

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA FORMADO POR PAINEL FOTOVOLTAICO E CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPOSTO

Marco Andre Silva – pere_elt@yahoo.com.br

José Henrique Martins Neto – henrique@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus II
Mestrado em Engenharia da Energia, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. Este trabalho apresenta resultados experimentais de testes realizados em um painel fotovoltaico para análise dos modos operacionais “com concentração” e “sem concentração”. O painel é composto de três módulos ligados em serie, sendo que nos modos “com concentração” o painel é instalado na região absorvedora de um coletor concentrador do tipo “CPC” com meio ângulo de aceitação igual a 14° . Quatro grupos de testes foram realizados para verificar as potências e eficiências elétricas do painel: No primeiro grupo de testes o painel não usava concentração e nem era resfriado; no segundo grupo de testes o painel usava concentração embora não sofresse resfriamento; no terceiro grupo de testes o painel usava concentração e era resfriado com água circulando dentro de um tubo instalado sob os painéis e no quarto grupo o painel não usava concentração porém, era resfriado com água. Observou-se que praticamente não existe ganho de potencia e nem de eficiência elétrica quando se utiliza o painel no modo “com concentração sem resfriamento”. Entretanto, um considerável aumento da potencia elétrica foi verificado quando o painel operava no modo “com concentração e resfriamento” devido à redução da temperatura das células. Percebe-se, entretanto, que neste modo a eficiência elétrica diminuiu devido a não uniformidade do fluxo de energia incidente sobre o painel. Para realização dos testes experimentais foi utilizado um instrumento que gera eletronicamente as cargas impostas ao painel e com isso permite traçar as curvas características “I x V” do painel e, conseqüentemente, determinar as potência elétrica, eficiência elétrica, fator de forma e outras variáveis elétricas.

Palavras-chave: Energia Solar, concentração solar, painel solar híbrido.

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento na demanda de energia elétrica aliado ao custo cada vez mais alto da mesma desperta o interesse em pesquisas visando à utilização de fontes alternativas, para diversas aplicações, tais como, aquecimento de água para fins domésticos e geração de energia elétrica. A obtenção de água quente com uso da energia solar vem sendo feita com coletores solares térmicos que já constituem uma tecnologia consolidada no país.

A tecnologia solar fotovoltaica para geração de eletricidade encontra-se em desenvolvimento e pesquisas vêm sendo realizadas visando elevar a eficiência desses sistemas. Entretanto, ainda existem barreiras que impedem a utilização dessa tecnologia devido aos custos iniciais elevados, as baixas eficiências do sistema, e a falta de políticas governamentais de incentivo.

A tecnologia da concentração solar pode contribuir de forma significativa para a redução dos custos iniciais dos sistemas fotovoltaicos, pois permite a redução do número de células fotovoltaicas e de painéis considerando uma mesma área de captação de energia solar. Por outro lado a concentração solar contribui para a elevação da temperatura das células reduzindo a eficiência das mesmas. Para atenuar esse aumento de temperatura podem-se usar trocadores de calor que promovem o resfriamento das células, sendo que essa energia pode ser utilizada em processos térmicos, tais como pré-aquecimento de água para uso domestico e calefação.

Atualmente existem sistemas fotovoltaicos com concentração disponíveis comercialmente que utilizam células fotovoltaicas acopladas a lentes de Fresnel, sendo que esses sistemas podem alcançar concentrações de até 500 X, conforme Amonix (2012). Também pesquisas vêm sendo conduzidas em sistemas de concentração fotovoltaicos utilizando ar e água como fluidos de resfriamento de forma a melhorar a eficiência desses sistemas, (Sun e Shi, 2009). Um estudo utilizando um sistema híbrido para geração de eletricidade e calor é apresentado por (Rewthong *et al.*, 2004), sendo a concentração obtida com coletor parabólico composto “CPC”.

O objetivo deste trabalho é analisar experimentalmente o comportamento de um protótipo fotovoltaico que utiliza concentração térmica fotovoltaica (i.e., CPVT), sendo construído, montado, e testado nos laboratórios do CEFET-MG. Os dados experimentais servirão para aprimorar o projeto desse sistema quanto ao dimensionamento e seleção dos componentes principais (i.e., concentrador, painel).

2. CONCENTRADOR PARABOLICO COMPOSTO (CPC)

Existem vários tipos de concentradores que apresentam potencial para serem utilizados com painéis fotovoltaicos, dentre eles podemos destacar o concentrador tipo “V”, o concentrador CPC (Concentrador Parabólico Composto), o concentrador cilindro parabólico (calha linear), o concentrador de espelhos de Fresnel e lentes de Fresnel (Rabl, 1976).

