

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

ENGENHARIA MECÂNICA

Trabalho de Diplomação

AQUILES EDUARDO ITURRIAGA GALARCE

**ANÁLISE TÉRMICA DE UM COMPONENTE ELETRÔNICO EM UM EQUI-
PAMENTO DE TELECOMUNICAÇÃO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientadores: Prof. Dr. Francis Henrique Ramos França

Porto Alegre
2009



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

**ANÁLISE TÉRMICA DE UM COMPONENTE ELETRÔNICO EM UM EQUIPAMENTO
DE TELECOMUNICAÇÃO**

AQUILES EDUARDO ITURRIAGA GALARCE

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS RE-
QUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello

Prof. Dr. Flávio T. Van Der Laan

Prof. Dr. Sérgio Luiz Frey

Porto Alegre
2009

de modo especial, à vida que tenho, e ao meu Abuelo Aquiles Iturriaga.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus;

ao meu orientador, *Prof. Dr. Francis Henrique Ramos França* que me possibilitou o estudo na área de convecção em equipamentos eletrônicos;

aos meus queridos pais *Eugênia e Carlos*, pela paciência, pelo amor e pela fé que, apesar das dificuldades enfrentadas, sempre tiveram em mim e seguiram incentivando os meus estudos;

ao meu tio Juan Alfredo Lopez Galarce, pelo exemplo de vida e dedicação para com a família;

à toda minha família Iturriaga Galarce, que mesmo de longe sempre me deram suporte para chegar até aqui;

à minha amiga e companheira Marise Lima, pela atenção, incentivo e apoio nos momentos difíceis;

aos amigos de uma vida inteira, pelo carinho, amizade, e apoio durante a faculdade;

aos bons amigos que fiz na faculdade pelo companheirismo e amizade que me confiaram;

aos amigos do trabalho pela ajuda e atenção que me dispensaram,

às funcionárias da Biblioteca e Portaria pela dedicação, ajuda e conversas;

às secretárias do departamento de engenharia mecânica;

e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Contribuintes que possibilitaram minha graduação em uma universidade pública gratuita e de excelência.

Este trabalho contou com apoio da seguinte entidade:
- Empresa Teracom Telemática - Datacom

*“Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me
mansamente a águas tranqüilas.
Refrigera a minha alma; guia-me pelas vere-
das da justiça, por amor do seu nome.
Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da
morte, não temeria mal algum, porque tu estás
comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.
Preparas uma mesa perante mim na presença
dos meus inimigos, unges a minha cabeça com
óleo, o meu cálice transborda.
Certamente que a bondade e a misericórdia
me seguirão todos os dias da minha vida; e habi-
tarei na casa do SENHOR por longos dias.*

GALARCE, Aquiles. E. I. Análise Térmica de Componente Eletrônico em um Equipamento de Telecomunicações. 2009. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RESUMO

Determinar o coeficiente de transferência de calor por convecção local sobre um componente eletrônico dentro de um equipamento de telecomunicação em operação não é uma tarefa trivial, pois muitas variáveis do sistema térmico são desconhecidas e difíceis de serem mensuradas. A análise térmica no presente trabalho tem como objetivo estimar as variáveis do processo de transferência de calor que ocorre no componente eletrônico ativo mais solicitado, comparando a temperatura interna do mesmo, obtida em três condições diferentes de ventilação com os resultados encontrados através de cálculos analíticos do circuito térmico estabelecido. Os cálculos foram realizados com base na literatura específica para problemas térmicos em equipamentos eletrônicos. Os experimentos consistiram em medições de temperatura utilizando termopares acoplados a um aparelho de aquisição de dados conectado a um computador para registrar as temperaturas e indexá-las para análise. Concluiu-se que é viável obter uma estimativa aceitável do coeficiente de transferência de calor por convecção sobre uma região de interesse dentro de um equipamento eletrônico e levantar hipóteses sobre a condição do escoamento de ar no interior do gabinete adotando a metodologia aplicada neste trabalho

PALAVRAS-CHAVE: sistema térmico, arrefecimento a ar, equipamentos eletrônicos, componentes eletrônicos, problema da convecção em eletrônicos,

GALARCE, Aquiles.E.I. Thermal Analysis of Electronic Component from Telecommunication Equipment. 2009. 20f. 1998. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ABSTRACT

To determine the heat transfer coefficient for local convection on an electronic component inside of telecommunication equipments in operation is not a trivial task, because many variables of the thermal system are unknown and difficult to be measured. The thermal analysis in the present work has as objective estimate the variables of the process of heat transference that is occurring in the more requested active electronic component, comparing the internal temperature of the same, measured in three different conditions of ventilation with the results found through analytical calculations of the established thermal circuit. The calculations had been carried through on the basis of specific literature for thermal problems in electronic equipment. The experiments consisted of measurements of temperature obtained by thermocouples connected to a data acquisition device that was connected to a computer to register the temperatures and to index them for analysis. One concluded that it is viable to get an acceptable estimate of the heat transfer coefficient for local convection on a region of interest inside of an electronic equipment and to raise hypotheses on the condition of the air flow in the interior of the cabinet adopting the methodology applied in this work.

KEYWORDS:, Thermal systems, air cooling, electronic equipment, electronic component, convective problem for electronic devices

ÍNDICE

ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. Transferência de Calor por Convecção	12
2.2. Refrigeração por Convecção Forçada de Ar em Equipamentos Eletrônicos	13
2.3. Aquecimento de Componentes Eletrônicos no Multiplexador de Dados de Alto Desempenho	14
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	15
3.1. Medição de Temperatura dos Dissipadores do FPGA1, FPGA2, FPGA3	16
3.2. Medições de Temperatura do Dissipador FPGA1	17
3.3. Medição de Corrente Elétrica	18
4. METODOLOGIA ANALÍTICA	19
4.1. Balanço de Energia	19
4.2. Correlações de Nusselt	20
5. RESULTADOS E ANÁLISES	23
5.1. Resultados das Medições de Temperatura	23
5.2. Balanço de Energia – Resistência Térmica do Dissipador	24
5.3. Correlações de Nusselt	25
5.4. Análise	25
6. CONCLUSÃO	26
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
APÊNDICE	28
AP1 – Gráfico das Temperaturas com Ventilador1 e o Ventilador2 operando.	28
AP2 – Gráfico das Temperaturas com Ventilador1 operando.	28

AP3 – Gráfico das Temperaturas com o Ventilador2 operando.	29
AP4 – Incerteza de Medição	29
ANEXOS	30
ANEXO A - Datasheet do Dissipador	30
ANEXO B- Datasheet dos Ventiladores (FANS)	31

1. INTRODUÇÃO

Os meios de telecomunicação assumiram, no século passado, um papel fundamental em todos os níveis da sociedade. As pessoas tem à sua disposição vários meios de comunicação vinte quatro horas por dia, isto possibilita que um indivíduo em qualquer parte do mundo se comunique com outro através de aparelhos como telefone, fax, celular, ou computador. O crescimento da população mundial e o aumento do número de pessoas com acesso a essas tecnologias indicam que este setor irá crescer muito nos próximos anos. A perspectiva de um grande incremento na demanda deste mercado promove o constante desenvolvimento tecnológico do segmento em questão, financiado pelas empresas prestadoras de serviços que buscam equipamentos cada vez mais eficientes e compactos. A tendência dos equipamentos eletrônicos de alto desempenho utilizados pelas companhias e empresas no topo da cadeia de telecomunicações não fogem a essa regra.

As operadoras de telefonia, principais consumidoras deste tipo de produto, estão à procura de máquinas mais velozes, compactas e, sobretudo, confiáveis. Os dados de voz de uma cidade do tamanho de Porto Alegre, com aproximadamente um milhão e setecentos mil habitantes, podem passar em três ou quatro placas de rede de um único multiplexador, razão pela qual a preocupação com a confiabilidade dos equipamentos é sempre presente. O constante avanço das tecnologias traz consigo novas ferramentas, aplicativos, softwares mais confiáveis e robustos que por sua vez também exigem máquinas com capacidade de transportar pacotes de dados maiores sem prejuízo das taxas de transferência de dados.

As empresas que fabricam este tipo de produto investem tempo e dinheiro na pesquisa e desenvolvimento de novos equipamentos que atendam às expectativas do mercado; contudo a característica evolutiva das máquinas é aumentar as velocidades da transmissão de dados e ao mesmo tempo diminuir suas dimensões. O aquecimento excessivo dos componentes internos desses equipamentos de alto desempenho acaba sendo o resultado dessa evolução, colocando-os em risco iminente de falha. A velocidade operacional de um elemento como um microprocessador ou Field Programmable Gate Array (FPGA) é diretamente proporcional à potência elétrica entregue a eles, essa potência é convertida em energia térmica, porém todo componente tem uma faixa de temperatura de operação fornecida pelo fabricante, logo o controle da temperatura desses elementos passa a ser um fator fundamental para o bom funcionamento dos aparelhos eletrônicos. Contudo determinar a temperatura de um componente eletrônico em operação não é uma tarefa trivial; muitas variáveis do sistema térmico são desconhecidas e difíceis de serem mensuradas.

Grande parte desse tipo de produto é refrigerada por convecção forçada de ar. Geralmente módulos de ventilação promovem um escoamento de ar no interior dos equipamentos, dissipando a energia térmica dos componentes eletrônicos. O espaço reduzido dentro das máquinas dificulta ainda mais a passagem de ar, o que prejudica a troca de calor e, conseqüentemente, o resfriamento dos elementos com aquecimento crítico. Conseguir estimar o coeficiente de transferência de calor convectivo dentro de um multiplexador pode ajudar os projetistas deste tipo de produto a entenderem o escoamento do ar numa determinada região ainda na fase de protótipo do equipamento, auxiliando-os a encontrar soluções para um melhor rendimento térmico para extração de calor

O presente trabalho tem por finalidade estimar empiricamente o regime de troca de calor de um componente eletrônico, levantar hipóteses do que acontece termicamente dentro de um equipamento de telecomunicação de alto desempenho como o multiplexador, detectar as mudanças de temperatura para diferentes condições do escoamento de ar no interior do aparelho, calcular propriedades de componentes eletrônicos e comparar com dados do fabricante, realizar um balanço de energia e comparar com correlações de Nusselt desenvolvidas para equipamentos eletrônicos e discutir se os resultados e estimativas encontradas são aceitáveis.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Transferência de Calor por Convecção

O calor, ou energia térmica, é transferido de três modos na natureza: condução, convecção e radiação. Quando existir diferença de temperatura entre dois corpos sempre haverá energia térmica em trânsito, geralmente os três mecanismos ocorrem simultaneamente, entretanto não é raro um mecanismo ser o principal meio de transferência de energia, podendo-se então desconsiderar os outros fenômenos nesses casos. O corpo humano percebe essa transferência de energia como calor ou frio por exemplo.

