

# ESTRATÉGIAS DE COLEÇÃO SOLAR PARA SISTEMAS FV PLANOS

**Manoel Henriques de S. Campos Filho** – henriques.campos@hotmail.com  
Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear  
**Chigueru Tiba** – tiba@ufpe.br  
Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear  
**Tiago Leite Rolim** – tlr@ufpe.br  
Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica  
**Sérgio da S. Leal** – sergio-lealifpe@hotmail.com  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

**Resumo.** *As vantagens do rastreamento solar são bem conhecidas em termos do aproveitamento de energia. O uso de tais sistemas pode aumentar, por exemplo, o total de energia coletada em torno de 20% em locais típicos e em 30% para áreas de alta incidência de irradiação solar. Por outro lado, com a produção em massa de componentes eletrônicos, a tecnologia tornou-se menos dispendiosa resultando no surgimento de centenas de rastreadores solares no mercado, cada um com diferentes graus de precisão e estratégias de rastreamento. Nesse cenário, o presente estudo/trabalho tem como principal proposta o desenvolvimento e avaliação de um sistema de rastreamento múltiplo de eixo único (sem concentração) que pudesse executar 03 diferentes estratégias de rastreamento: (0) montagem polar fixa, (1) rastreamento contínuo e (2) rastreamento através da divisão do ângulo total diário de varredura em 07 posições fixas. Cada estratégia compartilhou uma janela de tempo de 01 minuto para cumprir suas tarefas. Os ganhos das estratégias (1) e (2), quando comparados à posição polar fixa, estratégia (0), foram os esperados, considerando as condições climáticas do período. Os erros de rastreamento foram baixos para o propósito do experimento, em média abaixo de 0,1°. Concluiu-se não haver diferença significativa no ganho de potência entre as estratégias 1 e 2, apesar da última usar apenas 07 intervalos ao longo do dia.*

**Palavras-chave:** *estratégias de rastreamento solar, rastreamento solar, painéis fotovoltaicos*

## 1. INTRODUÇÃO

Para aumentar a energia coletada considerando a irradiância direta, a ideia bem estabelecida de mover os painéis fotovoltaicos (FV) para obter perpendicularidade em relação aos raios solares (Markvart e Castañer, 2003) levou à construção de centenas de sistemas de rastreamento. Como pode ser visto ao longo da última década, existem pequenas ou mesmo insignificantes diferenças do ponto de vista dos princípios de funcionamento da eletrônica e mecânica entre os sistemas de rastreamento (Gil et al., 2009). Revisões e comparações sobre essas tecnologias já foram feitas nas quais apresenta-se detalhadamente o funcionamento/desempenho desses sistemas (Mousazadeh et al., 2009) (Mehrtash et al., 2012). Durante esses anos, fabricantes de sistemas de rastreamento desenvolveram suas tecnologias associadas a um determinado erro de rastreamento, ou seja, o desvio do ângulo entre a normal ao painel FV e o raio solar, que deveria ser nulo na condição ideal. Para conseguir essa condição ótima, o movimento contínuo de rastreamento é executado pelo aparato ajustando sua posição com o passar do tempo (Chong e Wong, 2008). Por contínuo, pode ser entendido que o sistema se move vagarosamente em pequenos passos em curtos intervalos de tempo. Pode compreender 1 minuto ou menos, dependendo da precisão pré-estabelecida. Em algumas abordagens, por exemplo, quando o sinal elétrico indicativo de movimento/parada de rastreamento vem da saída de sensores de luz separados por uma barreira intermediária, o termo contínuo se refere ao intervalo de tempo entre as situações de sombreamento parcial de um dos sensores, o que dispara o início do ajuste de posição (Oliveira, 2007). Em resumo, existe um grande número de rastreadores com movimento contínuo que, na verdade, possui um comportamento discreto na forma de pequenos ajustes. A magnitude desses ajustes depende da tolerância de cada um.

