

INTENSIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA ATRAVÉS DE GERADOR DE VÓRTICE LONGITUDINAL DO TIPO DELTA

Felipe Augusto Santos da Silva – fasantosdasilva@gmail.com

Leandro Oliveira Salviano – salviano@rosana.unesp.br

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Rosana/SP

2 – Conversão Térmica com Coletores Planos

Resumo. No Brasil, a energia solar apresenta um grande potencial de aproveitamento para a conversão em energia térmica ou para a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, e deve ocupar um papel importante entre as principais fontes de energia renováveis no país. Preocupações quanto aos impactos ambientais e a escassez dos recursos fósseis para a geração de energia tem motivado o desenvolvimento tecnológico de alternativas renováveis que complementem a matriz energética. Coletores solares de placa plana são utilizados em aplicações domésticas ou comerciais para o aquecimento de fluídos, minimizando a demanda por energia elétrica empregada para o aquecimento de água em chuveiros e piscinas, que muitas vezes onera a fatura de energia elétrica. Contudo, o desenvolvimento de tecnologias que intensifique a conversão da energia solar para a energia térmica ainda permanece como uma importante área de desenvolvimento para aumentar a eficiência do sistema solar. Técnicas passivas para a intensificação da transferência de calor são aplicadas e apresentam resultados efetivos. Geradores de vórtices longitudinais (GVL) do tipo delta-winglet são técnicas passivas consolidadas aplicadas em trocadores de calor compactos, mas que ainda são pouco utilizadas na área solar térmica. Aplicando a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), neste trabalho avaliamos o processo de intensificação da transferência de calor através da aplicação de GVL do tipo delta-winglet no interior dos tubos de um coletor solar de placa plana. A melhor razão entre a transferência de calor e a perda de carga foi verificada para o ângulo de ataque dos GVL de 30°, enquanto a maior transferência de calor foi atingida para o ângulo de ataque igual a 45°, independentemente do número de Reynolds (300, 600 ou 900). Além disso, os geradores de vórtices 1 e 2 apresentaram impacto significativo apenas no fator de atrito, podendo ser eliminados sem prejuízo à transferência de calor.

Palavras-chave: Energia solar, Coletor solar, Intensificação da transferência de calor

1. INTRODUÇÃO

A incidência da radiação solar sobre o globo terrestre desempenha um papel fundamental para a vida na Terra e é aplicada em muitas atividades humanas. Uma importante aplicação é a conversão da energia solar em energia térmica ou elétrica (Kemerich et al. 2016). Esse processo tem ganhado cada vez mais atenção devido ao aumento populacional e, conseqüentemente, o aumento da demanda por energia. Além disso, preocupações quanto aos impactos ambientais e a escassez dos recursos de origem fóssil para a geração de energia pressionam para que a conversão da energia solar seja cada vez mais empregada, ocupando um papel fundamental entre as fontes de energias renováveis. Visto isso, políticas públicas têm incentivado a utilização da energia solar em residências populares, principalmente o uso de coletores solares para o aquecimento de água, enfatizando a necessidade de desenvolvimento de pesquisas que visem o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de coletores a baixo custo que apresentem maior eficiência de conversão (Marques 2015).

Nacionalmente a utilização da energia solar como fonte alternativa é ainda mais interessante, pois o Brasil é um dos países mais propensos à radiação solar durante todo o ano, por estar localizado na zona intertropical do planeta (Tiba 2000). Dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2006 mostram que apesar da região Sul ter o menor potencial de energia solar no Brasil, com radiação média global de 5,2 kW/m², isto representa uma diferença de aproximadamente de 11,8% em relação ao maior índice brasileiro na região Nordeste, com radiação média global de 5,9 kW/m².

Assim, considerando este relevante potencial de aproveitamento da energia proveniente da incidência solar, prospecta-se a possibilidade de diminuir a dependência do petróleo e do equilíbrio na geração de energia elétrica em épocas de estiagem, visto que na matriz energética brasileira as hidrelétricas se destacam. A conversão direta da radiação solar em energia térmica para o aquecimento da água de chuveiros e piscinas para uso doméstico ou comercial pode gerar uma economia significativa na fatura de energia elétrica, uma vez que o aquecimento de água pode ser responsável pela maior parcela na fatura mensal de energia (Pereira et al. 2006).

Coletores solares são muito utilizados para realizar a conversão da energia solar para energia térmica em fluídos, no entanto, o aumento da eficiência da transferência de calor ainda é um desafio (Shukla et al. 2013). Estudos de técnicas passivas, caracterizadas pela modelagem da arquitetura dos coletores, tem conquistado um espaço importante

nas pesquisas (Liu and Sakr 2013). Uma linha bastante explorada é a utilização de fitas torcidas (*Twisted-taped*) para o aumento da transferência de calor nos tubos circulares por onde passa o fluido em um coletor solar de placa plana. Entretanto, a inserção destes dispositivos no interior dos tubos causa uma perda de carga elevada, exigindo, desta forma, maior potência de bombeamento do fluido podendo tornar o sistema economicamente inviável (Garg et al. 2016).

Como alternativa, esse trabalho propõe a utilização de geradores de vórtices longitudinais do tipo *delta-winglet* para intensificar a transferência de calor em um coletor solar de placa plana, a partir da simulação computacional, desde que uma das principais características termo hidráulicas desta técnica é promover o aumento significativo da transferência de calor com moderada perda de carga (Lei et al. 2017). Além disso, são dispositivos geometricamente simples e podem ser facilmente produzidos pelos atuais processos de manufatura industrial.

