

O uso de Beacons Bluetooth Low Energy (BLE) para frequência na escola Superior da Magistratura Tocantinense (ESMAT)

The use of Bluetooth Low Energy (BLE) Beacons for attendance at the Superior da Magistratura Tocantinense school (ESMAT)

Luiz Carlos Porto do Carmo¹ e Edeilson Milhomem da Silva¹

¹ Universidade Federal do Tocantins, Ciência da Computação, Tocantins, Brasil

Data de recebimento do manuscrito: 04/02/2026

Data de aceitação do manuscrito: 07/04/2026

Data de publicação: 14/04/2026

Resumo— Com o avanço da Internet das Coisas (IoT), a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) tem se destacado como uma alternativa eficiente para automação baseada em proximidade. Este artigo propõe e valida um modelo arquitetural para o controle automatizado de frequência acadêmica utilizando beacons BLE. A solução integra um aplicativo móvel e uma API RESTful ao sistema da Secretaria Acadêmica Virtual da Escola Superior da Magistratura Tocantinense (ESMAT). Os experimentos realizados em ambiente controlado demonstraram baixa latência na detecção de presença, consumo energético reduzido e viabilidade técnica para implantação institucional. O modelo proposto contribui para a modernização dos processos acadêmicos ao reduzir intervenções manuais e aumentar a confiabilidade dos registros de frequência.

Palavras-chave—Bluetooth Low Energy, beacons BLE, controle de frequência, aplicação móvel, sistemas acadêmicos

Abstract— Driven by advancements in the Internet of Things (IoT), Bluetooth Low Energy (BLE) technology has emerged as a highly effective solution for proximity-based automation. This paper proposes and validates an architectural model for automated academic attendance tracking using BLE beacons. The solution seamlessly integrates a mobile application and a RESTful API into the Academic Virtual Secretariat of the Escola Superior da Magistratura Tocantinense (ESMAT). Experimental results from a controlled environment demonstrate low detection latency, minimal energy consumption, and strong technical feasibility for institutional deployment. Ultimately, the proposed model modernizes academic management by reducing manual interventions and enhancing data reliability.

Keywords—Bluetooth Low Energy, BLE beacons, attendance control, mobile application, academic systems

I. INTRODUÇÃO

O controle de frequência acadêmica é uma atividade essencial para instituições de ensino, pois impacta diretamente a gestão pedagógica, a avaliação discente e a conformidade normativa. Tradicionalmente, esse processo é realizado de forma manual ou semiautomatizada, por meio de listas de chamada, leitura de QR Codes ou digitação de identificadores pessoais, métodos que se mostram suscetíveis a falhas humanas, atrasos operacionais e inconsistências nos dados registrados.

Com o crescimento das soluções baseadas em Internet das Coisas (IoT), novas abordagens têm sido exploradas para automatizar processos institucionais. Nesse cenário, a

evolução do protocolo Bluetooth, especialmente em sua versão Low Energy (BLE), consolidou-se como um pilar central para a conectividade em ecossistemas de IoT, facilitando a automação em larga escala devido à sua capacidade de operar com baixo consumo energético e custo reduzido KOULOURAS et al., 2025 [1]. O uso de beacons BLE destaca-se por permitir a detecção de dispositivos móveis em um raio controlado, mostrando-se particularmente promissor em ambientes internos, como salas de aula, onde a proximidade física pode ser utilizada como critério confiável e transparente para o registro de presença.

Este trabalho propõe um modelo arquitetural para o controle automatizado de frequência acadêmica utilizando beacons BLE, integrando um aplicativo móvel e uma API RESTful ao sistema da Secretaria Acadêmica Virtual (SAV) da Escola Superior da Magistratura Tocantinense (ESMAT).

Dados de contato: Luiz Carlos Porto do Carmo, luiz.porto@uft.edu.br

O objetivo é validar a viabilidade técnica da solução por meio de um protótipo funcional, avaliando indicadores de desempenho, consumo energético e a eficácia da integração com os fluxos acadêmicos já existentes na instituição.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A literatura acadêmica apresenta diversas iniciativas que exploram a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) para modernizar processos educacionais, focando especialmente em automação e localização indoor. Recentemente, Alvarez-Merino et al. (2023) [2] exploraram o uso de IPS (Indoor Positioning Systems) no contexto da Educação Inteligente, destacando como a localização pode servir de base para serviços responsivos e integrados no campus.

