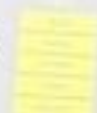


REVISTA

IGUAZU SCIENCE

v.3, n. 7, jun. 2025

CURV
POL-C



Dossiê

Inovação para um Mundo Conectado

EDITORA UNIVERSITÁRIA
UNIGUAÇU

IGUAZU SCIENCE

ISBN 978-65-83057-12-9 (versão digital)
Revista Iguazu Science | Faculdade Uniguaçu
São Miguel do Iguazu-PR | v. 3 | n. 7 | jun. 2025

A revista **Iguazu Science** tem a missão de publicar contribuições científicas que abrangem todas as áreas do conhecimento descritas pelo CNPq, desde que a pesquisa apresente uma contribuição para o desenvolvimento do conhecimento teórico e metodológico do saber. A revista é uma publicação quadrimestral, em edição eletrônica, composta pelas seções de artigos científicos, artigos de divulgação científica, resenhas e entrevistas especiais. Os textos publicados nesta revista são de inteira responsabilidade de seus autores.

Editores

Fábio Aristimunho Vargas
Fábio Corbari

Organização e edição deste número

Pablo Wenderson Ribeiro Coutinho
Leonardo Gomes Guidolin

Capa

Fábio Corbari

Foto da capa

Equipe de Marketing da Faculdade UNIGUAÇU

Revisão técnica

Pablo Wenderson Ribeiro Coutinho

Endereço: Faculdade UNIGUAÇU. Rua Valentin Celeste Palavro, 707, São Miguel do Iguazu - PR, CEP 85877-000, telefone: (45) 3565-3181, site institucional: <https://uniguacu.com.br>, Instagram: @faculdadeuniguacu, e-mail: editora.universitaria@uniguacu.com.br

Revista Iguazu Science [Recurso eletrônico]: dossiê temático: inovação para um mundo conectado / Faculdade Uniguazu. v. 3, n. 7 (Jun. 2025) – Editora Universitária Uniguazu: São Miguel do Iguazu, 2025.

Quadrimestral

Publicação eletrônica

Editores: Fábio Aristimunho Vargas e Fábio Corbari

Organização e edição deste número: Pablo Wenderson Ribeiro Coutinho e Leonardo Gomes Guidolin

ISSN: 978-65-83057-12-9

1 – Áreas gerais – Periódicos. 2. Inovação. 3. Pesquisa científica – Periódicos. I. Faculdade Uniguazu

Catálogo na Publicação
Fernanda Bem – CRB 9/1735

Copyright © 2025, Faculdade UNIGUAÇU
Todos os direitos reservados.

IGUAZU
SCIENCE

Dossiê temático

**Inovação para um Mundo
Conectado**

 EDITORA UNIVERSITÁRIA
UNIGUAÇU



MANTENEDORA: UNIÃO DE ENSINO SUPERIOR DO IGUAÇU LTDA. – UNIGUAÇU

Mantenedores: *Daniel Ribeiro da Silva / Paulo Gorski / Renata Beckers / Roberto Régis Ribeiro*

MANTIDA: FACULDADE UNIGUAÇU

Diretor Geral
Daniel Ribeiro da Silva

Diretora Geral da Graduação
Danielle Acco Cadorin

Diretor Pedagógico
Marcos Ricardo Müller

Diretor Acadêmico
Jacinto Vagner Rupp

Diretor de Expansão e Operações/Diretor EaD
Roberto Régis Ribeiro

Diretor de Expansão e Desenvolvimento da Graduação
Fábio Corbari

Coordenadora Pedagógica
Liane Piacentini

Pesquisadora Institucional
Claudia Symone Dias Roland

Secretária Geral
Beatriz Marilene Schimdt Bueno

Coordenador de Pesquisa e Extensão
Fábio Corbari

Coordenador Adjunto de Pesquisa e Extensão
Fábio Aristimunho Vargas

Editores da Editora Universitária Uniguaçu
Fábio Aristimunho Vargas
Fábio Corbari

Conselho Editorial da Editora Universitária Uniguaçu

Dr. Alex Munguía Salazar (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla – México)

Dr. Fábio Aristimunho Vargas (Faculdade UNIGUAÇU)

Dr. Fábio Corbari (Faculdade UNIGUAÇU)

Dr. Herivelto Beck de Souza (Faculdade UNIGUAÇU)

Dr. Marcos Ricardo Müller (Faculdade UNIGUAÇU)

Dr. Pablo Wenderson Ribeiro Coutinho (Faculdade UNIGUAÇU)

Dr. Rodrigo Cesar dos Reis Tinini (Fundação Bradesco)

Dr. Wagner Menezes (Universidade de São Paulo)

Dra. Danielle Acco Cadorin (Faculdade UNIGUAÇU)

Dra. Francielle de Camargo Ghellere (Faculdade UNIGUAÇU)

Dra. Graciela Maiara Dalastra (Faculdade UNIGUAÇU).

Dra. Priscilla Guedes Gambale (Faculdade UNIGUAÇU)

Dra. Silviane Galvan Pereira (Faculdade UNIGUAÇU)

Comitê Científico da Revista Iguazu Science

Dr. Herivelto Beck de Souza (Faculdade UNIGUAÇU)

Dr. Marcos Roberto Pires Gregolin (UFSM)

Dr. Rodrigo César dos Reis Tinini (Fundação Bradesco)

Dr. Wilson João Zonin (Unioeste)

Dra. Maria Roseli Castilho Garbossa (Faculdade UNIGUAÇU)

Dra. Solange Marilene Melchior do Prado (Faculdade UNIGUAÇU)

Msc. Alysson Ramalhais (Faculdade UNIGUAÇU)

Msc. Bruna Todeschini Vieira (Faculdade UNIGUAÇU)

Msc. Gleison Miguel Lissemerki da Silva (Faculdade UNIGUAÇU)

Msc. Johany Diego Vicente (Faculdade UNIGUAÇU)

Msc. Karine Albano (Faculdade UNIGUAÇU)

Msc. Lauriane Alle Buytendorp (Faculdade UNIGUAÇU)

Msc. Vinicius Mattia (Unioeste)

