

# Software Educacional Para Análise e Solução de Problemas em Engenharia de Poço

Nathan Rangel Magalhães

**Orientador:** Prof. Dr. André Duarte Bueno

Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

27 de junho de 2025

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Referencial Teórico
- 3 Metodologia
- 4 Modelagem do Sistema
- 5 Resultados e Discussão
- 6 Conclusão
- 7 Referências

- O ensino de disciplinas técnicas, como Engenharia de Poço, pode ser potencializado com o uso de ferramentas digitais interativas.
- Este Projeto de Conclusão de Curso apresenta o desenvolvimento de um software educacional voltado à simulação de cenários típicos apresentados na disciplina de engenharia de poço.
- A ferramenta integra cálculos físicos, modelagem computacional e visualização gráfica.

## Justificativa

- A formação em Engenharia exige não apenas domínio teórico, mas também compreensão prática de fenômenos complexos.
- Ferramentas educacionais que simulam situações reais contribuem para a consolidação do conhecimento e o desenvolvimento de habilidades analíticas.
- O uso de softwares interativos no processo de aprendizagem tem se mostrado eficaz no aumento do engajamento e da retenção de conteúdo.
- Diante disso, justifica-se o desenvolvimento de um software educacional voltado à Engenharia de Poço, que auxilie na visualização, compreensão e aplicação dos conteúdos ensinados em sala de aula.

# Objetivo Geral e Objetivos Específicos

## Objetivo Geral

- Desenvolver um software educacional capaz de analisar e resolver as principais equações da Engenharia de Poço, integrando simulações computacionais e recursos gráficos para apoiar a consolidação do conteúdo teórico estudado pelos alunos.

## Objetivos Específicos

- Modelar matematicamente os problemas abordados, incluindo a definição das propriedades relevantes a serem avaliadas.
- Realizar uma modelagem estática e dinâmica da estrutura do software usando orientação a objetos e UML.
- Calcular propriedades hidrodinâmicas e reológicas associadas ao poço.
- Desenvolver uma manual do usuário, um manual simplificado para orientar o uso do software.

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Referencial Teórico**
- 3 Metodologia
- 4 Modelagem do Sistema
- 5 Resultados e Discussão
- 6 Conclusão
- 7 Referências

Os dados, equações e modelos utilizados neste projeto foram extraídos das seguintes referências:

- **Applied Drilling Engineering** (Bourgoyne et al., 1991)
- **Fundamentals of Drilling Engineering** (Mitchell & Miska, 2011)
- Conteúdos apresentados na disciplina de Engenharia de Poço (LEP01353)

Essas fontes forneceram a base teórica para modelagem de fenômenos presentes no estudo de:

- Mecânica dos fluidos
- Modelos Reológicos
- Resistência dos materiais

# Referencial Teórico - Modelos Reológicos e Pressão Hidrostática

O módulo reológico do software foi baseado nos seguintes modelos clássicos:

- **Modelo Newtoniano:** viscosidade constante,  $\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$
- **Modelo de Bingham:** escoamento com limite de escoamento,  $\tau = \tau_y + \mu_p \cdot \dot{\gamma}$
- **Lei da Potência:** comportamento pseudoplástico,  $\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$

Esses modelos foram utilizados para calcular a perda de carga no anular e na coluna de perfuração.

Além disso, a **pressão hidrostática** foi calculada por:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

Com a variação da densidade e profundidade extraídas de dados fornecidos pelo usuário no software.



# Referencial Teórico - Forças Axiais e Deformação

A análise de cargas axiais foi fundamentada nos princípios da Resistência dos materiais, com base nos seguintes conceitos:

- **Força axial:** considerada ao longo da coluna, variando com pressão interna/externa.
- **Efeito pistão:** alteração da carga devido a variações de área e pressão entre seções.
- **Variação de comprimento ( $\Delta L$ ):** determinada pela equação:

$$\Delta L = \frac{\Delta F \cdot L}{E \cdot A}$$

onde  $F$  é a força axial,  $L$  o comprimento da seção,  $E$  o módulo de elasticidade e  $A$  a área da seção transversal.