2. METODOLOGIA COMPUTACIONAL

2.1 Equações Governantes

A modelagem numérica da transferência de calor e do escoamento de um fluido no interior de um tubo de seção transversal circular considera as hipóteses de escoamento incompressível e tridimensional, regime permanente e laminar, (Cheshmeh 2012). Considerando um fluido Newtoniano com propriedades constantes, as equações da Continuidade, *Momentum* e Energia, podem ser definidas, respectivamente:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial x_j} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j h_i - k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = -u_j \frac{\partial p}{\partial x_j} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (3)$$

2.2 Parâmetros Termo Hidráulicos

O escoamento em um tubo circular é caracterizado pelo número de *Reynolds* (Re) e é calculado em função do diâmetro do tubo, Eq. (4). Os parâmetros para o cálculo da transferência de calor e da perda de pressão são expressos pelo número de *Nusselt* (Nu) e fator de atrito (*f*), respectivamente, definidos pela Eq. (5) e Eq. (6).

$$\text{Re} = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (4)$$

$$\text{Nu} = \frac{h D}{k_f} \quad (5)$$

$$f = \frac{2 \Delta p}{\rho u^2} \frac{D}{L_T} \quad (6)$$

Onde, *u* é a velocidade média (m/s), ρ é a densidade (Kg/m³), μ é a viscosidade cinemática do fluido (Kg/m.s), k_f a condutividade térmica do fluido (W/m.K), *D* é o diâmetro do tubo (m), *h* é o coeficiente de transferência de calor (W/m².K), *p* é a pressão (Pa) e *L_T* o comprimento.

A perda de pressão (Δp) é calculada a partir da diferença de pressão entre a entrada (*Inlet*) e a saída (*Outlet*) do domínio computacional, expressa pela Eq. (7).

$$\Delta p = \bar{p}_{\text{Outlet}} - \bar{p}_{\text{Inlet}} \quad (7)$$

Onde:

$$\bar{p} = \frac{\iint p dA}{\iint dA} \quad (8)$$

Por fim, o coeficiente da transferência de calor convectiva é determinado de acordo com a equação:

$$h = \frac{q''}{(T_W - T_M)} \quad (9)$$

Onde T_W e T_M é a temperatura média na parede do tubo e a temperatura média do domínio, respectivamente.

2.3 Domínio Computacional e Condições de Contorno

Considerando a simetria geométrica do coletor solar de placa plana, o domínio computacional considera apenas um único tubo (flauta), reduzindo o custo computacional e, conseqüentemente, o tempo de processamento. As características geométricas e operacionais do coletor solar avaliados são semelhantes aos equipamentos aplicados em residências assistidas por programas sociais do governo federal. Idealizou-se uma placa de 0,98 m disposta de forma simétrica na direção do eixo-x e deslocada 0,0008 m (e) na direção negativa do eixo-y no interior do tubo, para suportar dez geradores de vórtices do tipo *delta-winglet* espaçados igualmente ao longo da placa.

O tubo possui diâmetro de 0,00952 m (3/8") e 1 m de comprimento. A vazão de água normalmente verificada neste tipo de coletor solar, medida no tubo principal de alimentação, varia entre 75 a 220 litros por horas (l/h). O coletor solar comercial considerado tem nove tubos paralelos. Desta forma, considerando a situação ideal de uniformidade na distribuição de água entre os tubos, adotou-se as vazões de 8,3, 16,6 e 24,4 l/h por tubo, o que representa os números de *Reynolds* de 300, 600 e 900, respectivamente. Os geradores possuem razão de aspecto 2, onde a base é duas vezes a altura (a) de 0,004 m, como pode ser visto na Figura 1.

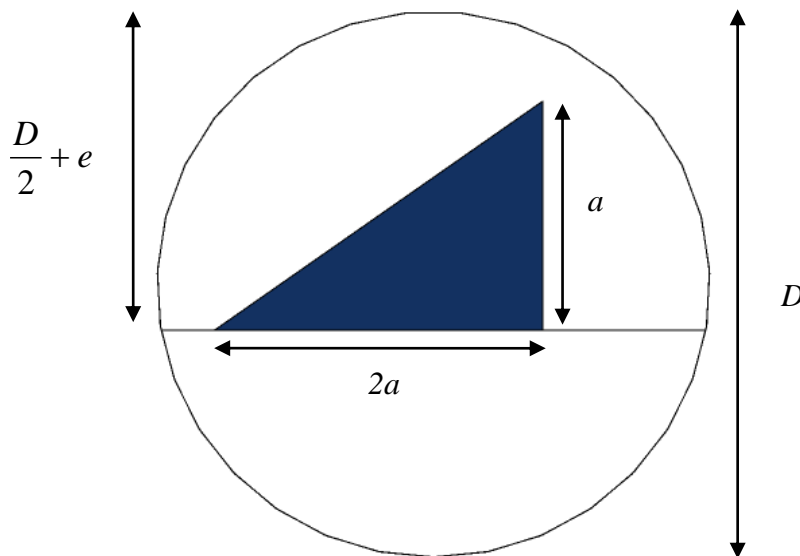


Figura 1 - Gerador de vórtice do tipo *delta-winglet* no interior do tubo.

