

APLICAÇÃO DO MODELO DE ISOLINHAS PARA CALHAS PARABÓLICAS COM ABSORVEDORES CILÍNDRICOS SUBMETIDOS A ERROS ÓPTICOS

Naum Fraidenaich – naumfraiden2@gmail.com

Olga de Castro Vilela – ocv@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Energia Renovável do Departamento de Energia Nuclear

Manoel Henrique de O. P. Filho – manoel.henrique@yahoo.com.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, campus Pesqueira

Resumo. Para o emprego dos sistemas de concentração solar, se faz necessário prever o seu desempenho mediante a ocorrência de fatores operacionais e construtivos que influenciam na eficiência de coleção do fluxo solar, como erros ópticos e desalinhamentos. Diversos modelos são desenvolvidos para esta finalidade. Este trabalho apresenta uma adaptação do modelo de isolinhas para simular a distribuição de energia incidente sobre um absorvedor cilíndrico de uma calha parabólica. Simulações foram realizadas considerando diversos erros ópticos. A concentração média, na medida em que os erros óticos aumentam, fica reduzida, o máximo da distribuição diminui e o intervalo angular aumenta. No entanto a distribuição de energia fica concentrada dentro da faixa angular $\pm 150^\circ$. A influência do erro de desalinhamento também foi analisada. Verificou-se que para sistemas que possuem erros ópticos pequenos, ou seja, que possuem boa qualidade do seu sistema óptico (refletor e absorvedor) os efeitos de desalinhamento promovem uma forte queda no fluxo de radiação no absorvedor. A sensibilidade da concentração média com os erros óticos e com erros de desalinhamento foi determinada. Comprova-se importância primordial dos resultados numéricos para propósitos de projeto e avaliação de resultados.

Palavras-chave: Concentração solar, coletores parabólicos, distribuição de fluxo.

1. INTRODUÇÃO

Um dos aspectos centrais relativo ao desempenho dos sistemas solares que utilizam o recurso da concentração de radiação solar é prever a fração de energia incidente na abertura do concentrador que consegue alcançar efetivamente a superfície do absorvedor. Existem inúmeros fatores que influenciam na propagação de radiação, os quais podem resultar em radiação solar perdida, que retorna ao meio ambiente após atravessar a abertura do concentrador e se propagar no interior da cavidade.

Nos sistemas heliotérmicos, existem diversos aspectos, sejam relativos a fatores físicos ou a questões de projeto, que são influenciados pela distribuição de fluxo no absorvedor: a) não uniformidade, a qual produz gradientes de temperatura que podem ser inaceitáveis devido ao estresse mecânico ao qual o absorvedor é submetido; b) a incidência de uma parcela da radiação refletida sobre a fase de vapor em absorvedores em cujo interior circula um fluido bifásico, que provoca perda de eficiência na transmissão de calor; c) o dimensionamento do absorvedor, o qual deve ser de tal forma que aproveite a maior parte da radiação incidente (fator de interceptação) sem aumentar excessivamente, as perdas térmicas (Moya, 2004).

Diversos autores (Rabl (1976), Nicolas e Duran (1980), Rabl e Bendt (1982), Fraidenaich (1992), Pedrosa Filho (2010), Glenn e Ho (2012)) têm analisado fatores que influenciam na eficiência da coleção do fluxo solar, ou seja, no transporte ou transmissão desse fluxo ao longo do caminho que vai desde a abertura de coletores com concentração de diferentes geometrias, até a superfície do absorvedor.

Este artigo toma como base o modelo descrito inicialmente por Fraidenaich et al. (2013), no qual é descrito o método de isolinhas e equações para o cálculo da distribuição de energia incidente sobre o absorvedor de concentradores com diversas geometrias, em particular o concentrador de tipo calha parabólica. O trabalho apresentado por Pedrosa Filho et al. (2014) apresenta melhorias e simulações considerando erros ópticos de rastreamento. O procedimento desenvolvido permite avaliar o desempenho de um concentrador parabólico com absorvedor cilíndrico em duas etapas: a primeira, na fase do projeto, onde, por meio das simulações da distribuição de energia acompanhadas pelos desvios esperados, pode-se verificar antecipadamente como se comporta o fator de interceptação (ainda em estudo) do fluxo incidente no tubo absorvedor. Em uma segunda fase, na operação, é possível verificar se os desvios ópticos correspondem ou se aproximam dos valores pré-determinados no projeto.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO

Está baseado no trabalho de Fraidenraich et al. (2013) que desenvolveram o modelo de isolinhas, o qual permite obter diversos parâmetros operacionais dos concentradores, a partir de uma relação matemática que envolve a identificação do raio solar (φ_1) dentro do cone solar, o ponto na superfície refletora onde este é refletido (θ_1) e o local o absorvedor que será atingido por este raio (y_1), segundo a Figura 1, aplicado inicialmente a absorvedores planos com calhas parabólicas.

