

DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO DO ESCOAMENTO LAMINAR DE AR SOBRE AQUECEDORES 3D PROTUBERANTES MONTADOS NA PLACA INFERIOR DE UM CANAL RETANGULAR HORIZONTAL

Felipe Baptista Nishida

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Campus Ponta Grossa
felipenishida@hotmail.com

Thiago Antonini Alves

Professor/Pesquisador do Curso de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Campus Ponta Grossa
thiagooalves@utfpr.edu.br

Resumo. No presente trabalho foi realizada uma investigação numérica da distribuição de pressão do escoamento laminar sobre aquecedores 3D protuberantes montados na placa inferior de um canal retangular horizontal utilizando o Método dos Volumes de Controle através do software ANSYS/Fluent®. O escoamento forçado de ar foi considerado com propriedades constantes sob condições de regime permanente com perfil de velocidade uniforme na entrada do canal. Os efeitos do número de Reynolds, baseado na altura dos aquecedores 3D protuberantes, foram investigados na faixa de 100 a 300.

Palavras-chave: Investigação numérica. Escoamento laminar. Aquecedores 3D Protuberantes.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho, foram considerados problemas motivados pelo Nível 2 de empacotamento eletrônico, associados ao controle térmico de uma fileira de aquecedores 3D protuberantes montados em uma placa de circuito impresso (PCB), como indicado na Fig. 1 (ALVES, 2010). O espaço disponível para os aquecedores discretos pode ser limitado e seu resfriamento deve ocorrer por convecção forçada com baixo *Reynolds* por limitações operacionais e para redução de ruídos.

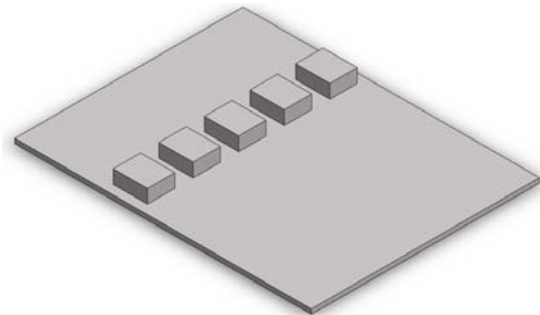


Figura 1. Configuração com fileira de aquecedores 3D protuberantes montados em uma PCB.

2. MODELAGEM DO PROBLEMA

A modelagem matemática do problema foi efetuada para um domínio único, compreendendo o aquecedor protuberante e o escoamento fluido no canal. Devido às simetrias do problema, as equações de conservação foram formuladas para o domínio de comprimento L , largura $W/2$ e altura $(H + t)$, conforme Fig. 2.

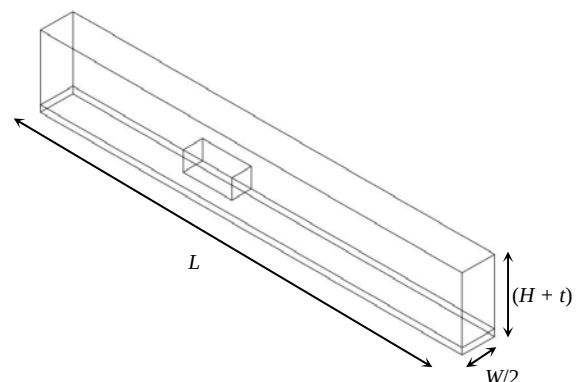


Figura 2. Domínio da modelagem matemática do problema.

As equações governantes englobam os princípios de conservação de massa e de *momentum* no domínio considerado, sob condições de regime permanente, propriedades constantes e dissipação viscosa desprezível.

▪ Equação da Continuidade

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

▪ Equação de Navier-Stokes

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (2)$$

As condições de contorno do escoamento foram velocidade uniforme (u_0) na entrada do canal e velocidade nula nas interfaces sólido-fluido, condição de não-deslizamento. Na saída do canal, o escoamento foi tratado com uma difusão desprezível na direção x para as três componentes de velocidade. Nas fronteiras laterais do domínio de solução, condição de contorno de simetria (condição periódica) é aplicada para os campos de velocidade (mesma geometria em cada um dos aquecedores 3D protuberantes).

