

PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE SISTEMAS CONCENTRADORES SOLARES COM ABSORVEDORES PLANOS SUBMETIDOS A DESVIOS ÓPTICOS

Manoel Henrique de Oliveira Pedrosa Filho – manoel.henrique@yahoo.com.br

Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Pesqueira.

Naum Fraidenraich – nf@ufpe.br

Olga de Castro Vilela – ocv@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear.

Resumo. Os concentradores solares são sistemas que aproveitam os fenômenos ópticos para direcionar um feixe concentrado de energia para uma região particular denominada absorvedor. Neste artigo, uma discussão sobre parâmetros como: fator de interceptação, função de aceitação angular, entre outras, são diretamente influenciadas pelos desvios ópticos randômicos e não-randômicos e pela distribuição de brilho do cone solar é descrita. Baseado no desenvolvimento de um novo procedimento para a obtenção da distribuição de energia em absorvedores, simulações foram realizadas para um concentrador tipo calha parabólica, com absorvedor plano. A função de aceitação angular foi obtida, considerando-se dois tamanhos de absorvedores. Um gráfico que permite a otimização do tamanho do absorvedor foi elaborado, no qual é possível determinar o tamanho do absorvedor, a concentração e o fator de interceptação quando o sistema concentrador está submetido a diferentes valores de desvios ópticos randômicos. Mostram-se assim as possibilidades de procedimentos de simulação que podem ser efetuadas com este método.

Palavras-chave: Concentração Solar, Distribuição de energia, Parâmetros dos Concentradores.

1. INTRODUÇÃO

Os concentradores solares são dispositivos que aproveitam a geometria e fenômenos como, transmissão, reflexão e absorção, para direcionarem os raios solares, incidentes na sua abertura, para a região do absorvedor. Segundo Sala et al. (1999), esta característica pode viabilizar um aumento do desempenho do sistema devido ao aumento da densidade de energia que incidirá sobre o absorvedor.

Em particular, os sistemas concentradores de radiação solar têm sido utilizados com o objetivo de diminuir a quantidade necessária de material ativo, como silício e outros materiais, amplamente empregados na conversão fotovoltaica, ou para possibilitar que sejam atingidas altas temperaturas em sistemas termo-solares com o propósito de converter a energia térmica em elétrica com a maior eficiência possível.

O objetivo central do estudo dos concentradores solares é prever a fração da energia incidente na abertura do concentrador que consegue alcançar efetivamente a superfície do absorvedor e também a forma como será distribuída no absorvedor. Existem inúmeros fatores que podem provocar um espalhamento da radiação que se propaga na direção do absorvedor, reduzindo, portanto, a fração de energia que incide efetivamente no mesmo.

Pretende-se, inicialmente, com este artigo, efetuar uma discussão sobre as principais características de um sistema concentrador, como a concentração de fluxo, o cone solar e sua distribuição de brilho, o fator de interceptação e os desvios ópticos.

Na segunda parte, apresenta-se a aplicação de um conjunto de procedimentos desenvolvidos para a obtenção das características citadas anteriormente e analisar o comportamento das mesmas quando o sistema concentrador estiver submetido a diferentes desvios ópticos (Pedrosa Filho et al., 2011).

2. REVISÃO DE CONCEITOS RELATIVOS A CONCENTRADORES SOLARES

O estudo dos concentradores parte inicialmente dos conceitos sobre concentração geométrica e concentração de fluxo. A concentração geométrica ou concentração média é simplesmente a relação entre a área de abertura e área do absorvedor. A área do absorvedor é definida de forma que raios extremos do cone de radiação incidente na borda da abertura atingem, depois de refletidos, as bordas do absorvedor.

$$C_{geom} = \frac{A_{abertura}}{A_{absorvedor}} \quad (1)$$

A escolha da superfície do absorvedor obedece ao “Princípio de raios extremos”, que maximiza a coleção de radiação. A concentração geométrica de um concentrador cilindro parabólico com absorvedor plano, obtida por esse procedimento, satisfaz a seguinte relação (Rabl, 1985).

$$C_{geom} = \frac{\text{sen}(\theta_r)\cos(\theta_r + \varphi_s)}{\text{sen}(\varphi_s)} - 1 \quad (2)$$

Na Eq. 2, (θ_r) é o ângulo de borda do concentrador e (φ_s) o semiângulo do cone solar. Adicionalmente, C_{geom} atinge seu valor máximo quando (θ_r) é igual a 45° . Por razões práticas, a área do absorvedor pode ser maior que a definida pela Eq. (2), em detrimento da coleção de radiação.

