

OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE CORPOS SUBMETIDOS A INTENSO FLUXO DE CALOR

Cristian Dias Coelho

Fundação Universidade Federal do Rio Grande – CEP 96201-900 – Rio Grande,RS – Brasil
cristiancoelho@gmail.com

Leonardo Murussi Sodoski

Fundação Universidade Federal do Rio Grande – CEP 96201-900 – Rio Grande,RS – Brasil
murussi@gmail.com

Prof. Dr. Luiz Alberto Oliveira Rocha

Fundação Universidade Federal do Rio Grande – CEP 96201-900 – Rio Grande,RS – Brasil
laorocha@gmail.com

Resumo: *No presente trabalho iremos otimizar a geometria de um corpo sujeito a um intenso fluxo de calor. O problema consiste em minimizar a temperatura máxima obtida em uma estrutura tridimensional com micro-canais inseridos nesta estrutura, em diferentes configurações. Consideramos um fluxo de calor uniforme q'' , na superfície inferior do sólido. O escoamento de fluido pelo canal se dará por uma diferença de pressão entre entrada e saída do canal.*

A otimização geométrica visa encontrar a geometria ótima em função de ϕ (relação entre volume do canal e volume total) e α (ângulo do canal). As configurações serão otimizadas para vários valores de Be (Número de Bejan) e de k (razão entre a condutividade térmica do sólido e do fluido).

Para a construção da geometria e geração da malha será utilizado o aplicativo GAMBIT. No GAMBIT também são definidas as condições de contorno. Ele também permite a utilização de arquivos tipo Journal (extensão .jou), que é um arquivo com a estrutura e comandos de criação da geometria e malha, o que facilita a introdução das modificações posteriores na geometria decorrentes do processo de otimização.

Para a solução do problema, isto é, a determinação do campo de temperaturas, vamos utilizar o aplicativo FLUENT. O FLUENT é um software que utiliza dinâmica de fluido computacional (CFD). Utiliza o método de volumes finitos para resolver as equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia na forma diferencial, isto é, para todos os pontos do volume de controle.

Com a determinação do campo de temperaturas, é possível observar o comportamento das variáveis, e como estas influenciam o resultado. Dessa forma obtivemos a melhor configuração geométrica, e a melhor configuração dos parâmetros, Be e k . Que irão possibilitar melhor eficiência no resfriamento.

Palavras-chave: *micro-canais, otimização geométrica, microeletrônica, transferência de calor, fluent.*

1. INTRODUÇÃO

Existem muitas aplicações que geram intenso fluxo de calor, que vão desde o emprego militar até a microeletrônica.

Nas últimas décadas, o desempenho de dispositivos microeletrônicos melhorou significativamente. Associado a estas melhorias, o gerenciamento térmico efetivo é fundamental

para assegurar alto desempenho, eficiência e confiabilidade nos dispositivos eletrônicos. Vários métodos inovadores de resfriamento de dispositivos microeletrônicos têm sido investigados, entre eles o resfriamento por micro-canais. Neste trabalho, estudaremos o resfriamento de micro-chips que geram intenso fluxo de calor que deve ser dissipado através de micro-canais.

Muitos pesquisadores foram atraídos e publicaram vários trabalhos sobre resfriamento de micro-chips, utilizando-se de micro-canais. A seguir descreveremos brevemente as principais publicações, nas quais nosso trabalho será fundamentado.

Em muitos trabalhos estudam-se os fenômenos naturais, bem como sistemas físicos naturais, como o sistema circulatório de animais, devido à comprovada eficiência destes, para a geração de sistemas para a otimização dos sistemas de resfriamento de micro-chips. Chen e Cheng (2002), estudaram o sistema circulatório e respiratório de mamíferos, a fim de avaliar novas redes de ramificações de canais, para aumentar a capacidade de transferência de calor. Bejan e Lorente (2006) mostram o fundamento básico da teoria Constructal para fenômenos físicos de geração de escoamento em configurações naturais.

Wang et al.(2006) estudaram escoamento e transferência de calor em ramificações de micro-canais e a otimização destes, avaliando os parâmetros influentes no processo, utilizando simulação numérica em um ambiente de três dimensões.

Nosso trabalho irá se basear na teoria Construtal de Bejan. Rocha et al. (2005) estudaram a otimização de uma cavidade em um sólido conduzindo calor, tendo geração de calor interna e condições adiabáticas nas outras faces.

