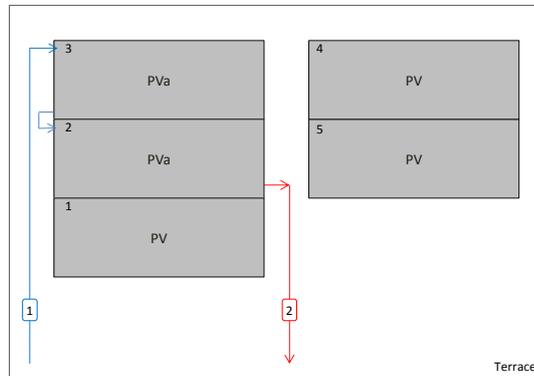


Figura 2 - Arranjo esquemático do sistema de arrefecimento dos módulos da U.P.

- O Ponto 1, linha de alimentação. A água circula ininterruptamente para reduzir a temperatura de operação dos módulos PV. Esta linha é alimentada por dois reservatórios, de 10,0 m<sup>3</sup> cada, que fornecem água as UMAr, ligadas em série;
- O Ponto 2, linha de descarga. Conduz o fluido refrigerante da saída do arrefecedor até o reservatório, desta forma toda a água disponibilizada retorna para o mesmo local sem que haja perdas;
- O módulo PV-2, PVa (PV arrefecido), recebe o modelo B de Unidade Modular Arrefecedora (UMAr);
- O módulo PV-3 recebe o modelo A de UMAr;
- O módulo PV-5 não recebe modelo de UMAr e é utilizado para analisar e comparar a temperatura de operação dos módulos PV ao longo do dia.

### 2.2 Sistema M&V de temperatura da U.P.

O sistema de medição de temperatura consiste em seis termoresistências do tipo PT-100 (Novus, 2015a), com sinal de saída compatível com o *datalogger* (Novus, 2015b) e câmera termovisora (Flir, 2010). A disposição dos sensores PT-100, ver Fig. 3, são idênticas nos módulos PV com e sem UMAr. Para cada módulo é fixado um sensor na região central, Sensor Meio ou  $S_M$ , e um segundo, Sensor Ponta ou  $S_P$ , próximo a *junction box*, ver Tab. 1, diretamente na superfície inferior do módulo PV. No caso dos módulos PV com UMAr há dois furos na chapa metálica do absorvedor, de modo a permitir o contato direto entre o sensor e a superfície inferior do módulo PV. A câmera termovisora é utilizada para medir e verificar a distribuição das temperaturas dos módulos PV e UMAr operando em horários específicos, às 10h00, 12h00 e 15h00.

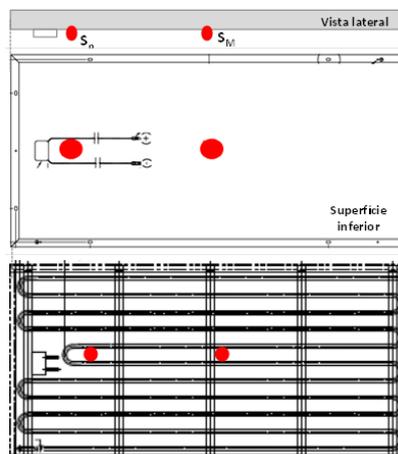


Figura 3 - Alocação dos sensores PT-100 nos módulos PV.

Tabela 1 - Identificação e localização dos modelos de UMAr e sensores PT-100.

PV	Cód. PV	Modelo UMAr	Sensor PT100	Código PT100
1	PV	-	-	-
2	PVa	Modelo B (140,0mm)	S <sub>M</sub> S <sub>P</sub>	Meio_B Ponta_B
3	PVa	Modelo A (85,0mm)	S <sub>M</sub> S <sub>P</sub>	Meio_A Ponta_A
4	PV	-	-	-
5	PV	-	S <sub>M</sub> S <sub>P</sub>	Meio_Sem Ponta_Sem

### 3. ANÁLISES E DISCUSSÕES

#### 3.1 M&V do fornecimento de água

Durante o período de teste, o fornecimento de água não apresentou problemas relacionados a interrupções imprevistas e vazamentos. A alimentação operou fornecendo vazão, inicialmente a  $4,83 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s e Reynolds (Re) de 32.257, escoamento turbulento, ver Tab. 2. As temperaturas de entrada (Te) e saída (Ts) da água não apresentaram diferenças durante as medições pontuais. As variações de temperaturas ao longo do período de testes ficaram condicionadas a temperatura da água no reservatório e em relação à temperatura ambiente (Ta), ver Tab. 3. Na última semana de testes ocorreu redução da vazão em 86%, apresentando fornecimento constante de  $6,6 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s e Re de 4.415, escoamento turbulento liso, ver Tab. 2. Essa diminuição não reduziu as trocas térmicas com os módulos PV e ocorreu devido à oxidação interna da serpentina e deposição de sedimento causada pelo aumento da concentração de cloro na água do reservatório, impactando no aumento da perda de carga do sistema e reduzindo a vazão de água.