A concentração de fluxo considera que existem perdas de energia ao longo do processo de propagação do fluxo solar desde a abertura até o absorvedor, Eq. (3). Estas perdas podem ser causadas por diversos fenômenos físicos, dentre eles a refletividade do material que forma o refletor do concentrador. Podem-se listar outros fenômenos como a absorvância e a transmitância dos materiais intercalados na trajetória dos raios na direção do absorvedor.

$$C_{flux} = \frac{\Phi_{absorvedor}}{\Phi_{abertura}} \cdot C_{geom} \quad (3)$$

Na Eq. 3, (Φ) denota fluxo de energia.

A forma com a qual os raios solares atingem a superfície terrestre é outro tema de estudo na área dos concentradores solares. O sol emite radiação em todas as direções. No entanto, quando atinge a Terra, a luz está confinada em um pequeno cone de ângulo $(2\varphi_s)$, denominado cone solar.

A intensidade de cada raio depende do seu ângulo dentro do cone solar. Diversos modelos teóricos e experimentais foram propostos para a distribuição da intensidade de energia dentro do cone (Jose, 1957; Rabl et al., 1982; Buie et al., 2003). Além dos modelos propostos por estes autores, têm sido considerados modelos mais simples: distribuição de brilho constante, onde qualquer raio dentro do cone tem a mesma intensidade, e a distribuição gaussiana. O gráfico apresentado na Fig. 01 mostra a forma dos cinco modelos citados.

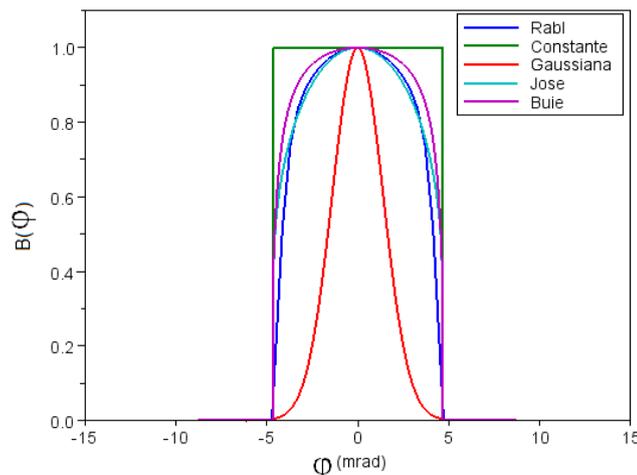


Figura 1 - Gráfico dos 5 modelos de distribuição do brilho solar.

O ângulo limite do cone solar foi obtido a partir de medições realizadas por Puliaev et al. (2000) que apresentaram o valor de $\varphi_s = 4,6497$ mrad.

Johnston (1998) afirmou, após simulações, que quando os desvios ópticos adquirem valores da ordem de ou superiores ao semiângulo solar (φ_s) , a distribuição de energia sobre o absorvedor independe do modelo de distribuição do brilho.

Um dos parâmetros empregados no estudo de concentradores solares é a função de aceitação angular $F(\theta)$, que relaciona a fração de raios paralelos incidentes na abertura do concentrador com ângulo (θ) que chegam ao absorvedor (Rabl, 1985). A incidência dos raios com determinado ângulo em relação ao eixo do concentrador pode ser devida ao movimento horário do sol em relação ao concentrador. Verifica-se, neste caso que, para concentradores com relação de concentração elevada (maior que 10X) existe a necessidade de acompanhamento do movimento do sol com dispositivos de rastreamento de elevada precisão, de forma que mantenham o alinhamento de seu eixo com o vetor solar. Erros de alinhamento do concentrador com o eixo norte-sul ou leste-oeste, também são causas da incidência dos raios solares com ângulo diferente de zero em relação ao eixo do concentrador.

Outro parâmetro de estudo é o fator de interceptação (γ) , definido como sendo a fração de energia que incide dentro dos limites da superfície do absorvedor em relação à energia total que atinge a superfície absorvedora (considerada infinita em todas as direções) (Duffie e Beckman, 1991). Alternativamente, pode ser calculada como a

energia que incide na abertura do concentrador ponderada com a função de aceitação angular em relação à energia total que incide na abertura (Eq. 04).

$$\gamma = \frac{\int_a^b I(w)dw}{\int_{-\infty}^{\infty} I(w)dw} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} I(\theta)F(\theta)d\theta}{\int_{-\infty}^{\infty} I(\theta)d\theta} \quad (4)$$

$I(w)$ é a radiação que incide na superfície do absorvedor e $I(\theta)$ na superfície de abertura do concentrador.

