

Ex.: 3.05.02 – Engenharia Mecânica / Engenharia Térmica.

ESTUDO NUMÉRICO DA INTENSIFICAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ARRANJO DE ALETAS DE SEÇÃO TRANSVERSAL CONSTANTE EM CONVECÇÃO NATURAL

Luis Antonio Matile Cascelli^{1*}, Edvaldo Angelo²

1. Estudante da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie (EE-MACKENZIE)
2. Professor da EE-MACKENZIE – Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo

O trabalho apresenta o estudo numérico da troca térmica de um arranjo de aletas com seção transversal constante em convecção natural em regime permanente. Foram testadas algumas configurações de aletas no intuito de obtenção de intensificação de troca de calor com objetivo adicional de diminuição de volume das aletas no arranjo e conseqüente diminuição de massa do dissipador térmico. O método dos volumes finitos, através do emprego do software ANSYS CFX® foi utilizado para a resolução das equações de conservação. A troca de calor foi analisada numericamente para dez modelos de aletas, sendo a maioria de seção transversal constante, mantendo-se a temperatura da base do dissipador constante em 80°C. Foram feitos testes de validação dos modelos com os resultados experimentais divulgados na literatura técnico-científica para uma geometria de aletas considerada tradicional. Os números de Nusselt e Rayleigh foram usados para a validação. Para esta última geometria, a troca de calor total foi de 2,4 W e a troca de calor pelo volume do dissipador de $3,35 \cdot 10^5$ W/m³. Os resultados mostraram que o arranjo I (denominado de aleta inclinada) obteve a maior troca térmica total, 2,66 W, enquanto o arranjo F (denominado de aletas curtas) a maior relação de troca por volume do dissipador, $4,61 \cdot 10^5$ W/m³.

Palavras-chave: Trocadores de calor; troca térmica; Volumes Finitos

Apoio financeiro: PIBIC CNPQ

Introdução

A necessidade de controle de temperatura em processos e equipamentos exige que estratégias de projeto sejam adequadamente planejadas e adotadas para obedecer por vezes restritos intervalos de variação. Neste sentido, algumas soluções de engenharia têm obtido sucesso no controle de temperatura. Entre elas, o aumento de área superficial quando se necessita intensificar a transferência de calor de um sólido para um meio fluido, ou de um meio fluido para um sólido.

Na literatura técnica é bem conhecido o efeito de aplicação de segmentos como aletas regulares (KREITH; MANGLIK; BOHN, 2016), incrementos de superfícies irregulares, como agulhas ou outras formas de modificações na rugosidade das paredes metálica de dispositivos térmicos como trocadores de calor, para a obtenção de uma maior transferência térmica. Várias técnicas e tipos de projetos podem ser adotados para intensificar a transferência de calor em trocadores de calor (ANGELO et al, 2016, ZHANG et al, 2013, PAN et al, 2013; STIHLIK; JEGLA; KILKOVSKÝ, 2014).

Quando a movimentação do fluido ocorre por gradientes de densidade provocados pela transferência de calor por convecção, denomina-se a convecção de natural. A troca térmica gera forças de campo, induzindo escoamento, ou correntes convectivas (INCROPERA, 2012). A convecção natural se diferencia da convecção forçada porque, ao contrário do que ocorre nesta última, não há ação de um dispositivo mecânico que promova o escoamento (ANGELO et al, 2012 e ANGELO, 2013).

O mecanismo básico de transferência de energia térmica denominada convecção é relativamente complexo, por ser influenciado diretamente por diversos parâmetros. Esses parâmetros são o tipo de fluido (e suas condições termodinâmicas, que determinarão as propriedades deste como a viscosidade dinâmica, condutividade térmica, densidade e calor específico) e as condições de escoamento que se estabelecem. Tais parâmetros são determinantes para a taxa de transferência de calor que se estabelecerá entre o fluido e a interface (neste caso, a superfície do sólido). Destaca-se o protagonismo no evento térmico do formato da superfície do corpo (e também acabamento superficial), que é francamente influenciadora do padrão de escoamento que se estabelece (KREITH; MANGLIK; BOHN, 2016).

Estudar estratégias geométricas para desenvolvimento de dispositivos térmicos que dependem do fenômeno da convecção natural, pode propiciar o encontro de geometrias mais eficientes do ponto de vista da troca térmica, sem causar obrigatoriamente o aumento na complexidade de produção (ou custos).

O objetivo do trabalho é propor modificações na geometria tradicional de um dispositivo térmico do tipo dissipador de calor que contém aletas de seção transversal retangular constante, visando o aumento da transferência de calor por convecção, ou a manutenção de taxa de transferência de calor pela base do dissipador em uma situação que a troca térmica dominante através do mesmo ocorra por convecção natural. Simular através da utilização de técnicas numérico computacionais a transferência de calor da geometria proposta de dissipador e comparar os resultados com a simulação da geometria de um dissipador tradicional equivalente, operando nas mesmas condições. O dissipador de geometria tradicional escolhido é um entre aqueles apresentados por Ledezma e Bejan (1996).

