



UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS TERMELÉTRICOS PARA O RESFRIAMENTO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS ALOJADOS EM GABINETES

José Antonio Velásquez

PUC-PR, Departamento de Engenharia Mecânica

Cx. P. 16210 – 80001-970 – Curitiba, PR, Brasil

***Resumo.** Neste trabalho são descritos os procedimentos que foram utilizados no projeto de uma câmara térmica dotada de resfriadores termelétricos. A câmara foi projetada para proporcionar um microclima apropriado para o funcionamento de equipamentos eletrônicos alojados em um gabinete de uma pequena central telefônica. No trabalho é dada especial atenção à escolha dos dispositivos termelétricos e ao adequado posicionamento desses dispositivos sobre a superfície dos elementos de dissipação de calor, visando atender de forma eficiente as especificações do projeto. O desenvolvimento foi baseado em simulações realizadas utilizando o programa AutoFlow — uma ferramenta de mecânica dos fluidos computacional. Os resultados dessas simulações são apresentados e discutidos.*

***Palavras-chave:** Resfriadores termelétricos, Resfriamento de componentes eletrônicos, Gabinetes de centrais telefônicas.*

1. INTRODUÇÃO

Centrais telefônicas de pequeno e médio porte freqüentemente são montadas em gabinetes cujo volume interno raramente é maior que dois metros cúbicos. Essas centrais destinam-se ao fornecimento de infra-estrutura de telefonia para diversos tipos de usuários. Por exemplo, elas podem ser usadas para atender bairros de grandes cidades ou pequenas cidades ou um conjunto de usuários na região rural. Como resultado desta diversidade de aplicações, as condições climáticas e ambientais nos locais onde esses gabinetes são instalados podem ser as mais variadas. Por este motivo, as normas técnicas utilizadas para homologar esses gabinetes para o mercado internacional, prevêm a possibilidade de operação em amplas faixas de temperatura ambiente (entre -33°C e $+55^{\circ}\text{C}$, no caso da norma ETSI 300019, classe 4.1). Além disso, dada a diversidade de condições ambientais dos locais de instalação, esses gabinetes estão sujeitos à infiltração de insetos, de poeira e de água, o que obriga à utilização de construções herméticas. Isto, por sua vez, dificulta a remoção do calor gerado pelos equipamentos eletrônicos alojados em seu interior. Esta geração de calor, no caso de centrais telefônicas dimensionadas para atender 600 usuários, pode ocorrer com taxas da ordem de 1000 watts.

A partir destas considerações e levando em conta o fato que a confiabilidade de operação dos equipamentos eletrônicos está diretamente relacionada aos níveis de temperatura em que esses equipamentos trabalham (Kraus & Bar Cohen, 1983), resulta evidente a necessidade de se dar especial atenção aos aspectos térmicos do projeto de gabinetes de centrais telefônicas. Esta atenção deve ser ainda maior nos casos quando estes gabinetes incluem equipamentos como os que utilizam fibra ótica, cuja sensibilidade às temperaturas altas é maior.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Definição do problema

Neste trabalho estudou-se uma forma alternativa de gerar um microclima adequado para o funcionamento de um equipamento extremamente sensível às temperaturas altas, alojado no interior de um gabinete de uma central telefônica. A proposta consiste em confinar o equipamento em uma câmara isolada termicamente do resto do gabinete. A câmara estará dotada de resfriadores termelétricos que irão manter a temperatura no seu interior dentro de níveis aceitáveis para o bom funcionamento do equipamento.

As condições mais relevantes impostas diante deste projeto, são apresentadas a seguir:

- Taxa de geração de calor no interior da câmara: 150 W.
- Temperatura ambiente (externa ao gabinete): 45°C;
- Temperatura no gabinete, nas proximidades da câmara: 65°C;
- Dimensões da câmara: altura 750 mm; largura 430 mm; profundidade 485 mm;
- Material para o isolamento térmico das paredes: poliuretano expandido;
- A transferência de calor no dissipador externo deverá ocorrer por convecção natural;
- A temperatura máxima das superfícies externas não deve ser maior de 80°C;
- A tensão de alimentação dos dispositivos termelétricos deve ser de 48 V;
- O perfil a ser utilizado nos dissipadores de calor foi especificado, apresentando as seguintes características: perfil extrudado de duralumínio com aletas trapezoidais, comprimento da aleta: 59 mm; largura da base da aleta: 4,5 mm; largura da ponta da aleta: 1,6 mm; largura da base do perfil aletado: 265 mm.
- Os dispositivos termelétricos a serem utilizados serão da marca Melcor (um dos modelos comerciais fabricados em série).