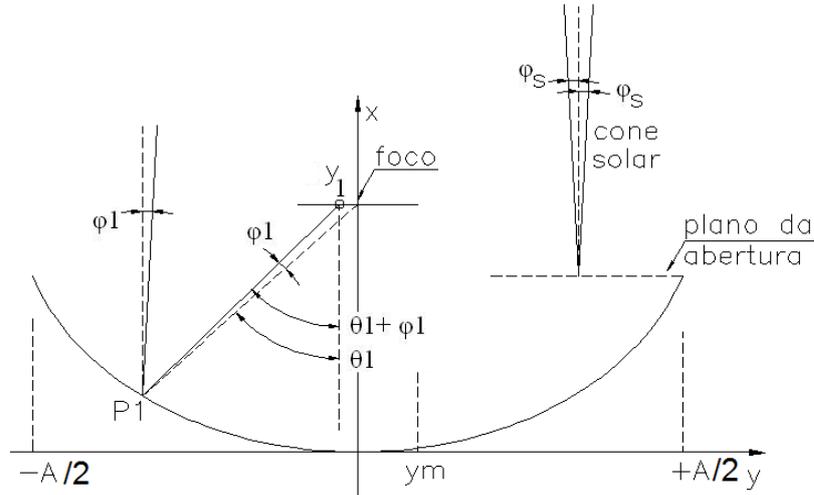


Figura 1 - Perfil do concentrador parabólico com absorvedor plano.

A energia que chega ao plano da abertura, mostrado na Figura 1, provém do cone solar que tem como abertura angular o meio ângulo solar (φ_s) e intensidade ($B(\varphi)$ ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ rad}$)). O procedimento se desenvolve na seção transversal ao cilindro parábola (duas dimensões), mostrada no desenho da Fig. 1. Considera que a componente axial dos raios incidentes não se modifica ao longo da trajetória dos raios solares no interior da cavidade do coletor. Por tal motivo, o disco solar, paralelo à superfície de abertura, pode ser considerado como uma linha distante, mas contida no plano transversal do coletor. Cada ponto desta linha é a integral da radiação do disco solar ao longo de uma corda perpendicular à mesma.

O raio refletido atinge o absorvedor com ângulo ($\theta + \varphi$) (Fig. 1). Independentemente da geometria do concentrador, as variáveis (θ), (φ) e (y) estão relacionadas por uma função $y = Y(\theta, \varphi)$.

$$y = \frac{\text{sen}(\varphi)}{\cos(\theta - \varphi)} \frac{2f}{(1 + \cos(\theta))} \quad (1)$$

Cada raio incidente no ponto da superfície refletora, caracterizado pelo ângulo (θ), atinge o ponto (y) com um raio que faz o ângulo ($\theta + \varphi$). O intercâmbio de energia radiante ($\partial^2 q$) entre um elemento (dr) do refletor, em torno do ponto P1 de reflexão, e o elemento dy , em torno do ponto y_1 do absorvedor, pode ser calculado pela Eq. (2).

$$\partial^2 q = B(\varphi) \cdot \cos(\theta + \varphi) \cdot dy \cdot d(\theta + \varphi) \quad (2)$$

Se definirmos ($\theta' = \theta + \varphi$), a Eq. (1) pode ser escrita como uma função $\varphi = \varphi(\theta', y)$. Basta somar e subtrair o ângulo (φ) do ângulo (θ). Ou seja, que a função de brilho pode ser reescrita como $\mathfrak{R}(\theta', y)$. Integrando em (θ') a Eq. (2) obtemos finalmente

$$\frac{\partial q}{\partial y} = \int_{-90}^{+90} \mathfrak{R}(\theta', y) \cdot \cos(\theta') \cdot d(\theta') \quad (3)$$

ou

$$I(y) = \int_{-90}^{90} \mathfrak{R}(\theta', y) \cdot \cos(\theta') \cdot d\theta' \quad (4)$$

A Eq. (4) permite calcular a contribuição dos raios incidentes em cada ponto (y) do absorvedor. $I(y)$ e $\frac{\partial q}{\partial y}$ nas Eq. (4) e Eq. (3) possuem a mesma unidade W/m^2 .

2.1 Aplicação do modelo a um coletor com absorvedor cilíndrico

As mesmas considerações feitas para o desenvolvimento do modelo para a calha parabólica com absorvedor plano foram utilizadas para a adaptação do modelo de isolinhas de forma que permita obter a distribuição de energia no absorvedor cilíndrico de um concentrador do tipo calha parabólica.

