DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO IOT DE ALERTA TÁTIL APLICADO À ACESSIBILIDADE DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA

Felipe Santos Biscaro, Victor Romero Siqueira dos Santos, Hélio Lourenço Esperidião Ferreira

Universidade do Vale do Paraíba/Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, feli.biscaro@gmail.com, victor.romero.2000@hotmail.com, helioesperidiao@gmail.com.

Resumo

Pessoas com deficiência auditiva enfrentam dificuldades com sistemas de alerta baseados exclusivamente em som, como os alarmes tradicionais. Este trabalho apresenta o VibraWake, um sistema IoT de despertador vibratório voltado a esse público, desenvolvido como projeto de disciplina em Engenharia da Computação. A solução integra uma pulseira vibratória baseada no ESP32-C3 Mini e no módulo L298N, comunicando-se via Bluetooth de baixo consumo (BLE) com um aplicativo web progressivo (PWA) em React e Vite, e um backend em Django com Django REST Framework, responsável pelo registro e pela análise do comportamento de despertar do usuário. O desenvolvimento seguiu uma abordagem iterativa em três camadas (hardware, frontend e backend), com validação por testes funcionais manuais. Os testes confirmaram a conexão BLE entre o aplicativo e a pulseira, o funcionamento dos quatro perfis de intensidade de vibração do firmware, o gerenciamento de alarmes e a geração de métricas e sugestões personalizadas de despertar.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Bluetooth de baixo consumo. Acessibilidade. Deficiência auditiva. Sistemas embarcados.

Área do Conhecimento: Engenharias — Engenharia de Computação.

Introdução

O acesso a soluções tecnológicas de acessibilidade ainda é um desafio para parcela expressiva da população que apresenta alguma deficiência (Bersch, 2013). Segundo a Organização Mundial da Saúde, mais de 1,5 bilhão de pessoas convivem com algum grau de perda auditiva no mundo, e no Brasil o Censo 2022 registrou cerca de 2,6 milhões de pessoas com dificuldade para ouvir mesmo utilizando aparelhos auditivos (Organização Mundial da Saúde, 2021; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025). Para esse público, sistemas de alerta baseados exclusivamente em som, como os alarmes tradicionais, costumam ser ineficazes, e a situação se agrava em ambientes compartilhados, onde o som pode incomodar outros moradores mesmo quando o usuário não tem deficiência auditiva.

A Internet das Coisas, do inglês Internet of Things (IoT), definida como a integração de objetos físicos embarcados com sensores, capacidade de processamento e conectividade em rede (Atzori; Iera; Morabito, 2010), tem ampliado o leque de soluções assistivas possíveis, ao integrar dispositivos embarcados de baixo custo, conectividade sem fio e aplicações web. O protocolo Bluetooth de baixo consumo, do inglês Bluetooth Low Energy (BLE), se destaca nesse cenário pela adequação a dispositivos vestíveis, por seu baixo consumo energético e por seu curto período de latência (Bluetooth Special Interest Group, 2016; Gomez; Oller; Paradells, 2012), e microcontroladores como o ESP32-C3 combinam processamento de 32 bits com suporte nativo a BLE e Wi-Fi em um único chip de baixo custo (Espressif Systems, 2023). A interface de programação de aplicações para navegadores conhecida como Web Bluetooth API, por sua vez, permite que aplicações web se comuniquem via BLE diretamente pelo navegador, sem necessidade de aplicativo nativo, o que reduz a barreira de desenvolvimento e distribuição (MDN Web Docs, 2024).

Apesar desse avanço, ainda há poucas soluções acessíveis, abertas e de baixo custo voltadas especificamente a alertas táteis para pessoas com deficiência auditiva, o que limita o acesso desse público a alternativas equivalentes aos alarmes sonoros tradicionais.

Diante desse cenário, este trabalho apresenta o VibraWake, um sistema IoT de despertador vibratório que integra uma pulseira baseada em ESP32-C3, comunicação BLE, um aplicativo web progressivo e um backend com banco de dados para registro e análise do comportamento de despertar do usuário.