O estudo de Degini (2018) [3] descreve um sistema implementado no Instituto Federal de São Paulo (IFSP) que utiliza beacons BLE para automatizar o registro de presença de forma transparente aos usuários. O trabalho destacou que o consumo energético nos dispositivos móveis foi inferior a 1% por período letivo, comprovando a viabilidade da tecnologia para uso contínuo. Enquanto o estudo de Degini focou na implementação técnica isolada, a presente proposta avança ao integrar a detecção via BLE à Secretaria Acadêmica Virtual (SAV) da ESMAT, alinhando a solução às demandas operacionais institucionais.

Ferreira e Antunes (2022) [4] investigaram o uso de gateways e beacons para o rastreamento de pessoas em ambientes fechados utilizando trilateração baseada em RSSI (Received Signal Strength Indicator). O sistema utilizou o protocolo MQTT para garantir a leveza na comunicação entre dispositivos embarcados e servidores, obtendo precisão satisfatória em áreas com baixa interferência. Esses fundamentos técnicos apoiam a decisão deste trabalho de utilizar a detecção de proximidade como critério de presença, sem a necessidade de algoritmos complexos de posicionamento absoluto.

Na Tailândia, Puckdeevongs et al. (2020) desenvolveram um sistema na Universidade de Rangsit baseado em técnicas de fingerprinting de RSSI. Os resultados demonstraram que a tecnologia BLE mantém uma precisão aceitável mesmo em ambientes com alta interferência de sinal, típicos de salas de aula densamente ocupadas. Complementarmente, revisões contemporâneas como a de Al-Shareeda et al. (2023) [5] reforçam que o BLE é uma das tecnologias mais promissoras para a IoT, embora ressaltem que desafios de segurança e privacidade continuam sendo questões abertas e críticas para a área.

Rebonatto et al. (2020) [6] demonstraram o uso de beacons para a distribuição automatizada de conteúdo digital na Universidade de Passo Fundo. O sistema utilizava a localização física do aluno como gatilho para o envio de materiais acadêmicos e avisos contextuais, mostrando eficácia inclusive em áreas externas do campus. Essa abordagem reforça o potencial dos dispositivos móveis dos discentes como recursos viáveis para a implementação de soluções baseadas em contexto.

Melo (2017) [7] propôs o uso de plataformas Arduino integradas a módulos BLE para o mapeamento e acompanhamento de aulas na Universidade Federal do Ceará. O estudo ressaltou como a conectividade entre

sensores e dispositivos móveis pode gerar dados analíticos sobre padrões de assiduidade e tempo médio de permanência em sala.

Em suma, as pesquisas analisadas confirmam que o BLE é uma solução eficaz para automação em ambientes fechados devido ao seu baixo custo e eficiência energética. A proposta deste artigo se posiciona como um desdobramento prático dessas soluções, integrando a detecção automática aos fluxos acadêmicos reais da ESMAT.

III. METODOLOGIA

A pesquisa é classificada como aplicada, de natureza quali-quantitativa, com caráter exploratório e descritivo. O desenvolvimento da solução foi fundamentado nos princípios da Engenharia de Software, adotando o Ciclo de Vida de Desenvolvimento de Software (SDLC) sob uma abordagem iterativa e incremental.

a. Considerações Éticas e Proteção de Dados (LGPD)

O projeto foi concebido em conformidade estrita com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) — Lei nº 13.709/2018. Para assegurar a privacidade de docentes e discentes, o tratamento de dados baseou-se nos princípios de finalidade, adequação e necessidade, coletando apenas informações essenciais para a gestão da frequência acadêmica. Foram implementadas medidas de segurança como o controle rigoroso de acesso, criptografia e a priorização de mecanismos de pseudonimização de identificadores.

b. Etapas de Desenvolvimento

processo de engenharia foi dividido em quatro fases interdependentes:

- **Análise de Requisitos:** Realizou-se o mapeamento do processo manual da Secretaria Acadêmica Virtual (SAV) da ESMAT, identificando falhas como filas excessivas e erros humanos no registro via QR Code ou CPF. Foram definidos requisitos funcionais (registro automático, visualização em tempo real) e não-funcionais (segurança via LGPD, baixo consumo de bateria e escalabilidade).
- **Planejamento e Design:** Definiu-se a arquitetura de Monólito Modular para garantir baixo acoplamento e facilidade de manutenção. As escolhas tecnológicas incluíram C# para o back-end, React Native para o mobile e o protocolo iBeacon para a detecção.
- **Desenvolvimento do Protótipo:** Implementou-se a API em .NET Core e a lógica de "Check-in Assistido" no aplicativo móvel. Nessa abordagem, o sistema valida automaticamente a proximidade via BLE, mas exige a confirmação consciente do aluno para evitar registros acidentais.
- **Testes Preliminares:** O protótipo foi submetido a seis categorias de testes em ambiente controlado: funcionais, de interface/usabilidade, de integração, de desempenho (latência e carga), de robustez e de segurança (autenticação e proteção de dados).

