

ESTUDO POR SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA ADIÇÃO DE ALETAS INTERNAS NO TUBO RECEPTOR DE UM CONCENTRADOR SOLAR TIPO CALHA PARABÓLICA

Alex Nivaldo Alcântara Renó, d2021103362@unifei.edu.br¹

Mamdouh El Haj Assad, massad@sharjah.ac.ae²

Ali Khosravi, alkh@sdu.dk³

Mohammad Malekan, mmalekan1986@gmail.com³

Juan José García Pabon, jjgp@unifei.edu.br¹

Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, Brazil¹

Departamento de Engenharia de Energias Sustentáveis e Renováveis, University of Sharjah, UAE²

Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, University of Southern Denmark, Sønderborg, Denmark³

Resumo: O aquecimento global é um problema atual mundialmente debatido e investigado, muitos pesquisadores e cientistas vem colaborando com trabalhos que buscam soluções para remediar seus impactos. As termoeletricas são responsáveis por emitir grandes quantidades de gases poluentes na atmosfera devido a queima de combustíveis fósseis. A usina de energia solar é uma alternativa promissora para suprir a demanda de energia elétrica de forma sustentável. Dentre as tecnologias desenvolvidas para captar a luz solar, o coletor solar de calha parabólica (PTS) é usado para a produção de eletricidade e calor simultaneamente, em que, o concentrador solar funciona como uma caldeira de um ciclo Rankine. Este trabalho desenvolve modelagem térmica de um receptor de um PTS através da ferramenta de análise CFD. O desempenho do coletor PTS é melhorado considerando diferentes cenários, utilizando várias inserções de fluxo interno no tubo receptor principal, responsável por transformar energia da irradiação solar em energia térmica. Para isso, foi utilizado o caso de referência (tubo liso) com diferentes posições das aletas e diferentes geometrias de aletas. O terminol-vp1 é utilizado como fluido de trabalho do sistema. Essa avaliação é realizada através da investigação do parâmetro determinante para o cálculo da eficiência geral do sistema, o coeficiente de transferência de calor. A proposta deste trabalho visa encontrar uma aleta que melhore significativamente a eficiência térmica do tubo receptor em um sistema de geração de energia elétrica por concentrador solar. Os resultados obtidos nas simulações permitem otimizar a geometria e estabelecer uma correção para o cálculo do coeficiente de transferência de calor e a perda de carga. Esta correlação é uma ferramenta para projetos futuros e modelos de usinas solares que utilizam concentradores solares de calhas parabólicas. O melhor desempenho foi obtido para o caso de tubo aletado com comprimento de aleta de 25 mm e espessura de 4 mm. Com este caso a eficiência térmica foi melhorada em 2,13 %.

Palavras-chave: Coletor solar de calha parabólica, Inserções de fluxo interno, Energia solar, Análise CFD, Aleta, Eficiência térmica.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da nossa sociedade é enfrentar o aquecimento global. O aquecimento global envolve não apenas o aumento da temperatura média, mas também a mudança do padrão de precipitação, o aumento do nível do mar, o derretimento das geleiras, a mudança dos habitats e muitas outras questões ambientais (Ali, 2017). No Acordo Climático de Paris das Nações Unidas (The Paris Agreement | UNFCCC, 2021), a humanidade está globalmente buscando limitar as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera a um nível que limitaria o aumento da temperatura atmosférica em 1,5 graus (Global Warming of 1.5°C, 2019). Por outro lado, nos últimos anos, devido à diminuição dos recursos naturais de energia, os recursos de energia renovável têm sido considerados para suprir a demanda de energia em todo o mundo (Khosravi *et al.*, 2020). Os sistemas de energia renovável obtêm sua energia de recursos renováveis como vento, geotérmico, luz solar, ondas e marés (Khosravi e Syri, 2020), que são limpos e não causam problemas ambientais (Khosravi *et al.*, 2018). Muitas tecnologias (como fotovoltaica, torre de energia solar, prato solar-Stirling, coletor Fresnel linear, coletor solar térmico e sistema solar de calha parabólica) foram desenvolvidas para captar e transformar a energia solar em formas de energia térmica e elétrica (Pabon *et al.*, 2020). Uma deficiência é que o desempenho dos sistemas solares é relativamente baixo (Aurybi *et al.*, 2018). Os sistemas solares térmicos comumente são combinados com um ciclo de Rankine para produzir eletricidade (Zhou *et al.*, 2021). Predominantemente em usinas de energia solar de base térmica, campos solares são considerados como caldeiras para o ciclo de Rankine (Wang *et al.*, 2019). Melhorar a

eficiência dos componentes do campo solar pode aumentar o rendimento geral do ciclo. Os métodos de otimização se concentram em melhorar as características térmicas do fluido de trabalho ou a geometria do sistema (Salazar *et al.*, 2017).

