

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE COMPUTACIONAL DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR CONJUGADA EM DISSIPADORES DE CALOR DE ALETAS FINAS

Rodrigo Godoy da Fonseca, rodrigo.godoy2@gmail.com¹
Karla Ariadny Freitas Ferreira, karla.freitas21@gmail.com²
Fábio Antônio do Nascimento Setúbal, fabioans@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá. Belém – Pará - Brasil

²Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha. Belo Horizonte – Minas Gerais - Brasil

Resumo: Os dissipadores de energia térmica são um dos tipos de trocadores de calor mais usados no sistema de refrigeração de diversos componentes eletrônicos. Este artigo - um estudo em dissipadores de calor de aletas finas sobre a condição de um fluxo de ar transversal - foi desenvolvido através de uma análise numérica conjugada de transferência de calor e teve como objetivo não apenas investigar a influência do número de Reynolds do ar de refrigeração, como também a altura e a espessura das aletas na performance dos dissipadores de calor. Desta forma, análises numéricas dos problemas propostos foram desenvolvidas com o uso do software ANSYS Fluent 15.0, cujos resultados foram validados por meio de um estudo de independência de malha. Para o processo de simulação, foi utilizado o método Second-Order Upwind e o algoritmo SIMPLE na avaliação das características do escoamento e da transferência de calor do problema. Os resultados das simulações indicaram que números de Reynolds mais elevados podem aumentar a performance do dissipador de calor e que os dissipadores que possuem aletas de maior altura também apresentam uma melhor performance em termos de taxa global de transferência de calor.

Palavras-chave: trocadores de calor, análise numérica, transferência de calor conjugada

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a tecnologia eletrônica desenvolveu-se significativamente, o que resultou em equipamentos cada vez mais compactos e potentes. É esperado que nos próximos anos este desenvolvimento seja ainda mais intenso, estudos indicam que o fluxo de calor para sistemas de computadores atinja 100W/cm² (Bar-Cohen, 1997). Portanto, a capacidade de remover calor das regiões de fluxo são cada vez mais um fator crítico no design de sistemas eletrônicos.

Os dissipadores de calor aletados são um dos componentes mais utilizados para remover calor de equipamentos. Eles são amplamente utilizados em equipamentos eletrônicos, tais como processadores. Os dissipadores são projetados para aumentar a área de contato entre o equipamento e o ambiente. O desempenho térmico dos dissipadores de calor está associado a diversos fatores, por exemplo a temperatura e a velocidade do fluido, material, geometria e tratamento superficial das aletas.

Recentemente, diversas investigações experimentais e teóricas têm sido realizadas abordando vários aspectos desse problema. El-Sayed et al (2002) investigou o desempenho dos dissipadores de calor para diferentes alturas, espessuras, espaçamentos e números de aletas. Os autores concluíram que a razão da queda de pressão se intensifica quando o número de Reynolds e a altura da aleta aumentam, porém diminui quando a espessura e o espaçamento entre aletas é ampliado. Eles também concluíram que o número de Nusselt eleva quando o número de Reynolds, a espessura e o espaçamento das aletas aumentam, e quando a altura da aleta diminui.

Li e Chao (2009) desenvolveram um estudo experimental sobre o desempenho dos dissipadores de calor aletados em escoamento cruzado. Os autores avaliaram os efeitos do número de Reynolds, da altura e da espessura das aletas influenciam a resistência térmica e a queda de pressão dos dissipadores. Eles concluíram que a temperatura do dissipador diminui da parte inferior para a parte superior, e do meio para as laterais. Além disso, a temperatura é menor na superfície de entrada do que na superfície de saída. Os autores afirmam que quanto maior a altura da aleta maior o desempenho térmico do dissipador. Porém, o aumento da espessura das aletas só irá ampliar o desempenho térmico até certo ponto, depois deste ponto o aumento irá afetar negativamente o desempenho. Por outro lado, o aumento número de Reynolds

implica em melhoras no desempenho até certo ponto, e a partir deste ponto esse desenvolvimento do número de Reynolds não terá mais influência na troca de calor.

