

## **INVESTIGAÇÃO NUMÉRICA E EXPERIMENTAL SOBRE O USO DE MATERIAL DE MUDANÇA DE FASE INJETADO NA BASE DE DISSIPADORES DE CALOR ALETADOS**

**João Pereira Brito Filho, jbrito@ufpe.br<sup>1</sup>**  
**Jorge Recarte Henríquez, rjorge@ufpe.br<sup>2</sup>**  
**Tiago Piccolo Loretto, tiagopiccolo@hotmail.com<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Acadêmico Hélio Ramos, SN CEP 50.740-530 - Recife - PE – Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Acadêmico Hélio Ramos, SN CEP 50.740-530 - Recife - PE – Brasil

**Resumo:** *Os microprocessadores mais modernos geram durante a operação uma elevada quantidade de calor. Isso se deve ao elevadíssimo nível de integração desses componentes eletrônicos e a velocidade de processamento. A viabilidade desses dispositivos depende fortemente da maneira como o calor gerado é dissipado para o ambiente interno do gabinete do microcomputador. Caso o sistema de dissipação de calor não seja eficiente, a temperatura do microprocessador atingirá níveis que prejudicarão o seu funcionamento, inclusive podendo danificá-lo.*

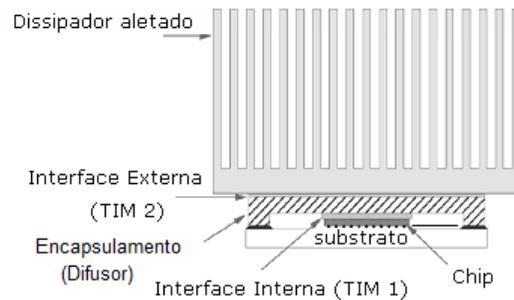
*Com o objetivo de investigar esse efeito está sendo desenvolvido um estudo experimental e numérico no Laboratório de Análise Térmica de Equipamentos e Componentes Eletroeletrônicos (LATECE) da UFPE. Este artigo apresenta os primeiros resultados obtidos neste trabalho onde é investigado o uso de material de mudança de fase (PCM) como elemento de controle da temperatura de um microprocessador comercial. Os resultados obtidos mostram que ambas estratégias de análise se mostraram adequadas para estudos comparativos do uso da técnica de dissipação térmica com PCM.*

**Palavras-Chave:** *Dissipador de calor, PCM, Microprocessador*

### **1. INTRODUÇÃO**

Um processador moderno contém várias centenas de milhões de transistores. Quanto mais transistores são integrados em um mesmo *chip*, tanto maior é o calor gerado por ele e conseqüentemente mais eficiente deve ser o mecanismo de dissipação de calor. Uma análise da literatura especializada revela que os esforços atuais dos fabricantes de processadores, projetistas de sistemas de resfriamento de componentes eletrônicos e programadores, concentram-se em três frentes principais: (i) redução do calor gerado internamente através do emprego de tecnologias de fabricação que possibilitem a redução da tensão de alimentação do circuito integrado e da resistência à passagem da corrente elétrica por meio da redução das dimensões físicas do substrato semicondutor; (ii) otimização do sistema de resfriamento baseado em trocadores de calor que utilizam ar, água e nitrogênio líquido como fluidos refrigerantes e (iii) monitoramento e controle da temperatura do processador através do uso de programas desenvolvidos especificamente para esse fim e que atuam no clock do processador e nas tensões da fonte de alimentação.

A utilização de dissipadores aletados sobre o encapsulamento do processador (Fig.(1)), e a forma mais usual de resfriamento atualmente utilizada. A energia térmica gerada pelo *chip* no interior do encapsulamento é transferida majoritariamente por condução através do dissipador aletado e deste por convecção e radiação para o ar que escoou forçadamente através das aletas. Uma parcela menor desta energia é transferida por condução através do soquete e da placa-mãe, sendo posteriormente transferida para o ambiente interno do gabinete (Du e Bilgen, 1990 e Azar et al., 1994). Tanto o soquete, quanto a placa-mãe são fabricados de materiais de baixíssimas condutividades térmicas (0,2 e 0,4 W/m K, respectivamente). A resistência térmica do *cooler* (conjunto dissipador e ventoinha) varia desde 0,22 K/W a 0,96 K/W (*coolers* ruins superam esse valor). Dissipadores de calor de alto desempenho são geralmente de cobre. Ventoinhas de alto desempenho apresentam rotações da ordem 10<sup>4</sup> rpm. Feng e Xu (2004) apresentaram um estudo sobre a resistência térmica de dissipadores aletados para aplicações de resfriamento de componentes eletrônicos. Os autores apresentam um modelo matemático do problema e uma solução analítica usando series de Fourier.