SUMÁRIO

SISTEMA WEB DE GESTÃO DE ESTOQUE PARA UMA LOJA DE PRODUTOS AROMÁTICOS: UM ESTUDO DE CASO COM FOCO NA DIGITALIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DE PROCESSOS DE MICROEMPREENDEDORES Vitor Hugo Morás*; Alexssandro Ferreira Cordeiro**	8
ANÁLISE E PREVISÃO DO PREÇO DO ETHEREUM UTILIZANDO REDES NEURAI LSTM Gabriel Eloy Ghellere Conti*; Junior Mateus Peters Graf**	19
APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA TRADUÇÃO DE LIBRAS Wagner Dias Menegasso*; Bruno Luiz Schuster Rech**	28
CONSTRUÇÃO DE UM FLIPERAMA DE MESA COM SISTEMA BATOCERA: INTEGRAÇÃO DE HARDWARE, SOFTWARE E DESIGN FUNCIONAL José Roberto Santos Oliveira*; Leonardo Gomes Guidolin**	37
DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE DOENÇAS EM PLANTAS UTILIZANDO REDES NEURAI CONVOLUCIONAIS E TRANSFER LEARNING COM RESNET50 Angelo Henrique Oneda*; Alexssandro Cordeiro**	47
REDE NEURAL CONVOLUCIONAL APLICADA AO DIAGNÓSTICO DE MENINGITE Jean Guilherme Sonda Batista*; Matheus Gustavo da Silva de Oliveira*; Leonardo Gomes Guidolin**	59
SEM – SISTEMA DE ETIQUETAGEM MULTIFUNCIONAL Nayel Jorge Rohden*; Welington Neuberger Both*; Leonardo Gomes Guidolin**	67
MILKLAX – REVOLUCIONANDO A GESTÃO DA PECUÁRIA LEITEIRA Micheli Soares Scotti*; Gabriel Augusto de Deus**	77
PLATAFORMA DIGITAL PARA CONECTAR E IMPULSIONAR NEGÓCIOS FEMININOS LOCAIS Matheus Doerzbacher Gisch*; Gabriel Augusto de Deus**	86
FLIPERAMA MODERNO: INTEGRAÇÃO ENTRE RETRÔ E INOVAÇÃO Luiz Felype Rigo Flores*; Jhon Lenon Evangelista Bordinhão*; Leonardo Gomes Guidolin**	98
SISTEMA DE DETECÇÃO E CONTAGEM DE ALUNOS EM SALA DE AULA UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PROCESSAMENTO DE VÍDEO Mariana Molossi*; Alexssandro Ferreira Cordeiro**; Guilherme Henrique Silvestri*; Bruno Luiz Schuster Rech**	107
PLATAFORMA DE RASTREABILIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS (ORIGEM VERDE) Rogério Santos de Jesus*; Gabriel Augusto de Deus**	116
SISTEMA PID EM MOTOR SEM ESCOVAS COM ARDUINO E IOT Eduardo Bejamin da Silva*; Jean Carlos Schneider*; Carlos Lavrado Filho**	125
METODOLOGIAS ÁGEIS PARA O DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE Kaio Rodrigo dos Santos Britzke*; Henderson Augusto Gasparin*; Leonardo Gomes Guidolin**	135
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA GESTÃO E VITRINE DIGITAL EM EMPRESA DE FORNECIMENTO DE DIESEL PARA AGRICULTORES Amaury de Oliveira Lumertz*; Patrick Rocha Lumertz*; Alexssandro Ferreira Cordeiro**	145
BANCO DE DADOS APLICADO NA ANÁLISE DE HOMICÍDIOS NO PARANÁ Milena Freitas Kutzner*; Aristides Evangelista Neto*; Franciléia de Oliveira e Silva**	155
PREVISÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO COM REDES NEURAI ARTIFICIAIS USANDO PYTHON Jean Rafael Magalhães dos Passos*; Marcos Ricardo Müller**	166
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ADOÇÃO DE ANIMAIS Alex Gomes de Assis*; Larissa Fernanda de Mello Jorge*; Luis Felipe Kaczam*; Marcos Ricardo Müller**	175

EDITORIAL

A sétima edição da revista **Iguazu Science** traz como tema central "Inovação para um Mundo Conectado", reunindo pesquisas desenvolvidas por docentes e discentes do curso de Engenharia de Software da Faculdade UNIGUAÇU. Os artigos deste dossiê exploram soluções tecnológicas avançadas, desde inteligência artificial e redes neurais até sistemas web e IoT, refletindo o dinamismo e a criatividade na área da computação.

Destaque para trabalhos como a análise preditiva do preço do Ethereum com redes LSTM, a tradução automática de LIBRAS usando IA, e a detecção de doenças em plantas com redes convolucionais. Além disso, projetos aplicados, como um sistema de gestão de estoque para microempreendedores e uma

plataforma para impulsionar negócios femininos locais, demonstram o impacto social da tecnologia.

Com abordagens teóricas e práticas, esta edição consolida-se como um espaço de divulgação científica e incentivo à inovação, reforçando o compromisso da **Iguazu Science** com o avanço do conhecimento em um mundo cada vez mais digital.

Boa leitura!

Prof. dr. Fábio Aristimunho Vargas
Coordenador Adjunto de Pesquisa e Extensão da
Faculdade UNIGUAÇU / Editor da revista Iguazu Science

APRESENTAÇÃO

É com grande entusiasmo que apresentamos o dossiê temático intitulado Inovação para um Mundo Conectado, organizado com a colaboração de estudantes, pesquisadores e professores da área de Engenharia de Software. Este dossiê tem como objetivo destacar soluções tecnológicas desenvolvidas no ambiente acadêmico, com foco na aplicação prática de sistemas inteligentes, plataformas digitais e metodologias modernas para atender às demandas de um mundo cada vez mais digital e interligado.

Os artigos reunidos nesta edição abordam temas altamente relevantes, como inteligência artificial aplicada à previsão de consumo energético, tradução automática de Libras, análise e previsão de preços de criptomoedas, e diagnóstico assistido por redes neurais convolucionais. Também são apresentados projetos com impacto social direto, como plataformas para adoção de animais, apoio a negócios femininos locais, rastreabilidade de produtos agrícolas e gestão tecnológica da pecuária leiteira.

O dossiê também contempla soluções voltadas à inovação prática, como o desenvolvimento de um fliperama moderno integrando elementos retrô e tecnológicos e um sistema multifuncional de etiquetagem inteligente. Metodologias ágeis,

amplamente utilizadas na indústria, são discutidas em um artigo que reforça sua importância nos processos de desenvolvimento de software.

Com esta edição, buscamos incentivar a reflexão sobre como o conhecimento técnico, aliado à criatividade e ao engajamento social, pode gerar soluções de alto impacto em diversas áreas da sociedade. Os projetos aqui apresentados representam o potencial transformador da Engenharia de Software e demonstram como os futuros profissionais da área estão preparados para contribuir com um mundo mais conectado, eficiente e humano.

Estamos confiantes de que os temas abordados serão de grande interesse para estudantes, profissionais, empreendedores e pesquisadores, contribuindo para o fortalecimento da cultura de inovação, pesquisa aplicada e desenvolvimento sustentável no campo das tecnologias digitais.

Prof. ms. Leonardo Gomes Guidolin
Coordenador do curso de Engenharia de
Software da Faculdade UNIGUAÇU

SISTEMA WEB DE GESTÃO DE ESTOQUE PARA UMA LOJA DE PRODUTOS AROMÁTICOS: UM ESTUDO DE CASO COM FOCO NA DIGITALIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DE PROCESSOS DE MICROEMPREENDEDORES

Vitor Hugo Morás*; Alexssandro Ferreira Cordeiro**

*Acadêmico de Engenharia de Software - Uniguaçu, vitor.moras@hotmail.com.

**Mestre Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – UTFPR Medianeira, alexssandrofc@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 20 maio. 2025

Aceite: 27 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este artigo demonstra a relevância dos Microempreendedores Individuais (MEIs) no cenário econômico brasileiro e os desafios referentes a gestão manual de seus negócios, particularmente no controle de estoque, vendas e relacionamento com clientes e fornecedores. Diante das limitações dos métodos manuais, que frequentemente resultam em erros, retrabalho e perda de informações, evidencia-se a necessidade de soluções tecnológicas acessíveis, intuitivas e eficazes. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a análise de um sistema web de gestão de estoque, criado de um estudo de caso focado nas necessidades de uma microempreendedora do ramo de produtos aromáticos em Medianeira-PR. A metodologia empregada seguiu princípios da engenharia de software, utilizando o framework Laravel 10, banco de dados MySQL, e tecnologias frontend como Bootstrap, TailwindCSS, JavaScript e AJAX, sob a arquitetura MVC. O processo incluiu levantamento de requisitos detalhado junto à usuária, modelagem de dados relacional, desenvolvimento de módulos CRUD para gestão de clientes, fornecedores, produtos, compras e vendas, implementação de autenticação segura com Laravel Sanctum e criação de um painel administrativo (*dashboard*) com indicadores-chave. O sistema visa automatizar o controle de estoque, centralizar o cadastro de informações, otimizar o registro de transações e fornecer relatórios gerenciais, substituindo processos manuais propensos a falhas. Visando o potencial impacto positivo da ferramenta na organização, agilidade e segurança da gestão, contribuindo para o negócio e demonstrando o valor da digitalização para o microempreendedorismo. O foco em escalabilidade e a preparação para futuras integrações com plataformas de e-commerce e aplicativos móveis também são destacados como diferenciais da solução proposta.

Palavras-chave: gestão de estoque; sistema web; microempreendedor individual; automação, empreendedorismo.