Para este trabalho foi utilizado um protótipo de concentrador do tipo “CPC” construído por Neto (2000), com razão de concentração máxima de 4,1X, requerendo apenas um ajuste durante o ano para compensar a declinação do sol (i.e., eixo do coletor na direção leste-oeste). As características dimensionais e os materiais são apresentados na Tab. 1.

Este coletor foi selecionado devido a sua maior concentração comparado àquelas obtidas pelos concentradores do tipo “V”, e também devido ao fato do mesmo requerer poucos ajustes durante o ano. Esse tipo de concentrador, conforme mostra a Fig. 1, é composto por duas parábolas distintas, sendo estudado por Winston (1970). A radiação solar direta incidente no plano de abertura é dirigida para o absorvedor com apenas uma reflexão o que possibilita alcançar um bom rendimento ótico. Outra vantagem deste concentrador é o fato dele aproveitar parte da radiação difusa incidente, o que não ocorre com outros concentradores.

Ressalta-se que dada a natureza do CPC a irradiância na superfície absorvedora não é uniforme dependendo da orientação do coletor e da posição do sol ao longo dia e do ano. Desta forma as células recebem níveis diferentes de irradiância, havendo sempre uma linha mais iluminada (i.e., linha focal formada das duas parábolas) que se move ao longo do ano.

Tabela 1. Característica do CPC.

Parâmetros do CPC	Descrição
Meio ângulo de aceitação	14°
Largura da região absorvedora	0,08 m
Abertura do concentrador	0,25m
Altura após truncamento	0,48 m
Comprimento do coletor	0,66m
Superfície refletora	Aço inoxidável brilhante
	Espessura: 0,3 mm
Refletividade da superfície refletora	Não informada pelo fabricante
Concentração geométrica máxima	4,133
Concentração real com os painéis de 80 mm de largura	3,125

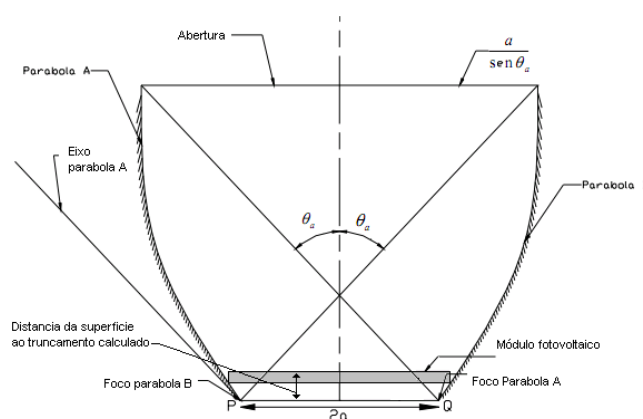


Figura 1- Características dimensionais do CPC.

A concentração teórica máxima do CPC depende do meio ângulo de aceitação sendo dada pela Eq. (1).

$$C = (\text{sen}\theta_a)^{-1} \quad (1)$$

Onde: “C” é a razão de concentração teórica e “ θ_a ” é o meio ângulo de aceitação.

3. MÓDULO FOTOVOLTAICO

A seleção dos módulos foi realizada procurando adequar a largura dos mesmos à largura da região absorvedora do CPC existente que já se encontrava construído e disponível para uso. Entretanto, os módulos tiveram que ser colocados 80 mm acima da região absorvedora, conforme indicado na figura 1, devido à largura dos mesmos ser levemente maior que a largura do absorvedor.

Três módulos fotovoltaicos feitos de células policristalinas foram adquiridos do fabricante Jacony, modelo sp-2w, sendo que as dimensões dos mesmos são, respectivamente, 0,22 m de comprimento, 0,08 m (80 mm) de largura e

0,0025 m (2,5 mm) de espessura. A área de cada módulo é igual a 0,0176 m² e a área total dos três módulos é igual a 0,0528 m². Esses módulos apresentam as seguintes características elétricas: potência máxima de 1,7 W, tensão de circuito aberto de 6,7 volts e corrente de curto circuito de 330 mA. Verificou-se que o valor da potência máxima informada pelo fabricante era de fato a potência teórica considerando o fator de forma igual a um, ou seja, essa potência é igual ao produto da corrente de curto circuito pela tensão de circuito aberto.