Tabela 2 – Dados de escoamento do sistema de fornecimento de água no início e fim do período de testes na U.P.

Dado	Unid.	Início	Fim
Vazão	Q (m <sup>3</sup> /s)	$4,83 \times 10^{-4}$	$6,6 \times 10^{-5}$
Velocidade	V (m/s)	1,69	0,23
Diâmetro do Tubo	D (m)	$1,91 \times 10^{-2}$	$1,91 \times 10^{-2}$
Viscosidade Cinemática <sup>(1)</sup>	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	$1,00 \times 10^{-6}$	$1,00 \times 10^{-6}$
Reynolds	Re	32.257	4.415
Tipo de Escoamento	-	Turbulento (Re > 10.000)	Turbulento Liso (2.000 < Re < 10.000)

<sup>(1)</sup> Cálculo da viscosidade cinemática ( $\nu(T,P)$ ) em Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP).

Tabela 3 - Temperaturas de entrada e saída (°C) da água do sistema de arrefecimento da U.P.

Data (dd/mm/aaaa)	Hora (hh:min)	Te (°C)	Ts (°C)	Ta (°C)
05/03/2015	10:09	21,0	21,0	28,9
16/03/2015	10:00	20,5	20,5	26,2
31/03/2015	10:00	21,0	21,0	<sup>(1)</sup>
14/04/2015	11:04	21,5	21,5	28,6
31/04/2015	10:29	20,5	20,5	<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Não houve medição de temperatura ambiente, pois a Estação Meteorológica (EM) estava fora de operação.

#### 3.2 M&V do sistema de arrefecimento

O período diário de geração de energia elétrica registrado pelo inversor, durante os 61 dias de medições, tem início mínimo às 6h 10min e término máximo às 19h00. A média diária foi de 11h 13min, com máxima de 12h 10min, no dia 05/03/2015, e mínima de 10h 10min, no dia 06/03/2015, mostrando que num período de dois dias consecutivos ocorreu o maior e menor período de geração diário de energia elétrica, revelando que os eventos climáticos influem diretamente na produção de energia elétrica, esse fato fica evidente na Figura 4, em que dias com mesmo período de geração, 11h 05min, apresentam energia gerada diferentes, como no caso de três dias consecutivos, 16/04 a 18/04/2015, que geraram 3,91kWh/dia, 6,69kWh/dia e 6,11kWh/dia, respectivamente, apresentando Relação Energia gerada por Período de geração (REP) de 8,46, 14,48 e 13,23, respectivamente. A REP máxima, 16,34, ocorrida em 27/03/2015, apresentou geração de 7,70kWh/dia valor inferior a máxima geração de 7,82kWh/dia, ocorrida em 02/04/2015 com REP de 16,31 e período 11h 25min 00s. No caso das REP mínimas, a menor foi de 2,75 condizendo com a menor geração,

1,31kWh/dia, ocorrida em 30/03/2015, por outro lado o período de geração 11h 24min 47s foi superior a segunda menor REP, 3,00, ocorrida em 22/04/2015, com geração de 1,32kWh/dia e período de 10h 35min. Para o menor período de geração registrado, 10h 10min, a REP foi 10,41 com geração de 4,41kWh/dia, ver Fig. 4. A geração de energia registrada no período de testes totalizou 302,79kWh, com REP e geração média de 10,61 e 4,96kWh/dia.