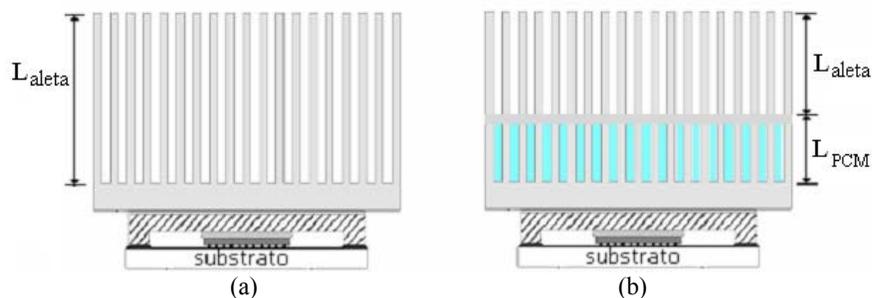
**Figura 1. Dissipador de calor de um processador.**

Técnicas mais sofisticadas para o resfriamento destes dispositivos também têm sido estudadas e apresentadas na literatura. O uso de tubos de calor em miniatura é uma destas técnicas que tem sido usada para controle térmico desses componentes e que se mostra bastante promissora para estes fins, principalmente devido a que opera sem partes móveis, de forma silenciosa, com confiabilidade e flexibilidade (Groll et al., 1998, Toth et al., 1998 e Pastukhov et al., 2003). Identicamente, e com vantagens similares, as células Peltier estão sendo usadas para resfriamento de microprocessadores (Chein e Huang, 2004). Material de mudança de fase encapsulado representa uma alternativa que desperta interesse para uso como uma técnica passiva de controle térmico (Marongiu e Clarksean, 1998). Neste sentido, Tan e Tso (2004) realizaram um estudo experimental explorando esta técnica, simulando a dissipação de calor de circuitos integrados através da disposição de fontes discretas sobre uma unidade de armazenamento térmico por calor latente. Chiu et al. (2000) exploraram o uso de material de mudança de fase como pasta de contato térmico entre processadores Pentium® e o dissipador, melhorando o desempenho térmico no processo de dissipação de calor. Esta técnica aproveita essencialmente a capacidade de armazenamento de energia térmica do material de mudança de fase quando este passa do estado sólido para o estado líquido durante o processo de mudança de fase que ocorre por causa da absorção de calor da fonte quente. Uma característica desse processo, que pode resultar numa grande vantagem para o resfriamento e controle de temperatura em componentes eletrônicos, é que este ocorre a uma temperatura praticamente constante dada a natureza do fenômeno de mudança de fase. Assim, pela escolha adequada do material de mudança de fase quanto as suas propriedades, principalmente no que diz respeito à temperatura de mudança de fase e a seu calor latente, podem ser dimensionados sistemas de dissipação adequados às condições operacionais dos dispositivos eletrônicos.

## 2. ANÁLISE NUMÉRICA

Como já descrito, o método convencional de resfriamento de microprocessadores consiste em se sobrepor ao dispositivo uma superfície de metal que tem a função de homogeneizar a distribuição de temperatura e acoplado a esta superfície um conjunto de aletas que podem apresentar diversos formatos (Fig.(1)). O sentido do fluxo de calor dá-se então do processador para a placa homogeneizadora para depois ser conduzido até as aletas onde será removido pelo fluido em contato direto com elas.

