Paulo Roberto de Castro Mendes Junior

**Otimização topológica aplicada a projetos de
micro canais de escoamento**

Projeto de Graduação

Orientador: Prof. Ivan Menezes

Rio de Janeiro
Dezembro de 2016

Abstract

Studies and confections of microchannels came to be simultaneously as the urge for each time smaller components and equipments. Nowadays, one just needs a drawing developed in CAD software to manufacture a microchip containing tons of microchannels with desired shape and precision. Such fact justifies the high versatility and use of this technique in most variate areas of study. Microchannels can be used as an environment where chemical reactions occur during the confecction of microreactors or even as heat exchangers in both bioengineering and microelectronics. In this context, knowing how to minimize energy loss in a microchannel can make a huge difference in both performance and operation costs of a component. Fulfilling such demand, this work consists of topological optimization of a channel that minimizes pressure loss of fluid flow in a microchannel and creates a three dimensional image for measure acquisitions.

Keywords

Microchanel flow; Topological optimization; Finite Element;

Resumo

Junior, Paulo Roberto; Menezes, Ivan. **Otimização topológica aplicada a projetos de micro canais de escoamento**. Rio de Janeiro, 2016. 15p. Projeto de Graduação – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O estudo e a confecção de microcanais surgiram simultaneamente a demanda por componentes e equipamentos cada vez menores. Atualmente, basta apenas um desenho em um software de CAD para fabricar com precisão um microchip contendo vários microcanais com formato desejado. Isso justifica a tamanha versatilidade do uso dessa técnica nas mais variadas áreas de estudo. Pode-se utilizar microcanais como um ambiente onde ocorrem reações químicas na confecção de microreatores ou até mesmo como trocadores de calor na bioengenharia e microeletrônica. Nesse contexto, saber minimizar a perda de energia em um microcanal pode fazer a diferença no desempenho e no custo de operação de um componente. Atendendo a esta demanda, este trabalho trata da otimização topológica de um canal que minimiza a perda de carga de um microcanal e cria uma imagem em três dimensões para aquisição das medidas.

Palavras-chave

Escoamento em Microcanais; Otimização Topológica; Elementos finitos;

Sumário

1	Introdução	5
2	Modificação do código	6
3	Resultados	9
4	Conclusão	14

Lista de figuras

2.1	Esboço do elemento em duas dimensões (a) Nós do elemento; (b) Graus de liberdade do elemento.	6
2.2	Esboço do elemento em três dimensões (a) Nós do elemento; (b) Graus de liberdade do elemento.	7
2.3	Exemplo da diferença entre os perfis de velocidade: (a) Domínio como segmentos de retas (função de uma variável); (b) Domínio como regiões (função de uma variável)	8
3.1	Perfil de entrada e saída simulado no PolyTop 2D;	9
3.2	Canal ótimo simulado no PolyTop 2D a partir do perfil da figura 3.1; (a) Para $\delta=1$; (b) Para $\delta=1.5$	10
3.3	Canal ótimo simulado no PolyTop 3D a partir do perfil da figura 3.1; (a) Para $\delta=1$; (b) Para $\delta=1.5$	11
3.4	Perfil de entrada e saída simulado no PolyTop 2D para um difusor;	11
3.5	(a) Perfil de entrada e saída simulado no PolyTop 2D para um difusor; (b) Canal 3D correspondente a simulação	12
3.6	Perfil de três entradas e saídas simulado no PolyTop 3D;	12
3.7	Canal resultante da simulação segundo o perfil apresentado na figura 3.6; (a) Para $\delta = 0.5$ (a) Para $\delta = 2$	13

1

Introdução

Este trabalho consiste na implementação computacional, em MATLAB, da técnica de otimização topológica para determinação da geometria ótima de micro canais tridimensionais, considerando a minimização da perda de carga durante o escoamento de Stokes. Para tanto, o domínio do problema é discretizado com elementos finitos hexaédricos e o problema de otimização é resolvido usando o algoritmo MMA.

Ele é baseado no código PolyTop (1) que trata de uma rotina de análises de elementos finitos usando elementos poligonais, no qual a função objetivo é adequada a solução de um problema de energia dissipada em um escoamento de Stokes em um micro canal.

Essa sequência resolve novamente o problema do escoamento em um micro canal, mas agora incluindo a terceira dimensão e usando apenas elementos tetraédricos de base retangular. O restante da estrutura do código será mantida, ou seja, será utilizado o método de otimização topológica para minimizar a função objetivo construída ao utilizar o método de elementos finitos para resolver as equações de modelo deste escoamento.

2

Modificação do código

Esse trabalho é uma evolução do PolyTop fluidos. Portanto, o código base já resolve o problema de escoamento em um micro canal. Mas, usando uma malha adaptada a solução do problema em duas dimensões. Sendo assim, não é necessário modificar a função objetivo na parte de otimização topológica. Apenas aumentar a dimensão do problema para o caso tridimensional. E como a solução numérica utiliza o método de elementos finitos, basta aumentar a dimensão dos elementos da malha. O elemento do problema de duas dimensões é quadrilátero e contém 5 nós. Um nó no centro e quatro nos nós vértices (figura 2.1). Os nós dos vértices estão associados às velocidades e do nó do centro ao nível de pressão do elemento. Portanto cada elemento possui 9 graus de liberdade.

Figure 2.1: Esboço do elemento em duas dimensões (a) Nós do elemento; (b) Graus de liberdade do elemento.