PTS é uma técnica promissora para converter a irradiância solar concentrada em energia térmica. Diferentes métodos têm sido propostos para melhorar sua eficiência. Uma das técnicas passivas comuns é usar as inserções de fluxo dentro do receptor do coletor. Bellos *et al.* (2018) investigaram um receptor esquematizado com inserções cilíndricas para coletor solar de calha parabólica (PTSC). Eles propuseram 15 cenários (tubo vazio, inserção única, 8 cenários com fluxo de duas inserções, três cenários com três inserções e dois cenários com quatro inserções) para encontrar a configuração ideal para o coletor. Eles relataram que aumentar o número de inserções melhora o desempenho térmico do coletor. Além disso, foi relatado que a eficiência geral do receptor é significativamente dependente da localização das inserções. O melhor cenário foi obtido com quatro pastilhas com as quais a eficiência térmica (TE) aumentou em torno de 0,656%, o coeficiente de transferência de calor (HTC) melhorou em 26,88% e as perdas térmicas diminuíram em cerca de 5,63%. Bellos e Tzivanidis (2018) examinaram um escoamento com inserto em forma de estrela para um PTSC no qual 16 cenários diferentes foram considerados alterando o comprimento da aleta (15 a 30 mm) e a espessura (2 a 5 mm). O estudo mostrou que a inserção da estrela aumentou a eficiência térmica do coletor solar. Em outra pesquisa sobre a geometria do receptor, Bellos *et al.* (2017) investigaram doze diferentes geometrias de aletas dentro do PTSC. As aletas internas foram propostas com espessuras de 2, 4 e 6 mm; e comprimento de 5, 10, 15 e 20 mm. Seus resultados ilustraram que aumentar a espessura da aleta, bem como o comprimento, aumenta o TE e a perda de pressão. Além disso, foi proposto o cenário ótimo para o coletor solar com comprimento de 20 mm e espessura de 4 mm. Bellos *et al.* (2018) desenvolveram um trabalho de pesquisa para definir o número ideal de aletas e sua localização no PTSC. A aleta proposta era do tipo retangular com comprimento e espessura de 10 e 2 mm, respectivamente. A localização da aleta interna foi proposta na parte inferior do absorvedor com a qual o TE do coletor aumentou em torno de 0,51%. Malekan *et al.* (2021) sugeriu inserções de fluxo interno (aleta e cruz) para coletores solares. O fluido de trabalho do sistema foi ferrofluido sob campo magnético. De fato, para melhorar a eficiência do coletor, eles investigaram ambos os efeitos. O melhor cenário para melhorar a eficiência do coletor foi para o cenário 8 com o inserto de fluxo de aleta de 4 mm e sob campo magnético externo (EMF) de 250 G.

De acordo com a literatura, amplos projetos de pesquisa têm sido conduzidos para melhorar a eficiência dos PTSCs. A otimização do fluido de trabalho foi investigada em muitos estudos. Nanofluidos e ferrofluidos foram examinados por várias frações de volume, vários tamanhos de nanopartículas e sob as diferentes intensidades de campos magnéticos. A eficiência térmica dos PTSCs trabalhando com nanofluidos e ferrofluidos aumentou em todos os casos. Por outro lado, inserções de fluxo foram examinadas para aumentar a eficiência térmica de PTSCs. Para o melhor do conhecimento dos autores, poucos estudos se concentraram em insertos de fluxo e suas geometrias para aumentar a eficiência térmica do coletor. Neste estudo, novos insertos de fluxo com projeto de geometria diferente são examinados. Os insertos de fluxo propostos são em forma de cruz, plus, estrela e barbatana, que geram 16 casos diferentes. O critério de avaliação desse trabalho é o coeficiente de transferência de calor.

2. ESTUDO DE CASO

O Butão é um pequeno país cuja economia foi estabelecida com base na energia hidrelétrica, agricultura e silvicultura. É um dos países asiáticos que tem geração excedente de energia elétrica. Esse excesso de eletricidade (produzido pela energia hidrelétrica) é transformado na Índia. Embora a energia hidrelétrica seja um tipo de recurso de energia renovável, ela apresenta algumas deficiências, como: efeito adverso na qualidade e no fluxo da água; é significativamente afetado pela seca; gera impactos negativos nos habitats dos peixes. Além disso, neste país, durante a estação seca do inverno, 300 MW de geração de energia diminuem. Por isso, o Butão busca tecnologias alternativas de energia (como sistemas solares, geotérmicos, biomassa e eólica) e planeja melhorar a eficiência dos sistemas. A Figura. 1 demonstra um mapa solar para o Butão no qual os valores médios da irradiância horizontal global (GHI) são apresentados (Solar resource maps and GIS data for 180+ countries | Solargis, 2019). O estudo de caso é Thimphu (latitude: 27,47 e longitude: 89,63) com um GHI médio de 5,6 (kWh/m²ano). O presente trabalho de pesquisa desenvolve uma modelagem numérica de um coletor PTSC na região de estudo baseada na radiação solar média dessa região.

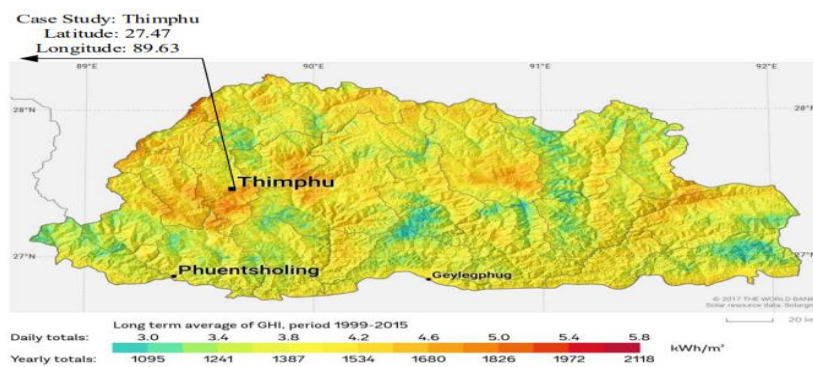


Figura 1. Mapa solar do butão apresentado pelos dados médios de irradiância horizontal global.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. PTSC

Um PTSC consiste em um coletor solar acompanhado de um tubo principalmente para receber a energia térmica, conforme ilustrado na Fig. 2, é utilizado na análise numérica atual. O coletor possui comprimento de 8 m e largura de 5 m, enquanto o tubo receptor possui diâmetros interno e externo de 0,076 e 0,08 metros, respectivamente.

