

# DESCRIÇÃO DE SEGUIDORES SOLARES E SUA APLICAÇÃO EM CENTRAIS FOTOVOLTAICAS CONECTADAS À REDE

Aimé Fleury de Carvalho Pinto Neto<sup>1</sup> – afpinto@iee.usp.br

Mario H. Macagnan<sup>2</sup> – mhmac@unisinis.br

Roberto Zilles<sup>1</sup> – zilles@iee.usp.br

Jeremias B. Lehmann<sup>2</sup> – jeremias.lehmann@gmail.com

<sup>1</sup>Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – LSF, Instituto de Energia e Eletrotécnica, Universidade de São Paulo

<sup>2</sup>Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

**Resumo.** O desenvolvimento de dispositivos para seguimento do movimento aparente do sol tem recebido muita atenção nos últimos anos. Grande parte desse desenvolvimento, no passado, estava associado com as aplicações térmicas da energia solar. Com a redução dos custos da geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos, associado com as generosas “Tarifas Prêmios” praticadas na Espanha, entre 2006 e 2008, os seguidores solares foram difundidos e utilizados de forma expressiva em centrais fotovoltaicas conectadas à rede. Frente à importância desses dispositivos e sua crescente aplicação este trabalho descreve os principais tipos de seguidores utilizados para aproveitamento e captação da energia solar e apresenta algumas particularidades de sua aplicação em centrais fotovoltaicas conectadas à rede, tais como fator de ocupação de terreno, sombreamento e incremento de produtividade.

**Palavras-chave:** Energia solar, Sistema fotovoltaico, Seguimento solar.

## 1. INTRODUÇÃO

Um seguidor ou rastreador solar é um dispositivo que orienta um gerador solar fotovoltaico, um concentrador solar ou uma lente em direção ao Sol. Concentradores e lentes requerem um elevado grau de precisão na confecção e mecanismo de posicionamento para assegurar que a radiação solar concentrada seja dirigida, do modo mais preciso possível, ao gerador solar, o qual está no (ou próximo do) foco do refletor ou lente. Aplicações sem necessidade de concentração, como os geradores fotovoltaicos, requerem menos precisão e menor complexidade na construção e operação, dispensando até mesmo o uso de um rastreador, o que pode, ao custo de uma maior simplicidade, diminuir substancialmente a quantidade de energia produzida por um determinado sistema.

Pode-se dizer que um seguidor solar é uma estrutura de fixação e apoio do concentrador solar, gerador fotovoltaico ou lente, capaz de situar seu plano de captação em um ângulo azimutal (do levante ao poente) e/ou em um ângulo de altura solar (do horizonte ao zênite) tal que o ângulo de incidência do raio solar seja o mais perpendicular possível a esse plano. Em outras palavras, a estrutura a qual irá receber os raios solares está fixada sobre um esqueleto que a faz girar seguindo a trajetória aparente do Sol em seu percurso do nascer ao por do Sol. Dessa forma, um sistema de seguimento solar típico pode ser equipado com duas características essenciais:

- Seguimento da elevação solar, para ajuste dos ângulos de inclinação durante as mudanças sazonais; e
- Seguimento solar diário ou azimutal para a máxima incidência da radiação solar ao longo do dia.

## 2. TIPOS DE SEGUIDORES SOLAR

Um seguidor solar ideal deve permitir uma superfície apontar precisamente para o Sol, compensando as mudanças na altura solar e no ângulo azimutal. O lento movimento aparente do Sol requer um sistema amortecido, que também responderá lentamente e evitará movimentos oscilatórios. Outros aspectos desejáveis incluem o reposicionamento noturno para antecipar o alinhamento para a alvorada, reduzindo perdas de energia no amanhecer. (Yazidi et al., 2006)

Os seguidores solares podem ser classificados quanto ao número de eixos rotativos, tipo de estrutura, tipo de controle, e quanto à estratégia de rastreamento.

### 2.1. SEGUIDORES QUANTO AO NÚMERO DE EIXOS

Quanto ao número de eixos os seguidores podem ser de um ou dois eixos. Os seguidores de um eixo, como o próprio nome diz, possuem apenas um eixo móvel no qual está fixada a estrutura de captação. O eixo pode ser horizontal ou inclinado, com orientação norte-sul ou leste-oeste. São mecanicamente mais simples que os seguidores de dois eixos e os movimentos podem considerar a variação contínua do ângulo solar ou apenas diária (conforme a orientação do eixo).

A maioria dos seguidores de um eixo usa uma montagem polar para atingir uma maior eficiência de captação. Eles normalmente têm um ajuste de elevação manual (eixo de inclinação) que é operado em intervalos regulares ao longo do ano (ajuste sazonal). Para sistemas com eixo de inclinação fixa, a melhor inclinação corresponde à latitude do local.

