

Simulador Interativo de Escoamento em Tubos e Canais

1. Descrição

Objetivo Geral

O sistema desenvolvido permite calcular automaticamente o comportamento do escoamento em uma tubulação pressurizada. A ferramenta captura as variáveis fornecidas pelo usuário, processa as propriedades do fluido e aplica as equações clássicas da Mecânica dos Fluidos (continuidade, Bernoulli e Darcy–Weisbach), permitindo:

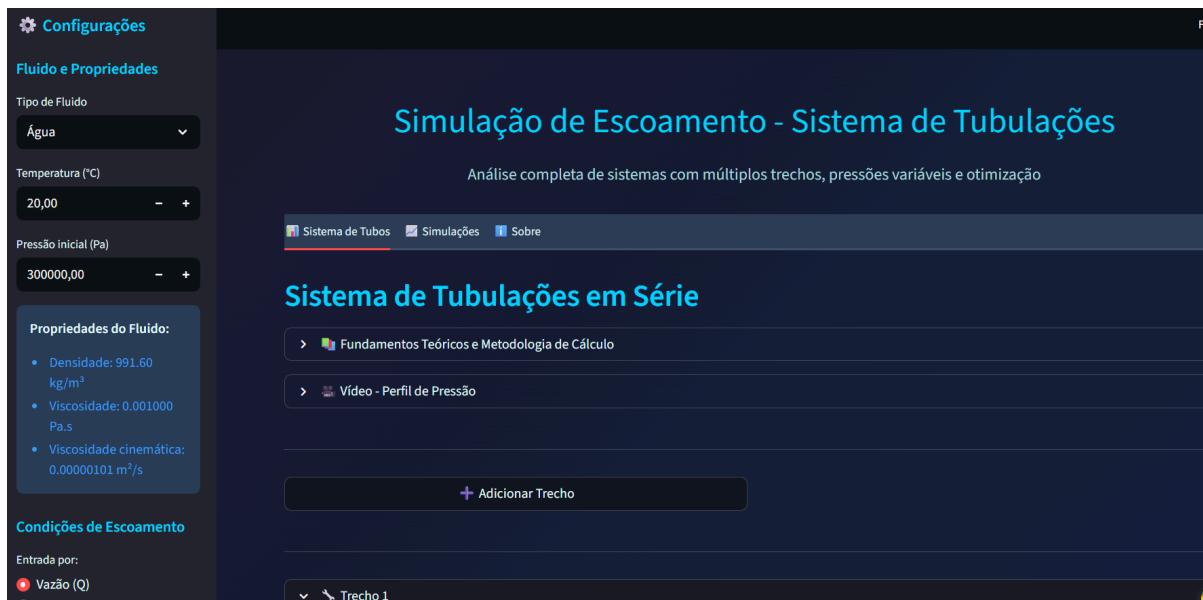
- Representar visualmente escoamentos internos e de canais abertos;
- Calcular parâmetros clássicos de dinâmica dos fluidos;
- Permitir ao estudante testar cenários reais;
- Gerar gráficos, relatórios e análises automáticas.

A seguir estão os principais dados que o sistema recebe e os resultados que disponibiliza.

Entradas do Sistema (Configurações Capturadas)

a) Fluido e Propriedades

- Tipo de fluido: **Água**
- Temperatura: **20 °C**
- Pressão inicial: **300 000 Pa**
- Propriedades físico-químicas calculadas automaticamente:
 - **Densidade:** 991,60 kg/m³
 - **Viscosidade dinâmica:** 0,001000 Pa·s
 - **Viscosidade cinemática:** $1,01 \times 10^{-6}$ m²/s



b) Condições de Escoamento

O usuário pode definir a entrada por:

- **Vazão (Q)**
- ou
- **Velocidade (V)**

No caso apresentado:

- Vazão fornecida: **0,01571 m³/s**

c) Parâmetros do Tubo

- Material: **Aço comercial**
- Rugosidade: **0,000045 m**
- Diâmetro interno: **0,10 m**
- Comprimento: **100 m**
- Desnível: **0,00 m**

d) Acessórios e Singularidades

O sistema permite incluir múltiplos elementos:

- Curvas
- Válvulas
- Tês
- Reduções
- Expansões
(com seus respectivos coeficientes de perda K)

Processamento Interno

O sistema realiza automaticamente:

- Cálculo do número de Reynolds
- Determinação do fator de atrito (f)
 - Colebrook, Swamee-Jain ou Moody conforme necessário
- Cálculo da perda de carga:
 - **Distribuída:** Darcy–Weisbach
 - **Localizada:** somatório de perdas singulares
- Cálculo da pressão final
- Cálculo da velocidade média no tubo
- Verificações de faixas recomendadas de velocidade (normas técnicas)

Resultados do Sistema

• Vazão do Sistema

- **0,01571 m³/s**
- **56,56 m³/h**

• Perda de Carga Total

- **3,79 m**

- Pressões

- Pressão inicial: **300,0 kPa (3,00 bar)**
- Pressão final: **263,2 kPa (2,63 bar)**

- Verificações

- Todas as velocidades estão dentro das faixas recomendadas para tubulações de água.

The screenshot shows a software interface for configuring a pipe segment. The top bar indicates 'Trecho 1'. The left panel, titled 'Parâmetros do Tubo', contains the following fields:

- Material: Aço comercial
- Rugosidade: 0.00004500 m
- Diâmetro (m): 0,10
- Comprimento (m): 100,00
- Desnível (m) - positivo se sobe: 0,00

The right panel, titled 'Acessórios e Singularidades', contains two sections:

- Geometria:** Contração, Expansão, Curvas 90°
- Válvulas:** Gaveta, Globo, Esfera, Retenção
- Tês:** Passagem direta, Lateral

Each checkbox in the 'Acessórios e Singularidades' section is currently unchecked.

- Detalhamento por Trecho

O sistema gera:

- perfil de velocidade,
- perdas distribuídas por seção,
- perdas localizadas por acessório,
- total acumulado ao longo do comprimento da tubulação.

Funcionalidades Principais

Visualizações //ve se precisa explicar melhor

Gráficos que mostram:

- A queda de pressão contínua desde a entrada até o ponto final.
- A queda por trecho.
- A perda de carga e velocidade vs vazão.
- Pressão de saída vs pressão de entrada.
- Comparação de materiais.
- Vídeo ilustrando o perfil da pressão.
- Figura do diagrama do princípio de Bernoulli.

Cálculos Clássicos

- Equação da continuidade;
- Equação de Bernoulli;
- Perdas de carga — Darcy–Weisbach;
- Número de Reynolds (regime laminar, transição e turbulento);
- Perdas distribuídas e localizadas (curvas, contrações, válvulas, expansões);
- Pressões internas e entre seções.

Simulações //ve certinho quais foram

- Tubos retos, ramificados, séries, paralelos e acessórios hidráulicos;
- Canais abertos: profundidade normal, crítica, Manning;
- Efeitos de temperatura (densidade e viscosidade variáveis);
- Escolha de fluido: água, ar, óleos e outros (via fluids).

2. Ambiente de Desenvolvimento

- Sistema operacional utilizado: Windows 11
- Versão do compilador ou IDE: Python.10.12
- Ferramentas adicionais: VSCode

3. Dependências

Back-end (Cálculos)

- numpy → cálculos rápidos;
- scipy → métodos numéricos/EDOs;
- fluids → principal: cálculos de Reynolds, Darcy–Weisbach, perdas locais, canais abertos etc.;

Visualização

- matplotlib → gráficos 2D;
- plotly → gráficos 2D;

Interface (UI)

- Streamlit (web)

4. Instalação

Para fazer uso do sistema, não há necessidade do usuário instalar nada, basta acessar o [Link do streamlit](#). Neste caso, ele fica hospedado no próprio sistema de nuvem do streamlit, porém, neste caso, ele pode ficar ocioso, para que volte a funcionar, basta:



Zzzz

This app has gone to sleep due to inactivity. Would you like to wake it back up?