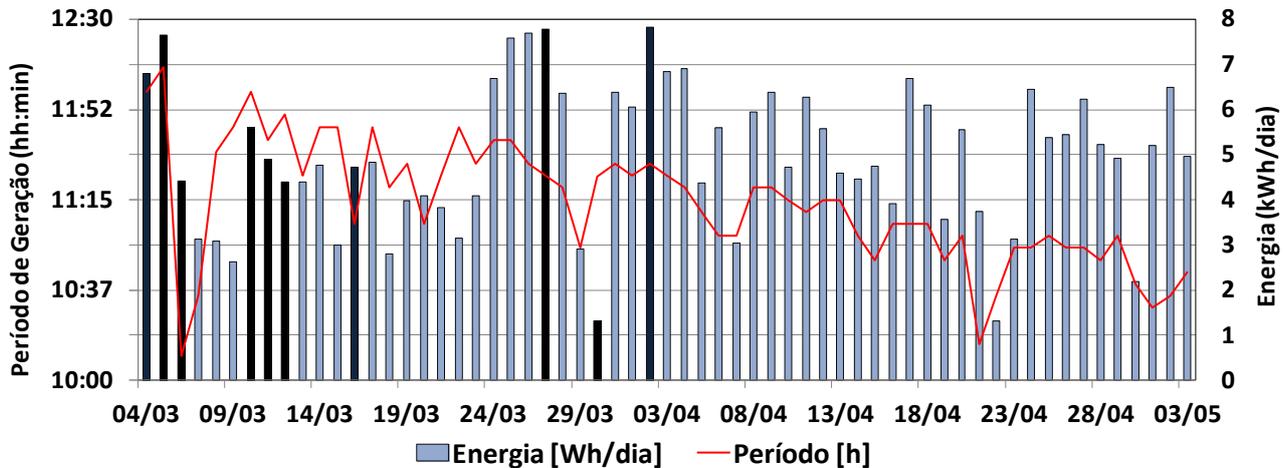


Figura 4 – Período de geração diário (hh:min) e energia elétrica gerada (kWh/dia).

As temperaturas dos módulos PV-2 ( $T_{PV-2}$ ), PV-3 ( $T_{PV-3}$ ) e PV-5 ( $T_{PV-5}$ ), com e sem UMaR, variam ao longo das 24 horas de um dia. Na Fig. 5 é possível verificar que a temperatura do módulo PV sem UMaR apresenta temperaturas noturnas inferiores às dos módulos PV com UMaR. Isto ocorre por não existir radiação solar, haver temperaturas ambientes noturnas mais amenas em relação às diurnas e pela capacidade térmica da água circulante ser maior que a do ar, ou seja, durante a noite a água perde menos calor do que o ar mantendo a sua temperatura e do módulo PV maiores que a temperatura do ar ambiente. Após o início da geração, as temperaturas dos módulos PV, arrefecidos e não arrefecidos, aumentam, no caso dos módulos PV não arrefecidos, isso ocorre mais acentuadamente ultrapassando a temperatura dos módulos PV com arrefecimento no início da manhã mantendo-se maior até o final da tarde, próximo ao término da geração, desde que não haja nenhum evento climático como chuvas ou aparecimento de nuvens densas por longo período. Os dados medidos para o dia 04/03/2015, ver Fig. 4, apresentaram bom rendimento em comparação com as medições para o período, apresentando Relação Energia gerada por Período de geração (REP) de 13,62 e geração de 6,81kWh/dia, sendo ambas as grandezas superiores a média para o período de testes.

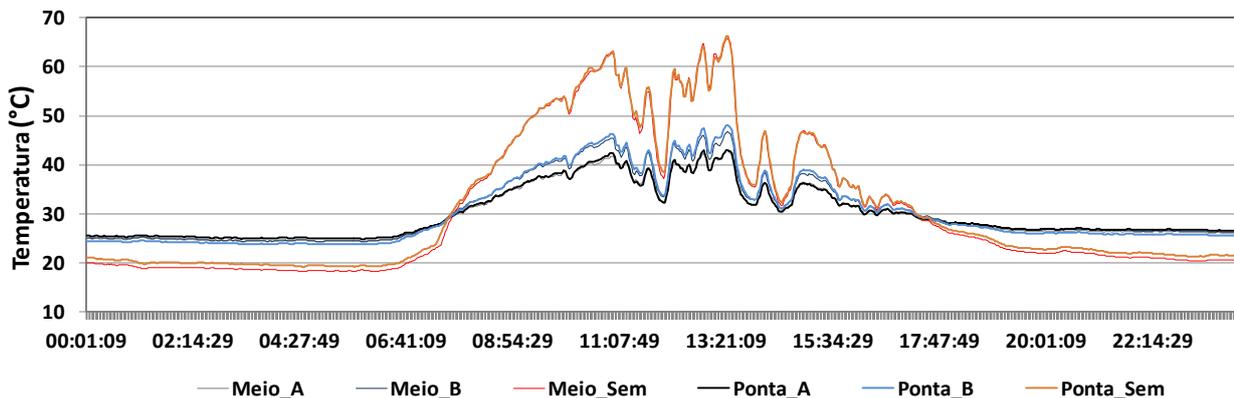


Figura 5 -  $T_{PV-2}$ ,  $T_{PV-3}$  e  $T_{PV-5}$  (°C) em 24h de operação para 04/03/2015.

