

Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Engenharia

Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Disciplina: EMT873 - Modelamento térmico e fluidodinâmico aplicado a sistemas metalúrgicos

Simulação de escoamento e transferência de calor em duto cilíndrico

Dickson Alves de Souza

Professor Roberto Parreiras Tavares

Belo Horizonte, 07 de Dezembro de 2017

O Problema

- Escoamento laminar

$$Re = 100 < Re^* = 2100$$

- Fluxo de calor constante pelas paredes do duto

$$q = 100 \text{ W/m}^2$$

PROPRIEDADES FÍSICAS:

$$\rho = 1 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,002 \text{ kg / (m.s)}$$

$$C_p = 1006,43 \text{ J / (kg.K)}$$

$$k = 0,0242 \text{ W/(m.K)}$$

CONDIÇÕES DE CONTORNO

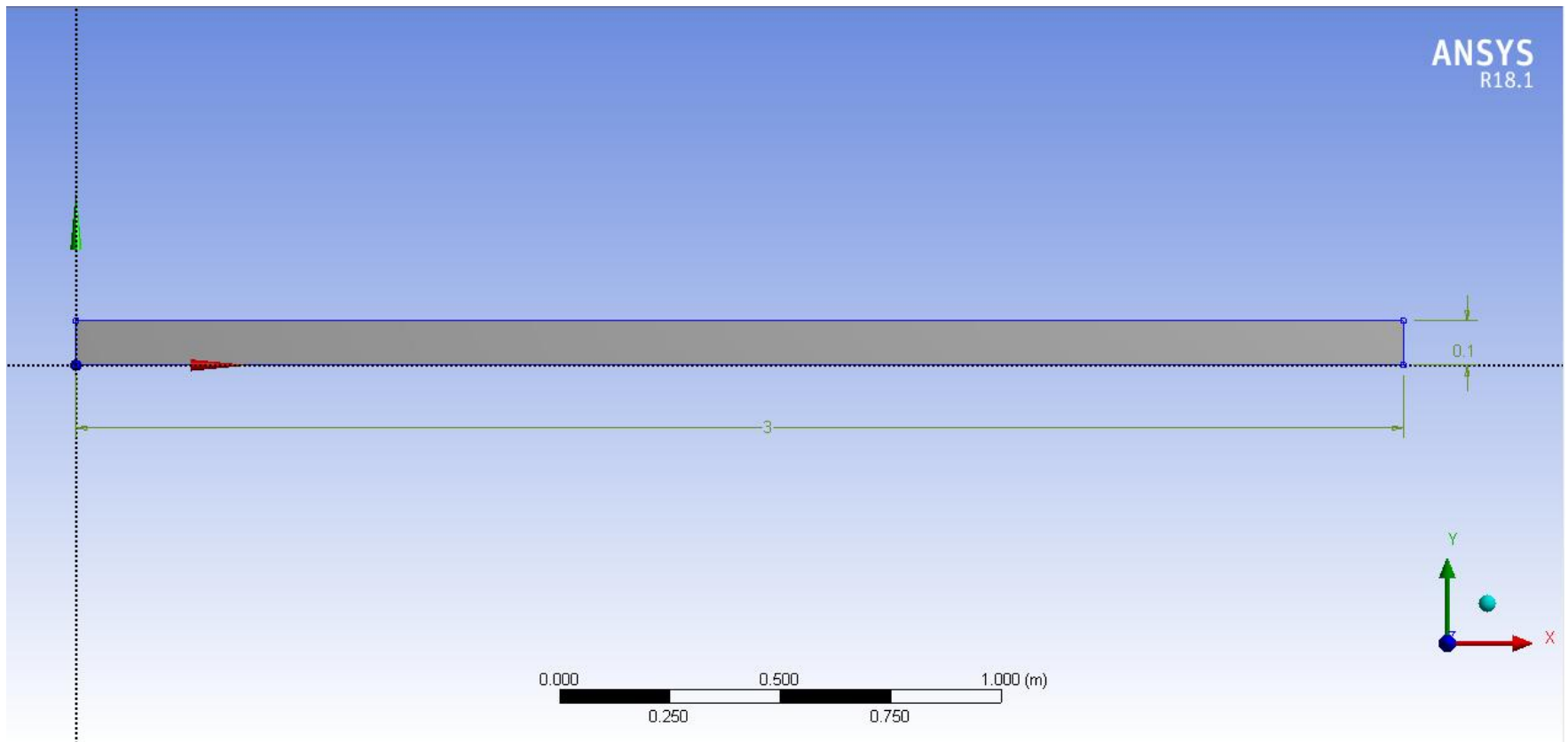
FLUIDODINÂMICAS:

$$v = 1 \text{ m/s na entrada do duto}$$

$$p = 1 \text{ atm na saída do duto}$$

O Problema

Geometria



Solução analítica do escoamento

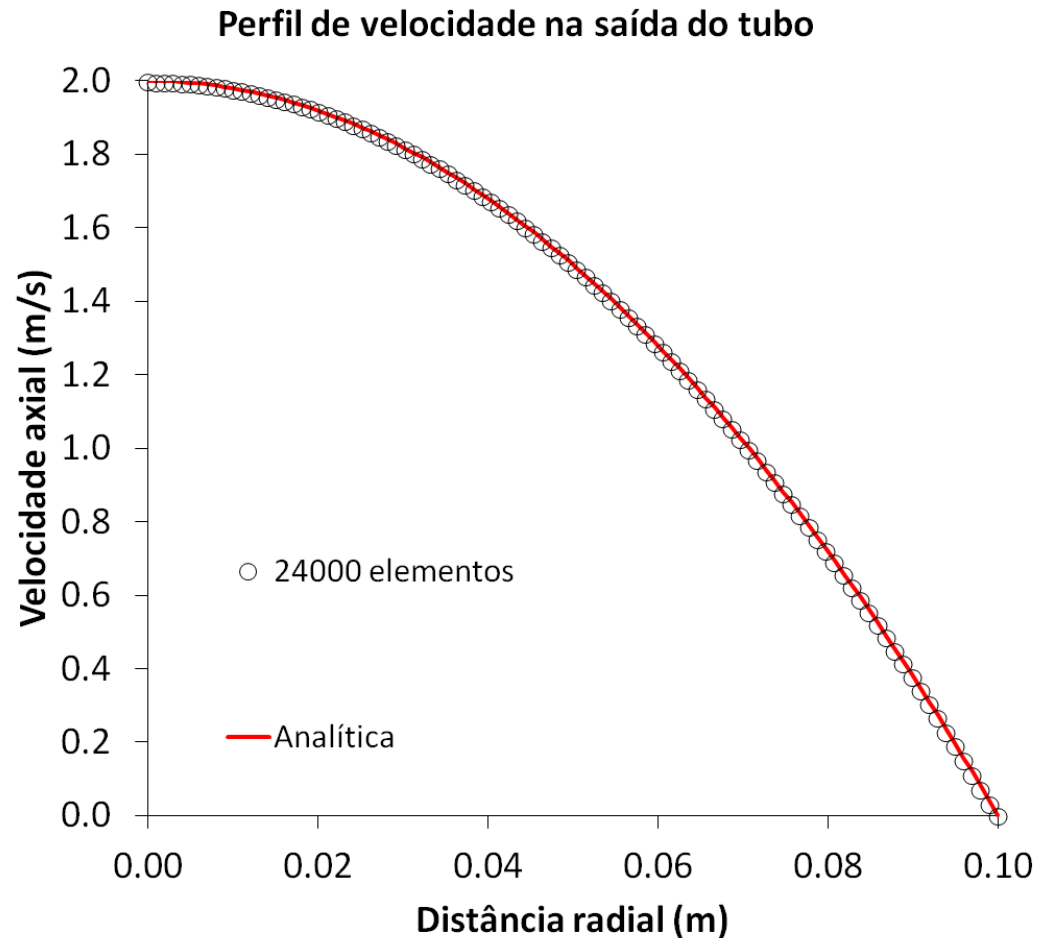
- Os fenômenos de entrada desaparecem após:

$$Le = 0,035 \cdot D \cdot Re = 70 \text{ cm}$$

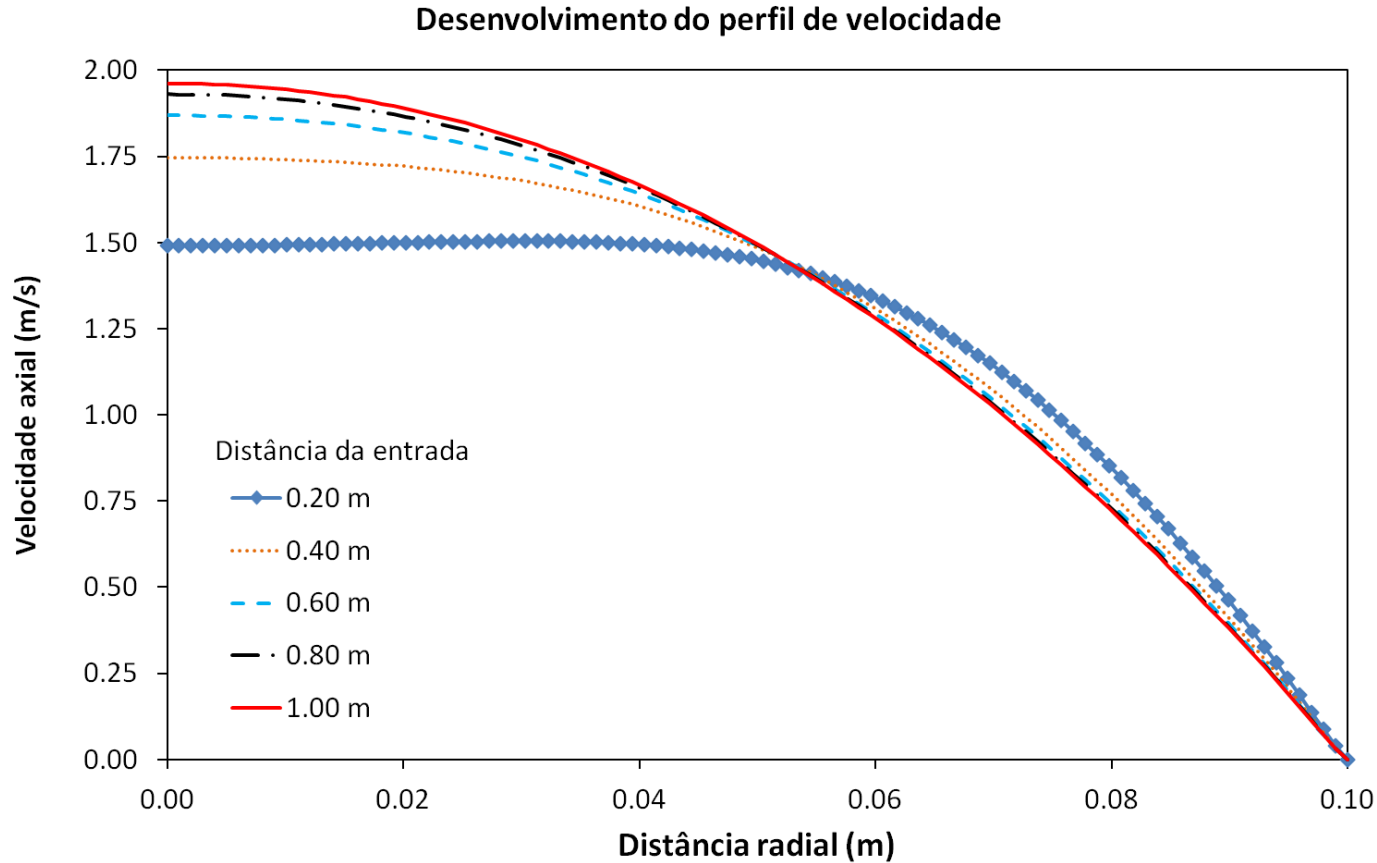
- O perfil de velocidade é parabólico e descrito por:

$$\frac{v}{2\bar{v}} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

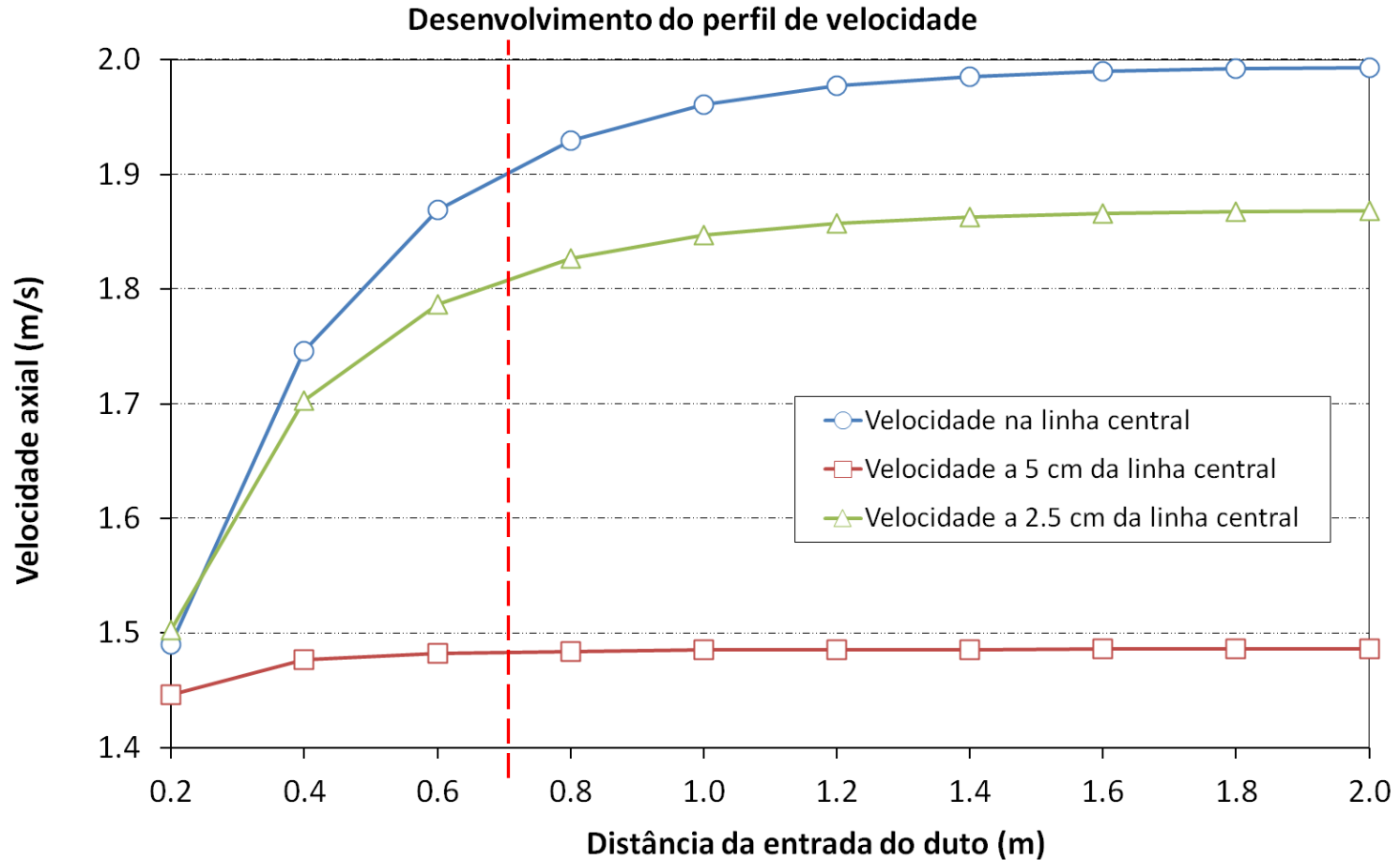
Solução analítica do escoamento



Desenvolvimento do perfil de velocidade



Desenvolvimento do perfil de velocidade



A previsão teórica indica que o perfil estaria plenamente desenvolvido após 70 cm

