

CORRELAÇÃO ENTRE DESVIOS ANGULARES DE SEGUIDORES SOLARES E EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DE ENERGIA EM CONCENTRADOR SOLAR DO TIPO REFLETOR LINEAR DE FRESNEL

BRUNO M. CARVALHO, ANDREI BORDIGNON, FÁBIO L. BERTOTTI, JEAN-MARC S. LAFAY

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Via do Conhecimento, Km 1, CEP 85503-390, Pato Branco – PR, Brasil*

*E-mails: bruno_monththy@hotmail.com, bordignon.andrei@gmail.com,
bertotti@utfpr.edu.br, jeanmarc@utfpr.edu.br*

Abstract— The objective of this present work is to show the art state of solar trackers to Linear Reflectors Fresnel and the results of simulation to verification of the influence by the errors of inclination in the reflective mirror in the loss of solar energy captation incident. For the simulation of the system was considered a plane reflective mirror with width of 0.2 meters, and absorber with 0.3 meters, both with 0.8 meters of length. Also, it was considered that the absorber systems was installed 2,5 meters above of mirrors line. It was verified that the inclination error of the reflective mirror must be less than 0.2 degrees, for the considered measures. In this way the energy incident on the absorber will be always superior to 99 percent.

Keywords— Solar thermal energy, solar concentrator, linear fresnel reflector, solar tracker, displacement sensor, inclination error

Resumo— O presente trabalho apresenta o estado da arte de seguidores solares para refletores lineares de fresnel e os resultados de simulação para verificação da influência dos erros de inclinação do espelho refletor na perda de captação de energia solar incidente. Para simulação do sistema de seguimento considerou-se um espelho refletor plano com largura de 0,2 m e absorvedor com 0,3 m, ambos com 0,8 m de comprimento. Considerou-se ainda que o sistema absorvedor estava instalado 2,5 m acima da linha de espelhos. Verificou-se que o erro de inclinação do espelho refletor deve ser inferior a 0,2° para as medidas consideradas, dessa forma a energia incidente sobre o absorvedor será de no mínimo 99%.

Palavras-chave— Energia solar térmica, concentrador solar, refletor fresnel linear, rastreador solar, sensor de deslocamento, erro de inclinação

1 Introdução

Atualmente o consumo de energias não renováveis tem gerado grandes impactos ao meio ambiente. O melhor aproveitamento dos recursos naturais, de forma consciente, é necessário, pois garantem maior sustentabilidade e são inesgotáveis.

Dentre as fontes de energia renováveis, a solar tem atraído mais atenções para aplicação nas indústrias, pois é abundante, limpa, não gera qualquer ruído ou poluição ao meio ambiente (Mekhilef et al., 2011).

De acordo com Motta (2005) o Brasil é um dos países que possui os mais elevados índices de potencial para aproveitamento da energia solar do mundo. Com uma capacidade de geração disponível tão grande a conversão da energia solar torna-se um tópico muito importante dentro do estudo das energias renováveis.

Uma das formas de se utilizar essa energia é através da transformação em energia térmica com o uso de coletores ou concentradores solares (ANEEL, 2005).

Os sistemas de energia térmica solar de concentração produzem calor ou eletricidade através da utilização de espelhos que concentram os raios do sol.

O rendimento dos sistemas térmicos é superior aos sistemas fotovoltaicos e de concentração fotovoltaica. Sendo essa a sua principal vantagem (Almeida, 2013).

Existem diferentes tipos de concentradores solares, os mais utilizados são calha parabólica, disco parabólico, receptor central e refletor linear de fresnel.

A utilização de concentradores solares, tanto para conversão térmica quanto fotovoltaica, tem mostrado ser eficaz para aumentar o fluxo de energia incidente, possibilitando atingir valores maiores de eficiência no processo de conversão. Os níveis de concentração estão diretamente ligados à precisão do sistema e a qualidade das superfícies refletoras (Pedrosa Filho, 2010).