ABSTRACT

This article highlights the importance of Individual Microentrepreneurs (MEIs) in the Brazilian economic landscape and the challenges they face in manually managing their businesses, particularly in inventory control, sales, and customer/supplier relationships. Given the limitations of manual methods—which often lead to errors, inefficiencies, and data loss—there is a clear need for accessible, intuitive, and effective technological solutions. This study presents the development and analysis of a web-based inventory management system, based on a case study of an aromatic products microentrepreneur in Medianeira-PR. The methodology followed software engineering principles, utilizing the Laravel 10 framework, MySQL database, and frontend technologies such as Bootstrap, TailwindCSS, JavaScript, and AJAX, under an MVC architecture. The process included detailed requirement gathering, relational data modeling, and the development of CRUD modules for managing clients, suppliers, products, purchases, and sales. Secure authentication was implemented using Laravel Sanctum, and an administrative *dashboard* with key performance indicators was created. The system aims to automate inventory control, centralize data registration, optimize transaction records, and provide managerial reports, replacing error-prone manual processes. The study emphasizes the tool's potential to enhance organization, efficiency, and security in business management, demonstrating the value of digitalization for microentrepreneurship. Scalability and future integrations with e-commerce platforms and mobile applications are also highlighted as key advantages of the proposed solution.

Keywords / Palabras clave: inventory management; web system; individual microentrepreneur; automation; entrepreneurship

Copyright © 2025, Vitor Hugo Morás; Alessandro Ferreira Cordeiro. *This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.*

Citação: MORÁS, Vitor Hugo; CORDEIRO, Alessandro Ferreira. Sistema Web de gestão de estoque para uma loja de produtos aromáticos: um estudo de caso com foco na digitalização e organização de processos de microempreendedores. **Iguazu Science**, São Miguel do Iguacu, v. 3, n. 7, p. 08-18, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico das últimas décadas tem sido um catalisador para transformações profundas em diversos segmentos da sociedade, impactando diretamente a maneira como os negócios são concebidos, gerenciados e expandidos. No contexto brasileiro, essa revolução digital encontra um terreno particularmente fértil entre os Microempreendedores Individuais (MEIs).

De acordo com dados do Sebrae de 2023, os MEIs representam uma parcela significativa e vital do cenário empresarial do país, constituindo 73,4% das empresas ativas no Brasil. Este regime foi estabelecido com o propósito fundamental de trazer à formalidade trabalhadores autônomos e pequenos empreendimentos, consolidando-se como um pilar crucial para a geração de renda, a inclusão produtiva e a movimentação da economia em todas as regiões. A formalização via MEI simplifica a carga tributária, permite acesso a benefícios previdenciários e facilita a obtenção de crédito, tornando-se um passo importante para a sustentabilidade de muitos pequenos negócios (Sebrae, 2023).

Apesar da importância crescente e das vantagens da formalização, grande parte dos MEIs ainda se depara com desafios consideráveis na administração cotidiana de seus negócios. As dificuldades são multifacetadas e frequentemente envolvem aspectos cruciais como o controle eficiente de estoque, a gestão de vendas, e a organização do cadastro de clientes e fornecedores. A prática comum entre muitos desses empreendedores é a realização dessas atividades de forma predominantemente manual. Isso se manifesta em métodos como anotações em cadernos, o uso de planilhas eletrônicas que, por vezes, carecem de organização estruturada, ou até mesmo a dependência da memorização de dados vitais.

Essa abordagem manual, embora possa parecer simples inicialmente, acarreta uma série de consequências negativas que comprometem a eficiência operacional e a capacidade de crescimento sustentável do negócio. A falta de sistematização leva a retrabalho constante na busca e organização de informações, aumenta drasticamente a probabilidade de erros nos registros de estoque e vendas, e, crucialmente, limita o tempo que o empreendedor poderia dedicar a atividades mais estratégicas ou mesmo ao seu lazer. A ausência de registros claros e

estruturados impacta diretamente na tomada de decisões, podendo resultar em problemas como a perda de mercadorias por falta de controle preciso, falhas no atendimento ao cliente devido a informações incompletas ou incorretas, desorganização financeira pela dificuldade em rastrear receitas e despesas vinculadas às vendas, e, em casos mais graves, pode até mesmo comprometer a viabilidade do negócio a longo prazo.

É nesse contexto de desafios e limitações impostas pela gestão manual que se torna evidente a necessidade urgente de soluções tecnológicas. Tais soluções devem ser acessíveis, simples de usar e, acima de tudo, eficazes para atender à realidade operacional específica dos MEIs. O cenário ideal seria aquele em que os microempreendedores pudessem contar com ferramentas digitais capazes de organizar e centralizar informações, automatizar tarefas repetitivas e fornecer relatórios claros que sirvam de base para o planejamento e a tomada de decisões estratégicas.

Com um sistema de gestão digital eficiente, seria possível transformar a rotina do MEI. A organização dos processos internos seria aprimorada, o controle de estoque seria realizado em tempo real (evitando surpresas com falta ou excesso de produtos), os registros de vendas se tornariam precisos e rastreáveis, e manter um histórico confiável de fornecedores e clientes seria uma tarefa simples. Além disso, o acompanhamento de indicadores-chave de desempenho ofereceria uma visão clara da saúde do negócio, permitindo que o empreendedor identificasse tendências e oportunidades (E-Commerce Brasil, 2023).

Diante dessa realidade e da clara necessidade de ferramentas adaptadas aos MEIs, este artigo se propõe a apresentar o desenvolvimento de um sistema de gestão web. Este sistema foi concebido com base nas necessidades reais identificadas em um estudo de caso focado em uma microempreendedora do ramo de produtos aromáticos, localizada na cidade de Medianeira-PR. O objetivo primordial deste trabalho é demonstrar o impacto positivo que a tecnologia pode exercer na rotina de um MEI. A solução digital desenvolvida visa promover organização, agilidade e segurança na administração das atividades diárias, buscando reduzir as falhas inerentes aos processos manuais, evitar a perda de informações valiosas e contribuir diretamente para a evolução e profissionalização do negócio, reafirmando assim o

papel da inovação como um diferencial competitivo no microempreendedorismo brasileiro.

METODOLOGIA

O processo de desenvolvimento do sistema web de gestão de estoque seguiu uma abordagem estruturada, fundamentada nos princípios da engenharia de software. Foram adotados métodos ágeis no que tange ao levantamento de requisitos e aplicadas boas práticas de programação orientada a objetos, visando construir uma solução que não fosse apenas funcional, mas também escalável e segura (Pressman, 2016).

O ponto de partida foi a necessidade de resolver um problema prático e real. Isso exigiu uma interpretação aprofundada das demandas da usuária final, a microempresendedora. Através de uma abordagem empática e investigativa, foram apresentadas as principais dificuldades enfrentadas em sua rotina e as funcionalidades essenciais que o sistema deveria incorporar para otimizar seu trabalho. O estudo de caso concentrou-se especificamente em uma empresa local de Medianeira-PR, atuante no setor de produtos aromáticos, cuja gestão de estoque e vendas era realizada de maneira inteiramente manual antes da intervenção tecnológica proposta, o que a tornava suscetível a erros operacionais e à perda de informações cruciais por falta de organização estratégica.

A aplicação foi construída utilizando o framework Laravel em sua versão 10, conhecido por sua vasta documentação, comunidade ativa e recursos que promovem segurança e produtividade no desenvolvimento web. A arquitetura adotada seguiu o padrão MVC (Model-View-Controller), que garante uma clara separação de responsabilidades entre as camadas da aplicação. O motor de templates Blade foi integrado para a renderização das páginas (Laravel, 2025).

Um aspecto crucial para garantir a segurança do sistema, tanto para acesso direto quanto para futuras integrações, foi a implementação do Laravel Sanctum. Este pacote oferece uma solução de autenticação leve baseada em *tokens*, ideal para proteger APIs e ações sensíveis dentro do sistema. A escolha do Laravel Sanctum habilita a capacidade de o sistema se conectar de forma segura com clientes externos, como uma aplicação mobile ou plataformas de e-commerce, mantendo a integridade e a segurança das requisições HTTP (Laravel Sanctum, 2025).