Os três modelos foram ligados num circuito em série e montados sobre uma chapa de alumínio tendo um tubo de 3/8 de polegada (6,35 mm) acoplado na parte central da mesma, formando desta forma uma superfície aletada. A montagem funcionou como um trocador de calor permitindo o resfriamento do painel através da circulação de água dentro do tubo. O objetivo dessa montagem foi avaliar a eficiência elétrica do sistema fotovoltaico com e sem resfriamento. Um sensor de temperatura (termopar tipo “T”, cobre - constantan), conforme apresentado na Fig. 2, foi instalado no lado inferior de um dos módulos para supervisionar a temperatura média do painel.

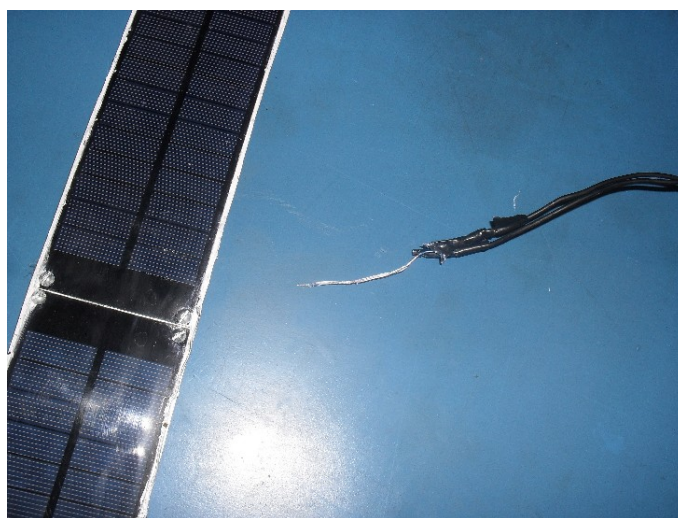


Figura 2 - Painéis ligados em série e sensor de temperatura.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia experimental constou da realização de quatro grupos de testes do sistema fotovoltaico: (i) grupo de testes constituído de vários testes com os módulos sem concentração e sem resfriamento; (ii) grupo de testes constituído de vários testes com os módulos com concentração e sem resfriamento; (iii) grupo de testes constituído de vários testes com os módulos com concentração e com resfriamento; (iv) grupo de testes com os módulos sem concentração e com resfriamento.

Para as quatro situações foram levantadas experimentalmente as curvas características de corrente versus tensão, potência elétrica, além das variações temporais da temperatura média do painel e da radiação incidente no plano do coletor durante cada teste. Durante o terceiro e quarto testes a vazão da água foi regulada de forma que a temperatura do painel se aproximasse da temperatura do ar ambiente.

A montagem dos três módulos sobre o trocador de calor (i.e., superfície aletada) é apresentada na Fig.3, onde se pode ver ainda o tubo de água de circulação dos módulos e o piranômetro. A Fig. 4 mostra a montagem dos módulos e trocador de calor já inseridos dentro do concentrador CPC.



Figura 3 - Montagem dos painéis e trocador de calor.

Figura 4 - Módulos e trocador de calor dentro do CPC.

Todos os testes foram realizados em dias ensolarados em torno do meio dia solar, estando o eixo do concentrador “CPC” sempre posicionado na direção “Leste – Oeste”. Durante os testes o eixo do coletor foi inclinado para o Norte geográfico de forma que o ângulo de incidência da radiação solar se aproximasse de 0° , ângulo este que a radiação incidente assume seu valor máximo. Observa-se na primeira foto, à esquerda da Fig. 4, a linha de luz formada próximo à extremidade direita dos módulos podendo se ver ainda a distribuição não uniforme da irradiação.

4.1 Instrumentos utilizados nos testes

Foram utilizados os seguintes instrumentos durante a realização dos testes:

- (i) Piranômetro: Este instrumento foi utilizado para determinação da radiação global incidente no plano de abertura do coletor concentrador, como também no painel sem concentração. O instrumento é fabricado pela Epley, modelo PSP, sensibilidade $11,42 \mu\text{v}/\text{W}/\text{m}^2$ e apresentou desvio padrão durante o processo de calibração igual a 0,8%;
- (ii) Traçador de curvas “Corrente (I) x Tensão (V)”: Este instrumento possui uma eletrônica interna que impõe, de forma quase instantânea, uma carga variável ao painel, permitindo a obtenção de valores da tensão e corrente elétrica para varias condições de operação. O instrumento é fabricado pela EKO Instruments, modelo MP-160, e apresenta precisão 0,5% do valor de fundo de escala permitindo uma medição máxima de potencia de 300W. Um software que vem com o instrumento é usado para entrada de parâmetros dos painéis, configuração do equipamento, aquisição dos dados, apresentação das variáveis medidas na forma tabular e gráfica elem da conversão das variáveis medidas para a condição de referencia (i.e., irradiação de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ e temperatura das células igual a 25°C). As varáveis medidas são tensão, corrente, radiação solar e temperatura do módulo no intervalo de tempo especificado onde haverá a variação da carga. A montagem é apresentada na Fig. 4, onde se vê na esquerda uma foto do instrumento e à direita o esquema de ligação dos instrumentos.