Metodologia

As principais etapas do estudo foram:

I. Aprendizado das equações de conservação no formato diferencial. Estudo do modelo numérico de volumes finitos (técnica numérica empregada na solução do sistema de equações diferenciais parciais). Atualização da pesquisa bibliográfica. O primeiro período de desenvolvimento do trabalho foi dedicado ao estudo das equações de conservação (ANDERSON, 1995, ÇENGEL e CIMBALA, 2011, ÇENGEL e GHAJAR, 2012, TU et al, 2008). Geralmente, durante a graduação em Engenharia, os cursos de Fenômenos de Transporte não apresentam as equações de conservação no formato diferencial. Especialmente por ser um tópico tratado normalmente em nível de pós-graduação porque o sistema de equações diferenciais parciais necessita do emprego de métodos numéricos para solução (HIRSCH, 2007).

II. Aprendizado do software Ansys CFX®.

III. Construção do modelo de dissipador convencional e execução das simulações numéricas no software Ansys CFX®. A construção do modelo e a simulação podem ser divididas em três etapas distintas: (a) pré-processamento, (b) processamento e (c) pós-processamento. O pré-processamento consiste na construção da geometria, na determinação da divisão do domínio computacional (etapa que foi executada de acordo com a metodologia indicada por WILSON et al, 2001a,b) e na imposição das condições de contorno e das propriedades dos fluidos. O processamento se refere à etapa de solução das equações de conservação e o pós-processamento é a análise dos resultados. Comparação dos resultados com os experimentos reportados na literatura por Ledezma e Bejan, 2016. Todas as etapas demandaram tempo, todavia, a etapa de pós processamento normalmente requereu tempo adicional para planejamento de apresentação dos resultados. Artigos de análise computacional semelhante podem servir (SHYY et al, 2017) como base para elaboração de uma estratégia de apresentação de dados.

IV. Construção dos modelos alternativos de dissipador e execução das simulações numéricas no software Ansys CFX®. Os modelos alternativos foram construídos com base na proposta geométrica original. Esta etapa consistiu no estudo técnico-científico propriamente dito, exigindo algumas modificações e interações sucessivas, vislumbrando atingir o objetivo principal de aumento da taxa de transferência de calor entre o dissipador térmico e o fluido circundante.

V. Comparação entre os resultados das geometrias simuladas (modelo convencional e modelo alternativo).

Resultados e Discussão

O modelo base e os modelos de geometria alternativa testados são mostrados na Figura 1. Cada modelo recebeu uma designação para facilitar a referência no texto. A Figura 1 também conta com indicações geométricas das modificações geométricas dos modelos propostos em relação ao modelo básico.

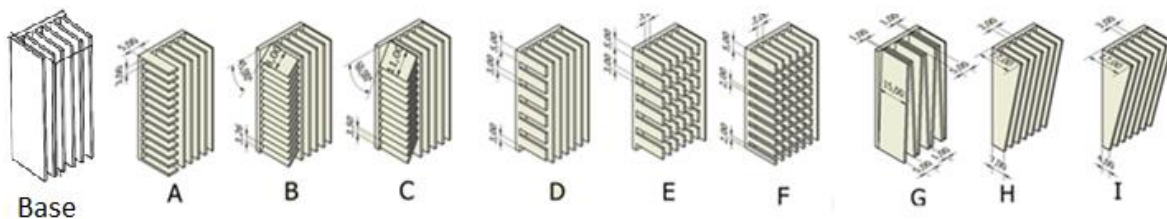


Figura 1 - Modelos de Geometria Testados

O modelo numérico foi validado de acordo com os experimentos conduzidos por Ledezma e Bejan (1996) para a geometria de dissipador base e para o dissipador com aletas inclinadas (conforme geometria I indicada na Figura 1). A Figura 2 compara os resultados experimentais e numéricos. A definição dos adimensionais Nusselt (Nu) e Rayleigh (Ra) podem ser encontrados na literatura clássica de transmissão de calor (INCROPERA, 2012).