Solução analítica da transferência de calor

$$\Theta(\xi, \zeta) = 4\zeta + \xi^2 - \frac{1}{4}\xi^4 - \frac{7}{24}$$

$$\Theta = \frac{T - T_1}{q_0 R / k}$$

*Temperatura
adimensional*

$$\zeta = \frac{z}{\rho \hat{C}_p v_{z,max} R^2 / k}$$

Distância axial adimensional

$$\xi = \frac{r}{R}$$

Distância radial adimensional

Solução analítica da transferência de calor

$$\zeta = \frac{z}{\rho \hat{C}_p v_{z,max} R^2 / k}$$

Segundo Bird, Steward e Lightfoot (2002, p. 315), a solução analítica prediz temperaturas para $\zeta > 0,1$ com precisão de 2%. Porém a distância radial adimensional é inferior a esse valor mesmo para a extremidade do duto

$$\zeta = \frac{3,0 \text{ m} \cdot 0,0242 \frac{W}{m \cdot K}}{1 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1006,43 \text{ J}}{kg \cdot K} \cdot 2 \frac{m}{s} \cdot 0,1^2 m^2}$$

$$\zeta = 3,61 \cdot 10^{-3}$$

Teste de independência de malha


- Malhas quadradas sucessivamente mais refinadas:

- 5 cm (120 elementos)
- 2 cm (750 elementos)
- 1 cm (3000 elementos)



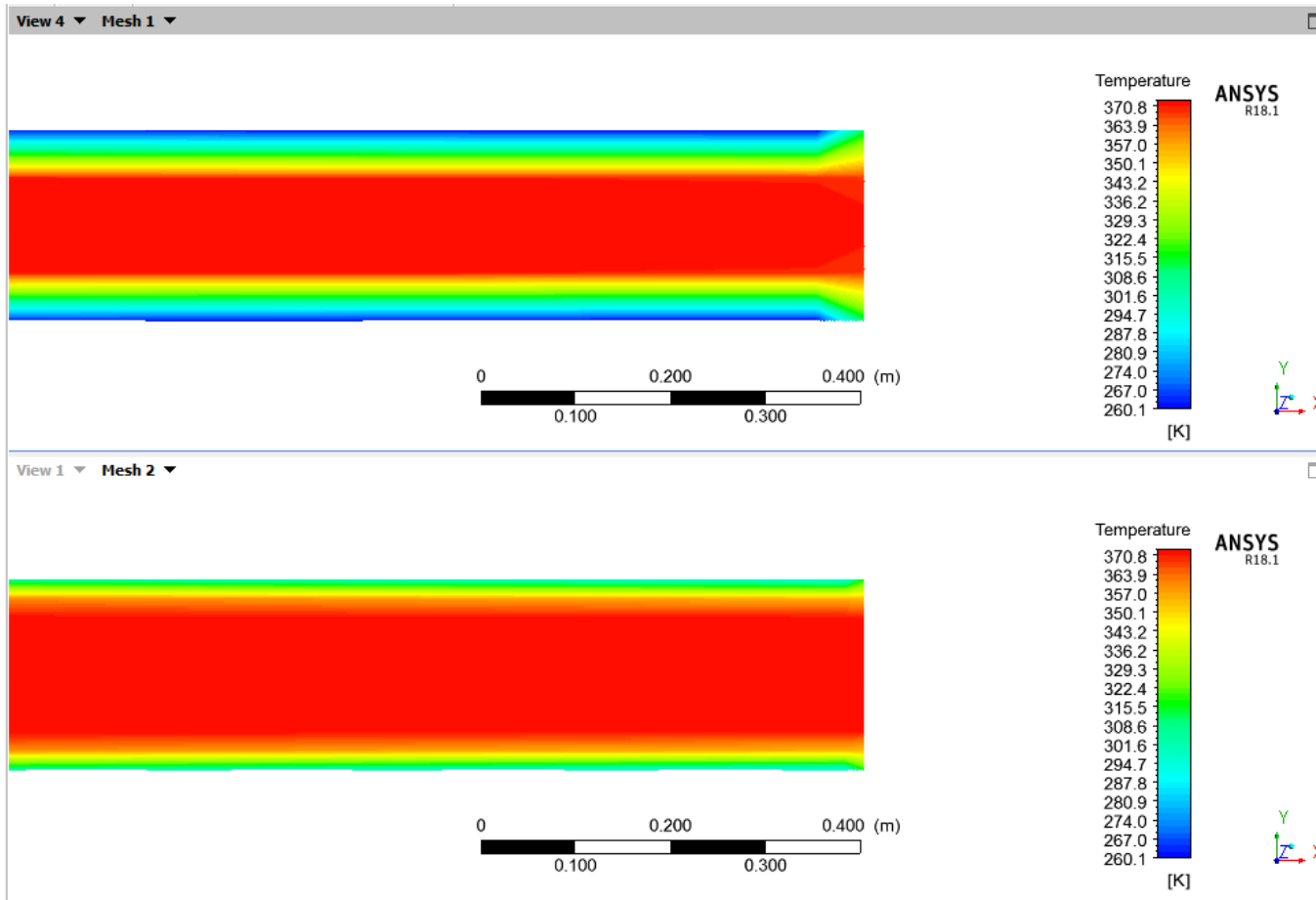
Melhora a solução

- 0,5 cm (12000 elementos)
- 0,25 cm (24000 elementos)



