DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO MÓVEL PARA LEITURA E VISUALIZAÇÃO DOS SINAIS DE UMA SONDA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA

Matheus Lopes de Freitas, Pedro Bertemes Filho

INTRODUÇÃO

A Espectroscopia por Impedância Elétrica é uma técnica não destrutiva que pode ser utilizada na verificação da qualidade de alimentos com base nas propriedades dielétricas de materiais biológicos [1]. Medindo a responde do tecido frente a variação da corrente elétrica em várias frequências, pode-se mensurar as alterações nos fluxos iônicos nas membranas celulares e tecidos. Foi desenvolvido no PETBIO da UDESC um dispositivo portátil e sem fio que mede estas variações e os classificam por aprendizado de máquina. Todavia, para que a instrumentação portátil alcance o ambiente de campo, o hardware de amostragem precisa de um sistema de controle e visualização amigável. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma aplicação para dispositivos móveis que, ao conectar-se com uma sonda portátil de impedância elétrica, envie comandos de configuração e execução, além de permitir a leitura e visualização de dados recebidos. Além disso, também registra as medições no formato de pontos em um mapa interativo, que pode então ser compartilhado pelo usuário ou persistido localmente e em nuvem de dados. As escolhas de projeto definidas priorizaram a portabilidade, a usabilidade e o baixo custo de infraestrutura no *back-end* da solução.

DESENVOLVIMENTO

Para garantir o suporte multiplataforma a partir de um único código-fonte, utilizou-se o *framework* Flutter [2]. A escolha permitiu a geração de *builds* nativas tanto para o sistema operacional Android quanto para o iOS, buscando assegurar desempenho consistente e reduzindo o tempo de manutenção do software. A integração entre o dispositivo móvel e a sonda foi estabelecida por meio da tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE). O protocolo BLE foi adotado devido ao seu baixo consumo de energia, preferível para instrumentos de medição portáteis operados por bateria, e pela capacidade de transferência rápida de pacotes de dados [3]. A aplicação móvel atua como cliente, escaneando e conectando-se à sonda. O aplicativo envia comandos de controle para a sonda (como frequência de varredura) e recebe assincronamente os vetores de medição de impedância (parte real, imaginária e frequência correspondente). A arquitetura do sistema foi desenvolvida adotando o padrão *Offline-First* [4], assegurando o funcionamento da aplicação mesmo sem acesso à rede, tratando recursos que necessitam deste acesso como opcionais. Para isso, foi implementada uma estratégia de persistência local baseada no banco de dados SQLite. Em adição, visando possibilitar a sincronização entre múltiplos dispositivos do usuário sem incorrer em custos com servidores dedicados, integrou-se um sistema opcional de *backup* automatizado na nuvem utilizando a API do Google Drive [5]. A exportação dos dados é realizada tanto de forma gráfica quanto numérica. A modalidade numérica disponibiliza os arquivos no formato DAT, contendo os dados brutos da amostragem, ou no formato JSON, que agrega metadados completos, o que permite realizar a reconstrução da medição na íntegra. Por fim, a aplicação também possui suporte à alteração de idiomas, sendo disponibilizada em português, espanhol e inglês, o que pode facilitar a colaboração acadêmica interinstitucional e expandir o alcance de usuários.

RESULTADOS

Nos testes de conectividade, a aplicação manteve a estabilidade de comunicação com a sonda portátil em distâncias de até 5 m, viabilizando o envio dos comandos e o recebimento dos vetores de impedância, quando devidamente conectada. O formato estruturado em que as mensagens são enviadas pela sonda permitiu verificar com facilidade a exatidão e a integridade dos dados recebidos na aplicação. No modo de varredura contínua, cada ciclo completo com 512 pontos gera um volume

de dados de aproximadamente 51 KB em um tempo de amostragem de 8 s, resultando em um *throughput* médio de 6,38 KB/s (51 Kbps). Para assegurar a integridade dos pacotes e evitar a sobreposição de leituras em *buffer*, implementou-se uma margem de tolerância no intervalo entre o reenvio dos comandos pela aplicação e o ciclo de amostragem da sonda.

Em testes de desempenho realizados em um dispositivo Redmi Note 13 (processador Snapdragon 685 octa-core, 8 GB de RAM, Android 13), o processo da aplicação registrou um consumo médio de 39% de processamento em um único núcleo, equivalente a cerca de 4,8% da capacidade total do processador, e 47,06 MB de memória Heap durante a renderização gráfica dos pontos com a sonda conectada. Esses resultados demonstram a viabilidade do uso da aplicação em dispositivos móveis de entrada e intermediários.