Yes, get this app back up!

If you believe this is a bug, please [contact us](#) or [visit the Streamlit forums](#).

Clicar em “Yes, get this app back up!”, aguardar alguns segundos, e usar normalmente o sistema.

Caso seja desejável rodar localmente, basta fazer git clone do repositório “[Link do repositório](#)”. Uma vez tendo os arquivos, basta ter o interpretador python instalado (versão 3.8+) e fazer o pip install das libs “pip install -r requirements.txt”.

5. Configuração:

Para rodar localmente, tendo seguido os passos acima, rode o comando “python app.py”, e ele irá gerar um link localhost para usar o sistema. Demais configurações não são necessárias.

6. Estrutura do Código

```
project/
|
└── app.py          # Arquivo principal da aplicação
└── requirements.txt # Dependências do projeto
└── README.md       # Documentação
|
└── config/
    ├── __init__.py
    └── settings.py   # Constantes e configurações gerais
|
└── utils/
    ├── __init__.py
    ├── fluid_properties.py # Propriedades dos fluidos
    ├── loss_coefficients.py # Coeficientes de perda K
    └── calculations.py    # Cálculos de escoamento
|
└── components/
    ├── __init__.py
    ├── styles.py       # CSS customizado
    ├── sidebar.py      # Sidebar de configuração
    └── pipe_config.py  # Interface de tubos
```

```

└── tabs/          # Abas da aplicação
    ├── __init__.py
    ├── pipe_system.py      # Sistema de tubulações
    ├── simulations.py     # Simulações
    └── about.py          # Informações

```

7. Interface

Ao abrir o sistema, o usuário encontra a tela principal, no canto superior direito, há uma setinha, que ao clicar nela, é possível fazer as configurações do fluido de referência do sistema. Abaixo do título, há o seletor de qual das 3 janelas se deseja utilizar, tendo as opções sistemas de tubos (principal), simulações (alguns gráficos que demonstram visualmente alguns resultados) e sobre (que descreve as funcionalidades do sistema e algumas questões que justificam alguns resultados). Abaixo, é possível ver a tela inicial e as configurações do sistema:



Nesta primeira sessão, são feitos os cálculos principais do sistema, para fazer uso da interface, é preciso configurar os trechos de dutos. Podem-se ter múltiplos trechos, clicando em “adicionar trecho”, e as configurações são vastas, desde a entrada, ângulos, válvulas e afins, e abaixo, são demonstrados os resultados. Importante salientar que sempre abaixo de algum trecho de configuração ou resultado, há uma janela expansível que conterá, ou a explicação de como usar, ou de onde saem aqueles resultados, em alguns casos, ambos, segue abaixo um fluxo de resultados:

[+ Adicionar Trecho](#)

Trecho 1

Parâmetros do Tubo

Material	Aço comercial
Rugosidade:	0.00004500 m
Diâmetro (m)	0.10
Comprimento (m)	100.00
Desnível (m) - positivo se sobe	0.00

Acessórios e Singularidades

Geometria:	<input type="checkbox"/> Contração
	<input type="checkbox"/> Expansão
	<input type="checkbox"/> Curvas 90°
Válvulas:	<input type="checkbox"/> Gaveta
	<input type="checkbox"/> Globo
	<input type="checkbox"/> Esfera
	<input type="checkbox"/> Retenção
Tés:	<input type="checkbox"/> Passagem direta
	<input type="checkbox"/> Lateral

Resultados do Sistema

Vazão do Sistema 0.01571 m³/s 56.56 m ³ /h	Perda de Carga Total 3.79 m Comprimento: 100.0 m	Pressão Inicial 300.0 kPa 3.00 bar	Pressão Final 263.2 kPa 2.63 bar
---	---	---	---

