MÁQUINA DE VENDA INTELIGENTE COM ARQUITETURA DE INTERNET DAS COISAS E MONITORAMENTO REMOTO

Lucas Pinotti de Brito, Hélio Lourenço Esperidião Ferreira

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova – 12244-000 – São José dos Campos-SP, Brasil, lucaspinottidebrito@gmail.com, helioesperidiao@gmail.com

Resumo

A integração entre interfaces digitais e equipamentos físicos amplia as possibilidades de autoatendimento e monitoramento remoto. Neste contexto, desenvolveu-se um protótipo de máquina de venda automática com arquitetura de Internet das Coisas (IoT, do inglês Internet of Things). O desenvolvimento incremental integrou o microcontrolador ESP32-S3, motores de passo, sensores infravermelhos, servidor, bancos de dados e plataforma web. A compra autenticada utiliza carteira de saldo simulado; a venda, o desconto do saldo e a atualização do estoque ocorrem somente após a confirmação de dispensação enviada pela máquina. Os resultados qualitativos demonstraram o fluxo entre seleção, acionamento do motor, detecção da passagem do produto e registro da entrega, além do monitoramento dos eventos operacionais. A discussão evidenciou que essa integração demonstra o funcionamento do protótipo, enquanto a rigidez e o alinhamento das espirais, a ausência de pagamento real e a falta de avaliação quantitativa limitam sua aplicação. Conclui-se que a arquitetura apresenta viabilidade preliminar, exigindo aperfeiçoamento mecânico e ensaios de confiabilidade antes de uma utilização comercial.

Área do Conhecimento: Engenharias – Engenharia de Computação.

Palavras-chave: Máquina de venda automática. Internet das Coisas. Sistema embarcado. Autoatendimento. Monitoramento remoto.

Introdução

A digitalização dos meios de pagamento e dos canais de compra favorece soluções de autoatendimento. No Brasil, a expansão do Pix, sistema de pagamentos instantâneos do Banco Central, exemplifica esse contexto (Banco Central do Brasil, 2026). Em máquinas de venda, plataformas externas podem concentrar catálogo, autenticação e acompanhamento da compra.

A Internet das Coisas (IoT, do inglês Internet of Things) integra identificação de objetos, sensores, atuadores e comunicação em rede para oferecer serviços baseados em dados do ambiente físico (Atzori; Iera; Morabito, 2010). Na venda automática, a representação digital da máquina e a seleção por dispositivo móvel permitem separar a interface de compra do equipamento (Solano *et al.*, 2017). Outras propostas relacionam pagamento eletrônico, sensores e gerenciamento remoto (Wiyanti; Alim, 2020), ou articulam código de resposta rápida (QR Code, do inglês Quick Response Code), aplicação móvel, pagamento digital e dispensação (Alam *et al.*, 2021).

O objetivo deste trabalho é desenvolver e analisar qualitativamente um protótipo de máquina de venda automática com plataforma web, servidor, bancos de dados e controle embarcado. A seleção ocorre na plataforma; o microcontrolador executa a dispensação e comunica o resultado. A versão avaliada possui dois compartimentos e compra autenticada com saldo simulado. Pagamentos reais e compra sem cadastro permanecem como possibilidades de desenvolvimento futuro.

Metodologia

O desenvolvimento incremental abrangeu arquitetura, montagem eletrônica e mecânica, programação embarcada, serviços web e integração da compra. A fundamentação associa sensoriamento, comunicação e processamento distribuído (Gubbi *et al.*, 2013) à organização de serviços e dados em IoT (Buyya; Dastjerdi, 2016).

Os elementos conceituais da IoT orientaram a implementação: a identificação de máquinas e compartimentos vincula comandos aos destinos; sensores verificam a passagem do produto e motores

