

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO  
ENGENHARIA DE PETRÓLEO**

**ELEVAÇÃO E ESCOAMENTO**

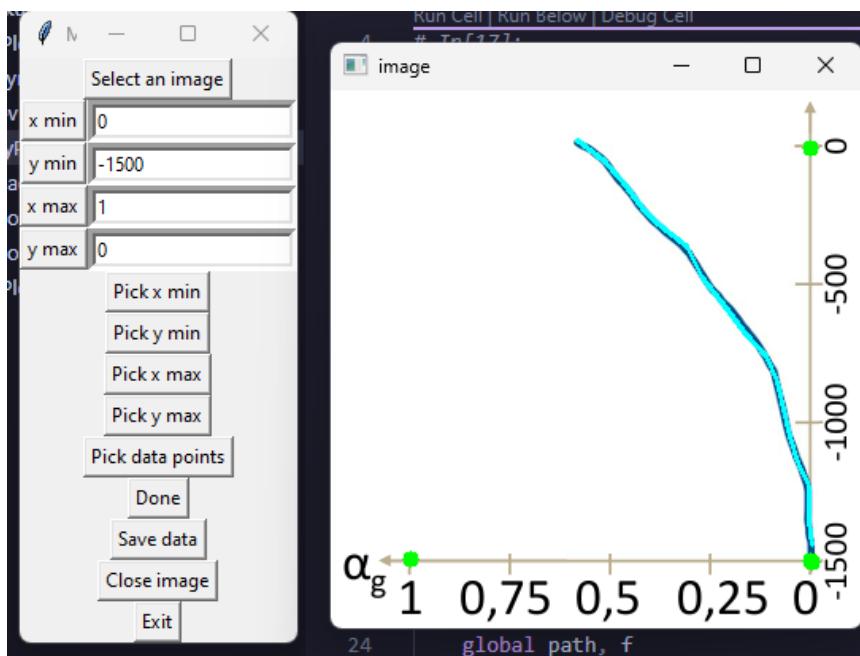
**PAULO HENRIQUE COSTA SOUZA – 147998**

**SANTOS – SP  
2025**

## Implementação de software para extrair coordenadas

Com base no que pode ser visto em aula, optou-se por utilizar um software open-source de extração de coordenadas. A escolha de uma ferramenta de código aberto facilitou a compreensão de sua arquitetura e possibilitou a implementação de correções necessárias à compatibilidade e à precisão da saída de dados. Sendo assim, na primeira etapa de desenvolvimento, foi realizado um fork do repositório [\[suhasjains/MyPlotDigitizer\]](#). E o tempo foi dedicado à mitigação de problemas de compatibilidade de suas dependências e à garantia da estabilidade do script.

Em princípio, as mais importantes modificações no código fonte foram com o objetivo de garantir a execução estável e a saída de dados melhor formatada, para trabalhar em planilhas. Com o programa modificado, foi realizado o upload da imagem presente na descrição do trabalho e, a partir disso, foi possível indicar e extrair as coordenadas da imagem digitalizada.



Após definir todos os pontos, o script mapeia as coordenadas para cada ponto extraído através de pixels. O arquivo de saída gerado é um arquivo de texto estruturado “.txt”, com seus valores separados por tabulações, contendo as coordenadas (X, Y) em formato de ponto flutuante.