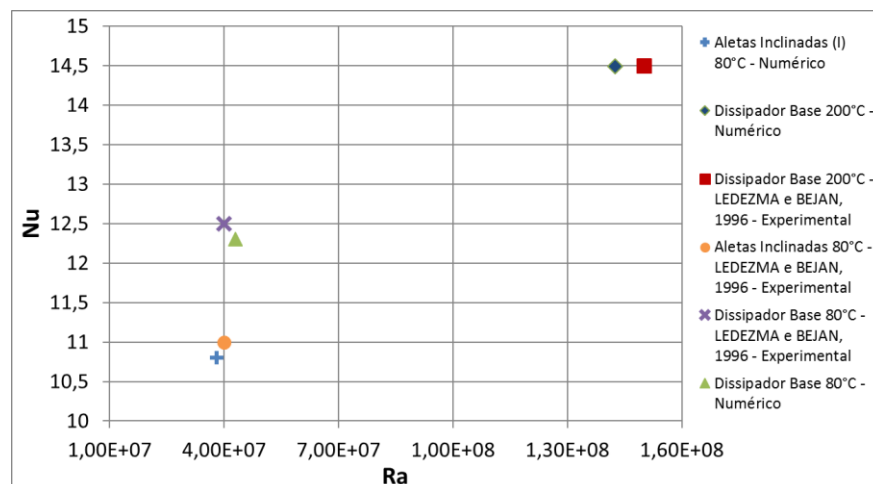


Figura 2 - Validação dos Modelos

A análise da figura 2 indica que há boa concordância entre os resultados numéricos e os experimentais, o que permitiu a simulação de outras geometrias propostas, supondo que o modelo matemático construído é capaz de capturar respostas coerentes. A Figura 3 indica os resultados de troca de calor total em função da área da superfície do trocador para as simulações das geometrias testadas.

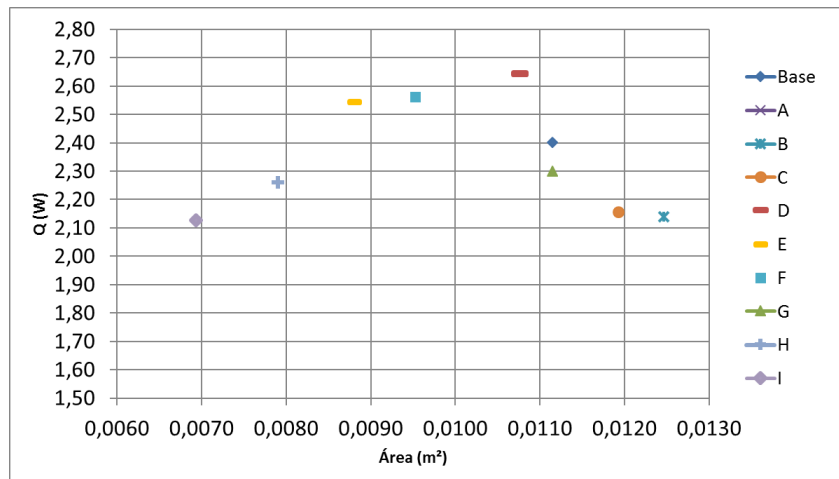


Figura 3 - Troca de Calor Total Pela Área

Algumas geometrias facilitam a troca de calor entre o dissipador e o ar, de uma maneira geral, com o aumento da área há aumento da troca, porém algumas geometrias são mais eficientes e com área menor tem troca maior. As geometrias E, F e D têm maior troca total.

Outro parâmetro para avaliar a eficiência do conjunto aletado é a troca de calor (indicada pela taxa de transferência de calor Q , em função da quantidade de material utilizado na sua construção, o que efetivamente reflete no preço total da peça. Além disso, o peso do conjunto aletado é crítico para algumas aplicações. Dessa forma um conjunto aletado mais leve geralmente é mais adequado. Esse parâmetro é mostrado na Figura 4, que indica a troca de calor em função do volume do trocador. As geometrias E e F apresentam os melhores resultados quanto à troca por volume.

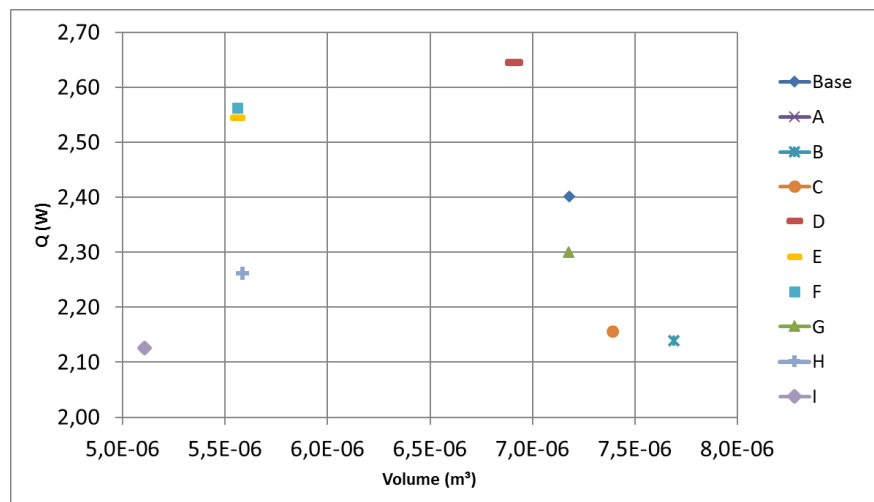


Figura 4 - Troca de Calor Total por Volume

Conclusões

Os resultados se mostraram que o objetivo de se obter uma geometria de dissipador de calor mais eficiente foi alcançado que a geometria do dissipador ficasse elaborada em demasia, o que prejudicaria a fabricação, elevando os custos. A abordagem numérica empregada se mostrou adequada e factível em análises de otimização da eficiência térmica de equipamentos.

