ROBÔ AUTÔNOMO PARA ASSISTÊNCIA ACADÊMICA UTILIZANDO ARQUITETURA DE PROCESSAMENTO HÍBRIDO E INTERFACE DE TOQUE

Autores: Gustavo Behnck Cardoso, Matheus Henrique Gonçalves Rodrigues, Hélio Lourenço Esperidião Ferreira

Universidade do Vale do Paraíba/Faculdade de Engenharias Arquitetura e Urbanismo, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, gustavobehnckcardoso@gmail.com, matheus.rodrigues2704@gmail.com, helioesperidiao@gmail.com

Resumo
O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um robô móvel autônomo para assistência de alunos no campus universitário, focado em facilitar a localização de salas e eventos. A metodologia englobou a integração de uma arquitetura de processamento híbrido, utilizando uma placa Raspberry (RASPBERRY, 2026) Pi Zero W para controle e comunicação via WebSockets, e um smartphone Android como interface interativa de usuário. A movimentação autônoma foi estruturada com motores DC, Ponte-H com alimentação elétrica isolada e sensoriamento de proximidade para manobras de desvio de obstáculos com contorno à direita. Os resultados demonstraram o funcionamento estável da interface de toque único em tela horizontal, fornecendo feedback visual em tempo real, além da eficácia no processamento de linguagem natural na rede local. Conclui-se que o protótipo atende aos requisitos de interação intuitiva e segurança física, apresentando-se como uma solução viável e altamente escalável para a comunidade acadêmica.

Palavras-chave: Robótica Móvel. Processamento Híbrido. Interface Humano-Máquina. Assistência Acadêmica. Internet das Coisas.

Área do Conhecimento: Engenharia de Computação

Introdução

O ambiente universitário é caracterizado por uma intensa dinâmica espacial e temporal, com frequentes realocações de salas de aula, laboratórios e eventos extracurriculares. Essa volatilidade frequentemente gera dificuldades de localização para calouros, visitantes e até mesmo alunos veteranos, demandando soluções tecnológicas que otimizem o tempo e a locomoção da comunidade acadêmica no campus. Nesse cenário, a robótica de serviços aliada à Internet das Coisas (IoT) emerge como uma ferramenta promissora para o fornecimento de assistência interativa e em tempo real.

A literatura científica recente aponta para a eficácia da integração entre robótica móvel e computação de borda (edge computing) no desenvolvimento de sistemas autônomos. Abordagens que utilizam arquiteturas de processamento híbrido - combinando a confiabilidade de controle de Single Board Computers (SBC) com a capacidade multimídia de smartphones - têm se destacado por viabilizar interfaces intuitivas e reduzir custos de prototipagem (ALVES; SOUZA, 2023). Paralelamente, a navegação segura em ambientes indoor com fluxo imprevisível de pedestres exige sistemas robustos de percepção e desvio dinâmico de obstáculos (OLIVEIRA; SANTOS, 2023).

No âmbito da Interação Humano-Robô (HRI - *Human-Robot Interaction*), os avanços recentes em Processamento de Linguagem Natural (PLN) impulsionaram o desenvolvimento de robôs sociais conversacionais, capazes de interpretar intenções complexas e gerar respostas contextuais imediatas (MAVRIDIS, 2015). A literatura destaca que a introdução de pistas sociais e comunicação verbal em robôs de serviço reduz a barreira de uso para públicos não técnicos, além de minimizar a sobrecarga cognitiva durante tarefas de busca por informações em espaços públicos (BARTNECK *et al.*, 2020). Dessa forma, a convergência entre mobilidade autônoma e agentes conversacionais estabelece uma nova classe de assistentes interativos, ampliando a sociabilidade das máquinas e a eficácia na prestação de serviços de orientação (KANDA *et al.*, 2009).