A convecção é, dentre os três mecanismos de transporte de calor, o mais complexo de ser descrito. A transferência de calor por convecção ocorre de dois modos diferentes simultaneamente, assim como na condução em sólidos, o fluido também troca calor com o movimento aleatório das moléculas que o compõe, porém diferentemente dos sólidos, a estrutura atômica dos fluidos tem maior liberdade e as interações moleculares promovidas pelo calor ocorrem com menor intensidade sendo uma parcela fraca da transferência por convecção. Contudo juntamente com o movimento aleatório das moléculas existe o movimento global ou macroscópico do fluido, este último é o fator dominante na transferência de calor por convecção.

No caso dos equipamentos eletrônicos o controle de temperatura dos elementos que estão nas placas de circuito impresso (PCI) é feito por convecção forçada de ar. O termo convecção forçada, refere-se ao modo como a movimentação do fluido é gerada. Nos eletrônicos resfriados a ar geralmente existem ventiladores que promovem ou “forçam” a movimentação de ar no interior dos equipamentos. O movimento global ou macroscópico do fluido é no caso o fluxo de ar no interior das máquinas.

Tomando como exemplo um gabinete qualquer de um computador atual, ele contém um ou mais ventiladores gerando um fluxo de ar que entrará a temperatura ambiente T_{amb} e será constantemente renovado; o fluxo de ar por sua vez encontrará as superfícies dos componentes eletrônicos aquecidas a uma temperatura T_s diferente de T_{amb} , a partir dessa condição sabe-se então que no interior do computador haverá transferência de calor através do mecanismo de convecção.

O fluxo de calor local, q'' , por convecção pode ser representado como, equação 1

$$q'' = h(T_s - T_{amb}) \quad (1)$$

h é o coeficiente local de convecção. Devido à mudança ponto a ponto do escoamento sobre uma superfície, q'' e h irão variar também ao longo da superfície. Portanto a taxa de transferência de calor total, q , pode ser obtida pela integral:

Define-se assim o coeficiente de transferência de calor médio \bar{h} para toda uma superfície, obtendo-se a seguinte expressão:

$$q = \bar{h} A_s (T_s - T_{amb}) \quad (2)$$

onde A_s é a área da superfície que está trocando calor.

O escoamento do fluido, nos circuitos eletrônicos em sua grande maioria é o ar, é a variável principal para se determinar o coeficiente convectivo de transferência de calor local em um determinado ponto ou região, contudo o escoamento de um fluido pode ser extremamente complexo tornando a solução de h uma tarefa muito complicada e trabalhosa.

Segundo Remsburg (2001) não se pode calcular o coeficiente de transferência de calor exatamente porque somente é possível solucionar analiticamente equações diferenciais que governam a convecção para simples escoamentos e geometrias.

2.2. Refrigeração por Convecção Forçada de Ar em Equipamentos Eletrônicos

Os aparelhos eletrônicos refrigerados com ar, sejam eles por convecção forçada ou convecção livre, são um desafio para os engenheiros que os projetam e precisam garantir a qualidade e a confiabilidade de seus produtos como se pode ver até agora.

Os estudos que buscam equacionar soluções gerais para determinação do coeficiente convectivo de transferência de calor se deparam com um sistema de variáveis complexas. No estudo feito por Wirtz (2000) sobre a convecção forçada de ar entre placas com componentes eletrônicos de baixo perfil em linha, pode-se observar que o fator de disposição dos elementos, como mostra a Figura 1 é o domínio estabelecido pelo autor para validar as correlações encontradas para este problema.

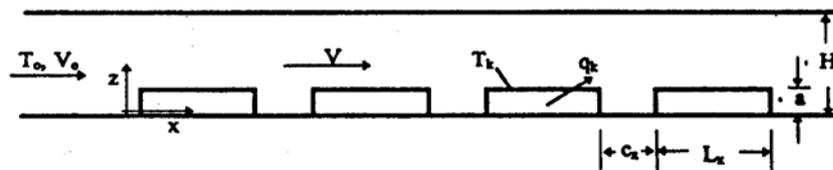


Figura 1- Disposição em linha de componentes eletrônicos de baixo perfil entre placas de circuito impresso submetidas a um fluxo forçado de ar. (Fonte: Wirtz 2000)

O processo de transferência de calor analisado em um único chip combina dois modos de transferência que envolve o mecanismo de condução do chip para o seu invólucro e PCI; e o mecanismo de convecção da superfície do invólucro e da PCI para o ar. Há inúmeras maneiras de analisar o comportamento térmico do sistema componente eletrônico/PCI. A tradicional maneira separa a convecção como condição de contorno da condução no sólido como domínio; a outra maneira mais rigorosa reconhece a natureza conjugada do processo de transferência de calor através de vários caminhos a partir do chip para o corpo do componente e posteriormente para a convecção no ar, conforme Ortega (2000). O tipo de análise a ser escolhida depende da aplicação, da utilização de ferramentas computacionais e da medição das variáveis envolvidas. A abordagem tradicional que separa a condução na estrutura do componente eletrônico/PCI do coeficiente de transferência de calor convectivo é uma boa alternativa, tem análise computacional baixa, relativamente fácil de ser desenvolvida e deve alcançar um resultado aproximado satisfatório. Ortega (2000) diz, em contrapartida, que uma análise completa dos modos conjugados de transferência de calor requer o uso de ferramentas computacionais mais sofisticadas e de alto nível de complexidade, que sejam capazes de resolver o sistema de equações que descrevam a difusão do calor por condução e convecção podendo atingir um resultado mais preciso.

A escolha correta das fronteiras do problema físico estudado é a chave para o sucesso do modelo utilizado para estimar o coeficiente de transferência de calor convectivo nas superfícies envolvidas.

O h local é definido em termo de diferença de temperatura sendo

$$h = \frac{q''}{(T_s - T_{amb})} \quad (3)$$

onde T_s é a temperatura local da superfície e T_{amb} é temperatura ambiente.

O engenheiro alemão Ernst Kraft Wilhelm Nusselt aprofundou-se no estudo sobre transferência de calor por convecção, o seu legado é o número de Nusselt. Ele desenvolveu a seguinte equação:

$$Nu_D = \frac{h D}{k_f} = f(Re_D, Pr) \quad (4)$$

onde D é uma dimensão característica dada em função da área da superfície que faz fronteira com o fluido e da geometria dessa área e k_f é a condutividade térmica do fluido. As correlações Nusselt são funções matemáticas que descrevem empiricamente diferentes sistemas de escoamento em diversos perfis geométricos. Como existem infinitas possibilidades geométricas, muitas vezes utilizam-se relações que possam aproximar-se do tipo físico a ser estudado.

O número de Reynolds, Re_D , serve para identificar como se comporta o escoamento de um determinado fluido, com base nesse número será escolhida a melhor correlação a ser aplicada para determinar o número de Nusselt. O Re é dado pela equação:

$$Re_D = \frac{U D}{\nu} \quad (5)$$

onde U é a velocidade do fluido, ν é a viscosidade cinemática do fluido e D a dimensão característica do sistema. Prandtl (Pr) é também um número adimensional, porém está atrelado somente ao estado termodinâmico do fluido.

Os equipamentos eletrônicos de alto desempenho trazem grandes desafios à área térmica. As placas de circuito impresso dessas máquinas são densamente ocupadas por componentes eletrônicos de diversas geometrias como transistores, indutores, dissipadores, processadores, capacitores, todos esses elementos muitas vezes não são posicionados estrategicamente para a otimização do fluxo de ar. Estabelecer uma correlação geral que se aplique às placas de diferentes topologias torna-se uma tarefa praticamente impossível.

Embora este sistema dependa de muitas variáveis, muitos casos já foram estudados para aplicação em eletrônica. Na discussão sobre os limites do resfriamento de equipamentos eletrônicos por convecção forçada de ar, Azar (2000), o limite para o h do ar está na ordem de 200 W/m²°C.

Existem ferramentas computacionais no mercado para modelagem de placas de circuito impresso e seus componentes eletrônicos que fazem uma análise térmica do equipamento, mapeando um volume de controle com linhas de corrente ajudando os projetistas a entenderem o que está acontecendo com o fluxo de ar dentro de um equipamento ou gabinete.

Os softwares comerciais que fazem a análise térmica de circuitos impressos apresentam um custo elevado para qualquer empresa, mesmo utilizando essas ferramentas é necessário identificar os pontos de interesse, ou seja, atribuir as condições de contorno ao problema, o que acaba gerando a necessidade de serem realizados teste e medições no equipamento.

Os fabricantes deste setor de eletrônicos geralmente optam pela realização de testes e experimentos empíricos; a partir de tentativa e erro buscam aumentar o rendimento de refrigeração das soluções adotadas em seus equipamentos.

2.3. Aquecimento de Componentes Eletrônicos no Multiplexador de Dados de Alto Desempenho

O multiplexador de dados analisado neste trabalho é utilizado por operadoras de telefonia e tem a função de transportar pacotes de dados em alta velocidade. O aparelho é refrigerado a ar por um módulo de ventilação composto de dois ventiladores. As temperaturas dos componentes presentes nas placas que compõe este equipamento são desconhecidas, entretanto como este aparelho é totalmente desenvolvido na empresa que o fabrica, podem ser apontados a partir do projeto quais são os elementos que demandam maior potência elétrica e conseqüentemente podem superaquecer ou estarem em uma faixa de temperatura crítica.

Na Figura 2 pode se observar o projeto do multiplexador. Nele estão montadas algumas placas de interface, o módulo de ventilação, a placa de processamento denominada “main process unit” (MPU) e uma placa de comunicação GPC.