*Sem dúvida:
Melhora a solução
Mas:
Diferença pouco perceptível*

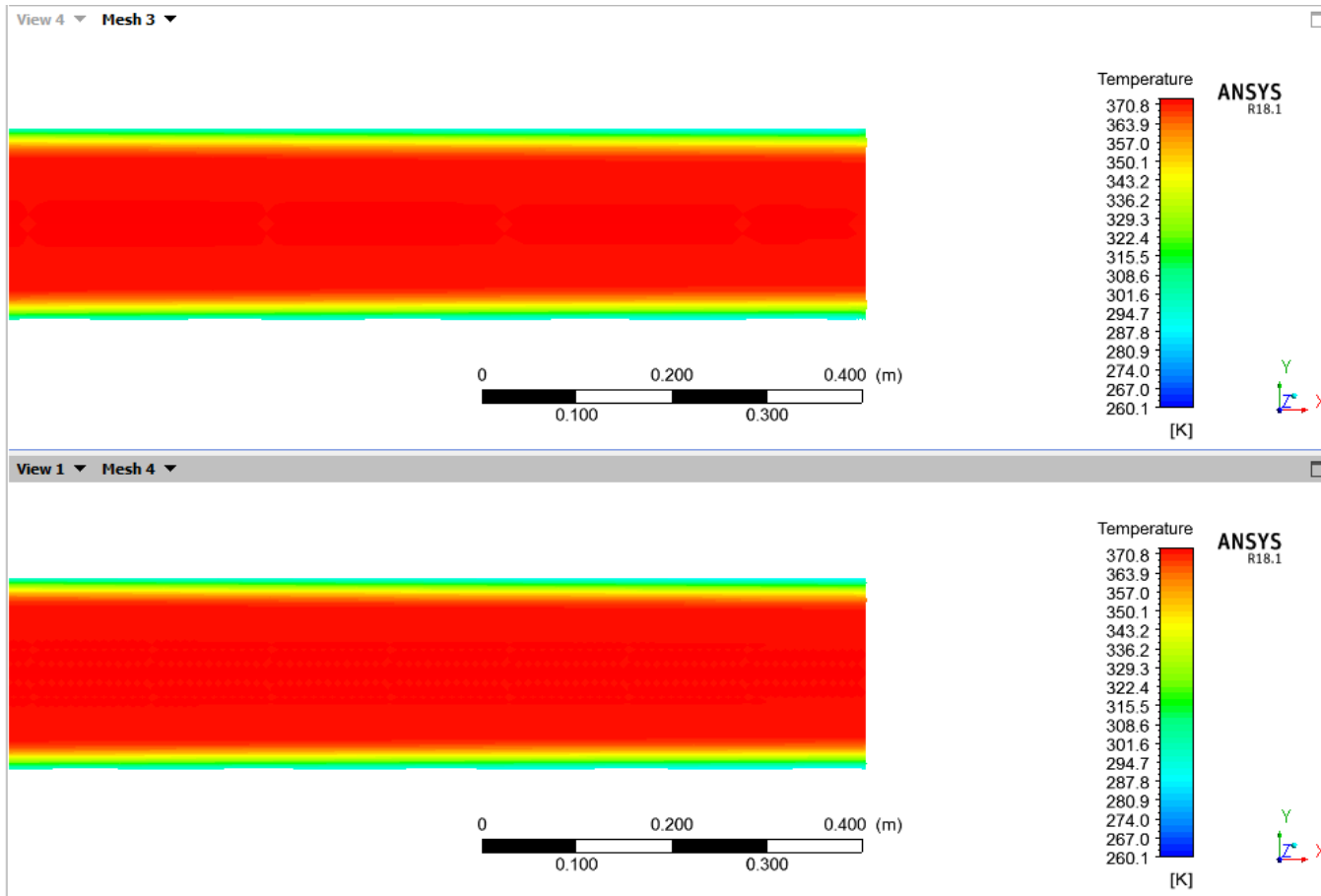
Teste de independência de malha



120 elementos

750 elementos

Teste de independência de malha

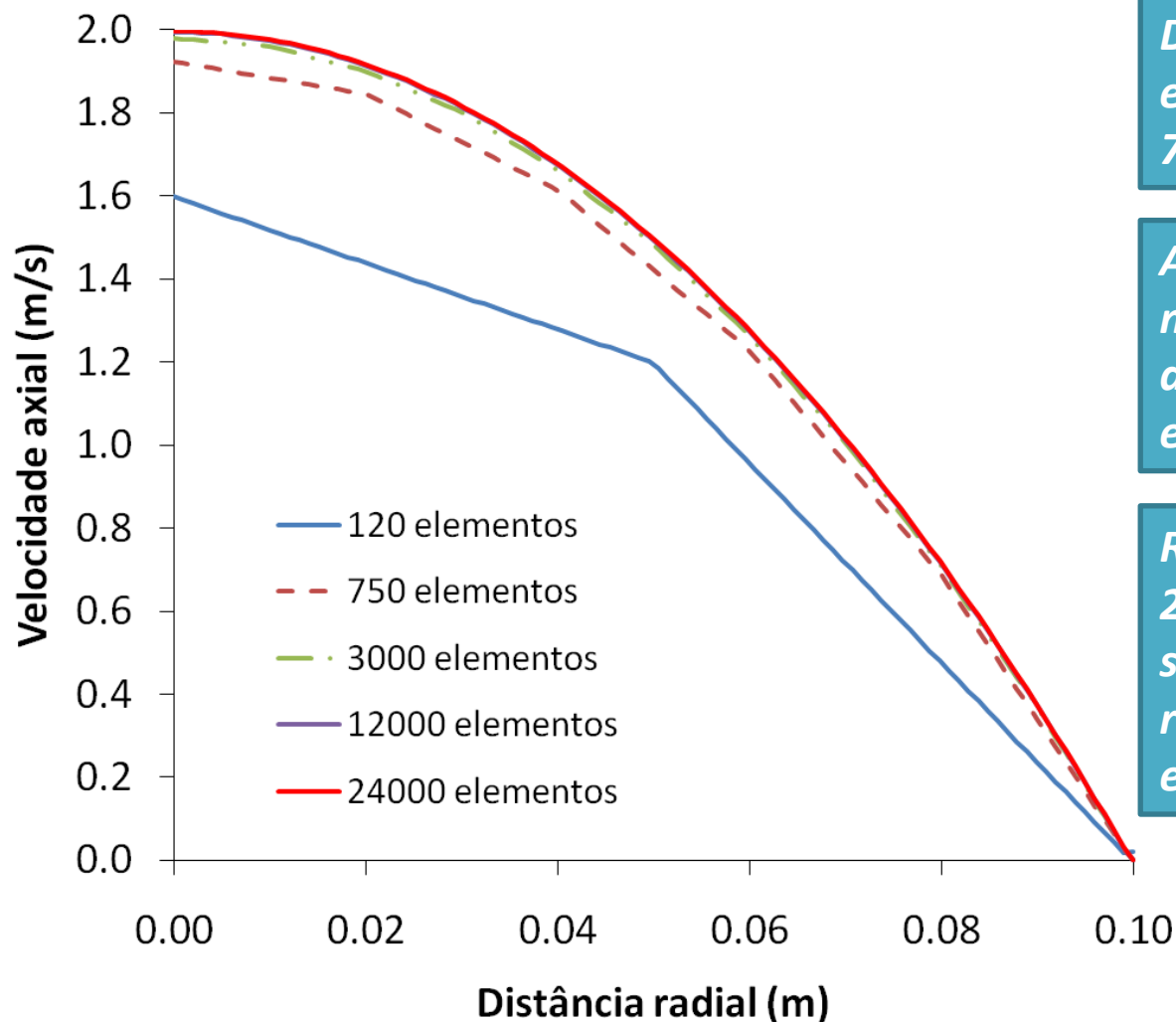


3000 elementos

12000 elementos

Teste de independência de malha

Perfil de velocidade na saída do tubo

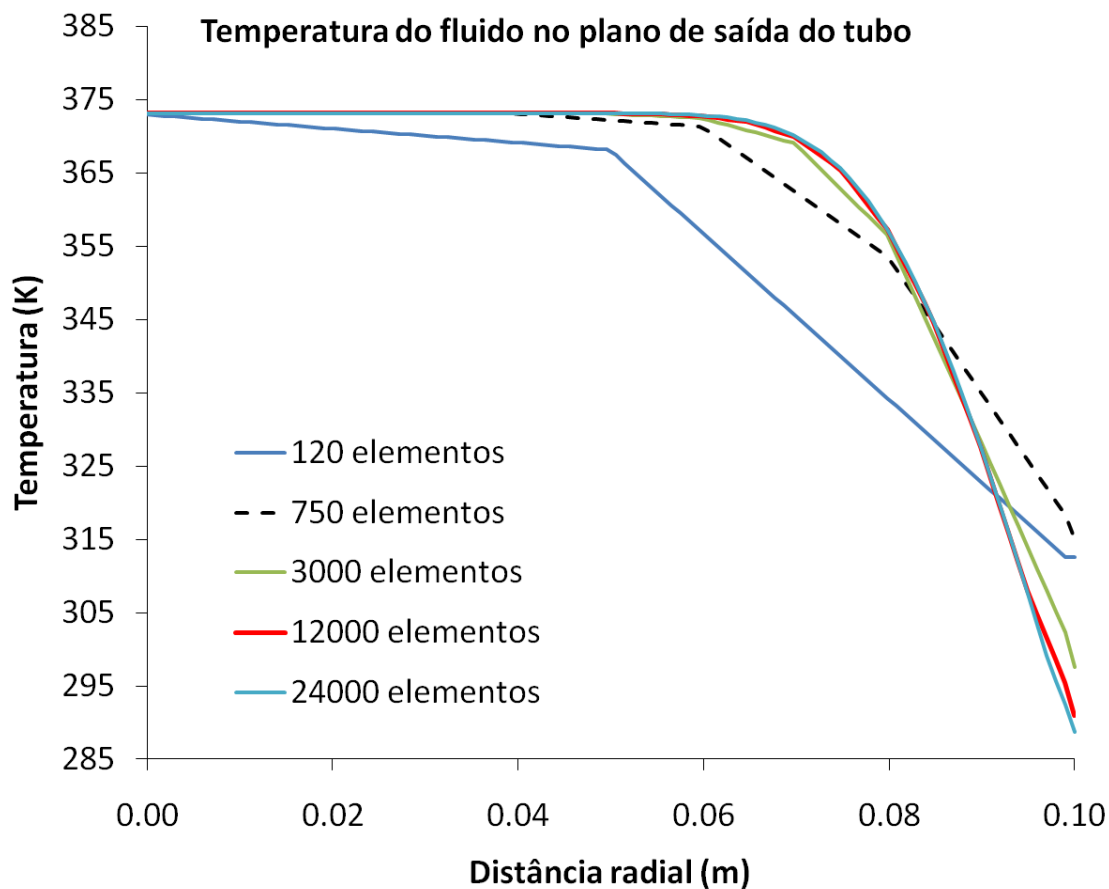


Diferenças significativas entre as malhas de 120 e 750 elementos.