3. SOLUÇÃO NUMÉRICA

As equações governantes com suas condições de contorno foram resolvidas numericamente utilizando o Método dos Volumes de Controle (PATANKAR, 1980) por meio do *software* ANSYS/Fluent® 14.0. O algoritmo *SIMPLE* (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations*) foi utilizado para tratar do acoplamento pressão-velocidade. As condições de contorno foram impostas nas fronteiras do domínio analisado. Após um estudo de refinamento de malha computacional, os resultados numéricos foram obtidos com uma grade 3D não-uniforme contendo 212.670 volumes de controle. Esta grade computacional foi mais concentrada nas regiões próximas às interfaces sólido-fluido devido aos maiores gradientes das variáveis primitivas nestas regiões, como ilustrado na Fig. 3.

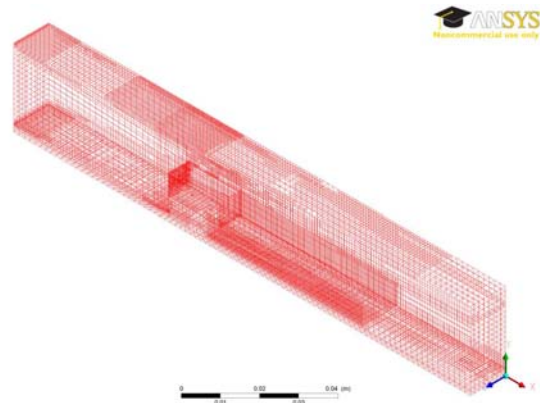


Figura 3. Grade computacional 3D não-uniforme (vista em perspectiva 3D).

As resoluções numéricas foram executadas em um microcomputador com processador *Intel® Core™ i7* 3,6GHz e com 16GB de memória RAM. O tempo de processamento de uma solução típica foi de aproximadamente 5 (cinco) minutos.

4. RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados numéricos, foram utilizados valores típicos de geometria e propriedades encontrados nas aplicações de resfriamento de componentes eletrônicos montados em uma PCB (BARCOHEN *et al.*, 2003). As propriedades do ar foram consideradas constantes, obtidas à temperatura de 300 K (INCROPERA *et al.*, 2008). Os efeitos do número de *Reynolds* foram investigados para $Re = 100, 150, 200, 250$ e 300 . Nesta faixa de investigação de Re o regime do escoamento no canal é laminar (MORRIS & GARIMELLA, 1996).

Nas Figuras 4, 5 e 6 são apresentadas as distribuições de pressão do escoamento laminar de ar para os planos xy , xz e yz , respectivamente. Como esperado, a região a montante do aquecedor 3D protuberante possui uma pressão maior do que a região a jusante. Independentemente do *Reynolds*, as maiores pressões encontradas situam-se próximas a superfície frontal do aquecedor devido ao ponto de estagnação. Além disso, quanto maior o Re , maior serão os gradientes de pressão próximos à estagnação.

