

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SUPERFÍCIES COM E SEM ALETAS VIA CFD

Otavio Augusto Cruz Vieira¹
Saymon Henrique Santos Santana²

¹Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará-
Unifesspa, Marabá-PA, Brasil (otavioacv28@gmail.com)

²Professor na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará-Unifesspa, Marabá-PA,
Brasil.

Resumo: Este trabalho analisa numericamente, via CFD, o desempenho térmico de uma placa com e sem aletas. Os resultados mostram que as aletas aumentam a área de troca térmica, promovendo maior dissipação de calor. A superfície aletada apresentou maior fluxo térmico e gradiente de temperatura, evidenciando maior eficiência na transferência de calor em comparação à superfície plana.

Palavras-chave: Transferência de calor; Superfícies aletadas; CFD; Fluxo de calor; Convecção

INTRODUÇÃO

A transferência de calor é um fenômeno fundamental estando presente em sistemas de engenharia, sendo diretamente relacionada ao desempenho, à eficiência energética e à durabilidade de componentes e estruturas. Em aplicações como equipamentos eletrônicos, sistemas industriais e elementos construtivos em edificações, o controle térmico adequado é essencial para evitar superaquecimento e garantir um bom funcionamento (Incropera et al., 2008; Çengel, 2012). Nesse contexto, a crescente demanda por sistemas mais eficientes e sustentáveis torna-se cada vez maior a procura por estudos que intensifiquem a dissipação térmica.

Entretanto, em situações práticas, a dissipação de calor é bastante limitada por conta da área disponível para troca térmica entre a superfície sólida e o fluido circundante. Essa limitação compromete a eficiência térmica do sistema, especialmente em aplicações onde o fluido de resfriamento tem um baixo coeficiente convectivo, como é o caso do ar. Com isso, torna-se o desenvolvimento de soluções que elevam a capacidade de transferência de calor sem que impliquem modificações significativas no volume ou na complexidade do sistema.

Nesse cenário, o uso de superfícies aletadas destaca-se como uma das estratégias mais eficientes para aumentar a transferência de calor. As aletas promovem um aumento significativo da área de contato entre o sólido e o fluido, com isso favorecendo o processo convectivo e, consequentemente, elevando a taxa de dissipação térmica (Incropera et al., 2008). Isso justifica sua

ampla aplicação em diferentes sistemas térmicos, consolidando-se como uma solução clássica para problemas de engenharia envolvendo dissipação de calor.

Com isso, um simples aumento da área superficial não garante, por si só, um desempenho térmico superior. O comportamento de superfícies aletadas resulta da interação entre a condução de calor no sólido e a convecção na interface com o fluido, sendo influenciado por condutividade térmica do material, geometria das aletas e condições de escoamento (Çengel, 2012). Assim, torna-se essencial avaliar a área, mas também a real contribuição das aletas para a intensificação da transferência de calor.

Nessa avaliação destacam-se dois parâmetros fundamentais: a eficiência e a efetividade das aletas. A eficiência está relacionada à capacidade da aleta de conduzir calor ao longo de sua extensão, e a efetividade representa o ganho real na transferência de calor em relação a uma superfície sem aletas (Incropera et al., 2008). Por isso a análise da efetividade torna-se especialmente relevante em estudos comparativos, pois permite verificar se a utilização de aletas é, de fato, vantajosa sob determinadas condições operacionais.

Essa análise torna-se ainda mais evidente quando se considera em aplicações reais. Superfícies aletadas são amplamente usadas em dissipadores térmicos de equipamentos eletrônicos, radiadores hidráulicos, trocadores de calor e sistemas passivos de resfriamento em edificações. Em regiões de clima quente, como grande parte do território brasileiro, essas soluções apresentam elevado potencial para



melhorar o desempenho térmico de ambientes construídos, contribuindo para a redução do consumo energético associado à climatização artificial (Incropera et al., 2008).

Apesar de sua ampla aplicação, a avaliação do desempenho térmico de superfícies aletadas por meio de métodos experimentais pode envolver custos elevados e limitações operacionais. Nesse contexto, a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) tem se consolidado como uma ferramenta eficiente para a análise de fenômenos de transferência de calor e escoamento de fluidos, permitindo a obtenção detalhada de campos de temperatura e fluxos térmicos em geometrias complexas (Versteeg e Malalasekera, 2007; Anderson, 1995). Dessa forma, o uso de simulações numéricas possibilita investigar diferentes configurações de forma mais flexível e com menor custo.

