

TRANSFERÊNCIA DE CALOR CONJUGADA CONVECÇÃO FORÇADA-CONDUÇÃO DE UM AQUECEDOR 3D PROTUBERANTE MONTADO EM UMA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Felipe Baptista Nishida, Vivian Machado, Murilo Augusto Barbur e Thiago Antonini Alves

UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Engenharia Mecânica

Campus Ponta Grossa – CEP 84016-210 – Ponta Grossa – Paraná

E-mail para correspondência: *thiagoaalves@utfpr.edu.br*

Introdução

Neste trabalho foi realizada uma análise numérica da transferência de calor conjugada por convecção forçada-condução de um aquecedor 3D protuberante montado na placa inferior (placa de circuito impresso) de um canal horizontal de placas paralelas, como indicado na Fig. 1. Uma taxa uniforme de geração de calor foi assumida no aquecedor protuberante e seu resfriamento ocorreu por meio de um escoamento laminar forçado de ar com propriedades constantes sob condições de regime permanente. Na entrada do canal, os perfis de velocidade (u_0) e de temperatura (T_0) do escoamento eram uniformes. As superfícies superior e inferior do canal eram adiabáticas. Este problema está associado ao controle térmico de componentes eletrônicos montados numa placa de circuito impresso (Alves, 2010). No resfriamento conjugado convecção forçada-condução, há dois mecanismos para a transferência de calor do aquecedor protuberante para o escoamento fluido. Um por convecção forçada, diretamente das superfícies do aquecedor em contato com o escoamento e outro, por condução através da interface aquecedor-placa de circuito impresso. As simulações numéricas foram executadas através do *software* comercial ANSYS/Fluent®.

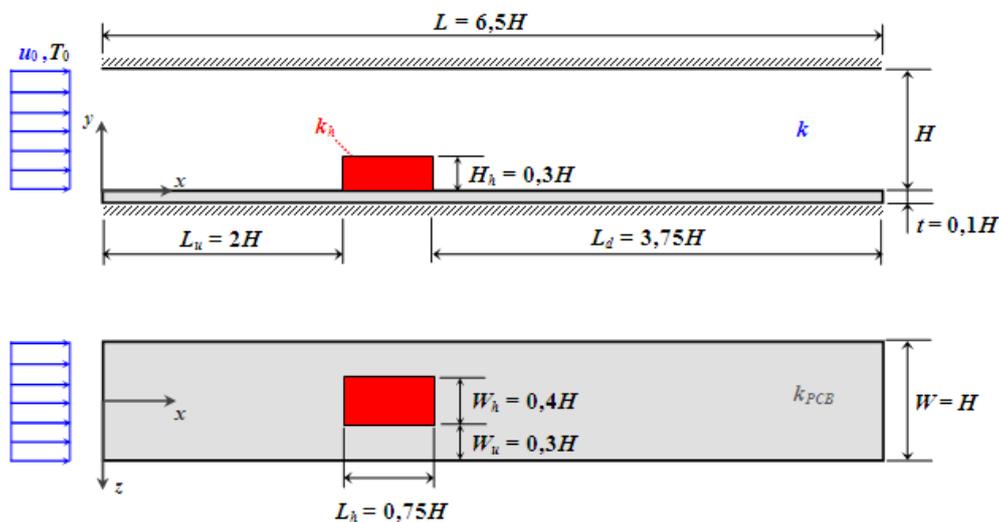


Figura 1 – Configuração do problema analisado.

Formulação

A modelagem matemática do problema foi efetuada para um domínio único, compreendendo as regiões sólidas (placa de circuito impresso e aquecedor protuberante) e o escoamento fluido no canal. Devido à simetria do problema, as equações de conservação foram formuladas para o domínio de comprimento L , largura $W/2$ e altura $(H+t)$. As equações governantes englobam os princípios de conservação do domínio considerado, considerando regime permanente, propriedades constantes e dissipação viscosa desprezível. Os eventuais efeitos de convecção natural, de radiação térmica e de oscilação do escoamento não foram considerados nesta modelagem, um procedimento adotado em problemas similares, por exemplo, Zeng & Vafai (2009), Davalath & Bayazitoglu (1987) e Ramadhyani *et al.* (1985).