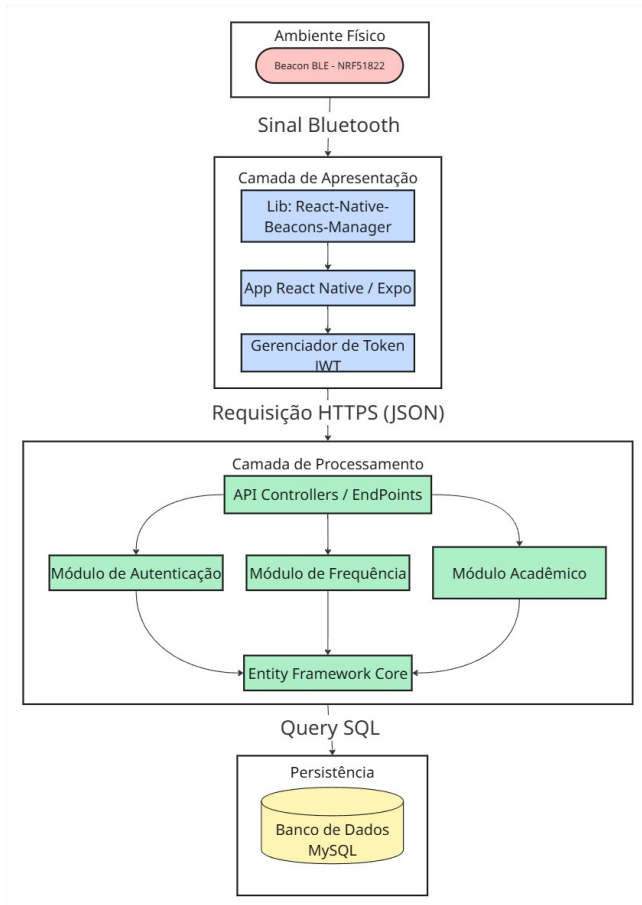


Figura 1: Visão geral da arquitetura técnica do sistema de controle de frequência baseado em BLE.

IV. ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO

O sistema é estruturado em camadas lógicas com o objetivo de separar a percepção do ambiente físico, a lógica de negócio e a persistência de dados. Essa abordagem arquitetural promove maior modularidade, facilitando a manutenção evolutiva e a escalabilidade dos componentes.

Conforme apresentado na Figura 1, a camada de percepção do ambiente físico é composta por dispositivos beacon BLE baseados no chipset NRF51822, operando sob o protocolo iBeacon. Esses dispositivos realizam transmissões periódicas no formato de *advertising*, permitindo que dispositivos móveis realizem a detecção passiva sem a necessidade de estabelecimento de conexão.

Na camada de apresentação, o aplicativo móvel desenvolvido em React Native, utilizando o framework Expo, emprega a biblioteca *react-native-beacons-manager* para realizar a varredura dos sinais BLE. O processo de detecção baseia-se na filtragem dos identificadores UUID, Major e Minor previamente configurados para cada ambiente físico, garantindo a correta associação entre o usuário e a sala de aula. Essa abordagem reduz significativamente o consumo energético, uma vez que utiliza escuta passiva dos pacotes BLE.

Após a validação local, os dados são transmitidos por meio de requisições HTTPS no formato JSON para a camada de processamento (Server-Side). A segurança da comunicação é assegurada pelo uso de criptografia via HTTPS e pela autenticação baseada em tokens JWT (*JSON*

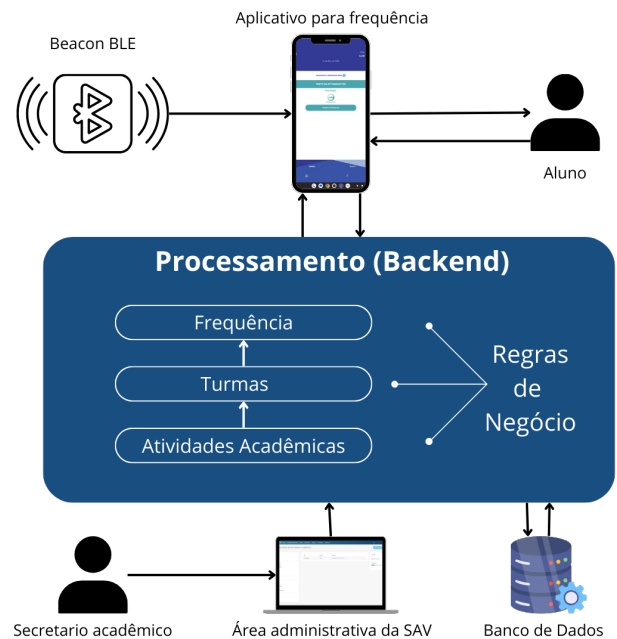


Figura 2: Fluxo de dados e componentes da camada de processamento (Backend).