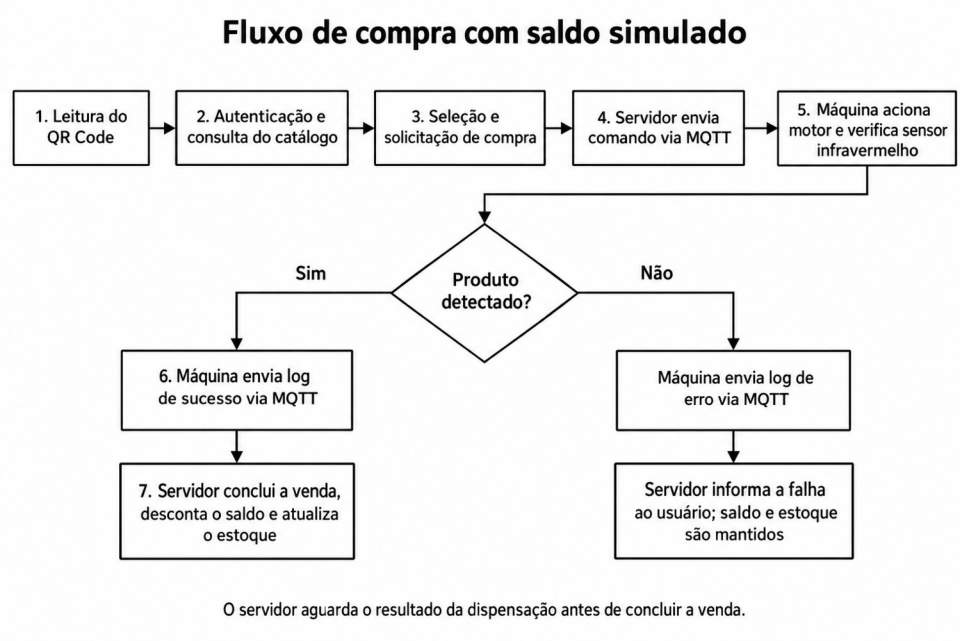
atuam no mecanismo; a conectividade transporta comandos e eventos; o servidor processa e armazena dados; e a plataforma oferece compra e monitoramento. Essa correspondência integra identificação, sensoriamento, atuação, comunicação e serviços (Atzori; Iera; Morabito, 2010; Buyya; Dastjerdi, 2016).

O controle foi atribuído ao ESP32-S3, microcontrolador da Espressif com conectividade Wi-Fi e entradas e saídas para sensores e atuadores (Espressif Systems, 2026). Dois motores de passo 28BYJ-48 movimentaram as espirais, acionados por módulos ULN2003, baseados em arranjos de transistores Darlington para cargas indutivas (Texas Instruments, 2025). Sensores infravermelhos (IR, do inglês infrared) de interrupção de feixe, do tipo *break beam*, foram instalados na abertura de passagem dos produtos. Um *reed switch*, interruptor magnético destinado à indicação de abertura da porta, foi apenas previsto e não instalado.

Os serviços do servidor (*backend*) utilizam Node.js e Express, com rotas, controladores e acesso a dados (OpenJS Foundation, [s.d.]). O MySQL, banco relacional baseado em linguagem de consulta estruturada (SQL, do inglês Structured Query Language), armazena usuários, catálogo, carteira simulada e vendas (Oracle, 2026). O MongoDB registra eventos e auditoria (MongoDB, [s.d.]). A interface do usuário (*frontend*) foi construída com Next.js (Vercel, [s.d.]) e Tailwind CSS, ferramenta de folhas de estilo em cascata (CSS, do inglês Cascading Style Sheets) por classes utilitárias (Tailwind Labs, [s.d.]).

A comunicação entre servidor e microcontrolador utiliza o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), baseado em publicação e assinatura de mensagens por tópicos (OASIS, 2014), sobre a conexão Wi-Fi. Os tópicos transportam comandos de acionamento/abertura, sinais periódicos de presença (*heartbeat*) e registros de ações (*logs*). O servidor aguarda o *log* de confirmação de dispensação para concluir a venda, descontar o saldo simulado e atualizar o estoque. O *log* de erro impede essas operações e permite informar a falha ao usuário. A Figura 1 apresenta esse fluxo desde a leitura do QR Code até o tratamento do resultado da entrega.