2.2. Escolha dos dispositivos termelétricos

Dados da literatura reportam que em projetos otimizados envolvendo resfriadores termelétricos, os valores máximos, práticos, do coeficiente de desempenho (COP) desses dispositivos está próximo da unidade (Guyer & Browell, 1989). A partir desta consideração avaliou-se que o elemento mais crítico no projeto da câmara térmica seria o dissipador externo, uma vez que ele deve ser capaz de transferir calor, para fora do gabinete, com uma taxa próxima de 300 W. Aliás, esta transferência de calor deve ocorrer por convecção natural, sendo que o tamanho do dissipador não deve exceder as dimensões da parede traseira da câmara térmica (onde este dissipador será montado).

Para fazer um dimensionamento mais preciso do dissipador de calor externo, foi necessário avaliar se essas condições otimizadas poderiam efetivamente ser alcançadas com as restrições impostas diante deste projeto. Para isto, foi feito um levantamento das características de operação dos resfriadores termelétricos da marca Melcor, utilizando um catálogo eletrônico. A Tabela 1 mostra estas características para os modelos que, satisfazendo as condições do projeto, apresentaram os maiores valores de COP para cada valor de temperatura de placa fria e de placa quente considerado.

Tabela 1. Características dos resfriadores termelétricos Melcor.

Caso	Temp. da placa fria T_c , (°C)	Temp. da placa quente T_h , (°C)	Pot. eléct. fornecida (W)	Calor gerado na câmara, (W)	COP	Modelo de Resfriador termelétrico (Melcor)
01	14	60	347	150	0,43	5xCP2-127-06
02	23	60	286	150	0,52	4xPT8-12-40
03	32	60	136	150	1,09	8xCP2-127-10
04	38	60	99,4	150	1,51	10xPT8-12-40
05	21	65	293	150	0,51	10xPT6-12-40
06	27	65	280	150	0,53	4xCP1,4-127-045L
07	34	65	155	150	0,97	7xCP2-127-10
08	37	65	133	150	1,13	8xCP2-127-10
09	23	70	329	150	0,46	5xCP2-127-06
10	26	70	286	150	0,52	10xPT6-12-40
11	32	70	272	150	0,55	4xPT8-12-40
12	39	70	151	150	0,99	7xCP2-127-10

Com os dados da Tabela 1, foi feito um cálculo preliminar das dimensões do dissipador externo. Para este cálculo considerou-se que a condutividade térmica do material do dissipador é 164 W/m·K e foi admitido que a temperatura da base do dissipador é igual à temperatura de placa quente do dispositivo termelétrico. Além disso, o valor do coeficiente de transferência de calor foi estimado em 10 W/m²·K, por ser este um valor típico para os casos de convecção natural (Guyer & Brownell, 1989). Com esses dados, a eficiência do dissipador foi determinada resultando igual a 0,9 (Bejan, 1993).

Para o cálculo do comprimento do dissipador (L), utilizou-se a seguinte relação:

$$Q' = \eta \cdot h \cdot L \cdot L_i \cdot (T_d - T_a) \quad (1)$$

onde Q' é a taxa de transferência de calor a ser dissipada para o ambiente, η é a eficiência do dissipador, T_d é a temperatura da base do dissipador, T_a é a temperatura ambiente, L_i é o comprimento da interface sólido-fluido na direção transversal do dissipador (2,56 m, para o perfil adotado) e h é o coeficiente de convecção.

Está claro que neste cálculo preliminar várias imprecisões foram intencionalmente permitidas. Isto foi feito visando manter uma margem adequada de segurança nos resultados (cujo caráter é, em princípio, qualitativo) e para manter a simplicidade na avaliação. Particularmente, foi considerado que o calor que entra no dissipador está uniformemente distribuído na sua base. Isto, evidentemente, não corresponde às condições reais do problema uma vez que a entrada de calor ao dissipador se concentra nas regiões onde estão montadas as placas quentes dos dispositivos termelétricos. Obviamente, se as condições reais de operação fossem levadas em conta o comprimento do dissipador resultaria maior que o estimado. A Tabela 2 mostra os valores do comprimento do dissipador externo, obtidos através deste cálculo.