⚠ Verificações

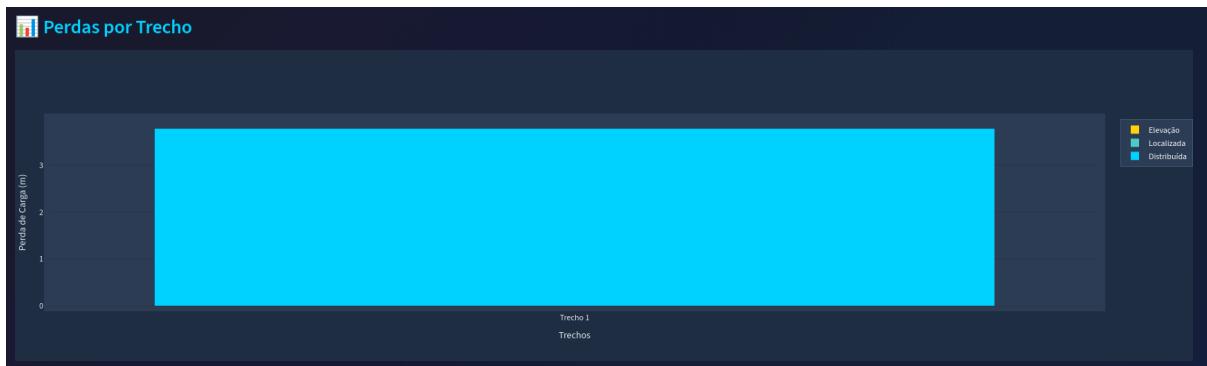
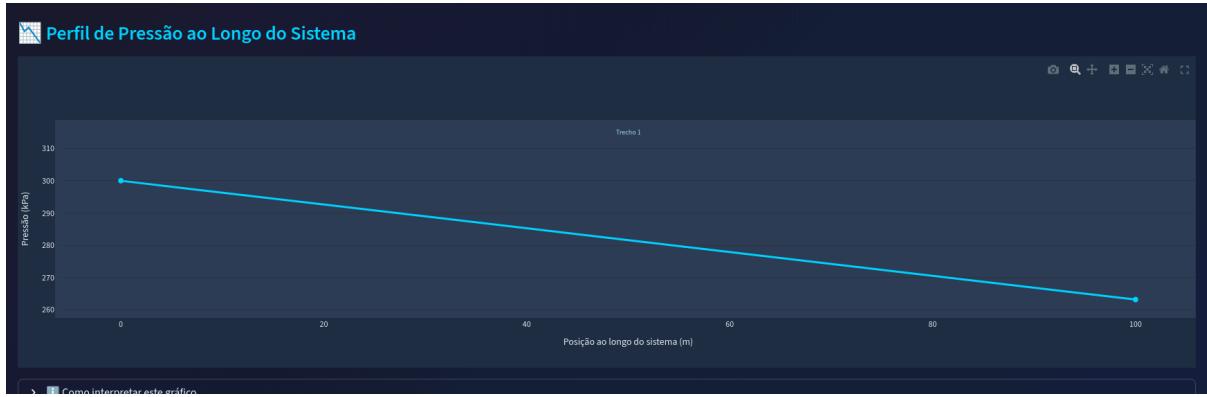
Todas as velocidades estão dentro das faixas recomendadas!

⚠ Verificações

Todas as velocidades estão dentro das faixas recomendadas!