Hongn et al. (2014) se referem ao concentrador refletor linear de fresnel como uma tecnologia promissora para aplicações domésticas e industriais. Porém ainda não está totalmente desenvolvido e muitas pesquisas voltadas para este tipo de concentrador estão sendo realizadas.

Este artigo descreve o estado da arte dos seguidores solares para concentradores lineares de fresnel e traz os resultados de simulação do seguimento solar para um sistema posicionado de forma paralela ao eixo Norte-Sul, em que os espelhos fazem o rastreamento no sentido Leste-Oeste.

Através de simulações é feita a determinação do ângulo de incidência dos raios solares durante o dia, ângulo de inclinação da linha de espelhos, perda de radiação incidente devido ao erro de inclinação do espelho refletor e melhor altura do receptor em relação aos espelhos. Estes dados são essenciais para determinação dos parâmetros de projeto de um sensor de deslocamento e para verificar o quanto de

precisão estes sensores devem ter para minimizar perdas de energia.

2 Refletor Linear de Fresnel

Com o crescimento nos últimos anos das pesquisas voltadas para energia solar concentrada, foram desenvolvidos estudos sobre concentradores solares do tipo refletor linear de fresnel como uma alternativa aos sistemas de calha parabólica (Mills e Morrison, 2000).

Este tipo de concentrador solar atualmente se mostra como uma alternativa consideravelmente mais econômica e com relação custo-benefício bastante interessante, comparando-se com outros sistemas de concentração solar, por este motivo é mais utilizada a cada dia (Canavarro, 2010).

Essa tecnologia baseia-se em uma variedade de espelhos lineares que concentram a luz solar em um receptor fixo montado sobre uma torre de suporte. A figura 1 ilustra um concentrador solar do tipo refletor linear fresnel.

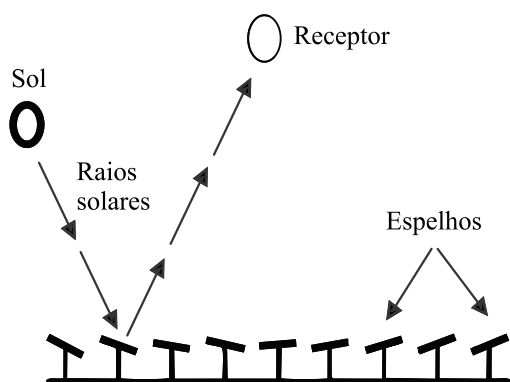


Figura 1. Esquema de um refletor linear fresnel (Barbón et al., 2016).

Após a concentração da radiação solar no receptor (superfície absorvedora) o líquido no interior do receptor é convertido em vapor, podendo ser utilizado em processos ou utilizado para gerar energia elétrica.

Existem diferentes setores da indústria, como o químico, alimentício e têxtil, por exemplo, que demandam energia na forma de calor abaixo de 250°C (Venegas, 2013). Essa energia pode ser obtida através de concentradores lineares de fresnel, que podem transformar a radiação solar em energia útil (Cifuentes, 2013).

As principais vantagens do concentrador fresnel linear em relação ao sistema de calha parabólica, concentrador mais utilizado atualmente, são o receptor fixo, pequena parte móvel (espelhos refletores individuais são pequenos), área de recolhimento de cada receptor maior, menor custo dos espelhos (por serem planos) e construção simples (Boito and Greina, 2016).

3 Seguidores solares para concentradores lineares de fresnel

A utilização de seguidores solares em sistemas concentradores possibilita atingir maiores temperaturas, devido a maior concentração de radiação solar que se consegue obter.

O seguidor solar é um dispositivo que permite orientar corretamente os espelhos refletores dos concentradores solares, de forma a rastrear o movimento do sol durante o dia, isso possibilita ao sistema atingir temperaturas mais elevadas, pois a quantidade de irradiação incidente sobre a superfície receptora será maior, aumentando o potencial em aplicações industriais que exigem temperaturas mais elevadas.

