

# METODOLOGIA TÉORICA EXPERIMENTAL UTILIZANDO TESTE QUASI-DINAMICO PARA AVALIAÇÃO DE COLETORES CONCENTRADORES DO TIPO CILINDRO PARABÓLICO

**Marcio Araujo Pessoa** - marcioapessoa@ig.com.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Eficiência Energética

**José Henrique Martins Neto** - henrique@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Eficiência Energética

**Resumo.** Este trabalho apresenta um estudo de caso utilizando dados de testes realizados no Concentrador Solar Cilindro Parabólico, com objetivo de avaliar sua eficiência térmica além de outros parâmetros importantes para caracterização do coletor, como o ângulo de incidência modificado, IAM, e a capacidade térmica efetiva. O concentrador encontra-se instalado nas dependências do CEFET-MG, numa instalação protótipo denominada “Usina Solar”. A metodologia utilizada, denominada método quasi-dinamico é descrita pela norma ABNT NBR 15745-2, de 2009 sendo baseada na norma Européia EN 12975 de 2006. O modelo utilizado foi apresentado por (Peres, 1997 apud Osório, 2011) e segundo Osório, por ser de grande versatilidade, compõem a base da norma EN 12975 A norma prevê, além dos parâmetros avaliados no teste em regime permanente, o cálculo do ângulo de incidência modificado para radiação difusa e a capacitância térmica efetiva do coletor (Fischer et al., 2006). Os testes foram realizados nos meses de Julho e Agosto de 2013 e os dados coletados foram a vazão, as temperaturas de entrada e saída do fluido além da radiação solar incidente no plano horizontal e no plano de abertura do coletor. A metodologia calcula a eficiência térmica, o ângulo de incidência modificado (IAM) entre outros parâmetros de caracterização do coletor utilizando o método matemático indicado pela norma, a regressão linear multivariável, (MLR). Este método, segundo Osório, permite a avaliação de duas vezes mais coletores durante o ano em comparação com os testes realizados segundo a metodologia de testes em regime permanente. Isto deve-se à maior flexibilidade para a aquisição de dados, permitindo que grandezas como a radiação direta e temperatura de saída do fluido variem durante uma parte dos testes. Como resultado, apresentamos uma opção para o desmembramento do termo de cálculo do ângulo de incidência para radiação direta, que permite a obtenção do termo de eficiência térmica e da constante  $b_0$ .

**Palavras-chave:** Concentradores cilindro parabólicos, quasi-dinamico.

## 1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de concentração solar utilizando coletores do tipo cilindro parabólico é considerada a mais antiga e comprovada, devido à existência de várias plantas comerciais já instaladas e em operação em diferentes países. Esta tecnologia é capaz de gerar energia elétrica com uma eficiência global de pico de cerca de 24%, sendo esta a mais alta eficiência entre todas as outras tecnologias solares disponíveis (Rolin et al., 2009). Além disso, essa tecnologia de concentração solar é considerada atualmente a de custo mais baixo entre todas as outras disponíveis (Price et al., 2003).

A primeira instalação comercial de concentração solar utilizando coletores do tipo cilindro parabólico de larga escala foi instalada no deserto de Mojave, na Califórnia, durante o período de 1984 a 1991. A instalação denominada “Solar Energy Generating Systems” (SEGS) consiste de nove plantas com capacidade total instalada de 354 MW, sendo que as mesmas ainda se encontram em operação.

A avaliação térmica e ótica de coletores solares é de significativa importância para projetistas e investidores (Fischer et al., 2006). Entre as normas técnicas existentes para avaliação de coletores solares destacam-se a norma Americana (ASHRAE, 2003) e a norma Européia, (EN12975, 2006). A norma ASHRAE requer que os testes sejam realizados em condição de regime permanente, ou seja, as variáveis de entrada, tais como, temperaturas de entrada e saída do fluido operante, radiação solar, temperatura ambiente devem permanecer constantes durante todo o teste. A norma Européia prevê a realização dos testes em regime estático ou em regime denominado “quasi-dinâmico”. Essa nova metodologia de testes, baseia-se nos modelos apresentados por (Perez, 1997). Essa metodologia permite que algumas variáveis, como a radiação solar e a temperatura de saída do fluido operante, variem ao longo do teste, promovendo maior flexibilidade e celeridade durante a realização dos testes..