Metodologia

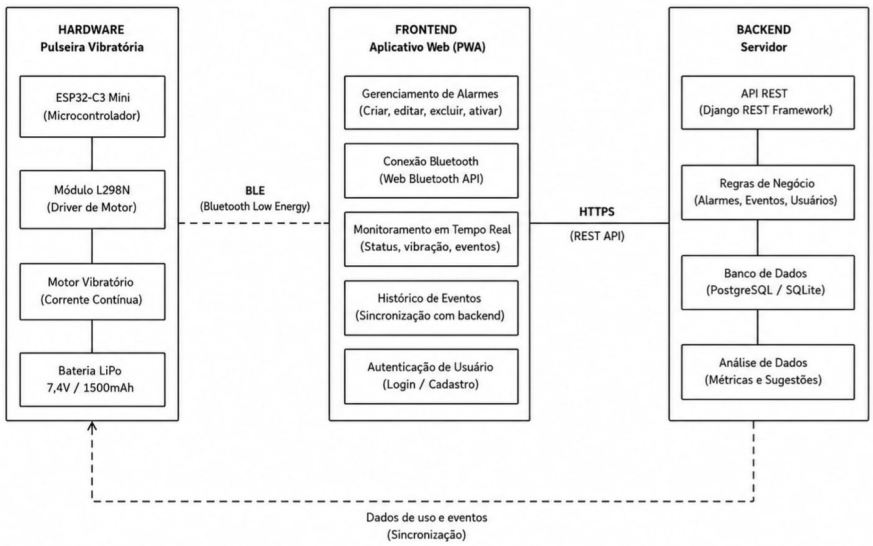
O desenvolvimento do VibraWake seguiu uma abordagem iterativa e incremental, organizada em três camadas funcionais integradas: hardware embarcado, aplicativo web (frontend) e backend com banco de dados. Em cada camada foram definidos os requisitos, implementada a solução e realizada uma validação funcional antes da integração com as demais. A Tabela 1 resume as principais tecnologias empregadas em cada uma dessas camadas, e a Figura 1 apresenta a arquitetura geral do sistema e a relação entre a camada de Hardware, Frontend e Backend.

Tabela 1 – Tecnologias utilizadas no desenvolvimento do VibraWake.

Camada	Tecnologias e função no sistema
Hardware	ESP32-C3 Mini, módulo L298N e motor vibratório de corrente contínua, responsáveis pelo acionamento físico da pulseira.
Frontend	Aplicativo web PWA em React e Vite, com comunicação BLE via Web Bluetooth API para gerenciamento de alarmes.
Backend	Django e Django REST Framework, com banco de dados PostgreSQL/SQLite e deploy na plataforma Render.

Fonte: Os autores (2026).

Figura 1 – Arquitetura geral do sistema VibraWake: hardware, aplicativo web (PWA) e backend.



Fonte: Os autores (2026).

O hardware do protótipo é composto pelo microcontrolador ESP32-C3 Mini, pelo módulo de acionamento L298N, por um motor vibratório de corrente contínua e por uma bateria LiPo de 7,4V e 1500mAh. A bateria alimenta o L298N, que fornece tensão regulada de 5V ao ESP32-C3; o pino de entrada e saída de uso geral, do inglês General Purpose Input/Output (GPIO), identificado como GPIO4 do microcontrolador conecta-se ao pino IN1 do L298N e o GPIO3 ao IN2, com o motor

vibratório ligado às saídas OUT1 e OUT2. O ESP32-C3 é um microcontrolador de 32 bits com suporte nativo a Bluetooth 5.0 e Wi-Fi, de baixo consumo e custo reduzido, o que o torna adequado à prototipagem de dispositivos vestíveis (Espressif Systems, 2023; Gomez; Oller; Paradells, 2012).

A programação do firmware foi desenvolvida em C/C++ com a plataforma Arduino e a biblioteca NimBLE-Arduino, anunciando o dispositivo como "VibraWake Bracelet" e expondo um serviço BLE com características para identificação, recepção de comandos e retorno de estado. Os comandos suportados são TEST, VIBRATE e STOP, combinados com quatro perfis de intensidade (leve, moderado, forte e gradual), este último iniciando em intensidade leve e progredindo para moderada e forte ao longo do tempo, seguindo diretrizes de projeto de estímulos vibrotáteis que recomendam variar a amplitude e a duração da vibração para transmitir diferentes níveis de urgência ao usuário (Van Erp, 2002).