Os dados de geração, no dia 16/03/2015, apresentaram rendimento diário abaixo da média para o período de teste, uma vez que a geração de energia foi de 4,72kWh/dia apresentando REP de 10,22. Na Fig. 6 (a) e Fig. 6 (b), referentes à energia gerada e temperatura de operação dos PV-2, PV-3 e PV-5, observa-se uma correlação, pois há coerência na oscilação das curvas com picos de máximo e mínimo próximos. A geração de energia apresenta boa produção até o início da tarde, com pico de 410 Ws, as 11h 15min 39s, mas após as 14h 00min 39s a geração decresce atingindo patamares abaixo dos 30 Ws, mantendo essa produção até o fim do dia. O mesmo ocorre com as  $T_{PV-2}$ ,  $T_{PV-3}$  e  $T_{PV-5}$ , que decrescem devido ao aparecimento de nuvens e precipitação de chuva que reduzem a radiação solar incidente e a temperatura ambiente da região da U.P. Na Fig. 7 (a), referente às  $T_{PV-2}$ ,  $T_{PV-3}$  e  $T_{PV-5}$  no instante, 12h 12min 49s, de registro da temperatura máxima ( $T_{máx}$ ) em 16/03/2015, com  $T_{máx} = 68,06$  °C, registrado pelo sensor Ponta\_Sem do módulo PV-5, e temperatura mínima ( $T_{mín}$ ) de 42,45°C registrada pelo sensor Meio\_A do módulo PV-3, diferença de

25,61 °C entre a maior e menor temperatura medida ( $\Delta T_{(\text{máx-min})}$ ), ver Fig. 7 (b). Neste dia ocorreu a  $T_{\text{máx}}$  e a maior  $\Delta T_{(\text{máx-min})}$  durante o período de testes. Quando analisado a diferença de temperatura em um mesmo módulo PV ( $\Delta T_{\text{PV}}$ ), tem-se que o PV-3 apresenta  $\Delta T_{\text{PV-3}} = 2,06$  °C, o PV-2 a diferença é maior,  $\Delta T_{\text{PV-2}} = 2,26$  °C, e o PV-5 apresenta  $\Delta T_{\text{PV-5}} = 0,67$  °C, nesse instante o PV-5 apresenta temperaturas de operação mais homogênea dentre os três, ver Fig. 7 (c). Além disso, as temperaturas registradas pelos dois sensores do PV-3 mostram que o mesmo opera abaixo da *Nominal Operating Cell Temperature* (NOCT) de  $47 \pm 2$  °C (SunEdison, 2012).

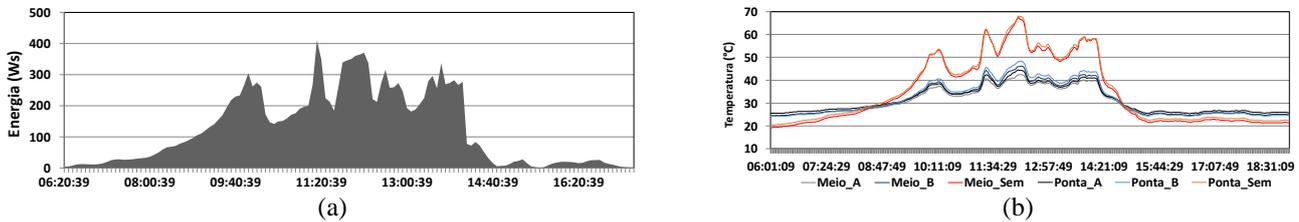


Figura 6 - Operação da U.P. no dia 16/03/2015 (a) produção de energia (Ws) e (b)  $T_{\text{PV-2}}$ ,  $T_{\text{PV-3}}$  e  $T_{\text{PV-5}}$  (°C).

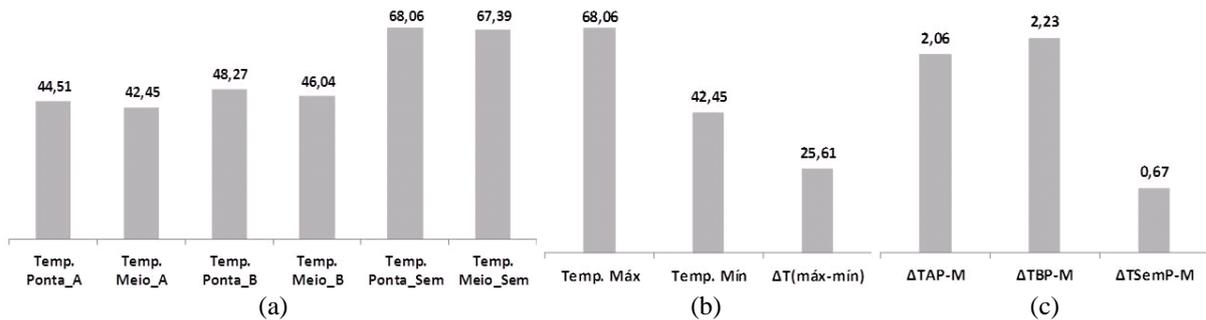


Figura 7 - 16/03/2015, instante 12h 12min 49s. (a)  $T_{\text{PV-2}}$ ,  $T_{\text{PV-3}}$  e  $T_{\text{PV-5}}$ , (b)  $T_{\text{máx}}$ ,  $T_{\text{mín}}$  e  $\Delta T_{(\text{máx-min})}$  e (c)  $\Delta T_{\text{PV}}$ .