Solução Numérica

As equações governantes com suas condições de contorno foram resolvidas numericamente utilizando o Método dos Volumes de Controle (Patankar, 1980) através do *software* comercial ANSYS/Fluent®. O algoritmo SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations*) foi utilizado para tratar do acoplamento pressão-velocidade. A discretização dos termos difusivo-convectivos foi realizada através do esquema *Upwind* de 2ª Ordem. As condições de contorno mencionadas para o escoamento e para a distribuição de temperaturas foram impostas nas fronteiras do domínio analisado. Após um estudo de independência de grade computacional, os resultados numéricos foram obtidos com uma grade 3D não-uniforme no domínio de solução contendo 212.670 volumes de controle, mostrada na Fig. 2. Esta grade computacional foi mais concentrada nas regiões próximas às interfaces sólido-fluido e na região à jusante do aquecedor protuberante devido aos maiores gradientes das variáveis primitivas nestas regiões.

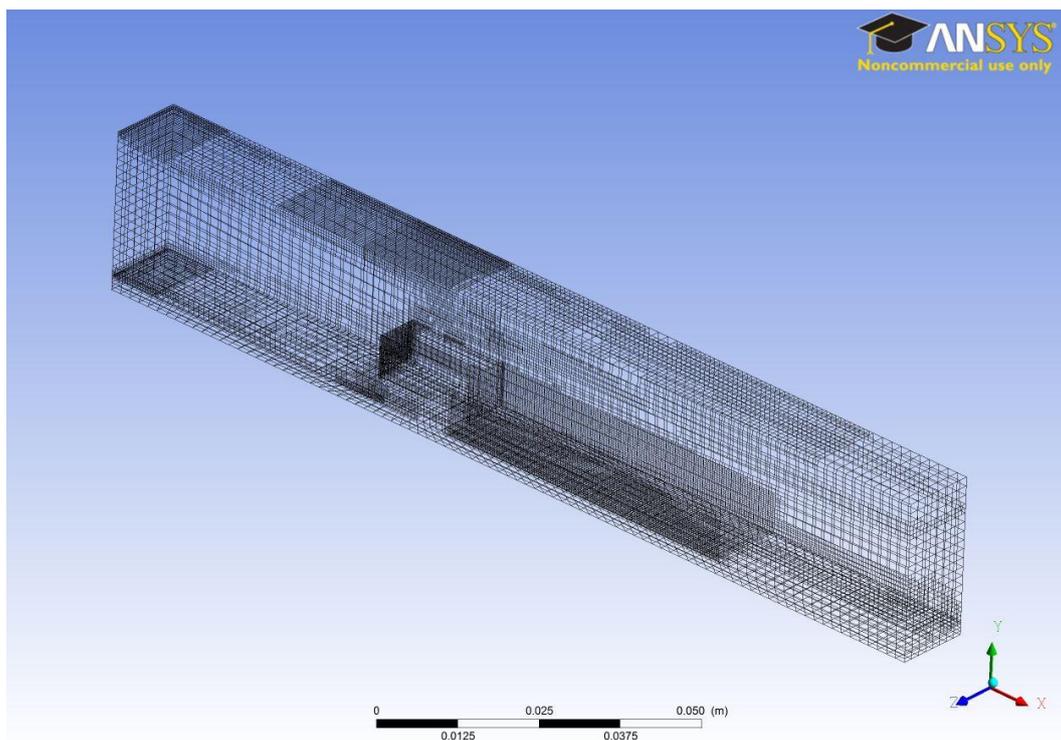


Figura 2 – Grade computacional 3D utilizada na obtenção dos resultados.