Com isso, observa-se a necessidade de estudos que avaliem, de forma quantitativa, o impacto da utilização de superfícies aletadas na intensificação da transferência de calor, principalmente em condições representativas de aplicações reais envolvendo ar como fluido de resfriamento.

Apesar da ampla utilização de superfícies aletadas, ainda se faz necessário quantificar seu real desempenho térmico em condições específicas de operação, especialmente em sistemas resfriados por ar, nos quais a convecção é limitada. Nesse contexto, estudos comparativos tornam-se essenciais para avaliar a efetividade dessas estruturas.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar numericamente, por meio de simulação em CFD, o desempenho térmico de uma superfície metálica equipada com aletas retangulares, acoplada a um elemento construtivo e submetida ao resfriamento por ar. A análise será realizada a partir da comparação entre a taxa de transferência de calor de uma superfície aletada e de uma superfície plana equivalente, visando determinar a efetividade das aletas na intensificação da dissipação térmica, bem como avaliar os campos de temperatura e o fluxo de calor total no sistema.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo numérico-computacional, utilizando o software ANSYS Workbench 2025 R2 para simulação comparativa de uma placa com superfície aletada e uma não aletada. O objetivo consiste em comparar o comportamento da temperatura e o fluxo total dessas duas situações, considerando uma temperatura na base da placa de 100°C.

A geometria da figura foi desenvolvida no módulo ANSYS SpaceClaim, sendo composta por uma base com 100mm de largura, 120mm de comprimento e 2mm de altura, para as aletas foram adotados 100mm de largura, 2mm de comprimento e 30mm de altura com um espaçamento entre as aletas de 12mm. Para a placa sem aletas foram usadas as mesmas medidas desconsiderando as medidas das aletas. Essas dimensões foram adotadas de acordo com medida real de uma placa para computador, assegurando maior confiabilidade aos resultados da simulação.

Ressalta-se que a adoção de regime permanente implica que as propriedades térmicas e as condições de contorno não variam ao longo do tempo, permitindo a análise do sistema em estado de equilíbrio térmico. Além disso, a utilização de malhas com diferentes níveis de refinamento buscou garantir estabilidade numérica e representação adequada dos gradientes térmicos, especialmente nas regiões próximas às aletas, onde ocorrem maiores variações de temperatura e fluxo de calor.

Assim como mostrado na tabela, o material escolhido foi o alumínio devido à sua elevada condutividade térmica, favorecendo a transferência de calor ao longo da estrutura. As dimensões adotadas foram baseadas em aplicações reais de dissipadores térmicos, garantindo maior representatividade do modelo.

A condição convectiva foi aplicada considerando o ar como fluido de resfriamento, sendo responsável pela remoção de calor das superfícies expostas.

Tabela 1. Propriedades do Material.

Material	Alumínio
Densidade	2713,0 (kg/m ³)
Condutividade térmica	155,30 (W/m°C)
Calor específico	915,70 (J/kg°C)

As figuras 1 e 2 ilustram a discretização do domínio realizada no ANSYS Meshing por meio de malha hexa dominante. Para a placa sem aletas foram adotado tamanho médio global dos elementos de 0,0015m e o modelo final apresentou 40624 nós e 5966 elementos. Já na superfície aletada foi-se usado um tamanho de 0,002m de elementos devido a decorrências para gerar a malha, com isso o modelo final apresentou 69941 nós e 9983 elementos. Ambas as malhas indicaram uma boa qualidade numérica e estabilidade para o processamento.

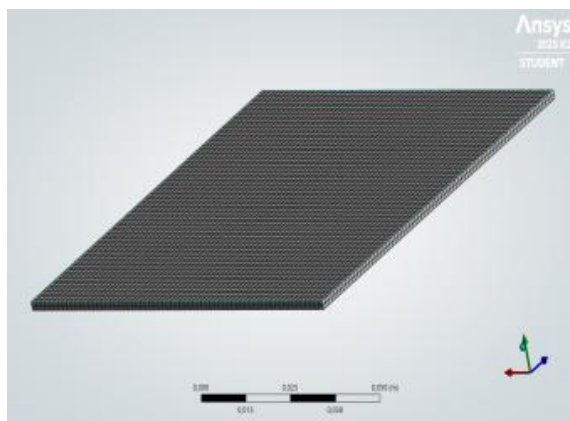


Figura 1. Malha Hexa Dominante sem aletas.