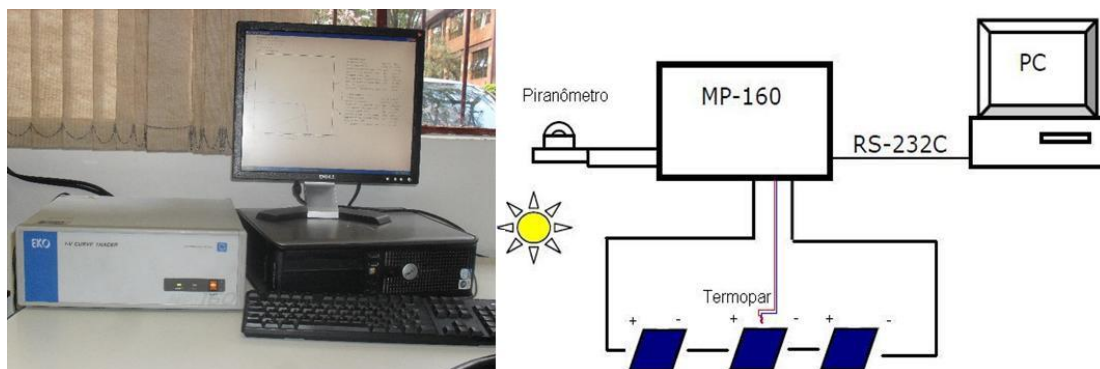


Figura 4 - Sistema gerador de carga para determinação da curva característica “I x V” do painel.

- (iii) Sensor de temperatura: Um termopar do tipo “T” (cobre constantan) foi conectado em um das entradas do instrumento “Traçador de Curvas I x V” para leitura da temperatura média do módulo. O sensor apresenta uma precisão aproximada dada pelo fabricante em torno de 1°C .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os quatro testes, foram realizadas medições das seguintes variáveis: (i) temperatura média representativa do painel constituído dos três módulos; (ii) radiação solar incidente “Irradiance”; (iii) tensão de circuito aberto “ V_{oc} ”; (iv) corrente de curto circuito “ I_{sc} ”; (v) potencia máxima “ P_m ”; (vi) tensão correspondente a potencia máxima “ V_{mp} ”; (vii) corrente correspondente a potencia máxima “ I_{mp} ”. Adicionalmente, foram calculados a eficiência elétrica e o fator de forma do painel.

5.1 Primeiro Grupo de Testes: Painéis sem concentração e sem resfriamento

Resultados de vários testes realizados no dia 10 de Abril de 2012, são apresentados na Tab. 2, com o painel sem concentração e sem resfriamento para intervalos de tempo próximos ao meio dia solar e com a radiação solar normal ao plano do painel.

Tabela 2. Testes do dia 10/04/2012 com os painéis sem concentração e sem resfriamento.

Time	T _{painéis}	Irradiança	V _{oc}	I _{sc}	P _m	V _{pm}	I _{pm}	Fator de Forma	Eficiência Elétrica
HH:MM:SS	°C	kW/m ²	Volts	Ampere	Watt	Volts	Watt	%	%
12:16:45	42,8	1.070	20.051	0.197	3.381	18.042	0.187	85.80	5.98
12:20:35	45,1	1.002	19.852	0.184	3.190	17.840	0.179	87.32	6.03
12:23:05	41,9	1.025	19.602	0.183	3.085	17.588	0.175	86.17	5.70
12:26:05	40,6	1.023	20.009	0.184	3.178	18.027	0.176	86.34	5.88
12:33:55	39,9	0.984	20.194	0.179	3.124	18.225	0.171	86.60	6.01
12:37:55	41,8	0.985	19.670	0.181	3.060	17.672	0.173	86.08	5.88
12:48:45	42,9	1.003	19.205	0.155	2.716	17.199	0.158	91.30	5.13
12:51:45	45,4	0.995	19.478	0.179	3.030	17.548	0.173	86.99	5.77
12:52:55	46,6	1.012	19.475	0.179	3.031	17.469	0.173	86.87	5.67
12:59:15	40,4	0.982	19.419	0.181	3.026	17.401	0.174	86.24	5.84