Assim, nosso trabalho irá consistir no estudo de um corpo sólido que recebe intensa quantidade de calor através de uma de suas faces e de canais inseridos neste sólido por onde escoará o fluido refrigerante. Vamos estudar vários tipos de materiais e vários regimes de escoamento (escoamento laminar). Nossos resultados serão comparados com aqueles obtidos para canais mais complexos como os estudados por Rocha et al. (in progress).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é minimizar a temperatura máxima de um sólido sujeito a intenso fluxo de calor em uma de suas faces, e com resfriamento proporcionado pelo escoamento de ar através de um canal, de modo a encontrar a geometria ótima em função de ϕ (relação entre volume do canal e volume total) e α (ângulo do canal). As configurações serão otimizadas para os seguintes valores de Be (Número de Bejan), 10^5 , 10^6 , 10^7 e 10^8 . E para os seguintes valores de k(razão entre a condutividade térmica do sólido e do fluido), 0.0027, 0.027, 0.27 e 2.7. Como:

$$Be = \frac{\Delta P.L^2}{\mu.\alpha} \quad (1)$$

Sendo L(lado do sólido), μ (viscosidade cinemática) e α (difusividade térmica) conhecidos, quando variamos o número de Bejan estamos variando ΔP .

Para a determinação do volume de controle e geração da malha será utilizado o aplicativo *GAMBIT*. O *GAMBIT* é um aplicativo que acompanha o *FLUENT*, que é utilizado para construção da geometria e geração da malha que será posteriormente resolvida. No *GAMBIT* também são definidas as condições de contorno. O *GAMBIT* permite a utilização de arquivos tipo Journal (extensão .jou), que é um arquivo com a estrutura e comandos de criação da geometria e malha, o que facilita a introdução das modificações posteriores na geometria decorrentes do processo de otimização. O *GAMBIT* permite também a importação de vários formatos de arquivo, de diferentes aplicativos CAD.

Para a solução do problema, isto é, a determinação do campo de temperatura vamos utilizar o aplicativo *FLUENT*. O *FLUENT* é um software que utiliza dinâmica de fluido computacional (CFD). Utiliza o método de volumes finitos para resolver as equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia na forma diferencial, isto é, para todos os pontos do volume de

controle. Fornece a potencialidade para usar modelos físicos diferentes tais como incompressível ou compressível, invíscido ou viscoso, laminar ou turbulento.

3. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Nosso problema consiste em minimizar a temperatura máxima obtida em uma estrutura tridimensional com canais inseridos nesta estrutura, em diferentes configurações. Consideramos um fluxo de calor uniforme q'' , na superfície inferior do sólido. O escoamento de fluido pelo canal se dará por uma diferença de pressão entre entrada e saída do canal.

A estrutura a ser utilizada representa a oitava parte de uma célula de resfriamento, com dimensões de $2L \times 2L$, e espessura t . Esta consideração pode ser feita por causa da simetria existente.

Primeiramente vamos analisar o problema envolvendo a seguinte configuração, com um canal simples, esta estrutura é apresentada na figura 1.

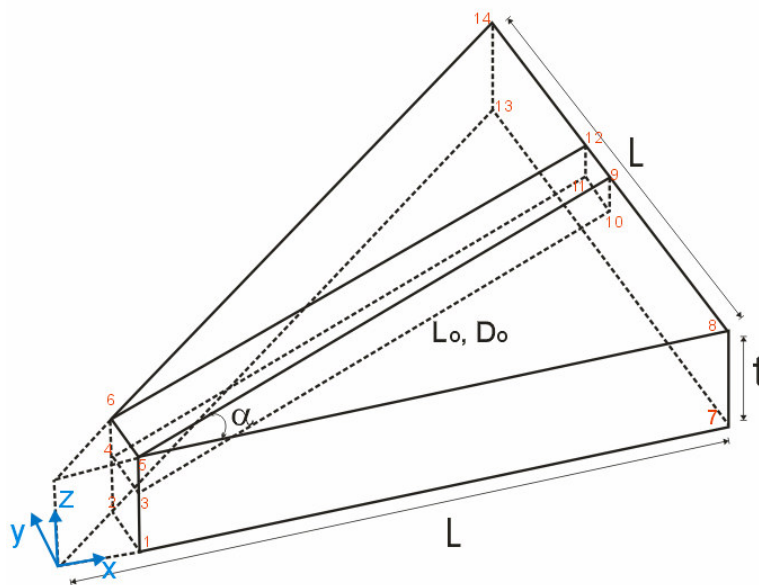


Figura 1: Geometria a ser otimizada.