Algumas dessas geometrias melhoram a relação troca de calor por volume do trocador em relação ao trocador original de referência. Para o trocador de referência o valor foi de $3,35 \cdot 10^5$ W/m^3 , enquanto para a geometria E, por exemplo, obteve-se $4,58 \cdot 10^5$ W/m^3 , configurando aumento de 37%. Isso representa que para a mesma carga térmica é possível a obtenção um trocador com menos material, portanto mais leve, gerando possível economia nos custos fabricação.

Além disso, no formato E (aletas curtas) também foi possível observar a maior mistura entre o ar quente e o ar à temperatura ambiente no trocador, o que mantém o dissipador em uma temperatura mais baixa em relação ao tradicional.

Referências bibliográficas

- ANDERSON, J. D. Computational fluid dynamics: the basics with applications. New York: McGraw-Hill, 1995. 547 p. (McGraw-Hill series in mechanical engineering).
- ANGELO, E.; BARBOZA, R. A. R.; ANDRADE, D. A.; ANGELO, G. Estudo numérico da inclusão de geradores de turbulência em canal com transferência de calor. In: Décima Quinta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática, 2016, Orlando. Memorias de la Décima Quinta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática. Orlando: International Institute of Informatics and Systemics, 2016. p. 50-57.
- ANGELO, G.; ANDRADE, D. G.; ANGELO, E.; TORRES, W. M.; SABUNDJIAN, G.; MACEDO, L. A.; SILVA, A. F., A numerical and three-dimensional analysis of steady state rectangular natural circulation loop, Nuclear Engineering and Design, v.244, p.61-72, 2012.
- ANGELO, G., Análise Numérica da Dinâmica do Escoamento em Circuitos de Circulação Natural. 2013. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Reatores) INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES – IPEN. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações. São Paulo: McGraw-Hill, 2011. xxi, 816 p.
- ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. Transferência de calor e massa: uma abordagem prática. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. xxii, 902 p.
- HIRSCH, C., Numerical Computation of Internal and External Flows: The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics. Butterworth-Heinemann, 2007. 680p.
- INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferência de calor e de massa. Rio de Janeiro: LTC, 2012. xix, 643 p.
- KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, Mark S. Princípios de transferência de calor. São Paulo: Cengage Learning, c2016. xv, 594 p.
- LEDEZMA, G.; BEJAN, A. Heat sinks with sloped plate fins in natural and forced convection. Int. J. Heat Mass Transfer, v. 39, n. 9, p. 1773-1783, 1996.
- PAN, M.; JAMALINIYA, S.; SMITH, R.; BULATOV, M.; GOUGH, M.; HIGLEY, P.; DROEGEMUELLER, P. New insights to implement heat transfer intensification for shell and tube heat exchangers, Energy, v. 57, p. 208-221, 1 August 2013.
- STIHLIK, P.; JEGLA, Z.; KILKOVSKÝ, B. Possibilities of intensifying heat transfer through finned surfaces in heat exchangers for high temperature applications, Applied Thermal Engineering, v. 70, n. 2, p. 1283-1287, 22 September 2014.
- TU, J.; YEOH, G. H.; LIU, C. Computational fluid dynamics: a practical approach. Amsterdam: Elsevier, 2008. 459 p.
- SHYY-WOEI, C.; HORNG-WEN, W.; DA-YU, G.; JUN-JIE, S.; TANG-HONG, C. Heat transfer enhancement of vertical dimpled fin array in natural convection. International Journal of Heat and Mass Transfer. v. 106, p. 781-792, 2017.
- STERN, F.; WILSON, R.; COLEMAN, H.; PATERSON, E. Comprehensive approach to verification and validation of CFD simulations - Part 1: Methodology and procedures. Journal of Fluids Engineering, v. 123, n. 4, p. 793-802, 2001a.
- WILSON, R.; STERN, F.; COLEMAN, H.; PATERSON, E. Comprehensive approach to verification and validation of CFD simulations - Part 2: Application for RANS simulation of a cargo/container ship. Journal of Fluids Engineering, v. 123, N. 4, pp. 803-810, 2001b.
- ZHANG, L.; XIA, Y.; JIANG, B.; XIAO, X.; YANG, X. Pilot experimental study on shell and tube heat exchangers with small-angles helical baffles, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, v. 69, p. 112-118, July 2013.