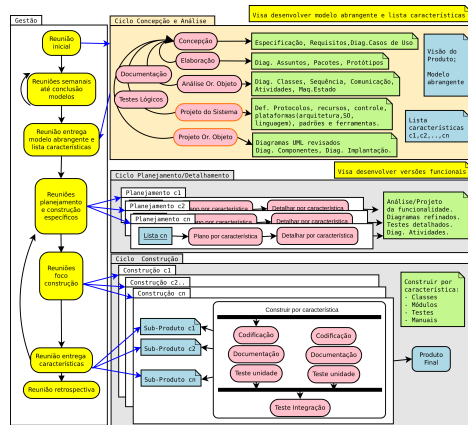
Essas equações permitiram simular a deformação da coluna e os deslocamentos associados às pressões de fundo.

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Referencial Teórico
- 3 Metodologia**
- 4 Modelagem do Sistema
- 5 Resultados e Discussão
- 6 Conclusão
- 7 Referências

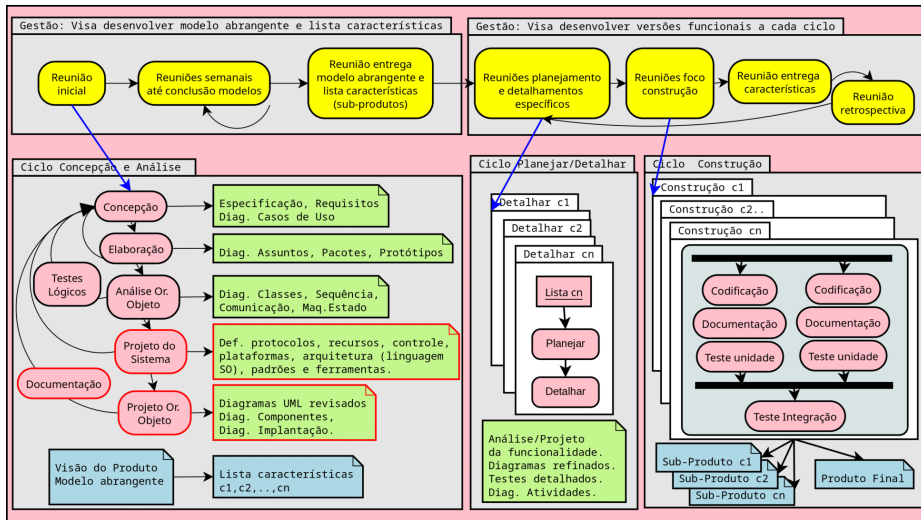
A metodologia segue os ciclos propostos pelo Prof. Dr. André Duarte Bueno, com base nas disciplinas:

- LEP01348 - Introdução ao Projeto de Engenharia
- LEP01447 - Programação Orientada a Objetos com C++
- LEP01449 - Projeto de Software Aplicado à Engenharia



Fonte: Bueno (2021). Introdução ao Projeto de Engenharia.

# Ciclos do Projeto de Engenharia

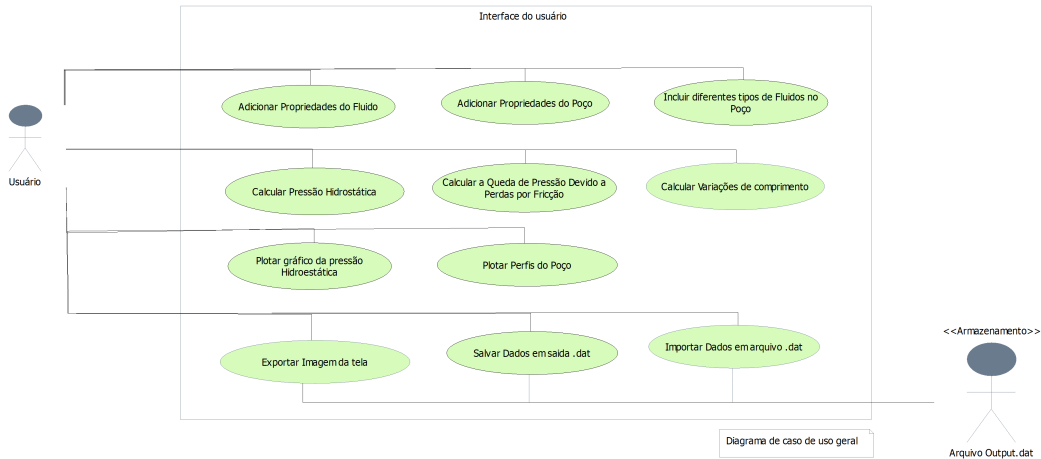


Fonte: Bueno (2021). Introdução ao Projeto de Engenharia.