O aplicativo web foi desenvolvido como *Progressive Web App* (PWA) em React e Vite, o que permite a instalação em dispositivos móveis, o funcionamento offline parcial e, principalmente, o acesso à Web Bluetooth API sem a necessidade de um aplicativo nativo. A interface reúne autenticação de usuário, cadastro e gerenciamento de alarmes, seleção de intensidade de vibração, conexão e teste da pulseira via Bluetooth, tela de alarme ativo com opções de desligar ou adiar o alerta, e acesso ao histórico de eventos registrados.

O backend foi implementado por meio da linguagem de programação Python com Django e Django REST Framework, seguindo o padrão arquitetural Model-Template-View (MTV) e expondo uma interface de programação de aplicações, do inglês Application Programming Interface (API), do tipo REST (Representational State Transfer), conforme o estilo arquitetural proposto por Fielding (2000), e utiliza PostgreSQL em produção e SQLite em desenvolvimento, com deploy na plataforma Render (Django Software Foundation, 2024). A comunicação entre o PWA e a pulseira ocorre via Bluetooth de baixo consumo, por meio da Web Bluetooth API disponível em navegadores baseados em Chromium, enquanto a comunicação entre o PWA e o backend se dá por requisições do protocolo de transferência de hipertexto, do inglês Hypertext Transfer Protocol (HTTP), à API REST, com troca de dados no formato JavaScript Object Notation (JSON). A validação do sistema integrado foi conduzida por meio de testes funcionais manuais, cobrindo os principais fluxos de uso, do cadastro do alarme ao registro do evento e à geração da análise de comportamento de despertar.

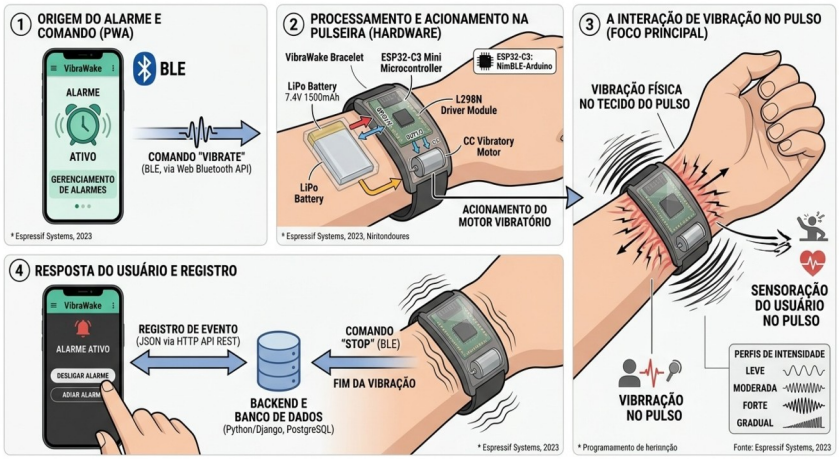
Resultados

O sistema foi desenvolvido com o conjunto de funcionalidades previstas no escopo do projeto. Na tela de alarmes, o usuário pode cadastrar, editar, excluir, ativar e desativar alarmes, com configuração de horário e intensidade de vibração; a tela de alarme ativo permite desligar o alerta ou adiá-lo em intervalos de 1, 5 ou 10 minutos. Na tela de dispositivo, o usuário pode conectar a pulseira via Bluetooth, visualizar o status da conexão e testar cada perfil de vibração.

Os testes funcionais confirmaram a integração entre as camadas do sistema: o aplicativo conecta-se à pulseira via BLE, os comandos são interpretados corretamente pelo firmware e o motor vibratório responde fisicamente aos quatro perfis de intensidade configurados. Todos os eventos gerados durante o uso (disparos de alarme, início e fim de vibração, acionamentos de soneca, conexões e erros de Bluetooth) são transmitidos ao backend e armazenados no banco de dados, compondo o histórico de atividade do usuário.

A Figura 2 ilustra o diagrama de interação entre o aplicativo, o hardware e o banco de dados. Observa-se a comunicação entre o aplicativo e a pulseira via protocolo BLE. A pulseira permanece vibrando até ser desligada pelo usuário, momento em que um sinal de interrupção (stop) é enviado à aplicação.