Como exemplo, os sistemas de foco linear precisam de rastreamento em um eixo, tal que a imagem caia ao longo da linha de foco. Concentradores lineares do tipo Fresnel sofrem aberrações ópticas severas quando o raio solar não for perpendicular ao eixo de translação da lente. Basicamente, o comprimento focal diminui à medida que o Sol se move da normal da lente. Isto geralmente limita sistemas lineares de Fresnel a um seguimento em um eixo (Luque & Hegedus, 2003). A Fig. 1 ilustra bem esses sistemas.

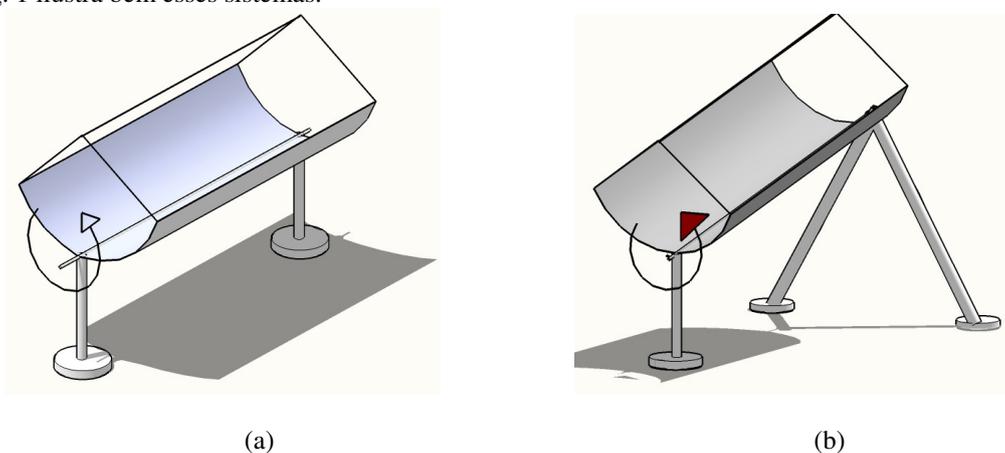


Figura 1 – Configurações de seguimento em um eixo. (a) Eixo horizontal com refletor parabólico de foco linear. (b) Eixo polar com refletor parabólico de foco linear.

O outro tipo de seguidor quanto ao número de eixo é aquele que segue o Sol em dois eixos, ou seja, além de acompanhar o movimento diário do Sol, também acompanha o movimento do Sol com as estações do ano.

Os concentradores do tipo *focal-point* geralmente requerem o seguimento do Sol em dois eixos, de tal forma que ele esteja sempre apontando para o Sol. Do ponto de vista mecânico, o seguimento em dois eixos é mais complexo do que o em um eixo; porém, sistemas do tipo *focal-point* são capazes de atingir uma relação de concentração bem mais alta, possibilitando um menor custo da energia produzida.

## 2.2. SEGUIDORES QUANTO À ESTRUTURA

No que concerne o tipo de estrutura mecânica usada no processo de rastreamento, há três tipos básicos de seguidores: tipo pedestal, tipo *roll-tilt* e tipo plataforma giratória.

O primeiro utiliza um pedestal central que apóia a estrutura do sistema de captação dos raios solares (Fig. 2). Nessa configuração, o seguimento é normalmente afetado pela caixa de engrenagens, que movimenta o sistema de captação em torno de um eixo vertical (o azimute de rotação) e ao longo de um eixo horizontal (a rotação de elevação). Uma vantagem desta configuração é a simplicidade de instalação (fixando o pedestal em um buraco, concretando a parte traseira, e colocando os sistemas de captação e engrenagem no pedestal).

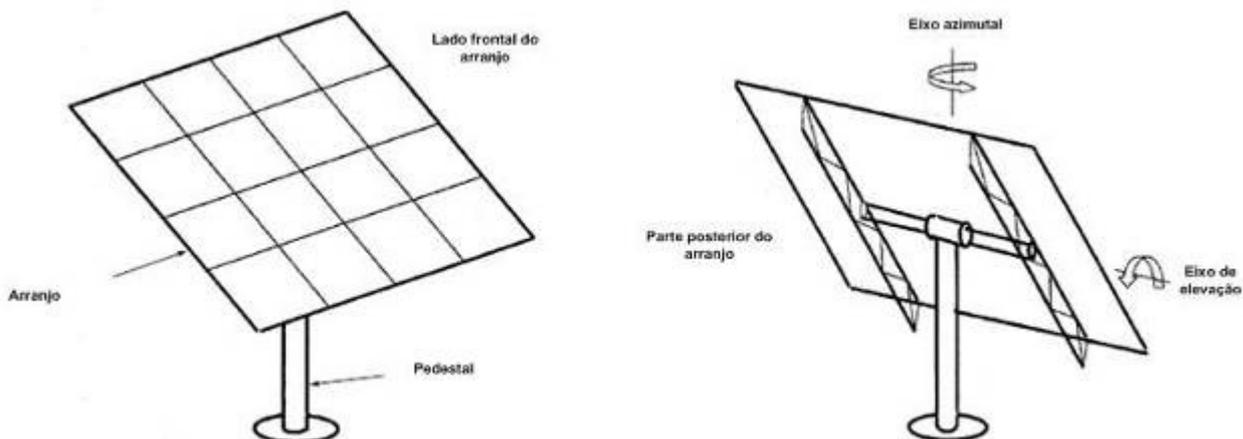


Figura 2 - Sistema de seguimento de elevação e azimute montados em pedestal para módulos fotovoltaicos. (Luke; Hegedus, 2003)

