

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

CONTROLE E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO DE PEQUENO PORTE

Lino Wagner Castelo Branco Portela, lino.wagner@hotmail.com¹

Erilson de Sousa Barbosa, erilson@ufpi.edu.br¹

Patrick Abreu Oliveira, patrick.abreu@live.com¹

¹Universidade Federal do Piauí – UFPI, Laboratório de Energias Renováveis – LER, Curso de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – Bairro Ininga – CEP: 64049-550 – Teresina-PI

Resumo: Concentradores solar parabólicos são comumente utilizados em sistemas solar térmicos nos quais o fluido de trabalho atinja temperaturas mais elevadas do que as que podem ser obtidas em coletores solar de placa plana. O concentrador solar parabólico necessita de um sistema de controle que o posicione adequadamente durante o dia em relação ao sol de forma a coletar a radiação solar direta e concentrá-la no tubo localizado no foco da calha parabólica. Este trabalho tem por objetivo apresentar um sistema de controle eletrônico microcontrolado para o acionamento do atuador de um concentrador solar parabólico, bem como a análise do seu desempenho. O sistema de controle é composto por uma placa eletrônica com um microcontrolador em seu núcleo e sensores do tipo LDR (Light Dependent Resistores) que varia sua resistência de acordo com a incidência de luminosidade em sua superfície e são os responsáveis por buscar os melhores níveis de radiação solar. Como validação do funcionamento do sistema de controle, são apresentadas a análise do comportamento dos sensores LDR's quando expostos aos mesmos níveis de radiação solar, as medições de temperaturas em pontos externos da parede do tubo de cobre que recebe a radiação solar concentrada e a medição da radiação solar.

Palavras-chave: Concentrador Solar, Sistema de controle, Energia Solar



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

1. INTRODUÇÃO

A energia solar pode ser transformada em energia térmica de várias formas diferentes. Desta forma, pode constituir uma alternativa à utilização constante das fontes de energias convencionais, como os derivados do petróleo e o carvão mineral. O território brasileiro está entre os que apresentam enorme potencial para exploração da radiação solar. Apesar disso, ainda é bastante reduzido o uso dessa tecnologia e o seu desenvolvimento.

O estado do Piauí é conhecido nacionalmente por ter, ao longo do ano, a sensação de elevados índices de radiação solar, elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar. Estes três fatores juntos apresentam-se como uma condição bastante favorável ao uso de concentradores solar parabólicos. De acordo com Martins *et al.* (2005), o estado do Piauí faz parte de um grupo de regiões que apresentam os maiores valores de irradiação solar direta e no plano inclinado.

Nos últimos anos no estado do Piauí, o governo, as instituições de ensino e empresas privadas despertaram para o potencial energético deste estado. Nesta região do Brasil, há a tendência maior no uso de placas fotovoltaicas para geração de energia elétrica em baixa escala, sobretudo em regiões rurais, apesar destes sistemas ainda apresentarem elevado custo financeiro de implantação.

Concentradores solar parabólicos (CSP) são coletores de radiação solar cujo funcionamento consiste basicamente em aquecer um fluido, mais comumente água ou óleo térmico, o qual passa no interior de um tubo montado no foco da calha parabólica. O aquecimento é resultado da concentração, neste tubo, da radiação solar incidente em sua abertura.

Os CSP têm várias aplicações que vão desde o aquecimento de água para processos industriais à geração de eletricidade da ordem de dezenas de Mega Watts. Werner (2006), constatou que em 32 países da Europa envolvidos na pesquisa, 57% dos processos de aquecimento industriais demandavam fluidos em temperaturas abaixo de 400 °C. Portanto, a utilização de concentradores solar parabólicos de pequeno porte pode representar uma economia de energia elétrica relevante para o setor industrial.