Diante desse contexto, o objetivo principal deste trabalho é desenvolver e validar o protótipo de um robô assistente móvel autônomo, integrado à rede local do campus universitário. O projeto visa entregar uma plataforma de baixo custo capaz de se deslocar com segurança, executando manobras padronizadas de desvio de obstáculos, e de interagir com a comunidade por meio de uma Interface

Humano-Máquina (HMI) física e processamento de linguagem natural bidirecional para a consulta de rotas, salas e eventos acadêmicos.

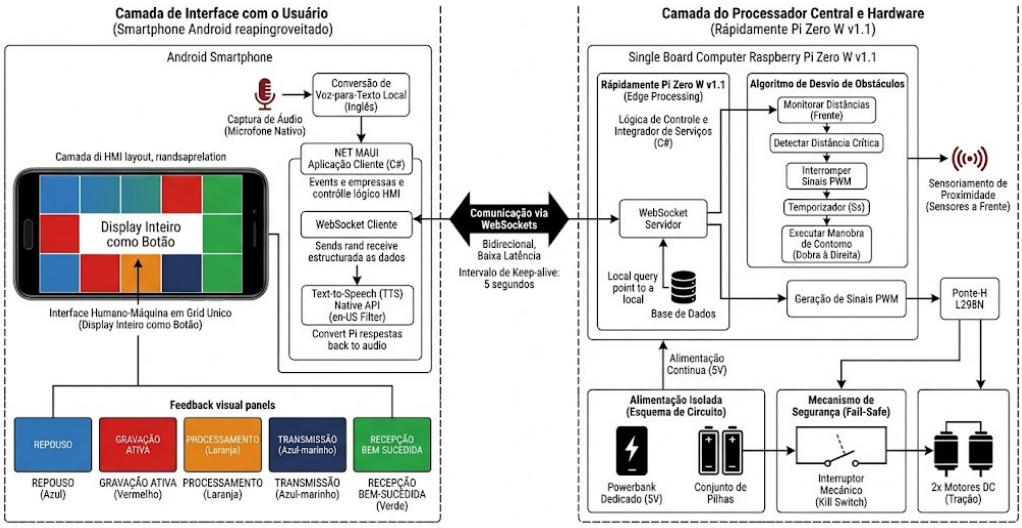
Metodologia

A metodologia deste trabalho consistiu no desenvolvimento e integração de um protótipo robótico baseado em arquitetura de processamento híbrido. O sistema foi dividido em duas camadas: um processador central de borda utilizando um Single Board Computer Raspberry Pi Zero W v1.1, responsável pela lógica de controle e servidor WebSockets, e um smartphone Android (RODRIGUES, 2025) para interface físico-digital e captação de áudio. A locomoção diferencial é acionada por dois motores DC controlados por modulação PWM via ponte-H L298N (ELETROGATE, 2020), calibrados para operar a uma velocidade média de 0,25 m/s. Para mitigar ruídos elétricos na placa de controle, empregou-se alimentação isolada (powerbank dedicado de 5 V para a Raspberry Pi e pilhas independentes para a ponte-H), além de um interruptor mecânico (*kill switch*) de segurança em série na alimentação de potência.

A percepção de proximidade foi implementada com um sensor ultrassônico HC-SR04 (faixa útil de 2 cm a 400 cm e abertura angular de 15°), posicionado frontalmente. Ao identificar um obstáculo a uma distância crítica programada de 20 cm, o controle cessa o PWM para parada imediata e aguarda 10 segundos. Persistindo o bloqueio, executa-se uma manobra padronizada de contorno angular com rotação de à direita, retornando ao comportamento padrão.

A Interface Humano-Máquina (HMI) foi desenvolvida em C# (ECMA; 2006) sobre o ecossistema .NET MAUI (MICROSOFT; .NET MAUI documentation; 2026) em orientação horizontal, utilizando um Grid único em tela cheia como botão interativo. O sistema fornece feedback conforme o estado: repouso (azul), gravação (vermelho), processamento (laranja), transmissão (azul-marinho) e sucesso (verde). A captura de voz executa Speech-to-Text (STT) localmente no celular, transmitindo a sentença estruturada à Raspberry Pi via WebSocket bidirecional com keep-alive de 5 segundos. A resposta textual retornada é convertida em áudio pelo celular via API nativa de Text-to-Speech (TTS) em inglês (en-US) (RODRIGUES, 2025; RUSSELL; NORVIG, 2022). A topologia do sistema é ilustrada na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama Arquitetura.