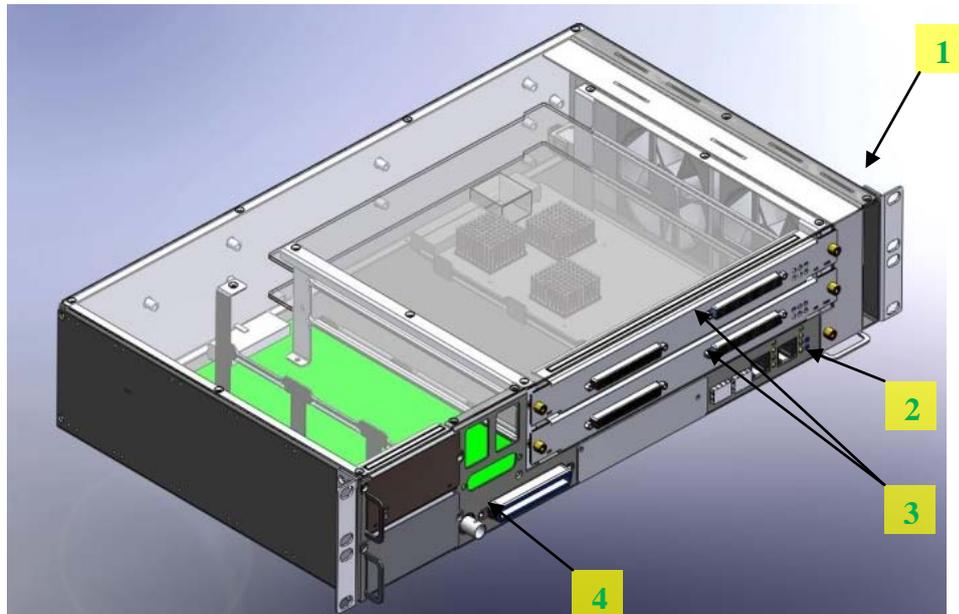


Figura 2 - O projeto do multiplexador mostra os seguintes componentes: 1-Módulo de Ventilação, 2- Main Process Unit (MPU), 3-Placas de Interface, 4- Gate Power Com; e abaixo está o protótipo do multiplexador.

A Figura 3 mostra na esquerda a MPU e o módulo de ventilação isolados no projeto; à direita da figura vêm-se os protótipos do módulo de ventilação e da MPU já conectados à PCI que faz a comunicação entre todas as placas conectadas no multiplexador.

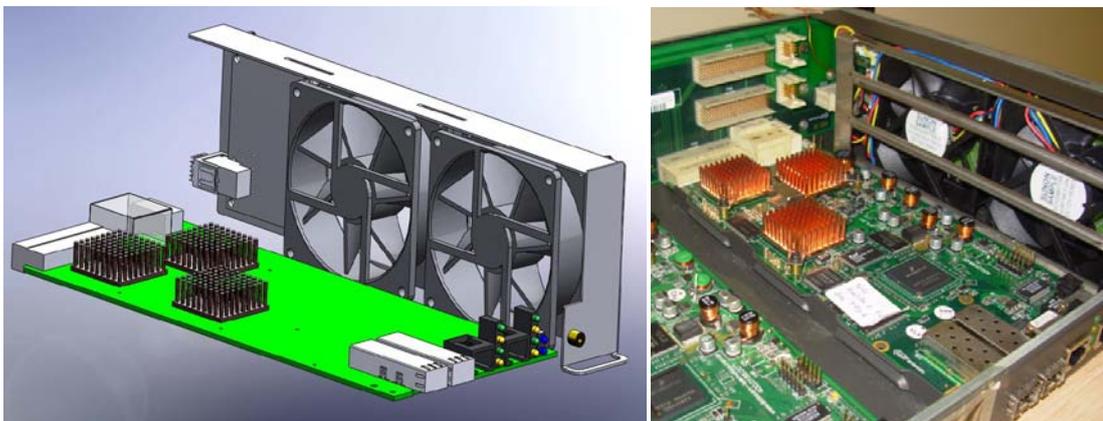


Figura 3- À esquerda o projeto e à direita o protótipo da MPU e do Módulo de Ventilação.

A placa denominada “MPU” vista na imagem acima, é responsável pelo gerenciamento de todo equipamento, nela se encontram os elementos com maior atividade, ou seja, os componentes eletrônicos que demandam as maiores potências. Nesta placa, está o elemento que será estudado.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Os experimentos realizados neste trabalho buscam, através de medições empíricas de temperatura e potência elétrica; levantar dados sobre as variáveis térmicas nos pontos de inte-

resse no interior do multiplexador. A Figura 4 mostra a bancada de teste montada para a realização dos experimentos.



Figura 4 - Bancada montada para as medições experimentais do multiplexador.

3.1. Medição de Temperatura dos Dissipadores do FPGA1, FPGA2, FPGA3

O objetivo desta medição é determinar qual dos três processadores denominados como FPGA1, FPGA2 e FPGA3 atinge a temperatura mais elevada quando o equipamento eletrônico em funcionamento alcançar um regime estacionário de transferência de calor.

Os sensores utilizados para realização das medidas foram cinco termopares do tipo K (faixa de aplicação de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$), todos posicionados da seguinte maneira: sobre a superfície externa da base de cada dissipador foi posicionado próximo ao centro um termopar; o outro termopar deve estar no exterior do equipamento para medir a temperatura ambiente, e o último posicionado na saída de ar do equipamento. Na Figura 5 estão identificados esquematicamente os dissipadores dos respectivos componentes e a posição dos termopares que devem medir a temperatura nos FPGA's.

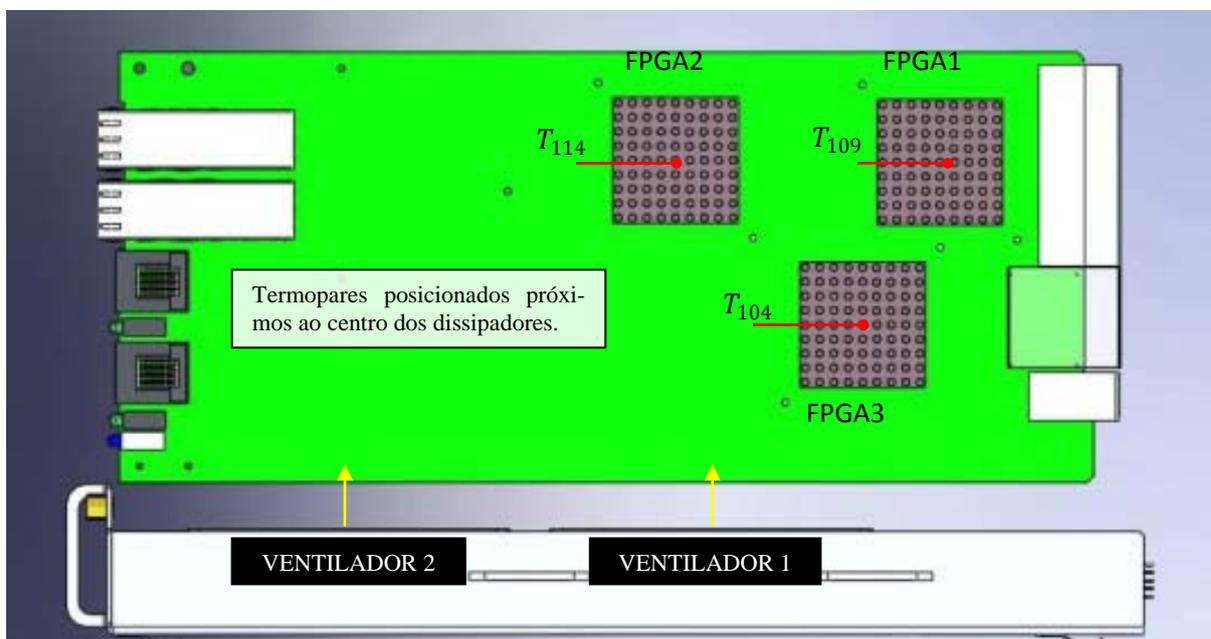


Figura 5 – Posicionamento dos termopares para medição de temperatura.

Na imagem anterior vê-se a distância relativa entre o módulo de ventilação e os componentes eletrônicos estudados. As temperaturas foram medidas por um sistema de aquisição de dados constituído por um aparelho modelo HP Agilent 34970A conectado a um computador que registrou as temperaturas detectadas pelos termopares.

O procedimento de medição de temperatura foi configurado junto ao computador através do software (Datalogger3) com intervalos de medição de 20 segundos. O experimento iniciou com o multiplexador desativado, passando posteriormente a ativação do mesmo. Utilizou-se como critério de parada a estabilização da temperatura dos componentes citados, o que caracteriza que o regime de transferência de calor está no estado estacionário.

O módulo de ventilação, Figura 6, do equipamento operou com o dois ventiladores do mesmo modelo identificados como ventilador 1 e ventilador 2.

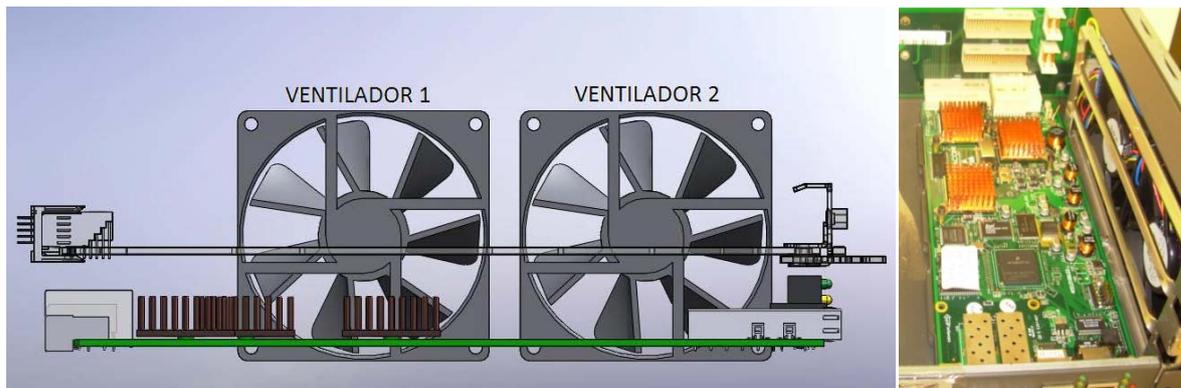


Figura 6 – O esquema mostra a disposição relativa dos ventiladores e os componentes.

As características dos ventiladores podem ser encontradas no capítulo anexo a este trabalho. Durante este experimento ambos ventiladores de alto desempenho, operaram aproximadamente a 6200 RPM; consumindo em torno de 5,9 Watts, o que geraria uma vazão de cerca de 0,0330 m³/s. (70,4 CFM) se o sistema não impusesse nenhuma restrição segundo o fabricante, ver anexo 2.

A Tabela 3.1.1 mostra a o resultado do experimento acima

Tabela 3.1.1 – Temperaturas de estabilização dos componentes de interesse do experimento.