Mais precisão no rastreamento significa tanto menores intervalos como melhores dispositivos em seus subsistemas, que incluem sensores, motores/atuadores, engrenagens, relógios, etc. E, claro, resultará em mais energia coletada (Lee et al., 2009). Então, o objetivo deste estudo é avaliar a saída de potência em um sistema de rastreamento em um eixo (sem concentração) quando o erro de rastreamento é convenientemente modificado de acordo com as características concebidas para cada estratégia. O estudo tem como motivação a procura por vantagens na formulação de diferentes estratégias de rastreamento, como simplicidade aliada à robustez, em função de uma maior ou menor tolerância aos erros.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Como projeto conceitual adotado pelo sistema multi rastreador, a arquitetura mestre-escravo foi escolhida. O papel de realizar o processamento mais complexo de dados foi atribuído ao software no sistema mestre, um computador. Por outro lado, o escravo (Fig. 1) é o responsável pela rotação do painel acompanhando o movimento leste-oeste do Sol e ao

mesmo tempo armazenando a potência captada por cada estratégia. Essa tarefa é executada com a ajuda de um microcontrolador e seu respectivo *firmware* que gerencia alguns módulos: controladora de motor de passo, GPS, unidade de memória *flash*, acelerômetro e transceptor de rádio frequência através do qual os dados são transferidos entre mestre e escravo. Esse fluxo de dados inclui a configuração e atualização do *firmware* quando se faz necessário. Como se pode prever, existe uma contraparte do transceptor associada ao mestre. O *software* no sistema mestre (Fig. 2) foi escrito nas linguagens C# e C++, ao passo que no sistema escravo foi escrito em C e assembler.



Figura 1 - Sistema multi rastreador (escravo)