Considerando estudos numéricos em dissipadores de calor, Ozturk e Tari (2008) analisaram o escoamento e o campo de temperatura dentro do gabinete de um computador através da transferência de calor forçada no micro processador por meio de um trocador de calor. Os autores utilizaram o software Fluent para comparar a performance de três dissipadores comerciais diferentes e estudar possíveis melhorias nos mesmos. Neste estudo foi observado que obstruções no escoamento através do trocador de calor afetam a distribuição de temperatura no mesmo. Além disso, a remoção de parte das aletas não alterou a performance dos trocadores de calor, pois o menor número de aletas melhora o escoamento de ar enquanto que há uma diminuição na área de troca de calor. Outra observação feita foi em relação ao material das aletas, onde a mudança de alumínio para cobre melhorou a performance do dissipador de calor com uma diminuição da temperatura mínima igual a 2°C. A última análise realizada levou em consideração a espessura da base do trocador de calor, onde foi observado que a diminuição da espessura da base do dissipador aumenta sensivelmente a temperatura através do mesmo, o que necessitaria aumentar a altura das aletas. Por outro lado, o aumento dessa espessura diminui a temperatura média no trocador de calor.

Neste artigo, será realizada uma análise numérica sobre os dissipadores de calor de aletas finas. O principal objetivo é entender como parâmetros geométricos e a velocidade do escoamento afetam a transferência de calor e o escoamento do fluido. Para tanto foram simuladas situações com diferentes alturas e espessuras da parede, assim como diferentes velocidades do fluido. Este artigo é dividido em três seções. A primeira seção apresenta os parâmetros físicos e computacionais utilizados para as simulações. Em seguida é apresentada a formulação matemática utilizada. Na última seção são apresentados os resultados obtidos pela simulação. Na qual também são discutidos os efeitos dos parâmetros avaliados no desempenho térmico do dissipador.

2. NOMENCLATURA

W_f	espessura da aleta
W_c	espessura do canal
H_f	altura da aleta
W_b	espessura da base
L_b	largura da base
x, y, z	coordenadas espaciais
u, v, w	velocidades associadas as coordenadas espaciais
ρ	massa específica
p	pressão
μ	coeficiente de viscosidade
T	temperatura
α	coeficiente de difusão térmica

3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO

De acordo com Cummings et al (2015), a primeira etapa no procedimento geral de uma simulação computacional da dinâmica do fluido (CFD) é chamada pré-processamento. Esta etapa consiste basicamente em modelar o problema e produzir a malha a ser utilizada. O passo seguinte é chamado de processamento, o qual pode ser descrito como o processo de solução do problema. Ele inclui escolher o método utilizado na simulação, neste caso o método de discretização Second-Order Upwind e o algoritmo SIMPLE (Patankar, 1980) foram utilizados, estabelecer os parâmetros e arquivos de entrada, a realização e monitoramento da análise computacional. O último passo é o pós-processamento. Este consiste basicamente em analisar os dados obtidos aos da convergência a ser alcançada.

3.1. Modelo do Dissipador de Calor

A Fig. 1 apresenta o modelo computacional do dissipador de calor que será utilizado neste estudo. O principal objetivo deste trabalho é determinar como os parâmetros geométricos, tais como: espessura e altura das aletas influenciam na transferência de calor e no escoamento. Portanto, serão analisadas três diferentes geometrias, variando a espessura e a altura das aletas enquanto que a largura e espessura da base foram mantidas constantes. O material empregado no modelo para o dissipador de calor foi o alumínio para todos os casos analisados; de acordo com a biblioteca do software Fluent este material possui calor específico e condutividade térmica iguais a 871J/kg·K e 202,4W/m·K respectivamente. As combinações dos parâmetros geométricos analisados estão apresentadas na Tab. 1.