O modelo matemático foi construído aplicando-se um balanço de energia aos elementos que conformam o sistema processador/dissipador e acoplado o conjunto de equações diferenciais resultantes através de condições de contorno nas interfaces de contato entre estes elementos. Assim, foram deduzidas equações para o *chip* (denominado aqui de núcleo), para o encapsulamento, para o elemento homogeneizador e para as aletas. No caso do dissipador com PCM, também foram deduzidas equações para esta região. As equações foram discretizadas no domínio físico através do método de diferenças finitas e resolvidas numericamente através de um código computacional desenvolvido na plataforma Matlab. Com o modelo foi realizado um estudo paramétrico considerando um dissipador aletado convencional e um dissipador aletado com PCM como mostrado na Fig.(2). As equações resultantes do modelo e a sua forma discretizada podem ser encontradas em Henriquez et al. (2009)



**Figura 2. (a) Dissipador convencional e (b) Dissipador com PCM.**

### 3. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Primeiramente um modelo de microprocessador é analisado e um protótipo seguindo as referências de temperaturas adotadas foi implementado. Em seguida, apresenta-se o sistema que foi utilizado para aquisição dos dados. A metodologia da realização das medições é detalhada e em seguida os resultados obtidos são apresentados e discutidos.

#### 3.1. Simulação do microprocessador

A potência que precisa ser dissipada de um microprocessador típico é da ordem de 70W. A temperatura de trabalho considerada satisfatória para o mesmo microprocessador se situa na faixa de 50°C a 60°C. Utilizando os dados acima como referência, foi desenvolvido um dispositivo para simular experimentalmente o microprocessador chamado nesse estudo de microprocessador-simulado. O dispositivo foi fabricado a partir de uma placa metálica de alumínio medindo 4cm x 4cm x 0,6cm (largura, comprimento e altura) dotada de 13 pequenas aletas medindo 4mm de altura e espaçadas entre si de 2mm. Entre as aletas foi disposto em uma configuração de zigue-zague um fio de níquel-cromo de 40cm de comprimento e bitola 38AWG. Esse fio foi isolado eletricamente do alumínio por um material cerâmico. A resistência elétrica medida deste arranjo foi de 56Ω. A Fig.(3) apresenta o esquema elétrico usado para gerar o aquecimento.

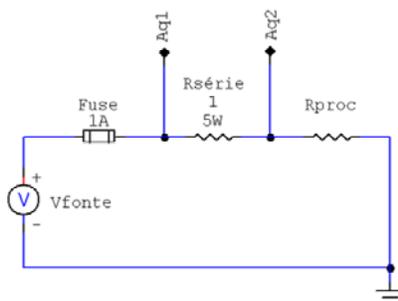


Figura 3. Esquema elétrico da montagem do protótipo do microprocessador.

Uma fonte de tensão DC regulável alimenta a resistência de carga microprocessador-simulado  $R_{proc}$  que está em série com um fusível de proteção de 1A e com um resistor de potência de 1Ω (5W) para a medição da corrente no circuito. Os dois terminais adjacentes (Aq1 e Aq2) foram utilizados para a ligação com o sistema de aquisição de dados. A ventoinha fixada no dissipador aletado que recebe o PCM é ligada à saída fixa de 12V da própria fonte de alimentação.

Para acomodar o protótipo do processador, foi construída uma caixa cúbica de madeira com 30cm de lado (medida externa) e 1cm de espessura como mostrada na Fig.(4).

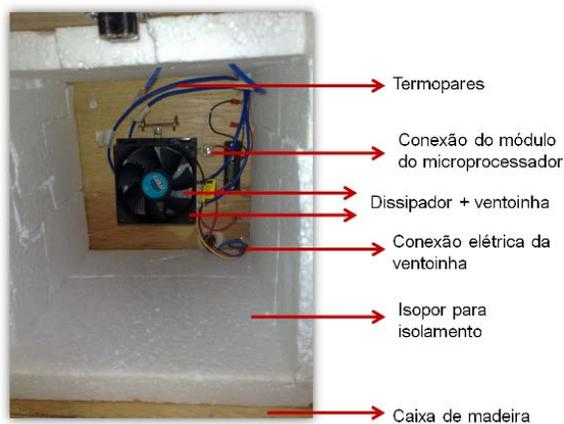


Figura 4. Caixa de madeira isolada com o microprocessador-simulado, conexões elétricas e termopares.

