

## AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO DE UM DISSIPADOR DE CALOR ALETADO SOB CONDIÇÕES DE RESFRIAMENTO POR CONVECÇÃO FORÇADA

Victor Camilo Levartoski Maschietto, [camilelevantoski@hotmail.com](mailto:camilelevantoski@hotmail.com)

Thiago Antonini Alves, [thiagoaalves@utfpr.edu.br](mailto:thiagoaalves@utfpr.edu.br)

Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia Mecânica (PPGEM), Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa/PR, CEP 84.016-210, Brasil

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma avaliação experimental da temperatura de operação de um dissipador de calor aletado, utilizado em componentes periféricos de microcomputadores comuns, sob condições de aquecimento discreto e resfriamento por convecção forçada de ar promovido através de um ventilador axial. Esta investigação foi executada em um aparato experimental composto por um canal quadrado horizontal de placas de acrílico contendo uma janela de inspeção termográfica, um ventilador axial, um aquecedor flexível, um dissipador de calor aletado, uma fonte de alimentação, um sistema de aquisição de dados com multiplexador com 20 canais, um nobreak e um microcomputador. Para a realização dos experimentos, a temperatura do ambiente foi mantida em aproximadamente 19,0°C e os termopares utilizados eram do tipo K. Uma câmera termográfica de alto desempenho foi utilizada para captação de imagens termográficas. O fluido de resfriamento utilizado foi o ar atmosférico e o dissipador de calor utilizado era de alumínio extrudado. Os testes experimentais foram realizados considerando diferentes dissipações de potência variando entre 5W e 60W. Para o cálculo das incertezas experimentais foi adotado o Método de Propagação de Erros. As propriedades termofísicas foram obtidas da biblioteca do software Engineering Equation Solver™ (EES™). Para a faixa de investigação do número de Reynolds a natureza do escoamento é turbulenta. O comportamento da temperatura de operação em função da potência dissipada foi mostrado e apresentou ótima concordância com os resultados disponíveis na literatura.

**Palavras-chave:** temperatura de operação, dissipador de calor aletado, convecção forçada, resfriamento de eletroeletrônicos, avaliação experimental.

### 1. INTRODUÇÃO

Em decorrência dos avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas, os equipamentos eletroeletrônicos têm se tornado mais rápidos, com maiores funcionalidades e seus tamanhos foram reduzidos drasticamente, acarretando inevitavelmente um aumento significativo da densidade de empacotamento e consequente aumento da dissipação de calor, como no caso de *smartphones*, *notebooks*, *tablets* e microcomputadores (Nishida *et al.*, 2014). Esta evolução tem tornado o gerenciamento térmico essencial nos projetos destes produtos, pois altas temperaturas de operação dos componentes eletroeletrônicos podem comprometer o seu desempenho e sua confiabilidade (Tari & Mehrtash, 2013). O comportamento do fator de falha do componente eletroeletrônico aumenta quase que exponencialmente com a temperatura de operação que não deve ultrapassar um valor entre 85°C e 100°C (Antonini Alves *et al.*, 2015). Como consequência das temperaturas elevadas, os possíveis danos aos equipamentos são: a difusão no material semicondutor, as reações químicas, a movimentação da colagem dos materiais e as tensões térmicas (Çengel & Ghajar, 2012).

De acordo com Bar-Cohen *et al.* (2003), as modernas tecnologias de empacotamento eletroeletrônico requerem uma combinação de materiais e mecanismos de transferência de calor adequados para manter as temperaturas dos componentes em um nível aceitável. Dessa forma, muita atenção tem se destinado a sistemas de resfriamento eficientes e capazes de remover o calor gerado durante o funcionamento destes equipamentos, mantendo-os estáveis e confiáveis (Huang *et al.*, 2011). A configuração mais simples para os dissipadores de calor de componentes eletroeletrônicos montados em placas de circuito impresso é aleta plana retangular (Pacher & Antonini Alves, 2016).