A utilização de um modelo que prevê testar o coletor solar sob condições transientes é de significativa importância para sua avaliação, pois permite a avaliação das eficiências térmica e ótica, além de possibilitar determinar a capacidade térmica do coletor solar. A norma Européia prevê a realização de um mínimo de quatro testes tendo uma duração mínima de três horas cada, abrangendo a faixa de temperatura de operação do coletor, ou seja, com a temperatura de entrada do fluido operante variando desde a temperatura do ar ambiente até a temperatura máxima de trabalho do coletor fluido. A menor temperatura de teste deve estar próxima da temperatura do ar

ambiente, possibilitando minimizar as perdas térmicas possibilitando desta forma a avaliação da eficiência ótica do coletor. Adicionalmente, pelo menos um dos testes deve ser realizado em condições de nuvens esparsas, permitindo desta forma avaliar a capacitância térmica do coletor.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos no CEFET-MG para determinar variáveis e parâmetros dos coletores solares instalados na Usina Solar e investigar metodologias específicas para testes deste tipo de coletor concentrador. Dentre os trabalhos realizados podemos citar o trabalho de Domingos (2010-A, 2010-B), que conduziu testes experimentais em laboratório para determinação dos coeficientes globais das perdas térmicas do elemento de calor dos coletores e o trabalho de Borges (2013), que realizou testes de campo nos coletores concentradores utilizando a metodologia de testes da norma da ASHRAE, (2003) para avaliação em regime permanente da eficiência térmica e da constante de tempo.

Esse trabalho propõe a utilização da metodologia de testes em regime transiente (método quase dinâmico) para avaliação dos mesmos coletores concentradores do tipo cilindro parabólico instalados no CEFET-MG. Esta metodologia é de aplicação menos rígida que o método da ASHRAE (2003) permitindo variação das variáveis de entrada. O método utiliza uma ferramenta matemática de rápida convergência, denominada “regressão linear múltipla”. A obtenção dos coeficientes da regressão que caracterizam os principais parâmetros do coletor solar é a principal contribuição do método. Para aplicação da metodologia transiente de avaliação foi necessário intervir e inserir novos componentes e instrumentos na instalação solar existente, para posteriormente realizar os testes experimentais. Os dados dos vários testes foram analisados, tratados e utilizados como variáveis de entrada no modelo de regressão linear múltipla sendo utilizado como plataforma a planilha EXCELL

## 2. CARACTERÍSTICAS DO COLETOR

A instalação solar instalada no Campus II do CEFET-MG consiste de três linhas de coletores do tipo cilindro parabólico, denominadas linhas 1, 2 e 3. Cada linha é constituída por cinco coletores conectados em série, tendo comprimento total igual a 20 m. Os coletores das três linhas estão alinhados sendo o seu eixo de rotação orientado no sentido “Norte – Sul”, o que permite a movimentação dos coletores ao longo do dia, seguindo o movimento aparente do sol no sentido “leste – oeste”. Os parâmetros geométricos de entrada utilizados foram referentes aos coletores da linha 2, apresentada na Fig.1.

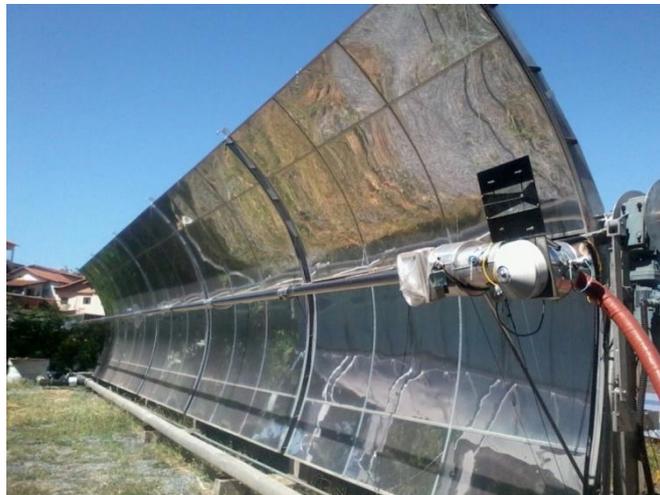


Figura 1 - Coletores da linha 2 mostrando a superfície refletora, Poluceno (2010).