O dia 02/04/2015, a geração de energia apresenta boa produção durante todo o dia, com registro da maior geração de energia elétrica do período, 7,82kWh/dia, e segunda maior Relação Energia gerada por Período de geração (REP), 16,31. Na Fig. 8 (a) e Fig. 8 (b), referentes à energia gerada e a  $T_{\text{PV-2}}$ ,  $T_{\text{PV-3}}$  e  $T_{\text{PV-5}}$ , assim como no dia 16/06/2015, observa-se correlação da oscilação das curvas, picos de máximo e mínimo, pois estão temporalmente próximos, ou seja, o aumento e queda das temperaturas e geração de energia estão na mesma faixa de horário. A curva de geração diária de energia inicia as 07h 25min, com crescimento acentuado até 10h 35min atingindo patamar de 300 Ws e mantendo-se neste nível até as 15h 10min, salvo alguns períodos com quedas devido ao aparecimento de nuvens que reduzem a radiação solar direta incidente, após esse período há o decréscimo acentuado até o final da tarde finalizando a produção as 18h 55min. O pico de geração, 407 Ws, ocorreu as 12h 50min, comportamento desta curva se assemelha ao perfil ideal de geração de uma UFV (Silva *et al.*, 2015) e de irradiância solar (Moraes Junior *et al.*, 2012) para um dia sem presença de nuvens, em que possui aumento acentuado da geração ao longo da manhã com normalização entre o início e fim da tarde, seguido por forte queda até zerar a geração ao final da tarde. Na Fig. 9 (a), referente às  $T_{\text{PV-2}}$ ,  $T_{\text{PV-3}}$  e  $T_{\text{PV-5}}$  no instante, 12h 52min 23s, de registro da  $T_{\text{máx}}$  em 02/04/2015, com  $T_{\text{máx}} = 57,31$  °C, registrada pelo sensor Meio\_Sem, referente ao módulo PV-5, e  $T_{\text{mín}} = 40,18$  °C, registrada pelo sensor Meio\_A, referente ao módulo PV-3, uma  $\Delta T_{(\text{máx-min})}$  de 17,13 °C, ver Fig. 9 (b). Quando analisado a  $\Delta T_{\text{PV}}$ , tem-se que o PV-3 apresenta  $\Delta T_{\text{PV-3}} = 1,30$  °C, o PV-2 a  $\Delta T_{\text{PV-2}}$  é maior, 1,67 °C, já o PV-5 apresenta 2,65 °C, maior diferença registrada nesse instante, ver Fig. 9 (c). Além disso, as temperaturas registradas pelos sensores do PV-3 mostram que o mesmo opera abaixo do NOCT. Mesmo com a maior geração de energia do período de testes, a  $T_{\text{máx}}$  registrada, quando comparada com 16/03/2015, foi inferior em 10,75 °C.

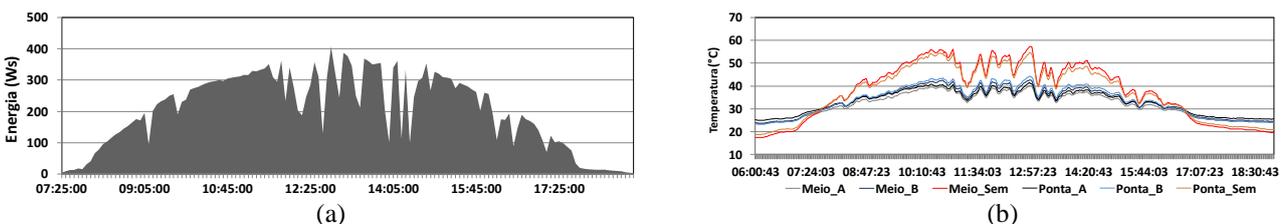


Figura 8 - Operação da U.P. no dia 02/04/2015 (a) produção de energia (Ws) e (b)  $T_{\text{PV-2}}$ ,  $T_{\text{PV-3}}$  e  $T_{\text{PV-5}}$  (°C).