A Figura 2 apresenta os principais parâmetros desta geometria que são relevantes para a aplicação do modelo.

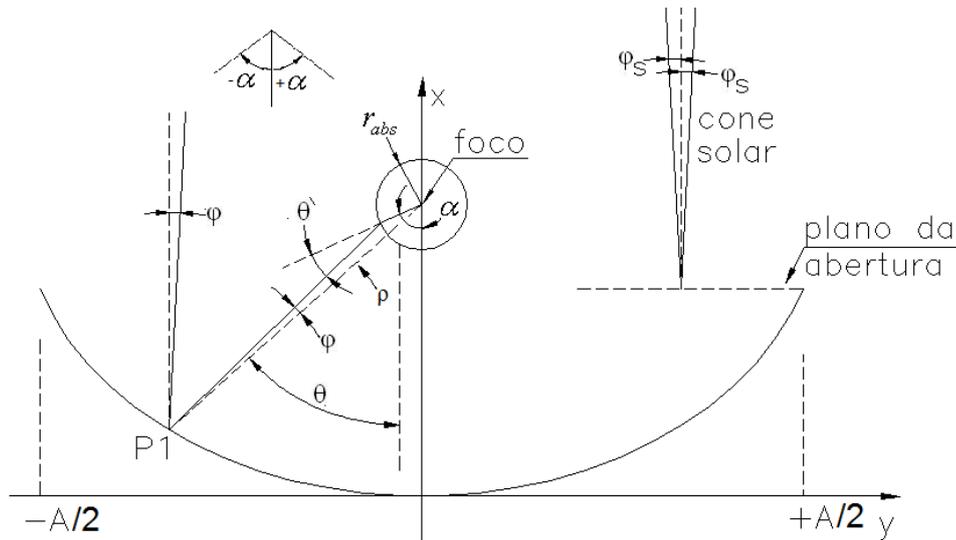


Figura 2 - Parâmetros do concentrador parabólico com absorvedor cilíndrico.

Segundo a Figura 2, um raio identificado pelo ângulo (φ) atinge a superfície refletora parabólica em um ponto (P1) que, da mesma forma que na geometria anterior, corresponde a um ângulo (θ). O absorvedor tem raio (r_{abs}), o ângulo (α) indica a posição angular de um ponto em sua superfície, sendo tomado como positivo o sentido anti-horário e negativo o sentido horário. O raio refletido faz um ângulo (θ') com a normal à superfície do absorvedor correspondente à posição angular (α).

Considerando-se os parâmetros indicados, é possível obter-se a função $\varphi = \varphi(\theta, \alpha)$ (Eq. (5)), na qual (α) é um parâmetro que permite obter os pares (θ, φ) que compõem o gráfico das isolinhas desta geometria.

$$\tan(\varphi) = \frac{r_{abs} \sin(\theta - \alpha)}{\rho - r_{abs} \cdot \cos(\theta - \alpha)} \quad (5)$$

Na Eq. (5):

φ é o ângulo que identifica um raio dentro do cone solar;

θ representa o ângulo definido entre o eixo do cone solar refletido e o eixo da parábola;

r_{abs} é o raio do absorvedor;

α representa a posição angular de um ponto no absorvedor;

ρ é a distância entre o foco da parábola e um ponto na superfície refletora atingido por um feixe específico.

Como descrito na Seção 2, pode se transformar o argumento da função ($B(\varphi)$) em ($\mathfrak{R}(\theta', \alpha)$) que representa a distribuição de brilho solar e depende do modelo considerado.

A energia incidente em cada ponto da superfície do absorvedor, caracterizado pelo ângulo (α), é obtida somando as contribuições de cada ponto da superfície refletora (Eq. (6)), análoga à Eq. (4) utilizada no desenvolvimento do modelo.

$$I(\alpha) = \int_{-90}^{+90} \mathfrak{R}(\theta', \alpha) \cdot \cos(\theta') \cdot d\theta' \quad (6)$$

Onde: o ângulo (θ') entre a normal à superfície do absorvedor no ponto (α) e o raio incidente (φ) é calculado pela seguinte equação

$$\theta' = \theta - \alpha + \varphi(\theta, \alpha) \quad (7)$$

Diversos modelos são utilizados na literatura, dentre eles o modelo gaussiano, para representar a dispersão dos raios do cone solar causado por desvios ópticos, tais como a dispersão causada pela atmosfera e as micro imperfeições da superfície refletora.