Ainda é possível notar melhoria da solução ao aumentar para 3000 elementos.

Resultados para 12000 e 24000 elementos estão superpostos e é difícil reconhecer diferença nessa escala

Teste de independência de malha



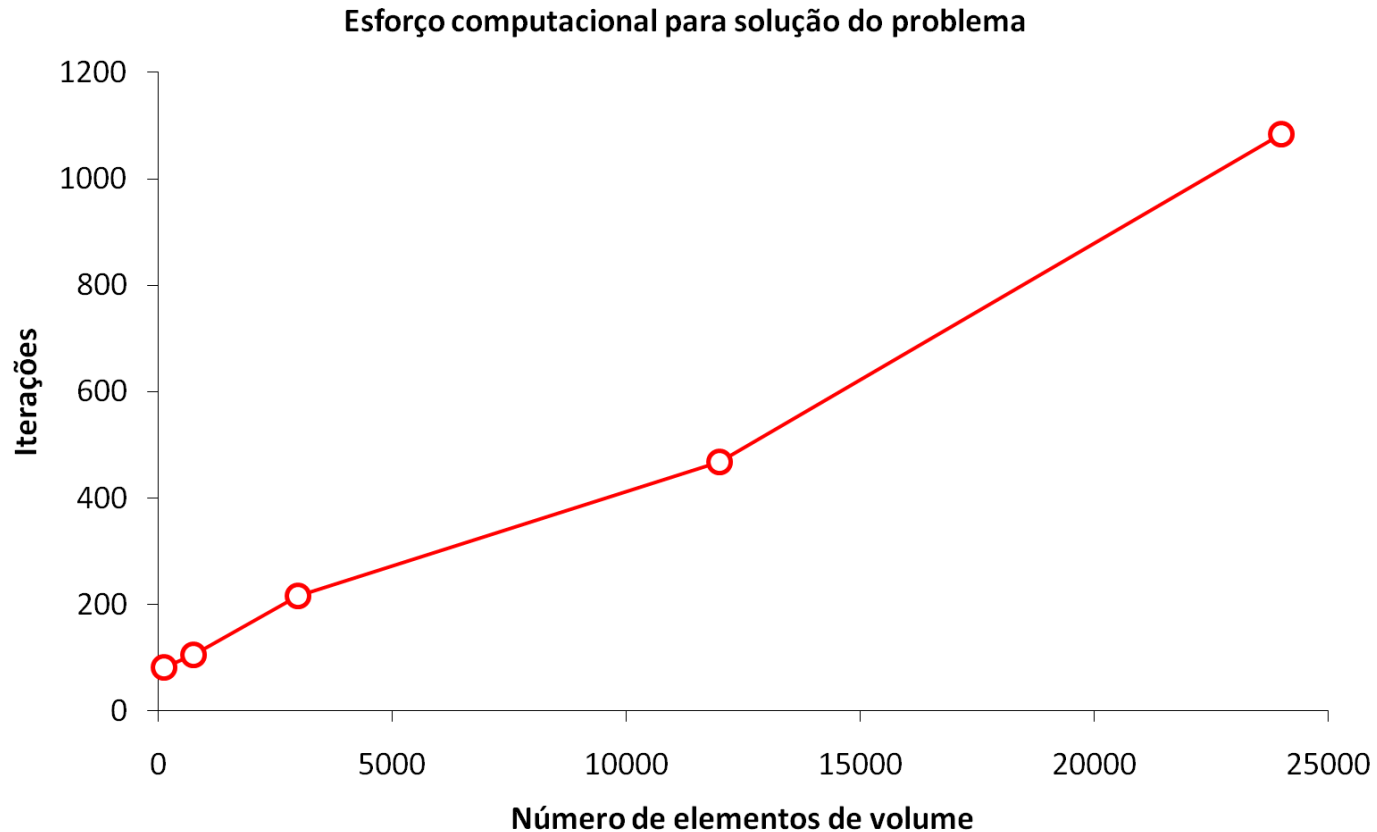
Diferenças significativas entre as malhas de 120 e 750 elementos.

Ainda é possível notar melhoria da solução ao aumentar para 3000 elementos.