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Referencial Teórico
- 3 Metodologia
- 4 Modelagem do Sistema**
- 5 Resultados e Discussão
- 6 Conclusão
- 7 Referências

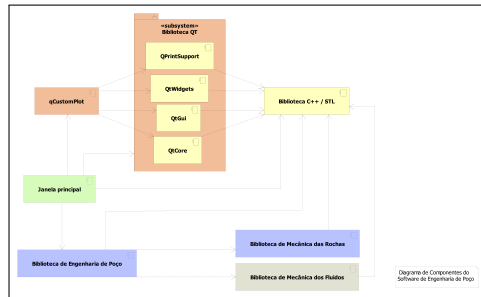




# Diagrama de Pacotes

A arquitetura do sistema foi dividida em pacotes para organizar as responsabilidades:

- Janela Principal interface principal do usuário;
- Bib. Mec. dos Fluidos lógica dos fluidos (Bingham, Newtoniano, etc.);
- Bib. de Eng. de Poço armazena propriedades geométricas e cálculos do poço;
- Bib. Mec. das Rochas realiza simulações hidráulicas, térmicas e de força axial.



Fonte: Autor (2025). Diagrama de Pacotes.



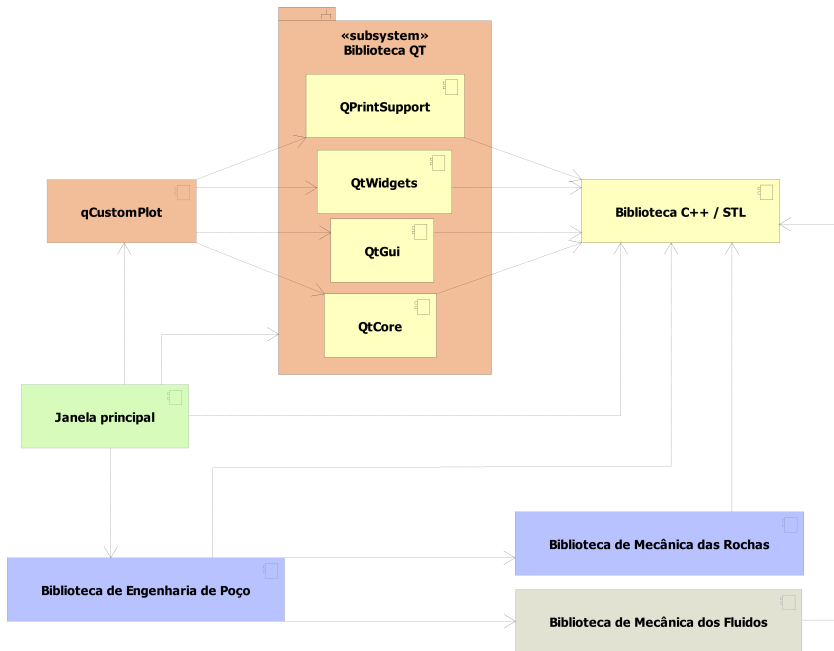
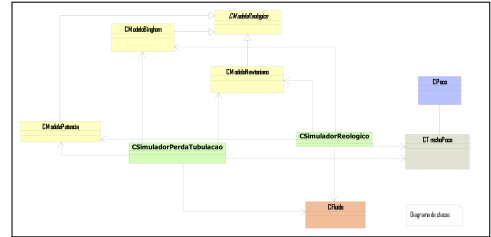


Diagrama de Componentes do  
Software de Engenharia de Poço

# Diagrama de Classes Estrutura Simplificada

O diagrama a seguir mostra as principais classes do sistema:

- Classes de modelos reológicos derivadas de uma classe base comum;
- CObjetoPoco centraliza os dados e os cálculos do sistema;
- CTrechoPoco e CFluido fornecem dados geométricos e de fluido ao CObjetoPoco;
- Há conexão entre interface gráfica, simulação e os objetos do poço.



Fonte: Autor (2025). Diagrama de Classe.