Observa-se da Tab. 2 que os valores médios dos testes são os seguintes: temperatura dos painéis 42,7°C, radiação solar incidente 1,008 kW/m², potencia elétrica 3,08 W, fator de forma 86,97 % e eficiência elétrica 5,79%. Os valores máximos da potencia elétrica e da temperatura são 3,11 W e 46,6°C, respectivamente. A eficiência elétrica dos módulos está abaixo do padrão para uma célula policristalina, sendo que isso pode ser explicado pelo fato dos cálculos terem utilizado a área total do painel e não a área total efetiva das células solares que compõem o mesmo.

5.2 Segundo Grupo de Testes: Painéis com concentração e sem resfriamento

Resultados de vários testes realizados no dia 26 de Março de 2012, são apresentados na Tab. 3, com o painel com concentração e sem resfriamento para intervalos de tempo próximos ao meio dia solar e com a radiação solar normal ao plano do painel.

Tabela 3. Testes do dia 26/03/2012 com os painéis com concentração e sem resfriamento.

Time	T _{painéis}	Irradiança	V _{oc}	I _{sc}	P _m	V _{pm}	I _{pm}	Fator de Forma	Eficiência Elétrica
HH:MM:SS	°C	kW/m ²	Volts	Ampere	Watt	Volts	Watt	%	%
12:25:50	43	1.028	19.799	0.174	2.919	18.418	0.158	84.76	1.72
12:26:00	43,6	1.120	19.741	0.181	3.076	18.314	0.168	86.14	1.66
12:30:20	40,2	1.102	20.111	0.202	3.628	18.476	0.196	89.30	1.99
12:30:30	40,8	1.138	20.032	0.211	3.802	18.373	0.207	89.77	2.03
12:33:40	42,6	1.129	19.898	0.224	3.870	18.195	0.213	86.79	2.08
12:34:00	43,9	1.172	19.694	0.231	3.945	17.955	0.220	86.70	2.04
12:38:10	48,5	1.072	19.079	0.198	3.258	17.434	0.187	86.16	1.84
12:40:40	50,1	1.122	18.661	0.205	3.309	16.885	0.196	86.67	1.79
12:43:50	51,1	1.056	18.083	0.203	3.150	16.221	0.194	85.70	1.81
12:45:10	52,2	1.076	17.824	0.200	3.035	16.024	0.189	85.32	1.71

Observa-se da Tab. 3 que os valores médios dos testes são os seguintes: temperatura dos painéis 45,6°C, radiação solar incidente 1,101 kW/m², potencia elétrica 3,4 W, fator de forma 86,73% e eficiência elétrica 1,87%. Os valores máximos da potencia elétrica e da temperatura são 3,94 W e 52,2°C, respectivamente.

Comparando os resultados da Tab. 3 com os resultados do teste anterior, mostrados na Tab. 2, verifica-se que houve um aumento de potencia de 10,4%, enquanto que, a eficiência elétrica reduziu 67,7%. O aumento da energia solar captada e incidente no painel aumentou devido ao aumento da área de abertura do coletor ser maior que a área do painel aumentando a radiação recebida, entretanto, o aumento da temperatura das células em conjunto com a iluminação não uniforme sobre o módulo solar faz com que a eficiência elétrica reduza drasticamente.

5.3 Terceiro Grupo de Testes: Painéis com concentração e com resfriamento

Resultados de vários testes realizados no dia 02 de Abril de 2012, são apresentados na Tab. 4, com o painel com concentração e com resfriamento, para intervalos de tempo próximos ao meio dia solar e com a radiação solar normal ao plano do painel.

Tabela 4. Testes do dia 02/04/2012 com os painéis com concentração e com resfriamento.

Time	T _{painéis}	Irradiança	V _{oc}	I _{sc}	P _m	V _{pm}	I _{pm}	Fator de Forma	Eficiência Elétrica
HH:MM:SS	°C	kW/m ²	Volts	Ampere	Watt	Volts	Watt	%	%
12:20:17	24,6	0.978	19.592	0.416	6.290	15.854	0.397	77.16	3.90
12:23:20	23,9	0.944	19.483	0.395	5.906	15.810	0.374	76.77	3.79
12:24:50	23,1	0.994	19.497	0.398	5.920	15.503	0.382	76.26	3.61
12:26:20	24,2	1.002	19.667	0.388	5.900	15.801	0.373	77.31	3.57
12:36:50	24,5	0.975	20.869	0.319	5.485	17.909	0.306	82.47	3.41
12:38:10	22,4	0.953	20.291	0.299	4.977	17.368	0.287	81.93	3.17
12:39:40	22	0.958	19.995	0.302	4.896	17.048	0.287	81.21	3.10
12:42:30	24,6	0.979	20.501	0.272	4.711	18.000	0.262	84.34	2.92
12:46:50	20,1	0.980	19.729	0.258	4.234	17.238	0.246	83.20	2.62
12:49:40	18,1	0.998	19.597	0.247	4.003	17.292	0.231	82.74	2.43