A configuração do projeto, gerenciada pelo arquivo `.env`, utilizou o servidor web Apache e um banco de dados MySQL (Paul, 20214). O MySQL foi escolhido por ser um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) relacional robusto, de código aberto e com integração eficiente ao Laravel. A interface do usuário (frontend) foi desenvolvida com HTML e CSS. Foram

utilizados os frameworks Bootstrap e TailwindCSS, que em conjunto proporcionam flexibilidade visual e agilidade no desenvolvimento da interface, com um baixo custo de aprendizado. Para adicionar funcionalidades dinâmicas e melhorar a experiência do usuário sem a necessidade de recarregar a página inteira, foram empregadas tecnologias como JavaScript e AJAX, com a troca de dados ocorrendo no formato JSON (MDN Web Docs, 2025).

As etapas seguidas na construção do sistema de gerenciamento de estoque estão detalhadas a seguir:

1. Levantamento de Requisitos: Esta fase foi crucial e realizada através de entrevistas informais com a microempresendedora. A abordagem adotada foi empática e investigativa, buscando compreender profundamente a rotina e as frustrações da usuária com o método manual. Os principais desafios identificados incluíam a dificuldade na organização das compras, a perda de contato e a dificuldade em localizar fornecedores, a ausência de um controle automatizado e preciso de estoque, e a falta de um histórico organizado de vendas e clientes. Um relato que ilustra bem essa situação foi: *"Nunca acho novamente os meus fornecedores para ter um controle, sempre é necessário revirar por todos os aplicativos que tenho, perco muito tempo"*. Este depoimento ressaltou a necessidade premente de uma solução centralizada que consolidasse essas informações. Com base nas dificuldades e no fluxo de trabalho atual da microempresa, foi realizado o mapeamento dos processos para definir precisamente os requisitos funcionais (o que o sistema deve fazer) e não funcionais (qualidades do sistema, como segurança e usabilidade) (Pressman, 2016).

- 1.1 O processo de entrevista explorou tópicos como o ciclo completo de uma venda (desde o atendimento ao cliente até a entrega), o processo de compra de produtos (como fornecedores são encontrados, pedidos feitos, recebimento), como o estoque é monitorado (ou a falta dele), como os clientes são registrados e contatados, e como os registros de vendas são mantidos. Os requisitos funcionais detalhados incluíam, por exemplo: RF1: Registrar e gerenciar informações de clientes (nome, contato, endereço, histórico de compras); RF2: Registrar e gerenciar informações de fornecedores (contato, histórico de compras); RF3: Cadastrar e gerenciar produtos (nome, descrição, preço, quantidade, validade, fornecedor); RF4: Registrar vendas (vincular cliente, produtos, calcular total automaticamente); RF5: Registrar compras de fornecedores (vincular

fornecedor, produtos, valor pago); RF6: Atualizar estoque automaticamente após vendas e compras; RF7: Gerar relatórios de vendas por período, produtos, etc.; RF8: Painel administrativo com resumo de indicadores. Requisitos não funcionais abrangeram a segurança (autenticação e autorização), a usabilidade (interface intuitiva e simples), a performance (rapidez nas operações) e a escalabilidade (capacidade de futuras expansões)

2. Modelagem de Dados: Com os requisitos funcionais em mãos, foi possível projetar a estrutura do banco de dados. A modelagem de dados foi elaborada utilizando diagramas de entidade-relacionamento (MER) (HEUSER, 2009). A estrutura do banco de dados foi implementada e versionada utilizando as migrations do Laravel, garantindo que as alterações na estrutura do banco de dados fossem controladas e rastreáveis. As tabelas principais criadas para dar suporte às funcionalidades incluíram:

- users: para o gerenciamento de usuários do sistema e autenticação.
- clients: para armazenar as informações dos clientes.
- products: para o cadastro e controle dos produtos.
- suppliers: para o registro e histórico dos fornecedores.
- purchases: para registrar as compras feitas dos fornecedores.
- sales: para registrar as vendas realizadas aos clientes.
- stocks: para gerenciar os níveis de estoque dos produtos, possivelmente com movimentações de entrada e saída.

Cada tabela foi cuidadosamente projetada, incluindo chaves primárias para identificação única e chaves estrangeiras para estabelecer os relacionamentos entre elas (por exemplo, uma venda está relacionada a um cliente e a múltiplos produtos, uma compra está relacionada a um fornecedor e múltiplos produtos). Campos adicionais como status, timestamps (para registro de criação e atualização) e campos específicos para a lógica de controle de estoque também foram incorporados. A normalização foi aplicada durante o processo de modelagem para eliminar redundâncias, garantir a integridade dos dados e facilitar a manutenção futura do banco.

3. Criação de Módulos Funcionais (CRUD): O desenvolvimento dos módulos do sistema seguiu o padrão CRUD (Create, Read, Update, Delete) para as entidades principais. Foi

estabelecido um padrão claro de organização, utilizando controladores (Controllers) para a lógica de negócio, rotas (Routes) para mapear URLs às ações dos controladores, e views (Views) para a apresentação da interface ao usuário, seguindo o padrão MVC. Foram criados módulos específicos para o cadastro, edição, visualização detalhada e exclusão de:

- Clientes: Permitindo registrar todas as informações relevantes do cliente, essencial para histórico de vendas e relatórios.
 - Fornecedores: Focando em resolver a dificuldade da usuária, com dados de contato e histórico de compras associado.
 - Usuários: Para gerenciar quem tem acesso ao sistema.
 - Produtos: Incluindo detalhes como nome, descrição, quantidade em estoque, preço e validade.
 - Compra de fornecedores: Para registrar as entradas de produtos no estoque.
 - Vendas: Um módulo central que permite registrar cada transação de venda, com funcionalidades como o cálculo automático do total com base nos produtos selecionados e suas quantidades, e a vinculação direta do(s) produto(s) vendido(s). Cada módulo utilizou os recursos do Laravel, com rotas nomeadas para facilitar a manutenção e o referenciamento interno dentro da aplicação. A implementação seguiu as boas práticas de desenvolvimento, incluindo validações server-side para garantir que os dados inseridos atendam aos requisitos de integridade antes de serem persistidos no banco de dados (Santos, 2020).
4. Autenticação, Controle de Acesso e Segurança de API: A segurança é um pilar fundamental em qualquer sistema, especialmente um que lida com dados sensíveis de negócios. O sistema de segurança foi construído aproveitando os recursos nativos de autenticação e autorização do Laravel. A verificação de credenciais (*login*) e a proteção de rotas e funcionalidades contra acesso não autorizado foram implementadas utilizando middlewares. Para adicionar uma camada extra de segurança, especialmente pensando em futuras integrações via API, foi implementado o pacote Laravel Sanctum. O Sanctum permite a autenticação baseada em *tokens* pessoais. Após um usuário se autenticar com sucesso (*login*), um token é gerado e associado a essa sessão/usuário. Este token é então enviado com cada requisição subsequente para a API ou para rotas

protegidas. O middleware do Sanctum intercepta essas requisições, valida o token e garante que o usuário autenticado tenha as permissões necessárias para acessar o recurso solicitado. Isso garante que apenas usuários devidamente autenticados e autorizados possam acessar os dados e funcionalidades sensíveis do sistema, protegendo informações cruciais de estoque, vendas, clientes e fornecedores (Laravel Sanctum, 2025).

5. Painel administrativo (*Dashboard*): O *dashboard* ou painel administrativo serve como a porta de entrada principal para o usuário após o *login*. Ele foi projetado para fornecer uma visão geral rápida da operação do negócio. O *dashboard* apresenta indicadores-chave e atalhos visuais para os módulos mais acessados, como cadastro/gerenciamento de produtos, clientes, fornecedores e o acesso aos relatórios. A área de relatórios é dinâmica, permitindo filtros (como por período) para visualizar dados de vendas, movimentações de estoque e cadastros. A forma como os dados são apresentados é clara e concisa, com o objetivo de facilitar a tomada de decisões rápidas e estratégicas e auxiliar em previsões futuras para a empreendedora (Gouvêa, 2017).