Existem diferentes meios de fazer o seguimento solar. As mais recentes tecnologias descritas na literatura serão detalhadas a seguir.

Em seu trabalho Gea et al. (2012) descrevem a utilização de motores de passo e caixas redutoras de velocidade para mover os espelhos refletores. Um computador coordena o movimento dos espelhos através do controle central, que é conectado de forma individual a cada um dos espelhos utilizando-se circuito eletrônico. O programa implementado utiliza equações que descrevem o movimento do sol durante o dia. Dessa forma, o controle é feito em malha aberta. O campo de espelhos ainda estava em fase de instalação quando o trabalho foi publicado e a precisão do sistema não foi descrita.

Sen et al. (2013) propõem um mecanismo de movimentação para os espelhos através da ligação de quatro barras de forma que o movimento de rotação fornecido para um tubo é transmitido para os outros, obtendo-se a igualdade de desvios de todos os tubos, e consequentemente dos espelhos acoplados a eles. Um mecanismo de engrenagens faz com que o movimento transmitido a um único tubo seja transmitido igualmente a todos os outros. As engrenagens são rodadas a uma taxa de 15° por hora através de um pequeno motor.

Echazú et al. (2013) propõem para o seguimento solar um dispositivo eletromecânico com funcionamento síncrono. O sistema possui redutor de velocidade através de um conjunto de engrenagens de três etapas, além de um motor de passo que é controlado por um relógio eletrônico. O circuito para controle do motor é composto por três circuitos integrados; NE555, 4017 e ULN2003. O circuito NE555 após gerar um sinal periódico o injeta na entrada do circuito 4017. O circuito ULN2003 amplifica os pulsos e sua saída foi conectada com as bobinas do motor de passo.

Lin et al. (2013) instalaram um sistema em que o giro dos motores de passo era controlado sem utilização de mecanismo de feedback. Um controlador de seguimento solar baseado em Unidade de Controle Microprogramado (MCU), o ATmega128 com chip temporizador real, foi utilizado para controlar os motores.

A configuração possibilitou uma operação confiável e estável. Não foi possível evitar erros mecânicos apenas pelo controlador, dessa forma, para minimizar estes efeitos foram instalados dois botões manuais na placa de circuito para ajudar a seguir a posição dos espelhos. Dessa forma o sistema implementado não é totalmente autônomo.

Almeida (2013) desenvolveu um protótipo de refletor linear fresnel. No seu trabalho ele demonstra os cálculos que utilizou para encontrar os ângulos de inclinação dos espelhos, porém não implementa um sistema de seguimento automático e o faz de forma manual. Assim como Cifuentes (2013), que destacou o fato de o sistema manual, feito através de engrenagens, dificultar bastante a operação do concentrador solar.

Em sua pesquisa Saettone (2014) criou um experimento de refletor linear fresnel para destilação de água, o campo de espelhos foi instalado no sentido leste-oeste. Não foi utilizado um sistema de seguimento solar devido à menor necessidade de variação do ângulo dos espelhos durante o tempo de operação para esse tipo de configuração, porém ela tem uma menor eficiência ao longo do ano se comparado com a direção norte-sul, que é utilizada na maioria das pesquisas.

Saravia et al. (2014) também utilizaram motores de passo para mover os espelhos em um projeto de refletor linear fresnel. O comando da frequência de giro foi feito por um microcontrolador ARM de 32 bits e o movimento automatizado foi realizado através de programação do algoritmo e arquivos do tipo tabelas de dados, não necessitando de um funcionário para fazer ajustes manuais durante o período diário de operação. Porém concentradores secundários de 68,5 cm de largura foram utilizados para aumentar a eficiência de concentração do concentrador.