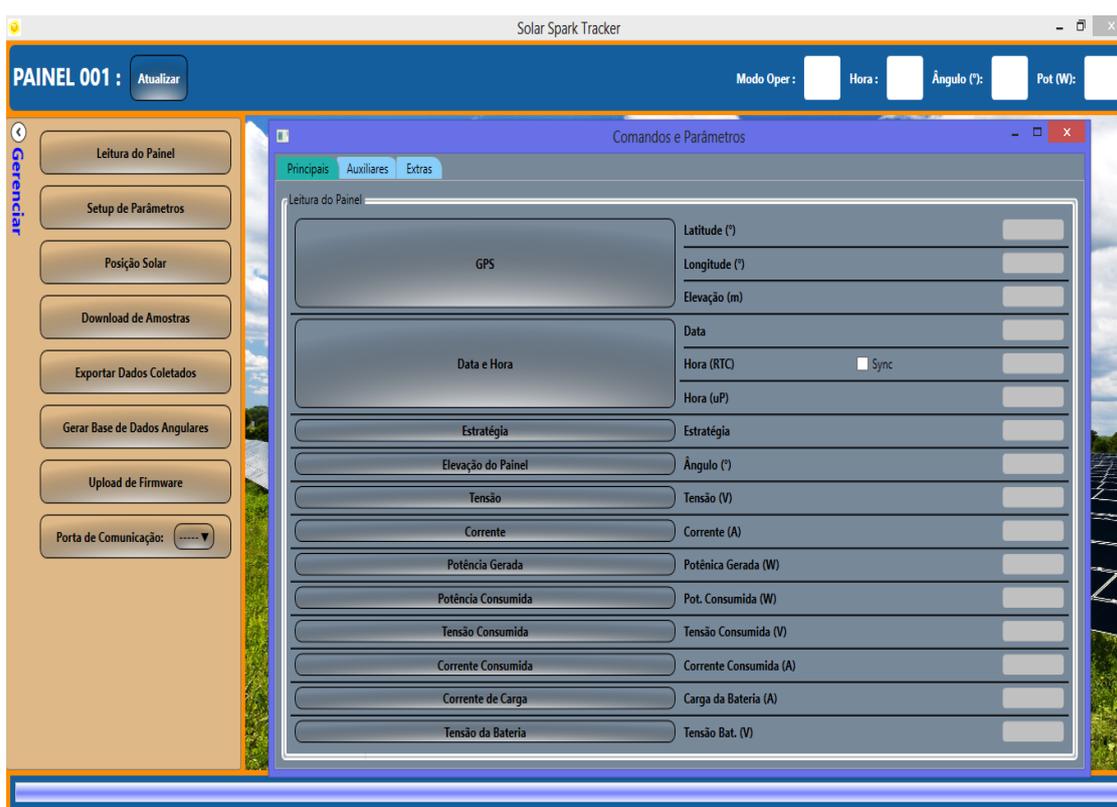


Figura 2 - O software e suas opções de controle e gerenciamento como parte do sistema mestre

Para o cálculo das posições solares, um algoritmo com ótima precisão foi selecionado (Reda e Andreas, 2004), cujas incertezas são da ordem de  $\pm 0,0003^\circ$ . Na realidade, sua precisão está além das necessidades do experimento.

Ao escravo coube a medição das coordenadas geográficas por meio do módulo GPS, que resultaram nas medidas para latitude e longitude de  $-8,054965^\circ$  e  $-34,954948^\circ$ , respectivamente, considerando sua localização na cidade de Recife-PE. Esses dados foram transferidos para o programa mestre que gerou uma base de dados de posições minuto a minuto por vários meses, no período diário das 05:45 até às 17:00, aproximadamente.

Com o eixo de rotação na posição polar, um motor de passo associado a um redutor foi acoplado ao mesmo, fornecendo uma resolução de  $0,09^\circ$  por passo durante o movimento do painel. Simultaneamente e agindo como sinal de realimentação, o valor de saída do acelerômetro fixado ao painel, é usado como medida efetiva do ângulo final de posicionamento. Essa medida tem a precisão de  $0,1^\circ$ .

Compartilhando a mesma janela de 1 minuto, 03 estratégias de rastreamento foram concebidas através da construção de algoritmos na linguagem C e gravadas no *firmware* do equipamento. Elas foram criadas para serem executadas de forma cíclica de acordo com a ordem estabelecida abaixo:

- A estratégia (0) representa a posição polar fixa. No início de cada janela de 1 minuto o painel deverá se encontrar nessa posição neutra (de ângulo de rastreamento nulo). Em seguida os dados serão coletados (potência, ângulo medido, hora, minuto, etc.) e armazenados na base de dados interna que foi criada;
- Uma vez terminada a estratégia anterior, a estratégia (2) assume o controle do equipamento, realizará as medidas dos mesmos parâmetros e também fará o armazenamento dos resultados. Nessa estratégia o painel se posiciona apenas em 07 posições ao longo do dia. Cada posição corresponde ao ângulo central de cada segmento de arco resultante da divisão do arco total de rastreamento diário em sete partes. E o segmento de arco escolhido será aquele onde se encontra o ângulo da próxima estratégia naquele instante, a (1);
- Agora será a vez da estratégia (1), que também realizará a coleta dos parâmetros e os colocará na base de dados interna. O Ângulo de posicionamento dessa estratégia é corrigido a cada janela de 1 minuto, representando um rastreamento contínuo.

Em paralelo, funciona uma estação solarimétrica responsável pela medição das irradiâncias direta, difusa e global a cada segundo. Esse dado é armazenado inicialmente por meio de um *datalogger* CR10-X. Posteriormente, ambas as fontes de dados (rastreador e *datalogger*) são reunidas em uma base de dados PostgreSQL para pós processamento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de medições precedeu o início da estação chuvosa cujo índice médio de precipitação registrou algo em torno de 280 mm durante os meses do experimento marcados por tempo instável e nublado. Isso se refletiu nos resultados através da variabilidade encontrada nas medições da irradiância global horizontal. Assim, um filtro foi usado na base de dados para selecionar os intervalos compartilhados pelas estratégias de forma que, em cada minuto, o desvio padrão da irradiância global não excedesse  $10 \text{ W/m}^2$ , sendo esse valor a incerteza associada à medição realizada pela estação solarimétrica. Os intervalos em que a variação da irradiância superou o valor dessa incerteza provavelmente representaram alterações atmosféricas causadas pela passagem de nuvens. Por essa razão foram descartados durante os cálculos de potência média por período, visto que as medições de potência em estratégias diferentes poderiam ter ocorrido diante de circunstâncias atmosféricas desiguais dentro do mesmo minuto.

