

# Simulação de Fluxo Laminar em Canal Retangular 3D: Um Estudo de Convergência de Malha

Seu Nome Completo

13 de outubro de 2025

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução e Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Descrição do Problema e Metodologia</b>	<b>2</b>
2.1	Descrição do Problema Físico . . . . .	2
2.2	Parâmetros de Estudo . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>3</b>
3.1	Perfis de Velocidade . . . . .	3
3.2	Análise de Convergência de Malha . . . . .	3
3.3	Influência da Vazão e do Fluido . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Conclusão</b>	<b>4</b>

# 1 Introdução e Objetivos

Nesta seção, descreva o contexto do trabalho [1].

- Apresente a importância do estudo de escoamentos em microcanais.
- Mencione as aplicações (por exemplo, microfluídica, MEMS, etc.).
- Defina claramente os objetivos deste relatório, como comparar resultados numéricos com a solução teórica de Bruus [1], avaliar a influência do refinamento de malha, da vazão e do fluido sobre a solução numérica.

## 2 Descrição do Problema e Metodologia

### 2.1 Descrição do Problema Físico

O problema consiste no escoamento laminar, incompressível e estacionário de um fluido em um canal retangular tridimensional.

**Geometria:** O canal possui comprimento  $L = 2$  cm e seção transversal quadrada com largura  $W = 100 \mu\text{m}$  e altura  $H = 100 \mu\text{m}$ .

**Condições de Contorno:**

- **Entrada:** Perfil de velocidade uniforme com vazão prescrita.
- **Saída:** Pressão de referência zero.
- **Paredes:** Condição de não-deslizamento (no-slip,  $\vec{u} = 0$ ).

### 2.2 Parâmetros de Estudo

**Fluidos:** As simulações foram realizadas para dois fluidos distintos, cujas propriedades a 20°C estão listadas na Tabela 1:

Tabela 1: Propriedades dos fluidos utilizados.

Fluido	Densidade $\rho$ [kg/m³]	Viscosidade $\mu$ [Pa·s]
Água	1000	$1.0 \times 10^{-3}$
Álcool Isopropílico	786	$2.04 \times 10^{-3}$

**Vazões e Número de Reynolds:** Foram investigadas quatro vazões volumétricas:  $Q = [1, 10, 100, 1000] \mu\text{L/min}$ . Para cada caso, o número de Reynolds  $Re$  foi calculado para verificar o regime laminar, usando a fórmula

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu},$$

onde  $U$  é a velocidade média no canal e  $D_h$  é o diâmetro hidráulico. Os resultados estão na Tabela 2.

Tabela 2: Vazões e números de Reynolds correspondentes para a água.

Vazão $Q$ [ $\mu\text{L}/\text{min}$ ]	Velocidade $U$ [m/s]	Número de Reynolds $Re$
1	...	...
10	...	...
100	...	...
1000	...	...

**Malhas:** Foram utilizadas quatro malhas com diferentes refinamentos (Coarse, Normal, Fine, Finer). As características de cada malha estão na Tabela 3.

Tabela 3: Características das malhas utilizadas no estudo.

Nível	Número de Elementos	Tamanho Médio da Célula [m]
Coarse	...	...
Normal	...	...
Fine	...	...
Finer	...	...

## 3 Resultados e Discussão

### 3.1 Perfis de Velocidade

Nesta seção, apresentamos os perfis de velocidade obtidos numericamente e comparamos com a solução teórica de Bruus. O perfil foi extraído na seção central do canal ( $x = L/2$ ).

Figura 1: Comparação entre os perfis de velocidade numéricos (para cada malha) e a solução teórica, para água com vazão de ...  $\mu\text{L}/\text{min}$ .

Aqui, discuta o que o gráfico mostra: se a solução numérica aproxima-se da teórica conforme a malha é refinada, onde diverge, etc.

### 3.2 Análise de Convergência de Malha

Para quantificar a precisão da solução, calculou-se o erro relativo para cada malha. A Figura 2 mostra o comportamento do erro em função do tamanho da malha (gráfico log-log), permitindo estimar a ordem de convergência.

Figura 2: Gráfico log-log do erro relativo em função do tamanho médio da célula.

Discuta: o erro diminui com o refinamento, e qual a ordem de convergência observada (linear, quadrática, etc.).

### 3.3 Influência da Vazão e do Fluido

Aqui, analise como a variação da vazão (e, conseqüentemente, do número de Reynolds) e a troca do fluido (viscosidade diferente) afetaram os resultados numéricos e a convergência.

## 4 Conclusão

Resuma os principais resultados obtidos. Por exemplo: - Os objetivos foram alcançados? - Qual foi a precisão da simulação em relação aos parâmetros estudados? - Quais limitações foram encontradas? - Sugira trabalhos futuros (por exemplo, estudo de não-linearidades, efeitos de instabilidade, diferentes geometrias, fluxo pulsátil, etc.).

## Referências

- [1] Henrik Bruus, *Theoretical Microfluidics*, Oxford University Press, 2008.