Negreiros (2015) projetou um sensor para medir o ângulo de um espelho refletor durante o dia para um concentrador fresnel linear, seu princípio de funcionamento é baseado no princípio do sensor de proximidade indutivo. A cada 30 segundos um motor DC modifica a posição do espelho para acompanhar o movimento do sol utilizando como referência um algoritmo de rastreamento implementado, ajustando a diferença do ângulo lido pelo sensor. A superfície absorvedora foi instalada a dois metros de altura em relação ao espelho refletor. O sistema utilizado possibilitou que os espelhos concentrassem a radiação solar na superfície absorvedora com um desvio máximo de 0,5°.

4 Modelagem e simulação do rastreamento solar

Neste contexto este trabalho descreve a simulação do sistema de seguimento solar para verificar as perdas de energia geradas pelos erros de inclinação do espelho refletor durante o processo de rastreamento solar. Estes erros fazem com que parte da radiação incidente seja direcionada para fora do receptor. Para solucionar este problema são utilizados concentrado-

res secundários, porém eles introduzem perdas óticas e térmicas ao sistema diminuindo a eficiência global de conversão de energia, portanto um sensor com precisão elevada poderia substituir estes concentradores e aumentar a eficiência do sistema.

Novos projetos de sensores de deslocamento para concentradores solares do tipo fresnel linear podem se basear nestes resultados para estipular o erro máximo de precisão que o sistema pode ter.

Esta seção trará uma visão geral dos cálculos necessários para orientar os espelhos refletores utilizados no processo de concentração da radiação solar. As equações utilizadas para determinação da altitude solar e declinação solar foram descritas por Duffie e Beckman (1991) e por Kalogirou (2009).

$$\alpha = \arcsen[D] \quad (1)$$

$$D = \sen(Ls)\sen(\delta) + \cos(Ls)\cos(\delta)\cos(h) \quad (2)$$

$$\delta = 23,45\sen\left[(360/365)(284+n)\right] \quad (3)$$

Onde n representa o dia do ano, α a altitude solar, que é o ângulo formado entre o raio solar e a sua projeção na superfície, h o ângulo horário, definido como sendo o tempo que decorreu desde que uma determinada estrela passou no meridiano do observador, δ a declinação solar, medida da distância angular entre a linha que liga o centro da terra ao sol e a projeção dessa linha em relação ao plano equatorial e Ls a latitude local.

Para que o sistema funcione de forma autônoma é fundamental que o ângulo dos espelhos refletores varie de forma a seguir a posição do sol durante todo o dia. Para calcular a inclinação necessária é preciso saber antes a variação do ângulo solar referente à mudança de posição, em outras palavras, o ângulo entre um eixo paralelo à linha Leste-Oeste e os raios solares (k), pois os espelhos são posicionados no sentido norte-sul. A equação para determinar k é dada por Kalogirou (2009).

$$k = \arccos\sqrt{\sen^2(\alpha) + \cos^2(\delta)\sen^2(h)} \quad (4)$$

O ângulo de inclinação do espelho refletor foi obtido através da equação descrita por Negreiros (2015).

$$y = (k - \theta) / 2 \quad (5)$$

Onde θ é o ângulo entre o eixo paralelo à linha Leste-Oeste e o receptor e y é o ângulo de inclinação do espelho refletor.

A ilustração deste sistema pode ser vista na figura 2.

Para os espelhos planos mais distantes do receptor, no eixo x, a radiação solar refletida cobrirá uma área maior que a incidente proveniente do sol.