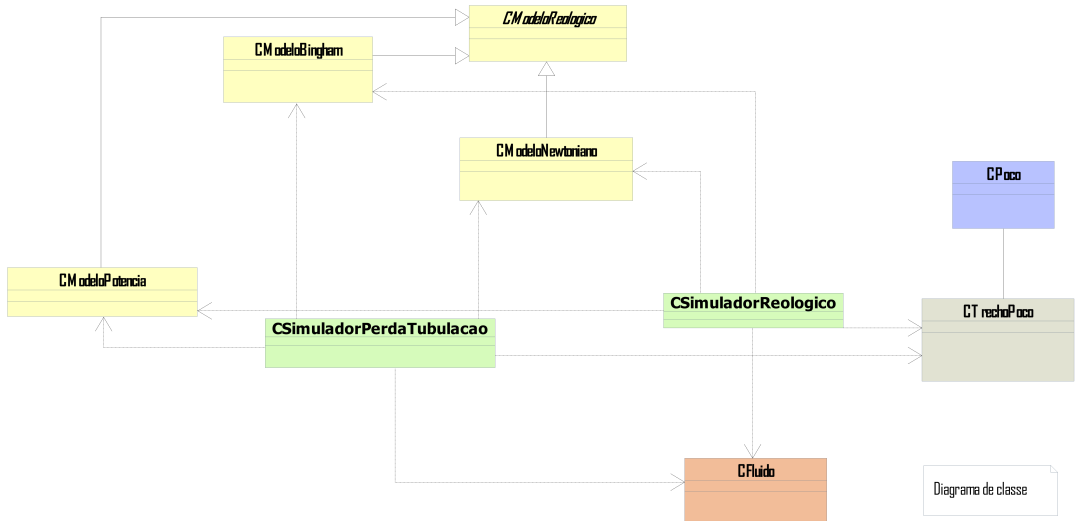
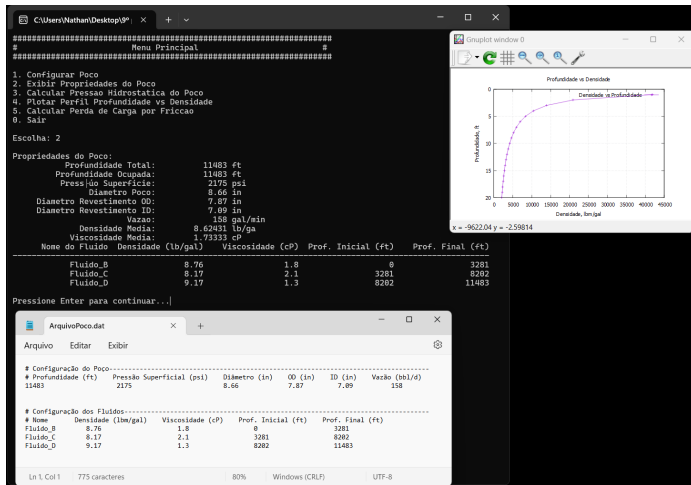


Diagrama de classe

# Sumário

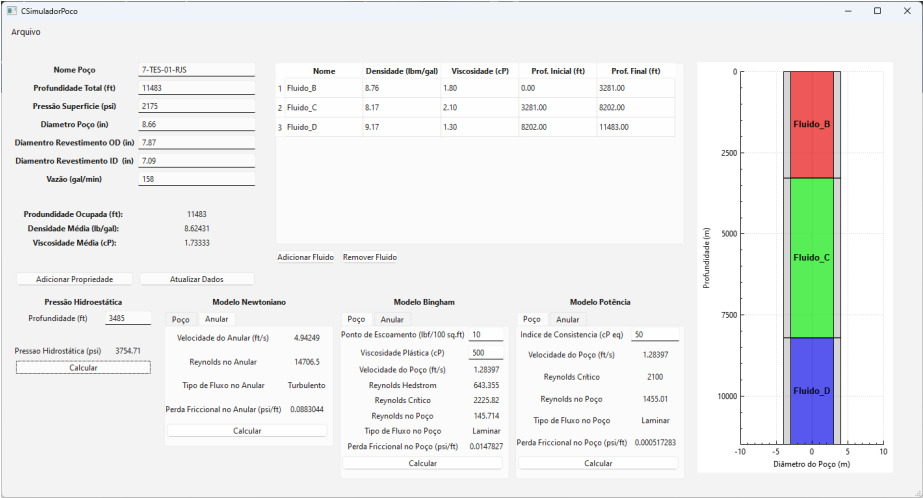
- 1 Introdução
- 2 Referencial Teórico
- 3 Metodologia
- 4 Modelagem do Sistema
- 5 Resultados e Discussão**
- 6 Conclusão
- 7 Referências