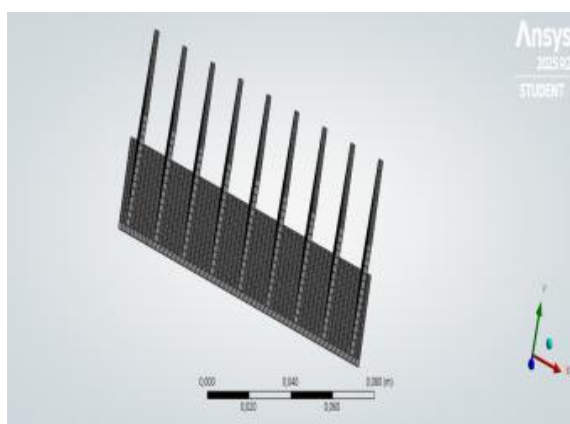


Figura 2. Malha Hexa Dominante com aletas.

As condições de contorno foram definidas assumindo regime permanente. A face inferior da placa foi submetida a uma condição de temperatura constante de 100 °C, caracterizando um problema de condução com fonte térmica fixa. Já nas aletas foi aplicada uma condição de contorno do tipo convecção. O fluido considerado foi o ar. Essas condições de contorno foram usadas para a simulação da placa com aletas quanto para sem aletas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 apresenta o campo de temperatura obtido para o caso base correspondente à superfície plana sem aletas. Se analisado, observa-se que a distribuição térmica foi de forma relativamente uniforme ao longo da superfície, com temperaturas mais acentuada nas regiões próximas à base aquecida e uma dissipação progressiva em direção ao fluido externo. Essa transferência de calor é predominantemente por convecção na interface do sólido-fluido, sendo limitada por conta da reduzida área de contato entre a superfície e o ar. Com isso a ausência de elementos que ampliem a área superficial contribui diretamente para a baixa eficiência do resfriamento nesse caso.

O valor máximo de temperatura apresentado para essa simulação foi de 100 °C e o mínimo 99,952 °C.

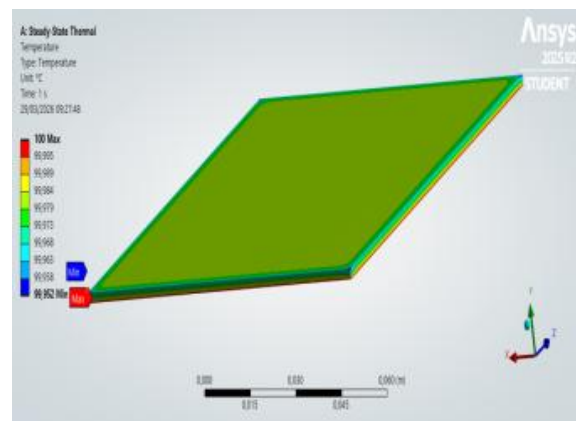


Figura 3. Distribuição de temperatura sem aletas.

Já na figura 4 apresenta o campo de temperatura obtido para a placa com aletas. Nessa situação observa-se que a temperatura máxima se concentra na base da placa, enquanto a temperatura mínima, ocorre nas extremidades das aletas.

Nota-se a presença de um gradiente térmico bem definido ao longo das aletas, caracterizado pela redução progressiva da temperatura da base em direção às pontas. O calor da base é conduzido ao longo da estrutura sólida e dissipada para o ambiente, principalmente nas regiões mais afastadas da base.

O valor máximo de temperatura foi de 100 °C e mínimo de 95,1 °C.

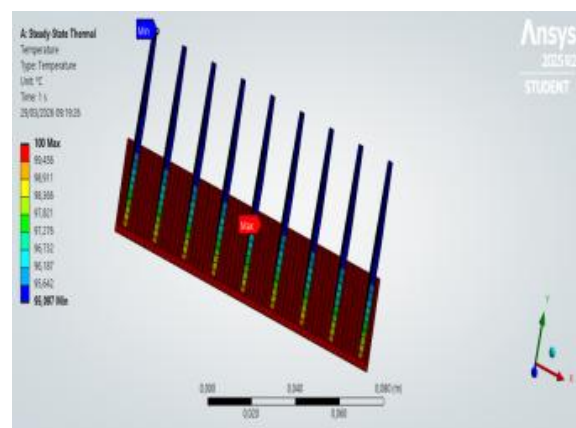


Figura 4. Distribuição de temperatura com aletas.

Com base nos resultados obtidos dos gradientes de temperatura dos casos analisados entre a placa com e sem aletas evidencia que a presença das aletas melhora significativamente o desempenho térmico do sistema. Na placa sem aletas apresenta uma distribuição de temperatura mais uniforme e menor dissipação de calor, enquanto na placa com aletas apresentam um gradiente térmico bem definido, com redução de temperatura ao longo das aletas. A explicação para isso é o aumento da área de troca térmica, que intensifica a dissipação de calor para o ambiente.