Os materiais utilizados para a construção dos coletores foram adaptados em relação aos materiais utilizados nas principais usinas comerciais do mundo. Por exemplo, as superfícies parabólicas refletoras utilizaram alumínio anodizado em substituição à ao vidro espelhado com superfície refletora de prata. O alumínio anodizado possui menor refletividade que os espelhos de vidro e ainda são mais susceptíveis ao desgaste e oxidação o que contribui para redução da refletividade da radiação solar ao longo dos anos. As razões para utilização deste material foram a sua maior facilidade para curvatura, menor custo e redução do peso do coletor.

O elemento de calor utilizado nos coletores da instalação solar, conforme mostra a Fig. 2, é formado pelos tubos absorvedor e receptor tendo como objetivo promover a transformação da radiação solar em energia térmica útil. O tubo absorvedor é envolto por um tubo de vidro formando um conjunto de dois tubos concêntricos tendo ar na região anular. O material do tubo absorvedor é de aço inoxidável sendo o mesmo pintado manualmente com uma tinta seletiva,

visando aumentar a absorvidade da radiação solar e reduzir a emissão de radiação infravermelha. O fato do elemento de calor não ser evacuado na região anular contribui para redução da eficiência térmica devido ao aumento das perdas de calor por convecção.

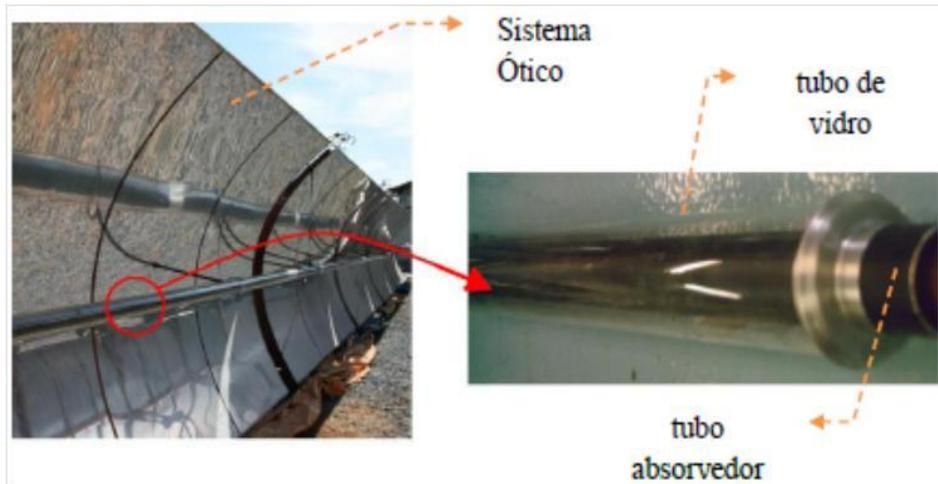


Figura 2 - Detalhe do elemento de calor dos coletores concentradores instalados no CEFET-MG. Fonte: DOMINGOS (2010)

Os valores dimensionais e propriedades termo físicas dos componentes dos coletores instalados na linha 2 são apresentados na Tab.1.

Tabela 1- Parâmetros dimensionais e propriedades dos coletores do CEFET-MG.

Coletores da linha dois	Comprimento: 3,750 m
	Largura da abertura: 3,440 m
	Concentração geométrica: 71
	Distância Focal: 1,21 m
Tubo absorvedor	Material: Aço Inoxidável AISI 304, schedule 40
	Diâmetro externo: 48,3 mm
	Superfície seletiva: Solkote SorB II
Superfície refletora	Material: Alumínio anodizado
	Refletividade: 82%
	Espessura: 0,5 mm
Tubo de vidro	Material: Boro silicato (baixo teor de Fe, sem proteção anti-reflexo); Transmissividade: 90%
	Diâmetro externo: 75 mm
	Espessura: 4,2 mm

### 3. AVALIAÇÃO DO MODELO EM PTC (Parabolic Trough Collector)

A aplicação da metodologia de teste em regime transiente (i.e. regime quase dinâmico) para teste de coletores concentradores, especificamente aqueles do tipo PTC ainda é recente. Apesar da norma Européia mencionar a sua aplicação tanto para coletores planos e concentradores, verifica-se que a mesma se destina principalmente aos coletores planos havendo, portanto, certa carência de informação para teste dos coletores concentradores .