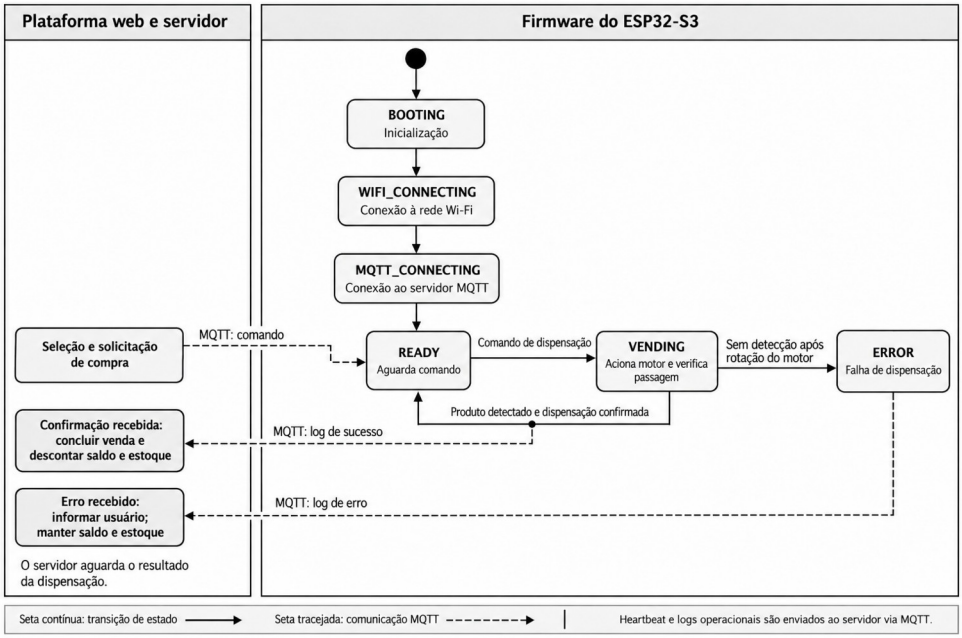
Figura 1 – Fluxo de compra e dispensação com saldo simulado.



Fonte: Elaborada pelos autores com auxílio de inteligência artificial (2026).

O *firmware*, programa do microcontrolador, utiliza os estados da Figura 2: BOOTING inicializa o dispositivo; WIFI_CONNECTING estabelece a conexão Wi-Fi; MQTT_CONNECTING conecta o cliente de mensagens; READY aguarda comandos; VENDING aciona o motor e verifica o sensor; e ERROR indica ausência de produto após a rotação do motor. A entrega confirmada gera *log* de sucesso e retorno a READY. Seleção, preço e carteira pertencem à plataforma e ao servidor.

Figura 2 – Estados do *firmware* e comunicação com o servidor.



Fonte: Elaborada pelos autores com auxílio de inteligência artificial (2026).

Resultados

O protótipo com dois compartimentos executou o fluxo de compra autenticada com saldo simulado: seleção na plataforma, comando do servidor, acionamento do motor, passagem pelo IR e *log* de confirmação. A entrega confirmada concluiu a venda e atualizou saldo e estoque; o *log* de erro preservou esses valores e permitiu informar a falha ao usuário.

Foi possível acompanhar estoque, vendas, máquina pronta, *heartbeat*, início do motor, passagem pelo sensor, produto dispensado e retorno à espera. Os resultados são qualitativos, sem medidas de taxa de sucesso, tempo de resposta ou disponibilidade. A Figura 3 mostra a montagem em papelão, com duas espirais e os componentes eletrônicos.

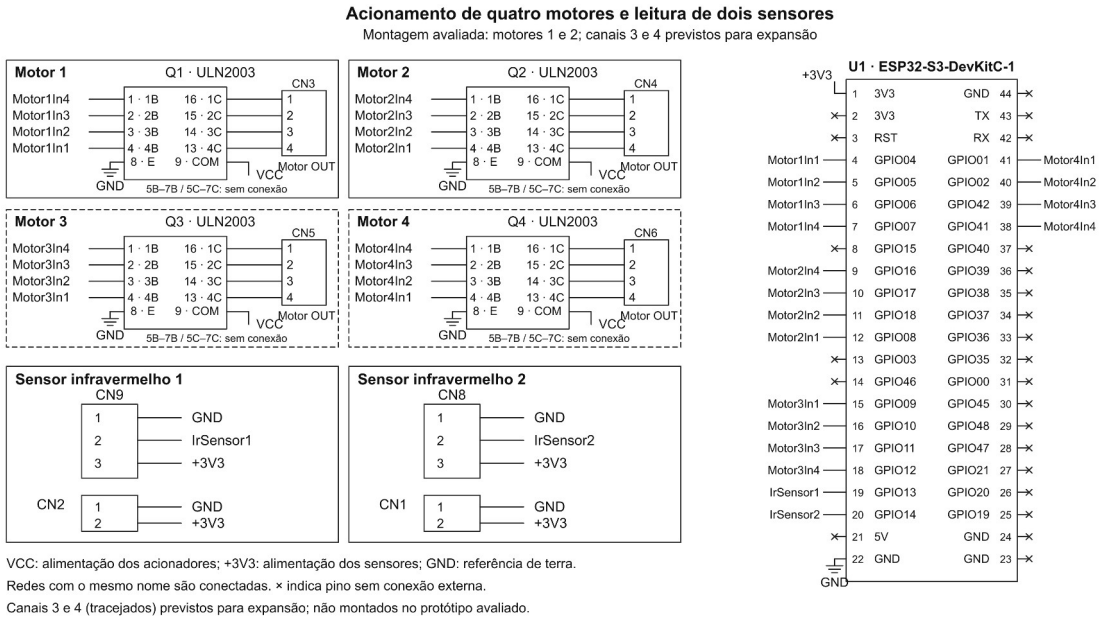
Figura 3 – Protótipo montado com dois compartimentos de dispensação.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