Figura 2 – Diagrama esquemático de funcionamento do VibraWake.

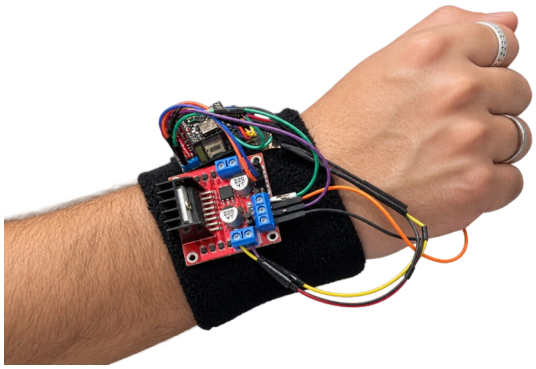


Fonte: Os autores (2026).

O recurso de análise de comportamento de despertar processa os eventos armazenados e gera métricas como o total de alarmes disparados, a taxa de acordar de primeira, o tempo médio de reação entre o disparo e o desligamento do alarme, a taxa de uso de soneca e a confiabilidade da pulseira, além do comparativo de desempenho por intensidade de vibração. Com base nessas métricas, o sistema sugere ajustes ao usuário, como aumentar a intensidade em horários de maior dificuldade ou adotar o modo gradual, e classifica o perfil de despertar em categorias descritivas. O sistema não realiza medição de qualidade do sono, restringindo sua análise ao comportamento observado durante o processo de despertar.

A Figura 3 apresenta o protótipo físico da pulseira montado com esses componentes.

Figura 3 – Protótipo físico da pulseira vibratória do VibraWake.



Fonte: Os autores (2026).

A Figura 4 ilustra a interface do aplicativo web, mostrando as telas de gerenciamento de alarmes, de conexão com a pulseira e de histórico de eventos registrados.

Figura 4 – Interface do aplicativo web VibraWake para gerenciamento de alarmes e conexão com a pulseira.



Fonte: Os autores (2026).

Discussão

Os resultados indicam que a arquitetura proposta é tecnicamente viável para uma solução assistiva de baixo custo, alinhada à proposta de integração de dispositivos embarcados de baixo custo, sensores e conectividade que caracteriza a Internet das Coisas (Atzori; Iera; Morabito, 2010). O ESP32-C3 Mini mostrou-se adequado ao suportar nativamente BLE, operar com baixo consumo e apresentar custo reduzido, alinhando-se aos requisitos de um dispositivo vestível acessível. O módulo L298N, embora funcional para fins de prototipagem, tem dimensões consideráveis para uma pulseira de uso diário, o que aponta para a substituição por um driver mais compacto em versões futuras.

A principal limitação identificada está na dependência do aplicativo aberto e da tela ativa para o disparo dos alarmes, já que a Web Bluetooth API exige que o contexto do navegador esteja em execução ativa. Um temporizador local no firmware do ESP32-C3 foi considerado como alternativa para versões futuras, permitindo que a pulseira dispare a vibração de forma autônoma, independentemente do estado do celular. Outras limitações incluem a compatibilidade restrita da Web Bluetooth API com o Safari e dispositivos iOS, o que reflete desafios de adoção multiplataforma já discutidos na literatura sobre BLE (Gomez; Oller; Paradells, 2012), e a ausência de armazenamento local de alarmes na pulseira.

O VibraWake também guarda relação com propostas acadêmicas anteriores voltadas ao mesmo problema. O DIPDA (Despertador Inclusivo para Pessoas com Deficiência Auditiva), projeto de disciplina desenvolvido na UTFPR em 2019, propôs um despertador com alarme sonoro e vibratório vestível (o “vibracall”) acionados simultaneamente, mas baseado inteiramente em hardware local: dois microcontroladores Arduino, display de cristal líquido, do inglês Liquid Crystal Display (LCD), sensor de temperatura e uma interface de desligamento por meio de um laser apontado manualmente para um sensor fotorresistivo, do inglês Light Dependent Resistor (LDR), sem aplicativo móvel ou registro de dados (Silva; Luz; Tangerino, 2019). Um projeto mais amplo, conduzido por Gandelman e Mendes (2014) como trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica na mesma universidade, aplicou metodologias de projeto de produto e um estudo de benchmarking de mercado para desenvolver um dispositivo dividido em módulo vibrador e base, comunicando-se por ondas de rádio e validado com um protótipo funcional testado por voluntários, também sem comunicação Bluetooth, aplicativo ou coleta digital de dados. O VibraWake se diferencia dessas propostas por adotar uma arquitetura IoT baseada em BLE e um aplicativo web, que permitem configuração remota do alarme, histórico de uso e análise do comportamento de despertar, funcionalidades ausentes em ambos os trabalhos.