Na entrada do domínio (*Inlet*) computacional e na saída (*Outlet*) são adotados velocidade prescrita e pressão prescrita, respectivamente. Sobre a superfície do tubo é definido um fluxo de calor médio constante de 750 W/m^2 . A transferência de calor conjugada (condução/convecção) é considerada nos geradores de vórtices e na placa. O escoamento na parede do tubo, assim como nos geradores de vórtices e na placa, é considerado sem escorregamento. Foram analisados três ângulos de ataque para os geradores de vórtices *delta-winglet*, sendo os ângulos de 15° , 30° e 45° . A Figura 2 mostra o domínio computacional submetido a um fluxo de calor constante com os dez gerados de vórtices espaçados igualmente ao longo da placa no interior do tubo.

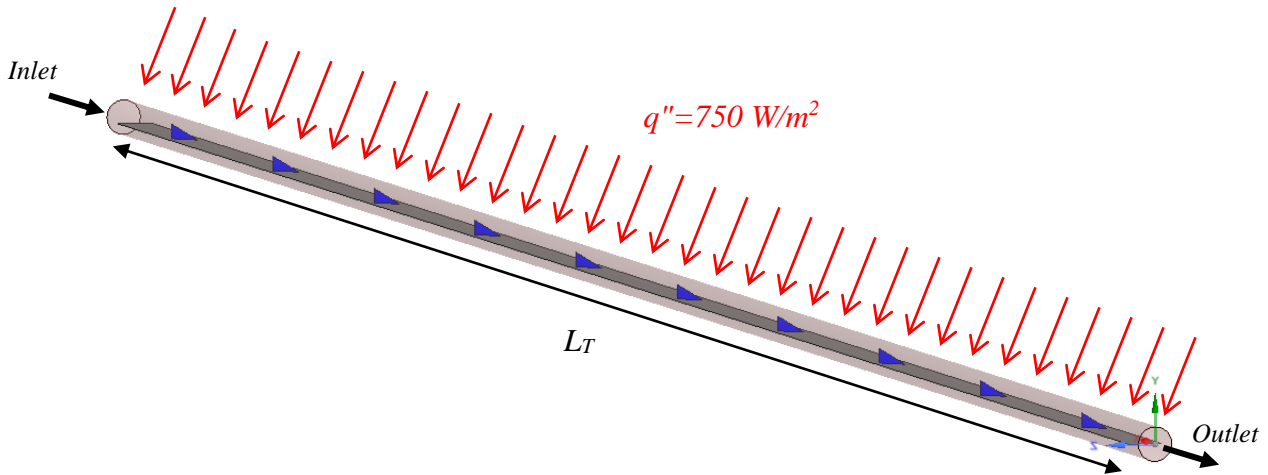


Figura 2 - Domínio computacional e condições de contorno.

2.4 Independência de Malha e Validação do Modelo Numérico

A análise de independência de malha, com os geradores de vórtices, considera a metodologia *GCI - Grid Convergence Index* proposto por (Division et al. 2008). A Tabela 1 mostra as três diferentes densidades de malhas avaliadas:

Tabela 1 – Características da malha para cada *Grid*.

	Quantidade de elementos	Fator de refinamento, $r = \left(\frac{G_n}{G_{n+1}} \right)^{\frac{1}{3}}$
<i>Grid 1 (G₁)</i>	436.323	-
<i>Grid 2 (G₂)</i>	974.060	1,31
<i>Grid 3 (G₃)</i>	2.152.009	1,30

Segundo (Division et al. 2008), é desejável que o Fator de Refinamento seja maior que 1,30 e, conforme é mostrado na Tabela 1, a recomendação é seguida em relação as densidades de malha. O procedimento para se obter o GCI foi aplicado para o número de *Nusselt* e fator de atrito considerando a situação mais crítica, ou seja, número de *Reynolds* igual a 900 e ângulo de ataque do gerador de vórtice de 45°. Na Tabela 2, é mostrado que a maior incerteza é de 1,94% para o fator de atrito. Assim, considerando o baixo valor do GCI, a independência de malha é atingida e a malha intermediária (*Grid 2*) pode ser utilizada para as demais configurações dos geradores de vórtices.

Tabela 2 - *Grid Convergence Index*.

GCI (%)	
Número de <i>Nusselt</i>	1,27
Fator de Atrito	1,94

Os elementos de malha *Grid 2* foram avaliados a partir do critério “*Orthogonal Quality*”. Este parâmetro é calculado considerando os vetores normais para determinar os cossenos de cada face dos tetraedros, obtendo a ortogonalidade dos elementos, que deve estar entre 0 e 1. Em malhas tetraédricas, a qualidade da malha é considerada satisfatória quando o valor de ortogonalidade se aproxima do valor unitário. Desta forma, considerando o valor médio obtido de 0,90083, os elementos de malha *Grid 2* são considerados adequados para os propósitos do presente trabalho.

A validação do modelo é feita comparando os resultados da simulação numérica com os valores teóricos. Segundo (Incropera et al. 2014), o valor de *Nusselt* para um escoamento interno em regime laminar e completamente desenvolvido em tubos circulares, com fluxo de calor constante sobre superfície, deve ser de 4,36 e o fator de atrito é definido pela Eq. (10):

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (10)$$

Contudo, considerando os resultados para o número de *Reynolds* igual a 900 e escoamento interno em um tubo liso, a Figura 3 mostra que a diferença entre os resultados numéricos e teóricos para o número de *Nusselt* e o fator de

atrito são de 3,54% e 2,54%, respectivamente. Desta forma, os resultados da modelagem numérica são considerados satisfatórios.