Para se determinar a concentração local ou a distribuição da concentração em função do ângulo (α) e consequentemente a distribuição de energia na superfície do absorvedor, em cada ponto (α), foi utilizada a definição de concentração de fluxo (C_{fluxo}) (Eq. 8), descrita em Rabl (1985) como sendo a relação entre o fluxo no absorvedor ($I(\alpha)$) (Eq. (5)) e o fluxo na abertura (I_{abertura}).

$$C_{\text{fluxo}}(\alpha) = \frac{I(\alpha)}{I_{\text{abertura}}} \quad (8)$$

Para o cálculo do fluxo que incide no plano de abertura do concentrador (I_{abertura}), considerou-se a soma das contribuições de cada raio, definido por (φ) dentro do feixe solar (Eq. (9)), onde $B(\varphi)$ ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{rad})$) representa a distribuição de brilho solar.

$$I_{\text{abertura}} = \int_{-\varphi_s}^{\varphi_s} B(\varphi) \cos(\varphi) \cdot d\varphi \quad (9)$$

2.2 Resultados e discussão

2.2.1 Perfil no absorvedor para diversos valores dos erros óticos

O gráfico das isolinhas de um concentrador parabólico com absorvedor circular é apresentado na Figura 3. A isolinha é a relação existente entre os pares de ângulos (θ) e (φ) que atingem um único ponto da superfície absorvedora. A integral (Eq. (6)) que fornece ($I(\alpha)$) é realizada ao longo dessa linha. Os limites da integral correspondem aos extremos da isolinha e variam para cada ponto. Para a obtenção desse gráfico e para fins de demonstração do procedimento, considerou-se que o raio do absorvedor é 0,01 m, a distância focal é de 1m e o ângulo de borda do concentrador é 90° .

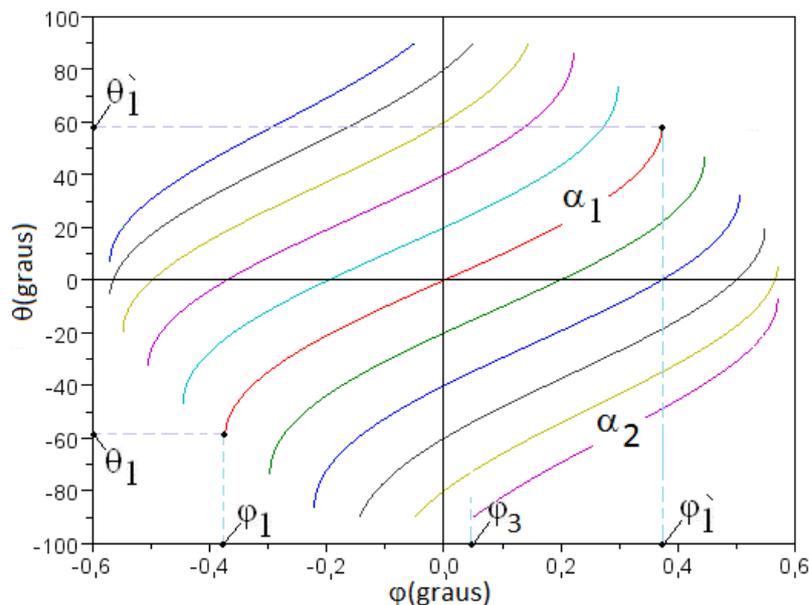


Figura 3 - Gráfico de isolinhas concentrador parabólico com absorvedor cilíndrico.

Observa-se, na Figura 3 que cada isolinha, caracterizada pelo ângulo (α), define uma faixa angular do cone solar. O ponto (α_1) na Figura 3, que para a configuração da geometria apresentada corresponde a ($\alpha = 0^\circ$), é atingido, de forma simétrica, por raios do cone solar compreendidos entre (φ_1) e (φ_1'), recebendo contribuições dos pontos da superfície da parábola que estão entre (θ_1) e (θ_1').

Conforme a posição angular se distancia do centro ($\alpha = 0^\circ$), (α_2) na Figura 3 por exemplo, uma menor fração do cone solar é aproveitada. A isolinha que corresponde à posição angular (α_2) só abará os raios do cone solar dentro da faixa ($\varphi_3 \leq \varphi \leq \varphi_s$), a consequência disto é que a faixa de ângulos (θ) da superfície que contribuirá para a iluminação

deste ponto (α_2), estará compreendida entre ($\theta_{borda} \leq \theta \leq \theta_{limite}$), significando uma menor contribuição da superfície refletora para a iluminação em relação a outro ponto (α). θ_{limite} é o valor de θ correspondente ao limite do cone solar, obtido na Eq. (5).

