

# **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO ESCOAMENTO EM UM CANAL BIDIMENSIONAL COM PROTUBERÂNCIAS RETANGULARES JUNTO ÀS PAREDES.**

Débora Gleice da Silva Del Rio Vieira, Sérgio Said Mansur – Área 1.13 – Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus de Ilha Solteira.

Em muitos dispositivos de troca de calor empregados na área de empacotamento eletrônico, o escoamento de um fluido de arrefecimento se dá no interior de canais munidos de protuberâncias junto às paredes. A presença destes relevos, que pode apresentar diferentes configurações geométricas, interfere consideravelmente na distribuição da velocidade do fluido no interior do canal e, conseqüentemente, nas taxas de transferência de calor, influenciando fortemente a eficiência do equipamento.

No presente trabalho, é realizado um estudo numérico do escoamento no interior da primeira cavidade de um canal bidimensional contendo protuberâncias retangulares junto às suas paredes, como mostrado na Figura 1. Neste caso,  $P_i$  representa a distância entre os centros das protuberâncias,  $H$  o comprimento da base e  $h$  a altura dos elementos retangulares.

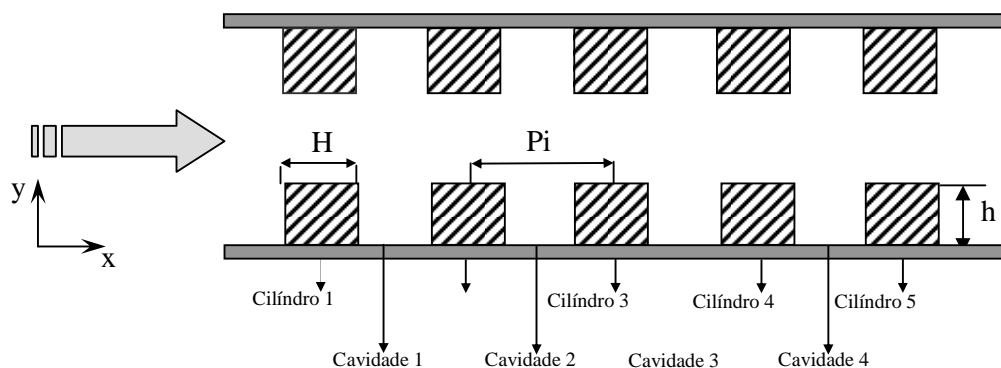


Figura 1 - Escoamento no interior do canal com protuberâncias nas paredes.

As simulações foram realizadas com o auxílio do programa computacional Fluids, desenvolvido por Campregher (2002), o qual resolve as equações de Navier-Stokes em coordenadas cartesianas bidimensionais, utilizando a metodologia dos volumes finitos. A discretização temporal é implícita e o acoplamento pressão-velocidade é realizado através do método SIMPLEC.

Os cálculos foram executados para números de Reynolds compreendidos entre 15 e 750, definidos com base na altura  $h$  do obstáculo. As diferentes configurações geométricas simuladas foram construídas, todas elas, com protuberâncias de base  $H$  fixa e alturas  $h$  variável. A distância  $P_i$  entre obstáculos também foi mantida constante em todas as simulações, igual a  $5H$ . Na entrada do domínio de cálculo, um perfil uniforme de velocidades foi imposto, juntamente com as condições  $\partial u / \partial x = 0$  na saída e  $\partial u / \partial y = 0$  na fronteira superior. As paredes do canal e os obstáculos sólidos são considerados impermeáveis e não deslizantes.

A Figura 2 apresenta o comportamento do escoamento no interior da primeira cavidade do canal, em função da altura  $h$  das protuberâncias, mantendo-se fixa a velocidade  $u$  na entrada domínio de cálculo em 0,18 m/s. Em linhas gerais, observa-se que a recirculação formada logo após o primeiro obstáculo aumenta de tamanho, na medida em que a altura  $h$  cresce. Ao mesmo tempo, observa-se que, com o crescimento da altura  $h$ , o núcleo da recirculação se desloca em direção à segunda protuberância.