Para se melhorar ainda mais o isolamento térmico com o ambiente externo, mantido a uma temperatura constante com o uso de um aparelho de ar-condicionado, as paredes internas da caixa foram isoladas termicamente por placas de 2cm de isopor. Na parte posterior da caixa foi disposto um painel de ligações elétricas para alimentação da ventoinha e do protótipo microprocessador-simulado em si, além de um encaixe para fusível de proteção elétrica e chave liga-desliga. Foi criada ainda dentro da caixa uma estrutura para se fixar o conjunto ventoinha, microprocessador-simulado e dissipador de calor aletado. A Fig.(5) mostra a bancada de testes e o arranjo experimental completo.

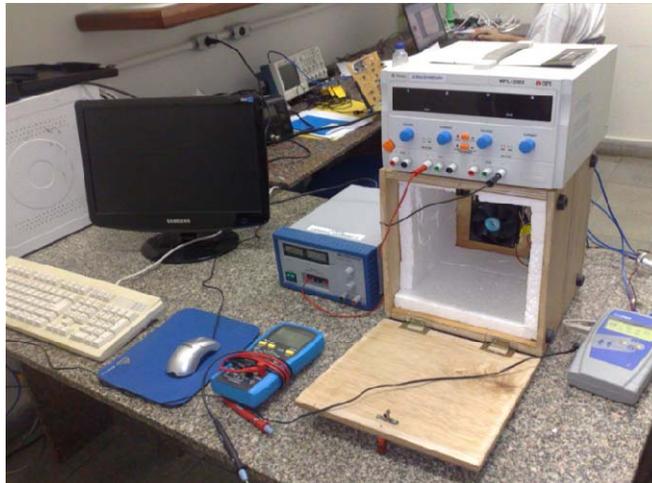


Figura 5. Bancada de testes e o arranjo experimental.

### 3.2. Sistema de aquisição de dados

Para se registrar as temperaturas nas quatro laterais da base do dissipador e na interface entre o dissipador e o microprocessador –simulado, além do interior e exterior da caixa, foram utilizados termopares do tipo T. Os termopares foram fixados por meio de parafusos nas laterais da base do dissipador em ranhuras. Os termopares tiveram seus terminais conectados ao sistema de aquisição de dados DaqPRO 5300 de 8 canais da Fourier Systems com compensação de junção fria interna. Esse sistema de aquisição se comunica diretamente com um microcomputador via ligação USB e a medição é visualizada em tempo real graficamente na tela do computador.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Resultados numéricos

Inicialmente foram realizados alguns testes numéricos envolvendo a configuração apresentada na Fig.(2) para um dissipador aletado com e sem PCM. As propriedades termofísicas do sistema adotadas para as simulações são apresentadas na Tab. (1). O material do núcleo do processador foi adotado como sendo de silício, o encapsulamento/difusor de cobre e o dissipador aletado de alumínio. O PCM utilizado é acetato de sódio com grafite e foram assumidas as mesmas propriedades termofísicas para as fases sólida e líquida. A temperatura ambiente em torno do dissipador foi considerada como mantida constante e igual a 30°C. Foi também considerado que o processador dissipa uma potência térmica de projeto de 125 W e que a temperatura limite, medida no centro geométrico da superfície superior do encapsulamento ( $T_C$ ) era de 68°C.

Tabela 1. Propriedades termofísicas utilizadas nas simulações.

Material	$\rho$ ( $kg/m^3$ )		$k$ ( $W/mK$ )		$C_p$ ( $J/kgK$ )			
Alumínio	2702		236		896			
Silício	2330		168		703			
Cobre	8933		399		383			
	$\rho_{liq}$	$\rho_{sol}$	$k_{liq}$	$k_{sol}$	$C_{p_{liq}}$	$C_{p_{sol}}$	$\lambda$ ( $J/kg$ )	$T_{pcm}$ ( $^{\circ}C$ )
PCM	1350	1350	4,0	0,240	2000	2000	$1,5 \times 10^5$	58

As aletas do dissipador são planas, de altura igual a 30mm, espessura de 1 mm e espaçamento entre aletas de 2mm. No caso do dissipador com PCM, uma fração da altura das aletas forma uma cavidade preenchida com material de mudança de fase e o restante forma as aletas do dissipador como mostra a Fig.(2).