# Interface Principal v1.0 (15 de dezembro de 2024)



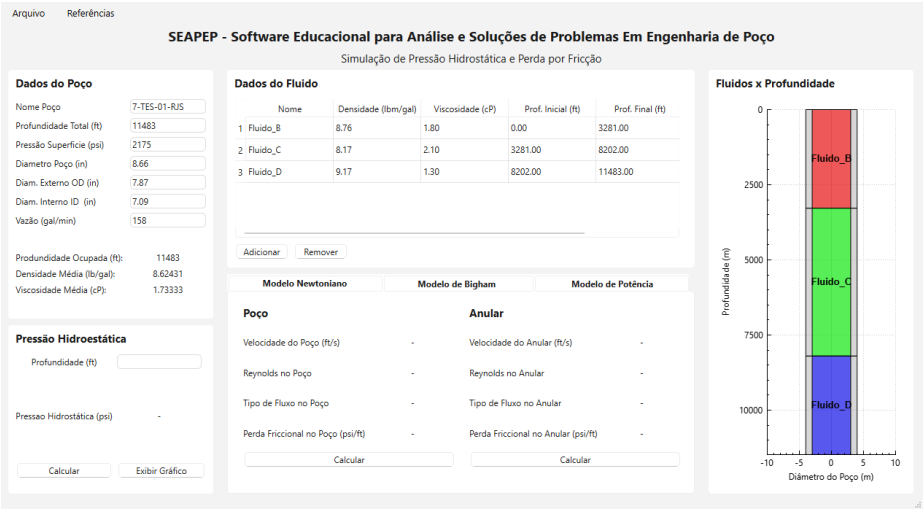
Fonte: Autor (2025). Interface Principal do Software v1.0.

# Interface Principal v2.0 (25 de fevereiro de 2025)

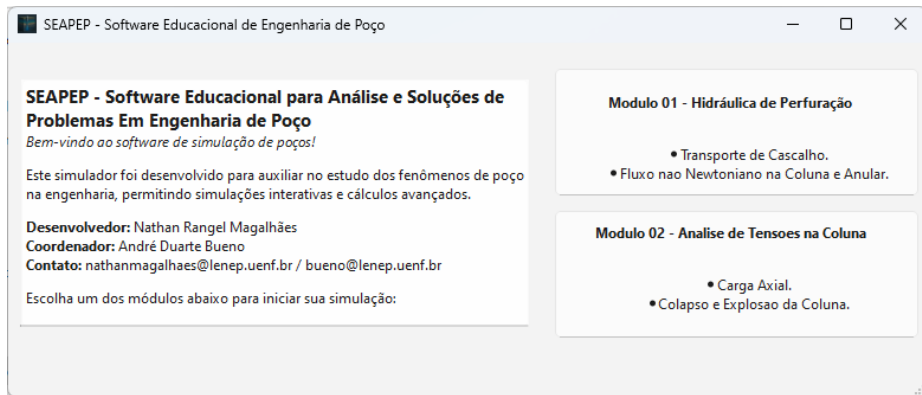


Fonte: Autor (2025). Interface Principal do Software v2.0.