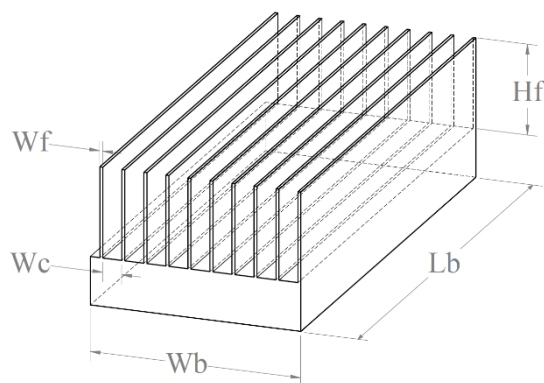


Figura 1. Modelo computacional do dissipador de calor aletado

Tabela 2. Resultados das geometrias simuladas

Geometria	Wf (mm)	Wc (mm)	Hf (mm)
1	0,50	3,16	15,00
2	1,50	2,11	15,00
3	0,50	3,16	30,00

3.2. Definição do Problema

Neste estudo o problema consiste em uma convecção forçada em um dissipador de calor de aletas finas. O volume de controle e as superfícies de entrada, saída e simetria do problema são apresentadas na Fig. 2. O fluido utilizado para absorver o calor dissipado é ar a temperatura ambiente de 273K. A fonte de calor se encontra a uma temperatura constante de 338K. Além disso, a pressão na superfície de saída é considerada nula.

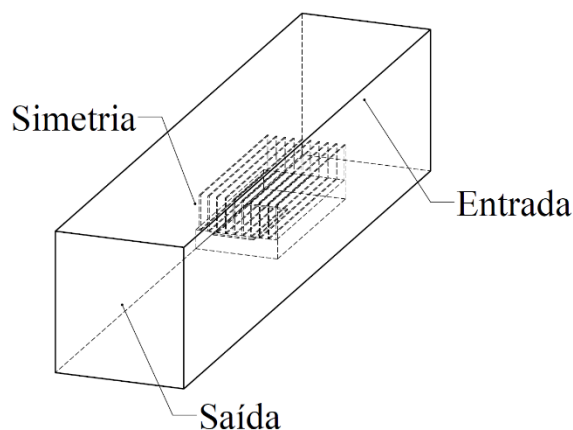


Figura 2. Volume de controle

Além das diferentes geometrias, as simulações também foram realizadas para diferentes velocidades do ar na superfície de entrada considerando valores baixos para o número de Reynolds. Desta forma, foram analisadas velocidades de entrada iguais a 1m/s e 4m/s.

3.3. Formulação Teórica

Neste estudo tanto o escoamento quanto a transferência de calor são consideradas em regime permanente. Além disso, o fluido é considerado incompressível e as forças externas negligenciadas. Todas as propriedades do fluido e do dissipador de calor são consideradas independentes da temperatura. Assim, como o problema trata de uma análise conjugada de escoamento e transferência de calor, os princípios físicos, isto é, a conservação da massa, a segunda Lei de Newton e a conservação da energia são utilizadas em formas de equações diferenciais parciais que serão discretizadas para a modelagem e solução do problema (Anderson, 1995). Essas equações, chamadas de equação da continuidade, momento, e energia são apresentadas a seguir nas Eq. (1) a (5).

- Equação da continuidade:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

- Equação do momento na direção x:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

- Equação do momento na direção y:

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

- Equação do momento na direção z:

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

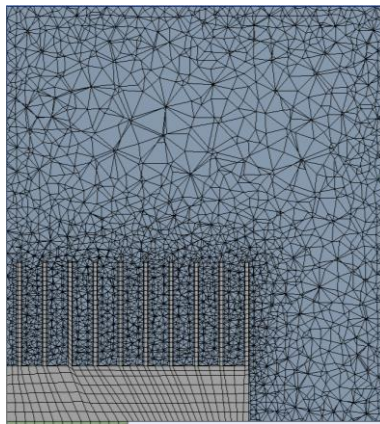
- Equação da energia:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