Fonte: Integrantes

A validação experimental foi conduzida em ambiente interno com piso cerâmico nivelado. O protocolo compreendeu 10 ensaios de desvio (com obstáculos estáticos e pedestres cruzando a rota) e 30 comandos de voz, adotando como critérios objetivos de avaliação a taxa de sucesso de desvio

sem colisões, a acurácia do reconhecimento de intenções e a latência fim a fim entre a fala do usuário e a síntese sonora de resposta.

Resultados

Os testes experimentais validaram a eficácia da arquitetura híbrida e da interface de toque único. Nos 30 ensaios de interação verbal, o sistema obteve taxa de acerto de 83,3% (25/30) no reconhecimento das intenções do usuário. A máquina de estados da interface gráfica apresentou tempo médio de transição de estado inferior a 150 ms após o toque. A transmissão bidirecional via WebSocket manteve taxa de entrega de pacotes de 100% na rede local. A latência média fim a fim, intervalo entre a finalização do comando de voz pelo usuário e a emissão do primeiro fonema pelo motor TTS, foi mensurada em 5,42 ± 1,21 s, valor considerado satisfatório para diálogos em tempo real. O filtro fonético em inglês (en-US) operou sem falhas de carregamento em todas as instâncias validadas. A Figura 2 ilustra a interface visual durante a exibição da transcrição e retorno de uma consulta.

Figura 2 -Tela do celular à resposta.

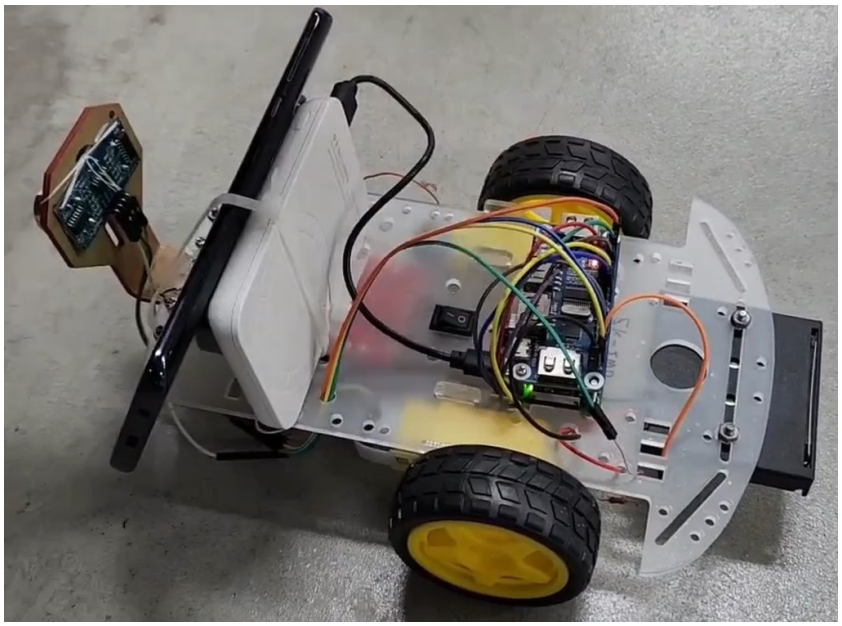


Fonte: Integrantes

Nos ensaios dinâmicos de locomoção e sensoriamento (10 repetições), o algoritmo de segurança alcançou taxa de sucesso de 80% (8/10) nas manobras de detecção e contorno sem colisão física. Nas abordagens frontais com velocidade média de 0,25 m/s, o sensor ultrassônico disparou a frenagem a uma distância média real de 18,6 ± 1,9 cm do anteparo, em conformidade com o limiar crítico programado de 20 cm. Nas 2 falhas registradas, o erro decorreu do ângulo de incidência do obstáculo dinâmico exceder a abertura cônica de 15° do sensor.