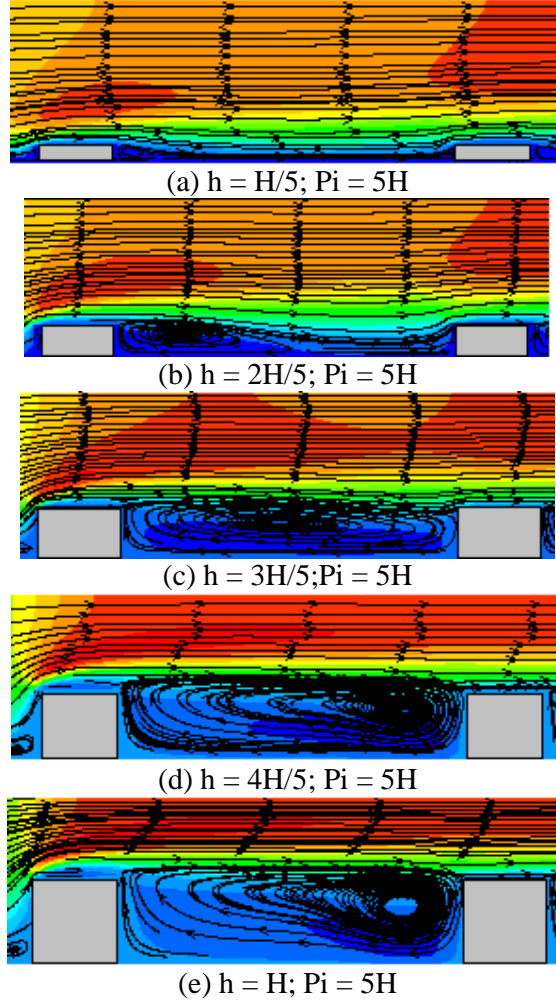


Figura 2: Escoamento na primeira cavidade do canal, com velocidade de entrada na direção horizontal  $u = 0,18 \text{ m/s}$ , para uma altura  $h$  crescente.

Curiosamente, este mesmo padrão de comportamento é observado, também, na Figura 3, onde os resultados foram obtidos para uma geometria fixa (canal munido de protuberâncias quadradas) e números de Reynolds variáveis. Tal fato sugere que a escolha da altura  $h$  para o cálculo do número de Reynolds tenha sido adequada, permitindo que simulações envolvendo diferentes geometrias, realizadas para um mesmo número de Reynolds, produzam resultados análogos. Em outras palavras, para uma dada geometria fixa, um aumento na magnitude da velocidade de entrada provoca sobre o escoamento um efeito similar ao observado quando a velocidade é mantida invariável, mas a altura das protuberâncias é aumentada. Matematicamente, dois escoamentos distintos parecem se mostrar similares quando a seguinte condição é satisfeita:

$$u_1 h_1 = u_2 h_2 \quad (1)$$

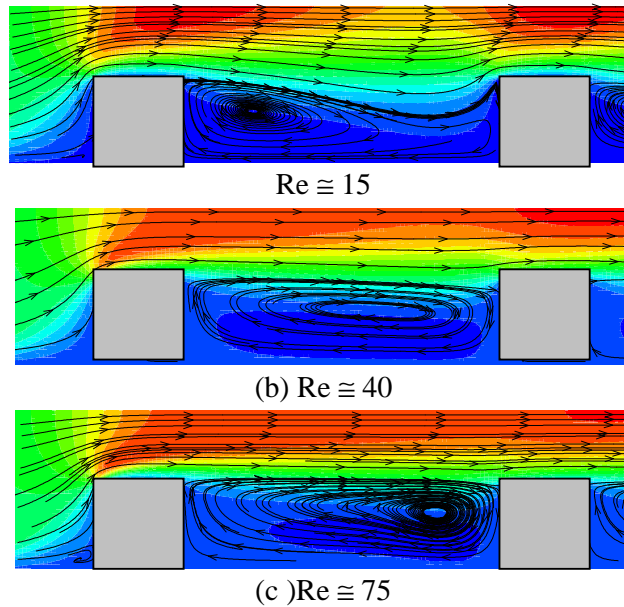


Figura 3: Escoamento no interior da primeira cavidade do canal munido de protuberâncias quadradas, para baixos números de Reynolds.