Neste contexto, no presente trabalho foi realizada uma avaliação experimental da temperatura de operação em função da potência dissipada de um conjunto de aletas planas retangulares sob condições de aquecimento discreto e resfriamento por convecção forçada turbulenta de ar atmosférico. Este problema está associado ao resfriamento convectivo forçado de um dissipador de calor aletado em componentes periféricos de microcomputadores comuns.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

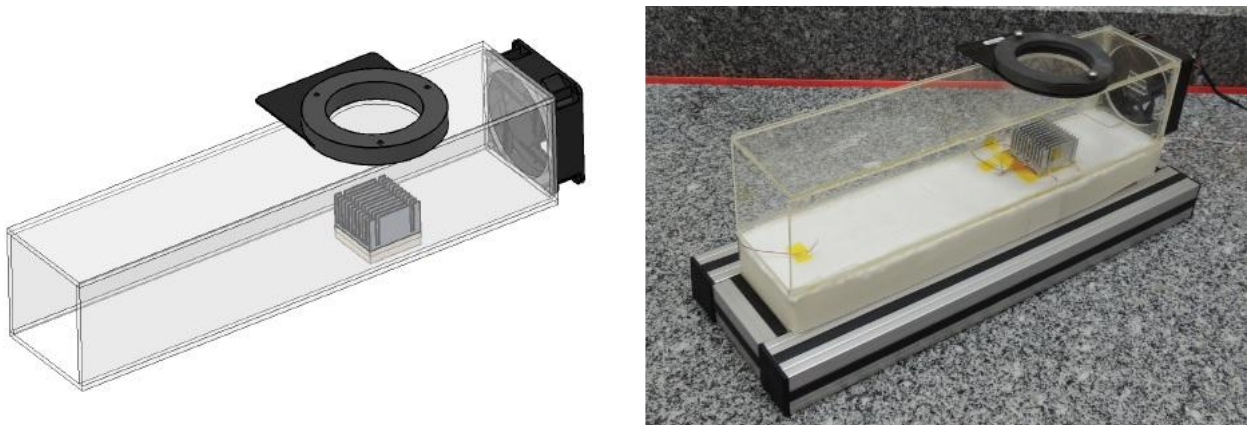
### 2.1. Aparato Experimental

Os testes experimentais foram executados no Laboratório de Controle Térmico (LabCT), vinculado ao Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia Mecânica (PPGEM) do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)/Câmpus Ponta Grossa. O aparato experimental utilizado para realização dos experimentos, mostrado na Fig. 1, foi composto por um microcomputador portátil *Dell*<sup>TM</sup>, um *nobreak* *NHS*<sup>TM</sup> de 1200 VA, uma fonte de alimentação *Keysight*<sup>TM</sup> U8002A, um sistema de aquisição de dados *Keysight*<sup>TM</sup> 34970A com multiplexador *Keysight*<sup>TM</sup> 34901A de 20 canais e uma seção de testes isolada termicamente através de placas de poliuretano. Termopares *Omega Engineering*<sup>TM</sup> do tipo K foram utilizados para obtenção das temperaturas. Uma câmera termográfica de alto desempenho *FLIR*<sup>TM</sup> T-440 foi utilizada para captação de imagens termográficas durante a execução dos experimentos.



**Figura 1. Aparato Experimental.**

O componente principal do aparato experimental foi uma seção de testes composta por uma base em perfil de alumínio estrutural quadrado com aresta de 40 mm, um canal quadrado horizontal de placas de acrílico contendo uma janela de inspeção termográfica *Fluke*<sup>TM</sup>, um ventilador axial *Panasonic*<sup>TM</sup> ASFN 82371, um aquecedor flexível com isolamento em *Kapton*<sup>TM</sup> e um dissipador de calor aletado comercial.



**Figura 2. Seção de testes – modelo CAD e montagem experimental.**

O dissipador de calor aletado comercial em questão, utilizado no resfriamento de componentes periféricos de um microcomputador comum, consiste de um conjunto de aletas planas retangulares contendo dois rasgos, feito em alumínio extrudado e possuindo as dimensões ilustradas esquematicamente na Fig. 3.

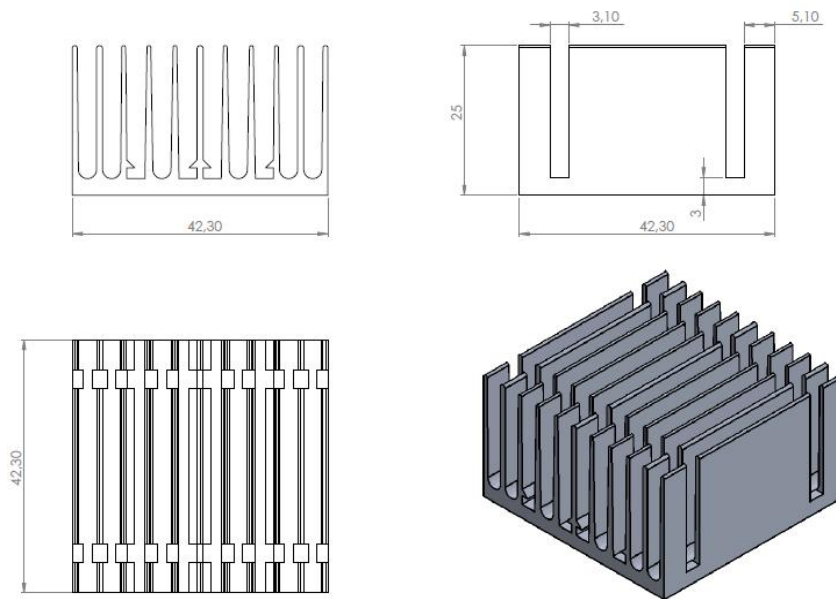


Figura 3. Dissipador de calor aletado [mm].