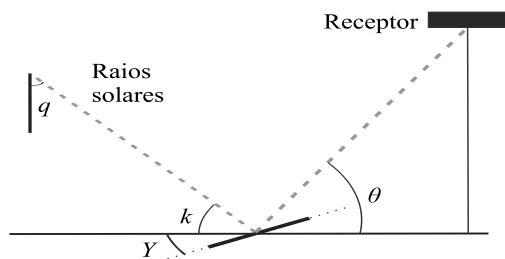


Figura 2. Ângulos associados ao espelho refletor

Saettone (2014) descreve uma equação para determinar a largura da faixa de radiação incidente (u) que atingirá o receptor.

$$u = w \frac{\sin \left[45^\circ + \left(\frac{\theta - q}{2} \right) \right]}{\sin(\theta)} \quad (6)$$

Para esse caso q é o ângulo de incidência solar e é dado por $\delta + Ls$ e w é a largura do espelho refletor. Após a implementação das equações e utilizando os dados geográficos do local de estudo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco, Brasil, latitude $26^\circ 11' 50''$ S e longitude $52^\circ 41' 26''$ Oeste, obteve-se através de simulação no matlab a posição relativa do sol durante o dia, assim como o ângulo de inclinação do espelho refletor para que o reflexo incida sobre o receptor, das 08:00 às 16:00 horas. Considerou-se que o receptor foi colocado a 2,5 metros de altura.

A simulação foi feita para diferentes distâncias entre o espelho e a torre do receptor, os dados obtidos são mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Largura máxima da radiação refletida sobre o receptor instalado a 2,5 m de altura para diferentes distâncias do espelho refletor no dia 15 de julho

Distância entre espelho e torre do absorvedor (m)	Largura máxima da radiação refletida sobre o receptor (m)
0,5	0,20
1	0,21
1,5	0,22
2	0,24

Os resultados mostram que para os espelhos mais distantes a radiação sofre uma maior dispersão, chegando a 0,24 metros para o último espelho. Verificou-se, dessa forma, que um receptor de 0,3 metros é suficiente para esta configuração. Esses dados de largura máxima da radiação incidente podem variar de acordo com o dia a ser simulado e altura do receptor em relação à linha de espelhos.

Com o objetivo de verificar a influência da altura do receptor nas perdas de radiação solar incidente o sistema foi simulado para diversos casos. Os testes foram feitos para o espelho mais próximo ao receptor, no eixo x, e para o mais distante e foram considerados diferentes erros de inclinação do espelho no

processo de seguimento solar para avaliar as perdas geradas. Os resultados são mostrados nas figuras 3 e 4.

A figura 3 mostra os resultados referentes ao espelho posicionado a 0,5 m do receptor. Verificou-se que quando o erro de inclinação é de $0,2^\circ$ não existe perda para nenhuma das alturas, porém quando esse erro de inclinação for superior, aumentando-se a altura do receptor, a perda de radiação também aumenta. O que comprova que os espelhos menos distantes sofrem menores perdas com receptor instalado mais próximo ao solo.

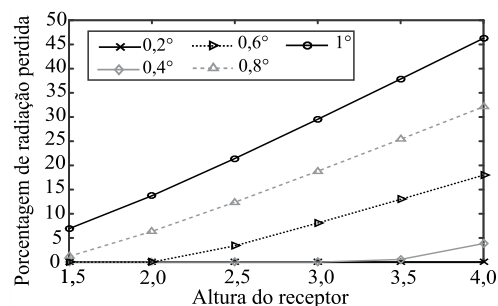


Figura 3. Perda de radiação solar incidente devido a $0,2^\circ$, $0,4^\circ$, $0,6^\circ$, $0,8^\circ$ e 1° de erro na inclinação do espelho localizado a 0,5m do receptor.

A figura 4 apresenta os resultados obtidos para o espelho posicionado a 2 m do receptor. Para um erro de inclinação de $0,2^\circ$, quando o receptor é instalado a 2,5 m de altura ou mais não haverá perdas. Para $0,4^\circ$ as perdas foram menores quando o receptor foi instalado acima de 2,5 m. Porém para erros maiores, principalmente $0,8^\circ$ e 1° , verifica-se que quando o receptor é instalado muito próximo ao solo a perda é grande e é reduzida aumentando-se a altura de instalação, porém o erro aumenta novamente quando o receptor é instalado acima de 2,5 m. O que mostra que considerando os espelhos mais distantes, para a configuração aqui utilizada, a altura deve ser em torno de 2 e 2,5 m.