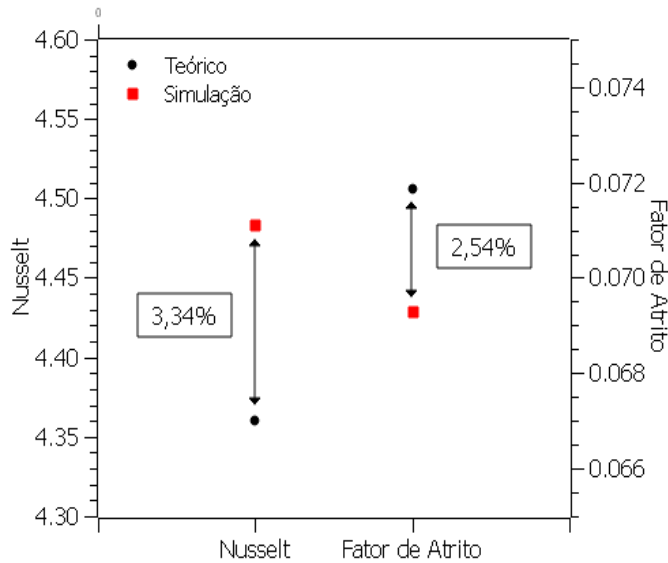


Figura 3 - Gráfico da validação do modelo computacional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação numérica foi realizada no pacote comercial ANSYS 18.0. A Figura 4 apresenta a razão de intensificação da transferência de calor em função da inserção dos geradores de vórtices (Nu) em relação do tubo liso (Nu_0). Como pode ser observado, a intensificação na transferência de calor foi significativamente alcançada para os três números de *Reynolds* e ângulos de ataque avaliados. Ângulos de ataque maiores resultaram no aumento mais significativo da transferência de calor, independentemente do número de *Reynolds*, entretanto, é evidente também a maior dificuldade em intensificar a transferência de calor para baixo número de *Reynolds* ($Re = 300$), apesar da notável intensificação de mais de 40% para o ângulo de ataque igual a 45° .

O processo de intensificação da transferência de calor por meio de geradores de vórtices também resulta no aumento da perda de carga do sistema, avaliado através do fator de atrito. A Figura 5 mostra os resultados da razão entre o fator de atrito (f) com geradores de vórtices e o fator de atrito (f_0) considerando o tubo liso. Como pode ser observado, o aumento no ângulo de ataque dos geradores de vórtices *delta-winglet* está diretamente ligado ao aumento da perda de carga, independentemente do número de *Reynolds*. O aumento no número de *Reynolds* também provoca a elevação na penalização na perda de carga. Conforme mostrado na Figura 4, a maior razão de intensificação na transferência de calor é alcançada para o ângulo de ataque de 45° ; porém, para este ângulo é também observado a maior razão do fator de atrito.

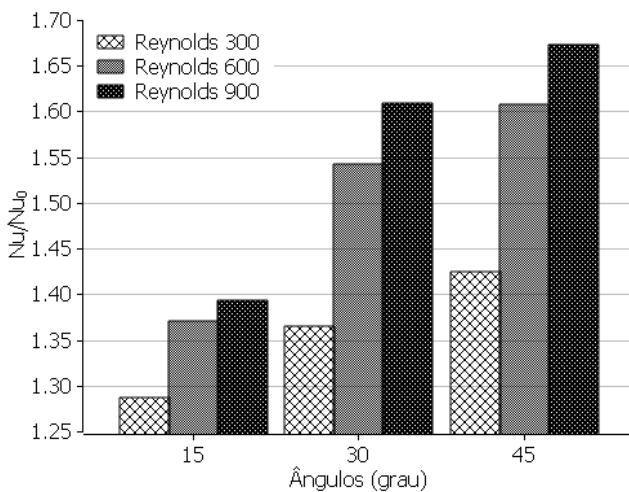


Figura 4 - Aumento do número de *Nusselt*.

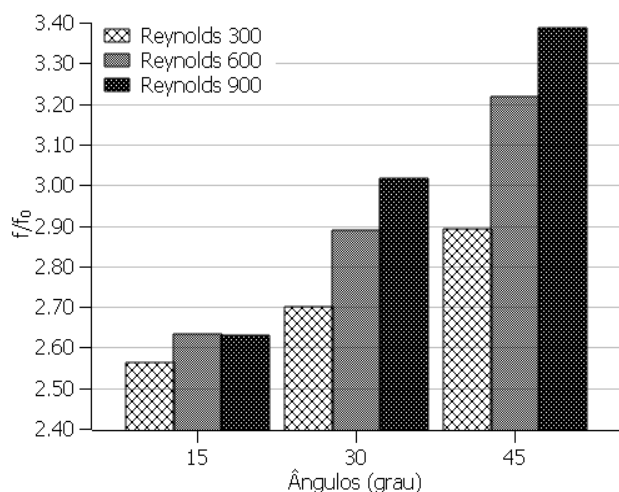


Figura 5 - Aumento do fator de atrito.

Deste modo, a bem-sucedida aplicação das técnicas passivas no processo de intensificação da transferência de calor deve apresentar boa relação entre o aumento da transferência de calor e a perda de carga associada. Assim, como pode ser visto na Figura 6, a melhor relação é alcançada para o ângulo de ataque de 30° e número de *Reynolds* 600 e 900. Outra relação interessante é observada para o ângulo de ataque de 15° e número de *Reynolds* 900, pois apesar da baixa intensificação da transferência de calor para o ângulo de ataque de 15°, evidenciado na Figura 4, o impacto na perda de carga associada é também relativamente baixo. Apesar de indicar a maior razão de transferência de calor (Figura 4), o ângulo de ataque de 45° apresenta as piores relações entre o aumento da transferência de calor e a perda de carga associada para os três números de *Reynolds* analisados.