3.1 Determinação da Geometria

Existem duas constantes principais a serem consideradas, que são, volume total do sólido e o volume do canal.

Para a determinação destes vamos calcular primeiro a área do triângulo menor mostrado na figura 2.1, que é a vista superior do sólido mostrado na figura 2.

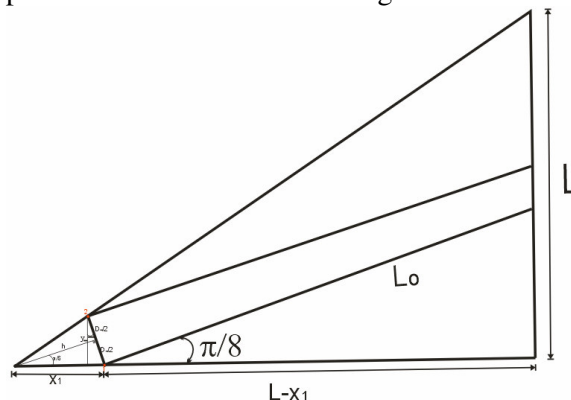


Figura 2: Vista superior do sólido.

Considerando a ampliação do triângulo, figura 3, podemos calcular a área do triângulo como sendo:

$$A_{TR} = \frac{D_0^2}{4 \cdot \tan(\pi/8)} \quad (2)$$

Onde D_0 é o diâmetro equivalente do canal.

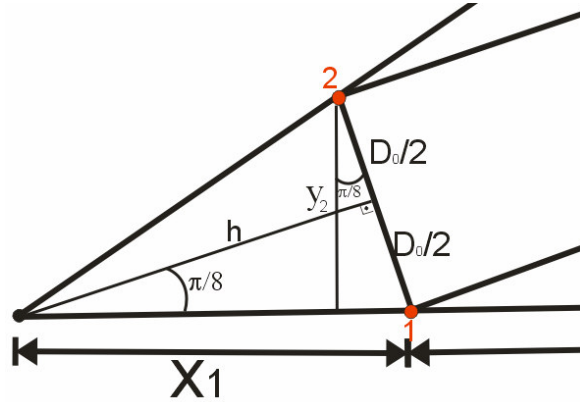


Figura 3: Ampliação do triângulo.

O parâmetro x_1 , da figura 3, será:

$$x_1 = \frac{D_0}{2 \cdot \tan(\pi/8)} \quad (3)$$

Calculando y_2 :

$$y_2 = D_0 \cdot \cos(\pi/8) \quad (4)$$

Com estes dados, podemos definir ϕ , que é a relação entre o volume do canal sobre o volume total.

$$\phi = \frac{V_P}{V_T} \quad (5)$$

Volume do canal:

$$V_P = L_0 \cdot D_0^2 \quad (6)$$

Onde L_0 é o comprimento do canal, dado por:

$$L_0 = \frac{(L - x_1)}{\cos(\pi/8)} \quad (7)$$

Volume total:

$$V_T = \frac{L^2 \cdot t}{2} - A_{TR} \cdot t \quad (8)$$

Onde L o lado do sólido, mostrado na figura 1, e t a espessura.

Com a resolução do sistema de sete equações acima apresentado é possível se determinar D_0 e conseqüentemente a área do triângulo. Esta área será considerada constante para os próximos cálculos, onde será variado o ângulo α do canal, o qual se deseja otimizar. Podemos fazer esta consideração, pois a variação em D_0 será mínima, não afetando a geometria.

Analisando a figura 4 podemos calcular:

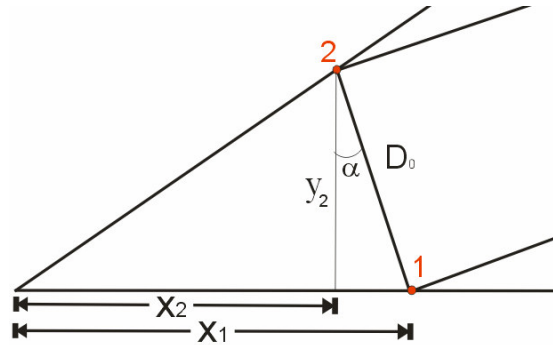


Figura 4

Com a área do triângulo fixa, X_1 será:

$$x_1 = \frac{A_{TR} \cdot 2}{y_2} \quad (9)$$

Y_2 é calculado como:

$$y_2 = D_0 \cdot \cos(\alpha) \quad (10)$$

$$x_2 = \frac{y_2}{\tan(\pi/4)} \quad (11)$$

Relação entre volumes:

$$\phi = \frac{V_p}{V_T} \quad (12)$$

Volume do canal:

$$V_p = L_0 \cdot D_0^2 \quad (13)$$

Comprimento do canal:

$$L_0 = \frac{(L - x_1)}{\cos(\alpha)} \quad (14)$$

Volume total:

$$V_T = \frac{L^2 \cdot t}{2} - A_{TR} \cdot t \quad (15)$$

Com estas equações é possível a determinação de todos os vértices do sólido, necessários para implementar a geometria no *GAMBIT*.

4. REFINAMENTO DA MALHA

O refinamento da malha é o processo que nos garante que os resultados obtidos são verdadeiros isto é, são independentes do tamanho da malha. Reduzindo-se o tamanho da malha e calculando-se o erro entre os resultados para diferentes malhas podemos obter o tamanho de malha ideal para que os resultados a serem obtidos estejam dentro da precisão desejada.

O calculo de refinamento da malha será feito para cada ϕ a ser avaliado.

Iremos considerar o ângulo α igual a 25°, número Bejan igual a 10^8 e a relação entre a condutividade térmica do sólido e do fluido, k igual a 0.027. Com isto vamos gerar a geometria no *GAMBIT*, e criar a malha. Após resolvermos o problema no *FLUENT*, obtendo a temperatura máxima, que é o parâmetro a ser utilizado para o cálculo do erro conforme equação 16.

$$\left| \frac{T_i - T_{i+1}}{T_i} \right| < 10^{-4} \quad (16)$$

O valor de 10^{-4} é o critério a ser considerado para que o tamanho de malha seja aceito.

No refinamento foi considerado o tamanho de malha de acordo com o número de elementos, sendo aproximadamente duplicado este valor a cada resolução obtendo-se temperaturas T_i a cada resolução, o que ocorreu até ser atingido o critério adotado para a definição do tamanho da malha.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após definirmos a geometria do sólido, e o tamanho da malha a ser utilizado, podemos utilizar o aplicativo *GAMBIT* para gerar a malha. Com as malhas geradas, o problema é resolvido no *FLUENT*, possibilitando a criação de gráficos de otimização que serão apresentados a seguir.

Para $\phi=0.05$ e $Be=10^8$ temos como resultado:

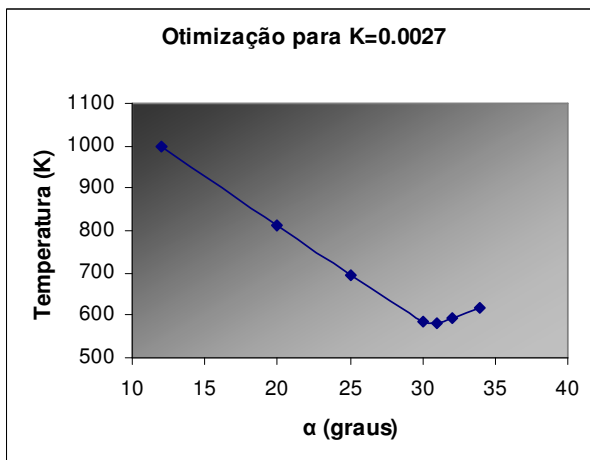


Figura 5: Gráfico de Otimização, T (K) x α (°)

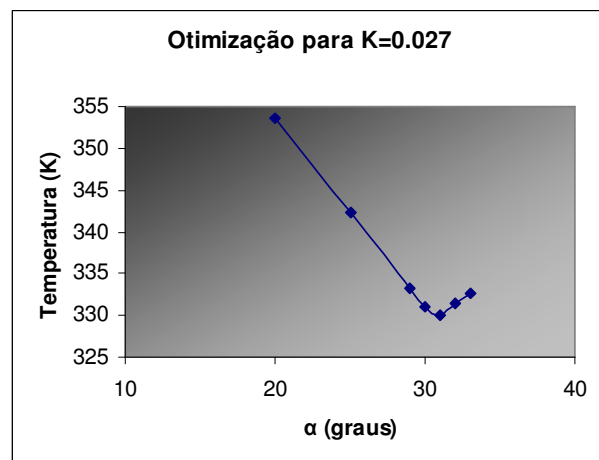


Figura 6: Gráfico de Otimização, T(K) x α (°)