Dessa forma foram feitos testes para os espelhos posicionados a 0,5, 1, 1,5 e 2m de distância do receptor com todos os erros de inclinação descritos anteriormente, para as duas alturas, 2 e 2,5 m.

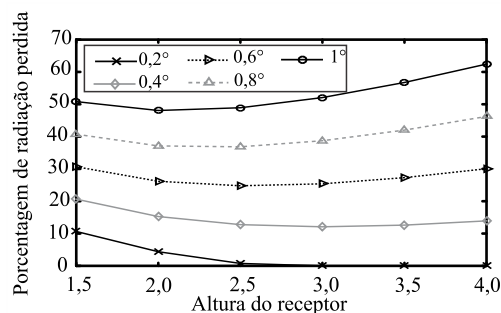


Figura 4. Perda de radiação solar incidente devido a $0,2^\circ$, $0,4^\circ$, $0,6^\circ$, $0,8^\circ$ e 1° de erro na inclinação do espelho localizado a 2m do receptor.

A tabela 2 apresenta os resultados para a altura de 2,5 m e mostra a porcentagem máxima de radiação

ção solar que deixa de incidir sobre o receptor devido ao erro de inclinação do espelho. Para um erro de $0,2^\circ$ houve perda de 0,76% da radiação incidente para o espelho mais distante e para os demais espelhos não houve perda. Quando o erro foi aumentado para $0,4^\circ$ a perda para o espelho mais distante aumentou para 12,76%. Aumentando ainda mais o erro, dessa vez para $0,6^\circ$, todos os espelhos passaram a ter perdas, chegando a aproximadamente 24,78% para o mais distante. Quando o erro é de 1° a perda de energia chega a 48,92% para o espelho mais distante.

Tabela 2. Perda de radiação devido ao erro de inclinação do espelho refletor para receptor localizado a 2,5 m de altura

Distância entre espelho e torre (m)	Perda de radiação solar incidente devido ao erro de inclinação do espelho refletor				
	$0,2^\circ$ (%)	$0,4^\circ$ (%)	$0,6^\circ$ (%)	$0,8^\circ$ (%)	1° (%)
0,5	0	0	3,37	12,39	21,42
1	0	0	8,64	18,34	28,06
1,5	0	5,36	16,08	26,81	37,57
2	0,76	12,76	24,78	36,84	48,92

O mesmo teste foi feito alterando-se a altura do receptor para 2 m.

Para a nova altura, nos casos em que o erro de inclinação dos espelhos foi inferior a $0,6^\circ$ o sistema apresentou maior perda de radiação, nos demais casos se mostra mais vantajosa.

A Figura 5 ilustra as perdas descritas na Tabela 2 para o caso em que o erro de inclinação é de $1,0^\circ$.

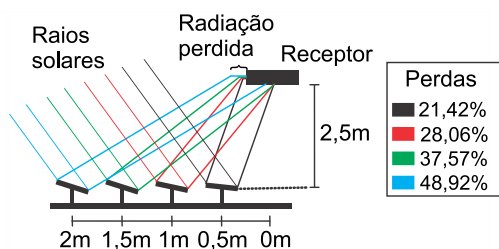


Figura 5. Radiação solar perdida para um erro de inclinação dos espelhos de 1° .

4 Sensor de posição

A figura 6 ilustra o sensor de posição acoplado ao espelho refletor para leitura do ângulo de inclinação ao longo do dia. Para cada ângulo de inclinação β existe um pequeno erro associado à medição do sensor ($\Delta\beta$) e o valor lido será ligeiramente diferente do esperado. Quando este sensor não tiver boa precisão serão geradas perdas no sistema.