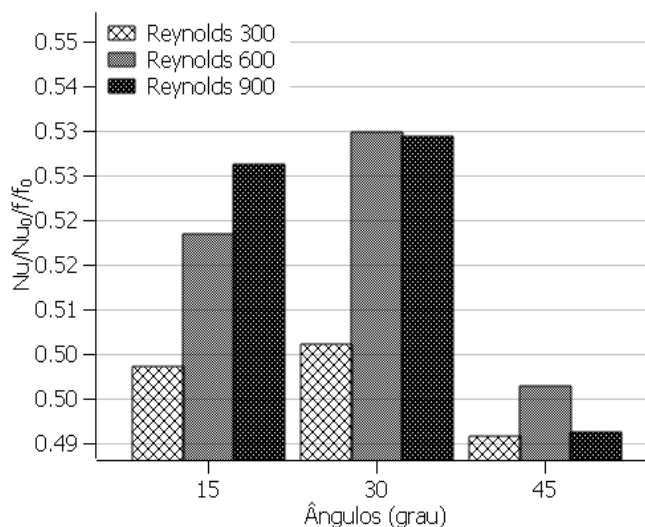


Figura 6 - Relação entre o aumento da transferência de calor e perda de carga associada.

As Figura 7, Figura 8 e Figura 9 mostram os impactos dos geradores de vórtices no escoamento do fluido ao longo do tubo para os números de *Reynolds* de 300, 600 e 900, respectivamente. As características termo hidráulicas são avaliadas observando o comportamento do número de *Nusselt* e do fator de atrito para os ângulos de ataque de 30° e 45°, que representam a melhor e a pior relação entre a transferência de calor e o fator de atrito, respectivamente, como apresentado na Figura 6. A Tabela 3 indica a posição de cada gerador de vórtice *delta-winglet* sobre a placa no interior do tubo.

Tabela 3 - Posição dos geradores de vórtices ao longo do tubo.

Gerador de vórtice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posição (m)	0,059	0,157	0,255	0,353	0,451	0,549	0,647	0,745	0,843	0,941

São evidentes o impacto local e a jusante dos geradores de vórtices ao longo do tubo, tanto para a transferência de calor quanto para a perda de carga. Além disso, o aumento no ângulo de ataque aumenta a transferência de calor com significativa penalização na queda de pressão do escoamento, corroborando com os resultados apresentados nas Figura 4 e 5. Nota-se também, independentemente do número de *Reynolds*, que o desenvolvimento da camada limite no início do tubo resulta na maior transferência de calor e também na maior perda de carga, como consequência dos maiores gradientes de propriedade. Assim, o impacto dos geradores de vórtice 1 e 2 influenciam significativamente apenas no fator de atrito, podendo, desta forma, serem eliminados sem prejuízo considerável à transferência de calor e com significativo benefício na redução da perda de carga global do sistema. Finalmente, o comportamento de *Nusselt* e do fator de atrito pode ser considerado periódico a partir do gerador de vórtice 4, localizado na posição 0,353 m, conforme a Tabela 3.

Os aspectos termo hidráulicos são analisados a partir dos campos de velocidade e temperatura em planos transversais, conforme mostrados nas Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente. A análise considera o escoamento próximo ao gerador de vórtice 5, quando o número de *Nusselt* e o fator de atrito já se comporta de forma periódica, conforme evidenciado na Figura 7, Figura 8 e Figura 9. Novamente, são considerados para análise a melhor (ângulo de ataque de 30°) e a pior (ângulo de ataque de 45°) relação entre a transferência de calor e perda de carga, além do tubo liso (*Smooth*) que é o referencial para comparação.

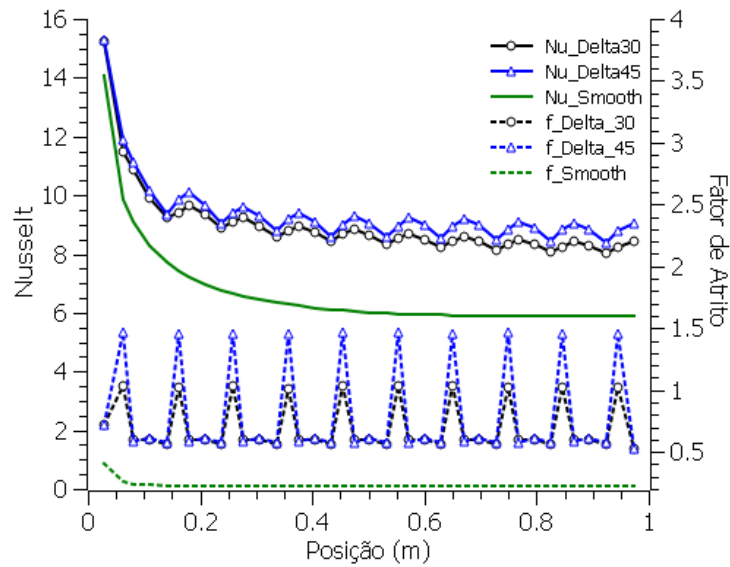


Figura 7 - Comportamento de *Nusselt* e fator de atrito ao longo do tubo para *Reynolds* 300.