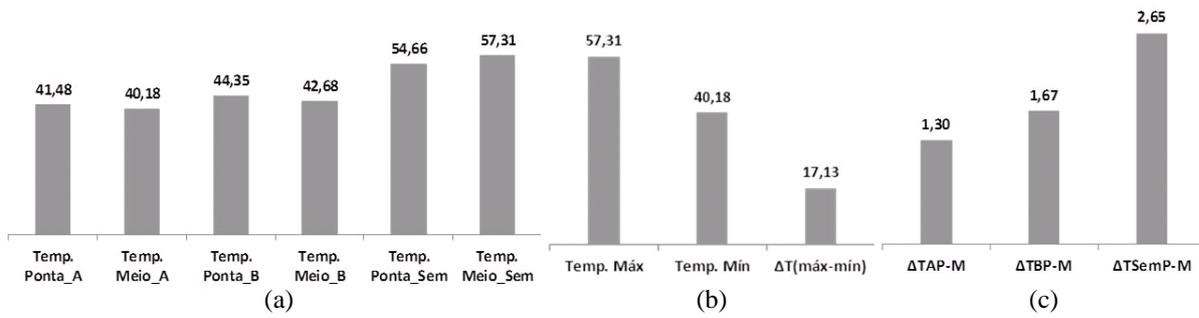


Figura 9 - 02/04/2015, instante 12h 52min 23s. (a)  $T_{PV-2}$ ,  $T_{PV-3}$  e  $T_{PV-5}$ , (b)  $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$  e  $\Delta T_{(máx-mín)}$  e (c)  $\Delta T_{PV}$ .

Durante o período de testes foram registradas 235 temperaturas superiores a 60°C, presentes em 21 dias, com Temperatura média ( $T_{méd}$ ) de 62,01°C,  $T_{mín} = 60,01^\circ\text{C}$  e  $T_{máx} = 68,06^\circ\text{C}$ . Os registros ocorreram exclusivamente nos sensores do PV-5, dos quais 77,0% foi registrado no sensor Meio\_Sem. No mesmo instante, as menores temperaturas registradas ocorreram exclusivamente no PV-3, com modelo A de arrefecedor, das quais 97,4% ocorrem no sensor Meio\_A, ver Fig. 10 (a), com  $T_{méd} = 41,48^\circ\text{C}$ ,  $T_{mín} = 39,4^\circ\text{C}$  e  $T_{máx} = 43,55^\circ\text{C}$ . A média da  $\Delta T_{(máx-mín)}$  registrada num mesmo instante pelos sensores foi de 20,53°C, com mínima de 17,79°C e máxima de 25,61°C. Em relação à  $\Delta T_{PV}$ , têm que o PV-3 apresenta  $\Delta T_{PV-3méd} = 1,13^\circ\text{C}$ , menor média registrada, mínima de 0,01°C e máxima de 3,68°C, o PV-2 a  $\Delta T_{PV-2méd} = 1,69^\circ\text{C}$ , mínima de 0,63°C e máxima de 2,34°C, já o PV-5 a  $\Delta T_{PV-5méd} = 1,43^\circ\text{C}$ , mínima 0,01 e máxima de 5,12, maior diferença máxima registrada, ver Fig. 10 (b). Além disso, a temperatura registra pelos sensores do módulo PV-3 mostram, assim como observado nos dias 16/03/2015, 02/04/2015, que o mesmo operou sempre abaixo do NOCT, com  $T_{máx}$  registradas nos sensores Meio\_A e Ponta\_A de 43,55°C e 44,75°C, respectivamente, ver Tab. 4.

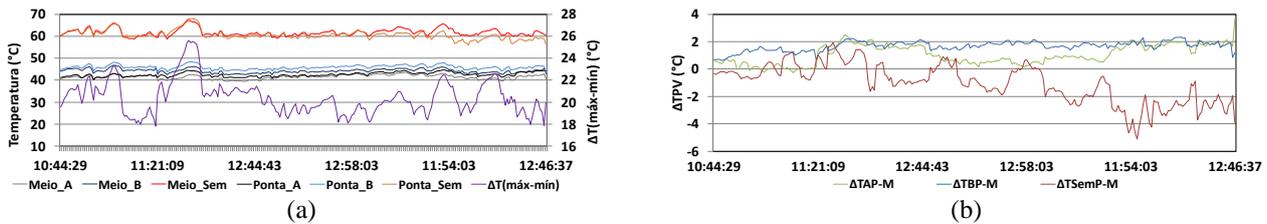


Figura 10 -  $T_{PV} > 60,00^\circ\text{C}$ . (a)  $T_{PV-2}$ ,  $T_{PV-3}$ ,  $T_{PV-5}$  e  $\Delta T_{(máx-mín)}$  (b)  $\Delta T_{PV}$ .

Tabela 4 -  $T_{méd}$ ,  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$  (°C) para  $T_{PV} > 60,00^\circ\text{C}$ .