# Interface Principal v2.6 (16 de abril de 2025)



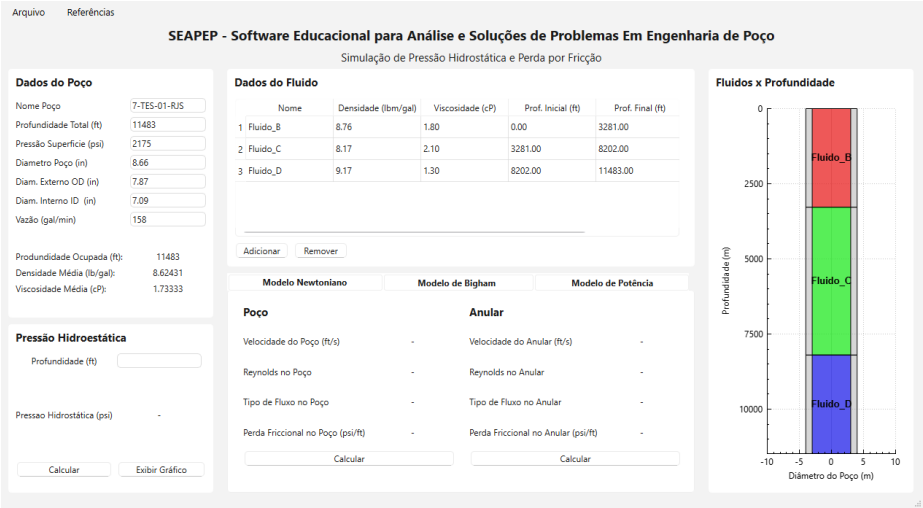
# Interface: Menu Principal v3.0 (28 de maio de 2025)



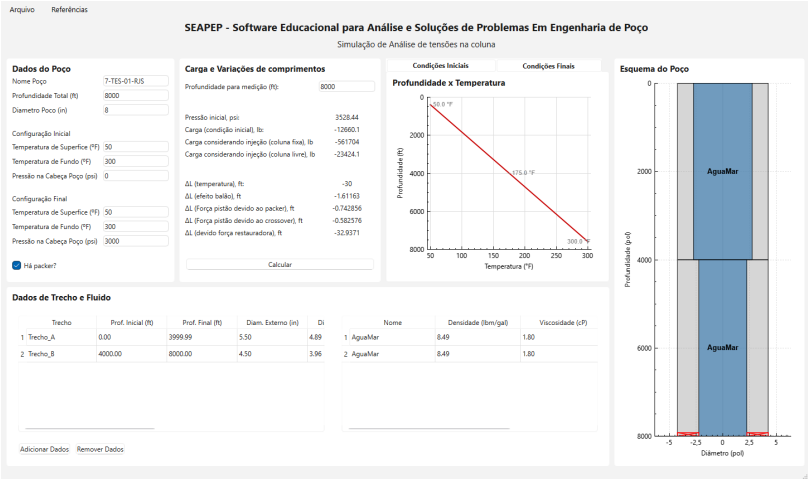
Fonte: Autor (2025). Menu Inicial do Software v3.0.



# Interface: Janela de Propriedades do Poço v3.0 (28 de maio de 2025)



# Interface: Variações Axiais e Térmicas v3.0 (28 de maio de 2025)



Fonte: Autor (2025). Módulo 02 do Software v3.0.

- **Sistema operacional:** Windows 11 / Ubuntu 22.04
- **IDE utilizada:** Qt Creator 16.0
- **Linguagem:** C++23
- **Framework:** Qt 5.15 com suporte a Widgets
- **Bibliotecas externas:** QCustomPlot (gráficos), STL padrão
- **Saída:** Executável '.exe' (não exige recompilação para o uso final)

Para executar o software educacional, são necessários os seguintes requisitos mínimos:

Recurso	Especificação Mínima
Sistema Operacional	Windows 10 / Ubuntu 20.04
Memória RAM	512 MB
Processador	1 núcleo, 1.0 GHz
Espaço em Disco	100 MB
Resolução de Tela	1024 x 768

- **Modelagem do Poço:**

- Definição de trechos com diferentes profundidades e geometrias;
- Inserção de diâmetros internos e externos, revestimentos e fluido por trecho.

- **Pressão Hidrostática:**

- Cálculo com base na profundidade e densidade do fluido;
- Suporte a múltiplos fluidos ao longo da coluna.

- **Visualização Gráfica:**

- Geração de gráfico do poço com distribuição dos fluidos;
- Plotagem dos perfis de temperatura, pressão e representação do poço.

- **Simulações Reológicas:**

- Determinação do regime de escoamento.
- Cálculo de perda de carga nos trechos (poço e anular);
- Três modelos implementados: Newtoniano, Bingham e Lei da Potência;

- **Esforços Axiais e Variações de Comprimento:**

- Cálculo de deformação por força pistão, efeito balão e dilatação térmica;
- Consideração de coluna fixa ou livre;
- Entrada de temperatura superficial e de fundo.

