



DOCTOR - Uma Plataforma Modular de Automação Laboratorial para Análises Biomédicas

Marcelo Maurin Martins, José Sérvulo de Miranda, Prof. Dr. Marcelo Caetano Oliveira Alves, Prof. Dra. Analu Egydio dos Santos

¹ Contato: marcelo.martins34@fatec.sp.gov.br, jose.miranda5@fatec.sp.gov.br, marcelo.alves22@fatec.sp.gov.br, analu.santos@fatec.sp.gov.br

Marcelo Maurin Martins, José Sérvulo de Miranda, Prof. Dr. Marcelo Caetano Oliveira Alves, Prof. Dra. Analu Egydio dos Santos

INTRODUÇÃO

A análise dos resultados do protótipo DOCTOR evidencia sua viabilidade e os desafios da automação laboratorial de baixo custo. A validação da arquitetura modular, com comunicação eficiente entre Raspberry Pi e o módulo de pH em Arduino, confirma a exequibilidade técnica da proposta. O módulo de pH demonstrou boa acurácia em pH 7, mas apresentou desvios significativos em pH 4 e 10, indicando limitações e aspectos que requerem aprimoramento.

OBJETIVOS

Este estudo apresenta o desenvolvimento e avaliação inicial do DOCTOR, um protótipo open-source/open-hardware para automação laboratorial modular de baixo custo em análises biomédicas. Testes realizados com um módulo de pH mostraram boa precisão em pH 7, mas desvios maiores em pH 4 e 10, destacando a necessidade de calibração rigorosa e possível compensação de temperatura. A plataforma demonstrou viabilidade técnica, com potencial uso em ensino, pesquisa e pequenos laboratórios.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A automação laboratorial melhora a eficiência e a rastreabilidade, mas enfrenta desafios como o alto custo e a baixa flexibilidade dos sistemas tradicionais, limitando seu acesso por laboratórios menores. A medicina laboratorial se beneficia da automação, aumentando a precisão e agilidade nos diagnósticos. A modularidade surge como solução promissora, permitindo reconfigurações conforme as demandas, além de facilitar manutenção e desenvolvimento colaborativo. O protótipo DOCTOR adota uma arquitetura modular hierárquica, construída com base de madeira, perfis de alumínio e peças impressas em 3D. A estrutura possui três camadas: o Raspberry Pi, que gerencia o banco de dados e comandos; o sistema de movimentação; e os módulos de análise controlados por Arduino Nano. A comunicação entre as camadas foi estabelecida com sucesso, e os fluxos operacionais foram modelados para futuras expansões, incluindo reconhecimento de imagens e interação por voz.

METODOLOGIA

Como estudo de caso para validar a arquitetura modular e o uso de sensores de baixo custo, foi desenvolvido um módulo específico para medição de pH. A montagem conectou o eletrodo ao condicionador e deste à entrada analógica do Arduino, alimentado via USB.

A calibração, fundamental para precisão, foi feita com soluções buffer (pH 4, 7 e 10), ajustando a equação de calibração com base nas tensões medidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de desvio padrão e coeficiente de variação, os quais indicam a repetibilidade das medições, foram relativamente baixos para todas as soluções buffer. Sugerindo que, uma vez calibrado e sob condições estáveis, o módulo pode fornecer leituras consistentes. A discrepância entre os cálculos estatísticos apresentados na Tabela 2 (baseados em definições padrão) e os valores presentes, necessita de atenção para melhor acurácia.



Figura 1. Projeto pronto

Parâmetro Estatístico	pH 4 (Valor Nominal: 4.00)	pH 7 (Valor Nominal: 7.00)	pH 10 (Valor Nominal: 10.00)
Soma das Medições	36.653	76.375	102.971
Média das Medições (μ)	3.332	6.943	9.361
Módulo de Erro Absoluto*	0.068	0.057	0.639
Desvio Padrão (σ)	0.127	0.145	0.168
Porcentagem de Desvio (Coeficiente de Variação)	3.81%	2.09%	1.80%