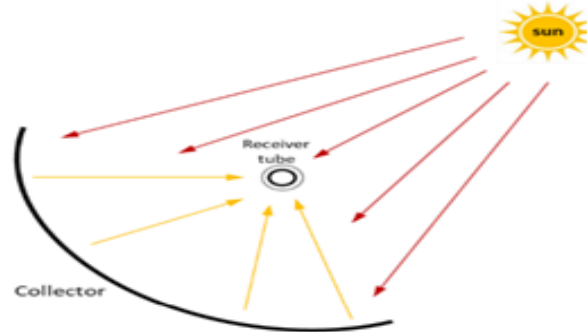


Figura 2. Esquema do modelo PTSC.

A Figura 3 apresenta a razão de concentração local (LCR) para o tubo receptor, incluindo distribuição típica de Muñoz e Abánades (2011) e um modelo a ser considerado neste trabalho. O fluido de trabalho é Therminol-VP1 operando a 500 K com densidade (ρ) de 890 kg / m³, condutividade térmica (k) de 0,113 W/m.K, capacidade de calor específico (cp) de 2120 J/kg.K, e viscosidade (μ) de 0,000335 kg/m.s.). A Tabela. 1 resume os parâmetros de projeto para PTSC.

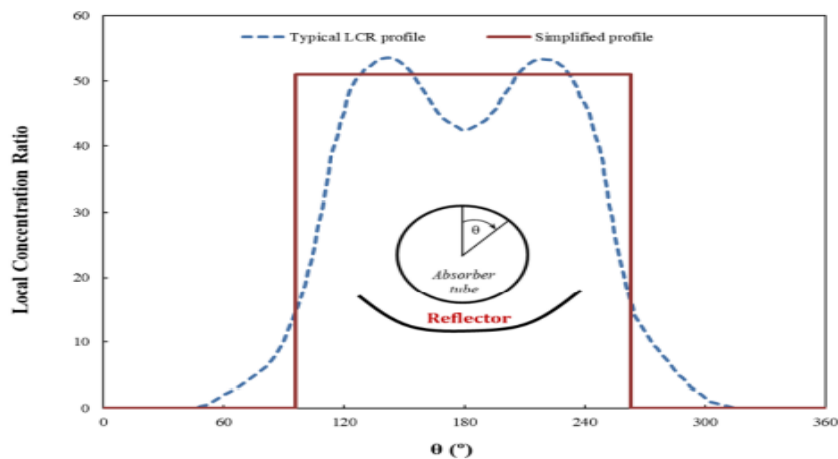


Figura 3. Variação do LCR sobre o tubo receptor.

Tabela 1. Parâmetros de Projeto para PTSC

Parâmetros	Valores	Parâmetros	Valores
Parâmetros de campo solar		Geometria do coletor	
Irradiância do projeto	950 W/m ²	Comprimento do coletor	8 m
Fluido de trabalho	Therminol-vp1	Largura da abertura	3 m
Temperatura de entrada	293 °C	Número de módulos	8
Vazão mínima de loop único	1 kg/m ²	Refletância do espelho	0,93
		Comprimento médio da superfície ao foco	2,15 m
		Sujeira no espelho	0,97
		Diâmetro interno do tubo absorvedor	0,076 m
		Diâmetro externo do tubo absorvedor	0,08 m

Cinco configurações diferentes de tubos receptores são consideradas aqui, conforme mostrado na Fig. 4, a fim de analisar o desempenho do PTSC na presença de várias inserções de fluxo interno. A Tabela 2 apresenta dezesseis casos diferentes definidos para este trabalho mais o caso de referência, que é um tubo liso sem qualquer inserção de fluxo.