Observa-se da Tab. 4 que os valores médios dos testes são os seguintes: temperatura dos painéis 22,8°C, radiação solar incidente 0,976 kW/m², potencia elétrica 5,23 W, fator de forma 80,34% e eficiência elétrica 3,25%. Os valores máximos da potencia elétrica e da temperatura são 6,28 W e 24,6°C, respectivamente.

Comparando os resultados da Tab. 4 com os resultados da Tab. 2 observa-se que a potencia elétrica aumenta 69,8%, enquanto que, a eficiência elétrica reduz 43,9%. Por outro lado, comparando os resultados da Tab. 4 com aqueles da Tab. 3 observa-se que, a potência elétrica aumenta 53,8% e a eficiência elétrica aumenta 73,8%.

O aumento da potencia elétrica, em ambas as comparações, revela que a concentração é dominante no aumento da potencia, embora, este aumento se torna maior quando o painel recebe resfriamento. Por outro lado, o uso de painel com concentração e resfriamento promove aumento da eficiência elétrica, entretanto, ainda não consegue ofuscar as perdas devido a incidência não uniforme da radiação no painel. Desta forma observa-se que o painel sem concentração e mesmo sem ser resfriado ainda apresenta maior rendimento elétrico.

5.4 Quarto Grupo de Testes: Painéis sem concentração e com resfriamento

Resultados de vários testes realizados no dia 18 de Maio de 2012, são apresentados na Tab. 5, com o painel sem concentração e com resfriamento para intervalos de tempo próximos ao meio dia solar e com a radiação solar normal ao plano do painel.

Tabela 5. Testes do dia 18/05/2012 com os painéis sem concentração e com resfriamento.

Time	T _{painéis}	Irradiança	V _{oc}	I _{sc}	P _m	V _{pm}	I _{pm}	Fator de Forma	Eficiência Elétrica
HH:MM:SS	°C	kW/m ²	Volts	Ampere	Watt	Volts	Watt	%	%
12:08:55	29,5	0.920	21.202	0.163	3.055	19.398	0.157	88.44	6.29
12:12:05	27,7	0.968	21.260	0.174	3.232	19.434	0.166	87.55	6.32
12:13:05	23,1	1.011	20.996	0.175	3.258	19.113	0.170	88.54	6.10
12:15:25	23,1	0.948	20.701	0.168	3.034	18.850	0.161	87.20	6.06
12:17:45	24,1	0.964	20.647	0.168	2.989	18.793	0.159	86.11	5.87
12:31:55	20,8	0.909	21.077	0.163	3.013	19.253	0.156	87.91	6.28
12:37:15	22,9	0.939	20.639	0.168	2.991	18.739	0.160	86.37	6.03
12:40:25	24,3	0.932	20.613	0.168	2.994	18.715	0.160	86.33	6.08
12:42:05	23,5	0.957	20.827	0.174	3.103	18.683	0.166	85.83	6.14
12:50:55	28,6	0.850	20.511	0.157	2.785	18.630	0.150	86.55	6.20

Observa-se da Tab. 5 que os valores médios dos testes são os seguintes: temperatura dos painéis 24,8°C, radiação solar incidente 0,94 kW/m², potencia elétrica 3,045 W, fator de forma 87,08% e eficiência elétrica 6,29%. Os valores máximos de potencia elétrica e temperatura são 3,25 W e 29,5°C, respectivamente.

Comparando os resultados da Tab. 5 com a Tab. 2 observa-se que as potências elétricas médias são aproximadamente iguais, com uma leve diferença a favor do primeiro teste (Tab.2). Essa diferença pode ser explicada devido a irradiação ser levemente maior para o primeiro teste.

Quatro testes foram selecionados de cada grupo, sendo que as suas curvas características “I x V” e as curvas de potencia são apresentadas nas Fig. 5 e Fig. 6, respectivamente.