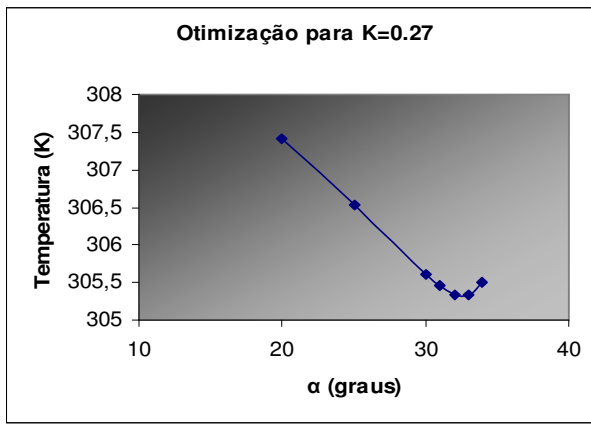


Figura 7: Gráfico de Otimização, T (K) x α (°)

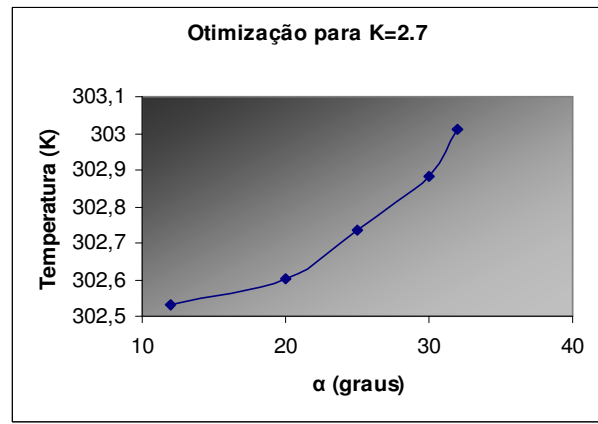


Figura 8: Gráfico de Otimização, T(K) x α(°)

Podemos observar para diferentes k (razão entre condutividade térmica do sólido e do fluido), como a temperatura varia com α. Mostrando que a temperatura diminui conforme se aumenta k, e que com um k de 2.7, o ângulo ótimo foi de 12°, já com os demais k ficou entre 31° e 32°. Para k igual a 0.027 a temperatura mínima foi de 330.1235 K, obtida com um ângulo de 31°.

Abaixo podemos observar a distribuição de calor nas células, para um φ de 0.05 e α igual a 31°.

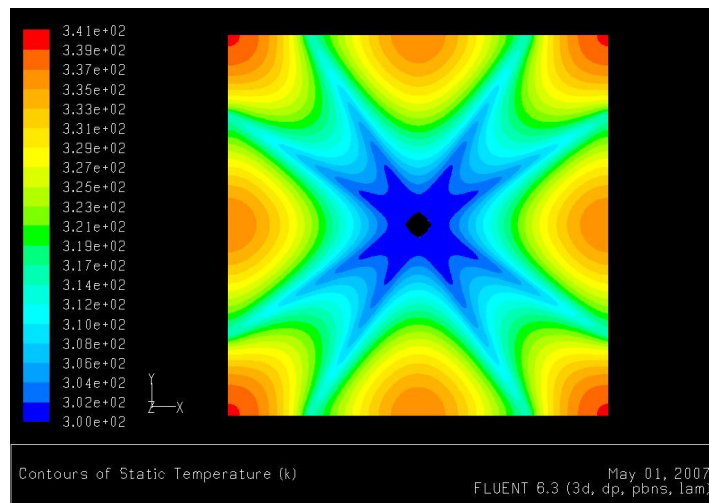


Figura 9: Vista superior da célula de resfriamento.