Uma desvantagem é que os ventos provocam esforços mecânicos que são transferidos à caixa de engrenagens central na forma de torques de elevadas intensidades, o que obriga o uso de caixas de engrenagens de grande capacidade.

Outra forma de seguimento em dois eixos é a estrutura *roll-tilt*, representada na Fig. 3a. Aqui os esforços mecânicos devido ao vento são consideravelmente reduzidos; porém, há a necessidade de mais acoplamentos e partes giratórias. Outra configuração do tipo *roll-tilt* usa uma armação no formato de uma caixa, com o arranjo girando entre a armação superior e a inferior (Fig. 3b).

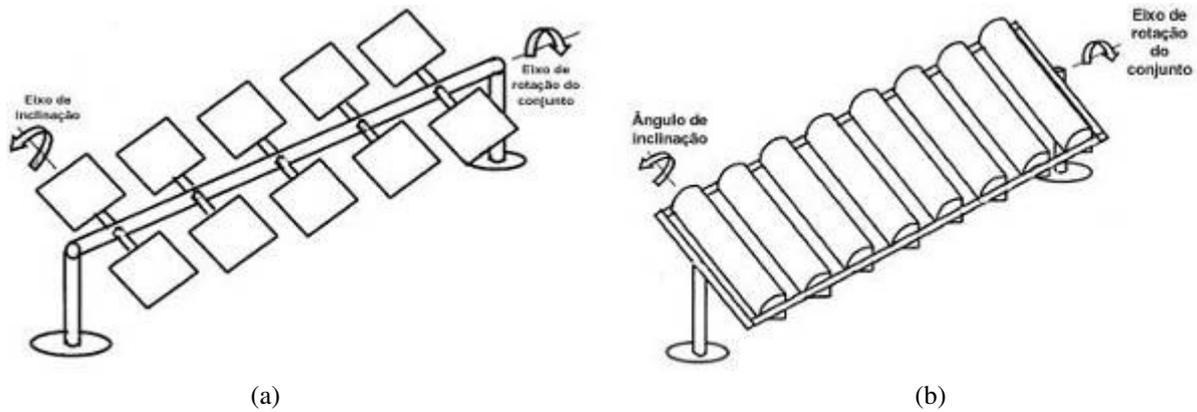


Figura 3 - Configurações de seguimento em dois eixos. (a) Rastreamento tipo *roll-tilt* de torque central por tubo; (b) Rastreamento tipo *roll-tilt* com caixa de moldura. (Luke; Hegedus, 2003)

Dentre as configurações mais comuns entre sistemas de grande porte estão as plataformas giratórias como as das Fig. 4a (seguimento com plataforma giratória e gerador fotovoltaico) e 4b (seguimento com plataforma giratória e concentrador solar).