Observa-se nesta tabela que os menores comprimentos de dissipador correspondem aos casos 12, 7 e 8, que utilizam o modelo de resfriador termelétrico CP2-127-10 (nos casos 12 e 7 são sete unidades conectadas em série, e no caso 8 são 8 unidades conectadas em série). Nesses três casos o COP se encontra entre os limites 0,97 e 1,13 e a transferência de calor através do dissipador externo ocorre com taxas entre 283 e 305 W. Considerando que a

Tabela 2. Estimativa do comprimento do dissipador externo.

Caso	Comprimento, m	Caso	Comprimento, m
01	1,438	07	0,662
02	1,262	08	0,614
03	0,823	09	0,832
04	0,722	10	0,757
05	0,961	11	0,733
06	0,933	12	0,523

configuração de sete resfriadores conectados em série apresenta bom desempenho e permite reduzir os custos de produção da câmara (em relação à configuração com oito unidades), ela foi escolhida para este projeto.

2.3. Posicionamento dos dispositivos termelétricos

Uma vez feita a escolha da configuração de resfriadores termelétricos a ser utilizada (modelo, número de unidades e tipo de conexão), foi realizado um estudo para determinar um posicionamento adequado desses resfriadores sobre a base do dissipador.

Como pode ser observado pelos dados reportados na Tabela 1, o valor do COP resulta maior quanto menor for a diferença de temperaturas entre a placa quente e a placa fria dos dispositivos termelétricos. A partir desta consideração e levando em conta os resultados obtidos na avaliação preliminar do comprimento de dissipador, concluiu-se que seria conveniente utilizar o maior comprimento de dissipador possível para este projeto: 0,75 m,

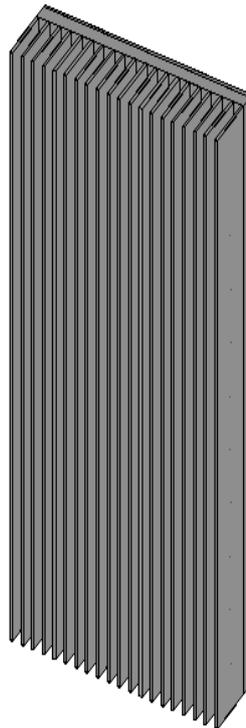


Figura 1. Modelo geométrico do dissipador de calor.

que é a altura da parede posterior da câmara. Com esta escolha, espera-se diminuir a temperatura de placa quente e, conseqüentemente, aumentar os valores de COP.

Buscando fazer um melhor aproveitamento da área disponível para a dissipação do calor e para reduzir a temperatura de placa quente dos resfriadores termelétricos, o critério utilizado para definir o posicionamento dos resfriadores foi o de obter maior uniformidade na distribuição de temperaturas na base do dissipador. Esta distribuição de temperaturas foi determinada utilizando-se o programa *AutoFlow* para resolver o problema de dissipação de calor para o ambiente externo, por convecção natural. No cálculo foi utilizado o modelo geométrico mostrado na Fig. 1, e foram especificadas a taxa de fornecimento de calor ao dissipador através das regiões onde os dispositivos termelétricos são montados (valor total de 305 W) e a temperatura externa (45°C). O posicionamento dos resfriadores termelétricos foi sendo alterado em sucessivas simulações, até se conseguir uma distribuição de temperaturas mais uniforme na base. A Fig. 2 mostra os resfriadores e a distribuição de temperaturas para duas situações analisadas. Dentre os casos considerados, o que aparece mostrado no lado direito desta figura foi o de maior uniformidade na distribuição de temperaturas, por isso este foi o arranjo adotado para este projeto. Cumpre ressaltar que no caso adotado foi utilizado um modelo de dissipador bipartido, o que facilita a montagem e diminui a possibilidade de empenamento.