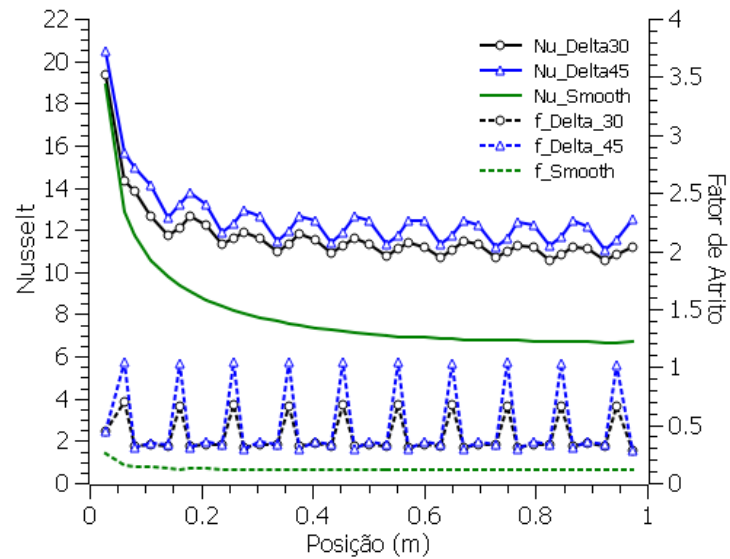


Figura 8 - Comportamento de *Nusselt* e fator de atrito ao longo do tubo para *Reynolds* 600.

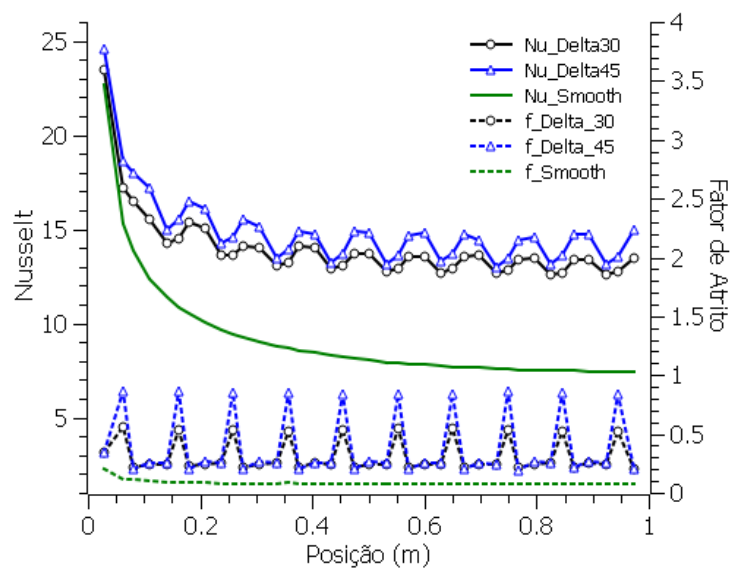
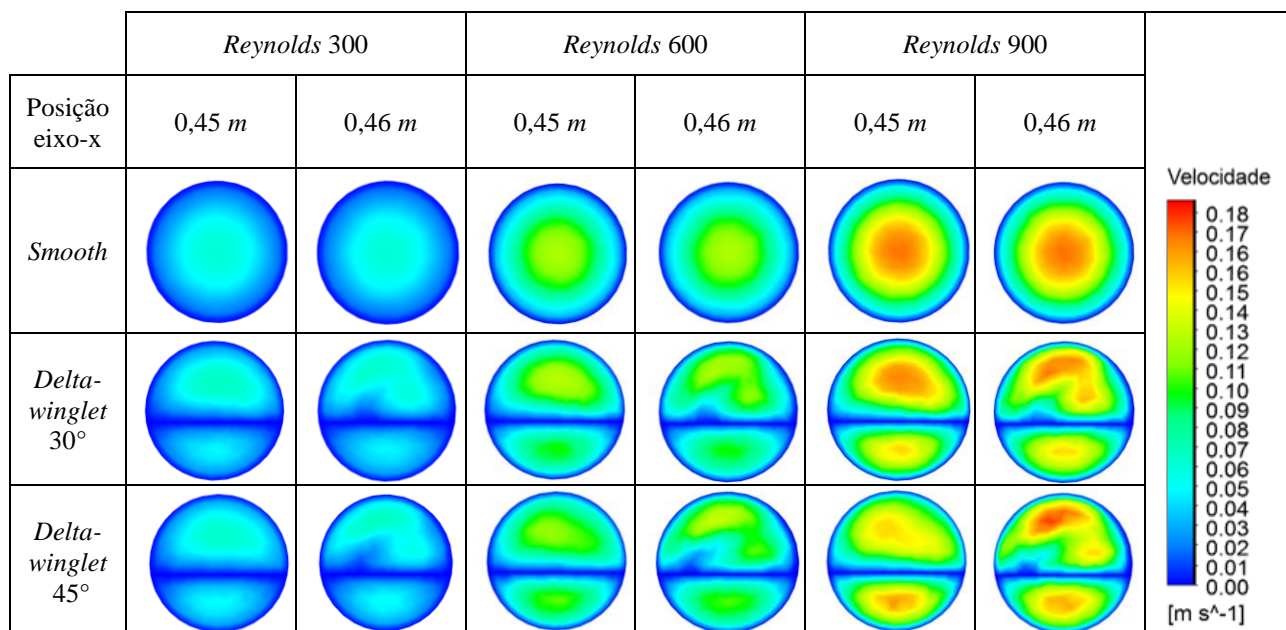
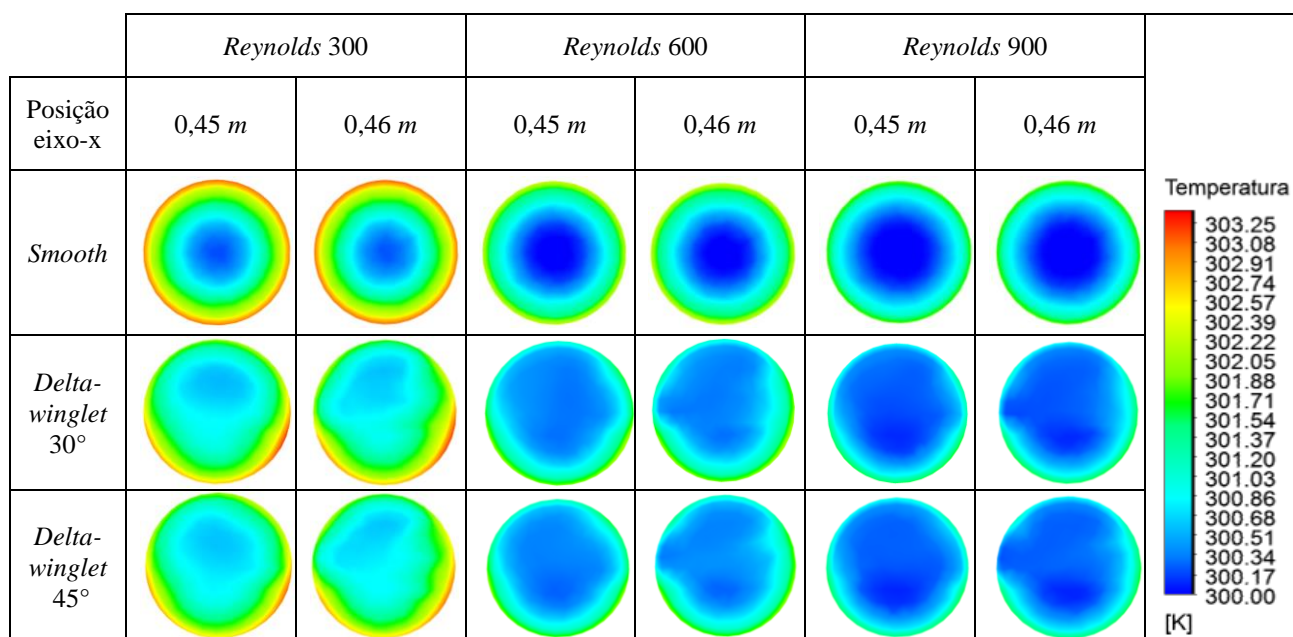