O desvio médio absoluto do ângulo de rastreamento para cada estratégia está apresentado em resumo na Tab. 1, calculado com base no valor absoluto da diferença entre o valor medido e aquele previamente armazenado na memória do rastreador resultante das equações de posicionamento solar.

Tabela 1 - Resumo dos desvios de posicionamento em cada estratégia

Estratégia\Parâmetro	Desvio médio absoluto (em $^\circ$ )	Desvio padrão da média (em $^\circ$ )	Desvio máximo (em $^\circ$ )
0	0,048	0,011	0,28
1	0,097	0,009	0,45
2	0,076	0,003	0,15

Os parâmetros da Tab. 1 foram calculados de acordo com as expressões indicadas pela Eq. (1) e Eq. (2), em que  $x_i$  representa o valor medido e  $\alpha_i$  o valor calculado.

Desvio médio absoluto:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (D_i), \text{ em que } D_i = |x_i - \alpha_i| \quad (1)$$

Desvio padrão da média:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

A Fig. 3 e a Fig. 4 apresentam em gráficos o comportamento da irradiância global horizontal e da potência captada pelo painel ao longo de um dia diante da presença de tempo nublado. A ausência de uma diferença apreciável nas potências captadas pelas estratégias (1) e (2) pôde ser vista, o que se tornou marcante ao longo do período do experimento.