Na validação da persistência de dados, o armazenamento local no banco SQLite assegurou a integridade das leituras em cenários *offline*, registrando dados de medições com tempo médio de escrita inferior a 25 ms. Como forma de validar o sistema, a aplicação foi avaliada por um grupo diversificado de usuários, composto por indivíduos com diferentes línguas nativas e variados níveis de experiência técnica. Observou-se que a interface desenvolvida permitiu que mesmo os usuários leigos operassem a sonda, configurassem os parâmetros de medição e exportassem os arquivos sem dificuldades operacionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho cumpriu o seu objetivo de desenvolver uma aplicação móvel para o controle de uma sonda portátil de Espectroscopia por Impedância Elétrica, bem como gerenciamento de dados recebidos por esta. A escolha do Flutter para o desenvolvimento viabilizou uma solução multiplataforma eficiente, enquanto a comunicação via BLE permitiu estabilidade na transmissão assíncrona de comandos e vetores de medição. A adoção do padrão *Offline-First,* junto ao sistema de *backup* em nuvem, provou ser eficaz para garantir a integridade e a sincronização dos dados sem custos adicionais de infraestrutura. Além disso, os testes de usabilidade e internacionalização validaram a interface de operação da sonda, desde a configuração e mapeamento até a exportação de arquivos, por usuários com diferentes perfis. Com isso, a aplicação pode servir como uma ferramenta acessível e de baixo custo para a realização de medições da bioimpedância elétrica fora do ambiente de bancada de laboratório.

Palavras-chave: aplicativo móvel; impedância elétrica; instrumentação portátil

ANEXOS

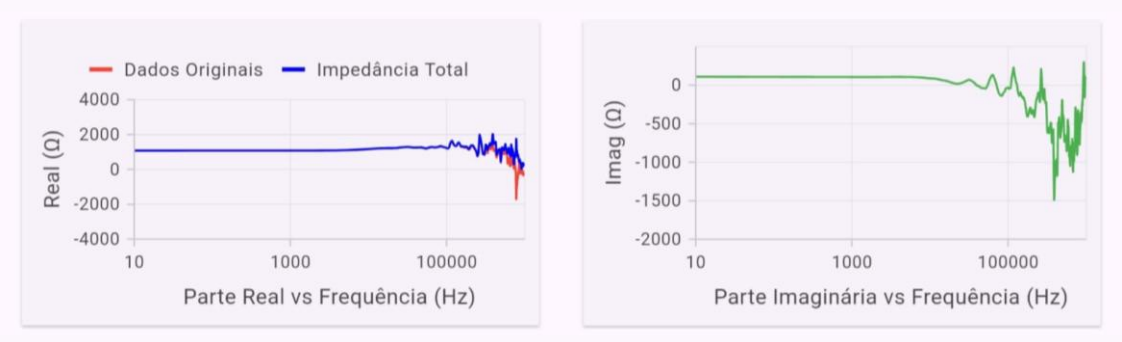


Figura 1. *Parte real e imaginária da impedância em função da frequência de um resistor visualizada no dispositivo móvel por meio do aplicativo.*

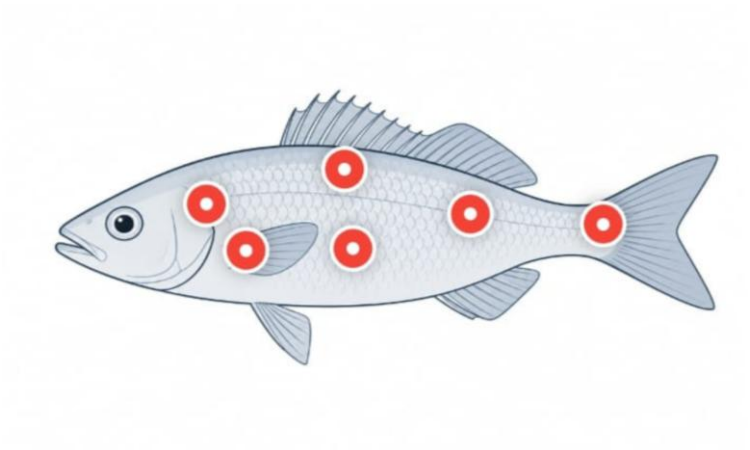


Figura 2: *Interface de mapeamento interativo do aplicativo, onde cada marcador representa uma medição individual.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CAICEDO-ERASO, Julio César; DÍAZ-ARANGO, Félix Octavio; OSORIO-ALTURO, Andrea. *Electrical impedance spectroscopy applied to quality control in the food industry.* **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 21, n. 1, p. 100-119, 2020.

[2] FLUTTER. **Flutter documentation**. [S.l.]: Google, 2026. Disponível em: https://docs.flutter.dev/. Acesso em: 15 ago. 2026.

[3] TOSI, Jacopo et al. *Performance evaluation of Bluetooth low energy: A systematic review*. **Sensors**, v. 17, n. 12, p. 2898, 2017.

[4] POTHINENI, Sri Harsha. *Offline-first mobile architecture: Enhancing usability and resilience in mobile systems*. **Journal of Artificial Intelligence General Science (JAIGS) ISSN: 3006-4023**, v. 7, n. 01, p. 320-326, 2024.

[5] GOOGLE. **Google Drive API: reference/rest/v3**. Google, [2026]. Disponível em: https://developers.google.com/workspace/drive/api/reference/rest/v3?hl=pt-br. Acesso em: 16 ago. 2026.