Figura 9 - Comportamento de *Nusselt* e fator de atrito ao longo do tubo para *Reynolds* 900.

Tabela 4 - Velocidade nos planos transversais do tubo antes e depois do gerador de vórtice *delta-winglet* 5Tabela 5 - Temperatura nos planos transversais do tubo antes e depois do gerador de vórtice *delta-winglet* 5

A Tabela 4 mostra que para o tubo liso (*Smooth*) o comportamento do escoamento do fluido é parabólico, com maior aceleração no centro da seção transversal. Para os tubos com geradores de vórtices identifica-se uma maior aceleração do fluido próxima a parede do tubo após o gerador de vórtice 5. A aceleração do fluido é mais evidente conforme aumenta o ângulo de ataque. A distorção do escoamento é provocada pela geração do escoamento secundário longitudinal em função da inserção dos geradores de vórtices. O vórtice longitudinal gerado aumenta a mistura entre as correntes frias e quentes, conforme é mostrado na Tabela 5, além de reduzir a espessura das camadas limites térmica e dinâmica. Apesar do deslocamento da placa no eixo-y ter sido inicialmente idealizado para que fosse possível um maior fluxo mássico na região dos geradores de vórtices, os planos transversais de velocidade mostram que em função da maior resistência ao escoamento, o fluxo indicou a tendência de deslocar-se para a parte de baixo da placa, evidenciado pela maior aceleração na parte de baixo do tubo com geradores de vórtices a 45°. Desta forma, os resultados indicam que a hipótese inicialmente adotada quanto a instalação dos geradores de vórtices sobre a placa deslocada deve ser reavaliada, e a condição simétrica pode ser uma opção mais adequada. Finalmente, para número de *Reynolds* baixo a difusão da energia térmica é bastante acentuada, conforme mostra a Tabela 5, caracterizando a dificuldade de intensificar a transferência de calor mostrada na Figura 4. Este comportamento é sensivelmente diferente conforme pode ser visto no campo de velocidade e temperatura para a condição de 45° e número de *Reynolds* 900.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, analisou-se a aplicação de geradores de vórtices longitudinais do tipo *delta-winglet* para o aumento da eficiência de conversão térmica de coletor solar de placa plana, comercialmente aplicado em residências assistidas por ações governamentais. O desempenho da transferência de calor e da perda de carga foram analisados numericamente por meio da modelagem computacional realizada no software comercial ANSYS 18.0. Os parâmetros geométricos dos geradores de vórtices *delta-winglet* foram os ângulos de ataque de 15°, 30° e 45°, e as características operacionais correspondem aos números de *Reynolds* de 300, 600 e 900.