5.1 indicadores no *dashboard* incluem, por exemplo: Volume de Vendas Total (soma da quantidade de itens vendidos); Faturamento Total (soma do valor total das vendas registradas); Ticket Médio (Faturamento Total dividido pelo número de vendas); e Vendas Pendentes (se houver um status para vendas não finalizadas ou em processo de entrega). Estes indicadores são calculados dinamicamente a partir dos dados registrados nas tabelas sales e stocks. A capacidade de filtrar relatórios por período, por exemplo, permite analisar o desempenho mensal ou trimestral, identificar sazonalidades e comparar resultados ao longo do tempo, transformando dados brutos em insights acionáveis para o negócio.

6. Testes: Embora o sistema ainda não estivesse em ambiente de produção, uma etapa crucial foi a realização de testes manuais. Os testes foram baseados em cenários reais que a usuária forneceu, simulando as operações cotidianas do negócio. Foram exaustivamente testadas as operações CRUD (cadastro, edição, exclusão e busca) em cada um dos módulos implementados (Clientes, Fornecedores, Produtos, Compras, Vendas, Usuários). A precisão dos dados nos relatórios de vendas e compras também foi validada para garantir

que os cálculos automáticos e a agregação de dados estivessem corretos. Um diferencial importante foi a participação ativa da usuária final no processo de validação. O feedback direto dela sobre a usabilidade, o fluxo das funcionalidades e a clareza das informações foi fundamental para identificar pontos de melhoria e possibilitou a realização de ajustes importantes, como a adaptação de nomenclaturas, melhorias na experiência visual e refinamentos na experiência geral de uso do sistema (Preece; Rogers; Sharp, 2013).

6.1 Exemplos de cenários de teste incluíram: cadastrar um novo cliente com todos os dados válidos; tentar cadastrar um cliente sem preencher campos obrigatórios (validando as mensagens de erro da validação server-side); editar as informações de contato de um fornecedor; excluir um produto que ainda possui estoque (testando possíveis restrições ou avisos); registrar uma venda selecionando múltiplos produtos e verificando se o total é calculado corretamente; registrar uma compra e verificar se o estoque do produto correspondente é atualizado; gerar um relatório de vendas para um mês específico e conferir os totais.

7. Foco em Escalabilidade e Trabalhos Futuros: O sistema foi concebido desde o início com um forte foco em escalabilidade. A escolha da arquitetura REST e a implementação do Laravel Sanctum pavimentam o caminho para integrações futuras com diversas plataformas. Isso inclui potencial conexão com plataformas de e-commerce populares no Brasil, como Nuvemshop e Loja Integrada, e o desenvolvimento de aplicativos móveis. Tais integrações são cruciais para ampliar a presença digital da microempreendedora e permitir a gestão centralizada de múltiplos canais de venda. Funcionalidades como a exportação de dados, a sincronização de pedidos realizados em outras plataformas e a atualização de estoque em tempo real entre o sistema de gestão e os canais de venda online estão previstas para futuras releases do projeto. O objetivo é que o sistema se torne uma plataforma unificada, profissionalizando ainda mais a gestão e permitindo que a microempreendedora escale seu negócio (Mdn Web Docs, 2025).

8. Escolha das Tecnologias: As decisões sobre a pilha tecnológica foram tomadas considerando a eficiência, a robustez, a segurança e o custo-benefício para o contexto de um sistema para MEI.

- O framework Laravel foi a escolha principal para a *backend*. Suas vantagens incluem uma

ampla e detalhada documentação, uma comunidade de desenvolvedores grande e ativa que facilita a resolução de problemas e a busca por conhecimento, e recursos nativos robustos voltados para a segurança (como o próprio Sanctum, autenticação e proteção CSRF) e para a produtividade (como o Eloquent ORM, o Artisan console para tarefas de linha de comando, e o sistema de routing eficiente) (Laravel, 2025).

- Para o banco de dados, optou-se pelo MySQL. Sendo um SGBD relacional amplamente utilizado e de código aberto, o MySQL oferece robustez e confiabilidade para o armazenamento e gerenciamento dos dados estruturados do sistema. Sua integração nativa e eficiente com o framework Laravel através do Eloquent ORM simplificou o desenvolvimento das operações com o banco (Paul, 20214).
 - No frontend, a combinação de Bootstrap e TailwindCSS trouxe o melhor de dois mundos. O Bootstrap fornece um conjunto de componentes prontos e um sistema de grid *layout* que agiliza a construção de interfaces responsivas. O TailwindCSS, por sua vez, é um framework focado em utility classes, permitindo um alto grau de customização visual com baixo custo de aprendizado para estilização granular e específica dos elementos (Tailwind Community, 2024; Bootstrap Doc, 2025).
 - JavaScript e AJAX foram essenciais para introduzir dinamismo e responsividade na aplicação web. O uso de AJAX (Asynchronous JavaScript and XML, embora hoje trabalhe mais com JSON) permite que partes da página sejam atualizadas ou que dados sejam enviados/recebidos do servidor sem a necessidade de recarregar a página inteira⁹.... Isso melhora significativamente a experiência do usuário, tornando a interface mais ágil e interativa, por exemplo, ao salvar um formulário ou filtrar uma lista (Mdn Web Docs, 2025).
9. Boas Práticas de Desenvolvimento: A qualidade do código e a manutenibilidade do sistema foram priorizadas através da aplicação de diversas boas práticas de desenvolvimento de software (Pressman, 2016).
- Aderência rigorosa ao padrão de arquitetura MVC (Model-View-Controller). Isso garantiu uma clara separação de responsabilidades: os Models cuidam da lógica de negócios e interação com o banco de dados, os Controllers gerenciam a lógica da aplicação e a resposta às requisições, e as Views são responsáveis

apenas pela apresentação dos dados ao usuário¹⁰. Essa separação torna o código mais organizado, fácil de entender, testar e manter.

- Implementação de validações server-side em todos os formulários e pontos de entrada de dados. Isso é crucial para a segurança e integridade dos dados, garantindo que apenas informações válidas e no formato correto sejam processadas e armazenadas no banco de dados, mesmo que haja validações no lado do cliente (frontend).
 - Tratamento adequado de exceções e erros. A aplicação foi desenvolvida para lidar com situações inesperadas de forma graciosa, evitando quebras abruptas e fornecendo feedback útil (para o desenvolvedor no log e, quando apropriado, para o usuário).
 - Reutilização de código. Foram criados componentes (especialmente nas views com Blade) e funções auxiliares para evitar a duplicação de código, tornando o desenvolvimento mais eficiente e a manutenção mais simples – uma mudança em um componente é refletida em todos os lugares onde ele é utilizado.
 - Respeito aos princípios SOLID (Single Responsibility, Open/Closed, Liskov Substitution, Interface Segregation, Dependency Inversion) sempre que aplicável. A aplicação desses princípios, embora possa parecer um custo inicial, resulta em um código mais legível, flexível, escalável e resiliente a mudanças futuras.
10. Controle de Versão: Para gerenciar as alterações no código-fonte ao longo do desenvolvimento, foi utilizado o sistema de controle de versão distribuído Git (Chacon; Straub, 2014). Foram realizados commits frequentes, pequenas unidades de alteração que registram o progresso e facilitam o rastreamento do histórico de modificações. A organização do projeto em branches específicas foi adotada para simular um ambiente de desenvolvimento colaborativo e manter o código organizado:
- Main ou Master Branch: Representa a versão estável ou pronta para produção.
 - Develop Branch: Onde o desenvolvimento principal ocorre, integrando funcionalidades completas.
 - Feature Branches: Criadas para o desenvolvimento de novas funcionalidades de forma isolada.
 - Bugfix Branches: Utilizadas para corrigir erros identificados.
 - Release Branches: Preparação para novas versões do sistema. Essa estratégia de

branches, combinada com commits descritivos, não apenas auxiliou na organização durante o desenvolvimento pelos próprios autores, mas também preparou o projeto para a integração de futuros desenvolvedores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível definir o Estudo de Impacto Ambiental – EIA como um documento técnico-científico baseado no levantamento ambiental dos meios socioeconômico, biótico e físico, avaliação dos possíveis impactos ambientais de projeto, aceção dos impactos positivos e negativos, sugestão de programas de monitoramento e acompanhamento ambiental. Já Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, é um documento elaborado com base nas informações de conclusão contidas no EIA, sendo exibido de formas simples e objetiva a inclusão de toda a população. Serão apresentados nesta mesma etapa algumas Audiências Públicas com intuito e participação de toda a população afetada ou interessada no assunto seja examinada (Ibama, 2014).