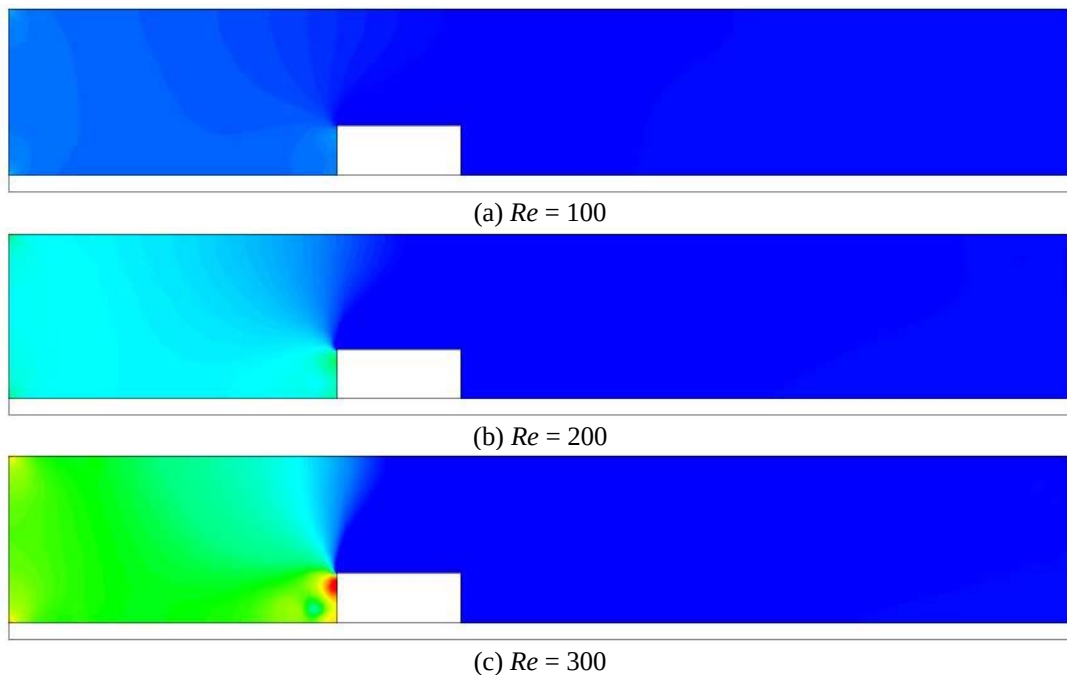


Figura 4. Mapa de distribuição de pressão do ar no plano xy com $z = 0$.

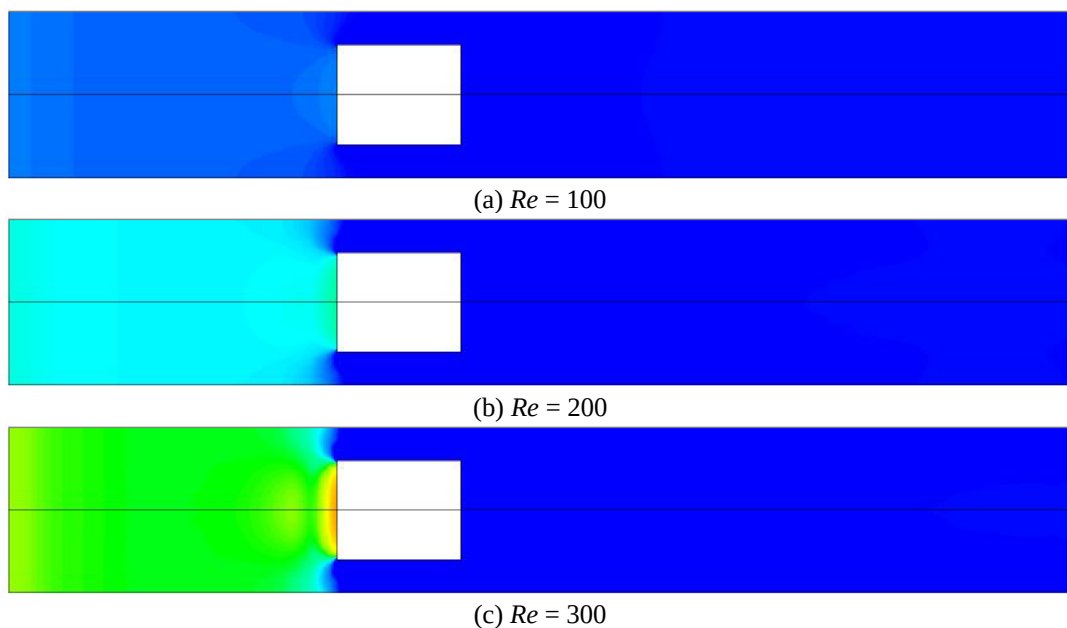


Figura 5. Mapa de distribuição de pressão do ar no plano xz para $y = 0,16H$.

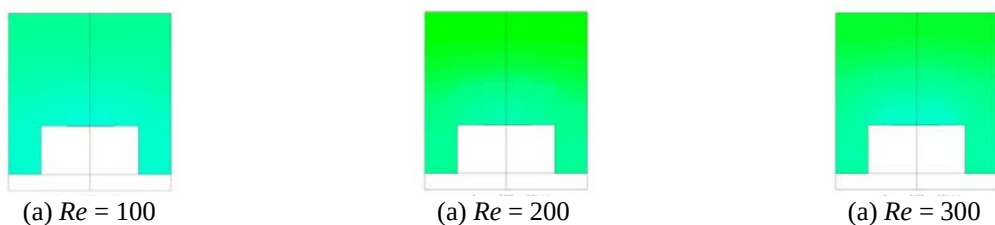
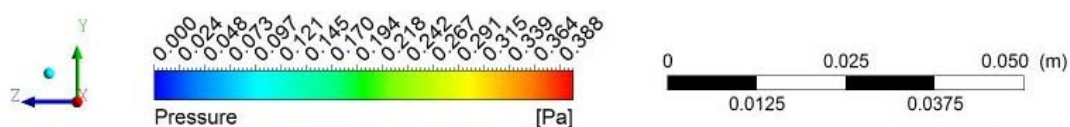