Na Eq. (04), a fração da energia que atinge o absorvedor é calculada pela integração com limites “a” e “b” (Fig. 2). A integração do denominador permite o cálculo de toda a energia que é refletida na direção do absorvedor.

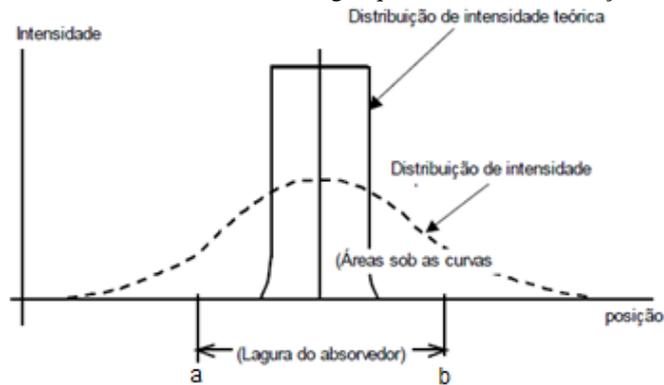


Figura 2 – Energia interceptada para distribuições de intensidade diferentes.
Fonte: Rolin (2007)

A Fig. 02 apresenta duas distribuições de energia sobre um absorvedor. A distribuição teórica é totalmente interceptada pelo absorvedor, possui $\gamma = 1$. O concentrador admite um absorvedor de tamanho menor sem prejuízo do fator (γ). Já, a distribuição de intensidade indicada pela linha tracejada é parcialmente interceptada pelo absorvedor, possuindo $\gamma < 1$.

Observa-se que o tamanho do absorvedor, independentemente de sua geometria, é peça chave na definição do concentrador. Aumentando-se o tamanho deste, haverá maior captação de energia (maior fator de interceptação), porém a concentração geométrica será menor. E em sistemas termo-solares, haverá aumento de perdas térmicas. Nota-se que é necessário um procedimento de otimização para a determinação do absorvedor de forma que se obtenha a maior concentração possível, com o maior fator de interceptação e menores perdas térmicas (Pedrosa Filho, 2010).

2.1 Desvios ópticos

Os desvios ópticos ou erros ópticos são imperfeições nos elementos que compõem o concentrador e que produzem alterações na formação da imagem no absorvedor. Segundo Güven e Bannerot (1986), podem ser definidos como desvios determinísticos ou não randômicos aqueles que deslocam a imagem formada do local onde ela se encontraria idealmente (sem desvios). Podem causar a completa perda de imagem que seria formada sobre o absorvedor.

Os desvios determinísticos são causados por erros do perfil geométrico, que causam a mudança permanente do foco do refletor, desalinhamento permanente do eixo do concentrador com o vetor solar, provocado por um erro constante do rastreamento (erro médio de rastreamento não nulo) ou deslocamento do absorvedor em relação ao foco efetivo do coletor.

Já os desvios estocásticos ou randômicos são causados pela mudança do tamanho do sol decorrente de mudanças na distância entre a Terra e o Sol e de efeitos atmosféricos (σ_{sol}), efeitos de espalhamento associados ao material óptico utilizado ($\sigma_{rugosidade}$), também associado a distorções variáveis da superfície refletora ($\sigma_{geometria}$) e ao desalinhamento variável do rastreador ($\sigma_{rastreo}$). Podem ser representados por uma distribuição de probabilidade (na maioria dos casos, gaussiana). Eles são tratados estatisticamente e causam o espalhamento da imagem sobre o absorvedor. Quando se avalia o efeito dos desvios determinísticos em um campo de coletores, este pode ser considerado como sendo da mesma natureza dos desvios randômicos.

O Teorema do Limite Central da estatística estabelece que o resultado da convolução de um número relativamente grande de distribuições independentes, tende para uma distribuição normal, mesmo quando as distribuições individuais não sejam gaussianas. Portanto só os desvios padrão das distribuições individuais são necessários para a determinação do desvio padrão da distribuição resultante, sempre que a média das distribuições individuais seja nula, o que normalmente acontece com os erros óticos randômicos (Fraidenraich e Lyra, 1995). Bendt et al. (1979) apresentaram a seguinte expressão (Eq. 05) para o cálculo do desvio total.

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{sol}^2 + \sigma_{rugosidade}^2 + 2\sigma_{geometria}^2 + \sigma_{rastreo}^2 + \sigma_{desalinhamento}^2} \quad (5)$$

Bendt et al. (1979) também apresentaram a relação média do desvio angular do sol para um dia médio de 8h, para um concentrador 2D alinhado com o eixo leste-oeste, Eq. 06.

$$\sigma_{sol,m\u00e9dio}^2 = 1,5 \cdot \sigma_{sol}^2 \tag{6}$$

O principal efeito dos desvios \u00f3pticos sobre o desempenho dos concentradores \u00e9 o espalhamento da imagem na regi\u00e3o focal, como pode ser visto na Fig. 03.