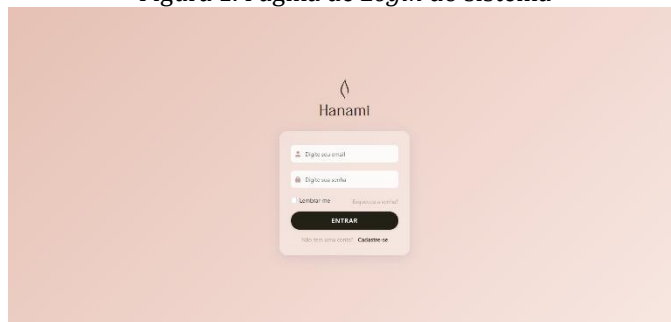
Os resultados deste trabalho são apresentados e discutidos com base na implementação das funcionalidades que foram diretamente alinhadas às necessidades reais identificadas durante a fase de levantamento de requisitos com a microempresendedora. Embora o sistema ainda esteja no estado de protótipo funcional e não tenha sido implantado em um ambiente de produção em larga escala no momento da redação deste artigo, as decisões técnicas e de design foram cuidadosamente fundamentadas tanto nas observações práticas da rotina da usuária quanto nas boas práticas estabelecidas pela engenharia de software.

As funcionalidades desenvolvidas foram analisadas quanto à sua aderência aos objetivos do projeto, sua capacidade efetiva de resolver os problemas previamente diagnosticados na gestão manual e seu potencial para gerar melhorias significativas nos processos de controle, organização e, fundamentalmente, na capacidade de tomada de decisões estratégicas pela empresenedora.

Para oferecer uma compreensão mais concreta das soluções desenvolvidas, apresentamos a seguir algumas imagens (capturas de tela) das principais interfaces do sistema, acompanhadas de textos explicativos que descrevem os elementos visuais (templates), as funcionalidades específicas de cada módulo e os benefícios esperados que cada tela e funcionalidade trarão para a rotina da MEI. Estas ilustrações servem como evidência visual do alinhamento entre os requisitos levantados na fase

inicial e as soluções técnicas que foram efetivamente implementadas¹⁵.

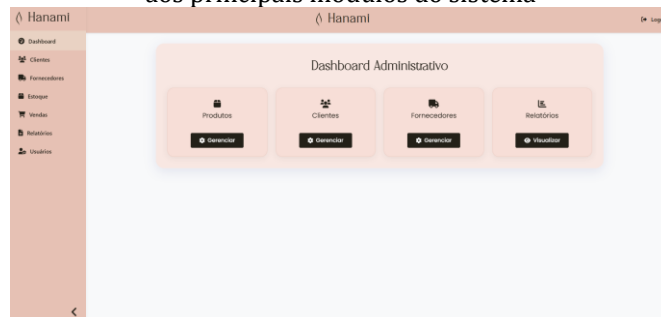
Figura 1. Página de *Login* do sistema



Fonte: Elaborada pelo Autor

Conforme a Figura 1, a tela de *login* foi projetada com foco na simplicidade estética e na segurança. Utilizando o framework Bootstrap, garantiu-se que a interface fosse responsiva, adaptando-se a diferentes tamanhos de tela, desde dispositivos móveis até desktops. O processo de autenticação dos usuários é gerenciado pelo Laravel Sanctum, proporcionando uma camada robusta de segurança através do uso de *tokens* pessoais e um mecanismo de validação eficiente das credenciais de acesso. Este ponto de entrada seguro é fundamental para garantir que apenas usuários autorizados tenham acesso aos dados sensíveis armazenados no sistema, como informações de estoque, registros de vendas, dados de clientes e fornecedores. A segurança na autenticação protege o negócio contra acessos indevidos e a perda ou alteração não autorizada de informações vitais.

Figura 2. Página de *Dashboard* administrativo com acesso aos principais módulos do sistema



Fonte: Elaborada pelo Autor

Conforme a Figura 2, o *dashboard*, ou painel administrativo, funciona como o centro de comando do sistema, oferecendo uma visão geral imediata e concisa da operação da empresa. Nesta tela, estão dispostos atalhos visuais em destaque que permitem acesso rápido aos módulos essenciais: cadastro/gerenciamento de produtos, vendas, clientes e fornecedores. Mais importante, o *dashboard* apresenta indicadores-chave de desempenho (KPIs), como o volume de vendas e o status do estoque. A visualização rápida desses indicadores auxilia a microempresenedora na tomada de decisões rápidas

e mais estratégicas. Por exemplo, um alerta de baixo estoque no *dashboard* pode indicar a necessidade imediata de realizar um pedido de compra a um fornecedor, enquanto a análise do volume de vendas pode ajudar a identificar produtos com alta saída e planejar promoções ou compras futuras. A capacidade de ter essas informações agregadas e visíveis em um único local reduz a necessidade de consultar múltiplos registros manuais e fornece um panorama claro da saúde do negócio em tempo real.

Figura 3. Página de formulário de cadastro de cliente



Fonte: Elaborada pelo Autor

Conforme a Figura 3, esta interface foi desenvolvida para permitir o registro fácil e organizado de novos clientes. O formulário contém campos essenciais e bem definidos, como nome, email, CPF/CNPJ, telefone, endereço completo e um campo para o total consumido pelo cliente. A interface foi cuidadosamente desenhada com um *layout* simples e intuitivo, buscando reduzir a probabilidade de erros de preenchimento por parte do usuário e garantir a integridade dos dados. O cadastro completo e preciso dos clientes é um componente essencial para diversas funcionalidades do sistema. Ele permite a vinculação das vendas a clientes específicos, o que, por sua vez, habilita a geração de relatórios segmentados por cliente, a criação de histórico de compras individual e a possibilidade de realizar ações de marketing direcionadas.

Figura 4. Página de Detalhes de fornecedor com histórico de compras.

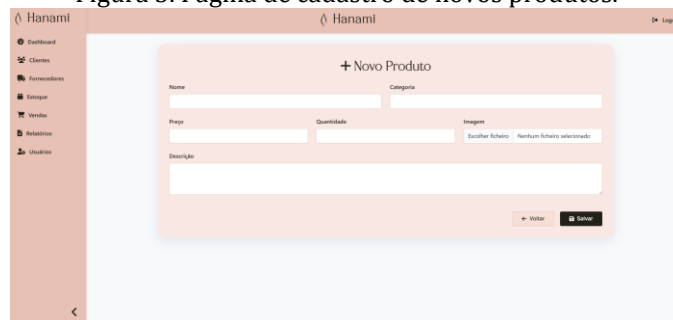


Fonte: Elaborada pelo Autor

Conforme a Figura 4, esta funcionalidade aborda diretamente uma das maiores dificuldades relatadas pela microempresendedora na gestão manual: a perda ou dificuldade em localizar o contato e o histórico de

compras dos fornecedores. A tela de detalhes do fornecedor exibe de forma centralizada todas as informações de contato do fornecedor (nome, contato, telefone, email, endereço), e, crucialmente, apresenta uma lista organizada das compras já realizadas com aquele fornecedor específico, incluindo data, produto comprado, valor pago e descrição. Um indicador útil do Total em Compras com aquele fornecedor também é exibido. Ter este histórico facilmente acessível dentro do sistema facilita enormemente o processo de reposição de estoque, a comparação de preços entre fornecedores e a negociação de futuras compras. O tempo que antes era gasto "revirando aplicativos" ou anotações para encontrar um fornecedor é drasticamente reduzido. A capacidade de adicionar uma "Nova Compra" diretamente desta tela agiliza o registro das entradas de estoque e mantém o histórico atualizado.