Para que o concentrador solar parabólico funcione adequadamente, é necessário que este esteja acompanhado de um sistema auxiliar de rastreamento da radiação solar direta. De acordo com Lee *et al.* (2009), sistemas de rastreamento da radiação solar direta se baseiam, basicamente, em três métodos, a saber: controle *closed-loop* (*feedback*), controle *open-loop* (*forward-loop*) e controle híbrido. O controle do tipo *closed-loop* usa sensores ópticos para detectar em tempo real a posição do sol. Neste caso, uma boa exatidão pode ser obtida. No controle do tipo *open-loop*, o sistema de rastreamento é pré-programado no qual devem ser inseridos dados da posição geográfica em que o concentrador está instalado. O controle *open-loop* é altamente confiável, porém esta forma de rastreamento não consegue identificar distúrbios no sistema eletrônico, ou seja, é desprovido de *feedback*. Alexandru e Pozna (2010), afirma que o rastreamento solar através do método *closed-loop* pode causar erros de seguimento em situações de céu nublado, por exemplo. A utilização do sistema de controle híbrido goza da confiabilidade do controle do tipo *closed-loop* e possibilita a correção da posição do concentrador por meio do *feedback*, o qual é uma característica do controle do tipo *open-loop*.

Barbosa (2009) desenvolveu um sistema de rastreamento do tipo *closed-loop* utilizando um microcontrolador da família AVR e apenas dois LDR's para controlar um concentrador solar parabólico de dimensões (1800 x 2000) mm e tubo absorvedor de 50 mm de diâmetro. Neste caso, obteve-se temperatura máxima de 186 °C.

No presente trabalho foi utilizado um sistema de rastreamento solar utilizando o método de controle *closed-loop*.

2. O CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO

O concentrador solar parabólico no qual foi fixado o sistema de rastreamento foi desenvolvido no Laboratório de Energias Renováveis da Universidade Federal do Piauí. A estrutura do coletor solar foi fabricada com perfis quadrados e retangulares de aço carbono e foi utilizada uma chapa de aço inox espelhada AISI 430 de 0,8 mm de espessura como superfície refletora. No foco da calha parabólica foi montado um tubo de cobre com diâmetro de ½". A abertura do concentrador é de 900 mm de largura e 1800 mm de comprimento.

Para transmissão de movimento e torque entre o atuador do tipo motor de passo e a estrutura do concentrador, foi utilizado um sistema mecânico composto por correia dentada e polias sincronizadoras. A Figura 1 apresenta a imagem do concentrador solar parabólico.



Figura 1. Fotografia do concentrador solar parabólico.

3. O SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR

Para rastrear o sol ao longo do dia, foi desenvolvido um sistema de rastreamento o qual foi fixado à estrutura do concentrador parabólico. Este sistema é composto por uma placa eletrônica com um microcontrolador em seu núcleo e um módulo de sensores de luminosidade.

A placa eletrônica contém um microcontrolador PIC 18F4550 da Microchip™. Este microcontrolador apresenta uma quantidade de portas e recursos bem superior aos que foram exigidos no rastreamento do sol. Entretanto, em virtude da disponibilidade da placa foi utilizado este microcontrolador. Além disso, o software embarcado neste microcontrolador pode facilmente ser utilizado em outro *chip* mais simples com poucas alterações de configuração e sem alterações na sintaxe do código.

A Figura 2 apresenta uma fotografia da placa eletrônica utilizada com o microcontrolador no seu núcleo.

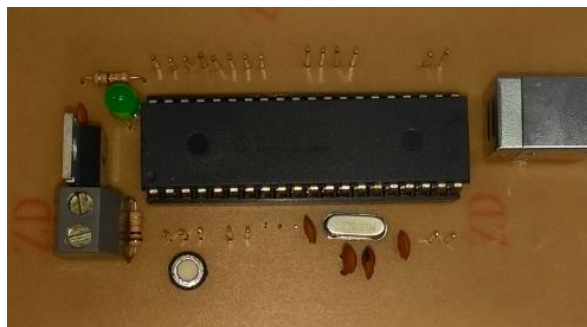


Figura 2. Placa eletrônica com um microcontrolador PIC 18F4550 em seu núcleo.