O efeito do uso de material de mudança de fase sobre a temperatura  $T_C$  do dissipador aletado é mostrado na Fig.(6). Nestas simulações foi considerado que uma região de 14mm da aletas (Fig.(2)) foi preenchida com material de mudança de fase e a região aletada externa ao PCM foi mantida com um comprimento de 30mm. Pode-se observar na Fig.(6) que o dissipador com PCM tem um comportamento pior que aquele que não utiliza o material de mudança de fase, não apresentando vantagens sob condições normais de operação. Entretanto, a utilização do PCM se mostra

vantajosa sob condições operacionais mais agressivas por curtos espaços de tempo. Para evidenciar isto, foi realizada uma simulação considerando que durante o processo de resfriamento do processador ocorre um aumento da temperatura ambiente de 30°C para 70°C, mantendo esta nova condição durante 30s e voltando posteriormente às condições ambientais iniciais. Os resultados são mostrados na Fig (7). Pode-se observar que o dissipador convencional ultrapassa as condições limites dado pela temperatura crítica  $T_C$  durante o intervalo do aumento da temperatura ambiente. Por sua vez, o dissipador com PCM consegue manter a temperatura  $T_C$  dentro das especificações exigidas pelo projeto do dissipador e este comportamento se deve ao fato do PCM armazenar a energia térmica excedente durante o período de maior temperatura ambiente, atuando como um amortecedor térmico durante esse período. Isso fica claro observando o histórico de temperatura no PCM (próximo da base, na altura média da cavidade e no topo da mesma) cuja temperatura permanece constante durante a fusão do material. Quando a temperatura externa cai novamente para os níveis normais de operação (aqui admitida como sendo 30°C) o PCM volta a solidificar e posteriormente a sua temperatura se reduz aos níveis anteriores ao aumento da temperatura ambiente. A capacidade de amortecimento do PCM depende da quantidade de PCM utilizada e de suas propriedades termofísicas.

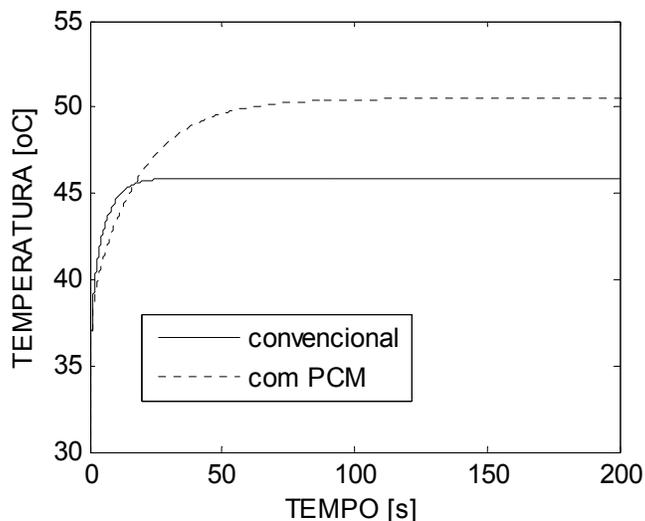


Figura 6. Efeito do uso de PCM sobre a temperatura  $T_C$ .

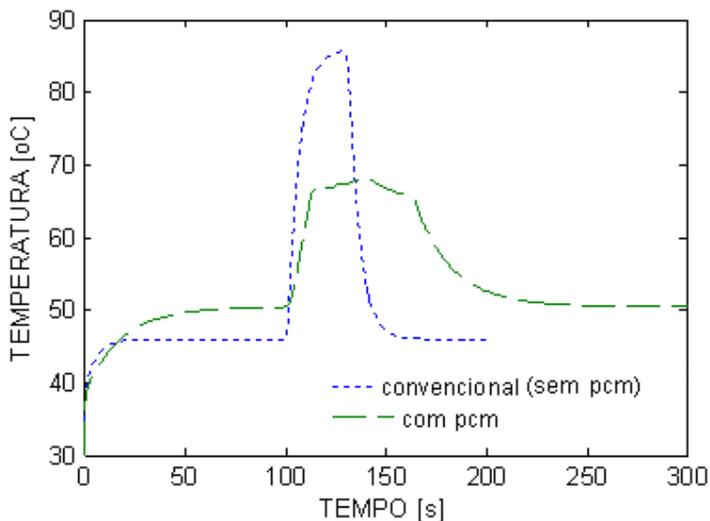


Figura 7. Temperatura  $T_C$  para um dissipador convencional (sem PCM) e para um dissipador com PCM.