A Figura 4 apresenta o comportamento da concentração de fluxo local para um concentrador real, composto por uma calha parabólica com ângulo de borda de 70° , distância focal (f) de 1,84 m e raio do absorvedor (r) de 2,18 cm, quando são consideradas as distribuições de brilho de Rabl (Rabl e Bendt, 1982) e uma distribuição de brilho gaussiana que considera os erros ópticos totais de 6 mrad. Os gráficos apresentados na Fig. 4 foram obtidos utilizando as Eq. (6), Eq. (7), Eq. (8) e Eq. (9).

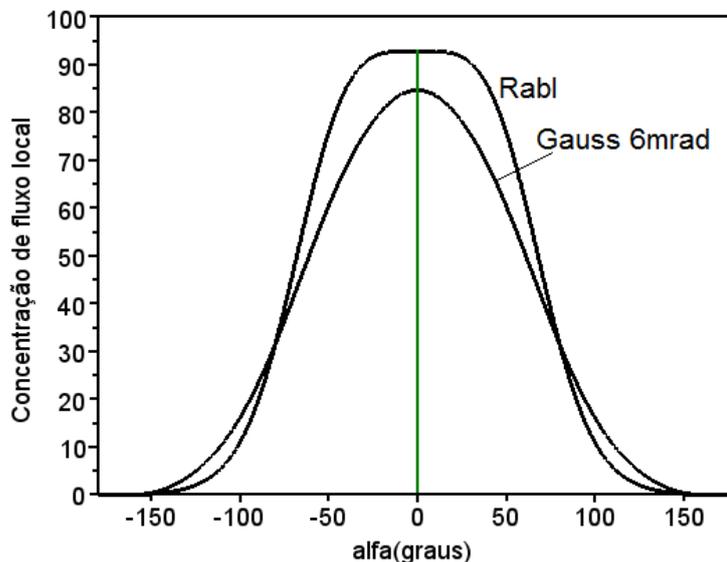


Figura 4 - Concentração de fluxo local para distribuições de brilho de Rabl e Gaussiana. Ângulo de borda $\theta_{borda} = 70$ graus, distancia focal $f = 1,84$ m e raio do absorvedor $r = 2,18$ cm.

Observa-se, na Figura 4, que a distribuição de energia no absorvedor obtida com a distribuição de brilho de Rabl apresenta concentração máxima ($C_{\max, Rabl} = 95$) e intervalo de iluminação do absorvedor entre -150 e $+150$ graus, o qual corresponde, aproximadamente, ao intervalo que pode ser estimado como $\alpha_{\max} = \theta_{borda} + 90^\circ$. A concentração de fluxo média verificada com esta distribuição foi de 37,2 sois, enquanto que a concentração geométrica da configuração proposta para a simulação é de 37,6 sois. Cabe destacar que a concentração máxima teórica da radiação solar para um disco solar de 4,7 mrad (Rabl, 1976) é igual a 212,7 sois.

Ainda segundo Rabl (1976), a concentração geométrica máxima do concentrador em estudo é calculada pela Eq. (10). Esta expressão define o maior valor de concentração quando se considera que o concentrador não está submetido a erros ópticos nem a desalinhamentos. Para as configurações do concentrador utilizadas nas simulações deste trabalho, este valor é de 63,6 sois.

$$C_{geom, \max} = \frac{\text{sen}(\theta_{borda})}{\pi \cdot \text{sen}(\sigma_{Sol})} \quad (10)$$

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 Guven 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) e desvios estocásticos ou randômicos são causados pela mudança do tamanho do sol decorrente de processos de espalhamento dos raios solares dentro do cone solar. 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.

Quando os erros ópticos estocásticos são considerados, sua intensidade é representada como sendo σ_{total} , que é um parâmetro que reúne o efeito de diversos fatores que causam o espalhamento dos raios conforme Guven e Bannerot (1986).

A curva denominada Gauss da Figura 4, foi obtida considerando $\sigma_{total} = 6$ mrad, observa-se que a distribuição de energia no absorvedor apresenta-se com mais dispersão e menos intensidade máxima que no caso anterior ($C_{\max} = 85$). A concentração de fluxo média obtida, neste caso, foi de 33,1 sois para a intensidade de erros ópticos equivalente ao desvio de 6 mrad.

A Figura 5 apresenta os resultados da simulação da distribuição da concentração de fluxo considerando erros ópticos (σ_{total}) de 4, 6 e 10 mrad. Significando respectivamente, desconsideração de erros ópticos, erros causados por superfícies com boa qualidade e baixo nível de irregularidade, e superfícies com maior rugosidade e nível de irregularidades (diferenças na superfície com relação à geometria projetada).