- **Entrada e Saída de Dados:**

- Importação e exportação de arquivos '.dat';
- Reutilização de simulações e configurações salvas.

- **Interface Gráfica:**

- Design dividido por módulos (hidrostática, reologia, força axial);
- Menu principal com navegação entre janelas.

- **Compatibilidade e Execução:**

- Executável multiplataforma (Windows/Linux);
- Não requer recompilação para o uso final;
- Interface responsiva com retorno imediato nos cálculos.

- Instalação e Configuração
- Interface Principal
- Funcionalidades e Ferramentas
- Exemplos de Uso
- Contato para Resolução de Problemas

Parte I

Manual do Usuário  
SOFTWARE EDUCACIONAL PARA  
ANÁLISE E SOLUÇÃO DE  
PROBLEMAS EM ENGENHARIA DE  
POÇO

1



- Foram realizados testes com diferentes cenários de engenharia de poço, simulando:
  - Perfis de pressão hidrostática em profundidades variadas;
  - Variações de temperatura com ou sem presença de packer;
  - Cargas axiais induzidas por efeito pistão em colunas fixas e livres.
- Os testes foram baseados em exemplos resolvidos em sala de aula e exercícios do livro *Applied Drilling Engineering* (Adam T. Bourgoyne Jr. et al., 1991).
- Os resultados obtidos foram compatíveis com os valores teóricos esperados e os apresentados na literatura.
- O software demonstrou desempenho satisfatório, com boa precisão e tempo de resposta adequado.

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Referencial Teórico
- 3 Metodologia
- 4 Modelagem do Sistema
- 5 Resultados e Discussão
- 6 Conclusão**
- 7 Referências

## Resumo do Desenvolvimento

- Duração do projeto: **12 meses (jun/2024 a jun/2025)**;
- Reuniões online realizadas: **26**;
- Versões lançadas (releases): **5**;
- Linhas de código desenvolvidas: **mais de 5.000**;
- Classes implementadas: **14**;

## Funcionalidades e Ferramentas

- Interfaces gráficas desenvolvidas: **6 janelas**;
- Tipos de gráficos gerados: **3** (pressão, temperatura, poço);
- Ferramentas utilizadas:
  - Qt Creator 16.0
  - C++23
  - Git 2.50
  - G++ Compiler

- Integração com bancos de dados (SQLite ou MySQL) para salvar projetos, usuários e simulações anteriores.
- Inclusão de inteligência artificial para sugestão automática de parâmetros e previsão de falhas operacionais.
- Suporte a simulação de poços horizontais e fluidos com comportamento dinâmico.
- Desenvolvimento de versão web, aumentando a acessibilidade.
- Implementação de suporte a diferentes unidades de medida, com sistema de conversão automática (ex.: PSI para Pascal, Celsius para Fahrenheit, metros para pés).

- O software educacional desenvolvido promove um aprendizado mais visual e interativo em Engenharia de Poço.
- As simulações implementadas facilitam a compreensão de conceitos como pressão hidrostática, propriedades térmicas e variações de carga axial.
- A estrutura modular e a interface amigável favorecem o uso em ambiente acadêmico e futuras Implementações pelos usuários.
- A metodologia aplicada permitiu o desenvolvimento de um sistema funcional, baseado em fundamentos teóricos sólidos e boas práticas de engenharia de software.

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Referencial Teórico
- 3 Metodologia
- 4 Modelagem do Sistema
- 5 Resultados e Discussão
- 6 Conclusão
- 7 Referências**

- BOURGOYNE, A. T. et al. **Applied Drilling Engineering**. Society of Petroleum Engineers, 1991.
- MITCHELL, R. F.; MISKA, S. Z. **Fundamentals of Drilling Engineering**. Society of Petroleum Engineers, 2011.
- BUENO, A. D. **Introdução ao Projeto de Engenharia**. UENF, 2021.
- SIQUEIRA, S.; MARTINS, C.; SOUZA, D. et al. **Immersive Tools in Engineering EducationA Systematic Review**. *Education Sciences*, v. 13, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13020122>
- Documentação Qt: <https://doc.qt.io/>
- QCustomPlot: <https://www.qcustomplot.com/>



# UENF

Universidade Estadual do  
Norte Fluminense Darcy Ribeiro