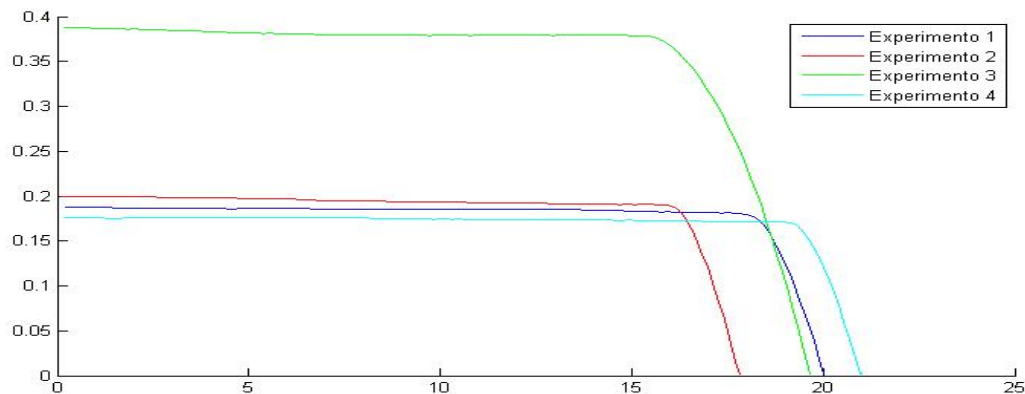


Figura 5 - Curva características “I X V” dos testes representativos de cada grupo.

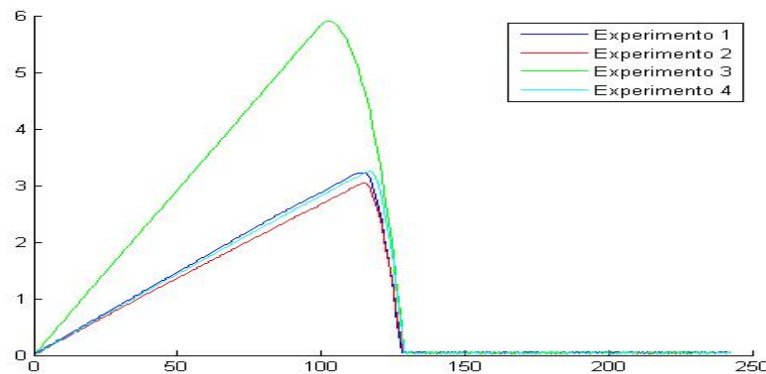


Figura - 6 Curvas de potencias elétricas dos testes representativos de cada grupo.

Analisando a Fig. 5 e Fig. 6 observa-se que as curvas de potencia elétrica de testes selecionados do primeiro, segundo e quarto experimento praticamente coincidem. Para o teste do experimento dois “com concentração e sem resfriamento” a potencia tenderia aumentar devido ao aumento da irradiação incidente no painel, entretanto, o aumento da temperatura das células causado pelo não resfriamento das células e pelas perdas de não uniformidade da irradiação incidente contribuem por reduzir essa potencia, tornado-a praticamente igual aos dos testes dos experimentos (1) e (4).

Observa-se também que o ganho de potencia do painel do experimento (4) “sem concentração e com resfriamento” é relativamente baixo comparado ao teste do experimento (1) “sem concentração e sem resfriamento”.

Por outro lado, verifica-se que as curvas “I x V” e de “Potencia” do teste do experimento (3) “concentração com resfriamento” (linha verde) é bem superior aos testes dos outros três experimentos. Os testes dos experimentos (2) e (3) revelam que o resfriamento dos painéis com concentrador atua de forma favorável e maiores potencias poderiam ser alcançadas se as superfícies refletoras estivesse em melhores condições proporcionando maior refletividade.

Uma observação importante é sobre a concentração usando concentradores do tipo “CPC”: a radiação concentrada sobre a superfície absorvedora (painel) não é uniforme, sendo que o fluxo de radiação maior aparece na forma de uma “linha de luz”, paralela ao eixo do coletor que varia ao longo do dia para o coletor com eixo “leste – oeste”.

Observou-se em certos horários que essa “linha de luz” concentrava-se muito na borda do painel sendo que a potência nesse instante reduzia consideravelmente. Outra preocupação quanto a essa “linha de luz” é referente à temperatura dos pontos localizados nesta linha que deve ser bem superior a temperatura media do painel, uma vez que o resto da área do painel recebe menos radiação podendo ficar até sombreado. Desta forma deve-se estudar se não haverá danos ao circuito elétrico e nem degradação do painel devido a esse possível superaquecimento localizado que se desloca ao longo do dia e do ano.