	$T_{base\ do\ dissipador}$ [°C]
FPGA1	35,20
FPGA2	27,05
FPGA3	24,55

3.2. Medições de Temperatura do Dissipador FPGA1

Com base nos dados coletados no item anterior, priorizou-se a realização dos testes com o componente eletrônico FPGA1 por apresentar a maior potência dissipada em forma de calor. O objetivo desta etapa de medição é determinar a temperatura de estabilização na base do dissipador do FPGA1. Foram feitas três medições para situações diferentes de ventilação, que serão descritas posteriormente.

Os sensores utilizados para realização das medidas foram 8 termopares do tipo K (faixa de aplicação de -100 °C a 1200 °C).

Os termopares foram posicionados, como mostra a Figura 7, sobre a superfície externa da base do dissipador foram posicionados quatro termopares (representados pelos vermelhos); mais dois termopares foram colocados no topo de duas aletas distintas (representados pelos

amarelos), um termopar foi deixado no exterior do equipamento para medir a temperatura ambiente, o último foi posicionado na saída de ar do equipamento.

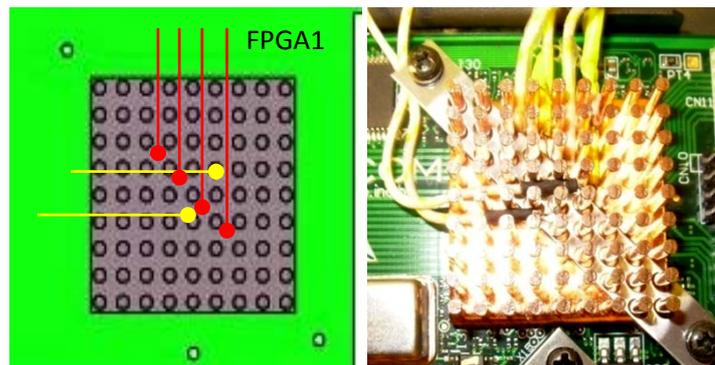


Figura 7 - Posicionamento dos termopares no FPGA1.

As temperaturas foram medidas pelo mesmo sistema de aquisição de dados, conforme mostrado anteriormente na Figura 4.

O procedimento de medição de temperatura (similar ao anterior) foi configurado junto ao computador através do software Datalogger3 com intervalos de medição de 20 segundos. As três medições foram iniciadas com o multiplexador desativado, passando posteriormente a ativação do mesmo. O critério de parada da medição utilizado foi a estabilização das temperaturas medidas caracterizando um regime estacionário de transferência de calor.

O módulo de ventilação do equipamento operou com três configurações diferentes.

3.2.1. Configuração da Ventilação 1

O módulo de ventilação operou com os dois ventiladores ativos durante todo o processo nesta experiência.

3.2.2. Configuração da Ventilação 2

O módulo de ventilação operou somente com o ventilador 1 ativo durante todo o processo na segunda medição.

3.2.3. Configuração da Ventilação 3

O módulo de ventilação operou somente com o ventilador 2 ativo durante todo o processo no terceiro experimento.

3.3. Medição de Corrente Elétrica

A medição da corrente elétrica, bem como a tensão na placa que controla o equipamento, a MPU, deve ser realizada com um multímetro pré aferido, neste trabalho utilizando-se o instrumento da marca Minipa ET-2075A.

A corrente total da placa foi medida com um multímetro na entrada da alimentação com o FPGA1 inativo, depois a corrente total da placa foi medida novamente com FPGA1 operando. O objetivo desta medição é etapa é determinar a potência do componente eletrônico citado. A diferença de corrente encontrada acima é a corrente utilizada pelo FPGA1, a potência total dissipada pelo FPGA1 pode ser então calculada pela conhecida equação

$$P = I \times V \quad (6)$$

Onde P é potência elétrica cuja unidade é Watts, I é a corrente elétrica dada em Amperes e V que é a diferença de potencial dada em Volts. A potência total consumida pelo componente FPGA1 é 8,5 W.

4. METODOLOGIA ANALÍTICA

Os cálculos analíticos realizados neste trabalho são baseados na literatura existente sobre os equipamentos eletrônicos resfriados a ar. O elemento eletrônico com a maior dissipação de calor dentro do multiplexador será o objeto de estudo nesta etapa do trabalho. O método de desacoplamento do modo de transferência de calor por condução do modo de transferência de calor por convecção é válido para encontrar uma boa aproximação da temperatura de um microchip como mostrado por Ortega (2000).

4.1. Balanço de Energia

O balanço de energia entre as superfícies, ou seja, a passagem de calor nas interfaces envolvidas, pode ser representado como um circuito térmico. A transferência de calor de um chip para o ar é um processo conjugado complexo. Por razões práticas, é comum que um sistema térmico de um único chip, por exemplo, seja representado por um sistema equivalente de resistência térmica da junta do chip para o ambiente.

O circuito térmico montado para cálculo no Interactive Heat Transfer (IHT) pode ser entendido pela Figura 8.

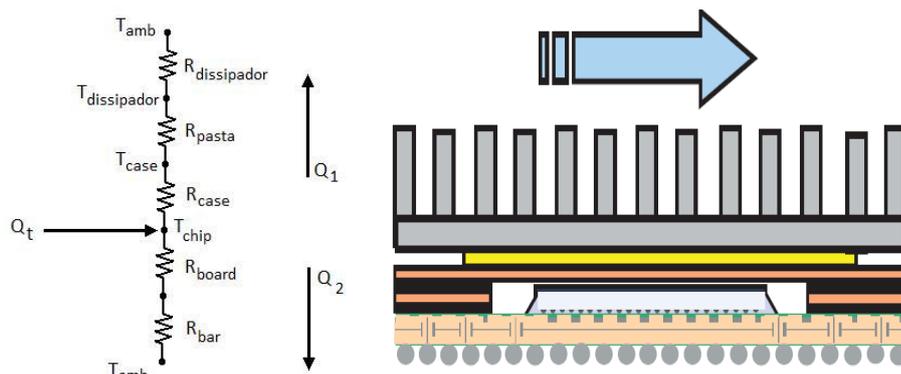


Figura 8 - Circuito térmico equivalente sugerido pelo fabricante do FPGA.

A taxa de transferência de calor total Q_T , equação (7), se divide em dois circuitos.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (7)$$

A fração da energia, Q_1 , que parte do chip, passa pelo case, pasta térmica, dissipador e é transmitida para o ar, pode ser obtida através da equação (8), onde R_{board} é a resistência da placa de circuito impresso, R_{bar} é a resistência convectiva do ar que entra em contato com o ar, R_{case} é a resistência do revestimento do chip, R_{pasta} é a resistência da pasta térmica entre o dissipador e o componente eletrônico e $R_{dissipador}$ é a resistência do dissipador.

$$Q_1 = Q_T \frac{R_{board} + R_{bar}}{R_{board} + R_{bar} + R_{case} + R_{pasta} + R_{dissipador}} \quad (8)$$

conhecendo Q_1 , é possível trabalhar apenas com este circuito, tal como a mostra equação (9) abaixo,

$$Q_1 = \frac{T_{chip} - T_{amb}}{R_{case} + R_{pasta} + R_{dissipador}} \quad (9)$$

Todas as resistências são fornecidas pelos seus respectivos fabricantes, no entanto a resistência térmica do dissipador é fornecida em função da velocidade do ar. As informações sobre o dissipador podem ser vistas no capítulo de anexos. A velocidade que o ar encontra a superfície deste dissipador não é conhecida, contudo pode-se calcular a resistência térmica do dissipador para uma faixa de coeficiente de transferência de calor convectivo.

A equação (10) mostra que para calcular a resistência térmica do dissipador é preciso antes calcular a eficiência global do dissipador η_0 (equação (11)) e o desempenho da aleta η_f (equação (12)),

$$R_{dissipador} = \frac{1}{\eta_0 \cdot h \cdot A_t} \quad (10)$$

$$\eta_0 = 1 - \frac{NA_{aleta}}{A_t} (1 - \eta_f) \quad (11)$$

$$\eta_f = \frac{\tanh mL_C}{mL_C} \quad (12)$$

Obedecendo as fronteiras do volume de controle no dissipador isolou-se o termo da resistência térmica do dissipador conforme o esquema da Figura 9.

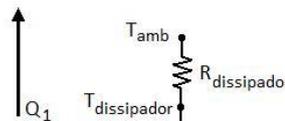


Figura 9 - Volume de controle no dissipador do FPGA1.

Portanto se

$$Q_1 = \frac{(T_{dissipador} - T_{amb})}{R_{dissipador}} \quad (13)$$

$$T_{dissipador} = T_{amb} + R_{dissipador} Q_1 \quad (14)$$

Quando isolado, o termo de $T_{dissipador}$ (equação 14), verifica-se que a temperatura do dissipador também está em função do coeficiente de transferência de calor por convecção. Cruzando os dados experimentais com as informações do fabricante e os dados calculados pode se estimar o valor do coeficiente de transferência de calor por convecção no dissipador do FPGA1, não obstante é preciso lembrar-se do número de Nusselt Nu_D .

4.2. Correlações de Nusselt

O coeficiente de transferência de calor convectivo pode ser estimado através do número de Nusselt. Existem várias correlações, fórmulas, que podem ser usadas como ferramentas para encontrar uma boa estimativa de h , para isso é preciso escolher a correlação que mais se aproxime do problema físico real. Muitos estudos já foram realizados para diversas situações

em equipamentos eletrônicos, porém cada modelo de placa de circuito impresso (PCI) apresenta uma topologia própria que irá interagir de maneira única com o escoamento do ar e determinar, assim, como será a troca de calor dos componentes da placa com ar no interior do aparelho.

A potência elétrica do FPGA1 é dissipada por dois circuitos térmicos. A superfície do dissipador em questão troca calor com o ar escoando dentro do gabinete do multiplexador. Embora não se tenha informações exatas sobre o comportamento nem a velocidade do ar no interior deste equipamento, já existem também muitos estudos desenvolvidos sobre dissipadores de aletas cilíndricas, como o dissipador utilizado neste caso.