Resultados para 12000 e 24000 elementos estão superpostos e é difícil reconhecer diferença nessa escala

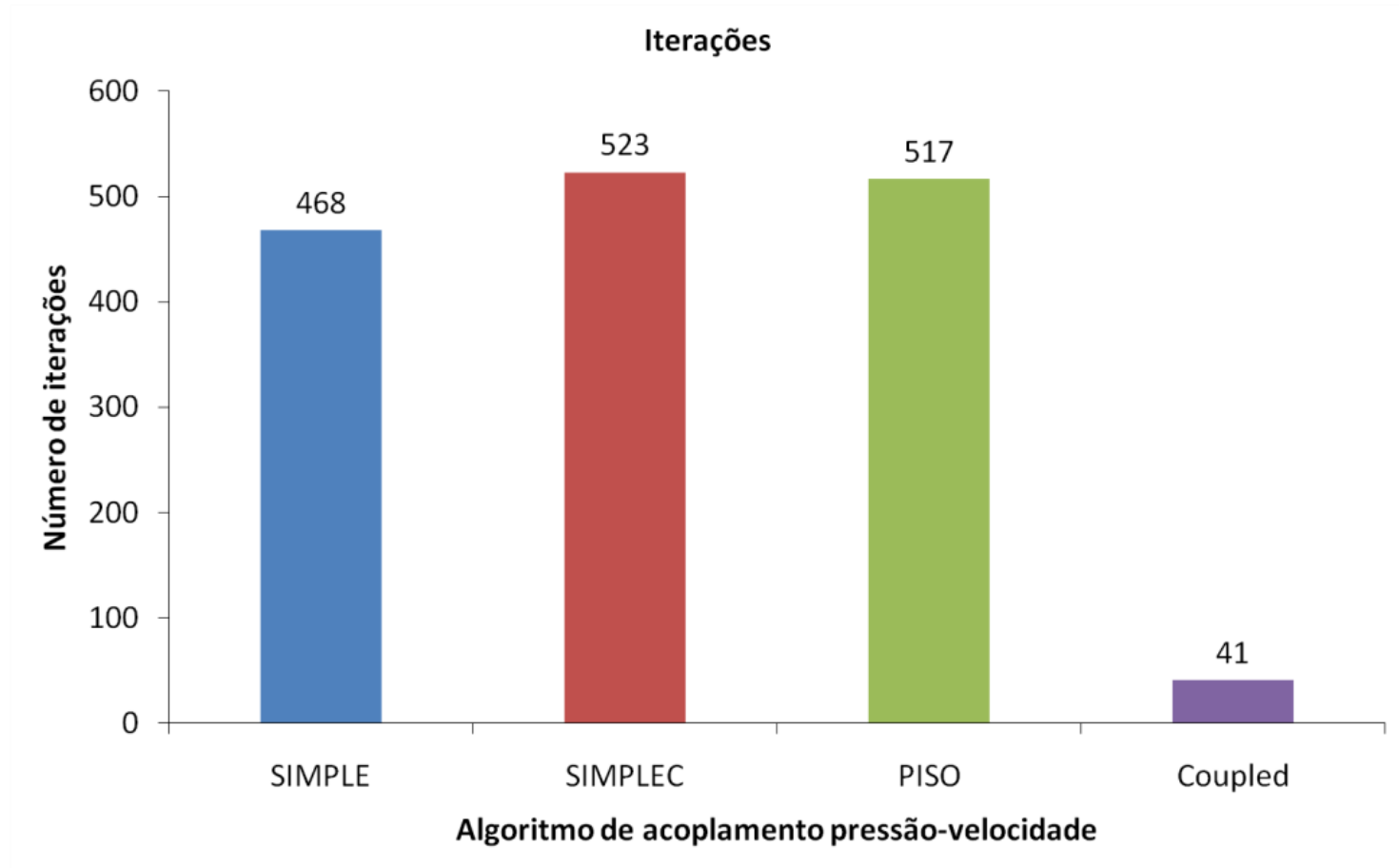
Pequenas diferenças no perfil próximo à parede do duto para malhas com mais de 12000 elementos

Teste de independência de malha



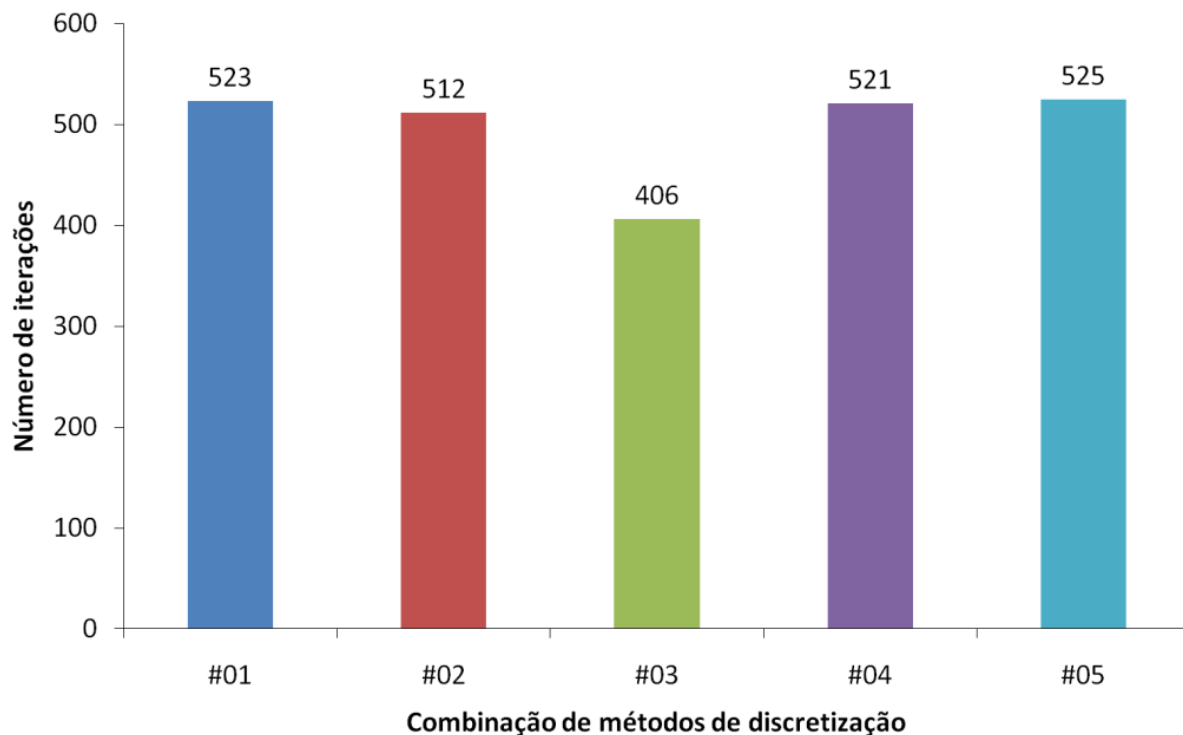
Fator de decisão: esforço computacional! Crescimento do número de iterações é aproximadamente linear com o tamanho da malha

Efeito das configurações do Solver



Efeito sobre a velocidade de convergência; Pouco perceptível sobre os resultados.