Figura 6. Mapa de distribuição de pressão do ar no plano yz com $x = 2,375H$.



Os resultados numéricos da queda de pressão total no canal em função do número de *Reynolds* são apresentados na Tab. 1 e na Fig. 7. Uma correlação com desvios menores do que 1,5% pode ser expressa por

$$\Delta p = 2,03 \cdot 10^{-5} Re^{1,64} \quad (3)$$

Tabela 1. Queda de pressão total no canal

<i>Re</i>	Δp [Pa]
100	0,0392
150	0,0744
200	0,1194
250	0,1738
300	0,2378

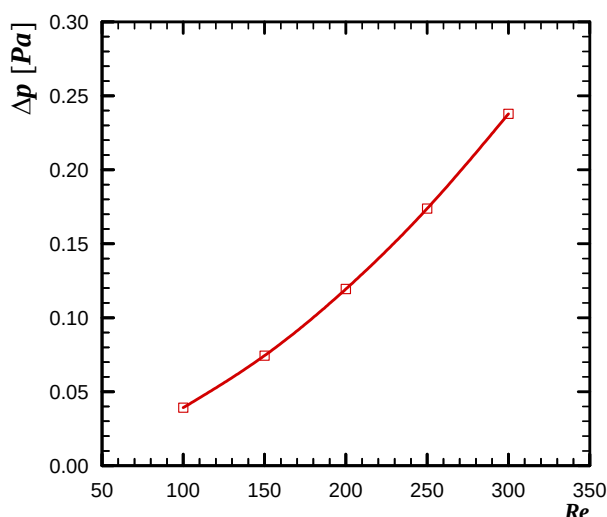


Figura 7. Queda de pressão total no canal em função do número de *Reynolds*.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado uma investigação numérica da distribuição de pressão do escoamento laminar sobre aquecedores 3D protuberantes montados na placa inferior de um canal retangular horizontal utilizando o Método dos Volumes de Controle através do *software* ANSYS/Fluent®. As equações de conservação de massa e de *momentum* com suas condições de contorno foram resolvidas numericamente dentro de um domínio único, através de um procedimento acoplado. Para a obtenção dos resultados numéricos, foram

utilizados valores típicos de geometria e propriedades encontrados nas aplicações de resfriamento de componentes eletrônicos montados em uma placa de circuito. As distribuições de pressão do escoamento laminar de ar nos planos *xy*, *xz* e *yz* foram apresentadas concomitantemente com a queda de pressão total no canal. Como esperado, a região a montante do aquecedor 3D protuberante possui uma pressão maior do que a região a jusante. Independentemente do número *Reynolds*, as maiores pressões encontradas situam-se próximas a superfície frontal do aquecedor devido ao ponto de estagnação. Além disso, quanto maior o *Re*, maior serão os gradientes de pressão próximos à estagnação.

6. REFERÊNCIAS

- ALVES, T.A. **Resfriamento conjugado de aquecedores discretos em canais**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010. 129 p.
- BAR-COHEN, A.; WATWE, A.A.; PRASHER, R.S. **Heat Transfer in Electronic Equipment**. In: BEJAN, A.; KRAUS, A.D. (Eds.). *Heat Transfer Handbook*. New Jersey, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2003. chap.13, 947-1027 p.
- INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2008. 644 p.
- MORRIS, G.K.; GARIMELLA, S.V. Thermal wake downstream of a three-dimensional obstacle. **Exp. Thermal Fluid Sc.**, V.12, p. 65-74, 1996.
- PATANKAR, S.V. **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**. New York, NY, USA: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. 197 p.