O escoamento de ar entre os pinos do dissipador é um tanto complexo e significativamente diferente para pinos em linha e pinos em quincôncio (Remsburg, 2001). Os dois tipos de arranjo podem ser vistos na Figura 10

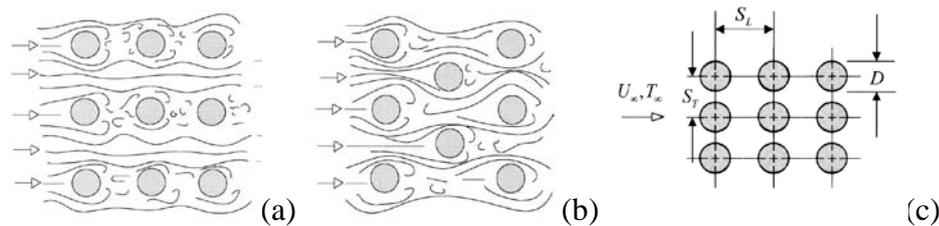


Figura 10- O fluxo de ar em dissipadores de: (a) Pinos arranjados em linha. (b) Pinos arranjados em quincôncio . (c) Variáveis geométricas dos dissipadores de pinos dispostos em linha (Fonte: Remsburg 2001).

O diâmetro D dos pinos e o espaçamento entre eles são variáveis utilizadas nos cálculos para determinar o número de Nusselt, pois impactam sensivelmente no fluxo de ar o que conseqüentemente afeta a capacidade de troca de calor do dissipador.

U_{∞} = velocidade inicial do ar

N = número de colunas de pinos do dissipador

S_T = passo entre centros transversal ao escoamento de ar

S_L = passo entre centros longitudinal ao escoamento

A partir das variáveis citadas acima são estabelecidas duas importantes razões: $P_T = S_T/D$ e $P_L = S_L/D$.

O número de Reynolds (equação 5) deve ser calculado a partir da velocidade máxima U_{max} entre os pinos para esse tipo de dissipador. A velocidade máxima pode ser calculada pela equação 15

$$U_{max} = U_{\infty} \frac{S_T}{(S_T - D)} \quad (15)$$

O fator de espaçamento ψ para $P_L \geq 1$ é:

$$\psi_{\geq 1} = 1 - \frac{\pi}{4P_T} \quad (16)$$

O fator de arranjo Φ para dissipadores de pinos em linha é:

$$\Phi = 1 + \frac{0,7}{\psi^{1,5}} \frac{\frac{S_L}{S_T} - 0,3}{\left(\frac{S_L}{S_T} + 0,7\right)^2} \quad (17)$$

Sabe-se que o coeficiente de transferência de calor num dissipador é menor na primeira coluna de pinos e aumenta gradativamente até a quinta coluna Remsburg, (2001). O número de Nusselt para dissipadores com $N < 10$ é calculado

$$\overline{Nu}_D = \overline{Nu}_{D1} \frac{1+(N-1)\Phi}{N} \quad (18)$$

As correlações desenvolvidas por Churchill e Bernstein servem para determinar o número de Nusselt de um único cilindro (\overline{Nu}_{D1}) para faixas distintas de Reynolds. Conhecendo a capacidade dos ventiladores pode-se estimar a velocidade que o de ar pode atingir dentro de um equipamento, neste caso a faixa de velocidade estabelecida é de $0,75\text{m/s}$ a $5,0\text{m/s}$ os valores de Reynolds para essa faixa de velocidade podem ser vista na figura abaixo:

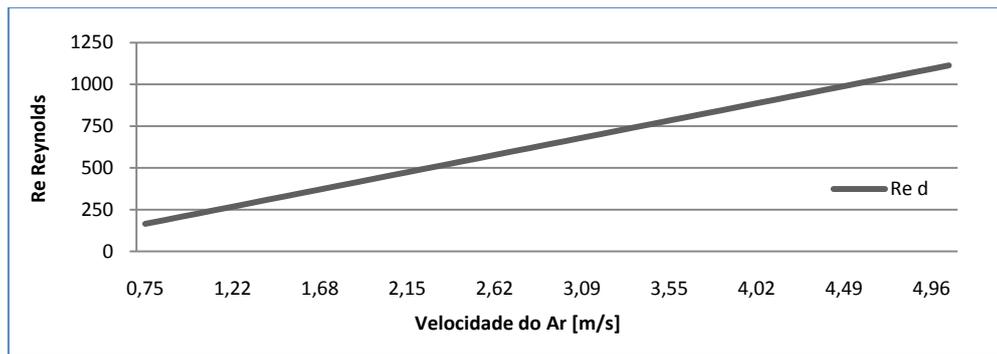


Figura 11: Gráfico do número de Reynolds em função da velocidade do ar.

A correlação adotada é mostrada pela equação 19: $2,0 \leq Re \leq 10^4$.

$$\overline{Nu}_{D1} = 0,3 + \frac{0,62Re_D^{0,5}Pr^{0,333}}{\left[1 + \left(\frac{0,4}{Pr}\right)^{0,667}\right]^{0,25}}, \text{ para } 2,0 \leq Re \leq 10^4 \quad (19)$$

Os pesquisadores Sparrow e Ramsey contribuíram ainda corrigindo o número de Nusselt para dissipadores que se encontram em dutos ou canais formados por placas de circuito próximas. O multiplexador se enquadra neste caso, pois tem três placas que formam canais por onde o escoamento de ar passa. O número de Nusselt pode ser corrigido pela equação 20

$$\overline{Nu}_{Dc} = \overline{Nu}_D \left[0,67 + 0,33 \left(\frac{\dot{h}}{H}\right)\right] \quad (20)$$

Onde neste caso \dot{h} é a altura dos pinos do dissipador e H é a altura do canal, neste trabalho H é a distância entra a face superior da MPU e a face inferior da PCI de interface, porém Zukauskas propõe uma correlação mais simples com uma aproximação aceitável de Nusselt na região de $10^3 \leq Re \leq 2 \times 10^5$ quando $S_T/S_L > 0,7$ em dissipadores com pinos em linha.

$$\overline{Nu}_D = 0,27Re_D^{0,60}Pr^{0,30} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0,25} \quad (21)$$

As variáveis físicas conhecidas nos deram a condição de contorno do problema, com os dados encontrados nas medições de temperatura e os gráficos traçados a partir dos resultados das equações pode-se estimar o coeficiente de transferência de calor convectivo.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

5.1. Resultados das Medições de Temperatura

O resultado da medição de temperatura no FPGA1, FPGA2, FPGA3, conforme a Figura 12 mostra que o FPGA1 atinge as maiores temperaturas. Embora a medição tenha sido realizada na base do dissipador e as temperaturas lidas não sejam do componente eletrônico, é possível afirmar, devido à lei de conservação de energia, que o FPGA1 dissipou mais energia durante a medição.

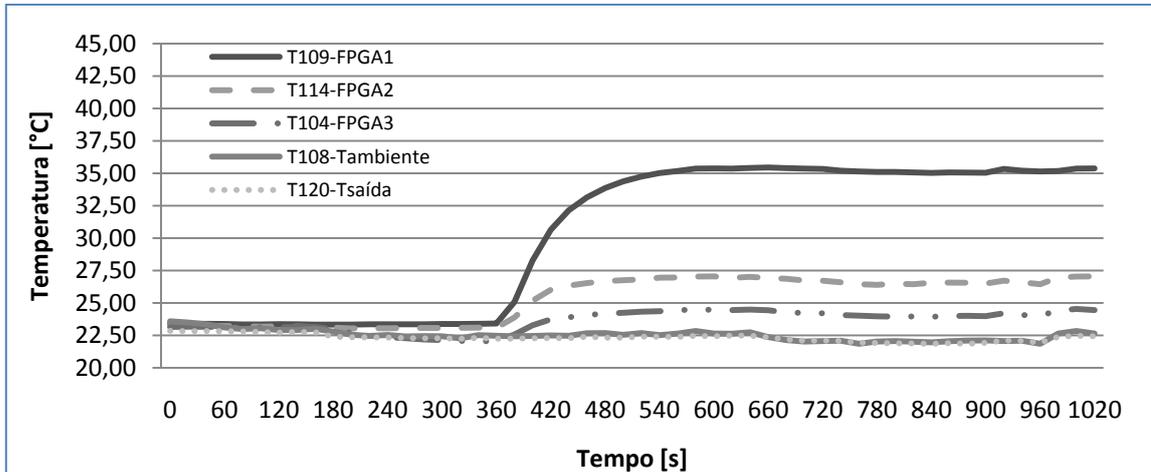


Figura 12: Gráfico das temperaturas da base dos dissipadores dos componentes eletrônicos.

A partir dos dados acima o problema foi restringido ao FPGA1. O gráfico da figura a seguir foi gerado a partir das medições na base do dissipador do FPGA1. Nas três medições a temperatura mais elevada na base do dissipador sempre foi medida pelo termopar T109. Os outros três termopares, posicionados na base do dissipador, mediram temperaturas muito próximas do T109, com variações da ordem de 0,5°C.

O gráfico mostra o resultado das três experiências realizadas.

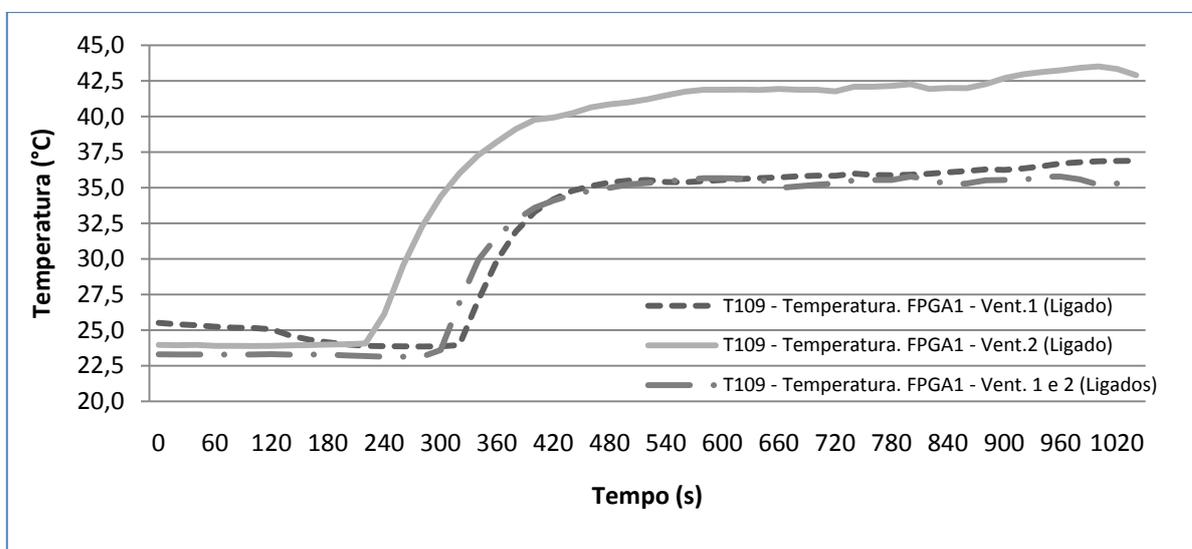


Figura 13: Gráfico comparativo de temperaturas para ventilações diferentes.