A Figura 4 apresenta o circuito expansível para quatro motores. As entradas e saídas de uso geral (GPIO, do inglês General Purpose Input/Output) do ESP32-S3 comandam as entradas dos ULN2003, cujas saídas acionam as bobinas. Os sensores utilizam alimentação de 3,3 V, terra (GND, do inglês ground) e sinais nos GPIO13 e GPIO14. VCC identifica a alimentação dos acionadores. Os canais 1 e 2 foram montados; 3 e 4 permanecem previstos para expansão.

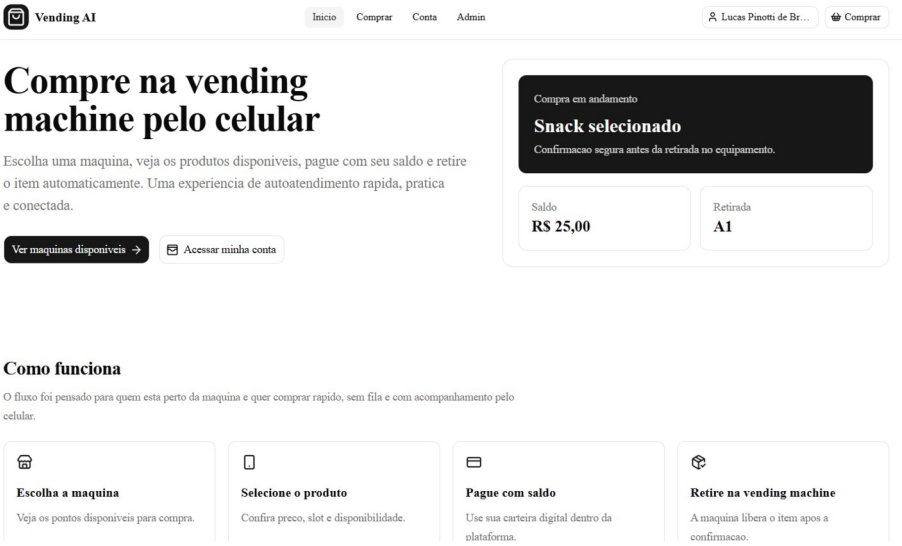
Figura 4 – Conexões elétricas dos sensores e dos quatro canais de acionamento.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

A Figura 5 mostra a plataforma web da versão avaliada, com perfis de usuário e administrador, seleção de produtos, carteira simulada e consulta de estoque e vendas. O servidor informa o resultado recebido da máquina. A interface responsiva adapta a apresentação por navegador a celulares, tablets e computadores.

Figura 5 – Plataforma web do sistema de máquinas de venda.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Durante a montagem, as espirais apresentaram rigidez insuficiente e dificuldades de alinhamento, ocasionando torções e comprometendo a robustez mecânica da entrega. A expansão para quatro motores não foi montada nem avaliada. Também não foram desenvolvidos ou testados pagamentos reais por Pix ou cartões, nem compra sem autenticação.

Discussão

A associação entre sensores, atuadores, comunicação e serviços web caracteriza a integração entre o equipamento físico e sua operação digital (Atzori; Iera; Morabito, 2010; Gubbi *et al.*, 2013). A separação da interface de compra e do controle embarcado aproxima o protótipo das arquiteturas de venda com representação digital e interação móvel (Solano *et al.*, 2017). A confirmação por sensor e *log* vincula a conclusão da venda ao evento físico de entrega, enquanto o tratamento de erro preserva o saldo e o estoque diante da ausência de detecção.

A principal contribuição é a integração de componentes de baixo custo em um fluxo de compra e monitoramento remoto. Entretanto, a carteira simulada demonstra somente a lógica transacional e não comprova integração com meios reais de pagamento, diferentemente do sistema com pagamento digital apresentado na literatura (Alam *et al.*, 2021). A proposta de pagamento eletrônico e gerenciamento remoto em ambiente industrial também oferece um contexto de comparação, mas não substitui a avaliação do mecanismo construído (Wiyanti; Alim, 2020).