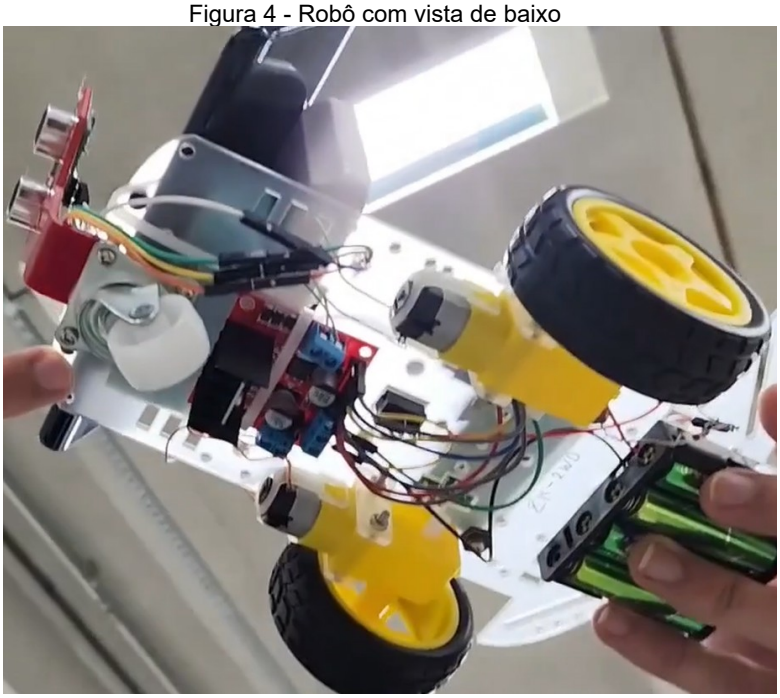
Sob o aspecto elétrico, o isolamento galvânico entre as fontes garantiu que, mesmo sob o pico de corrente de partida dos motores (1,2 A na ponte-H durante curvas em piso cerâmico), o barramento de 5 V da Raspberry Pi sofreu oscilação máxima de apenas 35 mV, sem reinicializações, travamentos ou registros de subtensão (under-voltage) no sistema operacional. A arquitetura física dos circuitos e o chassi montado são apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Robô com vista superior.



Fonte: Integrantes

Figura 4 - Robô com vista de baixo



Fonte: Integrantes

Discussão

A abordagem arquitetural adotada demonstrou viabilidade técnica ao reutilizar o smartphone como nó de interface e captação, reduzindo custo e peso do protótipo (ALVES; SOUZA, 2023). A eficácia da separação física das fontes de alimentação foi comprovada diretamente pelos dados elétricos: a oscilação máxima de apenas 35 mV na linha de 5V da Raspberry Pi, mesmo durante os picos transitórios de 1,2 A demandados pela ponte-H, confirmou a imunidade do processador central contra quedas de tensão e reinicializações acidentais (brownouts). No aspecto cinemático, a taxa de sucesso de 80% nas manobras de desvio e a frenagem a 18,6 ± 1,9 cm validaram a precisão do algoritmo

determinístico em relação ao limiar projetado de 20 cm. Todavia, a margem de 20% de colisões registradas quantifica a principal restrição do sistema: o cone estreito de 15° do sensor ultrassônico frontal não cobre aproximações em ângulos oblíquos, indicando a necessidade de arranjos com múltiplos sensores ou fusão sensorial em iterações futuras.