Os resultados das simulações mostraram que com o posicionamento adotado para este projeto (lado direito da Fig. 2), a temperatura de placa quente dos resfriadores termelétricos resulta entre 65 e 66°C. De acordo com os dados de catálogo do dispositivo termelétrico escolhido, neste caso a temperatura de placa fria deve resultar entre 32 e 35°C e o COP apresentará valores entre 0,97 e 0,99.

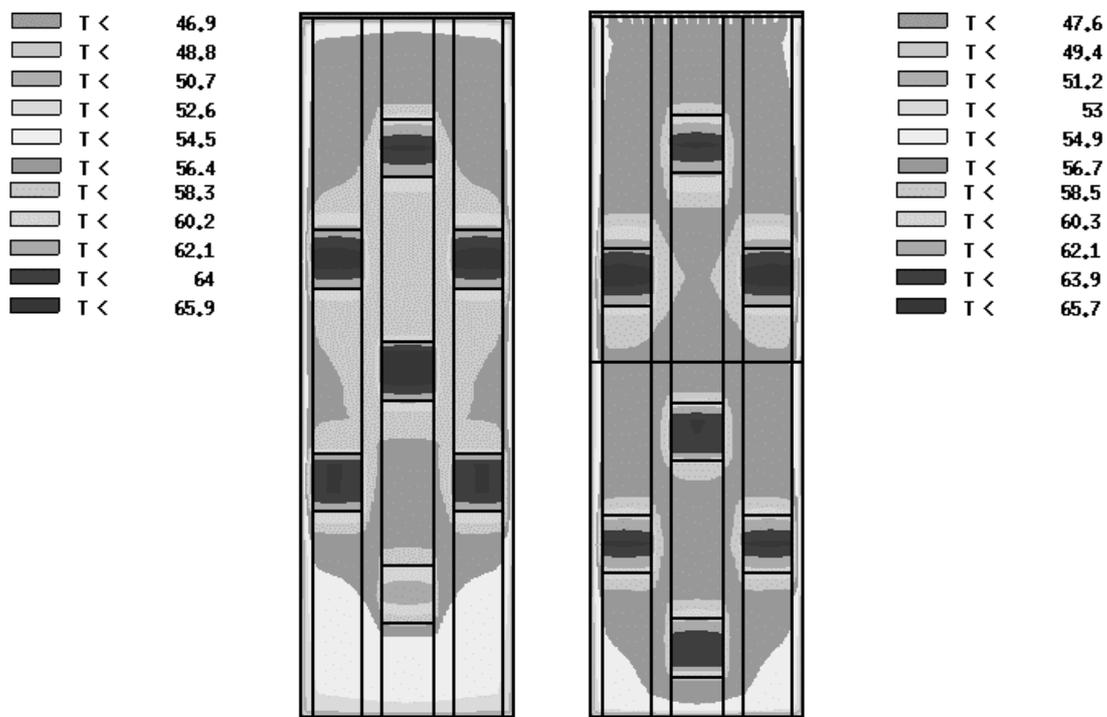


Figura 2. Distribuição de temperaturas na base do dissipador.

2.4. Estudo das condições internas à câmara

Uma vez escolhidos os resfriadores termelétricos e determinadas as características do dissipador externo, o próximo passo foi analisar as condições térmicas e hidro-dinâmicas dentro da câmara. Com esta análise buscou-se verificar se as condições térmicas necessárias para o adequado funcionamento dos equipamentos eletrônicos estão sendo satisfeitas.

Para efetuar esta análise foram consideradas as seguintes condições: temperatura de placa fria dos resfriadores termelétricos: 33°C; temperatura dentro do gabinete: 65°C; temperatura ambiente: 45°C. Como isolante térmico para as paredes da câmara foi utilizado o poliuretano expandido, com as seguintes propriedades termo-físicas: densidade, 30 kg/m³; calor específico, 1,050 kJ/kg·K; condutividade térmica, 0,022 W/m·K (Mills, 1993).

O tamanho do dissipador interno de calor foi definido em função do posicionamento dos resfriadores — como a transferência de calor para este dissipador ocorre por convecção forçada, seu comprimento foi escolhido o mínimo necessário para incluir a área de posicionamento definida para o dissipador externo.