## 2.2. Procedimento Experimental

Na execução dos testes experimentais as condições térmicas do Laboratório de Controle Térmico da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa foram mantidas em  $19,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  através de um condicionador térmico de ambiente *Carrier*<sup>TM</sup> com capacidade de 36.000 BTU's. Os testes experimentais foram realizados três vezes e os erros avaliados de forma que a diferença entre as médias dos valores de temperatura fossem menores que  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os testes experimentais foram realizados sob condições de dissipação de potência de 5W, 10W, 15W, 20W, 25W, 30W, 35W, 40W, 45W, 50W, 55W e 60W. A temperatura de segurança foi de  $80,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respeitando assim o limite de operação das chapas de acrílico que compõe a seção de testes. Os dados de temperatura foram coletados a cada 5 (cinco) segundos, gravados no microcomputador através do *software Agilent*<sup>TM</sup> *Benchlink Data Logger 3* e, posteriormente, tratados e analisados. Cada teste experimental durou aproximadamente uma hora, tempo necessário para obtenção do regime *quasi* permanente.

## 2.3. Análise das Incertezas Experimentais

O Método de Propagação de Erros descrito por Holman (2011), foi utilizado para a determinação da incerteza da medição da dissipação de potência no aquecedor flexível. As incertezas experimentais estão associadas às incertezas dos termopares do tipo K ( $\pm 1,27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ao sistema de aquisição de dados e à fonte de alimentação ( $\pm 1\%$ ) e foram apresentadas concomitantemente aos resultados obtidos. Este mesmo procedimento foi aplicado para a determinação das incertezas dos outros parâmetros térmicos de interesse.

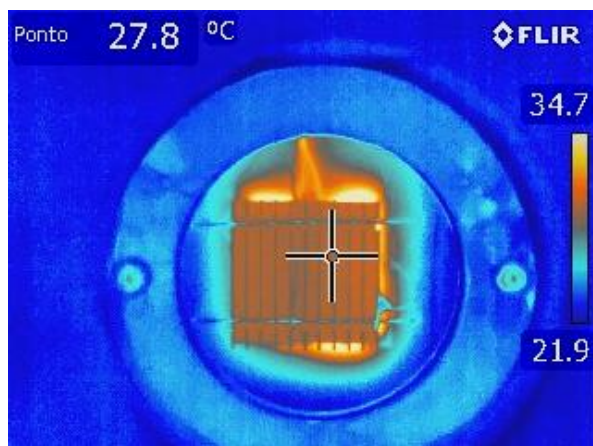
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a faixa de investigação do número de *Reynolds*,  $Re_{Dh} \approx 2.10^4$ , a natureza do escoamento é turbulenta (BERGMAN *et al.*, 2014). O fluido de resfriamento utilizado foi o ar atmosférico. O dissipador de calor utilizado era de alumínio extrudado, garantindo assim as condições isotérmicas, devido sua alta condutividade térmica. As propriedades termofísicas do fluido e do sólido foram consideradas constantes e foram obtidas através da biblioteca do *software Engineering Equation Solver*<sup>TM</sup> (EES<sup>TM</sup>).

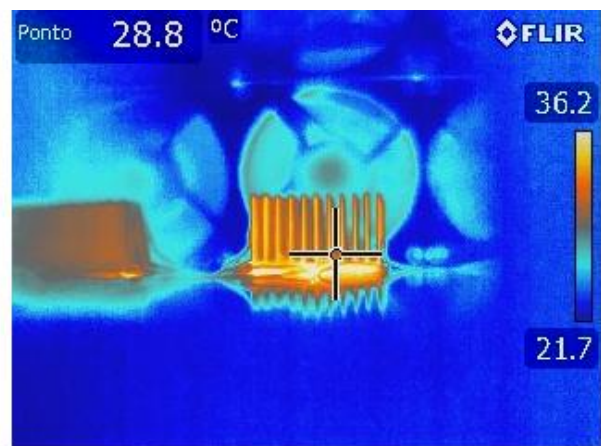
A Tabela 1 apresenta os valores médios dos dados experimentais coletados para dissipação de potência ( $q$ ), para a média das temperaturas na superfície da aleta ( $T_s$ ) e para a média das temperaturas do ar atmosférico na entrada ( $T_{\infty}$ ) do ventilador axial. A Figura 4, obtida por meio da câmera termográfica de alto desempenho durante a execução de um teste experimental, mostra a temperatura de operação, sob velocidade de escoamento do fluido de  $3,7\text{ m/s}$  e dissipação de 10W de potência no dissipador de calor aletado, comprovando a condição isotérmica no dissipador de calor aletado.