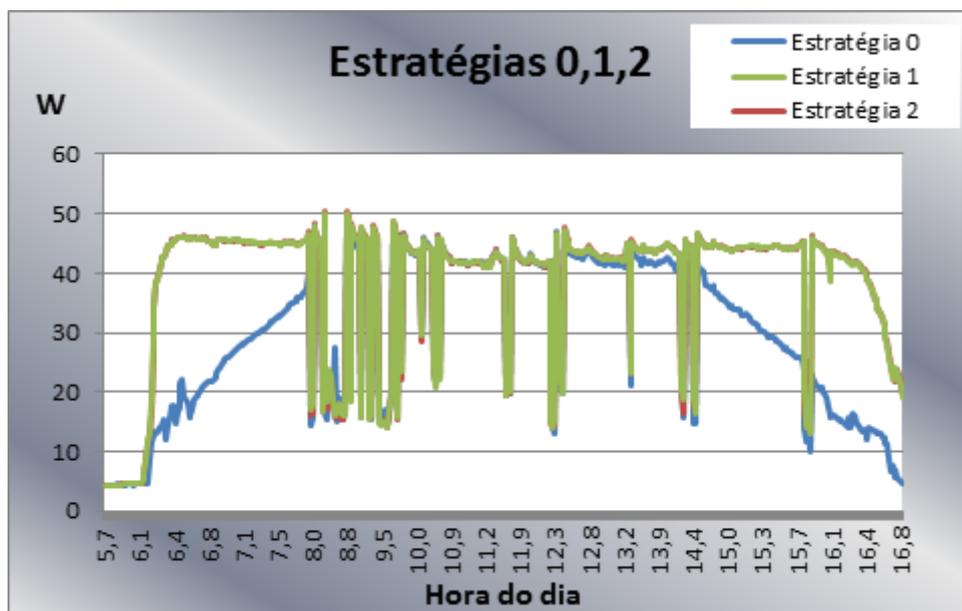


Figura 3 - Gráfico da potência medida para cada estratégia ao longo de um dia

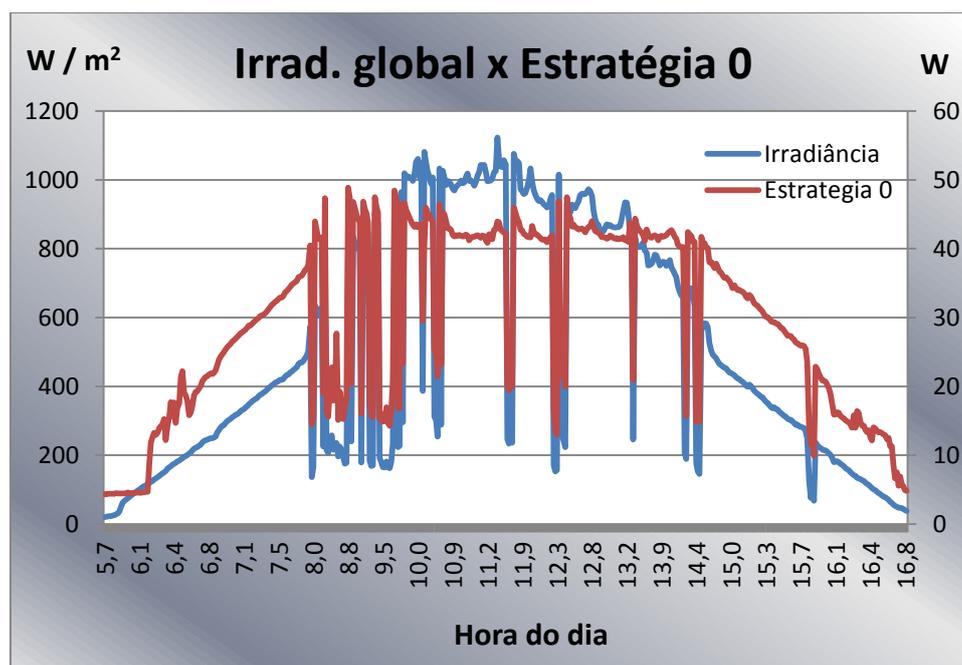


Figura 4 - Comparação gráfica da irradiância global horizontal e da potência captada pela estratégia (0) ao longo de um dia

Para explicar esse comportamento entre as estratégias (1) e (2), é útil relembrar os conceitos e definições da geometria solar (Duffie e Beckman, 2006) (Rabl, 1985) (Ochieng, 2010). Se a variável  $\epsilon$  representa o erro de rastreamento em um sistema cujo eixo de rotação encontra-se na direção norte-sul, mas não necessariamente em uma montagem polar, através de alguns cálculos por geometria foi obtida a expressão matemática da Eq. (3):

$$\cos \theta_{NS} = (\cos \delta)(\cos \epsilon) \left( \frac{\sin \omega}{\sin \psi_{NS}} \right) \quad (3)$$

Em que:

- $\theta_{NS}$  é o ângulo formado pelo raio solar e a normal ao painel. O subscrito **NS** significa a direção norte-sul do eixo de rotação;
- $\delta$  é a declinação solar;
- $\epsilon$  é o erro de rastreamento, já mencionado;
- $\omega$  é o ângulo horário solar;
- $\psi_{NS}$  é o ângulo de rastreamento. Em uma montagem polar sobre a linha do Equador,  $\psi_{NS} = 0$  seria equivalente a ter o painel na posição horizontal de rastreamento.

Apesar do termo  $\cos \theta_{NS}$  da Eq. (3) ser adimensional, ele reflete a perda de potência (por unidade de área –  $m^2$ ) quando multiplicado pelo módulo do vetor irradiância. Por essa razão, este texto se refere algumas vezes a esse fator como a perda de potência. O ângulo de rastreamento,  $\psi_{NS}$ , pode ser calculado através da expressão na Eq. (4).

$$\tan \psi_{NS} = \sin \omega / (\cos \omega \cos \beta_0 - \tan \delta \sin \beta_0) \quad (4)$$

E a variável  $\beta_0$  pode ser calculada a partir da Eq. (5):

$$\beta_0 = \beta - \lambda \quad (5)$$

Ainda,  $\lambda$ ,  $\beta$  e  $\beta_0$  são definidos como:

- $\lambda$  é a latitude do local;
- $\beta$  é inclinação da normal ao painel em relação ao plano horizontal (considerando um plano que contenha a vertical local e seja perpendicular ao plano formado pela linha do Equador);
- $\beta_0$  é a inclinação da normal ao painel em relação ao plano equatorial (considerando o mesmo plano que contenha a vertical local e seja perpendicular ao plano formado pela linha do Equador).