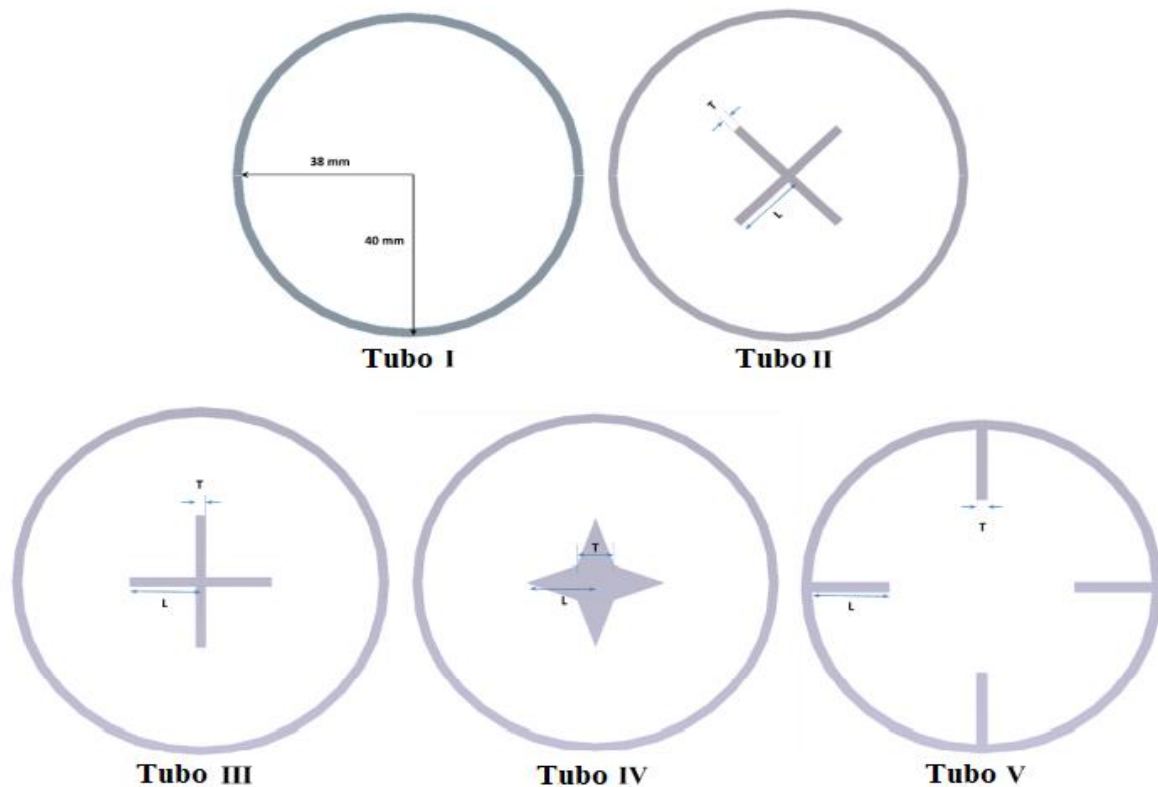


Figura 4. Variação das aletas internas no tubo receptor.

Tabela 2. Definição de diferentes casos para análise de CFD

Casos	Tipo de Tubo	Tamanho do inserto, L (mm)	Espessura do inserto, T (mm)
Referência	Tubo I	NA	NA
1	Tubo II	15	2
2		20	
3		25	
4	Tubo III	15	2
5		20	
6		25	
7	Tubo IV	15	7,5
8		20	10
9		25	12,5
10	Tubo V	15	2
11		20	
12		25	
13	Tubo II	25	4
14	Tubo III		4
15	Tubo IV		15
16	Tubo V		4

3.2. Base teórica da simulação CFD

O processo de resolução é iniciado empregando as equações de Navier-Stokes para cada volume de controle. A continuidade, as equações de quantidade de movimento e energia são escritas da seguinte forma:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau} + \rho \vec{f} \quad (2)$$

$$\rho \left[\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h\vec{V}) \right] = -\frac{Dp}{Dt} + \nabla \cdot (k\nabla T) + \emptyset \quad (3)$$

Em que, ρ , $\vec{V}$, T , h , k , $\vec{\tau}$, $\vec{f}$, p são densidade, vetor velocidade, temperatura, entalpia, condutividade térmica, tensão viscosa, força corporal por unidade de massa e pressão, respectivamente. O modelo de turbulência considerado para este trabalho é o k - ϵ modelo RNG, com as constantes empíricas como segue (Yakhot *et al.*, 1992; Launder e Spalding, 1974 e Koronaki *et al.*, 2001):

$$\begin{aligned} \mu_t &= \rho_{ff} C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, C_\mu = 0,0845 \\ C_{1\epsilon} &= 1,42, C_{2\epsilon} = 1,68 \\ \sigma_k &= 1, \sigma_\epsilon = 1,3 \\ G_k &= 2\mu_t E_{ij} E_{ij}, E_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

3.3. Cálculo da eficiência térmica e o coeficiente de transferência de calor

A quantidade de radiação solar sobre o coletor é obtida:

$$Q_s = A_a \cdot G_b \quad (5)$$

com G_b como a radiação solar direta, A_a define a abertura do coletor. Em que, Q_{abs} é a energia solar absorvida estimada como:

$$Q_{abs} = Q_s \cdot \eta_{opt,max} \cdot K(\theta) \quad (6)$$

A expressão $\eta_{opt,max}$ é a eficiência óptica máxima e $K(\theta)$ é o modificador do ângulo incidente. Para o trabalho, $\eta_{opt,max}$ é considerado igual a 75,5% e $K(\theta)$ igual a 1 (já que o PTSC é analisado no ângulo de incidência zero). Por outro lado, o calor útil pode ser definido como:

$$Q_u = \dot{m} c_p [T_{out} - T_{in}] \quad (7)$$

$\dot{m}$ é a taxa de fluxo de massa; T_{in} é a temperatura de entrada e T_{out} a temperatura de saída.

$$Q_{loss} = Q_{abs} - Q_u \quad (8)$$

A eficiência térmica é um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho do coletor solar e pode ser calculado como:

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (9)$$

O coeficiente de transferência de calor médio é calculado como:

$$\overline{HTC} = \frac{Q_u}{A_r(T_{sup} - T_{fluido})} \quad (10)$$

A_r é a área do tubo receptor, T_{sup} é a temperatura média da superfície do tubo e T_{fluido} é a temperatura média do fluido na seção transversal. Importante lembrar a definição do número do Nusselt:

$$Nu = \frac{kD}{\overline{HTC}} \quad (11)$$

k é a condutividade térmica do fluido avaliada na temperatura T_{fluido} . D é o diâmetro interno do receptor.