Devido às não-linearidades na equação do *momentum*, as componentes de velocidade e a correção da pressão foram sub-relaxadas para prevenir instabilidade e divergência. O critério de parada do processo iterativo de resolução foi estabelecido para mudanças absolutas das variáveis primitivas menores do que quatro algarismos significativos entre duas iterações consecutivas, enquanto a conservação global de massa no domínio foi satisfeita em todas as iterações. As resoluções numéricas foram executadas num microcomputador com processador Intel® Core™ 2 Duo E7500 2,94GHz e 4GB de RAM. O tempo de processamento de uma solução típica considerando o resfriamento conjugado por convecção forçada-condução do aquecedor 3D protuberante foi de aproximadamente 30 (trinta) minutos.

Resultados

Para obtenção dos resultados numéricos, foram utilizados valores típicos de geometria e propriedades encontrados nas aplicações de resfriamento de componentes eletrônicos montados numa placa de circuito impresso (Bar-Cohen *et al.*, 2003 e Alves & Altemani, 2012). As configurações geométricas ilustradas na Fig. 1, foram definidas considerando um espaçamento entre as placas paralelas de $H = 0,0254\text{m}$. O fluido de resfriamento foi o ar e o aquecedor 3D protuberante foi considerado como sendo de alumínio puro, as propriedades do fluido e do aquecedor foram consideradas constantes, obtidas numa tabela a 300K (Incropera *et al.*, 2008). A condutividade térmica da placa de circuito impresso foi de $2,2\text{ W/(m.K)}$. A taxa de dissipação no aquecedor foi de $0,66\text{W}$. Os efeitos do número de *Reynolds* baseado no comprimento característico $L_c = 2H$ foram investigados para sete valores no regime laminar, na faixa de entre 500 e 2000 (velocidades médias do ar de aproximadamente $0,15\text{ m/s}$ até $0,63\text{ m/s}$).

Os resultados para o número de *Nusselt* médio baseado no comprimento característico $L_c = 2H$ são apresentados na Fig. 3. Pode ser observado que o número de *Nusselt* médio aumenta com o número de *Reynolds*, indicando a queda da temperatura do aquecedor com a vazão mássica de fluido no canal. Estes resultados podem ser correlacionados dentro de uma diferença menor do que 0,75% através da expressão

$$\overline{Nu}_0 = 2,6371 Pr Re^{0,4355} \quad (1)$$

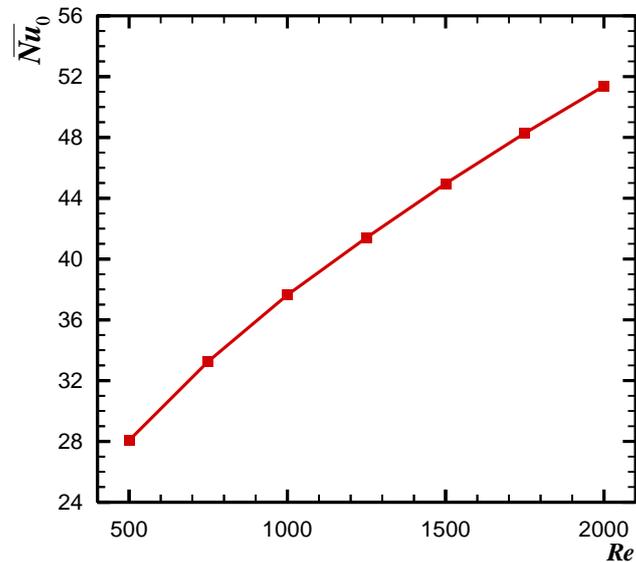


Figura 3 – Número de *Nusselt* médio.

As linhas de corrente para o escoamento com $Re = 1000$ são mostradas na Fig. 4.