Estudos de reporte de vendas apresentam avaliações quantitativas de comunicação (Manop; Kamata; Suksakulchai, 2022). Neste trabalho, o funcionamento foi demonstrado qualitativamente, sem uma série documentada de ciclos e tempos que permita estimar confiabilidade ou comparar desempenho. O *heartbeat* informa presença e os *logs* permitem acompanhar etapas, mas não constituem, isoladamente, medidas de disponibilidade ou garantia de entrega.

As dificuldades de rigidez e alinhamento das espirais mostram a influência da construção mecânica no funcionamento do sistema. A próxima etapa deve combinar aperfeiçoamento do mecanismo e ensaios repetidos, registrando entregas, falhas e tempos por compartimento. Pagamento real, segurança, compra avulsa e operação com quatro motores exigem implementação e avaliação próprias antes de qualquer aplicação comercial.

Conclusão

O protótipo integrou plataforma web, servidor, bancos de dados e controle embarcado com dois motores e sensores infravermelhos. Os resultados qualitativos demonstraram compra autenticada com saldo simulado e comunicação por MQTT, condicionando a venda à confirmação física da entrega. O tratamento de falhas preservou saldo e estoque quando a dispensação não foi confirmada.

A viabilidade demonstrada é preliminar. Aperfeiçoamento mecânico, ensaios quantitativos, avaliação dos quatro motores previstos e implementação e teste de pagamentos reais e de segurança são necessários para verificar a adequação da solução a condições reais de operação.

Referências

ALAM, W.; SARMA, D.; CHAKMA, R. J.; ALAM, M. J.; HOSSAIN, S. Internet of Things based smart vending machine using digital payment system. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics, v. 9, n. 3, p. 719-731, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355305126. Acesso em: 30 set. 2026.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: a survey. Computer Networks, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568. Acesso em: 30 set. 2026.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Pix consolida liderança nos pagamentos digitais e projeta novas evoluções até 2030. Brasília, DF: Banco Central do Brasil, 2026. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/21227/noticia. Acesso em: 30 set. 2026.

BUYYA, R.; DASTJERDI, A. V. (ed.). Internet of Things: principles and paradigms. Cambridge, MA: Morgan Kaufmann, 2016. Disponível em: https://www.educate.elsevier.com/book/details/9780128053959. Acesso em: 30 set. 2026.

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32-S3 series datasheet. Versão 2.2. [Shanghai]: Espressif Systems, 2026. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_datasheet_en.pdf. Acesso em: 30 set. 2026.

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241. Acesso em: 30 set. 2026.

MANOP, N.; KAMATA, K.; SUKSAKULCHAI, S. IoT-based sales reporting devices. International Journal of Computer Theory and Engineering, v. 14, n. 4, p. 174-178, 2022. Disponível em: https://www.ijcte.org/index.php?a=show&c=index&catid=128&id=1624&m=content. Acesso em: 30 set. 2026.

MONGODB. MongoDB Manual. [s.d.]. Disponível em: https://www.mongodb.com/docs/manual/. Acesso em: 30 set. 2026.

OASIS. MQTT version 3.1.1. [S. l.]: OASIS, 2014. Disponível em: https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf. Acesso em: 30 set. 2026.

OPENJS FOUNDATION. Express. [s.d.]. Disponível em: https://expressjs.com/. Acesso em: 30 set. 2026.

ORACLE. MySQL 8.4 reference manual. 2026. Disponível em: https://dev.mysql.com/doc/refman/8.4/en/. Acesso em: 30 set. 2026.

SOLANO, A.; DURO, N.; DORMIDO, R.; GONZÁLEZ, P. Smart vending machines in the era of Internet of Things. Future Generation Computer Systems, v. 76, p. 215-220, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X16304757. Acesso em: 30 set. 2026.

TAILWIND LABS. Styling with utility classes. [s.d.]. Disponível em: https://tailwindcss.com/docs/styling-with-utility-classes. Acesso em: 30 set. 2026.

TEXAS INSTRUMENTS. ULN200x, ULQ200x high-voltage, high-current Darlington transistor arrays. Revisão de mar. 2025. Dallas: Texas Instruments, 2025. Disponível em: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf. Acesso em: 30 set. 2026.

VERCEL. Next.js documentation. [s.d.]. Disponível em: https://nextjs.org/docs. Acesso em: 30 set. 2026.

WIYANTI, D. T.; ALIM, M. N. Automated vending machine with IoT infrastructure for smart factory application. Journal of Physics: Conference Series, v. 1567, n. 3, art. 032038, 2020. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1567/3/032038. Acesso em: 30 set. 2026.