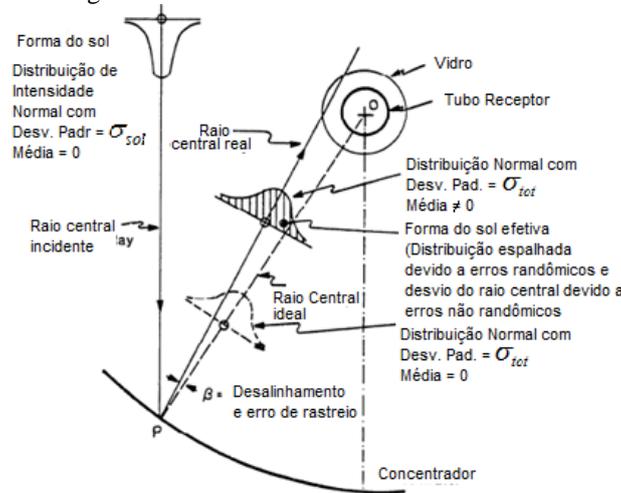


Figura 3 - Efeito dos desvios \u00f3pticos sobre o tamanho efetivo do sol visto por um absorvedor cil\u00edndrico. Adaptado de G\u00fcven e Bannerot (1986)

Observa-se na Fig. 03 que para um dado tamanho do absorvedor, o aumento dos desvios \u00f3pticos (σ_{tot}) se traduz em um fator de intercepta\u00e7\u00e3o pequeno, muita energia ser\u00e1 desperdi\u00e7ada. Caso o absorvedor seja projetado para que possua um fator de intercepta\u00e7\u00e3o m\u00e1ximo, a concentra\u00e7\u00e3o haver\u00e1 de diminuir, pois a \u00e1rea do absorvedor ser\u00e1 maior (Eq. 01). Em sistemas termo-solares ocorrer\u00e1 um aumento das perdas t\u00e9rmicas, contribuindo para diminui\u00e7\u00e3o da efici\u00eancia do processo de convers\u00e3o.

Bendt et al. (1979) desenvolveram uma formula\u00e7\u00e3o matem\u00e1tica para a determina\u00e7\u00e3o da forma efetiva do sol, Eq. 07, como sendo uma convolu\u00e7\u00e3o entre a distribui\u00e7\u00e3o de probabilidade dos desvios, $E(\theta - \theta_{in})$ e o brilho do sol, $B(\theta_{in})$, θ_{in} refere-se ao \u00e2ngulo do raio dentro do cone solar.

$$B_{eff}(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} E(\theta - \theta_{in}) \cdot B(\theta_{in}) \cdot d\theta_{in} \tag{7}$$

Um resultado anal\u00edtico desta convolu\u00e7\u00e3o foi obtido por Vittitoe e Biggs (1981) e apresentado na Fig. 05.

Observa-se na Fig. 05, que o efeito causado pelos desvios \u00f3pticos rand\u00f4micos equivale ao espalhamento da energia contida no cone solar por uma faixa angular maior do que a original.

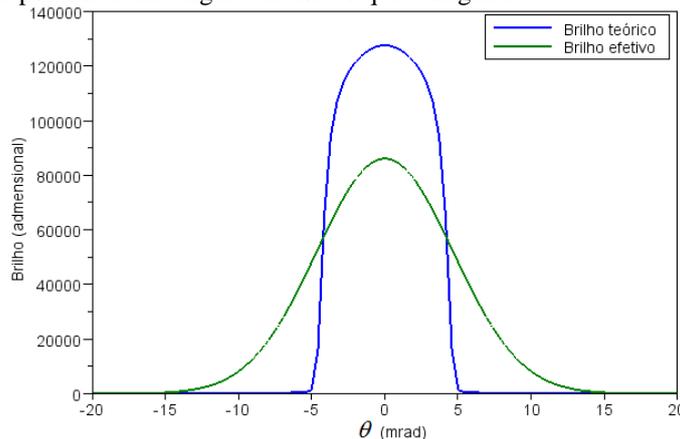


Figura 4 - Apar\u00eancia do brilho te\u00f3rico e efetivo do sol.

Quanto maior for a intensidade dos desvios \u00f3pticos rand\u00f4micos, maior ser\u00e1 este efeito. A consequ\u00eancia ser\u00e1 a redu\u00e7\u00e3o da quantidade de energia que atinge o absorvedor.