O multiplexador ao operar com os ventiladores 1 e 2 obteve o melhor rendimento térmico. A temperatura do dissipador sobre o FPGA1 estabilizou em 35,7°C. A temperatura de es-

tabilização mais alta do dissipador sobre o FPGA1 atingiu aproximadamente 42,5°C quando o equipamento operava somente com o Ventilador2 trabalhando. Entretanto quando o equipamento operou somente com o Ventilador1 a temperatura estabilizou em aproximadamente 36,4°C. O resultado dos dados deixa evidente que o principal responsável pela extração de calor do componente eletrônico FPGA1 é o Ventilador1. Note que o escoamento de ar no interior do equipamento não sofre grandes alterações quando opera somente com o Ventilador1 ligado ao invés dos dois ventiladores,

Esta análise preliminar mostra a importância de estimar o coeficiente convectivo de transferência de calor atuante no local onde está o componente eletrônico de interesse.

5.2. Balanço de Energia – Resistência Térmica do Dissipador

O cálculo analítico do processo de transferência de calor por convecção no dissipador do FPGA1 teve como objetivo estimar de forma empírica o coeficiente de transferência de calor convectivo. A resistência do dissipador foi calculada para uma faixa de coeficientes convectivos, os dados físicos do dissipador foram fornecidos pelo fabricante do dissipador. Os gráficos da Figura 14 mostram a resistência térmica do dissipador para uma faixa de valores do coeficiente de convecção.

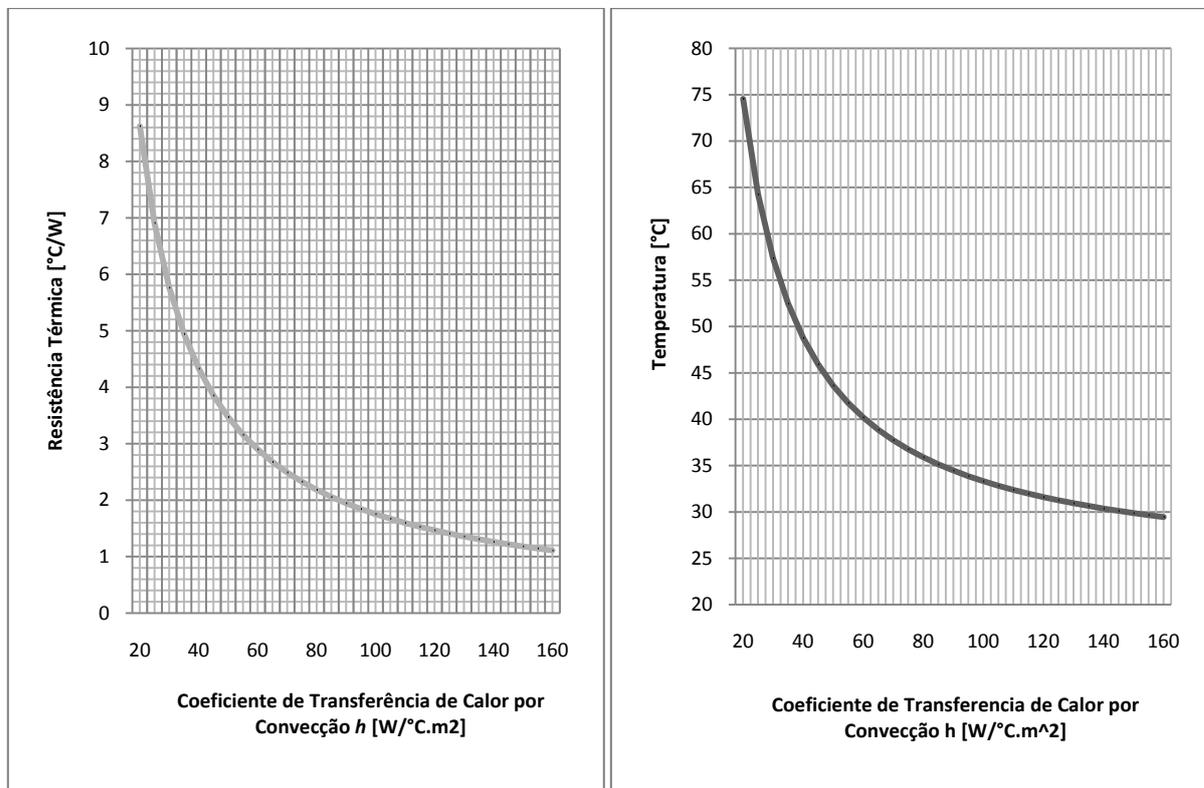


Figura 14: Gráfico da resistência térmica do dissipador do FPGA1 para h . Estimativa de temperatura da base do dissipador por h .

A equação 14 dá a temperatura da base do dissipador do FPGA1 em função da resistência térmica do dissipador, que por sua vez está em função de h , portanto, o gráfico da direita da figura acima mostra a curva da temperatura da base do dissipador para uma faixa do coeficiente de transferência de calor por convecção.

O coeficiente convectivo no dissipador de calor sobre o FPGA1 pode ser estimado, então, com os gráficos da Figura 14, procurando as temperaturas medidas nos experimentos no

gráfico da direita e obtendo o valor da resistência do dissipador no gráfico da esquerda que é resultado do balanço de energia.

5.3. Correlações de Nusselt

Os resultados dos cálculos a partir das correlações existentes para encontrar o número de Nusselt estão em função da velocidade do ar especificamente para dissipadores de pinos cilíndricos dispostos em linha. O fabricante do dissipador disponibiliza a resistência térmica em função da velocidade do fluido, com os coeficientes estimados pode-se estimar a velocidade do ar. O gráfico da Figura 15 mostra que o coeficiente de transferência de calor convectivo aumenta conforme aumenta a velocidade do fluido.

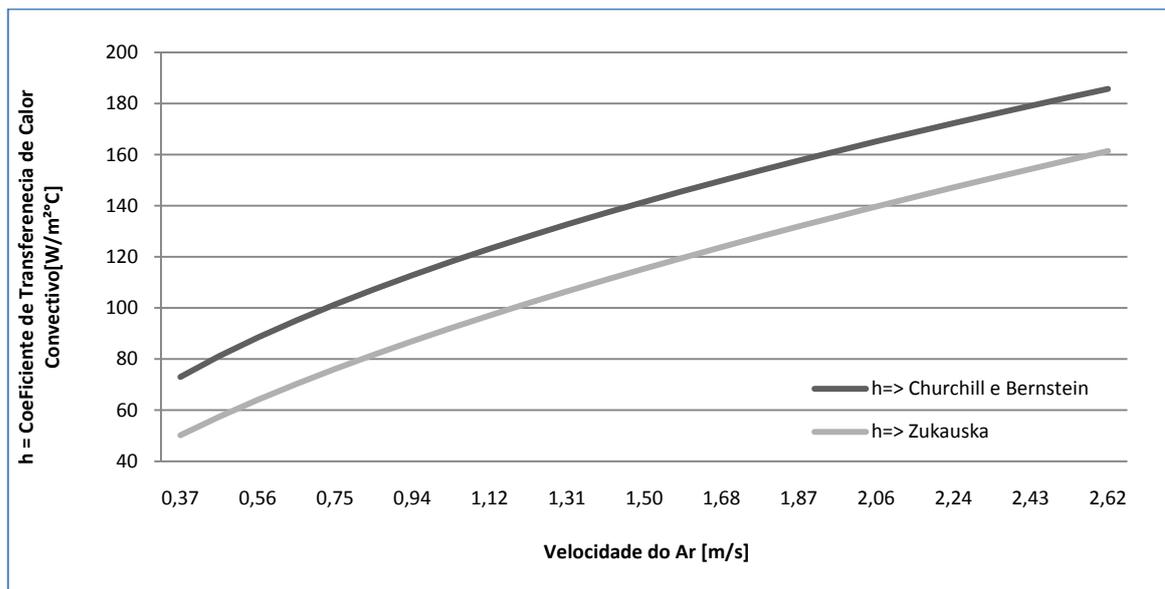


Figura 15: Gráfico do Coeficiente de Transferência de Calor Convectivo por Velocidade do Ar.

5.4. Análise

O multiplexador estudado neste trabalho mostra que para equipamentos eletrônicos onde as fronteiras estão definidas inerentes às dimensões do gabinete é muito difícil realizar medições de velocidade do ar, pressão, vazão, no interior do gabinete. Contudo medindo as temperaturas e sabendo a potência aplicada no componente, com uma série de cálculos simples é possível estimar de forma razoável o coeficiente de transferência de calor por convecção num local de interesse e comparar com dados do fabricante.

A tabela 5.4.1 fornece os três valores estimados de h para as medições de temperatura realizadas para as três configurações de ventilação.

Tabela 5.4.1- Valores estimados de transferência de calor para diferentes modos de ventilação

	h [W/m².°C] Ventilador1 e 2	h [W/m².°C] Ventilador1	h [W/m².°C] Ventilador2
Balanço Térmico	90	80	55
Nusselt - Zukauskas	110	90	60
Nusselt - Churchill e Bernstein	140	125	85

No modo de ventilação onde os dois ventiladores estão ativos estima-se um valor para h de $90 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Ao buscar o valor da resistência térmica para este coeficiente de convecção, no gráfico da Figura 14, encontrou-se um valor de aproximadamente 2 °C/W . Nos dados do fabricante do dissipador que está em anexo, há um gráfico que mostra a resistência térmica do dissipador associada a uma velocidade que para esse valor é de $1,5\text{m/s}$. Utilizando esta velocidade calculou-se o número de Nusselt, pelas duas correlações abordadas, obtendo-se duas novas estimativas para o valor do coeficiente de transferência de calor por convecção.

Embora os valores do coeficiente convectivo estimados pela correlação de Nusselt desenvolvida por Churchill e Bernstein e pelo balanço de energia utilizando o conceito de resistências térmicas estejam bem distantes; os valores estimados pela correlação de Zakauskas estão próximos dos estimados pelo balanço de energia. A diferença dos valores está na falta de dados sobre o escoamento do ar no interior do multiplexador, sobretudo no local do dissipador do FPGA1. Nas equações da correlação de Churchill e Bernstein, nota-se que dados como o espaçamento e a disposição dos pinos afeta o escoamento, e impactando no desempenho térmico do dissipador.