4. RESULTADOS

Na pesquisa atual, um PTSPP de 100 MW foi implementado para Thimphu, Butão. O PTSPP é modelado para um ano, o que representa uma simulação dinâmica do sistema para cada hora do ano. Esta simulação foi realizada usando BNSR, bem como dados meteorológicos típicos para a região de estudo. O principal objetivo deste trabalho é melhorar a eficiência do sistema. Consequentemente, o desempenho dos coletores solares foi melhorado considerando diferentes

cenários, utilizando várias inserções de fluxo interno dentro do tubo receptor. As equações do problema PTSC de estado estacionário 3D foram resolvidas usando *ANSYS® Fluent®* versão 19.1. Aqui, o esquema de diferenciação *upwind* de segunda ordem é empregado para resolver equações de momento e energia, com um limite de convergência de 10^{-3} e 10^{-6} para equações de momento, massa e energia, respectivamente. Para simulação deste problema, as condições de contorno são consideradas abaixo:

- **Entrada:** velocidade e temperatura uniformes de $u = u_0$ e $T_f = T_0 = 226,85$ °C.
- **Fluxo de calor:** $\dot{q}_{up} = I_g$ e $\dot{q}_{down} = I_b C_R$ sobre as superfícies superior e inferior do tubo, respectivamente. I_g e I_b são radiações globais e de feixe com intensidades de 950 e 850 W/m², respectivamente. C_R é a taxa de concentração e definida como (Ghasemi e Ranjbar, 2017):

$$C_R = \frac{A_{ap}}{A_r} \quad (11)$$

Em que, A_{ap} é a área de abertura do PTSC e A_r é a área do tubo receptor. Portanto, C_R tem um valor de 19,90 para o modelo PTSC atual.

- **Saída:** gradiente de pressão zero.

Primeiro, o número Nu é obtido para tubo liso são validados usando a correlação de Colburn (J. L. IV and J. L. V, *A Heat Transfer Textbook, Fourth. Philogiston Press, 2012.*), sendo:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (12)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (13)$$

O número de Nusselt desta equação é válido para regime de fluxo turbulento ($Re > 2300$). Os resultados CFD atuais estão muito próximos da teoria, ou seja, a Eq. (12), leva a ter um erro máximo de 5% entre eles.

4.1. Ciclo de Simulação

As distribuições de temperatura e velocidade na saída para o caso de referência são mostradas na Fig. 6. Além disso, a temperatura de saída para os casos 3, 6, 9 e 12 são mostradas na Fig. 7. Como pode ser visto nessas duas figuras, tendo inserções de fluxo interno ajudam a aumentar a temperatura de saída. Entre essas quatro inserções de fluxo diferentes, o tubo com aletas Fig. 7 eleva a temperatura de saída melhor do que os outros casos, portanto, uma temperatura mais alta para o fluido de trabalho. Para ambas as figuras, a temperatura de entrada é igual a 500 K e a taxa de fluxo volumétrico (VFR) é 100 lit/min.

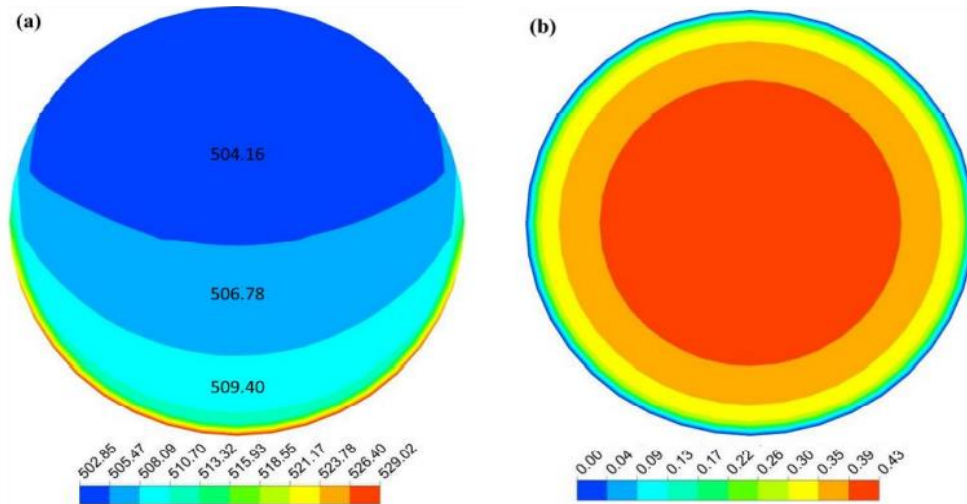


Figura 6. Resultados para o tubo liso $T_{in} = 500$ K: (a) temperatura na saída (K), e (b) velocidade (m/s) para VFR de 100 lit/min