A figura 5 apresenta a distribuição do fluxo de calor na superfície plana sem aletas. Diferente da temperatura, aqui o fluxo térmico não é uniforme ao longo de sua superfície, concentrando-se principalmente em suas extremidades, onde estão os valores máximos identificados.

Esse comportamento pode ser explicado pela intensificação local do gradiente de temperatura nessas regiões, favorecendo a transferência de calor por convecção para o fluido adjacente.

Nota-se também que grande parte da superfície apresenta valores inferiores de fluxo térmico, deixando evidente que a dissipação de calor ocorre de maneira limitada ao longo da placa. Reforça-se que a influência da área reduzida torna um fator limitante no processo de transferência de calor.

O valor máximo de fluxo de calor obtido foi 6913,2 W/m² e mínimo 1467,3 W/m².

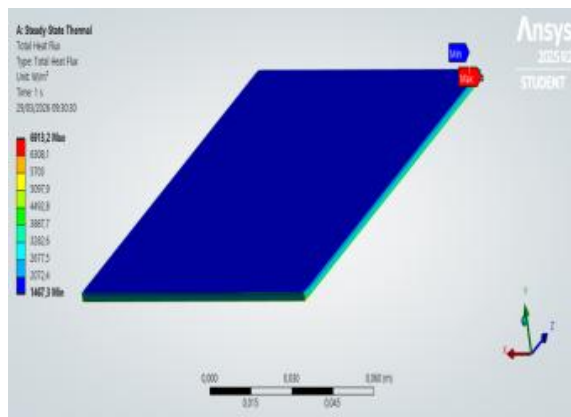


Figura 5. Fluxo de calor sem aletas.

A figura 6 apresenta a distribuição do fluxo de calor total para a placa com aletas. Observa-se que o fluxo de calor máximo, vai se concentrando-se principalmente nas regiões próximas à base das aletas, enquanto o valor mínimo se localiza nas regiões mais afastadas, nas extremidades das aletas.

Nota-se que o fluxo de calor é mais intenso nas regiões onde o gradiente de temperatura é maior, ou seja, próximo à base aquecida. À medida que o calor percorre ao longo das aletas, ocorre uma redução progressiva da interação do fluxo, com isso a diminuição da temperatura nessas regiões.

Com base nisso a maior intensidade de fluxo observada na base indica que essa região atua como principal fonte de energia térmica, enquanto as aletas funcionam como elementos dissipadores, aumentando a eficiência do processo de transferência de calor.

O valor máximo de fluxo de calor obtido foi 44.699 W/m² e mínimo 689 W/m².

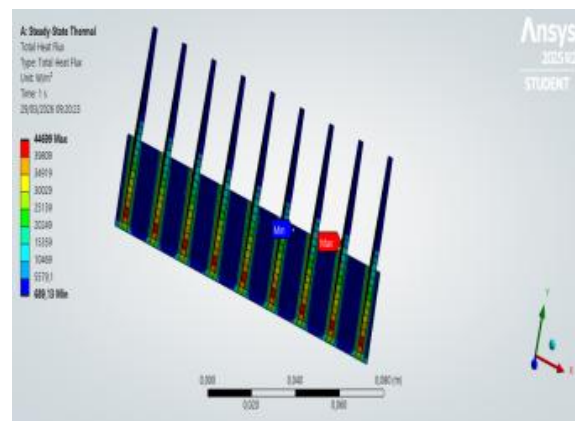


Figura 6. Fluxo de calor com aletas.

A análise do fluxo de calor evidencia diferenças claras entre a placa com e sem aletas. Para a placa sem aletas, observa-se que o fluxo máximo atinge 6913,2 W/m², concentrando-se nas regiões centrais, enquanto valores menores são encontrados nas extremidades, indicando uma dissipação térmica limitada devido à menor área de troca com o meio.

Por outro lado, na placa com aletas, o fluxo de calor máximo é significativamente superior, atingindo cerca de 44.699 W/m², concentrando-se principalmente na base das aletas, onde o gradiente de temperatura é mais intenso. À medida que o calor se propaga ao longo das aletas, ocorre redução gradual do fluxo, com valores mínimos próximos de 689 W/m² nas extremidades.

Essa diferença evidencia que a presença das aletas promove um aumento expressivo na intensidade e na distribuição do fluxo de calor, devido à ampliação da convecção. Assim, a placa com aletas apresenta maior eficiência na dissipação térmica quando comparada à superfície plana.

