AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO DE TITULAÇÃO UTILIZANDO UM AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO GRÁFICA

Lucas Rodriguez Drischel, Pedro Manuel Granados Bonilla, Anibal Alexandre Campos Bonilla, Luiz Adolfo Hegele Júnior

INTRODUÇÃO

A determinação da acidez do petróleo é uma análise importante para sua caracterização e para a avaliação de efeitos que podem influenciar processos e equipamentos. A titulação potenciométrica é utilizada para essa determinação, sendo a ASTM D664 uma referência para a determinação do número de acidez de produtos de petróleo por titulação potenciométrica (ASTM INTERNATIONAL, 2024). O procedimento relaciona a quantidade de titulante adicionada à resposta de pH da amostra, permitindo obter a curva de titulação. Apesar de consolidado, o procedimento manual exige acompanhamento da adição, estabilização da leitura e registro dos valores. Existem sistemas comerciais capazes de automatizar o processo de titulação. Empresas como Metrohm e Mettler Toledo disponibilizam soluções para a determinação automatizada do número de acidez de produtos de petróleo, incluindo procedimentos baseados na ASTM D664 (METROHM, [s. d.]; METTLER TOLEDO, [s. d.]). Entretanto, o custo desses sistemas torna essa alternativa pouco adequada à realidade do laboratório. Como o laboratório já dispõe de um pHmetro, propõe-se automatizar o processo utilizando a infraestrutura existente para aquisição de dados, controle e acionamento dos dispositivos. O trabalho é uma continuação do desenvolvimento apresentado por Bonilla et al. (2025), no qual foi desenvolvido um protótipo com dosagem por bomba peristáltica e leitura de pH por OCR. Naquele trabalho, a dosagem apresentou funcionamento adequado, enquanto o reconhecimento da leitura do pHmetro apresentou limitações. Assim, o presente trabalho concentra-se no desenvolvimento da arquitetura de controle, na integração entre software e hardware e no aprimoramento do OCR. O objetivo é desenvolver uma lógica automática para o procedimento de titulação utilizando uma máquina de estados para organizar as etapas e definir as condições de continuidade ou encerramento do ensaio.

DESENVOLVIMENTO

A arquitetura foi construída a partir da sequência lógica do procedimento, utilizando uma máquina de estados para definir ações e transições entre etapas. O fluxo consiste em inicializar o sistema, realizar a dosagem, aguardar a estabilização da amostra, obter a leitura de pH, verificar a condição da titulação, registrar pH e volume e decidir entre realizar nova

dosagem ou finalizar o ensaio. Foram definidos os estados START/INIT, DOSAGEM, ESTABILIZAÇÃO, LEITURA, VERIFICAÇÃO e RELATÓRIO.A comunicação com o hardware foi estruturada de forma que o software de supervisão permaneça responsável pela lógica do processo, enquanto o Arduino atua como interface com os dispositivos físicos. Os comandos são enviados por comunicação serial, recebidos e interpretados pelo microcontrolador (ARDUINO, 2026). A comunicação foi inicialmente validada utilizando LED e buzzer como dispositivos de teste, permitindo verificar a transmissão dos comandos e a resposta do hardware. A leitura automática do pH foi integrada ao fluxo por meio de OCR. O desenvolvimento foi estruturado em etapas de aquisição das imagens, construção da base de imagens para treinamento, preparação da região de reconhecimento e reconhecimento dos caracteres. A aquisição das imagens e a delimitação inicial da janela foram concluídas, assim como o reconhecimento dos caracteres. A preparação da região de reconhecimento encontra-se em desenvolvimento, sendo necessária a automatização de sua delimitação. A construção da base de imagens para treinamento permanece como uma etapa a ser ampliada, permitindo aprimorar o reconhecimento e converter a leitura do pHmetro em dado numérico para utilização pela máquina de estados (MATHWORKS, 2025).