Fisher (2006) avaliou experimentalmente um concentrador do tipo cilindro parabólico, realizando testes de campo, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma Européia EN12975. O coletor possuía acompanhamento solar em dois eixos de forma que a radiação solar sempre incidia normal no plano de abertura. Este teste não permitiu avaliar o ângulo de incidência modificado,  $K_{\theta b}(\theta)$ , pois a incidência da radiação solar foi sempre normal durante todo o teste. A troca líquida de radiação no comprimento de onda longo entre o absorvedor e o céu foi desprezada logo de início, pois o coletor possui dimensões reduzidas em comparação a área de abertura (Kramer, 2012). Fisher conclui que a utilização

do método quase dinâmico é válido para aplicação em coletores concentradores e o modelo permite contabilizar também a capacidade térmica efetiva bem como a parcela da radiação difusa.

Um segundo teste foi realizado com objetivo de avaliar o *IAM*, desta vez alinhando o coletor na direção *Leste-Oeste*, corrigindo a rotação apenas em um eixo. Fisher avaliou o coletor utilizando água como fluido de operação, com geração direta de vapor no coletor. O modelo suprimiu os termos de perda de calor em função do vento e de troca térmica radiativa de longo comprimento de onda. A radiação difusa absorvida foi reduzida utilizando a razão de concentração (i.e., razão entre a área de abertura do coletor e a área total do tubo absorvedor).

Os testes realizados nos coletores da linha dois instalada no CEFET-MG contemplaram cinco dias diferentes representativos de diferentes condições de nebulosidade do céu, conforme mostra a Tab. 2. Os coletores alinhados possuíam um único eixo na direção *Norte-Sul*, que permitiu o acompanhamento diário do sol ao longo do dia. O ângulo de incidência solar foi medido experimentalmente utilizando um dispositivo formado por uma ponteira montado normal a uma base. A projeção da sombra da ponteira permitiu calcular por geometria o ângulo de incidência. Para cada instante durante o período de teste a radiação direta no plano de abertura dos coletores foi calculada multiplicando-se a radiação direta normal (medida experimentalmente) pelo cosseno do ângulo de incidência. O seguimento do sol foi realizada em um único eixo (eixo “Norte-Sul”), sendo este movimento considerado mais coerente por representar a maioria dos sistemas de rastreamento encontrado nas usinas solares comerciais. Fischer, (2012) propõe alterações à norma EN12975 ao desconsiderar a dependência da velocidade do vento se a razão de concentração, *C*, for maior que 3. O presente trabalho apresenta uma razão *C* de 71, portanto as perdas térmicas convectivas referentes ao vento não foram consideradas.

Tabela 2 - Parâmetros de referencia para realização dos testes.

<i>Teste</i>	<i>T</i> (°C)	Duração	Condições céu
1	40	3h 33min	Nuvens esparsas
2	96	3h 48min	Nuvens esparsas
3	164	4h 42min	Nuvens esparsas
4	224	4h	Céu claro
5	40	3h	Céu claro

#### 4. MODELO TEÓRICO.

A equação utilizada para caracterização dos coletores térmicos no modelo estacionário (i.e., regime permanente) calcula o calor útil absorvido por unidade de área do coletor, sendo este dependente da diferença de temperatura entre o fluido operante e o ar ambiente. O modelo utilizado é descrito na Eq.(1)

$$\frac{\dot{Q}}{A_a} = \eta_o \cdot G - C_1 \cdot (T_m - T_a) - C_2 \cdot (T_m - T_a)^2 \quad (1)$$

Onde:

$\dot{Q}$ : potencia útil absorvida pelo fluido na passagem pelo absorvedor, conforme Eq. (2)

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

$\dot{m}$ : vazão mássica do fluido operante, [kg/s];

$C_p$ : calor específico do fluido operante, [J. kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>];

$T_s$  e  $T_e$ : temperaturas de saída e entrada do fluido no absorvedor, respectivamente, [°C];

$T_m$ : temperatura média do fluido dentro do absorvedor, conforme Eq.(3),

$$T_m = (T_s + T_e)/2 \quad (3)$$

$\eta_o$ : rendimento térmico do coletor para a radiação direta normal ao plano do coletor quando a temperatura do fluido operante e o ar ambiente forem iguais, (adm);