PV	Modelo Arrefecedor	Sensor PT100	$T_{méd}$ (°C)	$T_{mín}$ (°C)	$T_{máx}$ (°C)
2	Modelo B	Meio_B	44,21	42,49	46,76
		Meio_B	44,21	42,49	46,76
3	Modelo A	Meio_A	41,48	39,40	43,55
		Ponta_A	42,61	40,24	44,75
5	-	Meio_Sem	61,86	58,86	67,39
		Ponta_Sem	60,73	56,06	68,06

### 3.3 M&V com câmera termovisora

Durante o dia 04/03/2015 foram feitos diversos registros fotográficos as 10h00, 12h00 e 15h00, das superfícies, inferior no local de fixação dos sensores PT100, e superior dos módulos PV-1, PV-2, PV-3, PV-4 e PV-5. Com análise das imagens constata-se que  $T_{PV-3} < T_{PV-2} < T_{PV-5}$ , assim como registrado pelos sensores PT100, característica presente nos três períodos de M&V com auxílio da câmera termovisora, ver Tab. 5. A maior temperatura, 56,6°C, ocorreu no período das 10h00 registrado no sensor Meio\_Sem do PV-5. Excetuando-se o PV-3, as maiores temperatura foram registradas no local de fixação do  $S_M$ . Outra observação, tanto o PV-3 quanto o PV-5 apresentaram as maiores temperaturas no período das 10h00, já o PV-2 apresentou a maior temperatura, 41,9°C, no período das 12h00, na região do sensor Meio\_B,. As menores temperaturas registradas ocorrem para os três módulos PV no período das 15h00, sendo a menor, 32,3°C, região do sensor Meio\_A, referente ao PV-3, seguido pelo PV-2, 35,5°C, região do sensor Ponta\_B, e pelo PV-5, 43,7°C, região do sensor Ponta\_Sem. Com relação à temperatura na superfície superior, qualitativamente, o PV-1 apresenta temperatura elevada, em todos os três períodos, em relação aos PV-2 e PV-3. Quanto à distribuição das temperaturas, no PV-1 encontram-se mais uniformes do que as dos módulos PV arrefecidos, ver a região de contato com a serpentina do arrefecedor zona azul da Fig. 11 (a). A região com maior temperatura no módulo PV-1, ver Fig. 11

(c), encontrar-se, como esperado, na região da *junction box*, canto inferior direito, nessa região concentra-se a transmissão de toda a energia gerada pelas células do módulo PV.

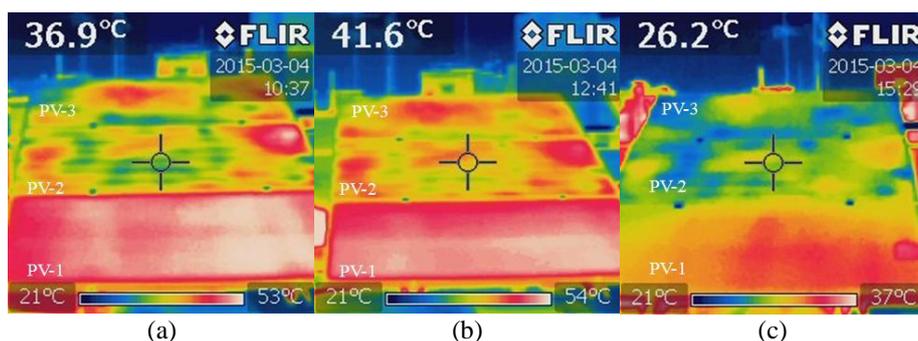


Figura 11 - Superfície superior dos módulos PV. (a) 10h00, (b) 12h00 e (c) 15h00.

Tabela 5 – Temperaturas (°C) inferidas com câmera termovisora.

Período (hh:min)	PV	Modelo Arrefecedor	Sensor PT100	T (°C)
10:00	2	Modelo B	Meio_B	40,9
			Ponta_B	39,2
	3	Modelo A	Meio_A	36,6
			Ponta_A	37,1
	5	-	Meio_Sem	56,6
			Ponta_Sem	55,4
12:00	2	Modelo B	Meio_B	41,9
			Ponta_B	40,0
	3	Modelo A	Meio_A	36,1
			Ponta_A	35,5
	5	-	Meio_Sem	55,2
			Ponta_Sem	54,0
15:00	2	Modelo B	Meio_B	35,7
			Ponta_B	35,3
	3	Modelo A	Meio_A	32,3
			Ponta_A	33,5
	5	-	Meio_Sem	44,1
			Ponta_Sem	43,7

#### 4. CONCLUSÃO

As M&V dos módulos PV e dos modelos A e B de arrefecedores não foram triviais, uma vez que a tecnologia é nova, sem conhecimento do comportamento real da sua operação. Por outro lado, a elaboração prévia da metodologia reduziu os imprevistos.