É interessante acrescentar, ainda, que para protuberâncias com pequenas alturas  $h$ , as recirculações também são bastante pequenas, de tal forma que o escoamento numa dada cavidade pouco influencia as condições de entrada da cavidade que se posiciona imediatamente à sua jusante. Assim, o escoamento em todas as cavidades do canal apresenta sempre a mesma topologia, assemelhando-se àquele encontrado no clássico problema do degrau descendente (*backward facing step*). Tal fato pode ser observado na Figura 4.

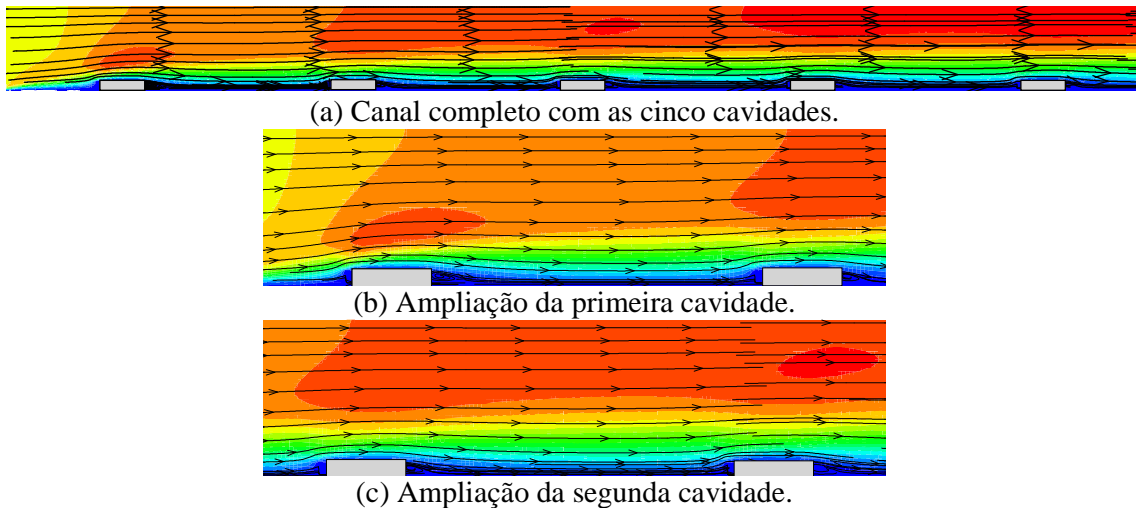


Figura 4: Canal com protuberâncias de pequenas alturas ( $h = H/5$ ), espaçamento  $P_i/H = 5$  e velocidade de entrada  $u = 0,018$  m/s.

Resultados bastante parecidos são observados, também, para baixos números de Reynolds, espaçamentos maiores e protuberâncias quadradas, como mostrado na Figura 5.

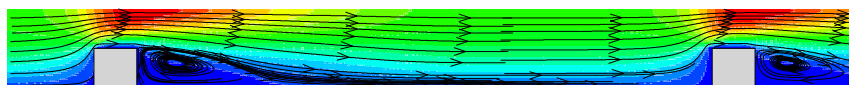
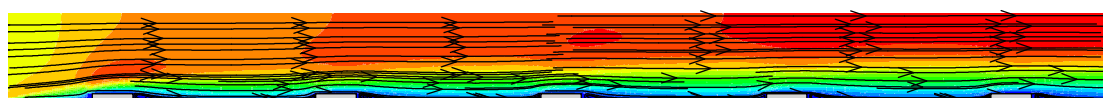
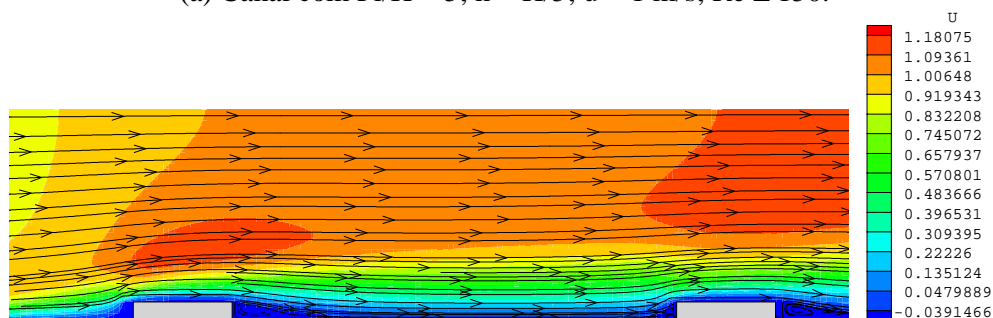