$C_1$  e  $C_2$ : coeficientes de que descrevem as perdas térmicas de primeira e segunda ordem em relação a diferença de temperatura do fluido e a temperatura ambiente;

$T_a$ : temperatura do ar ambiente, [°C];

O modelo apresentado por Perez e proposto pela EN12975 acrescenta alguns termos na Eq. (1), tendo como objetivo avaliar o comportamento transiente do coletor, a influencia da radiação difusa, e a perda radiativa de longo comprimento de onda na energia absorvida, conforme mostra a Eq. (4).

$$\frac{\dot{Q}}{A_a} = \eta_o \cdot K_{\theta} b(\theta) \cdot Gb + \eta_o \cdot K_{\theta} d \cdot Gd - C_1 \cdot (T_m - T_a) - C_2 \cdot (T_m - T_a)^2 - C_3 \cdot u \cdot (T_m - T_a) + C_4 \cdot (E_L - \sigma \cdot T_a^4) - C_5 \cdot \left(\frac{dT_m}{dt}\right) - C_6 \cdot u \cdot G \quad (4)$$

Onde:

- $\dot{Q}$ : Taxa instantânea de calor útil [W];
- $A_a$ : Área de abertura do coletor [m<sup>2</sup>];
- $\eta_o$ : Eficiência térmica sem perda de calor, considerando  $(T_m - T_a)/G$  igual a zero, [K.m<sup>2</sup>.W<sup>-1</sup>];
- $K_{\theta}(\theta)_b$ : Fator modificador do angulo de incidência direta, [-]
- $K_{\theta}d$ : Fator modificador do angulo de incidência difusa, [-]
- $\theta$ : Ângulo de incidência medido experimentalmente ou calculado em função do local, dia, hora e ângulo de inclinação da superfície [°];
- $Gb$ : Radiação solar direta, no plano de abertura do coletor [W.m<sup>-2</sup>];
- $Gd$ : Radiação solar difusa no plano horizontal [W.m<sup>-2</sup>];
- $G$ : Radiação solar global no plano horizontal [W.m<sup>-2</sup>];
- $T_m$ : Temperatura media do fluido de trabalho, [°C];
- $T_a$ : Temperatura do ar ambiente, [°C];
- $u$ : Velocidade simulada do vento, [m/s];
- $E_L$ : Radiação de longo comprimento emitida pelo céu, medida com o pirgehômetro [W.m<sup>-2</sup>];
- $\sigma$ : Constante de Stefan e Boltzmann [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>];
- $\sigma \cdot T_a^4$ : Radiação emitida pelo ar ambiente [W.m<sup>-2</sup>];
- $dT_m/dt$ : Derivada da temperatura media do fluido de trabalho em relação ao tempo, [K.s<sup>-1</sup>];

O termo  $K_{\theta,b}(\theta)$  é definido conforme a Eq. (5), (Souka e Safwat, 1966, *Apud* Duffie e Beckman,):

$$K_{\theta,b}(\theta) = 1 - b_0 \cdot \left[\left(\frac{1}{\cos\theta}\right) - 1\right] \quad (5)$$

Substituindo-se a equação (5) no primeiro termo da Eq. (1) chega-se à Eq. (6).

$$\eta_o \cdot K_{\theta} b(\theta) \cdot Gb = \eta_o \cdot (1 - b_0 \cdot \left[\left(\frac{1}{\cos\theta}\right) - 1\right]) \cdot Gb \quad (6)$$

A Eq. (6) pode ser arranjada chegando-se a Eq. (7).

$$\eta_o \cdot Gb + \eta_o \cdot b_0 \cdot r \cdot Gb \quad (7)$$

Onde:  $r$  é uma constante dada pela Eq. (8) que multiplica o termo de  $Gb$  antes de se realizar a regressão.

$$r = \left[\left(\frac{1}{\cos\theta}\right) - 1\right] \quad (8)$$

Substituindo as Eqs. (7) e (8) na Eq. (4) chega-se a Eq.(9).

$$\frac{\dot{Q}}{A_a} = \eta_o \cdot Gb + \eta_o \cdot b_0 \cdot r \cdot Gb + \eta_o \cdot K_{\theta} d \cdot Gd - C_1 \cdot (T_m - T_a) - C_2 \cdot (T_m - T_a)^2 - C_3 \cdot u \cdot (T_m - T_a) + C_4 \cdot (E_L - \sigma \cdot T_a^4) - C_5 \cdot \left(\frac{dT_m}{dt}\right) - C_6 \cdot u \cdot G \quad (9)$$