3. DISTRIBUI\u00c7\u00c3O DE ENERGIA EM ABSORVEDORES

Diversos autores t\u00eam estudado formas de obten\u00e7\u00e3o da distribui\u00e7\u00e3o de energia ao longo de absorvedores de concentradores solares. Em seus trabalhos, eles utilizam abordagens diferentes para tratar do problema.

Evans (1977) e Daly (1979) utilizaram expressões obtidas a partir da geometria parabólica para definir um modelo da distribuição de energia sobre absorvedores planos de concentradores. Em relação ao tratamento dos desvios ópticos, apresentaram soluções simples quando consideram desvios determinísticos. Porém, quando desvios randômicos são considerados, é necessário utilizar outras ferramentas para complementar seus modelos.

Harris e Duff (1981) elaboraram um procedimento que utiliza distribuições de probabilidade para atingir o mesmo objetivo. O procedimento permite, de forma simples, que os erros randômicos sejam considerados. Porém, não apresentaram solução para levar em consideração os erros determinísticos.

Pedrosa Filho et al. (2011) desenvolveu uma metodologia para a obtenção da distribuição de energia em absorvedores de concentradores solares que pode ser utilizada com diversas geometrias de absorvedor (cilíndrico, plano, elíptico, entre outras). Embora tenha sido desenvolvida com base na geometria de uma calha parabólica, é possível sua utilização com várias geometrias, espelhos facetados, disco parabólico. Permite também avaliar a influência de diferentes parâmetros, geométricos ou físicos, como por exemplo, as diversas formas de desvios ópticos.

A metodologia é baseada em: a) Uma equação de balanço que relaciona a energia que ingressa no plano de abertura do concentrador e a energia que chega ao absorvedor (Fig. 05). b) Uma relação geométrica que pode ser desenvolvida para cada raio dentro do feixe solar, representada por um diagrama que relaciona o raio ou a região do sol de onde procedem (ângulo φ), com o local de incidência deste na superfície refletora do concentrador (ângulo θ), para cada ponto de incidência do raio refletido na região focal do concentrador ou em qualquer outro ponto de interesse (ponto y).

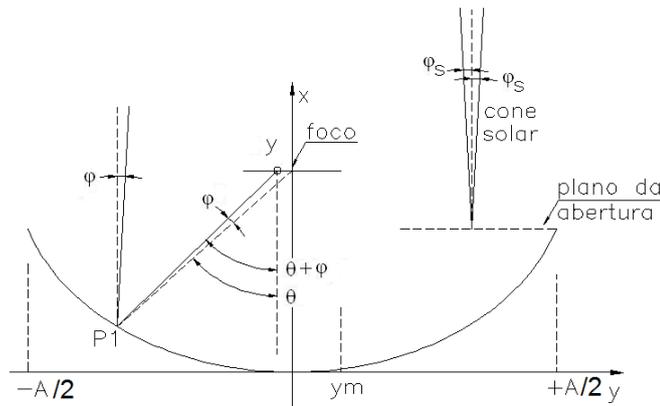


Figura 5 - Concentrador parabólico em perfil.

Considerando a contribuição de cada raio dentro do feixe para a energia incidente em determinado ponto (y) no absorvedor, é possível escrever a Eq. 08 (Pedrosa Filho et al., 2011).

$$I(y) = \int_{-\theta_s}^{\theta_s} B[\varphi(\theta, y)] \cdot \cos[\theta + \varphi(\theta, y)] \cdot d\theta \quad (8)$$

Como o modelo foi inicialmente desenvolvido para um concentrador tipo calha parabólico com absorvedor plano, a Eq. 09 representa a relação geométrica citada.

$$\tan(\varphi) = \frac{y}{|y \cdot \tan(\theta)| + r \cdot \sec(\theta)} \quad (9)$$

Onde o ângulo (φ) representa a posição de um raio dentro do feixe, (θ) o ângulo definido entre o raio central do cone de abertura (φ_s) refletido pela superfície da parábola e o eixo do concentrador e (y) é a posição na região focal atingida pelo raio. A seguir, são mostrados resultados obtidos por meio do procedimento de Pedrosa Filho et al. (2011) para várias distribuições do disco solar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 6 mostra a distribuição de energia ao longo de todo o absorvedor plano localizado na região focal de uma calha parabólica, com distância focal de 1m, abertura de 1,64 m e ângulo de borda de 44,5°. Utilizaram-se cinco distribuições de brilho: Rabl et al. (1982), constante, gaussiana, Abetti (1938) e Buie et al. (2003).