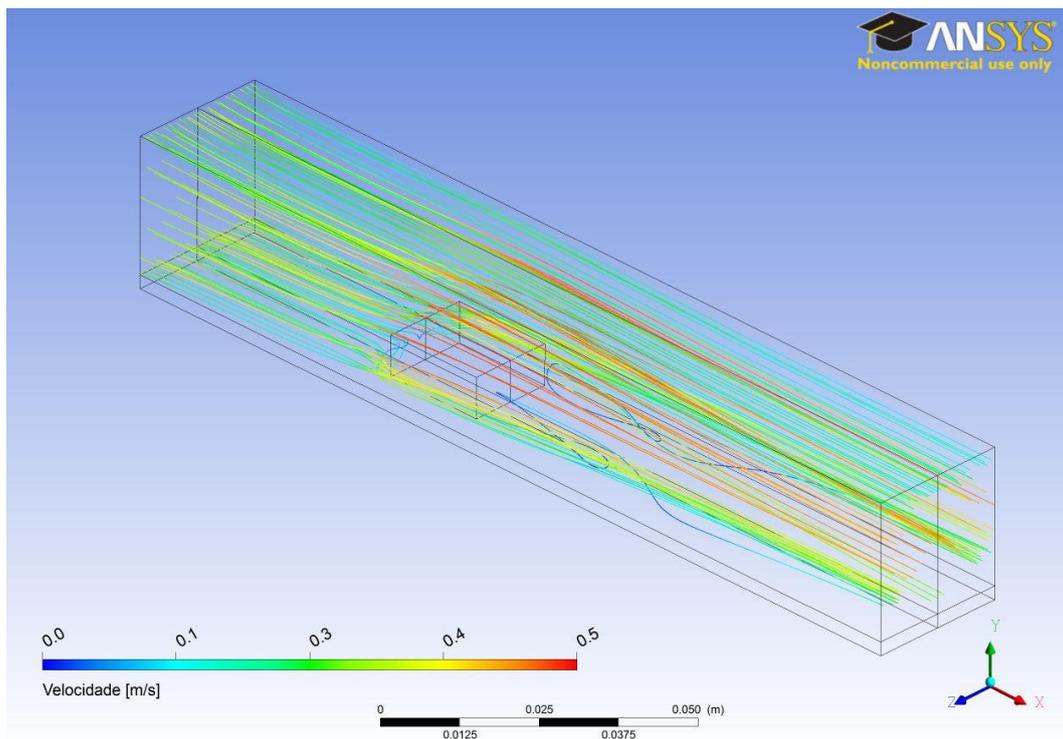


Figura 4 – Linhas de corrente para $Re = 1000$.

O perfil de velocidades no plano xy considerando $z = 0$ para $Re = 1000$ é apresentado na Fig. 5. As características principais do escoamento sobre o aquecedor protuberante consistiram de uma pequena recirculação a montante e de uma grande recirculação na região a jusante. No canto inferior da face vertical a montante do aquecedor, uma pequena recirculação no sentido horário foi observada. Esta recirculação aumentava com Re . Na região a jusante do aquecedor protuberante, devido ao recolamento do escoamento, uma grande recirculação no sentido horário foi formada. O comprimento desta recirculação aumentava com o número de *Reynolds*.