#### 4.2 Resultados experimentais preliminares

Na análise experimental foi considerado uma configuração diferente daquela analisada na simulação numérica. O novo arranjo consiste num dissipador geometricamente semelhante ao utilizado nas simulações numéricas em cuja base foi feito um conjunto de seis cavidades cilíndricas que foram preenchidas com PCM como mostra a Fig.(8). O material

de mudança de fase utilizado nesta análise foi um polietilenoglicol com temperatura de mudança de fase em torno de 50°C.

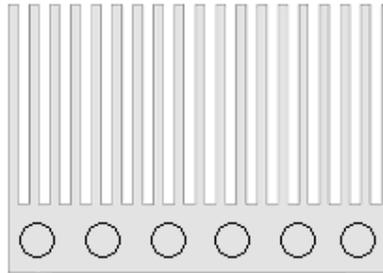


Figura 8. Dissipador aletado com cavidades na base para acomodar o PCM.

Pelas características e tamanho da resistência elétrica utilizada para simular experimentalmente o processador a potência térmica dissipada foi de 16W conseguida fixando os parâmetros da fonte de alimentação em  $V_{\text{FONTE}} = 33,8\text{V}$  (mantida constante em todo experimento) e  $I_{\text{FONTE}} = 0,53\text{A}$ .

A coleta de dados se iniciou com a ventoinha desligada e aos 95min ela foi acionada, continuando a coleta por mais 40min. A taxa de amostragem escolhida para a aquisição foi de 0,1Hz e a tensão de alimentação da unidade térmica foi mantida constante. A Fig.(9) apresenta a evolução da temperatura medida em função do tempo.

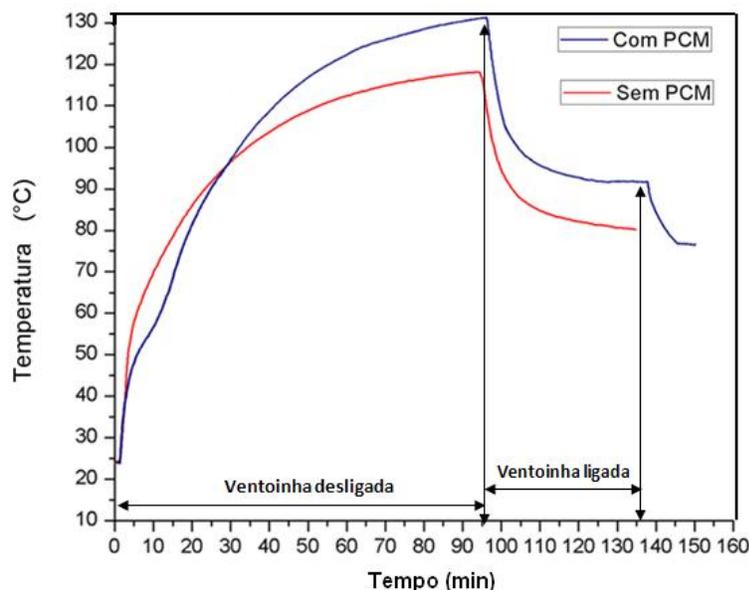


Figura 9. Gráficos da temperatura de interface para o dissipador com e sem PCM.

Percebe-se nessa figura que a temperatura ao final dos primeiros 95min (ventoinha desligada) a temperatura da interface tendeu a se estabilizar acima de 130°C. No caso sem PCM a temperatura foi de 120°C, ou seja, o PCM fez com que a temperatura estável de ventoinha desligada fosse 8,33% maior do que no caso convencional. Aos 135 minutos, já com a ventoinha ligada, a temperatura tendeu a se estabilizar em 90°C, ao passo que no caso sem PCM, a temperatura estabilizada foi de 80°C, implicando em um aumento de 12,6% da temperatura com a utilização do PCM.