Uma outra decisão a ser tomada nesta etapa do projeto refere-se ao posicionamento preliminar dos equipamentos dentro da câmara térmica. Para isto, os seguintes critérios foram adotados:

- Nas regiões onde ocorre resfriamento do ar, a direção do escoamento deve ser descendente;
- Nas regiões onde a temperatura do ar tende a aumentar, o escoamento deve ser ascendente;
- Após ser resfriado no dissipador interno, o ar deve imediatamente escoar através das regiões onde se encontram os elementos mais sensíveis às temperaturas altas.

Baseando-se nesses critérios foram propostos e analisados os modelos mostrados na Fig. 3 (modelos 1 e 2). Uma desvantagem apresentada por estes modelos é que eles permitem que grande parte do ar que é resfriado no dissipador interno, retorne para os ventiladores sem

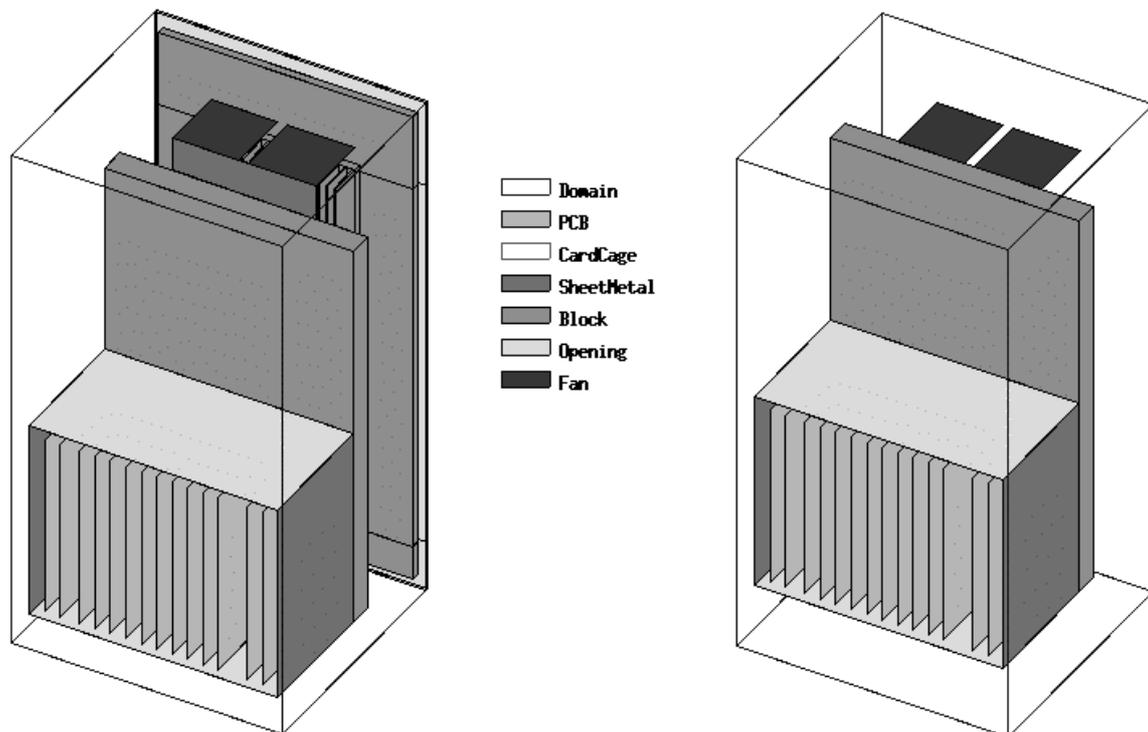


Figura 3. Modelos 1 e 2 para análise das condições na câmara.

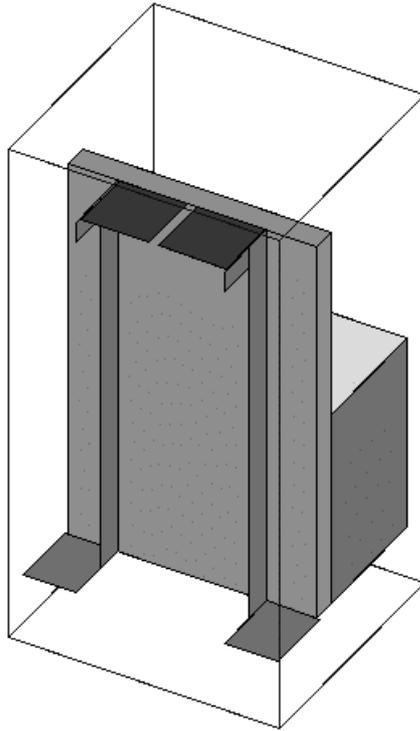


Figura 4. Modelo com anteparos para direcionar o escoamento de ar (modelo 3).