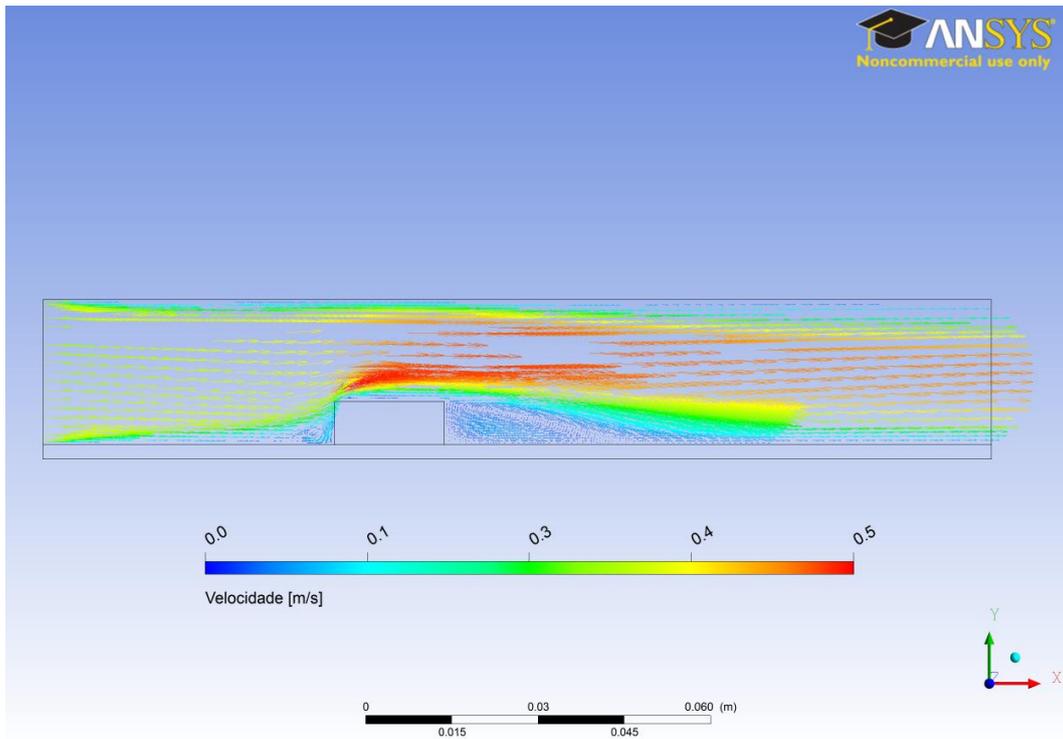


Figura 5 – Perfil de velocidade para $Re = 1000$ no plano xy considerando $z = 0$.

Os mapas das isotérmicas para $Re = 1000$ considerando os planos xy em $z = 0$, xz em $y = 0,1H$ e yz em $x = 2,375H$ são mostrados, respectivamente, nas Figs. 6, 7 e 8.