Figura 5. Página de cadastro de novos produtos.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Conforme a Figura 5, a tela de cadastro de produtos é fundamental para estabelecer um controle preciso e organizado do estoque. O formulário foi otimizado para a entrada das informações essenciais de cada item. Inclui campos como nome do produto, categoria, preço de venda, quantidade disponível em estoque e, pertinentemente para produtos aromáticos, a validade. Há também um campo para descrição detalhada do produto e a possibilidade de associar uma imagem. Esta organização no cadastro evita duplicações de produtos, facilita futuras auditorias de estoque e é a base para manter o estoque sempre atualizado em tempo real conforme as vendas e compras são registradas no sistema. Um cadastro de produto bem estruturado com informações completas é vital para a precisão do controle de estoque exibido no *dashboard* e nos relatórios.

Conforme a Figura 6, a tela de relatórios é uma das funcionalidades mais estratégicas do sistema, transformando os dados operacionais em informações acionáveis. Ela apresenta visualizações agregadas das movimentações do negócio, como o total de vendas realizadas, o faturamento total arrecadado, o ticket médio por venda e o status das vendas pendentes (se aplicável). Os relatórios são dinâmicos, permitindo o uso de filtros por período e, potencialmente, por tipo de operação, produto ou cliente. Essa capacidade de

filtrar e visualizar dados históricos permite à empreendedora acompanhar a performance do negócio ao longo do tempo, identificar produtos mais vendidos, entender o comportamento de compra dos clientes e basear suas decisões de compra, precificação e marketing em dados concretos, e não apenas em intuição. A opção de "Imprimir Relatório" facilita a análise offline ou o compartilhamento das informações.

Figura 6. Página de relatórios com indicadores de venda.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Em suma, esta seção, ilustrada pelas figuras apresentadas, demonstra como cada funcionalidade implementada foi diretamente pensada para resolver os problemas identificados no levantamento de requisitos. A transição de métodos manuais para um sistema digital, mesmo em ambiente de teste, evidencia o potencial para melhorar significativamente a organização e a eficiência da microempresa. As decisões técnicas, embasadas nas boas práticas da engenharia de software, resultaram em uma solução que, embora necessite de implantação prática para validar seu impacto total em produção, já demonstra em sua estrutura a capacidade de oferecer à microempreendedora as ferramentas necessárias para uma gestão mais profissional e informada.

TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade deste projeto e para validar plenamente o impacto e a eficácia do sistema desenvolvido, sugerem-se os seguintes trabalhos futuros:

1. **Implantação Prática do Sistema:** O passo mais imediato e crucial é a implantação efetiva do sistema em ambiente de produção na microempresa do estudo de caso21.... Esta etapa envolverá o deploy técnico da aplicação (possivelmente em um serviço de hospedagem web acessível), a configuração final do banco de dados em ambiente real, e o treinamento da usuária final e de potenciais colaboradores no uso cotidiano do sistema.
 - 1.1 A implantação prática pode envolver desafios como a escolha do ambiente de hospedagem adequado e com custo compatível para um MEI, a migração de dados históricos (se

existirem em formatos digitais) para a base de dados do sistema, e a adaptação da rotina da empreendedora para incorporar o uso diário da ferramenta.

2. **Coleta de Feedbacks Pós-Uso:** Uma vez que o sistema esteja em operação, será fundamental realizar a coleta sistemática de feedbacks da usuária após um período de uso real. Este feedback será valioso para identificar pontos fortes, funcionalidades que podem ser otimizadas, eventuais bugs não detectados em testes manuais, e novas necessidades que possam surgir com a mudança da rotina. A coleta pode ser feita através de entrevistas periódicas, formulários de avaliação ou canais diretos de comunicação. O feedback real de uso em produção é a fonte mais rica para direcionar a evolução futura da plataforma.
3. **Evolução da Plataforma com Novas Integrações:** Com base nos feedbacks coletados e na visão de crescimento do negócio, o sistema pode ser evolucionado através da implementação de integrações estratégicas. As integrações sugeridas incluem:
 - **Integração com Soluções de Pagamento:** Conectar o sistema a gateways de pagamento online (como Mercado Pago, PagSeguro APIs) ou a sistemas de TEF (Transferência Eletrônica de Fundos) poderia simplificar e agilizar o processo de venda, permitindo que os pagamentos fossem registrados diretamente no sistema de gestão, conciliando vendas e recebimentos. O benefício é a redução de erros manuais na conciliação financeira e uma visão mais precisa do fluxo de caixa. O desafio técnico envolve a comunicação segura via API, o tratamento de diferentes métodos de pagamento e a gestão de status de transação (pago, pendente, cancelado).
 - **Desenvolvimento de Aplicativos Móveis:** Criar uma versão mobile nativa ou PWA (Progressive Web App) permitiria que a microempreendedora e seus colaboradores acessassem as funcionalidades principais do sistema (como registro de vendas e consulta de estoque) de qualquer lugar, aumentando a agilidade e a flexibilidade da operação. O sistema já está preparado para isso graças à arquitetura REST e ao uso do Laravel Sanctum para autenticação via API. O desafio técnico reside no desenvolvimento da interface e lógica na plataforma mobile e na garantia de comunicação eficiente com o *backend*.
 - **Integração com Marketplaces e Plataformas de E-commerce:** Conectar o sistema de gestão a plataformas de venda online como Nuvemshop, Loja Integrada ou marketplaces

(Mercado Livre, Shopee via APIs) permitiria centralizar a gestão de estoque e pedidos. Isso resolveria o problema de manter o estoque sincronizado em múltiplos canais de venda, evitando vendas de produtos indisponíveis. O benefício é a expansão do alcance do negócio sem perder o controle operacional. O desafio técnico envolve o consumo das APIs dos marketplaces/plataformas, a lógica de sincronização bidirecional (vendas no marketplace atualizam o estoque no sistema e vice-versa) e o tratamento de possíveis inconsistências de dados.

- Estas etapas futuras visam não apenas aprimorar as funcionalidades existentes, mas também ampliar significativamente o alcance e a aplicabilidade da solução desenvolvida²², transformando-a em uma ferramenta ainda mais poderosa para o crescimento e a profissionalização de microempreendedores.

CONCLUSÕES

Este estudo descreveu o processo de desenvolvimento de um sistema web de gestão de estoque, direcionado especificamente para atender às necessidades de uma microempreendedora individual atuante no setor de produtos aromáticos, localizada na cidade de Medianeira-PR. O ponto de partida foi a identificação de dificuldades recorrentes enfrentadas pela usuária em sua gestão manual, que incluíam a perda de informações de contato e histórico de fornecedores, a ausência de um controle estruturado e confiável de produtos e vendas, e a carência de indicadores claros para auxiliar na tomada de decisões estratégicas para o negócio. A partir dessa análise aprofundada, foi possível propor e desenvolver uma solução digital sob medida, adaptada à realidade operacional e às limitações de recursos comuns a microempreendedores.

A aplicação foi desenvolvida seguindo rigorosamente os princípios da engenharia de software, com um foco claro em garantir escalabilidade, organização e segurança. As funcionalidades implementadas abordam diretamente os problemas identificados, oferecendo controle de estoque com atualizações em tempo real, um sistema completo para cadastro e gerenciamento de clientes e fornecedores (incluindo histórico de compras), um painel administrativo que centraliza indicadores estratégicos e a capacidade de gerar relatórios detalhados. Cada módulo e interface foi desenhado com particular atenção à usabilidade e à simplicidade, tendo como base as reais necessidades e o feedback levantado junto à usuária final durante o processo de desenvolvimento.