Efeito das configurações do Solver



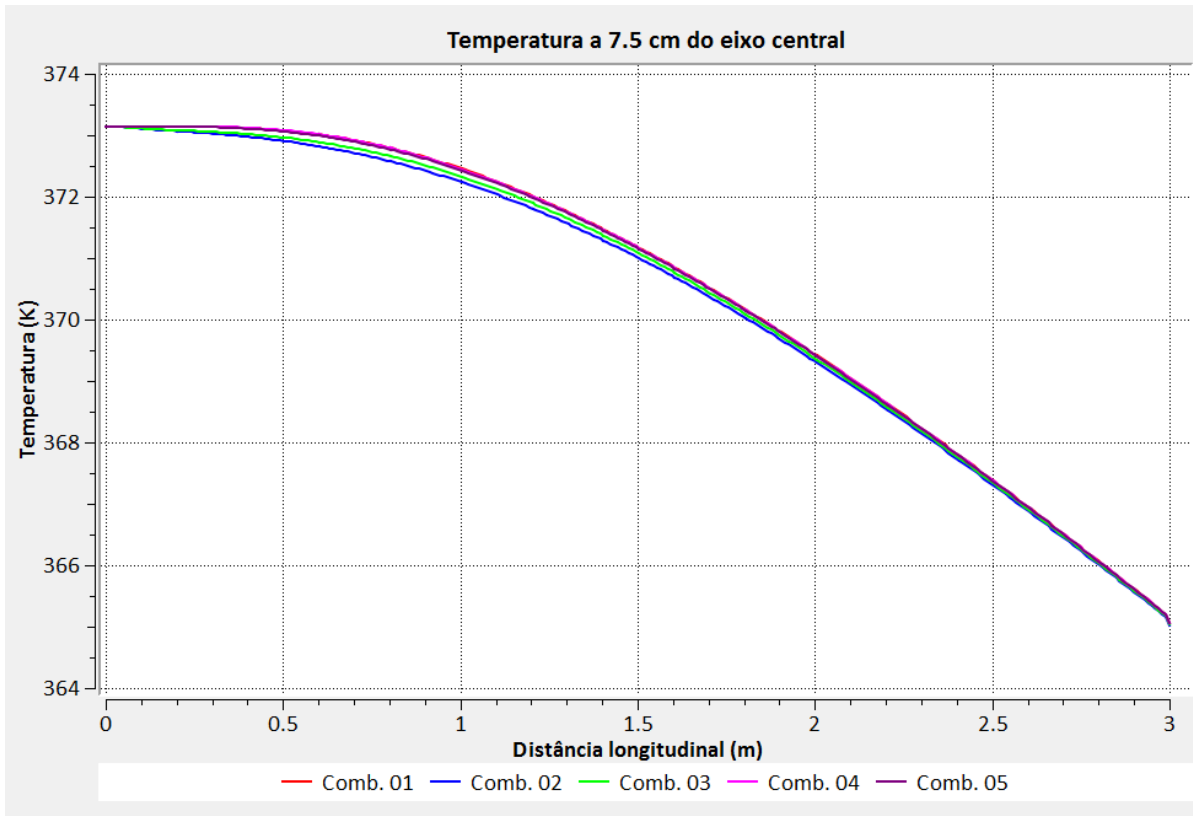
Efeito perceptível sobre a velocidade de convergência

Diferença pouco significativa sobre os resultados para essa classe de problemas

Tabela 1: Combinações de métodos de discretização espacial

	Combinação #01	Combinação #02	Combinação #03	Combinação #04	Combinação #05
Pressão	Second Order	Standard	Linear	PRESTO!	Linear
Momentum	Second Order Upwind	First Order Upwind	Power Law	QUICK	Third-Order MUSCL
Energia	Second Order Upwind	First Order Upwind	Power Law	QUICK	Third-Order MUSCL

Efeito das configurações do Solver



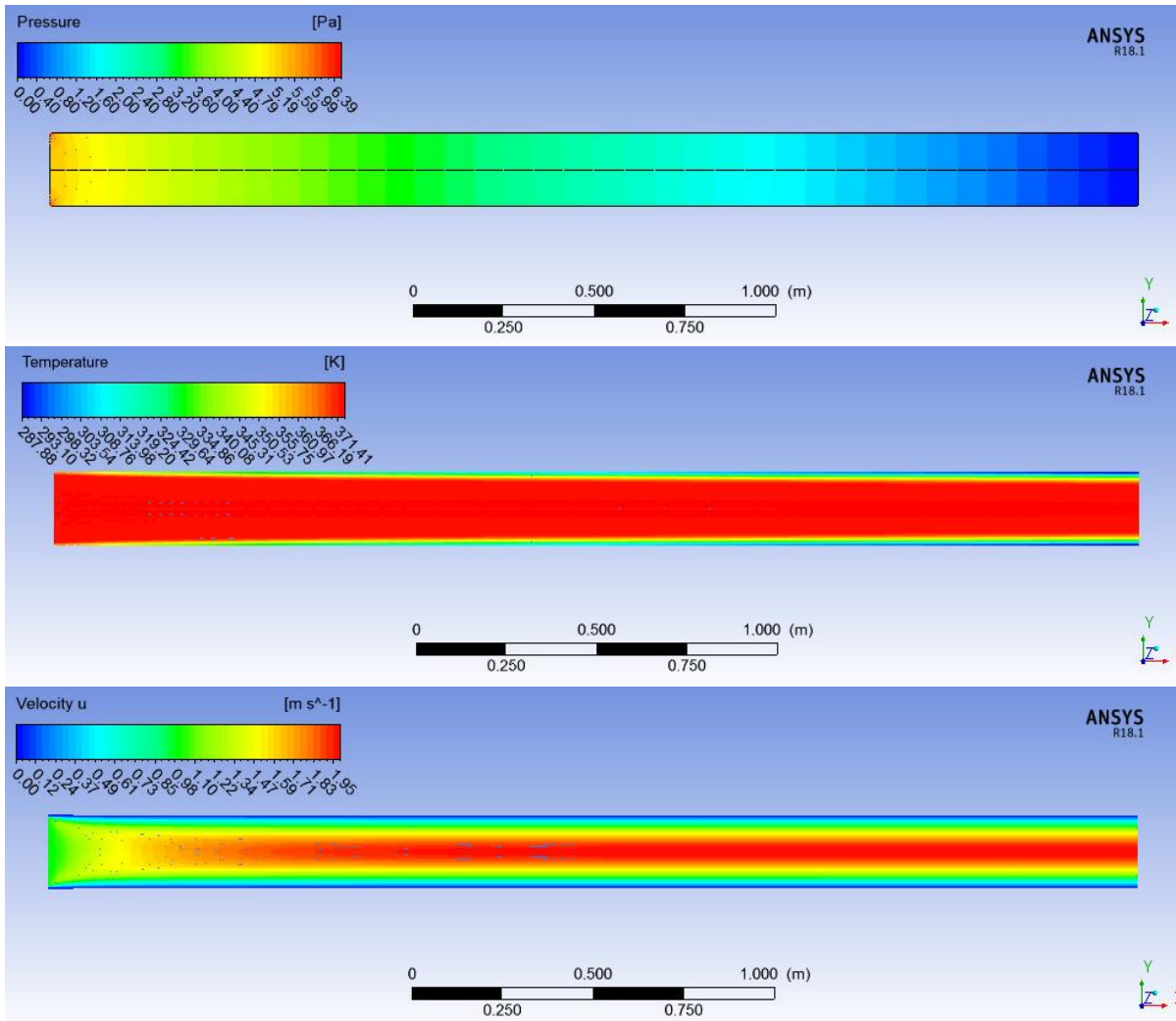
Efeito perceptível sobre a velocidade de convergência

Diferença pouco significativa sobre os resultados para essa classe de problemas

Tabela 1: Combinações de métodos de discretização espacial

	Combinação #01	Combinação #02	Combinação #03	Combinação #04	Combinação #05
Pressão	Second Order	Standard	Linear	PRESTO!	Linear
Momentum	Second Order Upwind	First Order Upwind	Power Law	QUICK	Third-Order MUSCL
Energia	Second Order Upwind	First Order Upwind	Power Law	QUICK	Third-Order MUSCL