O sistema de alimentação operou sem vazamentos nas tubulações e junções, não houve interrupção no fornecimento de água, exceto em pausas programadas. A operação do sistema não alterou o volume de água dos reservatórios, não houve diferença de temperatura entre a água de entrada e saída do sistema. O único problema encontrado foi à redução da vazão de água entre o início e fim do período de teste que variou em 8%.

Pela análise dos dados foi comprovado que os PV-2 e PV-3 apresentam temperaturas de operação, durante o período de geração de energia, menores que o PV-5. As máximas temperaturas diárias registradas no período ocorreram exclusivamente no PV-5, com  $T_{\text{méd}}$ ,  $T_{\text{mín}}$  e  $T_{\text{máx}}$  de 62,01°C, 60,01°C e 68,06°C, respectivamente, a diferença dessas temperaturas com as mínimas registradas no mesmo instante são 20,53°C superior na média, com mínima de 17,7°C e máxima de 25,61°C. Todas as  $T_{\text{mín}}$  foram registradas nos sensores PT110 do PV-3. Quando comparada as temperaturas do PV-2, com modelo B, com as do PV-3, com o modelo A, constatou-se que o PV-3 opera sempre abaixo dos 45°C, ou seja, o modelo A permite que o PV-3 opere com temperatura inferior ao seu NOCT, pois as máximas registradas no PV-3 foram de 43,55°C, sensor Meio\_A, e 44,75°C, sensor Ponta\_A. Além disso, a relação da diferença de temperatura entre os sensores  $S_M$  e  $S_P$  em um mesmo módulo PV, para essas máximas temperaturas, são menores no PV-3, média 1,13°C, do que no PV-2, média de 1,69°C.

Portanto o modelo de UMAr escolhido para a produção em série para ser instalado no protótipo de UFVa após os testes na U.P. foi o modelo A.

## Agradecimentos

À CAPES, pela concessão de bolsa de MSc., à CESP por ser financiador do P&D ANEEL PE-0061-0037/2012 que possibilitou o desenvolvimento deste artigo. E também a equipe de pesquisadores e colaboradores que participaram direta e indiretamente na realização deste P&D ANEEL.

## REFERÊNCIAS

- Flir. Termovisores Compactos: Características dos Termovisores FLIR i5 e FLIR i7. Flir Systems, Brasil, 2010.
- KSB. KSB Hydrobloc P500 monofásica 220V: Data Sheet N° A2748/49.8P/6, Brazil, 2007.
- Morais Junior, H. S.; Cavalcante, R. L.; Galhardo, M. A. B.; Macedo, W. N. Aplicação de Energia Solar Fotovoltaica – Um estudo de Caso na Região Amazônica. Revista Geonorte, v. 2, p. 1303-1309, 2012.
- Novus. Termorresistências Pt100; 2015a. < [http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/folheto\\_pt100.pdf](http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/folheto_pt100.pdf)>
- Novus. Manual de Instruções FieldLogger. 2015b
- Silva, V. O.; Gimenes, A. L. V.; Galvão, L. C. R.; Udaeta, M. E. M. Study, Verification and Selection of Cooling System Model for PV Modules with Verification Prototype. In: EU PVSEC, Hamburg, 2015. p. 2153-2158.
- SunEdison. MEMC Silvantis™ P290 Modulo: Data Sheet\_Q2 2012 United States, 2012.

## UNREDUCED EXPERIMENTAL RESEARCH OF SELECTION OF COOLER SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS

**Abstract.** *The objective is to analyze the impact of the use of two cooling systems for Photovoltaic (PV) modules in the production of electricity in Test Unit (U.P.) and determine the model with better performance for installation in a Photovoltaic Solar Power Plant (UFV). The methodology is based on measuring and verification (M&V) and empirical analysis of operating temperatures in PV modules with and without cooling and study of the water supply system behavior in a micro UFV on-grid with 1.45 kW<sub>p</sub> installed capacity. Through the analyzes of the data it was found that when they are generating electricity, the PV modules with cooling system always operate at temperatures below the PV modules without cooling. During the tests, in which the temperature of the PV module without cooling operated above 60.00°C with maximum of 68.06°C, the maximum temperatures recorded in PV module sensors with cooler model A were 43,55°C and 44.75°C and the PV module with model B were 46.76°C and 48.33°C. In addition, the PV module with the model A was the only one to have always operating temperatures below the Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) 47±2°C. Therefore, the model A was selected to be mass produced and installed in the UFV prototype.*

**Key words:** *Solar Energy, Photovoltaic/thermal, PV Cooling system.*