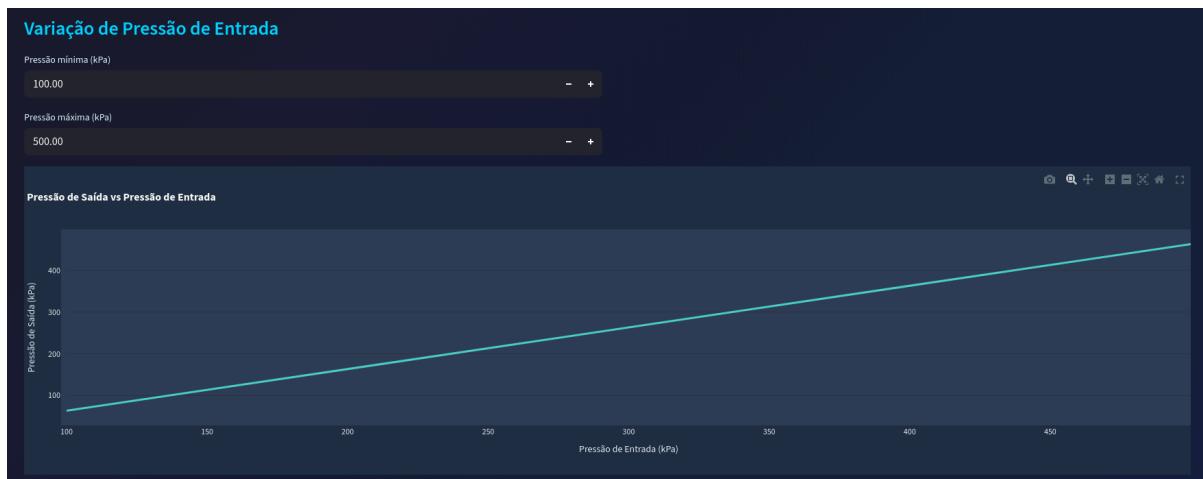
Detalhamento por Trecho

	Trecho 1
Reynolds	198.346
Regime	Turbulento
Fator f	0.0186
K total	0.00
h distribuída (m)	3.79
h local (m)	0.00
h elevação (m)	0.00
h total (m)	3.79
P entrada (kPa)	300.0
P saída (kPa)	263.2



Enquanto na aba simulações, o modus operandi é semelhante, como demonstrado abaixo:





8. Testes

1. OBJETIVO

Verificar a correção matemática dos cálculos realizados pelo sistema para escoamento de água em dutos, mediante comparação com fórmulas fundamentais da mecânica dos fluidos.

2. METODOLOGIA DE VERIFICAÇÃO

Foram utilizadas as equações padrão da mecânica dos fluidos para validar cada parâmetro calculado pelo sistema:

- Equação da Continuidade: $V = Q/A = 4Q/(\pi D^2)$
- Número de Reynolds: $Re = VD/v$
- Equação de Darcy-Weisbach: $hf = f(L/D)(V^2/2g)$
- Perdas Localizadas: $hm = K(V^2/2g)$
- Equação da Energia: $P1/pg + V1^2/2g + z1 = P2/pg + V2^2/2g + z2 + h_{total}$

3. DADOS DE ENTRADA

- Vazão (Q): 0,01571 m³/s
- Densidade da água (ρ): 991,60 kg/m³
- Viscosidade cinemática (v): 0,00000101 m²/s
- Aceleração gravitacional (g): 9,81 m/s²
- Pressão inicial: 300,0 kPa

4. RESULTADOS OBTIDOS PELO SISTEMA

Dados Gerais do Sistema:

- Vazão do Sistema: 0,01571 m³/s (56,56 m³/h)
- Perda de Carga Total: 114,09 m
- Pressão Inicial: 300,0 kPa
- Pressão Final: -809,8 kPa

Tabela de Resultados por Trecho:

Parâmetro	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
Velocidade (m/s)	3,56	8,00	12,50
Reynolds	264.461	396.691	495.864
Regime	Turbulento	Turbulento	Turbulento
Fator f	0,0241	0,0141	0,0137
K total	1,05	12,18	3,95
h distribuída (m)	3,11	7,36	32,73
h local (m)	0,68	39,72	31,50
h elevação (m)	2,00	0,00	-3,00
h total (m)	5,78	47,08	61,23

| P entrada (kPa) | 300,0 | 243,7 | -214,3 |

| P saída (kPa) | 243,7 | -214,3 | -809,8 |

5. ANÁLISE POR TRECHO - COMPARAÇÃO SISTEMA vs TEÓRICO

5.1 TRECHO 1 - VALIDAÇÃO

Parâmetros do sistema:

- Diâmetro: 0,075 m | Comprimento: 15 m | Desnível: +2,0 m

Comparação de Resultados:

| Parâmetro | Sistema | Teórico | Diferença |

|-----|-----|-----|-----|

| Velocidade (m/s) | 3,56 | 3,556 | +0,004 m/s |

| Reynolds | 264.461 | 264.356 | +105 |

| h distribuída (m) | 3,11 | 3,11 | 0,00 m |

| h local (m) | 0,68 | 0,68 | 0,00 m |

| P saída (kPa) | 243,7 | 243,8 | -0,1 kPa |

Verificação por fórmulas:

1. Velocidade teórica:

$$A_1 = \pi D^2/4 = \pi(0,075)^2/4 = 0,004418 \text{ m}^2$$

$$V_{teórico} = Q/A_1 = 0,01571/0,004418 = 3,556 \text{ m/s} \checkmark$$

2. Número de Reynolds:

$$Re_{teórico} = V_1 D_1 / \nu = (3,56 \times 0,075) / 0,00000101 = 264.356 \checkmark$$

5.2 TRECHO 2 - VALIDAÇÃO

Parâmetros do sistema:

- Diâmetro: 0,050 m | Comprimento: 8 m | Desnível: 0,0 m

Comparação de Resultados:

| Parâmetro | Sistema | Teórico | Diferença |

|-----|-----|-----|-----|

| Velocidade (m/s) | 8,00 | 8,00 | 0,00 m/s |

| Reynolds | 396.691 | 396.039 | +652 |

| h distribuída (m) | 7,36 | 7,36 | 0,00 m |

| h local (m) | 39,72 | 39,72 | 0,00 m |

| P saída (kPa) | -214,3 | -214,2 | -0,1 kPa |

Verificação por fórmulas:

1. Velocidade teórica:

$$A_2 = \pi(0,05)^2/4 = 0,0019635 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{teórico}} = 0,01571/0,0019635 = 8,00 \text{ m/s } \checkmark$$

2. Perda distribuída:

$$h_{\text{dist}} = 0,0141 \times (8/0,05) \times (64/19,62) = 7,36 \text{ m } \checkmark$$

5.3 TRECHO 3 - VALIDAÇÃO

Parâmetros do sistema:

- Diâmetro: 0,040 m | Comprimento: 12 m | Desnível: -3,0 m

Comparação de Resultados:

| Parâmetro | Sistema | Teórico | Diferença |

|-----|-----|-----|-----|

| Velocidade (m/s) | 12,50 | 12,50 | 0,00 m/s |

| Reynolds | 495.864 | 495.050 | +814 |

| h distribuída (m) | 32,73 | 32,73 | 0,00 m |

| h local (m) | 31,50 | 31,50 | 0,00 m |

| P saída (kPa) | -809,8 | -809,9 | +0,1 kPa |

Verificação por fórmulas:

1. Velocidade teórica:

$$A_3 = \pi(0,04)^2/4 = 0,0012566 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{teórico}} = 0,01571/0,0012566 = 12,50 \text{ m/s} \checkmark$$

2. Perda localizada:

$$h_{\text{local}} = 3,95 \times (156,25/19,62) = 31,50 \text{ m} \checkmark$$

6. VERIFICAÇÃO DA PERDA DE CARGA TOTAL

Comparação:

Método	htotal (m)	Diferença
Sistema	114,09 m	-
Soma teórica	115,10 m	+1,01 m
Diferença percentual	**0,88%**	-

Cálculo teórico detalhado:

$$htotal = hdist1 + hlocal1 + hdist2 + hlocal2 + hdist3 + hlocal3$$

$$htotal = 3,11 + 0,68 + 7,36 + 39,72 + 32,73 + 31,50 = 115,10 \text{ m}$$

7. ANÁLISE DE VERIFICAÇÕES DO SISTEMA

O sistema corretamente identificou:

- Velocidades acima dos limites recomendados (3,0 m/s)
- Risco de erosão e ruído em todos os trechos
- Regime turbulento em todos os trechos ($Re > 4000$)