Tabela 1. Dados experimentais coletados.

| $q$ [W] | $T_s$ [°C] | $T_\infty$ [°C] |
|---------|------------|-----------------|
| 5       | 23,0       | 18,7            |
| 10      | 28,2       | 18,8            |
| 15      | 33,9       | 19,0            |
| 20      | 38,9       | 18,7            |
| 25      | 43,9       | 18,9            |
| 30      | 49,6       | 19,1            |
| 35      | 53,9       | 19,2            |
| 40      | 58,8       | 18,7            |
| 45      | 64,2       | 19,0            |
| 50      | 69,8       | 18,8            |
| 55      | 75,1       | 18,7            |
| 60      | 79,0       | 19,1            |



(a) janela de inspeção



(b) saída do canal

Figura 4. Imagens termográficas do dissipador de calor aletado sob condições de 10W.

O comportamento da temperatura de operação da aleta ( $T_s$ ) em função da potência dissipada ( $q$ ) é apresentado na Fig. 5. Pode ser observado que a temperatura de operação aumenta linearmente com o aumento da potência dissipada. Este comportamento é semelhante ao apresentado em Zhou *et al.* (2008) e em Huang *et al.* (2011). Uma correlação com erros menores do que 1,5% pode ser expressa por:

$$T_s = 1,02q + 18,26. \quad (1)$$

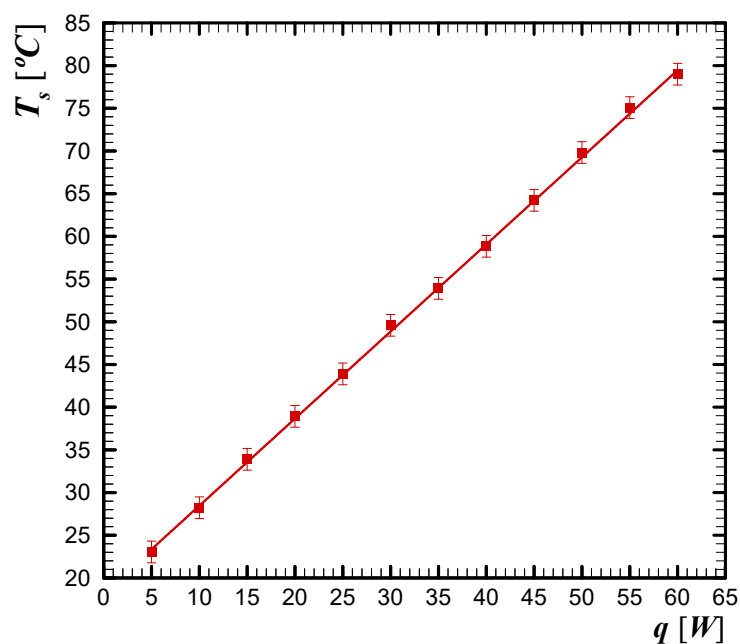


Figura 5. Temperatura de operação em função da potência dissipada.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma avaliação experimental da temperatura de operação de um dissipador de calor aletado, utilizado em componentes periféricos de microcomputadores comuns, sob condições de aquecimento discreto, resfriamento por convecção forçada e escoamento turbulento promovido através de um ventilador axial. A execução dos experimentos foi em um aparato experimental composto por uma seção de testes, uma fonte de alimentação, um sistema de aquisição de dados com multiplexador com 20 canais, um nobreak e um microcomputador. Os testes experimentais foram realizados considerando doze valores diferentes de potência dissipada, que foram de 5W, 10W, 15W, 20W, 25W, 30W, 35W, 40W, 45W, 50W, 55W e de 60W. Cada teste experimental teve duração aproximada de uma hora, tempo necessário para que o regime *quasi* permanente fosse alcançado. A temperatura do ambiente foi mantida em aproximadamente 19,0°C durante a execução dos experimentos. Imagens termográficas foram captadas através da utilização de uma câmera termográfica de alto desempenho. O fluido de resfriamento utilizado foi o ar atmosférico e o dissipador de calor utilizado era de alumínio extrudado. Para o cálculo das incertezas experimentais foi adotado o Método de Propagação de Erros. As propriedades termofísicas foram obtidas da biblioteca do *software Engineering Equation Solver<sup>TM</sup> (EES<sup>TM</sup>)*. O comportamento da temperatura de operação em função da potência dissipada foi mostrado e apresentou ótima concordância com os resultados disponíveis na literatura. Finalmente, destaca-se que o presente trabalho fornece uma contribuição científico-tecnológica que proporcionará um melhor conhecimento do comportamento da transferência de calor por convecção forçada turbulenta em um dissipador de calor aletado e que poderá ser utilizado como *benchmark* para validação de resultados provenientes de simulações numéricas utilizando *softwares* CFD.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da UTFPR, à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) e ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Antonini Alves, T., Santos, P.H.D., Barbur, M.A., 2015, “An Invariant Descriptor for Conjugate Forced Convection-Conduction Cooling of 3D Protruding Heaters in Channel Flow”, *Frontiers of Mechanical Engineering*, Vol. 10, No. 3, pp. 263-276.