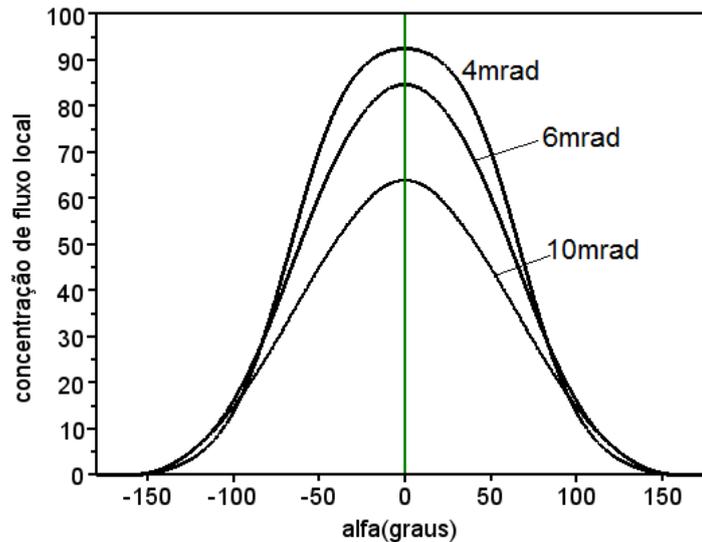


Figura 5 - Concentração de fluxo local considerando desvios de 4, 6 e 10 mrad. Ângulo de borda $\theta_{borda} = 70$ graus, distancia focal $f = 1,84$ m e raio do absorvedor $r = 2,18$ cm.

Verifica-se, por meio da Figura 5, que independente da intensidade dos erros ópticos a que o concentrador esteja submetido, a energia que incide no absorvedor estará sempre dentro da faixa $\pm 150^\circ$ (só depende do ângulo de borda). Observa-se que com o aumento dos erros ópticos ocorre uma diminuição da concentração média de fluxo, o que pode ser explicado pela não interceptação de uma parcela dos raios do cone solar pelo absorvedor, já que o absorvedor foi desenhado para interceptar raios que possuem dispersão correspondente a $\sigma_{total} = 8$ mrad.

A Figura 6 apresenta o comportamento da concentração média em função da intensidade dos erros ópticos em um concentrador parabólico com ângulo de borda de 70° , distância focal de 1,84m e raio do absorvedor de 2,18 cm.

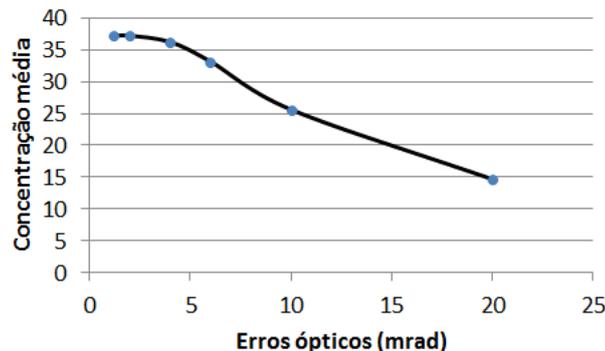


Figura 6 - Concentração média em função dos erros ópticos.

Ângulo de borda $\theta_{borda} = 70$ graus, distancia focal $f = 1,84$ m e raio do absorvedor $r = 2,18$ cm.

Verifica-se na Fig. 6 que, a concentração média decai de maneira aproximadamente linear em função da intensidade dos erros ópticos. Para um aumento de 4 vezes na intensidade dos erros ópticos, a concentração diminui em aproximadamente 2,5 vezes.

2.2.2 Desalinhamento do eixo da parábola

Conforme Pedrosa Filho (2010), o desalinhamento do eixo da parábola em relação ao vetor solar provoca o deslocamento e consequente dispersão da distribuição de energia quando se emprega absorvedores planos. Para que seja possível a simulação desse efeito, foi definido um ângulo (δ) entre o eixo da parábola e o vetor solar. Ainda segundo o autor, os raios que compõem a distribuição de brilho solar terão seus ângulos alterados, quando comparados com a situação de eixo alinhado.

Estas observações foram levadas em conta para permitir que possa ser simulada, com a metodologia proposta, a distribuição de fluxo em um absorvedor cilíndrico quando o concentrador não está alinhado com o vetor solar. Na Figura 7, observa-se o efeito do desalinhamento do eixo do concentrador em relação ao vetor solar.