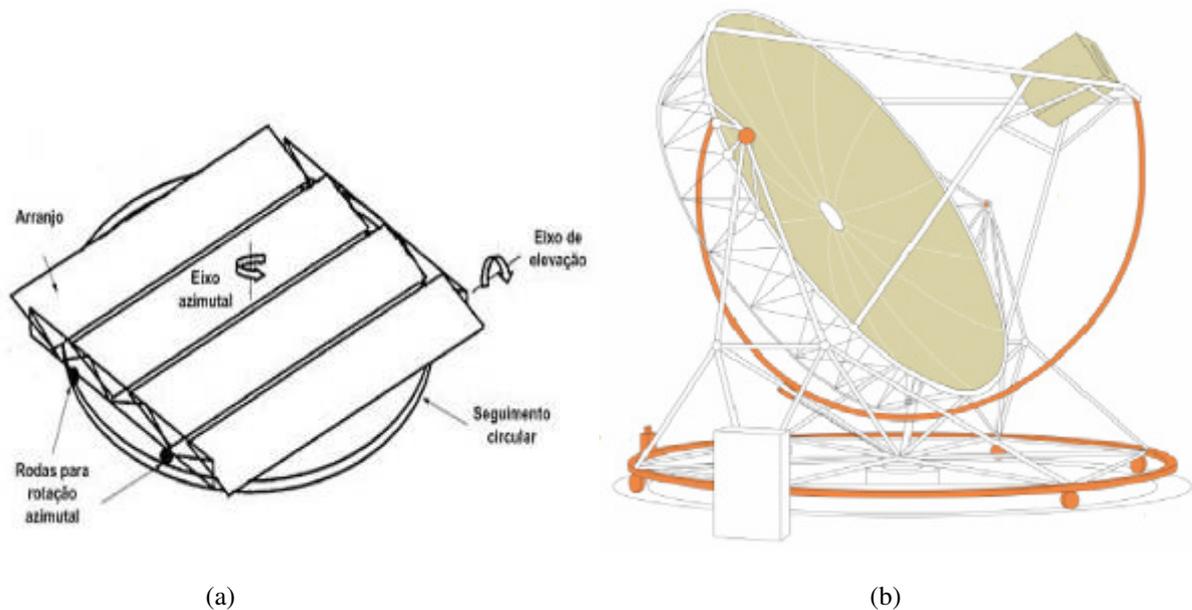


Figura 4 - Configurações de seguimento em dois eixos. (a) Rastreamento em plataforma giratória (Luke; Hegedus, 2003); (b) Rastreamento em plataforma giratória com concentrador parabólico (Geyer, 2007).

### 2.3. SEGUIDORES QUANTO AO TIPO DE CONTROLE

Há três tipos principais de seguidores solares quanto ao tipo de controle: passivos, microprocessados e eletro-óticos.

Sistemas passivos rastreiam o Sol sem qualquer circuito eletrônico ou motores. Estes seguidores contêm um fluido comprimido de baixo ponto de ebulição em uma rede de tubos. Quando a estrutura está desalinhada, os raios solares aquecem o fluido presente nos tubos, mais em um dos lados do tubo do que nos outros. Essa diferença de temperatura faz com que o fluido aquecido se desloque, provocando um desbalanceamento e fazendo com que seja pressionado um pistão ou simplesmente o fluido flua para o outro lado dentro do tubo, forçando a estrutura a se mover pela força da gravidade. Esses seguidores são simples, mas de baixa precisão. Apresentam também amortecedores para

prevenir movimentos indesejados provocados por ventos fortes. Refletores são utilizados para direcionar os raios da manhã para levantar o seguidor para a posição inicial. A Fig. 5 ilustra o sistema de seguimento solar passivo da Zomework.



Figura 5 – Rastreador solar passivo da Zomeworks. Fonte: < <http://zomeworks.com/products/pv-trackers>>

Os seguidores controlados por microprocessador (tipo microprocessado) utilizam equações matemáticas para prever a posição do Sol e acionar os motores de passo ou codificadores ópticos para efetivar o posicionamento da estrutura de captação. Eles são utilizados geralmente em grandes sistemas, onde um seguidor controla vários outros. Muitos seguidores microprocessados utilizam sensores eletro-ópticos para auto-calibração. Eles também podem ser auto-calibrados sem sensores, utilizando uma rotina de maximização de corrente. Este tipo de seguidor é muito preciso, porém necessita de instalação com alto nível de precisão, o que é difícil de conseguir.

Os seguidores eletro-ópticos dão resultados muito bons em condições climáticas boas. Esses seguidores utilizam fotosensores para identificar a posição do Sol.

#### 2.4. SEGUIDORES QUANTO À ESTRATÉGIA DE RASTREAMENTO

Há três tipos de seguidores solares de um eixo quanto à estratégia de rastreamento: seguidor solar polar, seguidor azimutal (eixo vertical) e seguidor solar de eixo horizontal.

O seguidor polar (Fig. 6) tem seu plano girante sobre um eixo com orientação norte-sul inclinado na latitude do local, ficando o eixo paralelo ao da Terra. Mais precisamente, é um eixo perpendicular a eclíptica (plano imaginário que descreve o caminho aparente do Sol) nos equinócios. Sua montagem é simples e bastante eficiente, podendo utilizar um painel fotovoltaico auxiliar para alimentar o sistema de movimentação assim como para servir de sensor para o seguimento (Oliveira, 2008).



Figura 6 – Seguidor solar do tipo polar com painel auxiliar. (Oliveira, 2008)

O seguidor do tipo azimutal ou de eixo vertical (Fig. 7a) utiliza um motor no eixo vertical para fazer o seguimento no sentido leste-oeste. Este tipo de rastreador é de montagem mecânica e elétrica simples, apresentando um bom desempenho em latitudes onde as estações do ano e dias são longos (Oliveira, 2008). A inclinação pode ser fixa ou ajustável manualmente, conforme a estação. Tem vantagem em relação aos polares, no fato de produzirem menos sombra devido a sua forma de seguimento. Um exemplo de aplicação desse tipo de seguidor é mostrado na Fig. 7b, o qual está sendo utilizado na Central Fotovoltaica de Amareleja, Portugal. A central possui 36 seguidores, cada um com

140 m<sup>2</sup> de superfície. O controle do seguimento é realizado de forma similar ao anterior. Essa forma de seguimento apresenta como vantagem adicional o controle exercido individualmente em cada seguidor, isto é, para evitar o pico de potência que seria produzido se todos os motores de acionamento dos seguidores da central fossem acionados simultaneamente, o sistema controla o acionamento de forma seqüencial.