Web Tokens), os quais encapsulam as informações de identificação e permissões do usuário, eliminando a necessidade de manutenção de sessões no servidor.

A camada de processamento adota o padrão arquitetural de Monólito Modular. Nessa abordagem, os módulos de Autenticação, Frequência e Integração Acadêmica são organizados de forma independente dentro da mesma aplicação .NET, comunicando-se de forma interna (*in-process*). Essa estratégia reduz a latência associada a chamadas distribuídas e simplifica o processo de implantação institucional.

O acesso à camada de persistência é realizado por meio do Entity Framework Core, responsável pelo mapeamento objeto-relacional e pela geração das consultas SQL. Os dados são armazenados em um banco de dados MySQL, garantindo consistência, integridade e disponibilidade das informações.

Complementarmente, a Figura 2 ilustra o fluxo interno da camada de processamento, evidenciando a organização da lógica de negócio em três componentes principais: Atividades Acadêmicas, Turmas e Frequência. Esses componentes representam abstrações centrais do domínio e estruturam o funcionamento do sistema.

- Repositório de Atividades Acadêmicas (RAA): mantém a coleção estruturada de todos os cursos e pós-graduações oferecidos, servindo como base padronizada para a criação de instâncias de ensino.
- Repositório de Turmas (RT): gerencia o vínculo logístico entre professores, alunos matriculados e as instâncias reais das disciplinas, incluindo carga horária e cronogramas.
- Repositório de Frequência (RF): unidade responsável por registrar a assiduidade individual. É alimentado em tempo real pelos dados coletados via beacons BLE, garantindo um controle de presença auditável e preciso.

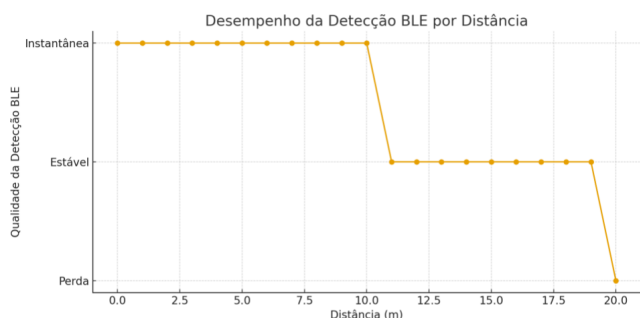


Figura 3: Gráfico da relação entre distancia e tempo medio de detecção.

Este design adota uma estratégia de replicação de dados no RT no momento da criação da turma. Isso garante a integridade histórica e a fidelidade dos registros, assegurando que alterações futuras no cadastro oficial de atividades não afetem os dados de turmas já concluídas ou em andamento.

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes técnicos foram realizados simulando as dimensões reais das salas de aula da ESMAT

a. Desempenho e Acurácia de Detecção

A escolha pelo Bluetooth Low Energy (BLE) em detrimento de outras tecnologias de localização indoor, como Wi-Fi ou UWB, justifica-se pela melhor relação entre custo, precisão e consumo de rádio para o contexto educacional. De acordo com Hailu e Guo (2024) [8], sistemas baseados em rádio frequência são ideais para ambientes institucionais por oferecerem alta adaptabilidade e baixo custo de manutenção. O gráfico apresentado na figura 3 detalha o desempenho observado:

Os testes confirmaram que a precisão do Bluetooth Low Energy é influenciada por variáveis ambientais. Segundo Yeh, Lin e Kuo (2023) [9], o BLE apresenta uma precisão média de 1 a 5 metros em condições ideais, mas sofre atenuação severa na presença de barreiras físicas e alta densidade de pessoas, o que explica a intermitência observada em distâncias superiores a 20 metros em ambientes com múltiplas paredes. Para solucionar a instabilidade inerente ao RSSI (Received Signal Strength Indicator), que é a métrica base para estimar a proximidade, o sistema implementou algoritmos de suavização digital. A aplicação da Média Móvel (SMITH, 1997) [10] e do Filtro de Kalman (KALMAN, 1960) [11] permitiu filtrar ruídos de sinal nos canais de rádio 37, 38 e 39, garantindo que o registro de frequência fosse acionado apenas em distâncias seguras de até 19 metros, validando a eficácia do protótipo em salas de aula típicas.

b. Consumo Energético e Carga

Um ponto crítico solicitado pelos revisores refere-se ao impacto no dispositivo do usuário. Em testes de campo de uma hora:

- Consumo de Bateria: O aplicativo utilizou apenas 2% da capacidade total da bateria do smartphone, sendo

superior a soluções baseadas em GPS.