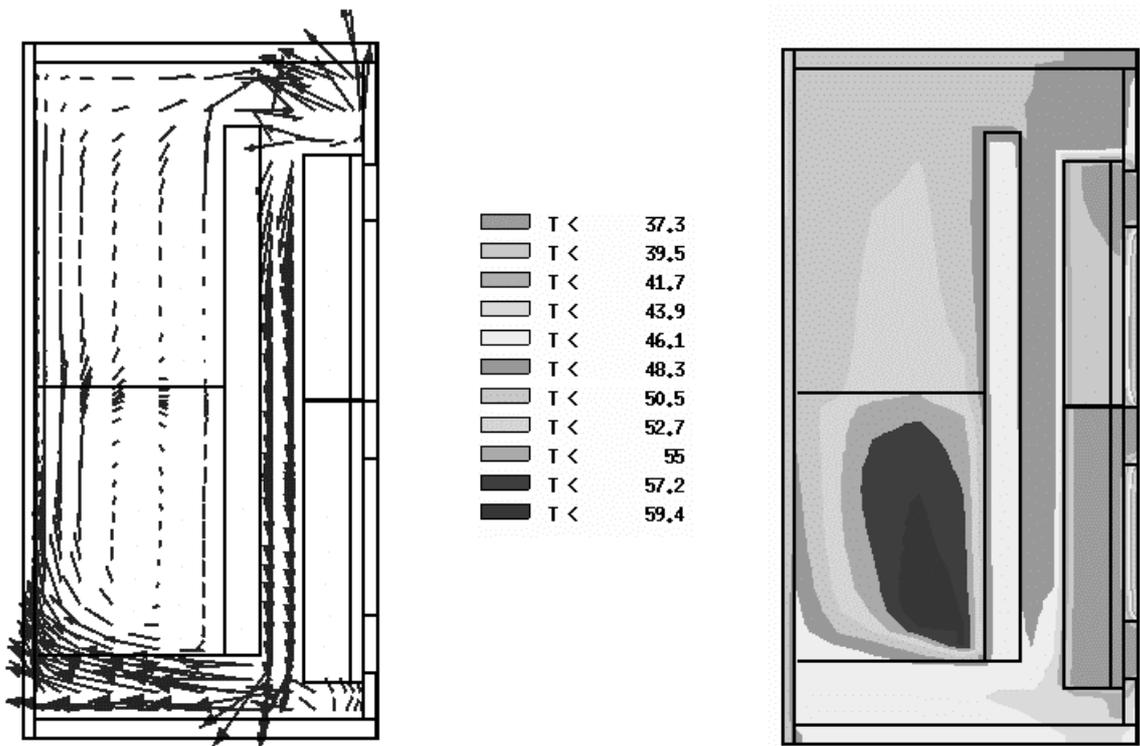


Figura 5. Região de recirculação (modelo 3).