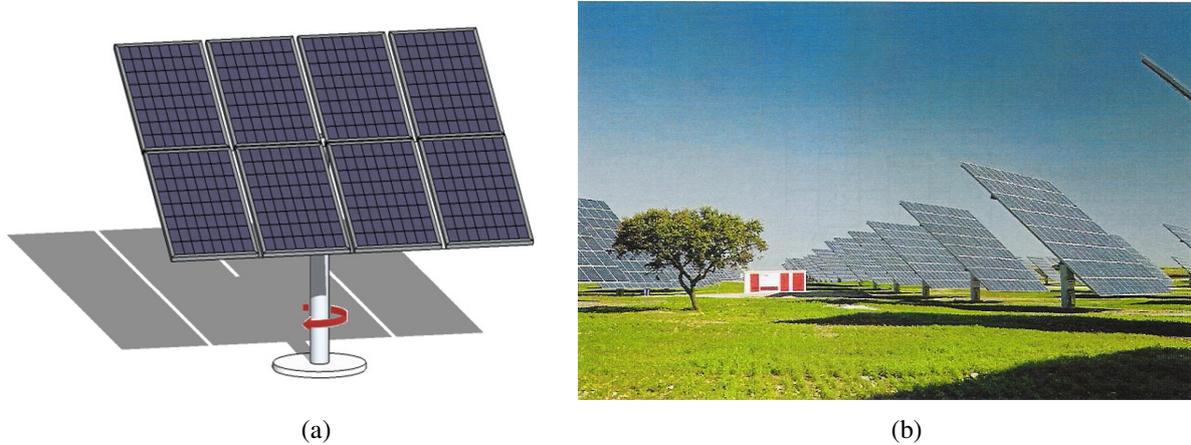


Figura 7 – Seguidor solar do tipo azimutal ou de eixo vertical: (a) tipo de movimento e (b) exemplo de aplicação na Central Fotovoltaica de Amareleja, Portugal.

O seguidor do tipo eixo horizontal (Fig. 8) segue o movimento aparente diário do sol, ou seja, segue o ângulo horário do sol. Possui montagem robusta e simples, tem rendimento reduzido com o aumento da latitude. Destaca-se pelo fato de poder utilizar apenas um motor para o seguimento de várias estruturas, ou seja, fácil modularização, também leva vantagem em relação a outros seguidores na questão de estabilidade mecânica e tamanho da fundação necessária para sua fixação.



Figura 8 – Seguidor solar do tipo horizontal (Wattsun HZ-Series). Fonte: [http://www.wattsun.com/commercial\\_gallery.html](http://www.wattsun.com/commercial_gallery.html)

Há dois tipos de seguidores solares de dois eixos quanto à estratégia de rastreamento: seguidor solar polar (equatorial) e seguidor solar azimutal/elevação (altitude-azimute).

No tipo equatorial, um eixo é inclinado de acordo com o ângulo da latitude local, e o ângulo de seguimento neste eixo acompanha o ângulo horário.

No outro eixo, o qual é perpendicular ao primeiro, o ângulo de seguimento gira junto com o ângulo de declinação solar.

Como a variação horária do ângulo de declinação é muito lenta, o seguimento por este eixo pode ser ajustado uma vez ou poucas vezes durante o intervalo de alguns dias. A Fig. 9 ilustra um sistema de seguimento solar equatorial.

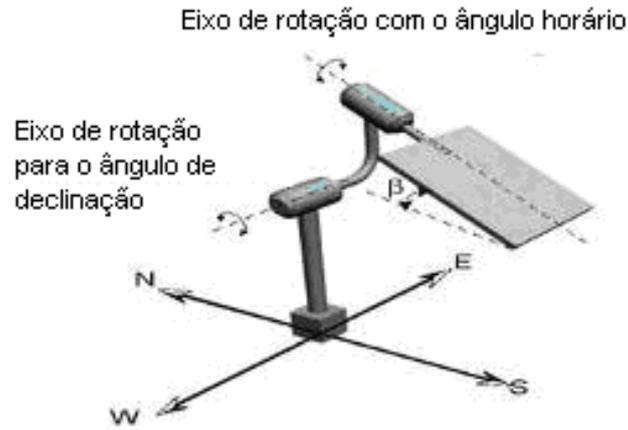


Figura 9 - Sistema de seguimento solar equatorial. (Alata et al, 2005)

No tipo altitude-azimute o sistema gira sobre o eixo zenital (eixo perpendicular) com um ângulo de seguimento igual ao ângulo azimutal. O outro eixo é paralelo à superfície da Terra e gira com ângulo igual ao ângulo da altitude solar. A Fig. 10 ilustra um sistema de seguimento solar Azimutal/Elevação.