O fator  $\left(\frac{\sin \omega}{\sin \psi_{NS}}\right)$  na Eq. (3) pode ser interpretado como o ganho (ou perda) instantâneo(a) de potência decorrente do rastreamento leste-oeste no caso ideal ( $\epsilon = 0$ ). Se o ângulo  $\beta_0$  relativo ao plano equatorial pudesse ser alterado a partir da montagem polar para outra com o objetivo de coletar mais energia naquele momento do ano, isso poderia compensar uma diminuição do fator  $\cos \delta$ . Em outras palavras, se fosse o caso de uma montagem para rastreamento em dois eixos,  $\beta_0$  seria modificado continuamente e adequadamente para compensar a variação causada pela declinação ao longo do ano, de forma a obter-se  $\cos \theta_{NS} = \cos \epsilon$ .

Para o caso deste trabalho em particular com montagem polar,  $\beta_0 \approx 0$ . Como consequência,

$$\tan \psi_{NS} = \tan \omega \quad (6)$$

Assim, a Eq. (3) pode ser simplificada, resultando em:

$$\cos \theta_{NS} = \cos \delta \cos \epsilon \quad (7)$$

Uma vez que na estratégia (2) o painel é posicionado no ponto médio de cada um dos 7 arcos, a perda de potência no pior caso é algo em torno de 2%, considerando um arco de  $24^\circ$ . Contudo, essa perda fica mais bem caracterizada analisando a perda média ao longo de todo o arco. Então, se a variação da declinação durante cada um dos 7 arcos for desprezada, o valor médio de  $\cos \theta_{NS}$  pode ser calculado como:

$$\langle \cos \theta_{NS} \rangle = \cos \delta \langle \cos \epsilon \rangle \quad (8)$$

Após calcular o valor médio de  $\cos \epsilon$ ,  $\epsilon$  no intervalo  $[0; \epsilon_m]$ , a Eq. (8) pode ser reescrita como:

$$\langle \cos \theta_{NS} \rangle = \cos \delta (\sin \epsilon_m) / \epsilon_m \quad (9)$$

Para o caso da estratégia (1), ocorre que:

$$(\sin \epsilon'_m) / \epsilon'_m \approx 1 \quad (10)$$

Então, a perda de potência relativa pode ser escrita como:

$$\frac{\langle \cos \theta'_{NS} \rangle - \langle \cos \theta_{NS} \rangle}{\langle \cos \theta_{NS} \rangle} \approx 1 - (\sin \varepsilon_m) / \varepsilon_m \quad (11)$$

Pelo exposto, a perda de potência relativa da estratégia (2) comparada com a (1) fica estabelecida por meio da Eq. (11). E essa expressão independe da declinação solar. A perda geométrica decorrente do rastreamento em 7 intervalos pode ser calculada levando-se em conta o erro máximo de rastreamento, que no caso foi de aproximadamente  $12^\circ$ . Isso representa uma perda de cerca de 0,73%. Seria equivalente a um erro de rastreamento constante ao longo do dia de  $6,92^\circ$  na estratégia (1). Vale a pena notar que a estratégia (2) representa um movimento do painel a cada intervalo de uma hora e 36 minutos.

Se o rastreamento discreto utilizasse 5 ou 3 posições, a perda relativa seria de 1,46% e 4,1%, respectivamente. Por outro lado, em 9, 11 ou 21 posições considerando o mesmo arco total do estudo, as perdas seriam ainda menores, respectivamente 0,44%, 0,29% e 0,08%. A última opção corresponde a uma movimentação a cada 32 minutos.