Após a realização da regressão linear múltipla obtém-se os coeficientes da Eq. (9). O termo  $b_0$ , que representa o coeficiente do angulo modificador de incidência, é calculado uma vez que se conhece os valores de “ $r$ ” e “ $b_o$ ” e, conseqüentemente, o valor de  $K_{\theta,b}(\theta)$  é calculado da Eq. (10).

$$K_{\theta,b}(\theta) = 1 - b_0 \cdot r \quad (10)$$

#### 4.1 Modelo teórico experimental.

O coletor foi modelado com 7 parâmetros. Foram desconsiderados os termos referentes à modelagem de perdas térmicas promovidas pela velocidade do vento. A equação adaptada é mostrado Eq. (11).

$$\frac{\dot{Q}}{A_a} = \eta_o \cdot Gb + \eta_o \cdot b_0 \cdot r \cdot Gb + \eta_o \cdot K_{\theta} d \cdot Gd - C_1 \cdot (T_m - T_a) - C_2 \cdot (T_m - T_a)^2 + C_3 \cdot (E_L - \sigma \cdot T_a^4) - C_4 \cdot \left(\frac{dT_m}{dt}\right) \quad (11)$$

### 5. RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir correspondem ao grupo de coletores concentradores instalados na linha dois da instalação solar do CEFET-MG. Os parâmetros geométricos dos coletores estão dados na Tab.1. As variáveis de entrada (i.e., vazão mássica do fluido, temperaturas de entrada e saída do fluido, radiação direta e temperatura do ar ambiente) foram medidos experimentalmente durante testes realizados nesses coletores.

Os gráficos mostrados nas Figs.3 e 4 apresentam valores de "Q/A" medidos experimentalmente e obtidos da regressão linear múltipla considerando dois dias de testes. O primeiro teste foi realizado para um dia de céu limpo com a temperatura de entrada do fluido operante mantida constante e igual a 40°C, de forma a se conseguir verificar a eficiência ótica dos coletores. O segundo teste correspondeu a um dia de céu nublado objetivando-se avaliar a capacitância térmica dos coletores estando a temperatura de entrada do fluido operante mantida constante e igual a 164°C.