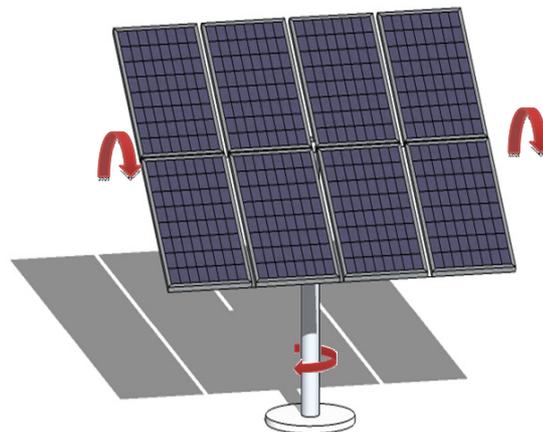


Figura 10 - Sistema de seguimento solar azimutal/elevação (altitude-azimute).

Um exemplo recente da utilização desse tipo de seguidor é apresentado na Fig. 11. Esse seguidor, fabricado pela empresa espanhola Inspira S.L. com aproximadamente 70 m<sup>2</sup> e potência nominal de 9,6 kWp. O controle de seguimento está baseado no cálculo interno de efemérides solar de precisão em laço fechado com respeito ao posicionamento e através de encoders de laço aberto com respeito à irradiância solar. Possui uma precisão de seguimento inferior a 2°.



Figura 11 – Protótipo de seguidor com dois eixos e painéis planos localizada na Universidade de Jaén, Espanha.

### 3. GANHOS DE ENERGIA ASSOCIADOS AOS TIPOS DE SEGUIMENTO UTILIZADOS

Como exercício para quantificar os ganhos de energia solar incidente na superfície de um painel plano, associados ao tipo de seguimento utilizado, são apresentados nas Tab. 1 e 2, os valores de irradiação solar global diária média mensal para cada um dos seguimentos apresentados anteriormente. Esses dados são calculados a partir de valores horários da irradiação global horizontal. A metodologia empregada está baseada na desagregação dos valores de irradiação global em suas componentes direta e difusa, empregando a correlação de Macagnan (1993). A irradiação difusa incidente em superfícies inclinadas é calculada através do modelo de Perez et al. (1990). As componentes direta e refletida pelo solo (albedo) são calculadas a partir das relações entre os ângulos de incidência de acordo com o movimento da superfície e de seu fator de forma, respectivamente, conforme Duffie e Beckman (2006).

Os dados de irradiação solar global horária relativos a Madri são provenientes do Centro de Estudios Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorología da Espanha e os de Porto Alegre, do Instituto Nacional de Meteorología (INMET). Na Tab. 1 são apresentados dados de Madri, Espanha. Como pode ser visto, utilizando como referência uma superfície com inclinação fixa de 35°, ângulo de inclinação ótimo para o local, o ganho na energia incidente é de aproximadamente 21% para seguimento norte-sul horizontal, 32,8% para norte-sul inclinado (montagem polar) e de 36,8% para seguimento em dois eixos. Resultados similares são apresentados na Tab. 2 para Porto Alegre, RS. Nesse caso, para o seguimento norte-sul horizontal o ganho é de 20,7%. Para seguimento norte-sul inclinado (montagem polar) o ganho é de 26,1% e para dois eixos de 32,9. Para os dois casos analisados, os ganhos para o seguimento leste-oeste são bastante inferiores aos demais sistemas.

Tabela 1. Valores de irradiação diária média mensal incidente em um painel plano para Madri, Espanha. Os valores estão em kWh/m<sup>2</sup>.

Mês	Horizontal	Fixa 35°	L-O hor.	N-S hor	Polar	2 eixos
Jan	1,91	3,31	3,79	2,81	4,04	4,27
Fev	2,38	3,63	3,99	3,62	4,65	4,76
Mar	4,25	5,62	5,81	6,40	7,49	7,51
Abr	5,26	5,82	5,98	7,35	7,77	7,86
Mai	6,15	6,04	6,65	8,66	8,57	8,93
Jun	7,20	6,76	7,63	9,64	9,28	9,88
Jul	7,44	7,16	7,95	10,13	9,87	10,42
Ago	6,53	6,91	7,28	9,31	9,57	9,80
Set	5,18	6,34	6,44	7,35	8,26	8,27
Out	3,26	4,53	4,74	4,73	5,80	5,84
Nov	2,03	3,20	3,54	2,78	3,82	3,96
Dez	1,60	2,64	2,96	2,12	3,08	3,23
Ano	4,43	5,16	5,56	6,24	6,85	7,06
Incremento,%	-14,2	-	7,8	20,9	32,8	36,8

Tabela 2. Valores de irradiação diária média mensal incidente em um painel plano para Porto Alegre, RS. Os valores estão em kWh/m<sup>2</sup>.