Outro fato importante que pode ser visualizado é a inflexão da curva de distribuição de temperatura no caso com PCM entre 50°C e 70°C devido ao calor latente envolvido para fazer com que o polietilenoglicol mudasse de estado, o que é perfeitamente compatível com o que se esperava inicialmente. As temperaturas das laterais do dissipador seguiram um padrão de aproximadamente 10°C abaixo da temperatura de interface térmica em ambos os casos.

Embora a potência dissipada pelo protótipo microprocessador-simulado seja baixa (16W), comparada com a potência utilizada na simulação numérica (125W), os níveis de temperatura são bastante elevados. Esse comportamento está relacionado ao fato de que o protótipo microprocessador-simulado está inserido num ambiente fechado e isolado termicamente sem controle da temperatura interna, provocando um aumento da temperatura interna decorrente da dissipação de calor pelo protótipo. A Fig.(10) mostra as curvas das temperaturas interna e externa da caixa em função do tempo.

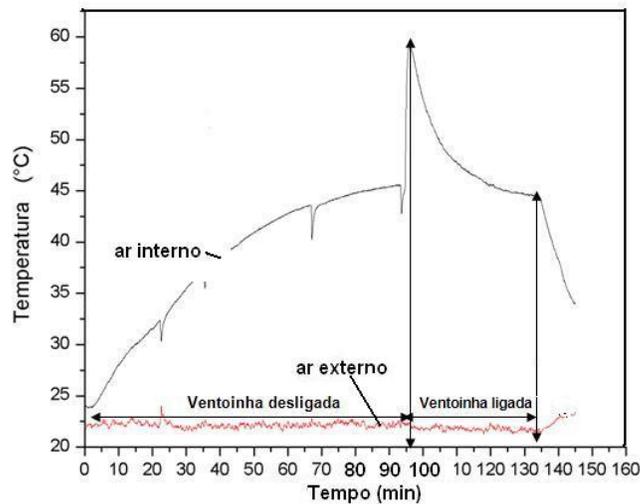


Figura 10. Temperatura do ar interno e externo da caixa.

A temperatura ambiente ficou fixa em aproximadamente 22,5°C (a leve elevação da temperatura a partir de 140 minutos se deveu ao desligamento do ar-condicionado do laboratório). Os picos na temperatura interna foram devido à abertura da caixa para verificação vazamento do PCM. A temperatura do ar no interior da caixa foi bruscamente aumentada logo após a ventoinha ter sido ligada, reforçando o fato de que a ventoinha, quando ligada, jogar a massa de ar quente que saía do dissipador para o interior da caixa em cima do termopar de captura da temperatura da caixa. A temperatura máxima dentro da caixa foi de 58,8°C.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um protótipo de microprocessador baseado em circuito resistivo que tem a quantidade de potência controlável para fins de simulação do comportamento dos dissipadores convencionais. Uma solução de controle térmico baseada em material de mudança de fase (PCM) foi proposta e implementada. A partir de experimentos diversos, criou-se uma base comparativa entre a técnica tradicional e a nova técnica proposta.

Identicamente, e como complemento ao trabalho experimental, foi desenvolvido um modelo matemático para estudo da dissipação térmica de um processador considerando um dissipador aletado convencional e um dissipador aletado com PCM.

Ambas as ferramentas, embora ainda na fase de desenvolvimento, se mostraram adequadas para estudos comparativos do uso da técnica de dissipação com mudança de fase, assim como também para estudos paramétricos de sistemas de dissipação térmica aletados.

Dos resultados numéricos e experimentais ainda preliminares, a utilização de PCM se justifica apenas como meio de proteção térmica ou amortecedor térmico sob condições operacionais mais agressivas durante um curto período de tempo. Quando é utilizada uma camada mais fina de PCM, o comportamento do sistema é muito semelhante ao sistema convencional não trazendo vantagem competitiva, enquanto que quando for utilizada uma camada mais espessa de PCM estamos prolongando condições de temperatura mais elevada por conta do armazenamento de energia térmica no PCM. De acordo com isso podem-se obter condições otimizadas e o modelo numérico desenvolvido pode ser uma ferramenta muito útil.

A continuação deste trabalho é a validação e ajuste com dados experimentais do modelo numérico e a realização de estudos paramétricos extensos tanto com o modelo experimental quanto com o modelo numérico.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte financeiro concedido por meio do projeto CNPq/Proc. 480390/2007-0.