Os resultados permitem concluir que:

- A aplicação de geradores de vórtices *delta-winglet* para intensificar a transferência de calor em coletores solares de placa plana é uma técnica passiva muito efetiva;
- A intensificação da transferência de calor a partir de técnicas passivas é preponderantemente dificultada em baixo número de *Reynolds*;
- As melhores relações entre a transferência de calor e a perda de carga associada aconteceram com os geradores de vórtices posicionados com ângulo de ataque de 30°, independentemente do número de *Reynolds*;
- A maior transferência de calor é obtida para o ângulo de ataque de 45°, entretanto, para esta configuração é também verificada a maior penalização na perda de carga do sistema;
- Os geradores de vórtices 1 e 2 apresentam impacto significativo apenas no fator de atrito, podendo ser eliminados sem prejuízo a transferência de calor.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de iniciação científica (Processo: 2017/00608-0) e fomento (Processo: 2016/14620-9). À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Experimental de Rosana/SP, por fornecer o apoio institucional para o desenvolvimento de pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

- Cheshmeh, Ali. 2012. “Velocity Boundary Layer Analysis of a Flat Plate Heat Exchanger in Laminar Flow : A Case Study” 2 (6): 310–14.
- Division, Fluids Engineering, Editorial Policy Statement, Numerical Accuracy, Asme J Fluids Eng, Fluids Engineering, Editorial Policy, Numerical Accuracy, and Asme J Fluids Eng. 2008. “Procedure for Estimation and Reporting of Uncertainty Due to Discretization in CFD Applications” 130 (July): 128–31. doi:10.1115/1.2960953.
- Garg, M O, Himanshu Nautiyal, Sourabh Khurana, and M K Shukla. 2016. “Heat Transfer Augmentation Using Twisted Tape Inserts : A Review” 63. Elsevier: 193–225. doi:10.1016/j.rser.2016.04.051.
- Incropera, Frank, David Dewitt, Theodore Bergman, and Adrienne Lavine. 2014. *Fundamentos de Transfêrencia de Calor E Massa*. Edited by LTC. 7th ed.
- Kemerich, Pedro da Cunha, Pedro Daniel da Cunha Kemerich, Carlos Eduardo Balestrin Flores, Willian Fernando de Borba, Rafael Borth da Silveira, Jacson Rodrigues França, and Natalie Levandoski. 2016. “Paradigmas Da Energia Solar No Brasil E No Mundo.” *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)* 20 (1): 241–47. doi:10.5902/2236117016132.
- Lei, Yonggang, Fang Zheng, Chongfang Song, and Yongkang Lyu. 2017. “Improving the Thermal Hydraulic Performance of a Circular Tube by Using Punched Delta-Winglet Vortex Generators.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 111: 299–311. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.03.101.
- Liu, S, and M Sakr. 2013. “A Comprehensive Review on Passive Heat Transfer Enhancements in Pipe Exchangers.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19. Elsevier: 64–81. doi:10.1016/j.rser.2012.11.021.
- Marques, Rutelly. 2015. “Energia Solar No Brasil: Dos Incentivos Aos Desafios.”
- Pereira, Enio Bueno, Fernando Ramos Martins, Samuel Luna De Abreu, and Ricardo Rüther. 2006. *Brazilian Atlas of Solar Energy*. doi:978-85-17-00030-0.
- Shukla, Ruchi, K Sumathy, Phillip Erickson, and Jiawei Gong. 2013. “Recent Advances in the Solar Water Heating Systems : A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19. Elsevier: 173–90. doi:10.1016/j.rser.2012.10.048.
- Tiba, Chigeru. 2000. “Atlas Solarimétrico Do Brasil: Banco de Dados Terrestres.” *Atlas Solarimétrico Do Brasil* 1: 111. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.

AUGMENTATION OF HEAT TRANSFER IN FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR APPLYING DELTA-WINGLET TYPE LONGITUDINAL VORTEX GENERATOR

Abstract. *In Brazil, solar energy has a great potential to convert either thermal energy or electricity through photovoltaic panels in the whole country and has been turned an important role among the renewable energy sources. Continental concerns about the environmental impacts and the scarcity of fossil energy resources for generation of energy has progressively motivated the technological development of alternatives from renewable sources that could complement the energy matrix. Flat plate solar collectors could be used in domestic or commercial applications for fluid heating, minimizing the demand for electricity which is traditionally used for water heating in showers and swimming pools. It often increases a lot the electric bill. However, the development of technologies that improve the process of energy conversion from solar radiation to thermal energy remains an important development area to increase the efficiency of solar system. In response of this, passive techniques for augmentation of heat transfer have been applied with effective results to increase the temperature of fluids. Longitudinal vortex generators type delta-winglet are important passive techniques applied in compact heat exchangers, but it is few applied on solar thermal area. Through Computational Fluid Dynamics (CFD), this work evaluates the process of augmentation of heat transfer by vortex generators type delta-winglet on a flat plate solar collector. The high argumentation ratio between heat transfer and pressure drop is verified for the attack angle of vortex generator at 30°, whereas the higher heat transfer is achieved for attach angle of 45°, for all Reynolds number evaluated (300, 600 and 900). Moreover, the vortex generator 1 and 2 just impact on friction factor and for this case could be suppressed without significant impact on overall transfer.*

Key words: *Solar Energy, Solar collector, Augmentation of Heat Transfer*