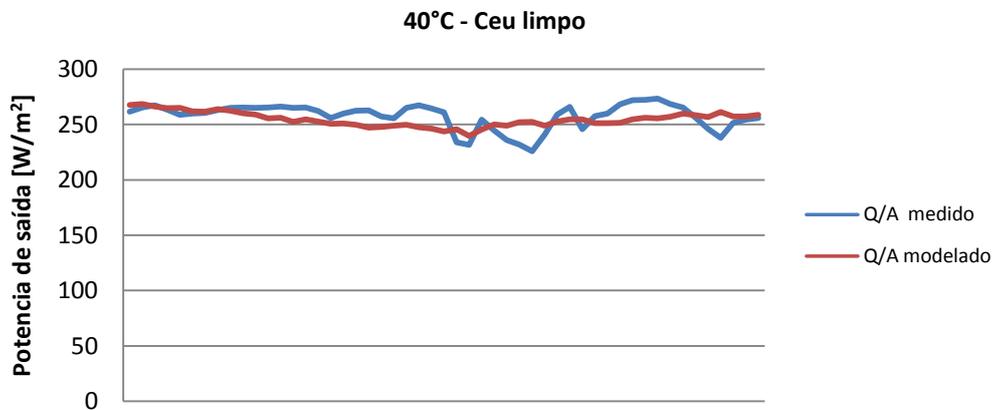


Figura 3 - Sequência de teste 5, teste avaliação rendimento ótico

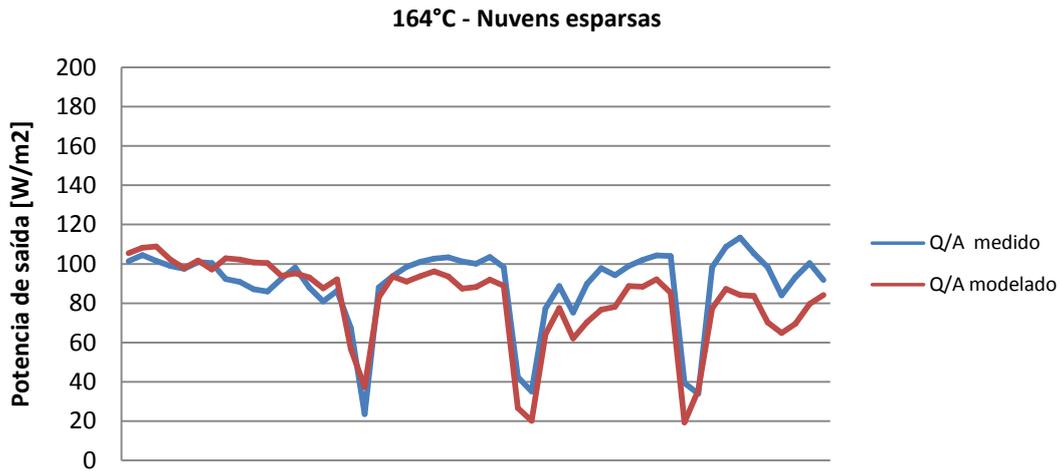


Figura 4 – Sequência de teste 3, teste radiação variável, avaliação capacitância térmica

Analisando as Figs. 3 e Fig. 4 observamos uma boa concordância entre os dados obtidos com o modelo ajustado e os dados experimentais.

Os valores dos sete coeficientes da Eq. (9) obtidos da regressão linear múltipla são apresentados na Tab. 3.

Tabela 3 - Coeficientes das constantes dos sete termos obtidos pela regressão.

$\eta_0[-]$	$b_0[-]$	$K_{0d}[-]$	$C_1[W/(m^2K)]$	$C_2[W/(m^2K^2)]$	$C_3[W/(m^2K)]$	$C_4[J/(m^2K)]$
0,33	0,93	13,77	0,98	0,00026	0,192	1387

O IAM (ângulo de incidência modificado) somente pôde ser determinado para uma pequena faixa de ângulos de incidência devido às dificuldades encontradas para seguir o sol durante longos períodos de tempo e também devido aos sombreamentos encontrados nas primeiras horas de sol no início das manhãs. Entretanto, utilizando-se um polinômio de segunda ordem foi possível realizar uma extrapolação dos dados medidos e os resultados do (IAM) em função do ângulo de incidência são apresentados na Fig 5.

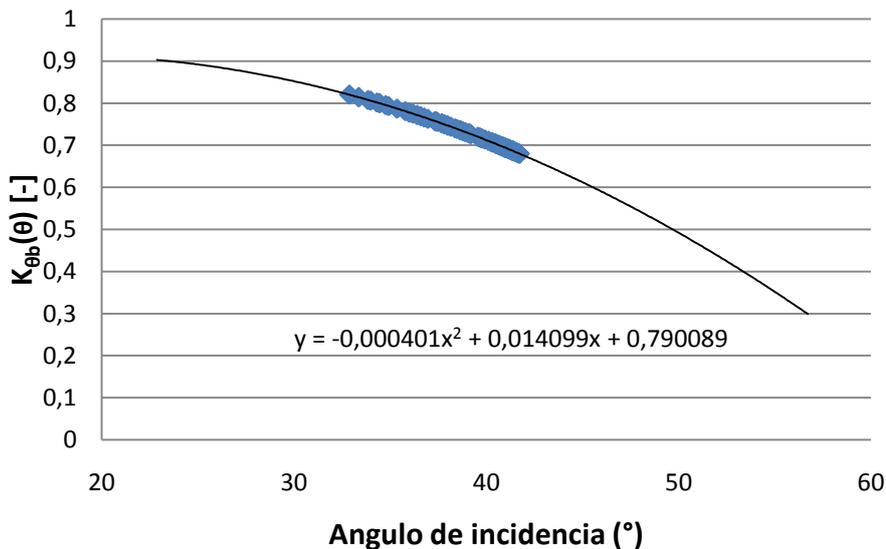


Figura 5 - Modificador do ângulo de incidência

## 6. CONCLUSÕES

O coletor foi testado sob condições quase dinâmicas e os coeficientes foram calculados pelo método de regressão linear múltipla, os quais representam informações sobre as características térmicas do coletor. O presente trabalho

apresentou uma eficiência térmica de 33%, corroborando com resultados experimentais realizados anteriormente em regime permanente. Além disso, foram calculados os coeficientes  $\eta_0$ ,  $K_{\theta d}$ , e a capacitância térmica efetiva.