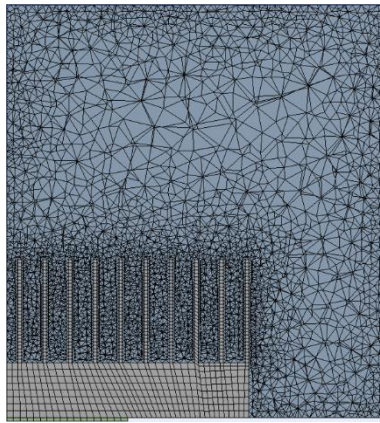
4. SIMULAÇÕES

4.1. Estudo da Independência de Malha

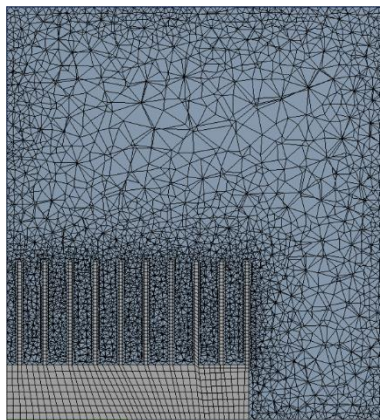
Com o fim de avaliar os resultados das simulações e garantir que os resultados obtidos são independentes da malha utilizada, um estudo da independência de malha deve ser realizado. Esse estudo consiste em um refino sucessivo dos parâmetros usados na geração da malha usada para solucionar um determinado problema. No presente estudo, foram escolhidas malhas do tipo hexaédrica para o domínio sólido e poliédrica para o domínio fluido. Além disso, três malhas com diferentes números de elementos foram utilizadas para a comparação dos resultados. As malhas usadas para o estudo de independência de malha são mostradas na Fig. 3.



(a). Malha 1 (1x10⁶ elementos)



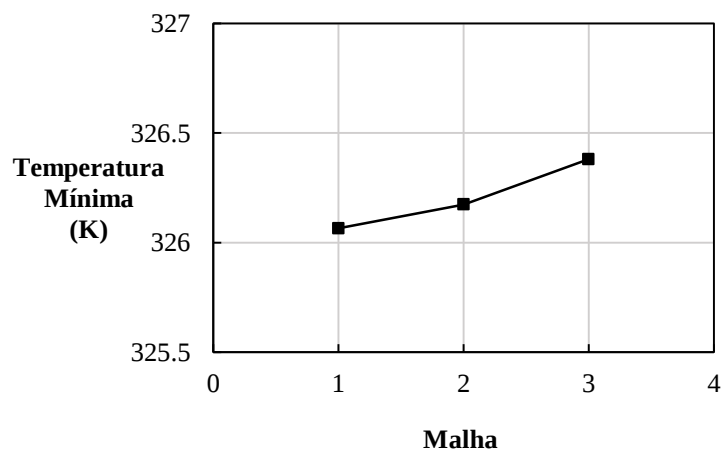
(b). Malha 2 (2×10^6 elementos)



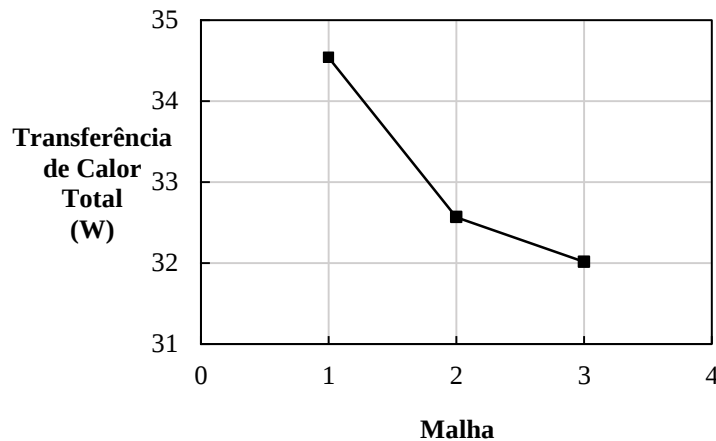
(c). Malha 3 (4×10^6 elementos)

Figura 3. Malhas utilizadas para o estudo de independência de malha

Os resultados obtidos através da simulação do problema para as malhas 1, 2 e 3 são apresentados abaixo na Fig. 4.