- Teste de Carga: A API processou com sucesso o registro simultâneo de 10 dispositivos móveis sem aumento significativo na latência.
- Autonomia da Infraestrutura: Utilizando beacons com chip NRF51822 e bateria CR2032, a vida útil estimada é de 12 a 18 meses com intervalo de advertising de 350ms, cobrindo integralmente um ano letivo.

c. Síntese de Viabilidade

A matriz de síntese abaixo consolida o desempenho técnico do protótipo:

TABELA 1: AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO SISTEMA

Variável	Classificação	Justificativa
Latência	Ótimo	Registro em tempo real (< 1s).
Consumo App	Ótimo	Impacto mínimo na autonomia do aluno.
Alcance	Bom	Estável até 19m, cobrindo salas padrão.
Resiliência	Razoável	Sinais sofrem atenuação em barreiras densas.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou e validou um modelo arquitetural para o controle automatizado de frequência acadêmica utilizando beacons Bluetooth Low Energy (BLE). Os resultados obtidos indicam que a solução é tecnicamente viável, energeticamente eficiente e adequada para integração com sistemas acadêmicos institucionais.

Apesar das limitações inerentes aos testes em ambiente controlado, o sistema demonstrou potencial para modernizar o processo de registro de presença na ESMAT, reduzindo falhas manuais e aumentando a confiabilidade dos dados. Como trabalhos futuros, recomenda-se a realização de um projeto-piloto em ambiente real e a execução de auditorias de segurança mais abrangentes antes da implantação definitiva.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Koulouras *et al.*, "Evolution of bluetooth technology: Ble in the iot ecosystem." *Sensors*, vol. 25, no. 4, p. 996, 2025, destaca o papel central do BLE em diversas aplicações de IoT.
- [2] C. S. Alvarez-Merino, E. J. Khatib, A. T. Munoz, and R. Barco, "Exploring indoor localization for smart education," *arXiv preprint arXiv:2311.09815*, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2311.09815>
- [3] L. P. M. Degini, "Uso de iot no ambiente educacional para controle de presença." Master's thesis, Instituto Federal de São Paulo (IFSP), 2018. [Online]. Available: <https://repositorio.ifsp.edu.br/server/api/core/bitstreams/f335b2cc-4b29-4dc0-8cee-c284a34e5cb7/content>
- [4] B. M. B. Ferreira and W. P. C. Antunes, "Estudo e desenvolvimento de gateways e beacons ble para rastreamento de pessoas em ambientes fechados," *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, vol. 8, no. 4, p. 1329-1342, 2022. [Online]. Available: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/5135>

- [5] M. Al-Shareeda, M. Ali, S. Manickam, and S. Karuppayah, "Bluetooth low energy for internet of things: review, challenges, and open issues," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 31, pp. 1182–1189, 08 2023.
- [6] M. T. Rebonatto, C. Eckstein, and C. S. Rebonatto, "Utilização de beacons em locais externos: um estudo em um campus universitário no sul do brasil," *SBC Proceedings*, 2020. [Online]. Available: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbcup/article/view/11219/11090>
- [7] E. C. A. d. Melo, "Salas de aula inteligentes: utilização de arduino e bluetooth low energy como beacons para o mapeamento de salas de aula," <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/24950>, 2017, acesso em: abr. 2025.
- [8] T. G. Hailu and X. Guo, "Theories and methods for indoor positioning systems: A comparative analysis, challenges, and prospective measures," *Sensors*, vol. 24, no. 6876, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/21/6876>
- [9] C.-H. Yeh, J.-Y. Lin, and W.-C. Kuo, "Indoor positioning system (ips) using ultra-wide bandwidth (uwb)," *Sensors*, vol. 23, no. 12, p. 5710, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/12/5710>
- [10] S. W. Smith, *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego, CA: California Technical Publishing, 1997.
- [11] R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," *Journal of Basic Engineering*, vol. 82, no. 1, pp. 35–45, 1960.