O elemento tridimensional possui nove nós. Um no centro para calcular a pressão, assim como no elemento 2D, e oito nos vértices para calcular as velocidades. E além desta diferença, os graus de liberdade dos nós dos vértices

devem dar conta de mais uma direção para o vetor velocidade. Como pode ser visto na figura 2.2:

Figure 2.2: Esboço do elemento em três dimensões (a) Nós do elemento; (b) Graus de liberdade do elemento.

A figura 2.2 (a) mostra um elemento da malha com seus nove nós. E a figura 2.2 (b) mostra os graus de liberdade de cada elemento. Com essas alterações, o número de graus de liberdade do elemento aumenta de 9 para 25. Isso aumenta a ordem da matriz elementar e consequentemente a ordem do sistema final a ser resolvido e, consequentemente o tempo de processamento do programa.

Outra alteração necessária é a modificação do perfil de entrada e saída do canal. No caso de duas dimensões, o domínio do problema é retangular. As condições de contorno são de velocidade nas duas direções e estão definidas nos segmentos de retas que formam esse retângulo. No código PolyTop, a velocidade de cada nó do contorno é definido a partir de uma função de uma variável que descreve um perfil de velocidade.

Na solução do problema em três dimensões, as fronteiras do domínio são as superfícies retangulares avaliadas nessas regiões. Sendo assim, as funções que descrevem os perfis de velocidade são funções de duas variáveis.

Como canal que otimiza a perda de carga é diferente para cada perfil de escoamento definido no contorno domínio. Aumentar em uma dimensão o domínio do problema, vai permitir gerar muitos mais casos, pois, o domínio passará a ser uma função de duas variáveis, ao invés de uma variável.

Figure 2.3: Exemplo da diferença entre os perfis de velocidade: (a) Domínio como segmentos de retas (função de uma variável); (b) Domínio como regiões (função de uma variável)

3

Resultados

De início, é interessante validar os resultados fornecidos pelo programa. Uma maneira de fazer isso é simular exemplos associáveis a formatos de canais já encontrados em simulações com duas dimensões. O formato do canal é dependente do perfil de velocidade imposto na entrada e na saída. Escolhendo adequadamente os perfis de velocidade, pode-se recuperar um caso 2D.

A figura 3.1 [paper] mostra um perfil de entrada e saída de um canal simulado em no código de duas dimensões. Os quatro perfis de velocidade são parabólicos, com espessura igual a um sexto da altura do domínio.

Figure 3.1: Perfil de entrada e saída simulado no PolyTop 2D;

O formato do canal ótimo é dependente do comprimento δ . E isso é observado no resultado da otimização (figura 3.2). Para $\delta=1$, o formato do canal é retangular, apenas unindo cada entrada a saída oposta. Mas, para $\delta=1.5$, os canais antes separados se juntam próximo a entrada e se separam próximo a saída.

Essa união dos escoamentos já é conhecida na literatura e também foi obtido pelo código tridimensional. Basta considerar que os perfis de entrada e saída não variam com a profundidade e para esta coordenada se utilizem apenas dois elementos para gerar a malha. Isso impedirá que o programa otimize o

Figure 3.2: Canal ótimo simulado no PolyTop 2D a partir do perfil da figura 3.1; (a) Para $\delta=1$; (b) Para $\delta=1.5$

canal nesta direção. O resultado desta simulação está representado na figura 3.5.

Outra maneira de validar o resultado é simulando um canal com eixo de simetria, pois, qualquer plano que contenha esse eixo pode ser simulado em duas dimensões. Um exemplo de perfis de velocidade simétricos ocorrem em um difusor.

Depois de atestar a validade do código, é interessante simular casos que não são possíveis de serem extrapolados a partir de um caso 2D. Como ocorre no canal com três regiões de entrada e saída. Como representado na figura 3.6:

O canal simulado apresenta o mesmo comportamento de união dos escoamentos já conhecido dos resultados feitos em duas dimensões.

Figure 3.3: Canal ótimo simulado no PolyTop 3D a partir do perfil da figura 3.1; (a) Para $\delta=1$; (b) Para $\delta=1.5$

Figure 3.4: Perfil de entrada e saída simulado no PolyTop 2D para um difusor;

Figure 3.5: (a) Perfil de entrada e saída simulado no PolyTop 2D para um difusor; (b) Canal 3D correspondente a simulação

Figure 3.6: Perfil de três entradas e saídas simulado no PolyTop 3D;

Figure 3.7: Canal resultante da simulação segundo o perfil apresentado na figura 3.6; (a) Para $\delta = 0.5$ (a) Para $\delta = 2$

4

Conclusão

Neste trabalho foi implementado um programa de otimização topológica, em MATLAB, capaz de determinar o micro canal ótimo, tridimensional, que minimiza a perda de carga, durante um escoamento de Stokes.

A função objetivo a ser minimizada foi obtida a partir da solução numérica de um escoamento de stokes pelo método de elementos finitos.

É fundamental também comentar que ser capaz de simular um canal em três dimensões, além de melhorar a visualização do canal, permite avaliar resultados que não podem ser feitos com os atuais simuladores que operam com malha de duas dimensões.

Referências bibliográficas

- [1] Cameron Talischi, Anderson Pereira, Glaucio H. Paulino, Ivan F. M. Menezes and Márcio S. Carvalho *Polygonal finite elements for incompressible fluid flow.*
- [2] Vivien J. Challis and James K. Guest *Level set topology optimization of fluids in Stokes flow.*