O módulo de sensores de luminosidade é composto por três sensores NORPS-12 do tipo LDR (Light Dependent Resistors). O *datasheet* deste componente o define como uma célula fotocondutiva de CdS, a qual tem uma resposta espectral similar à do olho humano. Segundo Dally *et al.* (1993), o LDR é fabricado a partir de materiais semicondutores, normalmente sulfeto de cádmio (CdS) ou seleneto de cádmio (CdSe), pois estes apresentam uma excelente resposta fotocondutora. A Figura 3 apresenta o módulo de sensores com os LDR's.



Figura 3. Módulo de sensores LDR's.

Os LDR's localizados nos planos inclinados são responsáveis por fornecer a tensão elétrica que determinará em qual sentido o concentrador deverá girar. O LDR localizado no centro do módulo é responsável por monitorar as condições climáticas, como céu claro ou céu nublado.

A Figura 4 apresenta a variação da resistência elétrica medida em ohm do LDR NORPS-12 em função da variação do índice de luminosidade medida em *footcandle*.

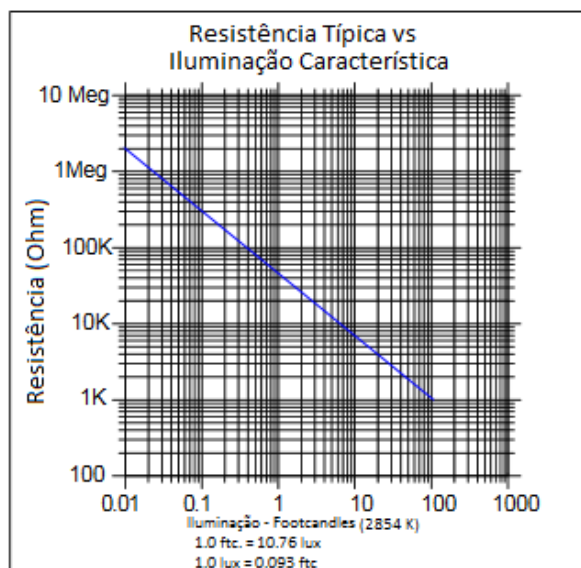


Figura 4. Variação da resistência elétrica do LDR em função da variação da luminosidade medida em *footcandle*.

4. CALIBRAÇÃO DE SENSORES E INSTRUMENTAÇÃO PARA COLETA DE DADOS

Antes de verificar o desempenho do sistema de rastreamento, fez-se necessário realizar a calibração dos LDR's. Sabe-se que diferenças na montagem e na fabricação podem provocar diferenças de sinais em dispositivos semelhantes quando estes estão submetidos sob as mesmas condições de luminosidade. Desta forma, foram coletados dados de tensão elétrica dos três LDR's no dia 06/11/2015. A Figura 5 apresenta o gráfico com o conjunto de dados de tensão elétrica dos três LDR's.