Sabendo o erro de medição do deslocamento (Δf) é possível determinar o erro de inclinação do espelho associado $\Delta\beta$.

$$\Delta\beta = \arcsen\left(\frac{f + \Delta f}{\Delta L}\right) - \arcsen\left(\frac{f}{\Delta L}\right) \quad (7)$$

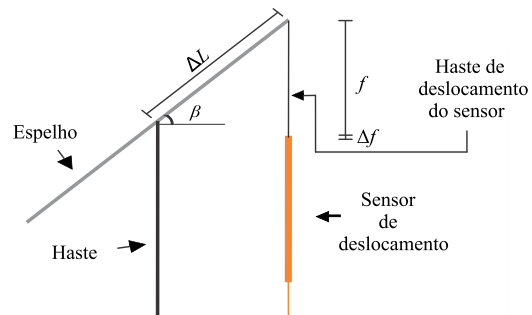


Figura 6. Sensor de posição acoplado ao espelho.

Onde ΔL é a distancia entre a haste do espelho e o local em que o sensor é acoplado.

A figura 7 mostra a curva de $\Delta\beta$ obtida através da variação de ΔL . Diferentes valores de Δf foram testados. Para simulação foi utilizado o ângulo de 45° , pior caso possível entre 0° e 45° , em relação ao erro de inclinação no seguimento solar, ângulos menores terão melhores resultados. Quanto mais distante o sensor estiver acoplado, em relação à haste do espelho, menor será o valor de $\Delta\beta$ para um mesmo valor de Δf . Verificou-se ainda que quando Δf for igual a 1 mm o sensor pode ser acoplado a 0,18 m da haste do espelho para que $\Delta\beta$ seja inferior a $0,5^\circ$, podendo ser alcançado até um valor inferior a $0,2^\circ$, se o sensor for acoplado a 0,5 m da haste. Para Δf igual a 1,5 mm um valor inferior a $0,3^\circ$ é obtido, porém para o maior valor simulado de ΔL . Aumentando-se Δf verifica-se que $\Delta\beta$ cresce, porém um valor inferior a $0,5^\circ$ é atingido em todos os casos, considerando que Δf seja no máximo 0,3 mm.

Valores de ΔL maiores que 0,5 m podem ser utilizados, porém a área ocupada por cada refletor será grande e o custo de implantação será maior, dessa forma, deve ser verificado para cada caso o valor ideal, de acordo com o projeto em questão.

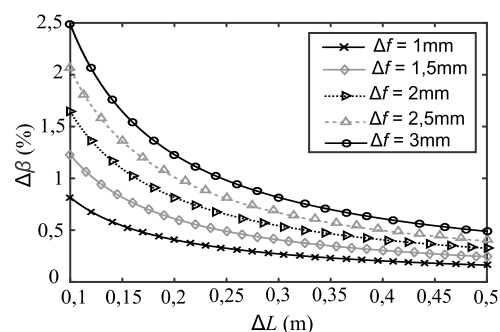


Figura 7. Relação do erro de inclinação ($\Delta\beta$) com a distância entre sensor e haste do espelho (ΔL) para diferentes erros de medição do deslocamento Δf .

5 Conclusões

A altura de instalação do receptor em relação à linha de espelhos afeta significativamente a eficiência do sistema. A melhor altura para instalação depende da precisão do sistema de seguimento solar e

da distância dos espelhos em relação ao receptor, além da curvatura do espelho refletor utilizado.

A eficiência de rastreamento também depende da distância de acoplamento do sensor, em relação à haste do espelho.

Verificou-se que o erro do deslocamento do sensor deve ser inferior a 2 mm para que o erro de leitura do ângulo de rastreamento seja da ordem de $0,2^\circ$. Para que toda radiação refletida pelos espelhos incidam sobre o receptor o sensor de posição utilizado deve ter alta precisão. Dessa forma, o concentrador secundário poderá ser eliminado do sistema ou ter sua área reduzida, o que reduzirá os custos de instalação da planta e evitará sombreamento sobre os espelhos refletores.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FINEP, CAPES, SETI, CNPq e Fundação Araucária pela bolsa de estudos e financiamento.