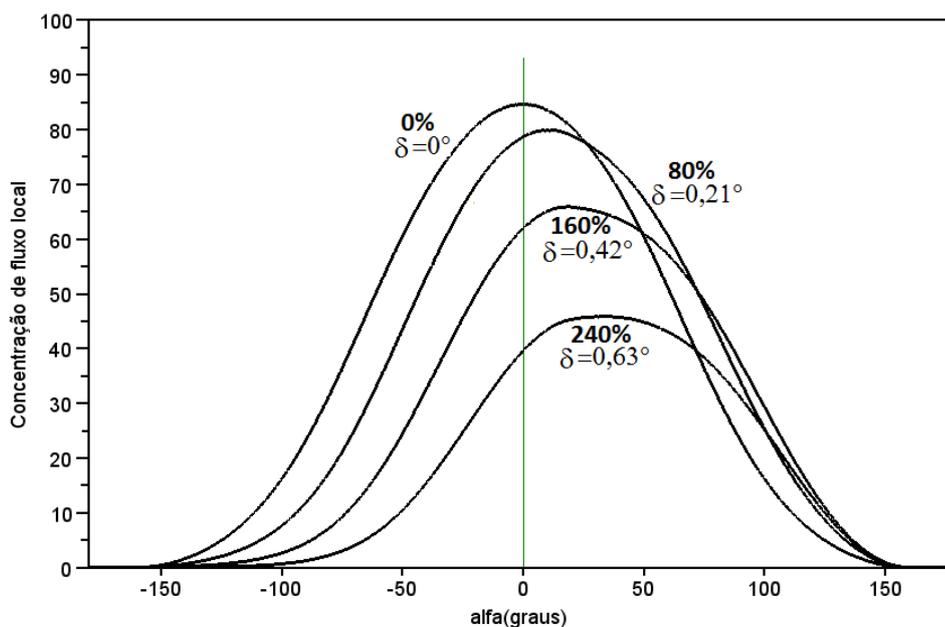


Figura 7 - Distribuição de fluxo local submetido a erros de rastreamento. Ângulo de borda $\theta_{borda}=70$ graus, distancia focal $f=1,84$ m e raio do absorvedor $r=2,18$ cm.

Para os resultados desta simulação, apresentados na Fig. 7, foi considerado que o eixo da parábola está à esquerda do vetor solar. As características geométricas do concentrador são: ângulo de borda de 70° , distância focal de 1,84 m e raio do absorvedor de 2,18 cm. Foram simuladas quatro condições: alinhado, desalinhado com 80% do cone solar (80% de $0,267^\circ = 0,21^\circ$), desalinhado com 160% do cone solar ($0,42^\circ$) e desalinhado com 240% do cone solar ($0,63^\circ$).

Verifica-se, em qualquer um dos casos, que a distribuição de energia situa-se sempre na faixa de $\pm 150^\circ$. Com o aumento do desalinhamento, nota-se um deslocamento da distribuição no sentido positivo dos ângulos (α) com conseqüente diminuição da intensidade da distribuição, devido principalmente à diminuição do fator de interceptação do concentrador.

A Figura 8 apresenta como se comporta a concentração média de uma calha parabólica com absorvedor cilíndrico quando submetida, simultaneamente a erros ópticos e ao desalinhamento do rastreador, considerando que o eixo da parábola está à esquerda do vetor solar.

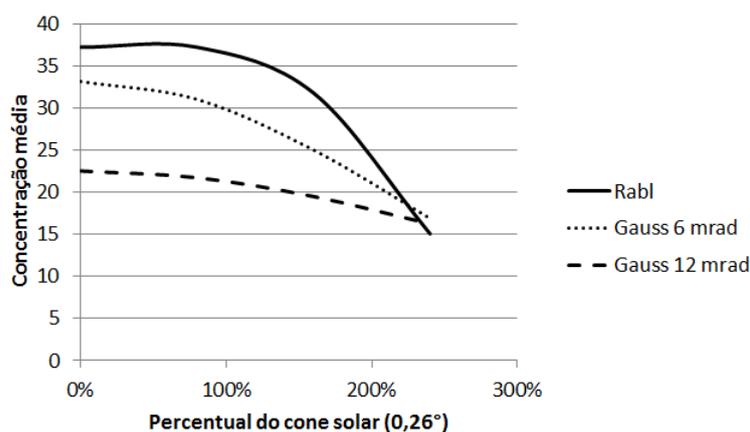


Figura 8 - Variação da concentração média com o desalinhamento do rastreador para três condições de erros ópticos.

Foram simuladas três condições de erros ópticos estocásticos: sem erros (Rabl), com erros com intensidade de 6 mrad (Gauss 6 mrad) e com erros com intensidade de 12 mrad (Gauss 12 mrad), e quatro condições de erros ópticos determinísticos oriundos do desalinhamento do rastreador, utilizadas na Figura 7 (0° , $0,21^\circ$, $0,42^\circ$ e $0,63^\circ$).