Considerando a diferença anual média entre as estratégias (ou a perda da estratégia (2) em relação à estratégia (1)), surge a expressão:

$$\langle (\langle \cos \theta'_{NS} \rangle - \langle \cos \theta_{NS} \rangle) \rangle = \langle \cos \delta \rangle (1 - (\sin \varepsilon_m) / \varepsilon_m) \quad (12)$$

De modo similar, o valor médio anual de  $\cos \delta$  referente à variação da declinação  $\delta$  no intervalo  $[0, \delta_m]$  resulta na expressão:

$$\langle (\langle \cos \theta'_{NS} \rangle - \langle \cos \theta_{NS} \rangle) \rangle = ((\sin \delta_m) / \delta_m) (1 - (\sin \varepsilon_m) / \varepsilon_m) \quad (13)$$

Dado que  $\delta_m \approx 23,45^\circ$  (Goswami, Kreith e Kreider, 2000), a Eq. 13 pode ser reescrita como:

$$\langle (\langle \cos \theta'_{NS} \rangle - \langle \cos \theta_{NS} \rangle) \rangle \approx 0,972 (1 - (\sin \varepsilon_m) / \varepsilon_m) \quad (14)$$

Durante os cálculos de perda de potência, uma importante premissa foi estabelecida: a invariabilidade da irradiância durante as estratégias (1) e (2). Se, devido às condições climáticas ou outros fatores, isso não se verificar, esse comportamento precisará ser considerado nos cálculos o que poderá privilegiar, eventualmente, uma das estratégias. A tempo, é prudente enfatizar que apenas as perdas causadas pela geometria solar foram incluídas no estudo. Outros tipos de perdas não foram contabilizados.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estratégias (0) e (1) tiveram seus resultados conforme seria esperado diante de um período de tempo nublado característico da estação. Ainda, quando o índice de claridade foi baixo, a estratégia (0) recebeu mais energia que a estratégia (1) devido à irradiância difusa. Para comparar apropriadamente as estratégias, os erros de rastreamento foram todos pequenos diante dos objetivos do experimento, abaixo de  $0,1^\circ$  em média.

A visão global sobre painéis FV com sistemas de rastreamento em um eixo apresenta diversas características (Monteiro, 2007), incluindo várias perdas conhecidas, algumas associadas às perdas por conversão e outras aos desalinhamentos da estrutura mecânica do rastreador. A estratégia (2) desempenhou seu papel de simular outro tipo de problema: aquele causado pelo rastreamento impreciso. Isso foi realizado com o objetivo de compará-la com a saída de potência da melhor estratégia em termos de precisão de rastreamento, a estratégia (1). A diferença não foi significativa, apesar da estratégia (2) ter usado apenas 7 intervalos de rastreamento enquanto a (1) usou, aproximadamente, 672 intervalos. Assim, este trabalho demonstrou que, teoricamente, a perda de potência da estratégia (2) foi de apenas 0,73%, o que pode ser difícil de mensurar diante de outras perdas, ainda mais na presença de tempo instável.

Neste experimento foi usado o controle em malha fechada (Ogata, 2010) para obter mais precisão de rastreamento. A estratégia (2) mostrou que, ao tolerar valores maiores de erros de rastreamento, outros sistemas com controle em malha aberta podem ser desenvolvidos com uma pequena perda de potência captada, mas se beneficiando da simplicidade da construção.

No que diz respeito aos blocos de construção desse protótipo, o sistema multi rastreador foi concebido de forma a priorizar componentes eletromecânicos e eletrônicos que pudessem oferecer mais acurácia e resolução, ambas capazes de conferir maior controle e detalhamento das medições de cada estratégia. Porém, do ponto de vista financeiro essa concepção representou custos maiores de montagem. A escolha seletiva desses componentes também se refletiu em uma boa robustez do conjunto. Como há interesse em desmembrar as estratégias (1) e (2) em sistemas/dispositivos distintos de rastreamento, espera-se que, com a montagem e o funcionamento (isolado e simultâneo) de cada sistema, lado a lado, seja possível analisar melhor e de modo mais conclusivo suas construções sob os aspectos custo e robustez.