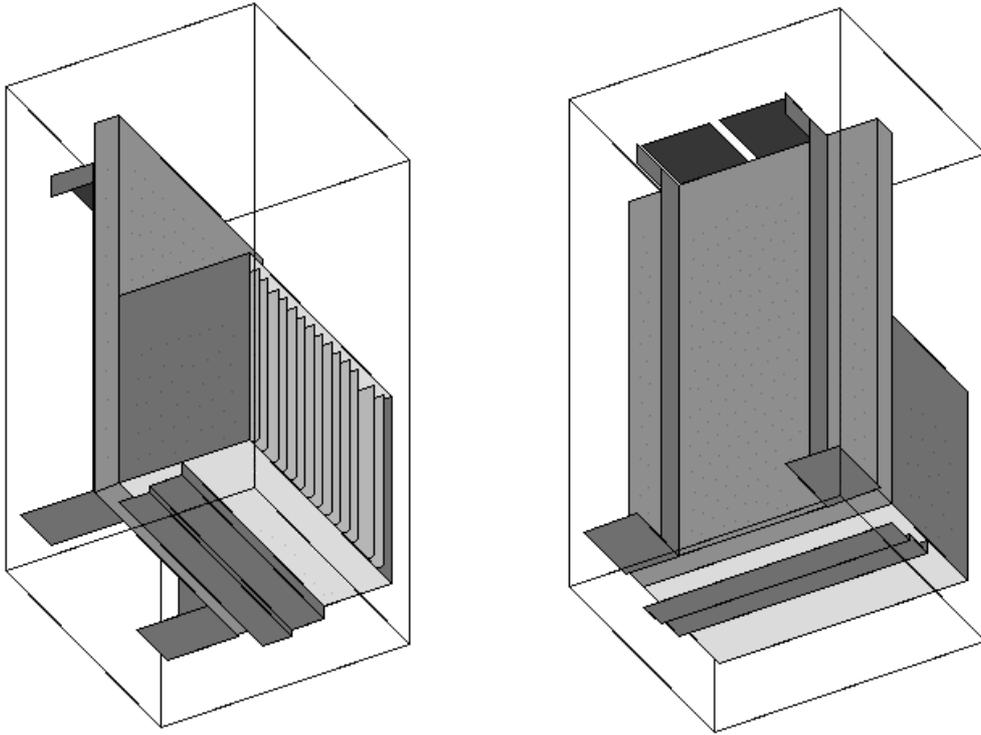


Figura 6. Modelo com defletor para evitar recirculação (modelo 4).

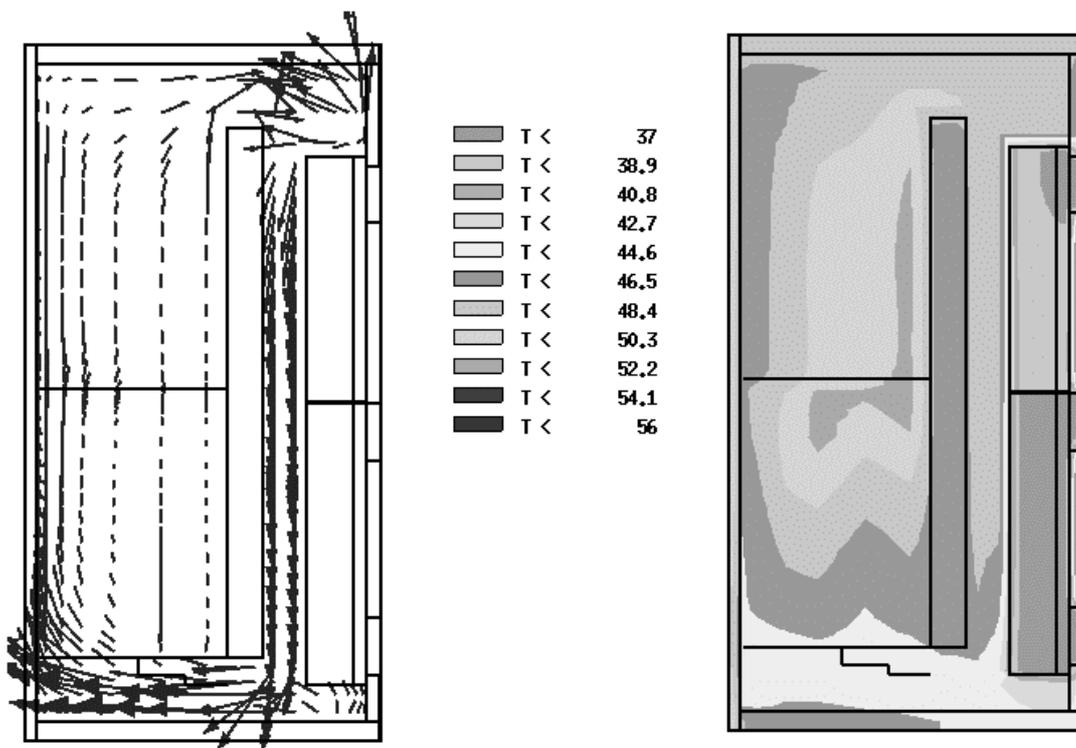


Figura 7. Temperatura e velocidade no plano onde antes havia recirculação (modelo 4)

antes passar através do sub-bastidor e, conseqüentemente, sem resfriar as placas de circuito impresso. Para evitar este problema, o modelo 2 foi modificado colocando-se anteparos que obrigam o ar a escoar através do sub-bastidor, conforme mostrado na Fig. 4 (modelo 3).