Mês	Horizontal	Fixa 30°	L-O hor.	N-S hor	Polar	2 eixos
Jan	6,15	5,60	6,27	7,82	7,41	8,10
Fev	5,89	5,51	5,79	7,41	7,34	7,67
Mar	5,02	4,94	4,93	5,91	6,22	6,33
Abr	3,74	4,24	4,31	4,54	5,14	5,26
Mai	2,54	3,16	3,32	2,93	3,60	3,78
Jun	2,25	2,82	3,04	2,54	3,21	3,44
Jul	2,52	3,27	3,52	3,03	3,78	4,03
Ago	3,18	3,69	3,82	3,89	4,51	4,66
Set	3,87	4,19	4,18	4,77	5,17	5,24
Out	4,96	4,87	4,97	6,19	6,30	6,46
Nov	6,38	5,27	5,77	7,27	7,02	7,51
Dez	6,78	5,70	6,50	8,03	7,51	8,33
Ano	4,44	4,44	4,71	5,36	5,60	5,90
Incremento,%		-	6,1	20,7	26,1	32,9

Outra figura de mérito para analisar os ganhos de energia através do uso de sistemas com seguimento solar é a produtividade anual do gerador fotovoltaico (*array yield*), definida como a relação entre o valor médio anual da energia entregue para a rede (energia em CA) e a potência nominal do gerador fotovoltaico. Esse índice representa a

produtividade energética anual unitária. Na Fig. 12 são apresentados os resultados da produtividade anual em relação a  $pi$ , definido como a relação entre a potência instantânea disponível na saída do inversor em relação à potência nominal do inversor para Porto Alegre, RS, para cada um dos tipos de seguimento considerados. Nessa análise, o rendimento utilizado para o inversor foi de 85% e as demais perdas foram desconsideradas.

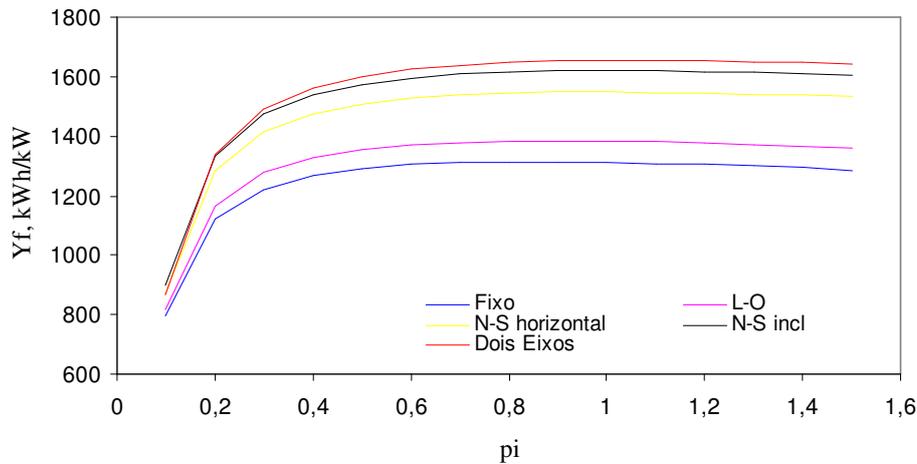


Figura 12 – Produtividade média anual ( $Y_f$ ) de uma planta fotovoltaica em função do tipo de seguimento utilizado, para Porto Alegre.

#### 4. SOMBREAMENTO E FATOR DE OCUPAÇÃO DO TERRENO

Os sistemas de geração de energia solar fotovoltaicos são geralmente constituídos de diversas filas de painéis, fixos ou com seguimento. Dependendo da posição do Sol, sombreamento parcial entre filas ou seguidores adjacentes pode ocorrer principalmente no início da manhã e final da tarde, reduzindo a energia produzida pela planta. Dessa forma, a produção de energia e a ocupação do terreno tornam-se dois parâmetros importantes para a otimização da planta de geração.

Conforme Lorenzo (2009), as perdas por sombreamento são de difícil quantificação, sendo conveniente sua estimativa a partir de algum modelo de simulação, uma vez que depende também da configuração elétrica das células nos painéis. Inúmeros artigos são encontrados na literatura tratando desse assunto, entre eles destacam-se os de Woyte et al. (2003), Karatepe et al. (2007) e Narvarte e Lorenzo (2008). Embora considerável pesquisa tenha sido realizada ao longo dos últimos anos, o impacto da configuração do sistema fotovoltaico na energia produzida em sistemas parcialmente sombreados não é completamente claro assim como as perdas associadas na produção de energia.

Especificamente em relação aos efeitos causados em sistemas com seguimento solar, Narvarte e Lorenzo (2008) elaboraram um programa para simulação bastante detalhado para quantificar a relação entre a produtividade de uma planta fotovoltaica e o fator de ocupação do terreno ( $GCR$  – *ground cover ratio*), definido como a relação entre a área dos painéis fotovoltaicos e a área total do terreno.