Figura 5: Escoamento na primeira cavidade para protuberâncias quadradas,  $P_i/H = 15$ ,  $u = 0,018$  e  $Re \cong 15$ .

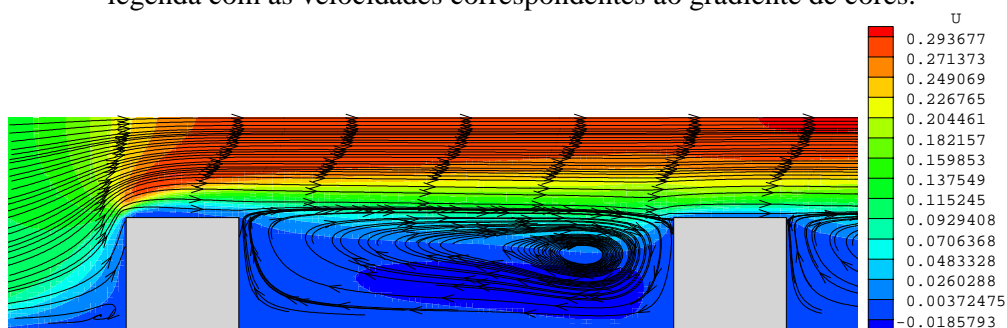
Nas simulações efetuadas para protuberâncias com alturas pequenas  $h$  e velocidades relativamente elevadas, observou-se que a relação expressa pela Equação (1) não garante a similaridade entre escoamentos, como pode ser observado nos resultados da Figura 6. De fato, quando  $h = H/5$  e a velocidade de entrada é fixada em  $u = 1$  m/s ( $Re \cong 150$ ), a cavidade fica, toda ela, imersa na região de mais baixa velocidade da camada limite. Assim, apenas uma pequena recirculação forma-se a jusante do cilindro. Em comparação com o caso onde as protuberâncias são quadradas, mesmo para  $Re \cong 75$ , ou seja, aproximadamente metade do anterior, já se verifica a movimentação da recirculação em direção ao cilindro subsequente. Tal discordância entre os resultados ocorre, pois para pequenas protuberâncias, a espessura da camada limite é menor que a sua altura  $h$ , o que torna inviável o cálculo do número de Reynolds com base na altura da protuberância. Sendo assim, o escoamento não pode mais ser identificado com o escoamento em uma cavidade aberta, e os cilindros nas paredes do canal se comportam apenas como perturbações na camada limite, ou uma espécie de rugosidade.



(a) Canal com  $Pi/H = 5$ ;  $h = H/5$ ;  $u = 1$  m/s;  $Re \cong 150$ .



(b) Ampliação da primeira cavidade do canal com  $Pi/H = 5$ ;  $h = H/5$ ;  $u = 1$  m/s;  $Re \cong 150$ , e legenda com as velocidades correspondentes ao gradiente de cores.



(c) Escoamento na primeira cavidade de um canal com  $Pi/H = 5$ ;  $h = H$ ;  $u = 0,018$  m/s;  $Re \cong 75$  e legenda com as velocidades correspondentes ao gradiente de cores.

Figura 6: Comparação entre os escoamentos com protuberâncias de pequenas alturas  $h$  e protuberâncias quadradas.

**Bolsa:** FAPESP

### Referência Bibliográfica:

Campregher Jr., R., "Simulação Numérica de Escoamentos Transicionais e Turbulentos ao Redor de Geometrias Cartesianas", *Dissertação de Mestrado*, 141 p., Unesp – Ilha Solteira, 2002.