## 7. REFERÊNCIAS

Azar, K., Pan, S.S., Parry, J., and Rosten, H., 1994, "Effect of circuit board parameters on thermal performance of electronic components in natural convection cooling", *Proc. 10<sup>th</sup> Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium*, *IEEE Semi-Therm Symposium*, pp.32-39.

- Chiu, C.-P., Solbrekken, G.L., LeBonheur, V., and Xu, Y.E., 2000, "Application of Phase-Change Materials in Pentium® III and Pentium® III Xeon™ Processor Cartridges", International Symposium on Advanced Packaging Materials, pp.265 – 270.
- Du Z., and Bilgen, E., 1990, "Effects of heat intensity, size, and position of the components on temperature distribution within an electronic PCB enclosure", *Journal of Electronic Packaging*, vol.112, no.3, pp.249-254.
- Feng, T.Q., and Xu, J.L., 2004, "An analytical solution of thermal resistance of cubic heat spreaders for electronic cooling", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp. 323-337.
- Groll, M., Schneider, M., Sartre, V., Zaghoudi, M.C., and Lalleman, M., 1998, "Thermal control of electronic equipment by heat pipes", *Rev. Gen. Therm.*, Vol. 37, pp. 323-352.
- Henríquez, J.R., Brito Filho, J.P., and Dutra, J.C.C., 2009, "Estudo Paramétrico do Uso de PCM para Controle Térmico num Microprocessador Comercial", 9º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cap.6, Las Palmas de Gran Canaria, España, pp. 140-147.
- Marongiu, M.J., and Clarksean, R., 1998, "Thermal management of outdoor enclosures using phase change materials", *Electronics Cooling*, 4(1), em: www.electronics-cooling.com.
- Pastukhov, V.G., Maidanik, Y.F., Vershinin, C.V., and Korukov, M.A., 2003, "Miniature loop heat pipes for electronics cooling", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp.1125–1135.
- Chein, R., and Huang, G., 2004, "Thermoelectric cooler application in electronic cooling", *Applied Thermal Engineering* 24, pp. 2207–2217.
- Tan, F.L., and Tso, C.P., 2004, "Cooling of mobile electronic devices using phase change materials", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp. 159–169.
- Toth, J., DeHoff, R., and Grubb, K., 1998, "Heat pipes: the silent way to manage desktop thermal problems", *Proceedings of the I-THERM Conference*, Seattle, USA.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# NUMERICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE USE OF PHASE CHANGE MATERIAL INJECTED INTO THE BASE OF FINNED HEAT SINKS

João Pereira Brito Filho, [jbrito@ufpe.br](mailto:jbrito@ufpe.br)<sup>1</sup>

Jorge Recarte Henríquez, [rjorge@ufpe.br](mailto:rjorge@ufpe.br)<sup>2</sup>

Tiago Piccolo Loretto, [tiagopiccolo@hotmail.com](mailto:tiagopiccolo@hotmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departament of Electronic and Systems, Federal University of Pernambuco, Av. Acadêmico Hélio Ramos, SN CEP 50.740-530 - Recife - PE – Brazil

<sup>2</sup>Departament of Mechanical Engineering, Federal University of Pernambuco, Av. Acadêmico Hélio Ramos, SN CEP 50.740-530 - Recife - PE – Brazil

**Abstract:** The most modern microprocessors during operation generates a high amount of heat. This is due to the very high level of integration of electronic components and processing speed. The feasibility of such devices depends heavily on how the heat generated is dissipated into the internal environment of the microcomputer enclosure. If the system of heat dissipation is not efficient, the temperature of the microprocessor will reach levels that impair their functioning, and may even damage it. Aiming to investigate this effect is being developed a numerical and experimental study in the Thermal analysis of equipments and electronics components Laboratory (LATECE in Portuguese). This article presents the preliminary results obtained in this work, which investigates the use of phase change material (PCM) for temperature control of a commercial microprocessor. The results show that both analysis strategies were appropriate for comparative studies of the thermal dissipation technique with PCM.

**Keywords:** Heat sink, PCM, Microprocessor

## RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.