Referências Bibliográficas

- Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) (ANEEL). Energia Solar. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 5 de Março de 2016.
- Almeida, G. S. M. (2013). Pesquisa e Desenvolvimento de um Sistema Termoelétrico do tipo Linear Fresnel Reflector, Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- Barbón, A., Barbón L., Bayón L. and Otero J, A. (2016). Theoretical elements for the design of a small scale Linear Fresnel Reflector: Frontal and lateral views, *Solar Energy*, Vol. 132, pp. 188-202.
- Boito, P. and Grena, R. (2016). Optimization of the geometry of Fresnel linear collectors, *Solar Energy*, Vol. 135, pp. 479-486.
- Canavarro, D. C. S. (2010). Modelização de campos de colectores solares lineares do tipo Fresnel; aplicação a um concentrador inovador do tipo CLFR, Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Cifuentes, Á. J. C. (2013). Evaluación de un Concentrador Solar Lineal tipo Fresnel de baja entalpía como calor de proceso, Dissertação de mestrado, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana.
- Duffie, J. A.; Beckman, W. A., 1991, "Solar engineering of thermal processes", 2 ed. New York: John Wiley and Sons, 919 p.
- Gea, M., Saravia, C., Placco, C., Altamirano, M., Hongn, M., Fernández, C., Caso, R., Tilca, F., Bárcena, H. and Suligoy, H. (2012). Diseño y estado de avance de la construcción de un concentrador fresnel lineal de 270m^2 , *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 16, pp. 03.79–03.86.
- Hongn, M., Larsen, S. F., Gea, M., Altamirano, M. (2014). Least square based method for the estimation of the optical end loss of the linear fresnel concentrators, *Solar Energy*, Vol 111, pp. 264-276.
- Kalogirou, S. A. (2009). Solar energy engineering: Processes and systems, Burlington, MA: Elsevier/Academic Press.
- Lin, M., Sumathy, K., Dai, Y.J., Wang, R.Z. and Chen, Y. (2013). Experimental and theoretical analysis on a linear Fresnel reflector solar collector prototype with V-shaped cavity receiver, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 51, pp. 963-972.
- Mekhilef, S., Saidur, R., Safari, A. (2011). A review on solar energy use in industries, *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 15. pp. 1777-1790.
- Mills, D. R. and Morrison, G. (2000). Compact linear Fresnel reflector solar thermal power-plants, *Solar Energy*, Vol. 68, pp. 263-283.
- Motta, G. C. (2005). Redução no consumo de energia elétrica através de modificação do sistema convencional de aquecimento de água por placas de captação de calor através de radiação solar, Trabalho de conclusão de Pós-Graduação, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras.
- Negreiros, I. S. (2015). Desenvolvimento do sistema de rastreamento de um protótipo de concentrador solar fresnel linear, Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará.
- Pedrosa Filho, M. H. de O. (2010). Simulação e Análise de sistemas de alta concentração de radiação solar, Dissertação de mestrado, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco.
- Saettone, E. (2014). Design and Construction of a Fresnel Linear Distiller. *Applied Solar Energy*, Vol. 50, pp. 238-243.
- Saravia, L., Gea, M., Hongn, M., Hoyos, D., Barcena, H., Placco, C., Cadena, C. and Larsen, S. F. (2014). Description of un generador solar térmico de tipo fresnel instalado en San Carlos, Salta, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 18, pp. 03.17–03.26.
- Sen, P. K., Ashutosh, K., Bhuwanesh, K., Engineer, Z., Hegde, S., Sen, P.V. and Davies, P. (2013). Linear Fresnel Mirror Solar Concentrator with Tracking, *Procedia Engineering*, Vol. 56, pp. 613-618.
- Venegas, E. (2013). Diseño, construcción y evaluación de um arreglo de concentradores de canal parabólico para calor de proceso. Tese de doutorado, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México.