RESULTADOS

A arquitetura permitiu organizar a titulação em uma sequência de estados, estabelecendo as condições de passagem entre etapas e associando o pH ao volume de titulante. A construção da curva de pH em função do volume também foi incorporada ao funcionamento do sistema. A comunicação entre o software de supervisão e o Arduino foi estabelecida e validada utilizando os dispositivos de teste, demonstrando a transmissão dos comandos e o controle das saídas do circuito e estabelecendo a base para a integração dos atuadores do sistema de titulação. No OCR, a aquisição das imagens e o reconhecimento dos caracteres foram concluídos, permitindo realizar a leitura do valor apresentado no pHmetro. Permanecem como etapas de desenvolvimento a ampliação da base de imagens para treinamento e a automatização da região de reconhecimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho resultou no desenvolvimento de uma arquitetura para automação do processo de titulação, utilizando uma máquina de estados como elemento central da lógica de controle. A comunicação com o Arduino foi validada e o OCR foi integrado ao fluxo de aquisição, permitindo utilizar a leitura do pHmetro como entrada do sistema. A estrutura desenvolvida fornece uma base para a continuidade da automação utilizando a infraestrutura já disponível no laboratório, sem a necessidade de substituição do equipamento por uma solução comercial de maior custo. Este estudo faz parte do projeto “Modelagem física e numérica de jato submarino de óleo baseada em experimentos”, um acordo de cooperação entre UDESC e Petrobras (número 0050.0125248.23.9), regulamentado pelas cláusulas de investimento em P, D&I da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, Resolução 918/2023).

Palavras-chave: titulação; automação; máquina de estados; Arduino; petróleo.

ANEXO(S)

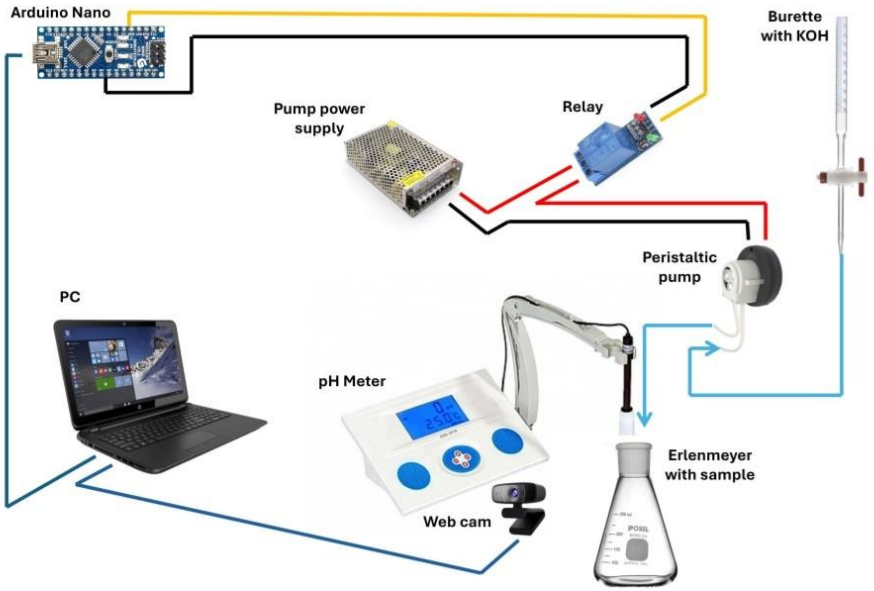


Figura 1. *Esquema do sistema de automação*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D664-24: Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. West Conshohocken: ASTM International, 2024. DOI: 10.1520/D0664-24. Disponível em: https://store.astm.org/d0664-24.html. Acesso em: 15 set. 2026.

ARDUINO. Arduino Documentation. [S. l.]: Arduino, 2026. Disponível em: https://docs.arduino.cc/. Acesso em: 15 set. 2026.

BONILLA, P. M. G. et al. Development of an Automated System for Determining Petroleum Acidity. In: ABCM INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING (COBEM), 28., 2025, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: ABCM, 2025.

MATHWORKS. Recognize Text Using Optical Character Recognition (OCR). [S. l.]: MathWorks, 2025. Disponível em: https://www.mathworks.com/help/vision/ug/recognize-text-using-optical-character-recognition-ocr.html. Acesso em: 15 set. 2026.

METROHM. Total acid number titration of petroleum products. [S. l.]: Metrohm, [s. d.]. Disponível em: https://www.metrohm.com/pt_br/applications/ab-application-bulletins/ab-404.html. Acesso em: 15 set. 2026.

METTLER TOLEDO. Acid Number of Petroleum Products According to ASTM D664. [S. l.]: Mettler Toledo, [s. d.]. Disponível em: https://www.mt.com/id/id/home/supportive_content/ana_chem_applications/titration/M726.html. Acesso em: 15 set. 2026.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Lucas Rodriguez Drischel

MODALIDADE DE BOLSA: Bolsa de Inovação

VIGÊNCIA: 07/2026 a 12/2026 – Total: 6 meses

ORIENTADOR(A): Aníbal Alexandre Campos Bonilla

CENTRO DE ENSINO: CESFI

DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia de Petróleo

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharia de Petróleo

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Modelagem Física e Numérica de Jato Submarino de Óleo Baseada em Experimentos – Subjet

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP4318-2023