Uma última observação é sobre a temperatura da água de resfriamento do painel: Ainda que este trabalho não tenha constado da determinação do ganho de energia da água de resfriamento, esta energia recuperada tem potencial para ser utilizada em aplicações térmicas, tais como, pré-aquecimento da água de coletores planos visando aquecimento de água para fins domésticos e mesmo utilização em calefação de ambientes. Uma medição da temperatura da água de

saída dos painéis foi realizada num dos testes e apresentou valor aproximado de 37,5°C, o que reforça a tese sobre o potencial dessa energia térmica para ser recuperada.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho constou da construção e montagem de um sistema fotovoltaico com concentração solar utilizando um concentrador do tipo “CPC” de meio ângulo de aceitação igual a 14,5°.

Foram realizados vários testes considerando quatro grupos de testes: o primeiro com o painel “sem concentração e sem resfriamento”; o segundo com o painel “com concentração e sem resfriamento”; o terceiro com painel “com concentração e com resfriamento” e o quarto com o painel “sem concentração e com resfriamento”.

As potências elétricas geradas no segundo grupo de testes comparam-se com os resultados do primeiro grupo de testes devido ao aumento da temperatura verificado nos testes do segundo grupo. Os testes realizados dentro do terceiro grupo mostraram-se mais interessantes, pois promoveram um aumento substancial das potências elétricas geradas. Esses testes ainda apresentaram melhor eficiência elétrica, sendo que essa apresenta potencial para ser melhorada com a utilização de superfícies refletoras de maior eficiência ótica. Os testes com o painel sem concentração e com resfriamento mostraram maior eficiência de todos os experimentos. Adicionalmente, a recuperação da energia térmica oriunda do resfriamento do painel apresenta potencial para ser utilizada em aplicações domésticas.

Um ponto a ser observado é sobre a “linha de luz” projetada no painel que se move sobre as células e se desloca para as bordas do painel, local onde efetivamente não deve haver células fotovoltaicas.

REFERÊNCIAS

- Rabl Ari , 1976. Comparison Of Solar Concentrators, Solar Energy. Vol. 18, pp. 93-III Pergamon Press.
- Kumar Mallick Tapas 2003, tese PhD, Faculty of Engineering University of Ulster, UK
<http://www.acciona-na.com/About-Us/Our-Projects/U-S-/Nevada-Solar-One, 2012>
<http://amonix.com/>, 2012
- Jian Sun, Mingheng Shi, 2009, Experimental Study on A Concentrating Solar Photovoltaic/Thermal System
- O. Rewthong, B. Haruthaitanason, U. Sangpanich, S. Thepa, P. Namprakai and K. Kirtikara King Mongkut's, 2004, University of Technology Thonburi, Photovoltaic and Solar Thermal Hybrid System Using Compound Parabolic Concentrator, Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok,
- Neto, J.H.M., 2000. Projeto, fabricação, montagem e testes de diferentes protótipos de coletores parabólicos compostos “CPCs”, Porto Alegre - Rio Grande do Sul MERCOFRIO 2000 Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul.
- R. Winston, Light collection within the framework of geometrical optics. *J. Optic. Soc. Am.* 60, 245.,1970.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A SYSTEM FORMED BY PHOTOVOLTAIC PANEL AND PARABOLIC COMPOUND COLLECTOR

Abstract. *This paper presents experimental results of tests performed in a photovoltaic panel to analyze the modes of operation “with - concentration” and “without - concentration”. The panel is compound by three modules connected in series being that in the mode “with - concentration” the panel is installed in the absorber region of a concentrating collector “CPC” having half acceptance angle equal to 14°. Four groups of tests were conducted to verify the power and the efficiency electrical of the panel: the first group of tests does not use concentration and neither cooling; the second group of tests the panel uses concentration and it is not cooled; the third group of tests the panel has concentration and it is cooled; the fourth group of tests the panel does not have concentration and it is cooled. It was observed that practically there is no gain of power and efficiency electrical when the panel operates in the mode “with concentration without cooling”. However, a considerable increase in the electrical power was verified when the panel worked at the mode “with concentration with cooling” due to the decreasing of the cell temperature. It was observed, however, that in this mode the electrical efficiency decreases due to the non uniformity of the flux of solar radiation incident over the panel. To perform these experimental tests it was utilized an instrument which generates loads electronically which are imposed to the panel in order to allow the tracing of the characteristics curves “I x V” of the panel, and consequently, evaluate the power, the efficiency, the fill factor and other electrical variables.*

Keywords: *Solar energy, concentrating solar, solar hybrid.*