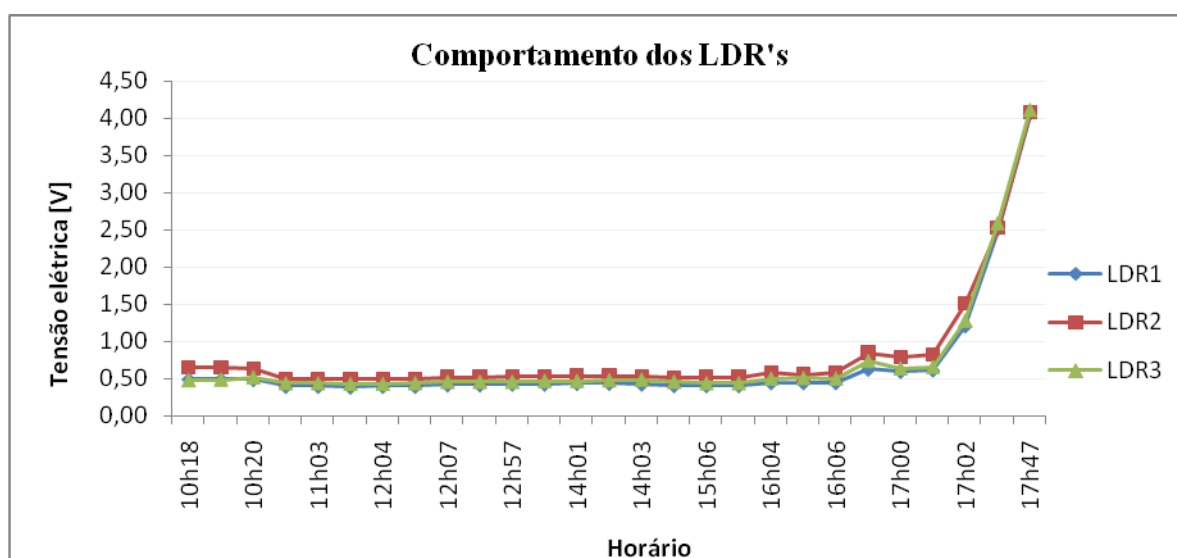


Figura 5. Resposta da variação das tensões elétricas dos LDR's em função da variação da radiação solar.

No gráfico da Figura 5, os LDR's 2 e 3 são os que estão localizados nos dois planos inclinados e são responsáveis por definir o sentido de rotação do concentrador. O LDR 1, localizado na parte central e plana do módulo, tem a função de monitorar os níveis de radiação. Verifica-se no gráfico que em condições de céu aberto, no período de 10h18min a 17h01min aproximadamente, a diferença de tensão elétrica de 0,10V entre os LDR's 2 e 3 é um valor razoável a ser utilizado como compensador para a calibração no software do microcontrolador. Com a proximidade do período da

noite, por volta de 17h30min, verificou-se que a diferença de tensão elétrica entre os sensores aumenta bastante. Entretanto, em virtude dos baixos níveis de radiação solar deste período, o concentrador já deve estar desativado, sendo irrelevante qualquer variação de tensão elétrica nos LDR's

Após a calibração dos LDR's, foi feita a análise do desempenho do sistema de rastreamento do sol propriamente dito. Para validar este desempenho, fez-se um comparativo com o resultado obtido por Barbosa (2009), no qual atingiu-se temperatura máxima de 186 °C no tubo absorvedor. Embora o concentrador utilizado neste trabalho tenha dimensões menores, partiu-se da hipótese que tendo-se melhores níveis de radiação solar, menor perda de calor por convecção e menor diâmetro do tubo absorvedor, temperaturas superiores a 186 °C poderiam ser obtidas. Foram, então, coletados dados de temperatura na parede externa do tubo de cobre localizado no foco da calha parabólica, e dados de radiação solar. Para a coleta de dados de temperatura, foi utilizado termopar do tipo K. Para a coleta de dados de radiação solar foi utilizado um piranômetro KIMO™, modelo CR110 que possui faixa de medição entre 0 a 1500 W/m², resposta espectral 400 a 1100 nm, sonda remota com cabo de 2000 mm com sensor fotovoltaico com filtro UV, eletrônica protegida por caixa em ABS com grau de proteção IP65.

O registro e monitoramento das variáveis dessa pesquisa foram feitos através de um registrador de dados da marca Contemp™, modelo A202. Este *datalogger* é caracterizado por oito entradas universais configuráveis. Sua interface computacional permitiu monitorar e caracterizar os dados que foram fornecidos pelos LDR'S, pelo piranômetro e pelo termopar em unidades de tensão elétrica, e de corrente elétrica. A partir disso foram desenvolvidos gráficos relacionando essas variáveis, tornando possíveis as análises e conclusões. A Figura 6 mostra o datalogger A202 que foi utilizado neste experimento.