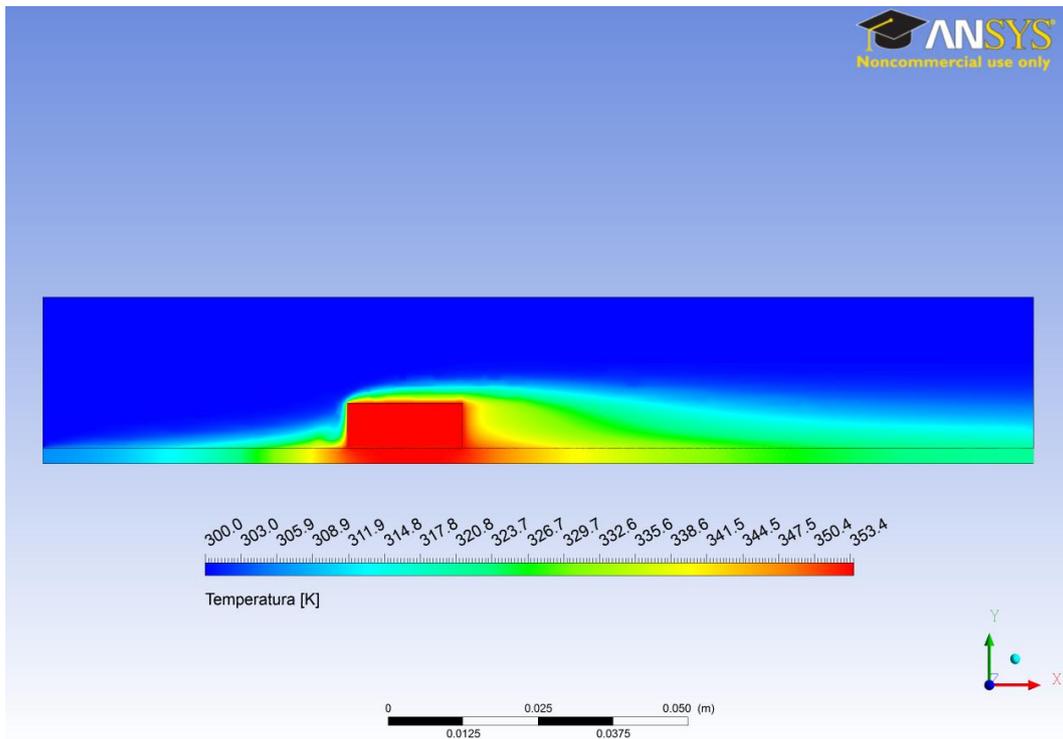


Figura 6 – Mapa de isotérmicas no plano xy considerando $z = 0$.

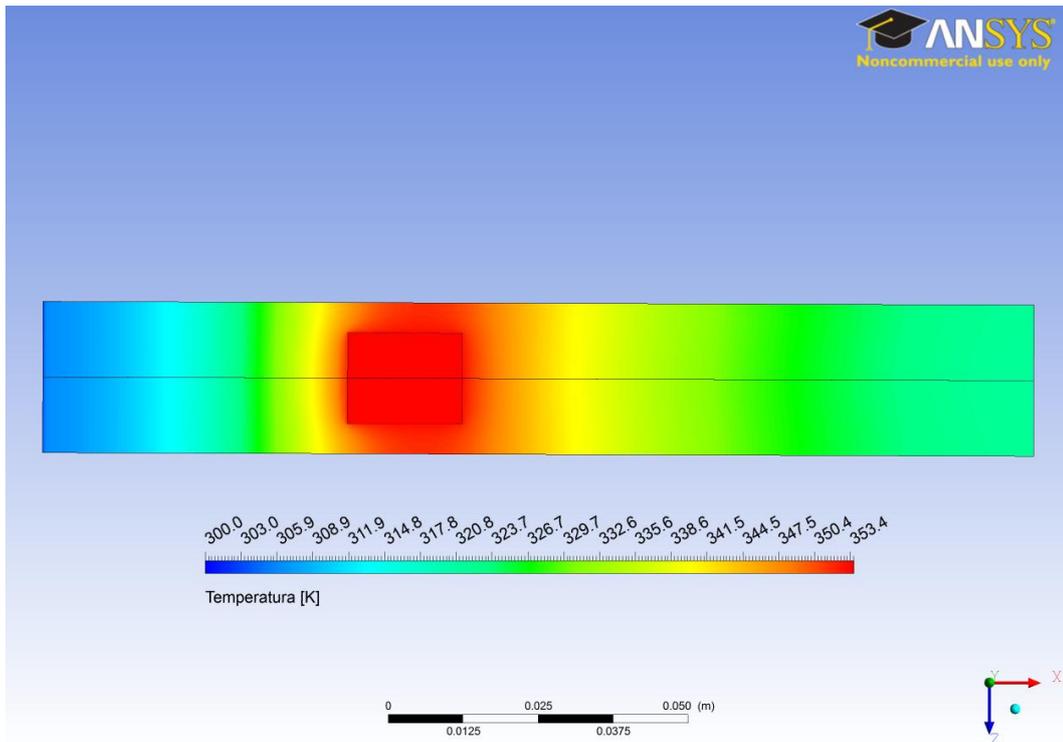


Figura 7 – Mapa de isotérmicas no plano xz considerando $y = 0,1H$.