## REFERÊNCIAS

- Chong, K.K.; Wong, C.W. General Formula for On-Axis Sun-Tracking System and its Application in Improving Tracking Accuracy of Solar Collector, *Solar Energy* 83, pp. 298-305, 2009
- Duffie, J. A.; Beckman, W. A. *Solar Engineering of Thermal Process*. 3rd. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2006
- Gil, F.J.G.; Martín, M.D.S.; Vara, J.P.; Calvo, J.R. A review of solar tracker patents in Spain. TENERIFE: UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA, 2009
- Goswami, D. Y.; Kreith, F.; Kreider, J. F. *Principles of Solar Energy*. 2nd. ed. Philadelphia: Taylor & Francis, 2000.
- Lee, C; Chou, P.; Chiang, C.; Lin, C. Sun Tracking Systems: A Review. *Sensors*. 2009, 9, 3875-3890; doi:10.3390/s90503875
- Markvart, T.; Castañer, L. *Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications*, Elsevier Science Ltd, 2003
- Mehrtash, M.; Quesada, G.; Dutil, Y; Rousse, D. Performance Evaluation of Sun Tracking Photovoltaic Systems in Canada. 20th Annual International Conference on Mechanical Engineering-ISME2012-2329, 16-18 May 2012. 1-4
- Monteiro, F. Á. M. Desenvolvimento de um sistema de controle de baixo custo para rastreador solar. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife: Editora Universitária - UFPE, 2007
- Mousazadeh, H.; Keyhani, A.; Javadi, A.; Mobli, H.; Abrinia, K.; Sharifi, A.; A Review Of Principle And Sun-Tracking Methods For Maximizing Solar Systems Output *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 1800-1818, Jan. 2009.
- Ochieng, R. M. *Solar Collectors and Panels, Theory and Applications*, Dr. Reccab Manyala (Ed.), ISBN: 978-953-307-142-8, InTech, 2010
- Ogata, K. *Modern Control Engineering*. 5th.. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2010
- Oliveira, C. A. A. Desenvolvimento de um protótipo de rastreador solar de baixo custo e sem baterias. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife: Editora Universitária - UFPE, 2007
- Rabl, A. *Active solar collectors and their applications*. New York: Oxford University Press, 1985
- Reda, I.; Andreas, A. Solar position algorithm for solar radiation applications. *Solar Energy*, p. 577 - 589, 2004

## STRATEGIES OF SOLAR COLLECTION FOR PLAIN PV SYSTEMS

**Abstract.** The advantages of solar tracking are well known in terms of energy harnessing. The usage of such systems, can increase, for instance, about 20% the total collected energy in typical sites and about 30% in areas of high direct solar irradiance incidence. On the other hand, by means of massive electronic components production, the technology became less expensive which resulted in the emergence of hundreds of solar trackers in the world market, with several accuracy degrees and tracking strategies. In this scenario, the main proposal of this approach is the development and evaluation of a single axis multiple tracking system without concentration that can accomplish 03 different tracking strategies: (0) fixed polar mount, (1) continuous tracking and (2) tracking by division of the total daily tracking angle in seven discrete intervals. All the strategies shared the same time window of one minute to execute their tasks. The gains of strategies (1) and (2) when compared to the fixed polar position, strategy (0), had the expected values taking in account the weather conditions of the period. The tracking angle errors were low for the purposes of the experiment, below  $0.1^\circ$  on average. It was concluded that there were no significant differences in the power output between the tracking strategies (1) and (2), even though (2) uses only 07 discrete movement intervals a day.

**Key words:** solar tracking strategies, tracking strategies, photovoltaic panels