Em comparação com soluções comerciais de despertador vibratório, como o Sonic Bomb (Sonic Alert), disponível no Brasil por cerca de R$ 300, ou o Bellman & Symfon Vibio, que também se

conecta a um aplicativo via Bluetooth mas é importado, com preço em torno de US$ 100 a 150 mais impostos, o VibraWake se diferencia por reunir, em uma solução de hardware aberto, o registro de eventos, a análise de comportamento de despertar e a geração de sugestões personalizadas, recursos não oferecidos por esses produtos comerciais (Sonic Alert, 2026; Bellman & Symfon, 2026).

Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento do VibraWake, um sistema IoT de despertador vibratório voltado a pessoas com deficiência auditiva. A integração entre o hardware embarcado, o aplicativo web PWA e o backend Django/Django REST Framework resultou em um sistema funcional, com testes manuais confirmando a comunicação BLE, o acionamento dos quatro perfis de vibração, o gerenciamento de alarmes e a geração de métricas de comportamento de despertar. As limitações identificadas, sobretudo a dependência da tela ativa e a compatibilidade restrita com iOS, apontam caminhos para versões futuras, como a implementação de um temporizador local no firmware e o desenvolvimento de um aplicativo nativo. O VibraWake indica que é possível desenvolver, com componentes acessíveis e tecnologias abertas, uma solução assistiva funcional para alertas táteis baseados em vibração.

Referências

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: a survey. Computer Networks, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
BELLMAN & SYMFON. Vibio: Agitador de Cama Sem Fio Bluetooth. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Bellman-Symfon-Bluetooth-vibrat%C3%B3rios-dificuldade/dp/B082VHC69X>. Acesso em: ago. 2026.
BERSCH, R. Introdução à Tecnologia Assistiva. Porto Alegre: CEDI, 2013.
BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP. Bluetooth Core Specification 5.0. Kirkland: Bluetooth SIG, 2016. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification/>. Acesso em: jun. 2026.
DJANGO SOFTWARE FOUNDATION. Django Documentation. Disponível em: <https://docs.djangoproject.com>. Acesso em: jun. 2026.
ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32-C3 Series Datasheet. Shanghai: Espressif Systems, 2023. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf>. Acesso em: jun. 2026.
FIELDING, R. T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. 2000. Dissertação (Doutorado em Ciências da Computação), University of California, Irvine, 2000.
GANDELMAN, A. D. B.; MENDES, F. H. Desenvolvimento do projeto e protótipo de dispositivo para despertar surdos. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
GOMEZ, C.; OLLER, J.; PARADELLS, J. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. Sensors, v. 12, n. 9, p. 11734-11753, 2012.
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2022: Pessoas com Deficiência e Pessoas Diagnosticadas com Transtorno do Espectro Autista, resultados preliminares da amostra. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.
MDN WEB DOCS. Web Bluetooth API. Mozilla, 2024. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Bluetooth_API>. Acesso em: jun. 2026.
ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. World Report on Hearing. Genebra: OMS, 2021.
SILVA, R. R.; LUZ, M. G.; TANGERINO, P. O. B. DIPDA: despertador inclusivo para pessoas com deficiência auditiva, proposta de projeto. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
SONIC ALERT. Sonic Bomb: Despertador Vibratório com Agitador de Cama. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Sonic-Alert-Despertador-Dormentes-Multicolorido/dp/B000OOWZUK>. Acesso em: ago. 2026.
VAN ERP, J. B. F. Guidelines for the use of vibro-tactile displays in human computer interaction. In: Proceedings of Eurohaptics, Edinburgh, 2002. p. 18-22.