Resultados para alguns casos analisados mostram que a relação entre a produção máxima de energia e o  $GCR$ , para três diferentes estratégias de seguimento são:

$$\text{- Seguimento horizontal: } 1 < \frac{1}{GCR} < 2;$$

$$\text{- Seguimento com eixo norte-sul, inclinado } 20^\circ: 2 < \frac{1}{GCR} < 4;$$

$$\text{- Seguimento em dois eixos: } \frac{1}{GCR} > 4.$$

#### 5. CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentada uma revisão rápida dos tipos de sistemas de seguimento solar utilizados atualmente na maioria das plantas fotovoltaicas conectadas na rede. Segundo Narvarte e Lorenzo (2008), os custos dos sistemas fotovoltaicos conectados na rede, para o mercado espanhol, encontram-se na faixa de 5€/Wp para painéis estáticos e 6€/Wp para painéis com seguimento em dois eixos, significando um incremento de 20% nos custos de investimento. Conforme foi apresentado nas Tab. 1 e 2, para apenas dois casos analisados, o incremento da energia produzida por

esses sistemas em relação aos painéis fixos fica em torno de 33 a 37%, podendo chegar até 40% em locais onde a incidência da radiação solar direta é mais intensa.

A tecnologia hoje existente possibilita a fabricação, montagem e controle desses sistemas de forma relativamente simples, com elevada precisão e controle.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam agradecimento ao CYTED e CNPq/Cooperação Internacional pelo apoio financeiro a Ação de Coordenação “Desenvolvimento e Difusão da Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, CNPq Processo 490004/2008-3, à Unisinos pela concessão de uma bolsa IC ao aluno Jeremias B. Lehmann e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia, INCT-EREEA.

## REFERÊNCIAS

- Alata M, Al-Nimr MA, Qaroush Y., 2005. Developing a Multipurpose Sun Tracking System Using Fuzzy Control. *Energy Conversion and Management*; 46: 1229–45.
- Duffie, J.A.; Beckman, W.A., 2006. *Solar engineering of thermal process*. John Wiley, 908p.
- Geyer, M., 2007. Dish Stirling Activities at Schlaich Bergermann und Partner. Apresentação, NREL Concentrating Solar Power Technology Workshops.
- Karatepe, E., Boztepe, M., Çolak, M., 2007. Development of a Suitable Model for Characterizing Photovoltaic Arrays with Shade Solar Cell. *Solar Energy*, vol. 81, pp. 977-992.
- Lorenzo, E., 2009. Evaluación del Funcionamiento de Centrales Fotovoltaicas: De la Aceptación Provisional a la Definitiva. Memória interna do IES, UPM.
- Luke, A.; Hegedus, S., 2003. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, John Wiley.
- Macagnan, M.H., 1993. Caracterización de la radiación solar para aplicaciones fotovoltaicas en el caso de Madrid. Tese de doutorado. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de Ingenieros de Telecomunicación. 222p.
- Macêdo, W., Pinho, J., Pinto, A., 2008. Estudo das Tecnologias de Rastreamento Solar, Incluindo Hw e Sw. Relatório Técnico. GEDAE- Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas, Belém.
- Narvate, L., Lorenzo, E., 2008. Tracking and Ground Cover Ratio. *Prog. Photovolt: Res. Appl.* vol. 16, pp. 703-714.
- Oliveira, M. M., 2008. Análise do Desempenho de um Gerador Fotovoltaico com Seguidor Solar Azimutal. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre.
- Perez, R.; Ineichen, P.; Seals, R.; Michalsky, J.; Stewart, R., 1990. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar Energy*, vol. 44(5), pp. 271-289.
- Woyte, A., Nijs, J., Belmans, R., 2003. Partial Shadowing of Photovoltaic Arrays with Different System Configurations: Literature Review and Field Test Results. *Solar Energy*, vol. 74, pp. 217-233.
- Yazidi, A., Betin, F., Notton, G., 2006. Low Cost Two-Axis Solar Tracker with High Precision Positioning. First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, Corte-Ajaccio. pp. 121-126.
- Disponível em: <<http://zomeworks.com/products/pv-trackers>> Acesso em: 16 abril 2010.
- Disponível em: <[http://www.wattsun.com/commercial\\_gallery.html](http://www.wattsun.com/commercial_gallery.html)> Acesso em: 16 abril 2010.

## SOLAR TRACKERS AND THEIR APPLICATION IN GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC PLANTS

**Abstract.** *The development of devices for tracking the apparent sun motion has received a lot of attention in the last years. Much of this development, in the past, was associated with thermal applications of solar energy. With the electrical energy costs generation with photovoltaic systems reduction, coupled with generous “Premium Tariff” practiced in Spain between 2006 and 2008, solar trackers was disseminated and used meaningfully in on-grid photovoltaic power plants. Assuming the importance of these devices and their growing application, this paper describes the main trackers kinds used to capture solar energy and presents some particularities of its application in on-grid photovoltaic power plants, ground cover ratio, shading and increasing in yield.*

**Key words:** *Solar Energy, Photovoltaic Systems, Solar Tracking.*