Encontrar o valor estimado na curva dada pelo fabricante ou simplesmente analisar a posição em que se encontra o FPGA1, não basta para mostrar que a estimativa do coeficiente de transferência de calor por convecção é válida. Contudo, através do número de Nusselt e comparando os dados experimentais e calculados com os dados do fabricante é possível embasar os resultados do coeficiente de transferência de calor validando as estimativas encontradas.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo fazer uma análise térmica de um equipamento eletrônico de alto desempenho. A análise buscou estimar o coeficiente de transferência de calor por convecção sobre um componente eletrônico com intuito de trazer à luz a condição de remoção de calor no local.

Este estudo mostrou que é possível estimar, através de cálculos, dados importantes sobre o sistema térmico de um equipamento eletrônico e encontrar valores aproximados nos pontos de interesse. Valores estimados, de relevância no sistema, pode-se citar o coeficiente de transferência de calor por convecção no dissipador do FPGA1 de $90\text{W/m}^2\text{°C}$, a temperatura no dissipador para modo normal de ventilação de $35,5 \text{ °C}$, a estimativa de velocidade de escoamento do ar no local. Estimar o coeficiente de transferência de calor por convecção sobre um componente eletrônico num equipamento em funcionamento a partir de dados empíricos, como foi realizado neste trabalho, pode dar tempo ao projetista de adotar uma ação corretiva, ou mesmo prever em projeto soluções que auxiliem o resfriamento dos componentes de maneira mais eficiente, a fim de alcançar melhor desempenho do módulo de ventilação sobre um determinado local.

Hipoteticamente, o projetista do multiplexador poderia alterar a posição do componente, prever defletores que conduzissem mais ar para o mesmo, alterar o dissipador, alterar os ventiladores, porem se o componente estivesse em um local onde o coeficiente de transferência de calor por convecção forçada de ar é próximo do limite o projetista saberia que outras medidas teriam que ser tomadas. Sendo assim, considera-se que este trabalho atingiu plenamente os objetivos pretendidos.

Como sugestão para trabalhos futuros seria interessante poder comparar os resultados obtidos neste trabalho com resultados obtidos por ferramentas computacionais mais avançadas, como softwares que através de modelagem e simulações calculam as variáveis mais difíceis de serem mensuradas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2003.

REMSBURG, Ralph. **Thermal Design of Electronic Equipment**. Boca Raton: Crc Press Llc, 2001. 400 p.

BEJAN, Adrian. **Convection Heat Transfer****Thermal Design of Electronic Equipment**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 623 p.

KIM, Sung Jin; LEE, Sang Woo (Ed.). **Air Cooling Technology for Electronic Equipment**. Boca Raton: Crc Press, Inc., 2000. 251 p.

LIENHARD IV, John H.; LIENHARD V, John H.. **A Heat Transfer Textbook**. 3.ed. Cambridge: Phlogiston Press, 2008. 762 p.

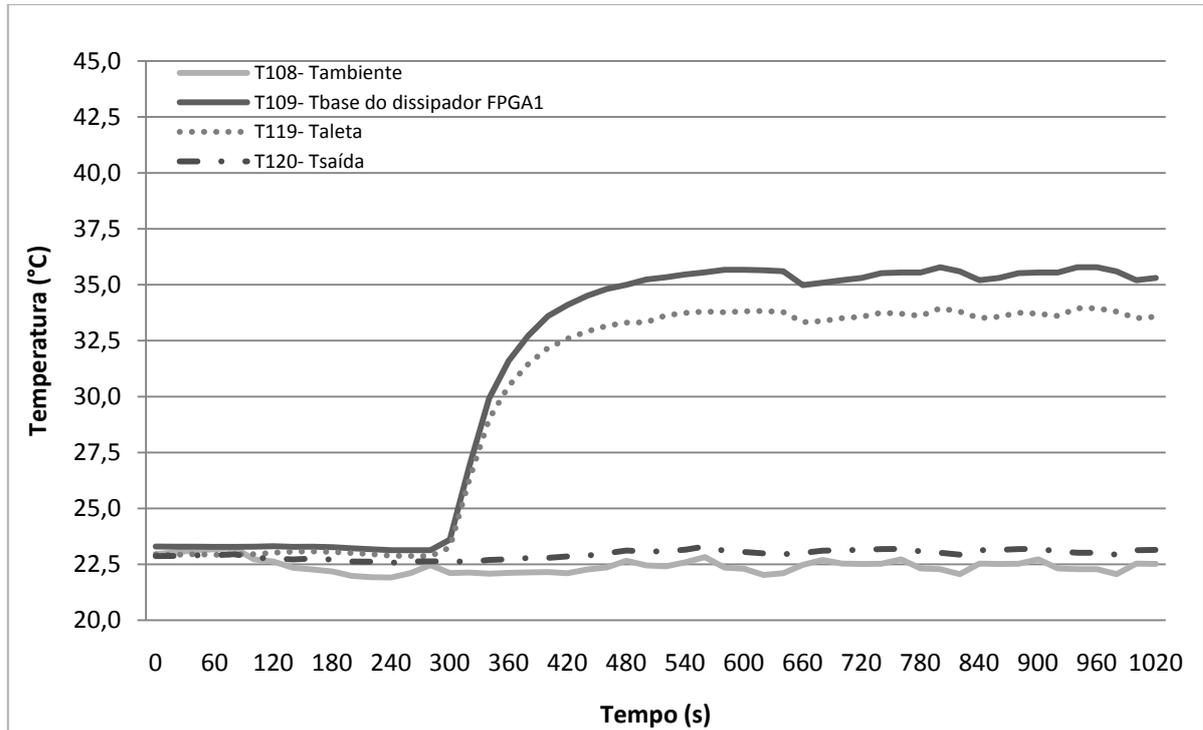
WIRTZ, R. A. Forced Air Cooling of Low-Profile Package Arrays. In: KIM, Sung Jin; LEE, Sang. **Air Cooling Technology for Electronic Equipment**. Boca Raton: Crc Press, Inc., 2000. Cap. 3, p. 81-102.

ORTEGA, Alfonso Conjugate Heat Transfer in Forced Air Cooling of Electronic Components. In: KIM, Sung Jin; LEE, Sang. **Air Cooling Technology for Electronic Equipment**. Boca Raton: Crc Press, Inc., 2000. Cap. 4, p. 103-172.

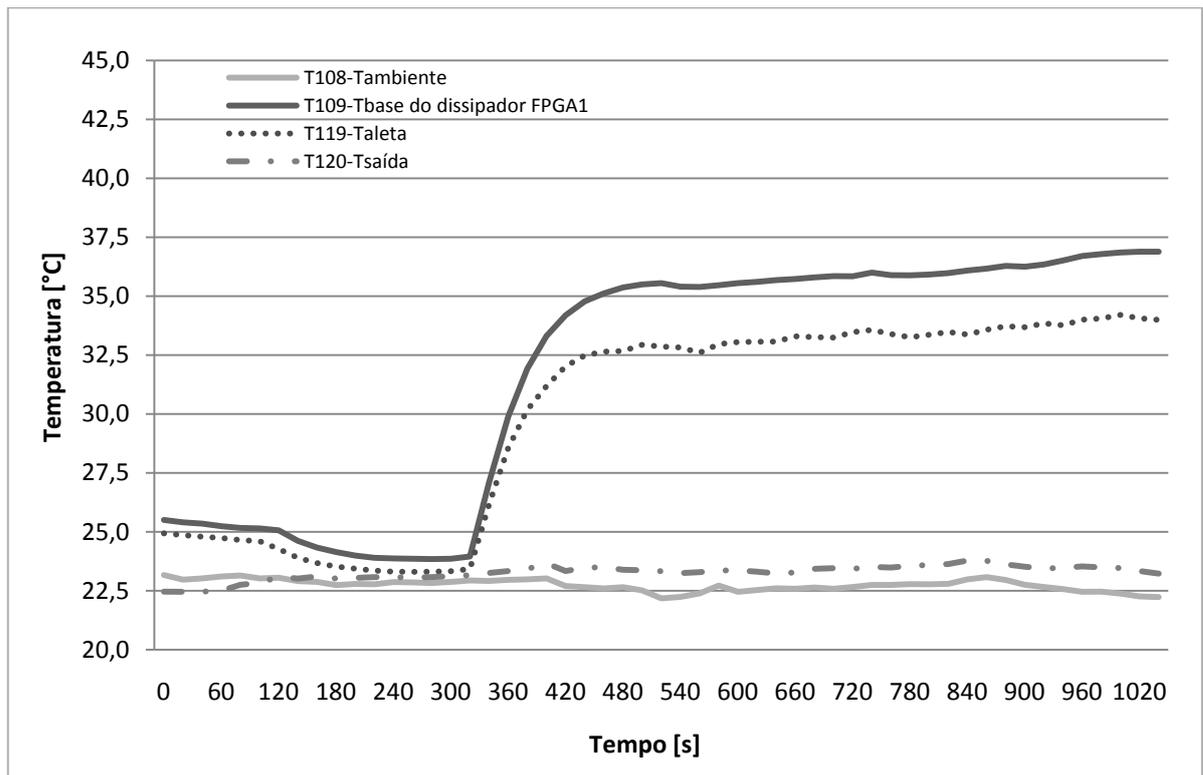
AZAR, Kaveh. Limits of Air Cooling –A Methodical Approach. In: KIM, Sung Jin; LEE, Sang. **Air Cooling Technology for Electronic Equipment**. Boca Raton: Crc Press, Inc., 2000. Cap. 6, p. 204-244.