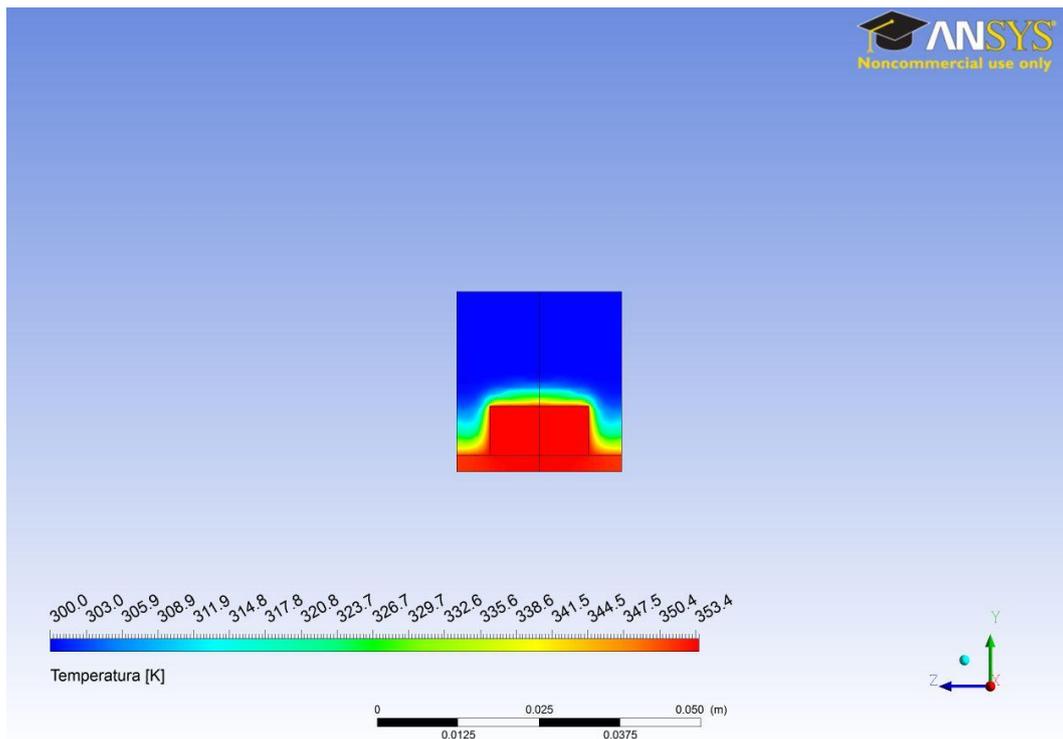


Figura 8 – Mapa de isotérmicas no plano yz considerando $x = 2,375H$.

Conclusões

O resfriamento conjugado por convecção forçada-condução de um aquecedor 3D protuberante montado em uma placa de circuito impresso em um canal de placas paralelas foi investigado numericamente utilizando o *software* comercial ANSYS/Fluent[®]. Uma taxa uniforme de geração de calor foi assumida no aquecedor protuberante e seu resfriamento ocorreu por meio de um escoamento laminar forçado com propriedades constantes sob condições de regime permanente. Na entrada do canal, os perfis de velocidade e de temperatura eram uniformes. Este problema está associado ao controle térmico de componentes eletrônicos montados em uma placa de circuito impresso – Nível 2 de empacotamento

eletrônico (Joshi & Nakayama, 2003). Além disso, ele depende de inúmeros parâmetros incluindo as propriedades termofísicas do fluido e do aquecedor, as condições do escoamento e térmicas, a geometria do canal e do aquecedor protuberante, e a posição do aquecedor no canal. Um conjunto destes parâmetros foi selecionado na presente investigação numérica. O comportamento do escoamento sobre o aquecedor protuberante foi indicado pelas linhas de corrente. As distribuições de temperatura também foram ilustradas. O controle térmico do aquecedor 3D protuberante foi beneficiado pelo resfriamento conjugado por convecção forçada-condução, conforme mostrado na Fig. 9 para o caso de $Re = 1000$.