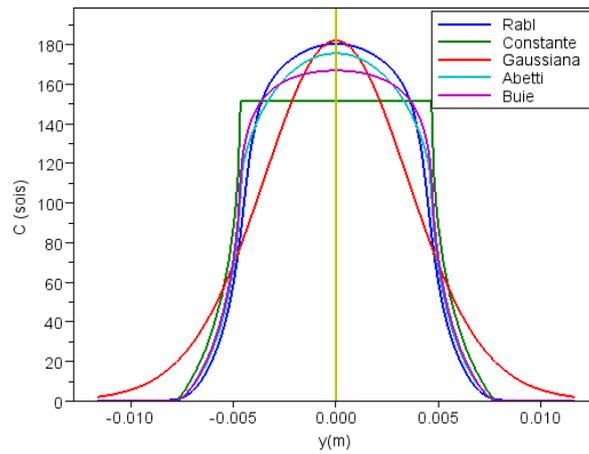


Figura 6 – Distribuição de energia para quatro distribuições de brilho diferentes e todo o comprimento do absorvedor.

Observa-se, na Fig. 6, um comportamento similar entre as distribuições de Rabl et al. (1982), Buie et al. (2003) e de Abetti (1938). A distribuição de brilho constante apresenta o menor valor máximo da intensidade. Porém, todas as funções possuem o mesmo tamanho (largura) de imagem com exceção da distribuição gaussiana que por apresentar maior espalhamento não é recomendada para ser utilizada.

Considerando-se um desalinhamento entre o eixo da parábola e o vetor solar, a Fig. 07 apresenta a distribuição de energia sobre o absorvedor para três valores de desalinhamento (0,4°; 0,8° e 1,2°) e para a situação alinhada. A simulação utiliza a distribuição de brilho definida por Rabl et al. (1982).

O tamanho do absorvedor plano definido para a parábola utilizada na simulação apresentada na Fig. 07 foi de 41,1 mm, calculado com base em uma calha parabólica com ângulo de borda de 70° e distância focal 1m.

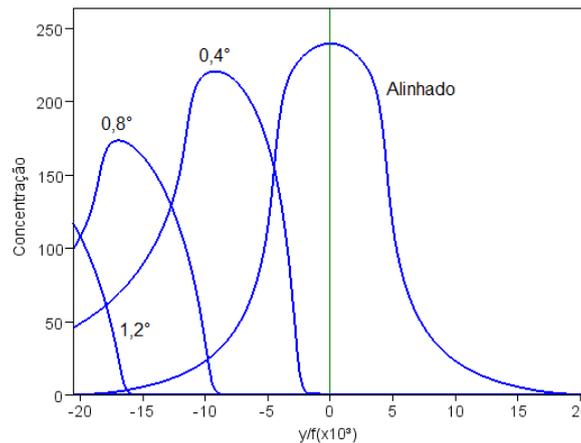


Figura 7 - Perfil de distribuição de energia para a condição alinhada e um desalinhamento de 0,4°, 0,8° e 1,2°.

Observa-se, na Fig. 7, que, com o aumento do ângulo de desalinhamento a distribuição de brilho torna-se fortemente assimétrica, ocorre um aumento de sua deformação e menos energia é interceptada pelo absorvedor, pois o tamanho foi limitado a 20,5 mm. As distribuições simuladas com o procedimento proposto neste trabalho concordam com os resultados apresentados por Evans (1977).

O procedimento descrito, (Pedrosa Filho et al., 2011), permite também definir a função de aceitação angular do concentrador, utilizando-se a Eq. 10.

$$F(\varphi) = \begin{cases} 1 & \text{se } \varphi \leq \varphi_{lim} \\ \frac{r \cdot \text{sen}(\theta(\varphi, y_m))}{r_r \cdot \text{sen}(\theta_r)} & \text{se } \varphi > \varphi_{lim} \end{cases} \quad (10)$$

Na Eq. 10, (y_m) é a metade do tamanho do absorvedor, (φ_{lim}) é o ângulo de abertura do cone solar que atinge a extremidade do absorvedor e (θ_r) o ângulo de borda do concentrador. O ângulo (φ_{lim}) é determinado pela Eq. (11)

$$\tan(\varphi_{lim}) = \frac{y_m}{|y_m \cdot \tan(\theta_r)| + r_r \cdot \sec(\theta_r)} \quad (11)$$

O gráfico apresentado na Fig. 8 mostra duas funções de aceitação angular obtidas por simulação para uma parábola com ângulo de borda de 70° e foco de 1m, para dois tamanhos de absorvedor diferentes.