(a). Resultados da temperatura mínima para cada malha testada



(b). Resultados da taxa de transferência de calor total para cada malha testada

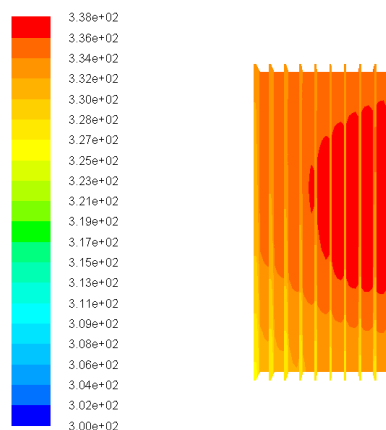
Figura 4. Resultados de temperatura e taxa de transferência de calor

Como pode ser observado acima, os resultados de temperatura obtidos para as três diferentes malhas apresentaram resultados bastante próximos. Por outro lado, a taxa de transferência de calor apresentou uma variação mais significativa. Os erros encontrados entre os resultados para as malhas 2 e 3 foram da ordem de 1,69%. Desta forma, a malha de número 2 foi selecionada para realizar simulações mais aprofundadas do problema por apresentar bons resultados e um menor custo computacional em relação a malha 3.

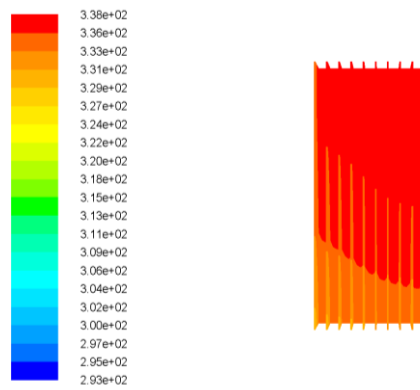
4.2. Resultados

Para o problema do dissipador de calor por convecção forçada, o qual é o objeto de estudo deste trabalho, o fluido passa através da superfície do objeto de forma constante. Por esta razão, problemas de convecção forçada apresentam maiores taxas de transferência de calor se comparada com o mesmo problema sujeito a convecção natural (Mori, 1965), onde o fluido não é repostado. Desta forma, maiores velocidades, ou melhor, maiores números de Reynolds tendem a aumentar a taxa de transferência de calor de um objeto sujeito a convecção.

Para as duas primeiras simulações, foi utilizada a geometria de número 1 sujeita a velocidades de 4m/s e 1m/s para observar a influência do número de Reynolds no dissipador de calor de aletas finas. Os resultados são apresentados abaixo na Fig. 5.



(a). Velocidade=4m/s



(b). Velocidade=1m/s

Figura 4. Distribuição da temperatura no dissipador número 1 submetido a convecção forçada em diferentes velocidades

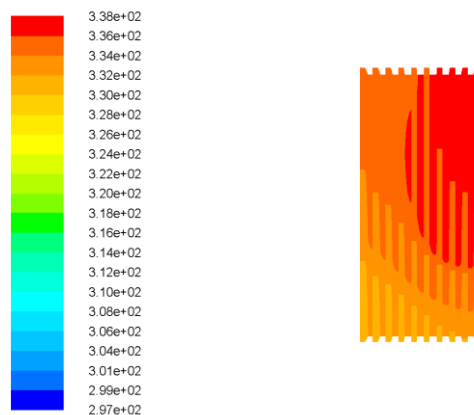
O caso com a maior velocidade do fluido atingiu um valor de taxa de transferência de calor igual a 32,56 W, enquanto que para a maior velocidade o resultado foi de 16,45 W. Desta forma, pode-se observar que a performance do dissipador de calor melhora com o aumento do número de Reynolds.