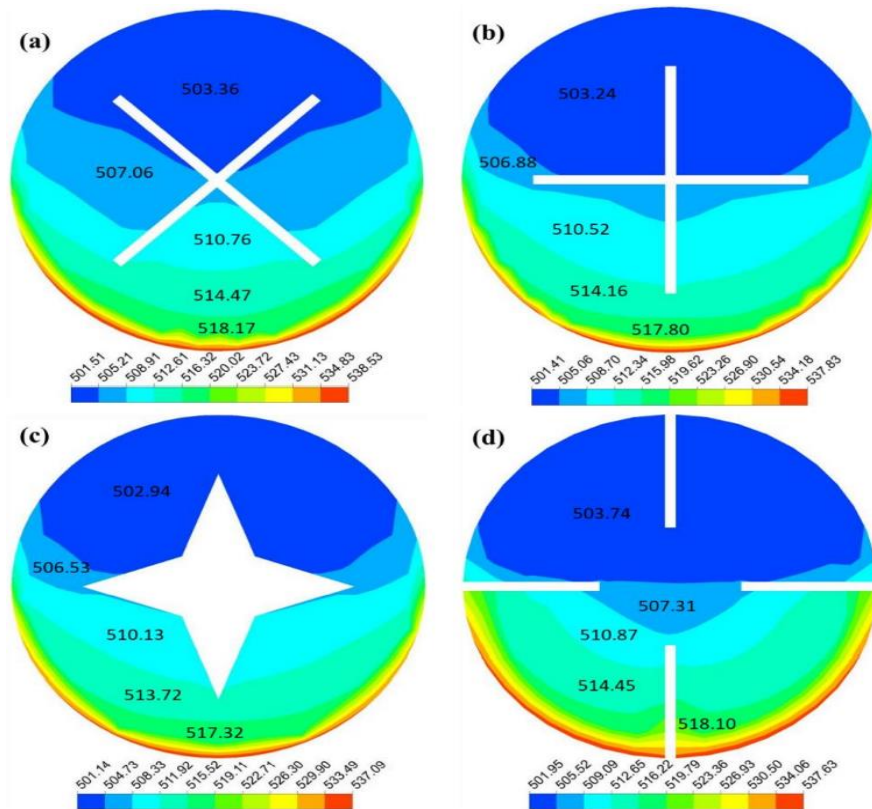


Figura 7. Temperatura (K) na saída para VFR de 100 lit/min e $T_{in} = 500$ K para: (a) caso 3, (b) caso 6, (c) caso 9 e (d) caso 12. L para todos os casos é igual a 25mm. T para os casos 3, 6 e 12 é igual a 2mm e para o caso 9 é igual a 10 mm.

A Figura. 8 apresenta as distribuições de velocidade de saída para VFR de 100 lit/min e T_{in} de 500 K para diferentes casos (casos 3, 6, 9 e 12). Semelhante às distribuições de temperatura de saída, o tubo com aletas mostra melhor desempenho ao comparar a distribuição de velocidade na saída por ter valores de velocidade mais altos entre todos os quatro casos.

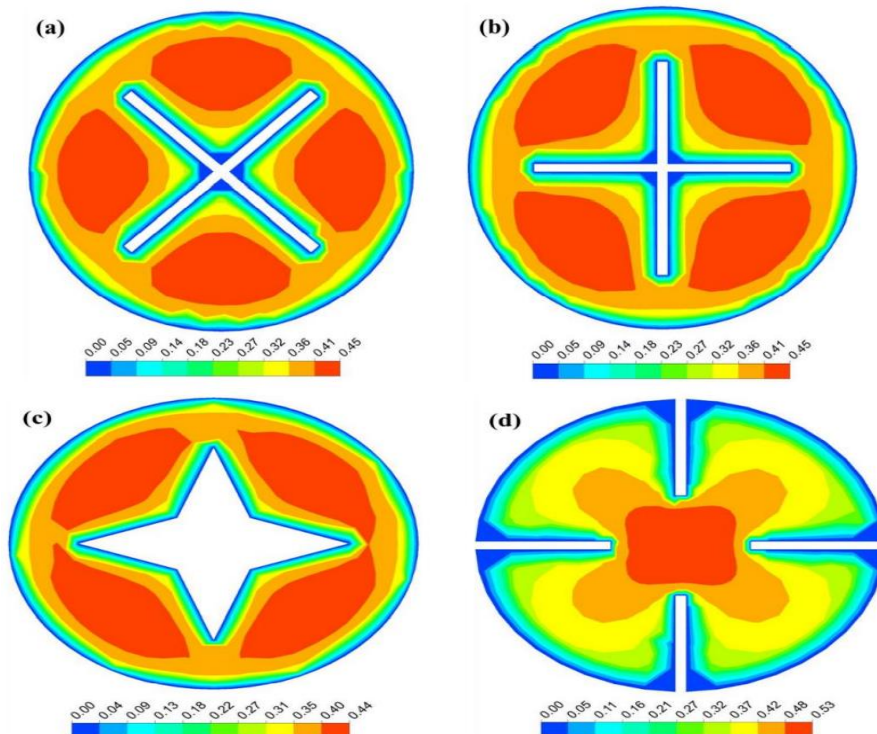


Figura 8. Velocidade na saída (m/s) para VFR de 100 lit/min e $T_{in} = 500$ K para: (a) caso 3, (b) caso 6, (c) caso 9 e (d) caso 12. L para todos os casos é igual a 25 mm. T para os casos 3, 6 e 12 é igual a 2mm e para o caso 9 é igual a 10mm.

O aprimoramento do HTC usando diferentes inserções de fluxo juntamente com o HTC do caso de referência são mostrados na Fig. 9, demonstrando uma tendência decrescente no aprimoramento para todos os casos com crescimento do VFR. O caso 16 com tubo aletado e com espessura de 4 mm mostra melhor desempenho com um aumento máximo de 9% para VFR de 50 Lit/min.

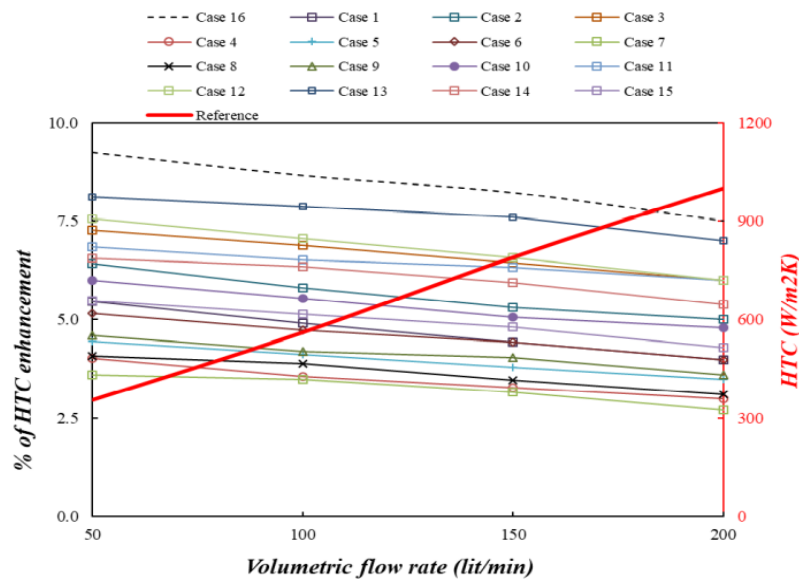


Figura 9. Aprimoramento do HTC convectivo local para todos os casos e variação HTC original para o tubo liso.