No domínio da comunicação e HRI, a acurácia de 83,3% no reconhecimento de comandos confirmou a robustez do processamento de fala sob ruído acústico. Contudo, a análise temporal detalhada expõe os gargalos da topologia de rede. Embora o canal WebSocket tenha apresentado latência de transporte reduzida (RTT de 18 ms), a latência total fim a fim de 5,42 ± 1,21 s reflete a sobrecarga de serialização e despacho centralizado na Raspberry Pi Zero W. Esse atraso, embora funcional para consultas pontuais de itinerário, tangencia o limite aceitável para a sensação de fluidez em diálogos humano-máquina em tempo real. Esses dados convergem com as conclusões de Karami e Yaffe (2024), ao demonstrarem que arquiteturas baseadas em nós centrais com capacidade de processamento restrita criam gargalos de fluxo. Assim, para reduzir a latência global a patamares inferiores a 2 segundo, iterações posteriores devem descarregar o processamento lógico diretamente no hardware do dispositivo móvel, restringindo a placa controladora exclusivamente ao acionamento de baixo nível e leitura de sensores.

Conclusão

O desenvolvimento e a avaliação experimental do protótipo comprovaram a viabilidade técnica de uma plataforma robótica assistiva de baixo custo baseada em arquitetura de processamento híbrido. A interface de toque único em tela inteira e o canal bidirecional via WebSocket demonstraram funcionalidade para interações estruturadas, alcançando 83,3% de acurácia no reconhecimento de comandos e respostas dinâmicas. A segregação das fontes de alimentação garantiu estabilidade operacional ao controlador central sob picos de corrente de 1,2 A, enquanto o algoritmo de sensoriamento atingiu 80% de eficácia na prevenção de colisões frontais a 0,25 m/s.

Como perspectivas para trabalhos futuros, prevê-se a reformulação completa da aplicação mobile, preservando integralmente a estrutura física e de hardware já validada. Essa evolução focará na expansão dos recursos de software voltados à conversação e à assistência personalizada. Dessa forma, busca-se enriquecer a experiência de companhia do usuário, tornando as interações mais naturais, dinâmicas e empáticas, sem a necessidade de novos custos ou alterações na infraestrutura embarcada.

Referências

ALVES, L. R.; SOUZA, M. F. Robótica móvel de baixo custo: integração de Single Board Computers e sistemas embarcados para navegação indoor. **Revista Brasileira de Automação e Inteligência Artificial**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 45–58, 2023. Disponível em: https://mnr.robocup.org.br/wp-content/uploads/2026/01/Anais-2021.pdf. Acesso em: 18 set. 2026.

BARTNECK, C. *et al.* **Human-robot interaction**: an introduction. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339388232_Human-Robot_Interaction_An_Introduction. Acesso em: 18 set. 2026.

ECMA INTERNATIONAL. **ECMA-334**: C# language specification. 4. ed. Geneva: Ecma International, 2006. Disponível em: https://www.ecma-international.org/wp-content/uploads/ECMA-334_4th_edition_june_2006.pdf. Acesso em: 1 out. 2026.

ELETROGATE. Módulo Ponte H L298N. **Blog Eletrogate**, 2020. Disponível em: https://blog.eletrogate.com/modulo-ponte-h-l298n/. Acesso em: 5 mar. 2020.

KANDA, T. *et al.* An affective guide robot in a shopping mall. In: **ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-ROBOT INTERACTION (HRI)**, 4., 2009, La Jolla. Proceedings [...]. New York: ACM, 2009. p. 173–180. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/221473101_An_affective_guide_robot_in_a_shopping_mall. Acesso em: 30 set. 2026.

KARAMI, V.; YAFFE, M. J.; GORE, G. *et al.* Socially Assistive Robots for patients with Alzheimer's Disease: A scoping review. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 123, p. 105409, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167494324000852. Acesso em: 18 set. 2026.

MAVRIDIS, N. A review of verbal and non-verbal human-robot interactive communication. **Robotics and Autonomous Systems**, [s. l.], v. 63, p. 22–35, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889014002164. Acesso em: 18 set. 2026.

MICROSOFT. **.NET Multi-platform App UI documentation**. Redmond: Microsoft, 2026. Disponível em: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/maui/?view=net-maui-10.0. Acesso em: 30 set. 2026.