As três diferentes geometrias de dissipadores de calor também foram simuladas e comparadas considerando uma velocidade de entrada igual a 4m/s e uma temperatura do ar igual a 293K para avaliar o efeito da geometria na performance do dissipador. Os resultados são apresentados abaixo na Tab. 2.

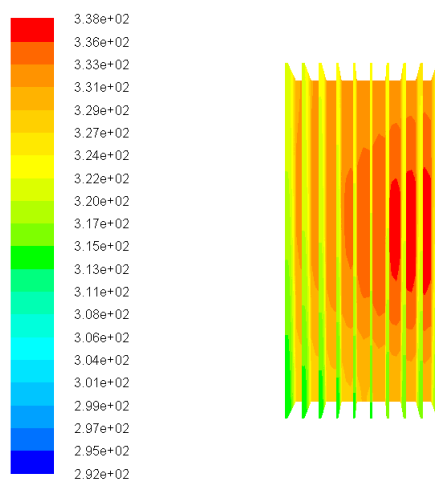
Tabela 2. Resultados das geometrias simuladas

Geometria	Área (mm ²)	Temperatura Mínima (K)	Taxa de transferência de calor (W)
1	27120,40	326,17	32,56
2	27419,50	330,19	33,87
3	50369,80	312,99	67,40

Quando a espessura das aletas é aumentada, pode haver uma obstrução de parte do ar que entra na cavidade entre as aletas do dissipador e, desta forma, a troca de calor realizada pelo dissipador pode ser prejudicada. Porém, não foi possível observar este fenômeno, uma vez que a espessura da geometria de número 2 não é grande o bastante em comparação a geometria de número 1 (Fig. 5a), e mais geometrias deveriam ser usadas na comparação dos resultados. A distribuição da temperatura da geometria (Fig. 6a), por outro lado, mostra que a média da temperatura é maior quando há um aumento na espessura da aleta. Do ponto de vista da taxa de transferência de calor, a geometria de número 2 apresentou uma melhor performance em comparação com a geometria 1. Isto pode ser explicado pelo fato da geometria 2 apresentar uma maior área superficial, o que aumenta a área em contato com o fluido e, conseqüentemente, o valor de taxa de transferência de calor.



(a). Geometria 2



(b). Geometria 3

Figura 6. Distribuição de temperatura para diferentes geometrias

Para a geometria de número 3, a espessura da aleta se manteve inalterada em relação a geometria 1, porém as alturas das aletas são maiores. Por esta razão, a geometria 3 apresentou uma maior área superficial para a realização da troca de calor com o fluido. Como é mostrado na Fig. 6b, a geometria de número 3 apresentou a melhor distribuição de temperatura entre as três geometrias simuladas. Além disso, esta geometria atingiu valores maiores de taxa de transferência de calor por possuir uma maior área de transferência de calor. Deste modo, a geometria de número 3 mostrou ter a melhor performance para esse caso. No entanto, é importante salientar que a geometria de número 3 apresenta uma maior área e ocupa um maior volume, o que pode ser um ponto fraco considerando aparelhos eletrônicos estão se tornando cada vez mais compactos. Desta forma, os dissipadores de calor precisam ser otimizados levando em consideração as restrições geométricas dos aparelhos eletrônicos (Lee, 1995).

5. CONCLUSÃO

O aumento da performance de dissipadores de calor em equipamentos eletrônicos é de extrema importância. Como foi visto neste estudo, não só os parâmetros geométricos, mas também as características do fluido são capazes de aumentar de forma significativa a performance dos dissipadores de calor.

Dissipadores de calor de aletas finas na condição de um fluxo de ar transversal foram estudados através de simulações numéricas sobre diferentes números de Reynolds e configurações geométricas. Os casos que mostraram uma melhor performance, isto é, distribuição de temperatura mais baixas e maiores taxas de transferência de calor foram aqueles que possuem número de Reynolds mais elevados. Além disso, foi observado que o aumento da espessura da aleta não melhora significativamente a performance do dissipador de calor por fatos discutidos previamente. Por outro lado, a geometria com maior altura da aleta apresentou a melhor performance entre as geometrias estudadas. Estes resultados estão em conformidade qualitativa em relação aos resultados experimentais obtidos por Li e Chao (2009) e outros autores aqui citados.