4.2. Eficiência

Como foi dito anteriormente, uma variável importante para avaliar o desempenho dos coletores solares é a sua eficiência. A Figura. 10 apresenta o aumento da eficiência térmica para todos os casos e sua variação para o caso de referência. A eficiência térmica máxima para o caso de referência e o caso 16 são 70,68% e 71,37%, respectivamente, para vazão volumétrica de 200 litros/min. O aprimoramento máximo da eficiência é de cerca de 2,13% para o caso 16 e VFR de 50 Lit/min, semelhante aos achados anteriores para HTC.

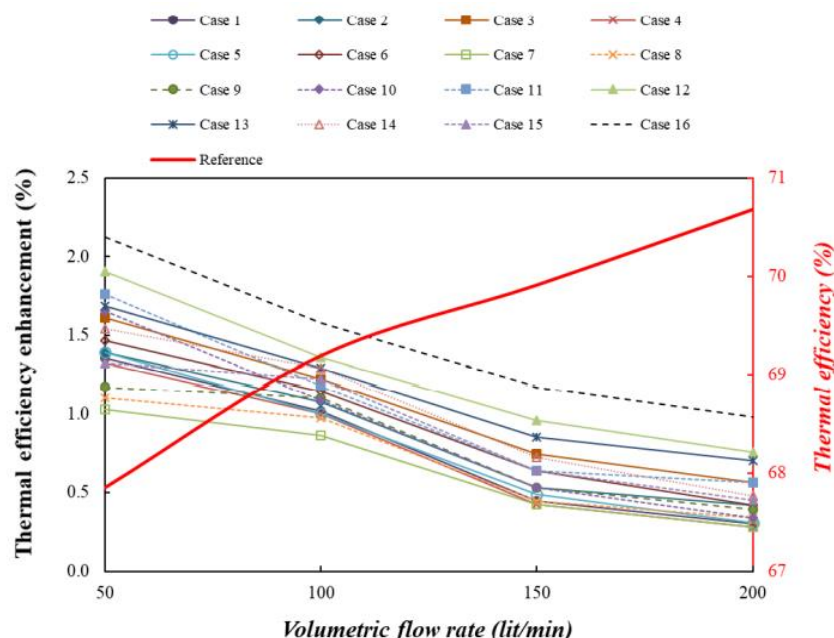


Figura 10. Aumento da eficiência térmica e variação da eficiência térmica para o tubo liso.

5. CONCLUSÕES

Uma usina de energia solar parabólica (PTSP) foi proposta como um sistema alternativo de geração de energia para Thimphu (Butão). Diferentes abordagens podem ser usadas para melhorar a eficiência dos PTSCs, como o uso de nanofluidos e inserções de fluxo interno para o tubo receptor. Este trabalho apresentou diferentes inserts de fluxo interno (quatro tipos: cruz, plus, estrela e barbatana) para melhorar o desempenho do PTSC. O fluido de trabalho foi escolhido

como Therminol-vp1 e as análises foram feitas usando os recursos de CFD do software ANSYS® FLUENT® 19.1. Inserções de fluxo interno foram examinados com diferentes comprimentos e espessuras de pastilhas. Dezesesseis casos diferentes mais o caso de referência (tubo liso) foram modelados a fim de obter o caso ótimo entre eles. Além disso, o comportamento dinâmico do sistema ao longo do ano foi investigado no estudo de caso. Os principais resultados deste estudo são:

O coeficiente de transferência de calor (HTC) foi aprimorado para todos os casos com várias inserções de fluxo interno em comparação com o caso de referência. O HTC máximo entre todos os casos foi o caso 16 com o comprimento da aleta de 25 mm e espessura de 4 mm. Neste caso, a melhoria máxima do HTC foi de cerca de 9,2%. Além disso, a eficiência térmica foi melhorada usando as inserções de fluxo para as saídas HTC, o caso 16 resultou em uma melhoria de 2,13% em relação ao caso de referência.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os agradecimentos à FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro nesta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- A. Khosravi, M. Malekan, and M. E. H. Assad., 2019. "Numerical analysis of magnetic field effects on the heat transfer enhancement in ferrofluids for a parabolic trough solar collector". *Renew. Energy*, vol. 134, pp. 54–63, Apr.
- A. Khosravi, R. N. N. Koury, L. Machado, and J. J. G. Pabon., 2018. "Prediction of wind speed and wind direction using artificial neural network, support vector regression and adaptive neuro-fuzzy inference system," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 25, pp. 146–160.
- A. Khosravi and S. Syri., 2020. "Modeling of Geothermal Power System Equipped with Absorption Refrigeration and Solar Energy using Multilayer Perceptron Neural Network Optimized with Imperialist Competitive Algorithm," *J.Clean. Prod.*, p. 124216, Sep.
- A. Khosravi, V. Olkkonen, A. Farsaei, and S. Syri., 2020. "Replacing hard coal with wind and nuclear power in Finland- impacts on electricity and district heating markets," *Energy*, vol. 203, p. 117884, Jul.
- B. E. Launder and D. B. Spalding., 1974. "The numerical computation of turbulent flows," *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 269–289, Mar.
- E. Bellos and C. Tzivanidis., 2018 "Investigation of a star flow insert in a parabolic trough solar collector," *Appl. Energy*, vol. 224, no. April, pp. 86–102.
- E. Bellos, C. Tzivanidis, and D. Tsimpoukis., 2017 "Thermal enhancement of parabolic trough collector with internally finned absorbers," *Sol. Energy*, vol. 157, no. July, pp. 514–531.
- E. Bellos, C. Tzivanidis, and D. Tsimpoukis., 2018 "Optimum number of internal fins in parabolic trough collectors," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 137, no. April, pp. 669–677.
- E. Bellos, I. Daniil, and C. Tzivanidis., 2018 "Multiple cylindrical inserts for parabolic trough solar collector," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 143, no. July, pp. 80–89.
- E. D. Koronaki, H. H. Liakos, M. A. Founti, and N.C.Markatos., 2001 "Numerical study of turbulent diesel flow in a pipe with sudden expansion," *Appl. Math. Model.*, vol. 25, pp. 319–333.
- G. A. Salazar, N. Fraidenraich, C. A. A. de Oliveira, O. de Castro Vilela, M. Hongn, and J. M. Gordon., 2017 "Analytic modeling of parabolic trough solar thermal power plants," *Energy*, vol. 138, pp. 1148–1156, Nov.
- Global Warming of 1.5 oC. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. [Accessed: 21-Jan-2019].
- H. H. Ali., 2017 "Performance-cost and global warming assessments of two residential scale solar cooling systems versus a conventional one in hot arid areas," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 20, pp. 1–8, Apr.
- H. Zhou, Y. K. Fu, N. Li, C. Zhang, and F. Zhang., 2021 "The impacts of generation efficiency and economic performance on the solar power generation and storage scale: An empirical analysis of 20 countries," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 44, p. 101084, Apr.
- J. J. G. Pabon, A. Khosravi, M. Malekan, and O. R. Sandoval., 2020 "Modeling and energy analysis of a linear concentrating photovoltaic system cooled by two-phase mechanical pumped loop system," *Renew. Energy*, vol. 157, pp. 273–289, Sep.
- J. L. IV and J. L. V, *A Heat Transfer Textbook, Fourth*. Philogiston Press, 2012
- M. Malekan, A. Khosravi, and M. E. H. Assad., 2021 "Parabolic Trough Solar Collectors," in *Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems*, Academic Press, Elsevier.
- M. A. Aurybi, S. I. Gilani, H. H. Al-Kayiem, and A. A. Ismaeel., 2018 "Mathematical evaluation of solar chimney power plant collector, integrated with external heat source for non-interrupted power generation," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 30, pp. 59–67, Dec.
- Q. Wang et al., 2019 "Energetic and exergetic analyses on structural optimized parabolic trough solar receivers in a concentrated solar-thermal collector system," *Energy*, vol. 171, pp. 611–623, Mar.
- S. E. Ghasemi and A. A. Ranjbar., 2017 "Effect of using nanofluids on efficiency of parabolic trough collectors in solar thermal electric power plants," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 34, pp. 21626–21634.

The Paris Agreement | UNFCCC. [Online]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. [Accessed: 12-Apr-2021].

V. Yakhot, S. A. Orszag, S. Thangam, T. B. Gatski, and C. G. Speziale., 1992 “Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique,” *Phys. Fluids A Fluid Dyn.*, vol. 4, no. 7, pp. 1510–1520, Jul.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY BY NUMERICAL SIMULATION OF THE ADDITION OF INTERNAL FINS IN THE RECEIVER TUBE OF A PARABOLIC TRUCK TYPE SOLAR CONCENTRATOR

Alex Nivaldo Alcântara Renó, d2021103362@unifei.edu.br¹

Mamdouh El Haj Assad, massad@sharjah.ac.ae²

Ali Khosravi, alkh@sdu.dk³

Mohammad Malekan, mmalekan1986@gmail.com³

Juan José Garcia Pabon, jjgp@unifei.edu.br¹

Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, Brazil¹

Departamento de Engenharia de Energias Sustentáveis e Renováveis, University of Sharjah, UAE²

Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, University of Southern Denmark, Sønderborg, Denmark³

Abstract: Global warming is a current problem worldwide debated and investigated, many researchers and scientists have been collaborating with works that seek solutions to remedy its impacts. Thermoelectric plants are responsible for emitting large amounts of polluting gases into the atmosphere due to the burning of fossil fuels. The solar power plant is a promising alternative to meet the demand for electricity in a sustainable way. Among the technologies developed to capture sunlight, the parabolic trough solar collector (PTSPP) is used for the production of electricity and heat simultaneously, in which the solar concentrator works as a boiler of a Rankine cycle. This work develops thermal modeling of PTS receptor through the CFD analysis tool. The performance of the PTS collector is improved considering different scenarios, using several inserts of internal flow in the main receiving tube, responsible for transforming energy from solar radiation into thermal energy. For this, the reference case (all smooth) with different fin positions and different fin geometries was used. Terminol-vp1 is used as the system's working fluid. This evaluation is carried out through the investigation of the determining parameter for the calculation of the overall efficiency of the system, the heat transfer coefficient. The purpose of this work is to find a fin that significantly improves the thermal efficiency of the receiver tube in a solar concentrator electric power generation system. The results obtained in the simulations allow optimizing the geometry and establishing a correction for the calculation of the heat transfer coefficient and the pressure drop. This correlation is a tool for future designs and models of solar plants that use parabolic trough solar concentrators. The best performance was obtained for the finned tube with a fin length of 25 mm and a thickness of 4 mm. With this case, the thermal efficiency was improved by 2.13%.

Keywords: Parabolic trough solar collector, Internal flow inserts, Solar energy, CFD analysis, Fin, Thermal efficiency.