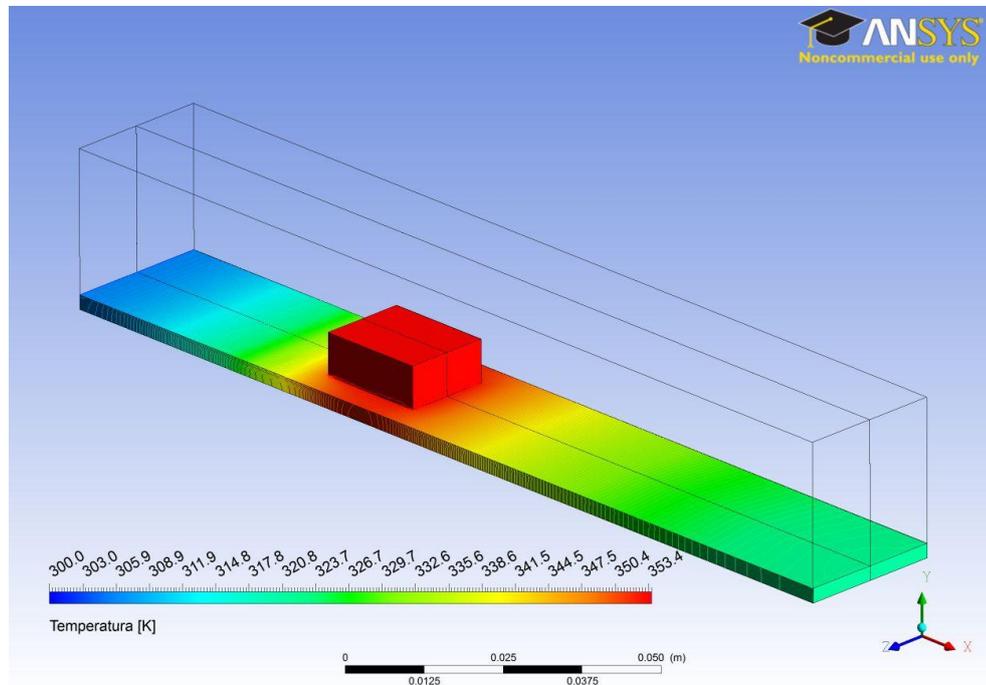


Figura 9 – Distribuição de temperatura no aquecedor protuberante e na placa de circuito impresso para $Re = 1000$.

Agradecimentos

Os autores externam agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Campus Ponta Grossa.

Referências Bibliográficas

- Alves, T.A., “Resfriamento conjugado de aquecedores discretos em canais”, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 129p, 2010.
- Alves, T.A. and Altemani, C.A.C., “An Invariant Descriptor for Heaters Temperature Prediction in Conjugate Cooling”, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 58, pp. 92-101, 2012.
- Bar-Cohen, A., Watwe, A.A. & Prasher, R.S., “Heat Transfer in Electronic Equipment.” In: Bejan, A. & Kraus, A.D. (Eds.). *Heat Transfer Handbook*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, Chap. 13, pp. 947-1027, 2003.
- Davalath, J. and Bayazitoglu, Y., “Forced Convection Cooling across Rectangular Blocks”, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 109, pp. 321-328, 1987.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L. e Lavine, A.S., “Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa”, Livros Técnicos E Científicos Editora, Rio De Janeiro, RJ, Brasil, 644 p, 2008.
- Joshi, Y. & Nakayama, W. “Forced Convection: External Flows.” In: Bejan, A. & Kraus, A.D. (Eds.). *Heat Transfer Handbook*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, Chap. 6, pp. 653-661, 2003.
- Patankar, S.V., “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow”, Hemisphere Publishing Corporation, New York, USA, 197 p., 1980.
- Ramadhani, S., Moffat, D.F. and Incropera, F.P., “Conjugate Heat Transfer from Small Isothermal Heat Sources Embedded in a Large Substrate”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 28, pp. 1945-1952, 1985.
- Zeng, Y. and Vafai, K., “An Investigation of Convective Cooling of an Array of Channel-Mounted Obstacles”, *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 55, pp. 967-982, 2009.