Baseado no estudo apresentado neste artigo, é concluído que para dissipadores de calor de aletas finas na condição de um fluxo de ar transversal, a temperatura do dissipador de calor é menor na parte frontal do dissipador, onde o ar atinge o objeto por primeiro, e maior na parte posterior. Da mesma maneira, as temperaturas são menores na parte superior das aletas em comparação com a base do dissipador onde a fonte de calor é localizada.

6. REFERÊNCIAS

- A Bar-Cohen. "Thermal management of microelectronics in the 21st century" Proceedings of the IEEE/CPMT Electronic Packaging Technology Conference (1997), pp. 29–33.
- Anderson, John D. Computational Fluid Dynamics: The basics with applications. McGraw-Hill series in mechanical engineering. 1995.
- Emre Ozturk, Ilker Tari, "Force Air Cooling of CPU's with Heat Sinks: a Numerical Study", IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 31, pp. 650-660, 2008.
- H.Y. Li, S.M. Chao, "Measurement of performance of plate-fin heat sinks with cross flow cooling" Int. J. Heat Mass Transfer, 52 (2009), pp. 2949–2955.
- Mori, Y., Nakayama, W., "Study on forced convective heat transfer in curved tubes (1st report, Laminar region)", Int. J. Heat Mass Transfer, (1965), 8: 67-82.
- Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Taylor & Francis, Boca Raton, FL. 1980.
- R. M. Cummings, W. H. Mason, S. A. Morton and D. R. McDaniel. Applied Computational Aerodynamics: A modern engineering approach. First Edition. Cambridge Aerospace Series. pp. 29-34, 2015.

- S. Chingulpitak, S. Wongwises, "A review of the effect of flow directions and behaviors on the thermal performance of conventional heat sinks", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 81 (2015), pp. 10-18.
- Seri Lee, "Optimum design and selection of heat sinks", *Eleventh IEEE Semi-Therm Symposium*, pp. 48-54, 1995.
- S. El-Sayed, S. M. Mohamed, A. M. Abdel-latif, and A.-H. E. Abouda, "Investigation of turbulent heat transfer and fluid flow in longitudinal rectangular-fin arrays of different geometries and shrouded fin array," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 26, no. 8, pp. 879–900, 2002.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF A COUPLED FLUID FLOW AND HEAT TRANSFER ON PLATE-FIN HEAT SINKS

Rodrigo Godoy da Fonseca, rodrigo.godoy2@gmail.com¹

Karla Ariadny Freitas Ferreira, karla.freitas21@gmail.com²

Fábio Antônio do Nascimento Setúbal, fabioans@ufpa.br¹

¹Federal University of Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá. Belém – Pará - Brazil

²Federal University of Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha. Belo Horizonte – Minas Gerais - Brazil

Abstract: A heat sink is a type of heat exchanger used as a cooling system for electronic device components. In this paper, a study on plate-fin heat sinks under cross flow condition was developed applying a coupled fluid flow and heat transfer analysis. The objective was to investigate the influence of the Reynolds Number of the cooling air, the fin height and the fin width on the performance of the heat sinks. Therefore, numerical analysis of the problems were developed by using the software ANSYS Fluent 15.0, and the results were validated by a mesh independent study. For the procedure, the second-order Upwind Scheme and the SIMPLE algorithm were adopted to evaluate the fluid flow and heat transfer characteristics of the problem. The simulation results indicate that higher Reynolds Number can increase the heat sink performance. Moreover, the heat sink with a greater fin height, i.e., which has a greater area, also shown a better performance in terms of overall heat transfer rate.

Keywords: heat exchanger, numerical analysis, coupled fluid flow and heat transfer