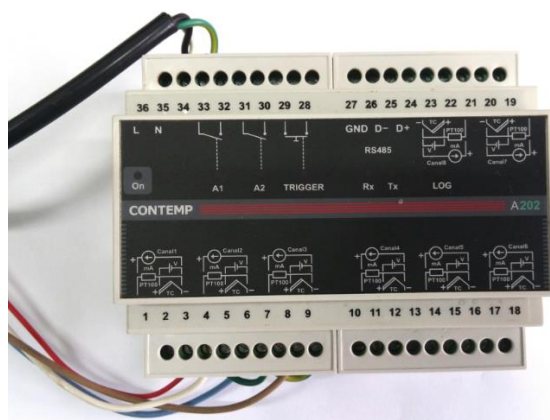


Figura 6. Datalogger Contemp™, modelo A202.

5. RESULTADOS OBTIDOS

O desempenho do concentrador solar parabólico foi verificado a partir dos dados de radiação solar e da temperatura do tubo absorvedor coletados no período da tarde. A Figura 7 apresenta imagens do concentrador solar parabólico enquanto este estava em operação e eram coletados os dados.

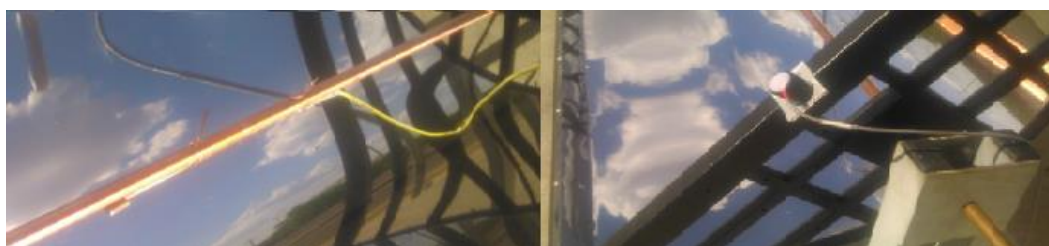


Figura 7. Fotos do concentrador em operação durante a coleta de dados.

Os dados de temperatura e radiação solar foram apresentados em forma de gráfico como mostra a Fig. 8.

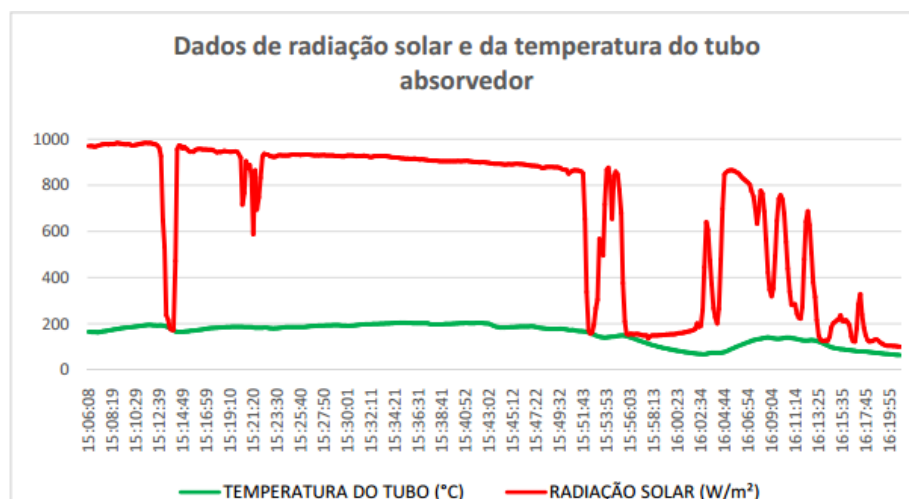


Figura 8. Dados de radiação solar e da temperatura do tubo absorvedor.