## REFERÊNCIAS

- ASHRAE Standard, 2010. Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ISSN 1041-2336
- Borges E. B. 2012. Avaliação Experimental dos Coletores Solares Cilindro Parabólicos da Instalação Solar do Cefet-MG, Tese de Mestrado, PPEE, CEFET-MG, Belo Horizonte.
- Braga J.P.P e Lisboa A.H., 2010. Usina Térmica Solar para médias e altas temperaturas utilizando concentradores Cilíndrico-Parabólicos – Análise de Componentes, III CBENS - III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém.
- Domingos S. F., Neto J.H.M. 2010-A. Teste da Perda de Calor em um Elemento de Calor de um Concentrador Cilindro Parabólico, III CBENS - III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém.
- Domingos S. F. 2010-B. Avaliação Térmica Experimental do Elemento de Calor dos Concentradores Cilindro Parabólicos da Instalação Solar do CEFET-MG, Tese de Mestrado, PPEE, CEFET-MG, Belo Horizonte
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2006. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Dudley, Vernon E., et al. SEGS LS-2 solar collector, test results. Sandia National Laboratories. US, 1994 140 p. [4]
- EUROPEAN Standard EN 12975-1:2006 - Thermal solar systems and components — Solar collectors — Part 1: General requirements. European Committee for Standardization. 2010.
- Fisher, S. ; Kramer, K. Topic report for WP2 Solar thermal collectors - *Experience from tests on concentrating and tracking collectors*, 2012.
- Osório T.V.P. 2011. Coletores Solares Térmicos sob Condições Transientes - Caracterização óptica e térmica com base no modelo quasi-dinâmico. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Física Tecnológica, Lisboa.
- Price, H. 2006. Field survey of parabolic trough receiver thermal performance. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, Technical report, Relatório.
- Price, H., 2003. A Parabolic Trough Solar Power Plant Simulation Model. International Solar Energy Conference, Hawaii Island, Hawaii,
- Rolin M.M, Fraidenraich N. , Tiba C., 2009. Analytic modeling of a solar power plant with parabolic linear collectors, Solar Energy, vol. 83, 126–133.

## THEORETICAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF CONCENTRATING SOLAR COLLECTORS USING THE QUASI DYNAMIC METHODOLOGY

**Abstract.** *This work presents a study of case utilizing data obtained from tests performed in a solar concentrating through collector and had the main goals to evaluate the thermal efficiency, as well, as, other important parameters which allowed the characterization of the collector, such as, the determination of the incident angle modifier “IAM”, and the effective collector thermal capacity. The concentrator is the main component of a small solar facility, named “Solar Plant”, which is localized at the Campus II of CEFET-MG. In this work it was utilized a methodology denominated “quasi dynamic method” described in the Brazilian Standard ABNT NBR 15745-2 of 2009, which is based on the European Standard EN 12975 of 2006. The standards use the model proposed by (Peres, 1997 apud Osório, 2011) and according Osório this method is very versatile. Further, the Standards established other tests beyond the more conventional steady state test, such as, the tests to determinate the IAM and the thermal capacity of the collectors (Fischer et al, 2006). The tests were conducted in the months of July and August of 2013 and the collected data were the collector flowrate, inlet and outlet temperatures of the working fluid though the collector beyond the solar radiation incident in the horizontal plane, as well as, in the aperture plane of the collector. A mathematical model named Multivariable Linear Regression “MLR” is recommended by the standards and was used in this work to determine the thermal efficiency, the IAM among others parameters for the collector characterization. This method, according Osório, allows speed up the process of testing collectors in an order of two, compared to the conventional steady state method. The mayor advantage of the quasi dynamic method is that it is more flexibility than the steady state regarding the restriction of data acquisition, allowing the variation of variables such as solar beam radiation and fluid temperatures during part of the tests. In this work it is also presented an option that allowed the separation of the angle of incidence for the beam radiation, that allowed to obtain the terms of the thermal efficiency and the parameter “ $b_0$ ” part integrant of the IAM.*

**Key words:** *Parabolic cylinder concentrators, quasi-dynamic.*