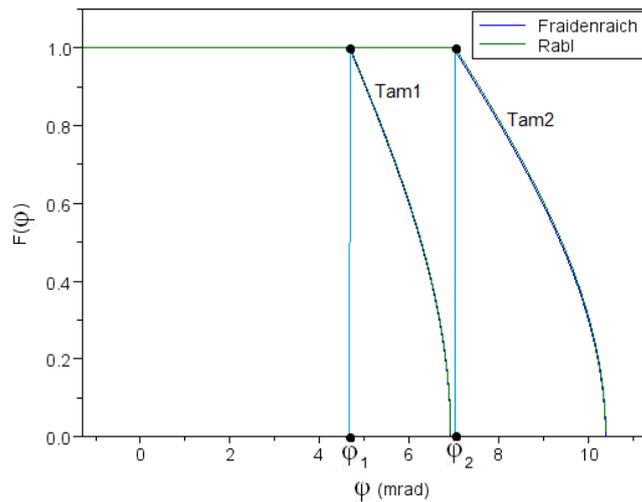


Figura 8 - Função de aceitação angular para dois tamanhos de absorvedor

A curva “Tam1” corresponde a um tamanho de absorvedor de 41,1 mm, definido de forma que o absorvedor intercepte 100% da distribuição de energia do cone solar, sem considerar desvios ópticos. “Tam 2” refere-se a um absorvedor com tamanho 50% maior do que “Tam1” (61,7 mm). Ambos os concentradores (“Tam1” e “Tam2”) têm aceitação de 100% dos raios com ângulos de incidência até ϕ_1 . Porém, o concentrador com absorvedor menor tem aceitação nula para ângulos de incidência igual a ϕ_2 . O concentrador com absorvedor maior passará a aceitar 100% dos raios com ângulos até ϕ_2 . Porém, como consequência, a concentração será menor. Na Fig. 8 está mostrada também a função de aceitação angular traçada a partir da função analítica publicada em Rabl (1985) (verde). Verifica-se uma boa concordância com as funções obtidas com a Eq. (10).

O procedimento para obter a função de aceitação angular, descrito neste trabalho, pode ser utilizado com diversas geometrias da superfície refletora e do absorvedor, sendo completamente geral. Cabe mencionar também que a função $(\theta(\phi, y_m))$ consiste na inversão da função $(\phi(\theta, y_m))$, de forma que a condição de inversibilidade deve ser satisfeita.

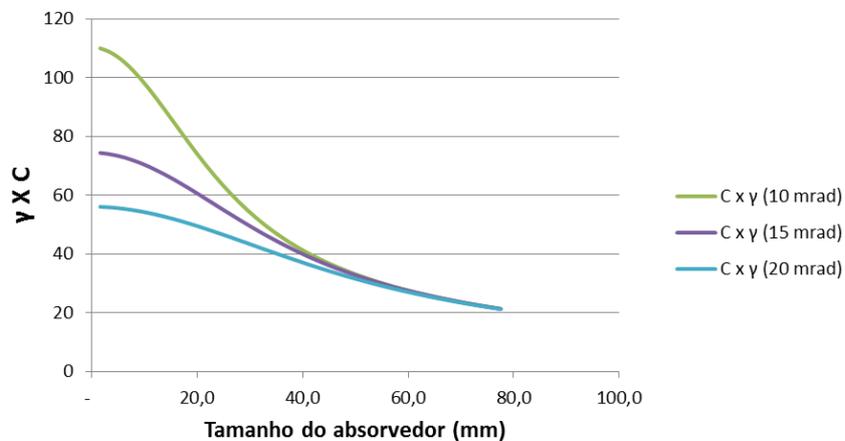


Figura 9 – Relação de $C\gamma$ com o tamanho do absorvedor.

O gráfico da Fig. 9 apresenta a curva do comportamento da relação $C\gamma$ para diferentes tamanhos de absorvedor, quando o concentrador está submetido a três valores de desvio óptico (10, 15 e 20 mrad). Com o aumento do tamanho do absorvedor, observa-se a tendência da relação $C\gamma$ de apresentar um valor que depende apenas da concentração, já que o absorvedor estará interceptando toda radiação direcionada para a região focal ($\gamma \rightarrow 1$).

Para valores menores do tamanho do absorvedor, a relação $C\gamma$ é fortemente influenciada pela presença dos desvios ópticos, ou seja, o aumento da concentração é acompanhado pela diminuição de γ . A relação $C\gamma$ tende a ser constante.