Apesar da melhora conseguida com os anteparos laterais, observou-se que nos três modelos analisados havia uma tendência à formação de uma zona de recirculação na região entre as placas do sub-bastidor (Fig. 5), o que provoca um aumento da temperatura nessa região. Para evitar isto, foi colocado um defletor embaixo do sub-bastidor, conforme mostrado na Fig. 6 (modelo 4) . A Fig. 7 mostra que com a utilização deste defletor, a região de recirculação desaparece e, conseqüentemente, a temperatura nessa região diminui em relação aos outros modelos analisados. Deve ser mencionado que uma das maiores limitações da ferramenta computacional utilizada (*AutoFlow*) está na sua incapacidade de representar adequadamente geometrias não cartesianas. Particularmente, espera-se que a utilização de um defletor curvilíneo forneça melhores resultados.

3. CONCLUSÕES

- Neste trabalho foi mostrado o procedimento utilizado para projetar uma câmara térmica, a ser utilizada no resfriamento de equipamentos eletrônicos alojados em gabinetes. O projeto inclui a escolha dos resfriadores termelétricos, o dimensionamento do dissipador externo, o posicionamento dos resfriadores sobre o dissipador externo e a análise das condições hidrodinâmicas e térmicas no interior da câmara.
- Para as condições estipuladas neste projeto, a configuração de resfriadores termelétricos que se mostrou mais apropriada foi a de sete elementos do tipo CP2-127-10 conectados em série. Estes resfriadores operarão com as seguintes características:
 - Temperatura de placa fria: 32-35°C
 - Temperatura de placa quente: 65-66°C
 - Coefficiente de desempenho (COP): 0,97 - 0,99.
- Os resfriadores termelétricos e o dissipador externo escolhidos asseguram a remoção de 150 W de potência dissipada dentro da câmara (estipulados como objetivo do projeto), por convecção natural para o ambiente que está a 45°C;
- Posicionando os resfriadores termelétricos sobre o dissipador externo como mostrado na Fig. 2, obtém-se uma distribuição de temperaturas na base do dissipador bastante uniforme e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento da superfície de transferência de calor;
- Os resultados obtidos com o modelo 4 mostram que os níveis de temperatura dentro da câmara térmica são adequados para o funcionamento do equipamento instalado (a temperatura máxima do ar que ingressa na região das placas de circuito impresso foi de 45°C);
- Embora os resultados deste projeto mostrem a viabilidade técnica de se utilizar resfriadores termelétricos para a construção da câmara térmica, recomenda-se uma cuidadosa avaliação da viabilidade econômica.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no Núcleo de Pesquisas em Engenharia Simultânea (NuPES) do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, com o apoio da empresa SIEMENS Telecomunicações.

REFERÊNCIAS

- Bejan, A., 1993, Heat Transfer, J. Wiley, New York.
- Guyer, E & Brownell, D. L., 1989, Handbook of Applied Thermal Design, McGraw-Hill, New York.
- Kraus, A. D. & Bar-Cohen A., 1983, Thermal Analysis and Control of Electronic Equipment, McGraw-Hill, New York.
- Mills, N. J., 1993, Plastics: Microstructure, Properties and Applications, 2nd ed., J Willey, New York, 1993.

UTILIZATION OF THERMOELECTRIC DEVICES FOR COOLING ELECTRONIC EQUIPMENT INSTALLED IN CABINETS

***Abstract.** The procedure employed in the design of a thermal chamber to be constructed using thermoelectric coolers is described in detail. The chamber was designed in order to create a suitable microclimate for appropriate operation of electronic equipment installed inside a shelter for telecommunication applications. Special attention is deferred to the selection of thermoelectric coolers and to the definition of mounting positions of the coolers on the heatsinks. A study was conducted to analyze the thermal and hydrodynamic conditions inside the chamber. This study was based on computer simulations carried out using the program AutoFlow — a computational fluid mechanics tool. Results of these simulations are shown and discussed.*

***Key words.** Thermoelectric coolers, Electronic devices cooling, Telecommunication cabinets.*