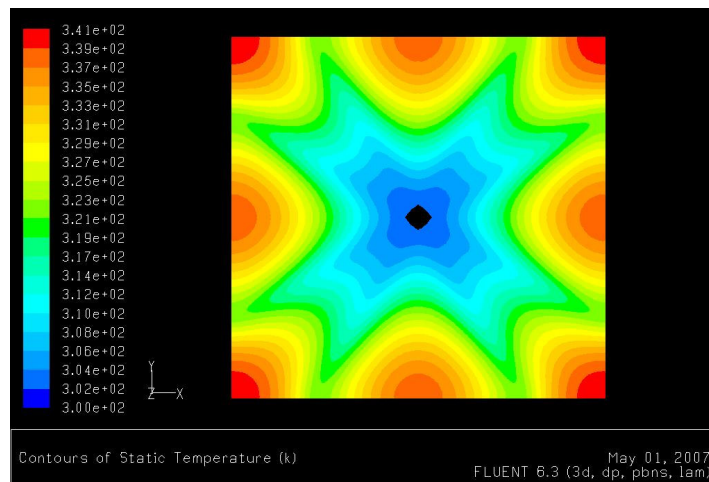


Figura 10: Vista inferior da célula de resfriamento.

Para $\phi=0.05$ e $Be=10^7$ temos como resultado, mostrado em um único gráfico:

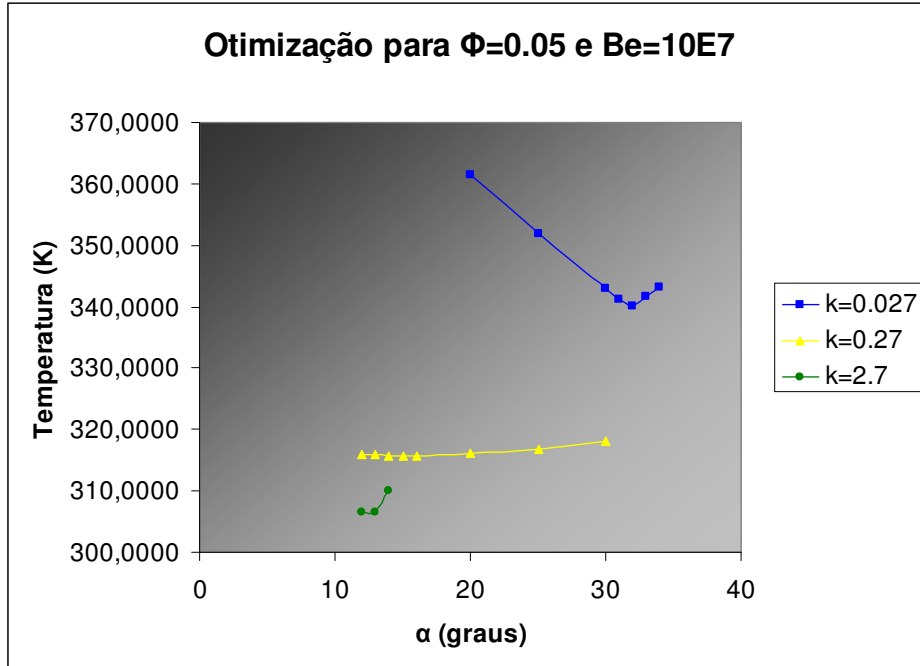


Figura 11: Gráfico de Otimização, T (K) x α (graus).

No gráfico abaixo podemos comparar a variação de temperatura, e de α , para diferentes números de Be.

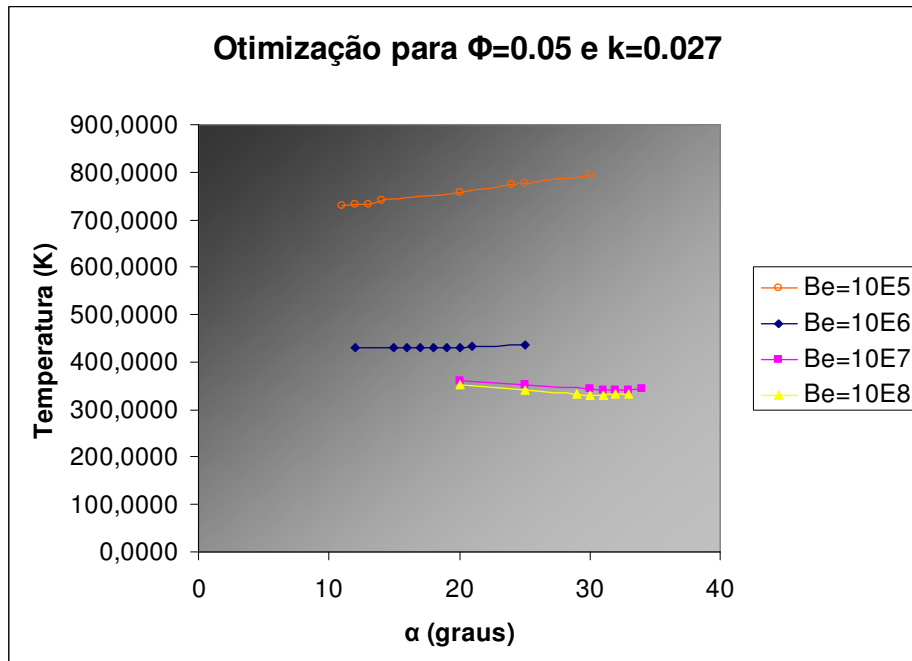


Figura 12: Gráfico de Otimização, T (K) x α (graus).