COMENTARIOS FINAIS

No estudo dos concentradores, observa-se que a escolha do tamanho do absorvedor define todas as características do sistema concentrador, e que estas são influenciadas pela existência dos desvios ópticos. Utilizando-se o modelo proposto por Pedrosa Filho et al. (2011), foi possível simular algumas destas propriedades, permitindo-se observar a relação entre a ocorrência e a intensidade dos desvios ópticos, o tamanho do absorvedor e o comportamento do concentrador.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo financiamento da pesquisa por meio de concessão de bolsa de estudo e a aquisição dos equipamentos e materiais que permitiram a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Abetti, G. (1938). The Sun. D. Van Nostrand, Princeton, New Jersey.
- Bendt, P., Rabl, A., Gaul, H., Reed, K. A., 1979. Optical Analysis and optimization of line focus solar collectors, SERI/TR 34-092, Solar Energy Research Institute, Golden, EUA.
- Buie, D., Dey, C. J., Bosi, S., 2003. The effective size of solar cone for solar concentrating systems. Solar Energy, vol. 74, pp. 417-427.
- Daly, J. C., 1979. Solar concentrator flux distributions using backward ray tracing, Applied Optics, vol. 18, n 15.
- Duffie, J. A. e Beckman, W. A., 1991. Solar engineering of thermal processes, 2ª ed. New York: Wiley-Interscience.
- Evans, D. L., 1977. On the performance of cylindrical parabolic solar concentrators with flat absorbers, Solar Energy, vol. 19, pp. 379-385.
- Fraidenraich, N. e Lyra, F., 1995. Energia Solar: fundamentos e tecnologia de conversão heliotérmica e fotovoltaica, Ed. Universitária da UFPE, Recife.
- Güven, H. M., Bannerot, R. B., 1986. Determination of error tolerances for optical design of parabolic troughs for developing countries, Solar Energy, vol. 36, pp. 535-550.
- Harris, J. A., Duff, W.S., 1981. Focal plane flux distributions produced by solar concentrating reflectors, Solar Energy, vol. 27, pp. 403-411.
- Johnston, G., 1998. Focal region measurements of the 20m² tilted dish at the Australian National University, Solar Energy, vol. 63, n. 2, pp. 117-124.
- Jose, P. D., 1957. The flux distribution through the focal spot of a solar furnace, Solar Energy, vol. 1, pp. 19-22.
- Pedrosa Filho, M. H. O., 2010. Simulação e análise de sistemas de alta concentração de radiação solar. Dissertação de mestrado, DEN-CTG, UFPE, Recife.
- Pedrosa Filho, M. H. O., Fraidenraich, N., Vilela, O. C., 2011. Solução analítica para a distribuição de energia em um absorvedor plano de um concentrador cilindro parabólico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 15, p. 08.11-08.19.
- Puliaev, S., Penna, J. L., Jilinski, E.G., Andrei, A. H., 2000. Solar diameter observations at Observatório Nacional in 1998-1999, Astronomy & Astrophysics Supplement Series, vol. 143, pp. 265-267.
- Rabl, A., 1985. Active solar collectors and their applications. New York: Oxford University Press.
- Rabl, A., Bendt, P., Gaul, H. W., 1982. Optimization of parabolic trough solar collectors, Solar Energy, vol. 29, n. 5, pp. 407-427.
- Rolin, M. M., 2007. Modelagem analítica de geração solar térmica de eletricidade, com concentradores parabólicos de foco linear. Tese de doutorado. DEN-CTG, UFPE, Recife.
- Sala, G.; Panchón, D.; Antón, I., 1999. Test, rating and specification of pv concentrator components and systems. In: _____. Report. Madrid: Instituto de Energía Solar.
- Vittitoe, C. N., Biggs, F., 1981. Six-gaussian representation of the angular-brightness distribution for solar radiation, Solar Energy, vol. 27, n. 6, pp. 469-490.

CHARACTERISTIC PARAMETERS SOLAR CONCENTRATORS SYSTEMS WITH FLAT ABSORBERS SUBMITTED TO OPTICAL DEVIATIONS

Abstract. *Solar concentrators systems use optical phenomenon to deflect a concentrated beam toward a particular region called absorber. In this paper, a discussion about how some features like intercept factor and angular acceptance function are directly influenced by random and non random optical deviations and by the solar bright distribution cone is described. Based on a new methodology for obtaining the absorbers energy distribution, some simulations had done for a parabolic through with flat absorber. The angular acceptance function was gotten, considering two absorbers lengths. A chart that allows the absorber length optimization was obtained, in which it's possible to define an absorber length that maximize the concentration ratio and intercept factor when the concentrator system is submitted to random optical deviations. Thus, it was shown some simulations possibilities that could be elaborated using this new methodology.*

Key words: Solar concentrators, energy distribution, concentrators features