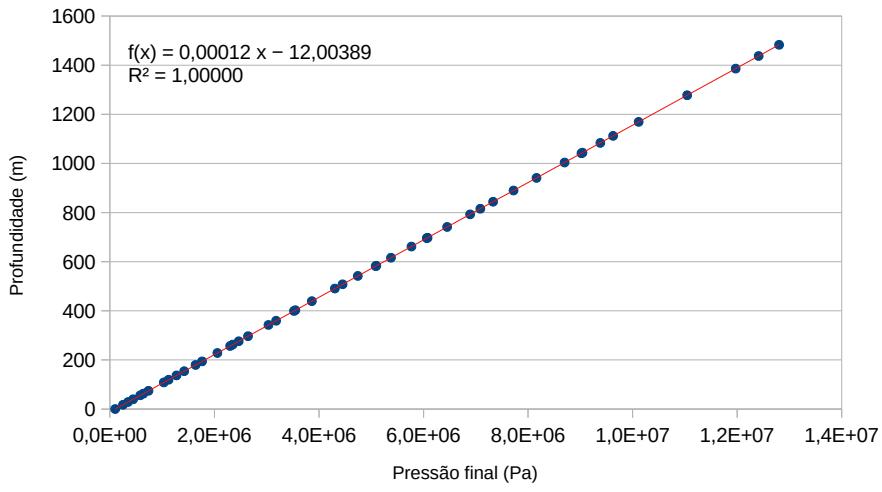
## Análise de Regressão e Visualização

Nesta etapa foram realizados o processamento e a análise estatística do relatório, tratando os dados brutos de coordenadas extraídos pelo MyPlotDigitizer para modelar a relação entre  $\alpha_g$  e Profundidade e gerar o gráfico de tendência polinomial. Sendo assim, o código lê o arquivo .txt gerado anteriormente, gera um gráfico para melhor visualização dos dados e ajusta uma curva que melhor representa a relação entre os pontos. Os coeficientes obtidos nesta etapa, permitiram encontrar o  $\alpha_g$  que melhor representa o momento onde a profundidade é zero, ou seja, o nível do mar.

## Geração de tabela final e consolidação dos resultados

Após a digitalização das coordenadas e a fase de cálculo de gradientes de pressão, a etapa final consistiu na consolidação dos dados em uma tabela, que se encontra como arquivo anexo. Nesta tabela foram realizados os cálculos para chegar à solução final do problema proposto.

A estrutura da tabela integra os dados de entrada (Profundidade,  $\alpha_g$ ), os cálculos, os resultados do gradiente de pressão ( $\Delta P_{grav}$  e  $P$ ) e o gráfico final requerido.



## Memorial de cálculo

Para chegar aos valores iniciais e preencher a tabela, foram realizados os seguintes cálculos, com base nas informações disponíveis no enunciado do trabalho.

Lei dos gases perfeitos:

$$PV = mRT$$

$$P\dot{V} = \dot{m}RT$$

$$\frac{P}{\rho} = RT$$

$$\text{se } \dot{m}RT = \text{constante}, P_A \dot{V}_A = P_B \dot{V}_B$$

$$\text{se } RT = \text{constante}, \frac{P_A}{\rho_A} = \frac{P_B}{\rho_B}$$

Velocidade superficial:

$$VS_{liq} = \frac{\dot{V}_{liq}}{A}$$

$$VS_{gás} = \frac{\dot{V}_{gás}}{A}$$

Velocidade de mistura:

$$V_m = \frac{\dot{V}_{liq} + \dot{V}_{gás}}{A_{\text{seção do tubo}}}$$

Áreas:

$$A_{liq} = \alpha_{liq} A_{\text{seção do tubo}} = (1 - \alpha_{gás}) A_{\text{seção do tubo}} \quad A_{gás} = \alpha_{gás} A_{\text{seção do tubo}}$$

Fração de fases:

$$\alpha_{liq} + \alpha_{gás} = 1$$

Densidade de mistura:

$$\rho_m = \alpha_{liq}\rho_{liq} + \alpha_{gás}\rho_{gás} = (1 - \alpha_{gás})\rho_{liq} + \alpha_{gás}\rho_{gás}$$

Perda de pressão:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{fricccional}} + \Delta P_{\text{aceleracional}} + \Delta P_{\text{gravitacional}}$$

$$\Delta P_{\text{fricccional}} = -f \rho_m \frac{\Delta L}{D} \frac{V_m^2}{2}$$

$$\Delta P_{\text{aceleracional}} = -\frac{\dot{m}}{A} \Delta V_m$$

$$\Delta P_{\text{gravitacional}} = -\rho_m g \Delta L$$

$$g(\text{gravidade}) = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

$$1 \text{ polegada} = 25,4 \text{ mm} = 0,0254 \text{ m} \quad 1 \text{ hora} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

Já para a segunda linha da tabela e as subsequentes, onde trabalha-se com valores desconhecidos, foram realizados os seguintes cálculos, antes de aplicar as mesmas fórmulas, quando possível:

$$Pressão_j(Pa) = (101325(Pa) + (|Profundidade_j(m)| * Densidade_{mistura\ j-1}(kg/m^3) * 9,81(m/s^2)))$$

$$Densidade_{gás\ j}(kg/m^3) = Pressão_j(Pa) / (Pressão_{j-1}(Pa) / Densidade_{gás\ j-1}(kg/m^3))$$

$$\text{Vazão volumétrica}_{gás\ j}(m^3/s) = \frac{\text{Vazão mássica}_{gás\ j-1}(kg/s)}{Densidade_{gás\ j}(kg/m^3)}$$

## **Anexos**

Todo o código-fonte desenvolvido e modificado, incluindo as rotinas de análise de regressão e os scripts utilizados para gerar a tabela final, bem como os arquivos de dados brutos e os anexos do relatório, podem ser consultados e verificados no repositório [GitHub](#).