Figura 2. Estatísticas das medições

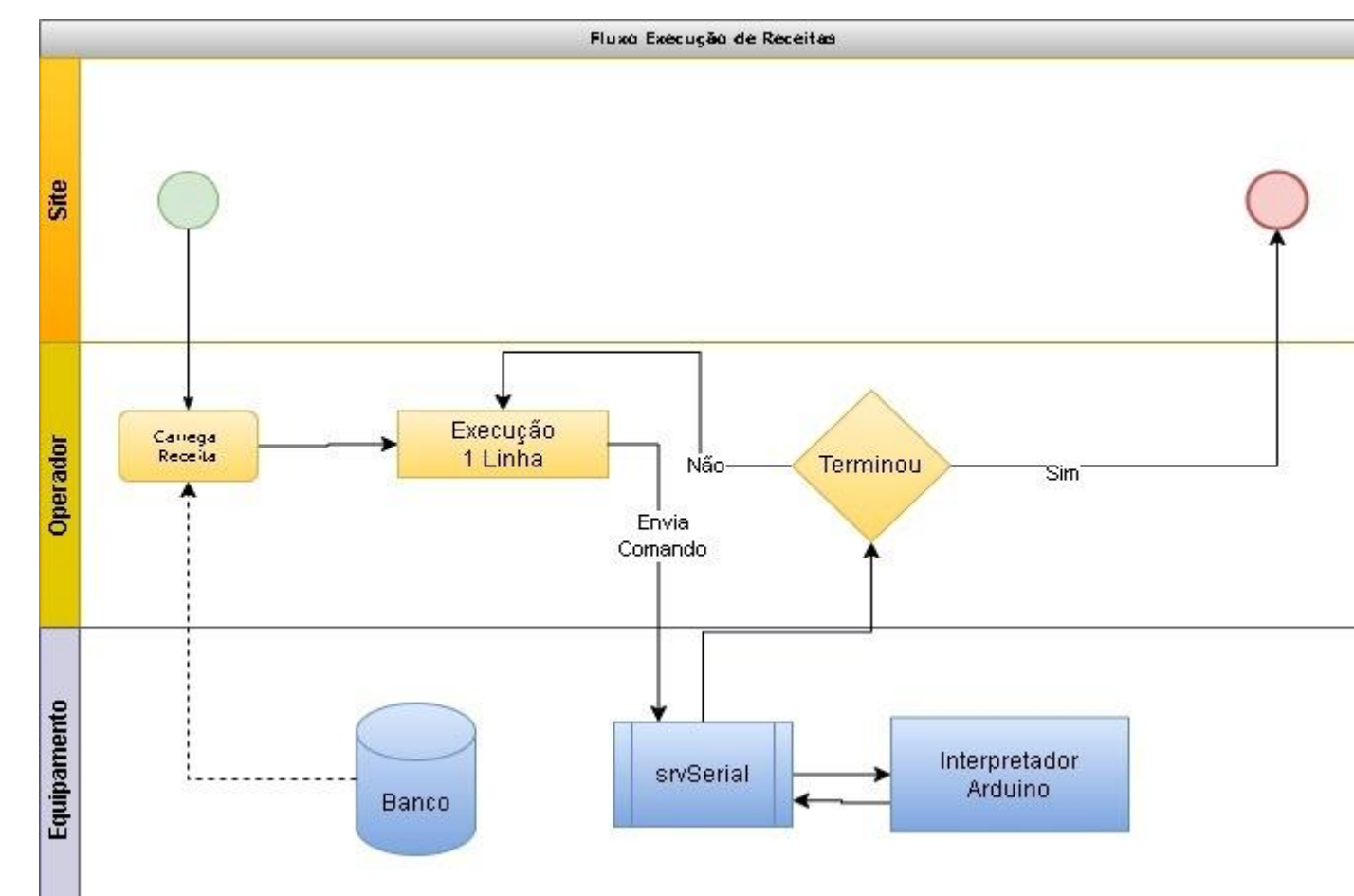


Figura 3. Fluxo de execução das Receitas

CONCLUSÕES

Este projeto demonstrou a viabilidade de uma plataforma de automação laboratorial acessível e modular, servindo como base educacional e para futuras pesquisas. A principal limitação foi a implementação de apenas um módulo (pH) e a ausência de interface completa. Trabalhos futuros incluem novos módulos, automação do transporte de amostras, aprimoramento do software com interface gráfica, melhoria na calibração, estudos comparativos e uso de inteligência artificial para otimização e análise de dados.

Em suma, o projeto DOCTOR representa um passo inicial promissor na busca por soluções de automação laboratorial mais acessíveis, flexíveis e adaptáveis, com potencial para beneficiar laboratórios de ensino, pesquisa e pequenas rotinas, especialmente em contextos com recursos limitados.

REFERÊNCIAS

- APROPEDIA. Laboratório de código aberto. Disponível em: https://www.appropedia.org/Open-source_Lab/pt. Acesso em: 11 maio 2025.
- BARBEDO, J. G. A. **Automação Laboratorial**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2012. (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1517-1700; 121). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/930755/1/documento121.pdf>. Acesso em: 11 maio 2025.
- KOLABTREE. **Automação de laboratório: Benefícios e desafios**. 2019. Disponível em: <https://www.kolabtree.com/blog/pt/laboratory-automation-benefits-and-challenges/>. Acesso em: 11 maio 2025.
- MARQUES, A. F. et al. Conceitos de automação na medicina laboratorial. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, Rio de Janeiro, v. 47, n. 2, p. 91-99, abr. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/jbpm/l/a/QFc7WL4zGrv94gSs3QGkFdx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 maio 2025.
- MORDOR INTELLIGENCE. **Mercado de Automação Laboratorial - Crescimento, Tendências, Impacto da COVID-19 e Previsões (2023 - 2028)**. 2023b. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/laboratory-automation-market>. Acesso em: 11 maio 2025.
- OLIVEIRA, D. E. **Informática biomédica dentro do contexto de indústria 4.0: desenvolvimento de um protótipo de equipamento modular para automação laboratorial**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Informática Biomédica) - Universidade Paulista, São Paulo, 2021. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/49173/1/DHYANLUCA_ESTEVAO.pdf. Acesso em: 11 maio 2025.
- PEARCE, J. M. **Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs**. Elsevier, 2014.
- SANTOS, R. L. C. et al. Evaluation of Low-Cost Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring: A Systematic Literature Review. **Sensors**, v. 20, n. 11, p. 3173, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/11/3173>. Acesso em: 11 maio 2025.
- TALKSCIENCE. **O futuro da automação laboratorial: tendências e inovações**. 2021. Disponível em: <https://www.talkscience.com.br/quimica-analitica/o-futuro-da-automacao-laboratorial-tendencias-e-inovacoes>. Acesso em: 11 maio 2025.