Verifica-se que com o aumento do desalinhamento, sistemas que possuem erros ópticos pequenos, ou seja, que possuem boa qualidade do seu sistema óptico (refletor e absorvedor) sofrem muita influência do desalinhamento. Para um sistema com 6 mrad de erros ópticos, a concentração cai 59% com o ângulo de desalinhamento de $0,63^\circ$ (240%) em relação à situação de não desalinhamento. Já para sistemas com erros ópticos maiores, observa-se que estes não são fortemente influenciados pelo desalinhamento do rastreador, para um sistema com 12 mrad, a concentração reduz 27% em relação à condição de alinhamento perfeito.

3. CONCLUSÕES

O método das isolinhas permite simular o comportamento de cavidades cilindro parabólicas com absorvedor cilíndrico com boa precisão. Utilizam-se para tal, expressões analíticas exatas, relativamente simples, que possibilitam estimar a distribuição de fluxo nas mais diversas situações: variação dos erros óticos, desalinhamento do eixo de rastreamento do Sol.

A deterioração do desempenho dos coletores é significativa quando o desenho dos mesmos considera estritamente a coleção dos raios incidentes, sem dar lugar a possíveis erros óticos que inevitavelmente sempre estão presentes. Quando o absorvedor é sobre dimensionado, embora reduza significativamente a concentração média do coletor, não é afetado tão sensivelmente como no caso em que o desenho não considera os erros que afetam a coleção de radiação.

Conta-se desta forma com uma ferramenta para projetos de engenharia que permitem avaliar benefícios e perdas quantitativamente com boa precisão sem que o desempenho dos coletores seja afetado significativamente pela presença de erros óticos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento da pesquisa por meio de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

- Fraidenraich, N., 1992. Analytic Solutions for the Optical-Properties of V-Trough Concentrators. *Applied Optics*, vol. 31, n. 1, pp. 131-139.
- Fraidenraich, N., Pedrosa, M. H. O., Vilela, O. C. e Gordon, J. M., 2013. Exact analytic flux distributions for two-dimensional solar concentrators. *Applied Optics*, vol. 52, n. 19, pp. 4596-4600.
- Glenn, K. W. e Ho, C. K., 2012. Impact of aperture size, receiver diameter, and loop length on parabolic trough performance with consideration of heat loss, pumping parasitics, and optics for a typical meteorological year. *Solar PACES*, Marrakech, Marrocos.
- Guyen, H. M. e Bannerot, R. B., 1986. Determination of Error Tolerances for the Optical Design of Parabolic Troughs for Developing-Countries. *Solar Energy*, vol. 36, n. 6, pp. 535-550.
- Moya, E. Z., 2004. Generación directa de vapor con colectores solares cilindro parabólicos, CIEMAT.
- Nicolas, R. O. e Duran, J. C., 1980. Generalization of the Two-Dimensional Optical Analysis of Cylindrical Concentrators. *Solar Energy*, vol. 25, n. 1, pp. 21-31.
- Pedrosa Filho, M. H. O., 2010. Simulação e análise de sistemas de alta concentração de radiação solar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Pedrosa Filho, M. H. O., Fraidenraich, N. e Vilela, O. C., 2014. Simulação da distribuição de fluxo solar concentrado em absorvedores circulares de concentradores cilindro parábola. V CBENS, Recife.
- Rabl, A., 1976. Comparison of Solar Concentrators. *Solar Energy*, vol. 18, n. 2, pp. 93-111.
- Rabl, A., 1985. *Active Solar Collectors and Their Applications*. New York, Oxford University Press.
- Rabl, A. e Bendt, P., 1982. Effect of Circumsolar Radiation on Performance of Focusing Collectors. *Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the Asme*, vol. 104, n. 3, pp. 237-250.

ISOLINE MODEL APPLIED TO PARABOLIC TROUGHS WITH CILINDRICAL ABSORBERS WITH OPTICAL ERRORS

Abstract. *For the use of solar concentrating systems, it is necessary to preview their performance under the effect of operational and constructive factors that influence the efficiency of the solar flux collection, such as optical errors and misalignments. Several models are used for this purpose. This paper presents an adaptation of the isoline model to allow the simulation of the distribution of incident energy on cylindrical absorbers of a parabolic trough. Those simulations were done considering several types of optical errors. The mean concentration and the maximum local concentration are reduced and the angular interval becomes higher as the increasing of optical errors. However, the power distribution was concentrated within the angular range $\pm 150^\circ$. The misalignment error influence was also analyzed. It was found that for optical devices of better quality, with lower optical errors, misalignment effects promote stronger decreases in radiation flux on the absorber. The mean concentration sensitivity with both optical and misalignment errors was determined. The primordial importance of the numerical results for design and operating evaluation was proved.*

Key words: *Solar concentration, parabolic collectors, flow distribution.*