A diferença observada entre os casos analisados evidencia o impacto direto da área superficial no processo de transferência de calor. Enquanto na placa sem aletas a dissipação térmica é limitada pela menor área de contato com o fluido, na superfície aletada ocorre uma ampliação significativa dessa área, favorecendo a troca térmica por convecção.

Além disso, o aumento do fluxo de calor na configuração com aletas está diretamente associado ao maior gradiente de temperatura presente no sistema. Esse comportamento está em conformidade com os princípios da transferência de calor, nos quais a taxa de transferência térmica é proporcional ao gradiente térmico e às propriedades do material.

Outro ponto relevante é que, apesar da redução de temperatura ao longo das aletas, essas estruturas continuam contribuindo para a dissipação de calor, demonstrando sua efetividade mesmo em regiões mais afastadas da base. Isso reforça a importância do



uso de superfícies estendidas em aplicações que demandam maior eficiência térmica.

Ressalta-se que não foi realizada análise de independência de malha, sendo esta recomendada para estudos futuros, a fim de garantir maior precisão dos resultados numéricos.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram avaliar de forma clara a influência da utilização de superfícies aletadas no desempenho técnico do sistema analisado. A partir das simulações numéricas realizadas, observou-se que a placa sem aletas apresentou uma distribuição de temperatura mais uniforme, porém com baixa eficiência na dissipação de calor, evidenciada pelos menores valores de fluxo térmico.

Por outro lado, a configuração da placa com aletas demonstrou um comportamento térmico mais eficiente, caracterizado pela formação de um gradiente de temperatura ao longo das aletas e por um aumento significativo nos valores de fluxo de calor. Os resultados indicaram que o fluxo máximo na superfície aletada foi aproximadamente seis vezes superior ao da superfície plana, evidenciando a intensificação da transferência de calor proporcionada pelo aumento da área de troca térmica.

Além disso, verificou-se que as aletas atuam como elementos dissipadores, conduzindo o calor da base aquecida para regiões mais afastadas, onde ocorre maior interação com o meio externo. Esse mecanismo contribui para uma distribuição mais eficiente de energia térmica ao longo da estrutura, reduzindo a concentração de calor na base e favorecendo a dissipação para o ambiente. Tal comportamento confirma a importância da atuação conjunta dos mecanismos de condução no sólido e convecção na interface sólido-fluido para o aumento da eficiência térmica.

Outro aspecto relevante observado refere-se à influência da geometria e da área superficial no desempenho térmico do sistema. O aumento da área de contato proporcionado pelas aletas intensifica a troca térmica com o fluido, o que se mostra particularmente importante em situações onde o coeficiente convectivo é limitado, como no resfriamento por ar. Dessa forma, a utilização de superfícies estendidas se apresenta como uma solução eficiente para superar restrições associadas à dissipação térmica em sistemas compactos.

Os resultados obtidos também reforçam a importância do uso de ferramentas computacionais na análise de problemas térmicos, permitindo a visualização detalhada dos campos de temperatura e fluxo de calor. Essa abordagem possibilita uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos

envolvidos, além de viabilizar a análise de diferentes configurações sem a necessidade de experimentação física, reduzindo custos e ampliando as possibilidades de investigação.

Adicionalmente, destaca-se que, embora os resultados obtidos sejam consistentes com o comportamento esperado, a precisão das simulações está associada às condições adotadas no modelo, como regime permanente e simplificações nas condições de contorno. Dessa forma, estudos futuros podem considerar análises em regime transiente, diferentes geometrias de aletas, materiais com distintas propriedades térmicas e variações nas condições convectivas, visando uma avaliação ainda mais abrangente do desempenho térmico.

Dessa forma, conclui-se que a utilização de superfícies aletadas constitui uma estratégia eficaz para intensificação da transferência de calor, sendo especialmente relevante em aplicações onde há limitação de área para dissipação térmica. Os resultados não apenas confirmam a eficiência dessa solução, como também evidenciam seu potencial de aplicação em diversos sistemas de engenharia que demandam controle térmico eficiente.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Saymon Henrique Santos Santana, pelo acompanhamento, orientação e contribuições ao longo de toda a pesquisa.

À Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsa de iniciação científica, no âmbito do programa PIBIC.

Ao Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (CoBICET) pela oportunidade de divulgação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. D. Computational fluid dynamics: the basics with applications. McGraw-Hill, New York, 1995.
- ÇENGEL, Y. A. Transferência de calor e massa: uma abordagem prática. AMGH, Porto Alegre, 2012.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. Fundamentos da transferência de calor e massa. LTC, Rio de Janeiro, 2008.



VERSTEEG, H.; MALALASEKERA, W. Na introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. Pearson, Harlow, 2007.