Observamos que conforme diminuimos o número de Be, diminuimos proporcionalmente a pressão na entrada, e com isto, a temperatura irá aumentar. Observa-se também que o aumento de ϕ causa uma diminuição na temperatura, quando se mantém as demais variáveis fixas.

A menor temperatura foi obtida para Be igual a 10^8 e k igual a 2.7.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação Universidade Federal do Rio Grande, pela infra-estrutura oferecida, ao laboratório termofluídico desta universidade, que ofereceu as ferramentas necessárias ao desenvolvimento deste trabalho. E aos professores Jefferson Souza e Luiz Rocha, pelo incentivo e conhecimentos, que nos auxiliaram muito no desenvolvimento deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- Bejan, S. Lorente, Constructal theory of generation in nature and engineering, Journal of Applied Physics 100, 041301 (2006).
- L.A.O Rocha, E. Lorenzini, C. Biserni, Geometric optimization of shapes on the basis of Bejan's Constructal theory, Int. J. Heat Mass Transfer 32 (2005) 1281–1288.
- L. A. O. Rocha, S. Lorente and A. Bejan, Tree-shaped vascularization for localized intense cooling, Int. J. Heat Mass Transfer (in progress).
- www.fluent.com
- X.-Q. Wang, A.S. Mujumdar, C. Yap, Numerical analysis of blockage and optimization of heat transfer performance of fractal-like microchannel nets, J. Electronic Packaging (2006), in press.
- Y. Chen, P. Cheng, Heat transfer and pressure drop in fractal tree-like microchannel nets, Int. J. Heat Mass Transfer 45 (2002) 2643–2648.

GEOMETRIC OPTIMIZATION OF BODIES SUBMITTED TO INTENSE HEAT TRANSFER

Cristian Dias Coelho

Fundação Universidade Federal do Rio Grande – CEP 96201-900 – Rio Grande,RS – Brazil
cristiancoelho@gmail.com

Leonardo Murussi Sodoski

Fundação Universidade Federal do Rio Grande – CEP 96201-900 – Rio Grande,RS – Brazil
murussi@gmail.com

Prof. Dr. Luiz Alberto Oliveira Rocha

Fundação Universidade Federal do Rio Grande – CEP 96201-900 – Rio Grande,RS – Brazil
laorochoa@gmail.com

Abstract: *In the present work we will optimize the geometry of body subject intense heat transfer. The problem consists of minimizing the maximum temperature obtained in a three-dimensional structure with microchannels inserted in this structure, in different configurations. We considered uniform heat transfer q'' , in the inferior surface of the solid. The fluid flow on the channel will feel for a pressure drop.*

The geometric optimize seeks to find the great geometry in function of ϕ (relation between volume of the channel and total volume) and α (angle of the channel). The configurations will be optimized for several values of Be (Number of Bejan) and of k (relation between thermal conductivity of the solid and of the fluid).

For the construction of the geometry and generation of the mesh will be used the application GAMBIT. In GAMBIT, they are also defined as the contour conditions. The GAMBIT also allows the use of files type Journal (extension .jou), that is a file with the structure and commands of creation of the geometry and of the mesh, what facilitates the introduction of the subsequent modifications in the geometry current of the optimize process.

For the solution of the problem, that is, the determination of the field of temperatures, we will use the application FLUENT. FLUENT is a software that uses dynamics fluid computational

(CFD). Uses the method of finite volumes to solve the equations of mass conservation, amount of movement and energy in the form difference, that is, for all the points of the volume control.

With the determination of the field of temperatures, it is possible to observe the behavior of the variables, and as these they influence the result. In that way we obtained the best geometric configuration, and the best configuration of the parameters, Be and k . That will make possible better efficiency in the refrigerate.

Keywords: *microchannel, geometric optimized, microelectronics, heat transfer, fluent.*