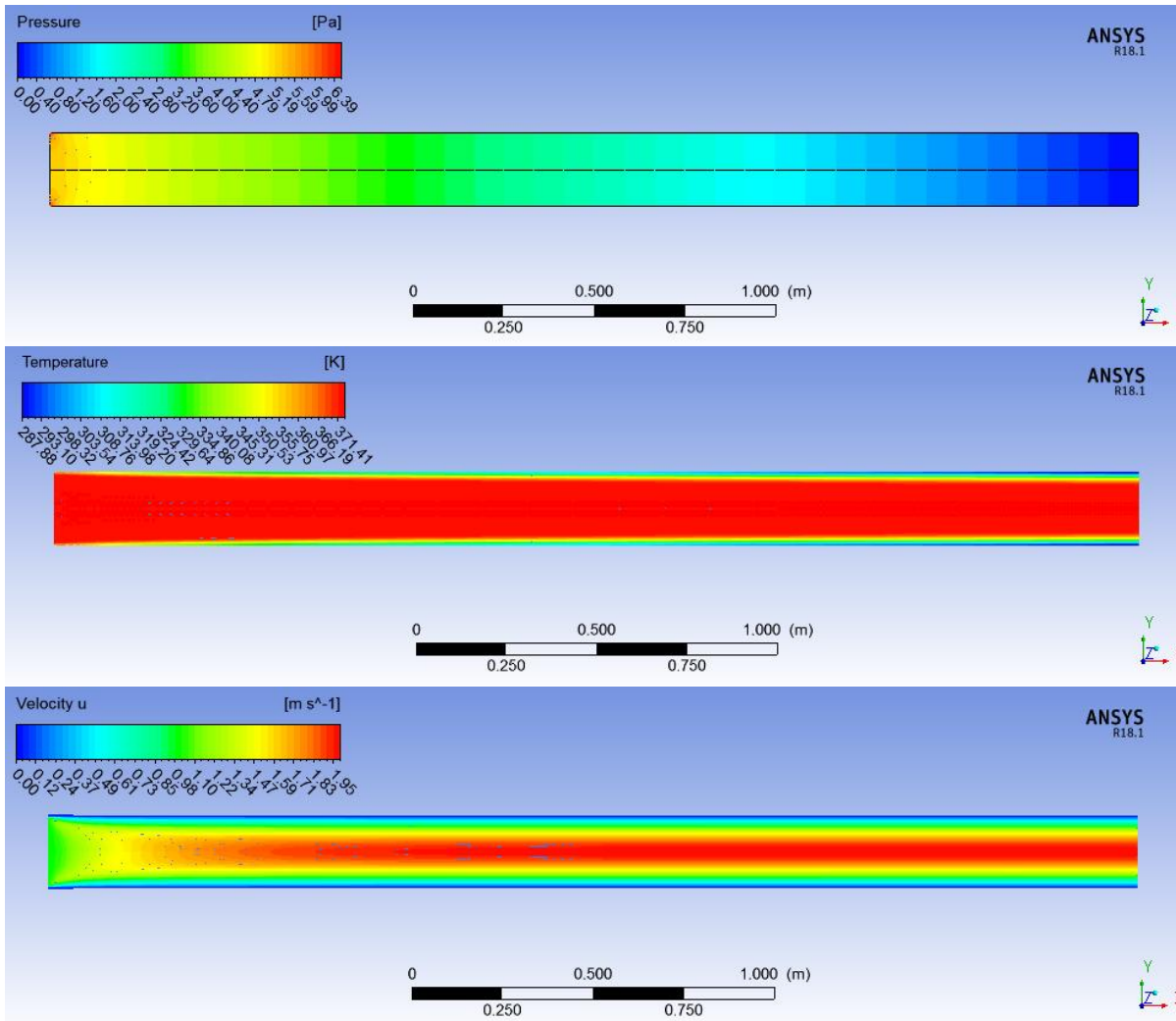
Conclusões



Campo de pressão e de velocidades não são alterados pela introdução do fenômeno de transferência de calor

Perfil parabólico predito é observado nos resultados da simulação numérica

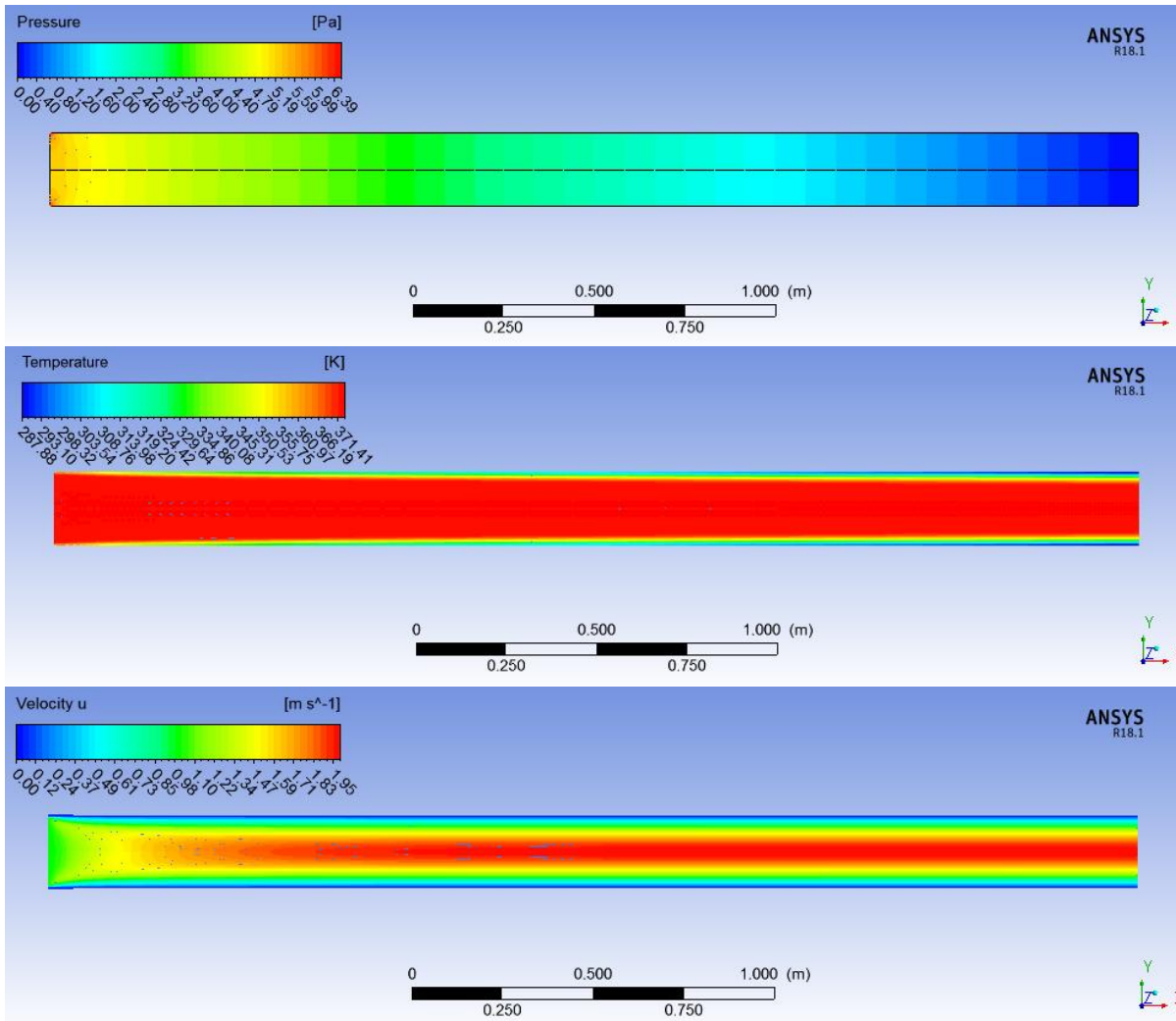
Conclusões



Diferença de temperatura entre a linha central e a parede chega a $\sim 90^\circ\text{C}$

Após refino de malha, poucas diferenças são perceptíveis nos resultados quando configurações do Solver são alteradas.

Conclusões



A diferença mais marcante é a maior velocidade de convergência para o acoplamento COUPLED