- Bar-Cohen, A., Watwe, A.A., Prasher, R.S., 2003, “Heat Transfer in Electronic Equipment”, Bejan, A., Kraus, A.D. (Eds.), *Heat Transfer Handbook*, John Wiley & Sons., New Jersey, pp. 947-1027.
- Çengel, Y.A., Ghajar, A.J., 2012, “Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática”, McGraw-Hill, São Paulo, Brasil, 904 p.
- Holman, J.P., 2011, “Experimental Methods for Engineers”, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, New York, USA, 768 p.
- Huang, C.H., Lu, J.J., Ay, H., 2011, “A Three-Dimensional Heat Sink Module Design Problem with Experimental Verification”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 54, No. 7, pp.1482-1492.
- Nishida, F.B., Tadano, Y.S., Antonini Alves, T., 2014, “Conjugate Forced Convection-Conduction Heat Transfer in Channel Flow Using Different Cooling Fluids”, *Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference*, Kyoto, Japan, IHTC15-9594.
- Pacher, B.A., Antonini Alves, T., 2016, “Transferência de Calor Conjugada Convecção Natural-Radiação Térmica em um Dissipador de Calor Aletado”, *Anais do IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2016)*, Fortaleza/CE, Brasil, CONEM2017-1645.
- Tari, I., Mehrdash, M., 2013, “Natural Convection Heat Transfer from Inclined Plate-Fin Heat Sinks”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 56, No. 1, pp. 574-593.
- Zhou, J.H., Yang, C.X., Zhang, L.N., 2009, “Minimizing the Entropy Generation Rate of the Plate-Finned Heat Sinks Using Computational Fluid Dynamics and Combined Optimization”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, No. 8, pp. 1872-1879.

#### 7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE OPERATING TEMPERATURE OF A FINNED HEAT SINK UNDER FORCED CONVECTION COOLING CONDITIONS

Victor Camilo Levartoski Maschietto, [camilolevartoski@hotmail.com](mailto:camilolevartoski@hotmail.com)

Thiago Antonini Alves, [thiagooalves@utfpr.edu.br](mailto:thiagooalves@utfpr.edu.br)<sup>1</sup>, e-mail

Federal University of Technology – Paraná/UTFPR, Câmpus Ponta Grossa, Ponta Grossa/PR, Brazil

**Abstract.** *This work presents an experimental evaluation of the operating temperature of a finned heat sink, used in peripheral components of conventional microcomputers, under discrete heating conditions and cooling by air forced convection promoted by an axial fan. This research was carried out in an experimental apparatus composed by a horizontal square channel of acrylic plates containing a thermographic inspection window, an axial fan, a flexible heater, a finned heat sink, a power supply, a data acquisition system with multiplexer with 20 channels, an uninterruptible power supply, and a microcomputer. For the experiments, the ambient temperature was maintained at approximately 19.0 °C and the used thermocouples were of type K. A high-performance thermal camera was used to capture thermographic images. The cooling fluid was atmospheric air and the heat sink was of extruded aluminum. The experimental tests were performed considering different capacitance dissipations ranging from 5W to 60W. For the calculation of the experimental uncertainties, the Error Propagation Method was adopted. The thermophysical properties were obtained from the Engineering Equation Solver™ (EES™) software library. For the Reynolds number research range, the nature of the airflow is turbulent. The behavior of the operating temperature as a function of the dissipated power was shown and it is in great agreement with the available results in the literature.*

**Keywords:** *operating temperature, finned heat sink, forced convection, electronic cooling, experimental evaluation.*