APÊNDICE

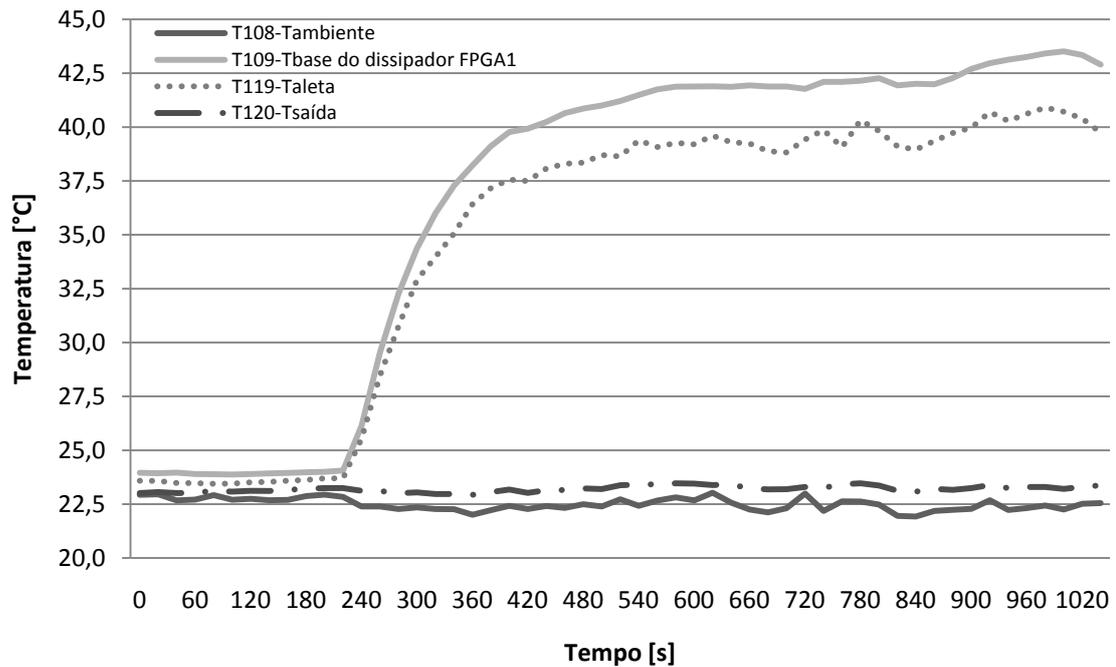
AP1 – Gráfico das Temperaturas com Ventilador1 e o Ventilador2 operando.



AP2 – Gráfico das Temperaturas com Ventilador1 operando.



AP3 – Gráfico das Temperaturas com o Ventilador2 operando.



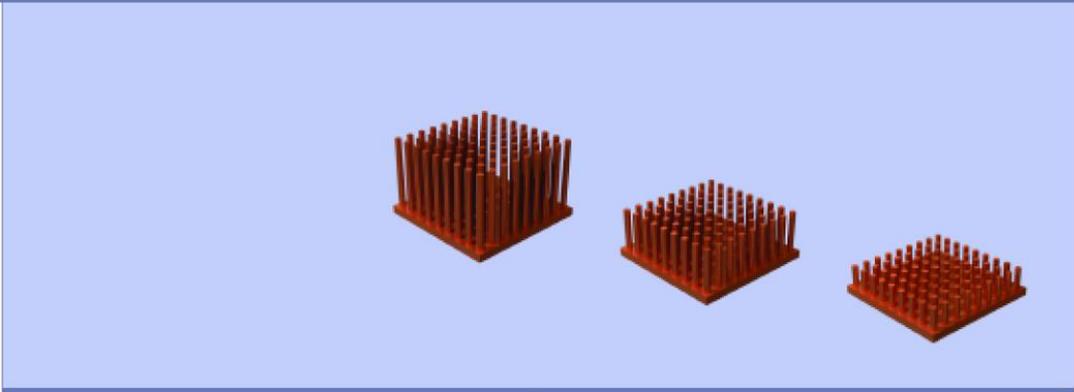
AP4 – Incerteza de Medição

Os experimentos deste trabalho contém erros intrínsecos a esse tipo de atividade. A incerteza associada aos erros de medição de temperatura está mais ligada ao erro do equipamento de aquisição de dados que pode ser $\pm 5\%$ segundo o fabricante; bem como a incerteza associada aos erros de medição da corrente elétrica também está em função do erro do multímetro que pode ser $\pm 1,2\%$ dado fornecido pelo fabricante.

ANEXOS

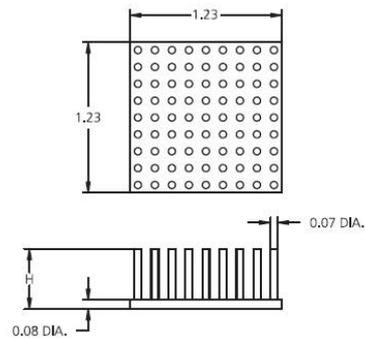
ANEXO A - Datasheet do Dissipador

1.23" X 1.23" U TYPE MODERATE PIN CONFIGURATION



Moderately Configured Copper Pin Fin Heat Sinks

- Designed for airspeed environments ranging from 150 to 400 LFM
- Generate exceptional cooling power
- Provide outstanding heat-spreading attributes
- Possess low pressure drop characteristics
- Forged from highly conductive copper
- Overall height can be customized to any dimension between 0.15" to 1.1"
- Single or multiple pins can be eliminated to meet application specific requirements
- Secondary operations available (e.g. through holes, threads)
- Parts are RoHS compliant.



P/N	Length in(mm)	Width in(mm)	Height in(mm)	Weight lbs(g)	# of pins	TR (°C/W)		
						200	400	600
4-121202U	1.23(31.2)	1.23(31.2)	0.20(5.1)	0.0507(23.0)	81	6.64	4.52	3.64
4-121203U	1.23(31.2)	1.23(31.2)	0.30(7.6)	0.0607(27.5)	81	3.63	2.47	1.99
4-121204U	1.23(31.2)	1.23(31.2)	0.40(10.2)	0.0706(32.0)	81	3.05	2.10	1.66
4-121205U	1.23(31.2)	1.23(31.2)	0.50(12.7)	0.0806(36.6)	81	2.47	1.74	1.34
4-121206U	1.23(31.2)	1.23(31.2)	0.60(15.2)	0.0906(41.1)	81	2.07	1.46	1.13
4-121207U	1.23(31.2)	1.23(31.2)	0.70(17.8)	0.1005(45.6)	81	1.80	1.27	0.98
4-121208U	1.23(31.2)	1.23(31.2)	0.80(20.3)	0.1105(50.1)	81	1.75	1.20	0.94
4-121211U	1.23(31.2)	1.23(31.2)	1.10(27.9)	0.1404(63.7)	81	1.40	0.96	0.75

Finishes
Nickel
Black Zinc

Attachment Methods
Mechanical Clips (Straight & Diagonal)
Pre-applied double-sided thermal tape
Thermally-conductive glue

See Disclaimer on page 3

ANEXO B- Datasheet dos Ventiladores (FANS)

SUNON

SPECIFICATION FOR APPROVAL

CUSTOMER : Sunon Inc.
DESCRIPTION : DC BRUSHLESS FAN
DIMENSIONS : 80X80X25 mm
M O D E L : PSD1208PTBX-A
P/N : (2).U.B3198.F.GN
SUNON SPEC. NO. : D08029390G-01
CUSTOMER APPROVAL NO. :
APPROVED BY CUSTOMER :
 (AUTHORIZED)

DRAWN	Nancy 05/28	CHECKED	<i>ding</i>	APPROVED	<i>[Signature]</i>	SPEC.NO	D08029390G-01
						ISSUE DATE	05.28.2008
						EDITION	0
						REVISION DATE	
						E.SPEC	EN80030.B3198G
建準電機工業股份有限公司 SUNONWEALTH ELECTRIC MACHINE INDUSTRY CO., LTD. No. 30, Lane 296, Sinya Rd., Cianjhen District TEL:886-7-8135888 KAOHSIUNG, TAIWAN, R. O. C. FAX:886-7-8230505/8230606/8230607 URL:http://www.sunon.com E-mail: sunon@email.sunon.com							



SUNON

DC BRUSHLESS FAN
MODEL : PSD1208PTBX-A
P/N : (2).U.B3198.F.GN

CHARACTERISTICS

- 1. Motor Design** : DC brushless 4 pole motor design.
- 2. Insulation Resistance** : More than 10M ohm between internal stator and lead wire(+) measured at DC 500V.
- 3. Dielectric Strength** : Applied AC 500V for one minute or AC 600V for 2 seconds between housing and lead wire(+)
- 4. Noise Level** : Measured in a semi-anechoic chamber with background noise level below 15 dB(A). The fan is running in free air with the microphone at a distance of one meter from the fan intake.
- 5. Input Power, Current & Speed** : Measured after continuous 10 minute operation at rated voltage in clean air, and at ambient temperature of 25 degrees C.
- 6. Tolerance** : $\pm 15\%$ on rated power and current.
- 7. Air Performance** : Measured by a double chamber. The values are recorded when the fan speed has stabilized at rated voltage.

建準電機工業股份有限公司
 SUNONWEALTH ELECTRIC
 MACHINE INDUSTRY CO., LTD

SPEC.NO	D08029390G-01	REVISION DATE	
ISSUE DATE	05. 28. 2008	EDITION	0
PAGE	2 OF 13		



SUNON

SPECIFICATIONS

MODEL : PSD1208PTBX-A

P/N : (2).U.B3198.F.GN

1-1. Rated Voltage	: 12 VDC
1-2. Operating Voltage Range	: 10.2~13.8 VDC
1-3. Starting Voltage	: 10.2 VDC (25 deg. C POWER ON/OFF)
1-4. Rated Speed	: 6200 RPM \pm 10%
1-5. Air Delivery	: 70.4 CFM
1-6. Static Pressure	: 0.57 Inch-H ₂ O
1-7. Rated Current	: 490 mA
1-8. Rated Power	: 5.9 WATTS
1-9. Noise Level	: 51.3 dB(A)
1-10. Direction of Rotation	: Counter-clockwise viewed from front of fan blade
1-11. Operating Temperature	: -10 to +70 deg. C
1-12. Storage Temperature	: -40 to +70 deg. C
1-13. Bearing System	: Precision ball bearing system
1-14. Weight	: 116 g
1-15. Safety	: UL/CUR/TUV/CE Approvals
1-16. Protection	: <input checked="" type="checkbox"/> Automatic Restart Capability Note: In a situation where the fan is locked by an external force while the electricity is on, an increase in coil temperature will be prevented by temporarily turning off the electrical power to the motor. The fan will automatically restart when the locked rotor condition is released. <input checked="" type="checkbox"/> Polarity Protection
1-17. IP Ratings:IP21	: The IP test of this product is conducted in accordance with IEC standard 60529 (or IEC 34-5)

建準電機工業股份有限公司
SUNONWEALTH ELECTRIC
MACHINE INDUSTRY CO., LTD

SPEC.NO	D08029390G-01	REVISION DATE	
ISSUE DATE	05. 28. 2008	EDITION	0
PAGE	3 OF 13		