Pelo gráfico da Fig. 8, verifica-se a presença de elevados índices de radiação solar. Podemos constatar que, enquanto o céu permaneceu sem a incidência de nuvens, a incidência de radiação solar ficou acima de 800 W/m². Durante este período, em vários momentos chegou-se a ter mais de 900 W/m². Em relação à temperatura no tubo absorvedor, a maior temperatura medida foi de 204 °C. Observa-se também que este tipo de coletor apresenta baixo desempenho quando há a presença de muitas nuvens no céu. Isto pode ser visto no gráfico a partir de 15h52min. Testes adicionais serão realizados para verificar as temperaturas obtidas em diferentes tipos de fluidos quando estes forem conduzidos no interior do tubo absorvedor.

6. CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos de temperatura do tubo localizado no foco da calha parabólica e verificando a variação desta temperatura com a variação do nível de radiação solar incidente, constatou-se que o sistema de rastreamento, após a calibração dos sensores LDR's apresentou desempenho satisfatório, considerando que obteve-se temperaturas superiores a 186 °C no tubo absorvedor em momentos de céu claro. Constatou-se também que o tubo, apesar de permanecer exposto ao ambiente, sofreu baixa perda de calor pelo fenômeno de convecção. Este fato se dá em virtude da reconhecida baixa velocidade de vento que é comum na cidade de Teresina, Piauí.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo fomento da pesquisa através do edital N° 18/2013 MCTI/CNPq/SPM-PR/Petrobras - Meninas e Jovens Fazendo Ciências Exatas, Engenharias e Computação.

8. REFERÊNCIAS

- Martins, F.R., Pereira, E.B., Abreu, S.L., Colle, S., 2005, “Mapas de irradiação solar para o Brasil – Resultados do Projeto SWERA”, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, pp. 3137-3145.
- Werner, S., 2006, "The European heat market, work package 1." Final Rep. Brussels: Euroheat & Power.
- Lee, C.Y., Chou, P.C., Chiang, C.M., Lin, C.F., 2009, “Sun Tracking Systems: A Review”, Sensors Journal, pp. 3875-3890.
- Alexandru, C., Pozna, C., 2010, “Simulation of a dual-axis solar tracker for improving the performance of a photovoltaic panel”, Proceedings of the institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. Vol. 224, Issue 6, pp. 797-811.
- Barbosa, E.S., 2009, "Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Concentradores Parabólicos de Baixo Custo Aplicados à Refrigeração", Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 97p.
- Dally, J.W., Riley, W.F., McConnel, K.G., 1980, “Instrumentation for Engineering Measurements”, 2ª. Ed. John Wiley & Sons, Inc.

9. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

PERFORMANCE CONTROL AND ANALYSIS OF A SMALL-SIZED PARABOLIC SOLAR CONCENTRATOR

Lino Wagner Castelo Branco Portela, lino.wagner@hotmail.com¹

Erilson de Sousa Barbosa, erilson@ufpi.br¹

Patrick Abreu Oliveira, patrick.abreu@live.com¹

¹Universidade Federal do Piauí – UFPI, Laboratório de Energias Renováveis – LER, Curso de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – Bairro Ininga – CEP: 64049-550 – Teresina-PI

Abstract. *Parabolic solar concentrators are commonly used in thermal solar systems in which the working fluid reaches higher temperatures than those ones obtained from flat plate solar collectors. Parabolic solar concentrators require a control system that places it properly during the day in the sun direction in order to collect the direct solar radiation and concentrate it in the pipe placed in the focus of the parabolic trough. This study aims to present an electronic micro-controlled control system to activate a parabolic solar concentrator, as well as to analyze its performance. The control system consists of an electronic board with a microcontroller in its core and LDR (Light Dependent Resistor) sensors that vary its resistance according to the light incidence on its surface and seek for the best levels of solar radiation. As a validation of the control system operation, the behavior analysis of LDR sensors when exposed to the same levels of solar radiation, the temperature measurements at external points of the wall of the copper pipe that receives the concentrated solar radiation and the measuring of solar radiation are presented.*

Keywords: Solar concentrator, Control system, Solar energy