Embora o sistema ainda se encontre em fase de protótipo funcional e não tenha sido formalmente implantado em ambiente de produção, sua estrutura e as funcionalidades desenvolvidas demonstram um potencial significativo. Espera-se que a adoção desta ferramenta possa reduzir falhas inerentes aos processos manuais, aumentar a eficiência operacional ao centralizar e automatizar tarefas, e fornecer insights baseados em dados que auxiliem no crescimento sustentável de pequenos negócios, especialmente no contexto vital dos microempreendedores individuais no Brasil.

A proposta deste trabalho reforça a importância da digitalização como uma ferramenta estratégica indispensável para a profissionalização da gestão de negócios que operam, mesmo que parcialmente, na informalidade ou com poucos recursos tecnológicos. Além disso, o estudo destaca o papel transformador do desenvolvedor de software não apenas como um técnico, mas como um agente capaz de aplicar seus conhecimentos para resolver problemas práticos e contribuir diretamente para a realidade social e econômica de microempreendedores, impulsionando seus negócios através da inovação.

REFERÊNCIAS

- CHACON, Scott; STRAUB, Ben. **Pro Git**. 2. ed. Berkeley: Apress, 2014. Disponível em: <https://git-scm.com/book/en/v2>. Acesso em: 22 maio 2025.
- E-COMMERCE BRASIL. **98% das MPMEs que digitalizaram operações viram impactos positivos**, 2023 Disponível em: <https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/mpmes-transformacao-digital-reconhecem-impacto-positivo-tecnologia>. Acesso em: 22 maio 2025.
- GOUVÊA, Marcos. **Omnichannel: a estratégia do varejo sem fronteiras**. São Paulo: GS&MD, 2017.
- LARAVEL. **Laravel documentation**. Disponível em: <https://laravel.com/docs>. Acesso em: 14 maio 2025.
- LARAVEL. **Laravel Sanctum – documentation**. Disponível em: <https://laravel.com/docs/sanctum>. Acesso em: 14 maio 2025.
- MDN WEB DOCS. **AJAX and JSON – Using asynchronous calls**. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Guide/AJAX>. Acesso em: 14 maio 2025.

PAUL, Dubois. **MySQL: guia do programador**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2014.

PREECE, Jenny; ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen.
Design de interação: além da interação homem-computador. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Acesso em: 22 maio 2025

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2016.

SANTOS, Vagner da Silva. **Desenvolvimento web com Laravel: teoria e prática com aplicações PHP**. São Paulo: Novatec, 2020.

SEBRAE. **Boletim estatístico de MEI – dados nacionais 2023**. Brasília: Sebrae Nacional, 2023. Disponível em: <https://datasebrae.com.br>. Acesso em: 14 maio 2025.

SEBRAE. **Perfil do microempreendedor individual (MEI)**. Brasília: Sebrae Nacional, 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/brasil-tem-quase-15-milhoes-de-microempreendedores-individuais,e538151eea156810VgnVCM1000001b00320aRCRD> Acesso em: 14 maio 2025.

WILLIAMS, Robin. **Não me faça pensar: uma abordagem de bom senso à usabilidade na web**. 2. ed. São Paulo: Alta Books, 2013.

ANÁLISE E PREVISÃO DO PREÇO DO ETHEREUM UTILIZANDO REDES NEURAIS LSTM

Gabriel Eloy Ghellere Conti*; Junior Mateus Peters Graf**

*Acadêmico de Engenharia de Software pela - Uniguaçu, gabrieleloyghellere@gmail.com.

**Professor da Faculdade Uniguaçu do curso de Engenharia de Software, especialista em Business Intelligence, Big Data e Inteligência Artificial, mtsptrs2@gmail.com

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 25 maio. 2025

Aceite: 07 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise da aplicabilidade de redes neurais recorrentes do tipo Long Short-Term Memory (LSTM) na previsão da direção do preço da criptomoeda Ethereum (ETH), com base em dados históricos de fechamento diário entre 2017 e 2025. O objetivo principal é investigar se modelos LSTM podem auxiliar investidores na tomada de decisão, antecipando se o preço do ativo irá subir ou cair no dia seguinte. A metodologia envolve o treinamento de modelos com dados normalizados, utilizando divisão temporal de 90% para treinamento, 5% para teste e 5% para validação. Foram realizados 27 experimentos variando a arquitetura da rede (camadas, neurônios e épocas) e aplicadas métricas de avaliação de acurácia direcional e lucro acumulado em uma estratégia Long/Short simulada. Os resultados foram comparados com a estratégia Buy and Hold. A melhor configuração identificada (RNA 16) obteve acurácia de 53,03%, enquanto o maior lucro na validação foi alcançado pela RNA 26, com 28,65%. Em contraste, a estratégia Buy and Hold gerou um prejuízo acumulado de -18,51%. Embora algumas simulações tenham mostrado lucros em determinados cenários, os modelos avaliados neste estudo não apresentaram acurácia significativamente superior ao acaso. Portanto, os resultados não são suficientes para afirmar que a abordagem LSTM testada seja eficaz na previsão da direção do preço do Ethereum, sendo necessário aprofundar a investigação com outras configurações e abordagens complementares.

Palavras-chave: previsão de preços; redes neurais LSTM; ethereum; mercado financeiro; aprendizado profundo.

ABSTRACT

This article presents an analysis of the applicability of Long Short-Term Memory (LSTM) recurrent neural networks in predicting the price direction of the cryptocurrency Ethereum (ETH), based on daily closing data from 2017 to 2025. The main objective is to investigate whether LSTM models can assist investors in decision-making by anticipating whether the asset's price will rise or fall the following day. The methodology involves training models on normalized data using a temporal split of 90% for training, 5% for testing, and 5% for validation. A total of 27 experiments were conducted, varying the network architecture (layers, neurons, and epochs), and evaluating both directional accuracy and cumulative profit in a simulated Long/Short strategy. Results were compared with a Buy and Hold strategy. The best-performing configuration (RNA 16) achieved an accuracy of 53.03%, while the highest validation profit was obtained by RNA 26, at 28.65%. In contrast, the Buy and Hold strategy resulted in a cumulative loss of -18.51%. Although some simulations showed profits under certain conditions, the models tested in this study did not demonstrate directional accuracy significantly above chance level. Therefore, the results are not sufficient to claim that the tested LSTM approach is effective for predicting Ethereum price direction, highlighting the need for further investigation with alternative configurations and complementary techniques.

Keywords: price prediction; LSTM neural networks; ethereum; financial market; deep learning.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço das tecnologias de inteligência artificial tem impulsionado a aplicação de modelos de aprendizado de máquina no mercado financeiro, especialmente no campo da previsão de preços de ativos. Dentre esses ativos, o Ethereum (ETH) destaca-se como uma das principais criptomoedas em valor de mercado e volume de negociações, sendo amplamente utilizado tanto como forma de investimento quanto como base para aplicações descentralizadas (Buterin, 2014).

As criptomoedas são ativos digitais que utilizam criptografia para garantir transações seguras e para controlar a criação de novas unidades, operando de forma descentralizada por meio da tecnologia blockchain. Diferentemente das moedas fiduciárias, que dependem de bancos centrais e intermediários financeiros, as criptomoedas funcionam em redes distribuídas entre os participantes do sistema, conferindo maior transparência, resistência à censura e potencial de automação por meio de contratos inteligentes (Nakamoto, 2008).

A tecnologia blockchain é a base estrutural que viabiliza o funcionamento das criptomoedas. Trata-se de um banco de dados distribuído, imutável e descentralizado, que armazena registros de transações em blocos interligados por criptografia. Cada bloco contém um conjunto de transações validadas, um carimbo temporal (*timestamp*) e um código de verificação que referencia o bloco anterior, formando assim uma cadeia sequencial resistente a alterações retroativas (Narayanan *et al.*, 2016).

Esse modelo descentralizado elimina a necessidade de intermediários centrais para validar e registrar transações, conferindo maior segurança, transparência e confiabilidade ao sistema. No caso do Ethereum, por exemplo, a blockchain também permite a execução de contratos inteligentes (*smart contracts*), que são programas autoexecutáveis cujas regras estão codificadas diretamente na rede (Buterin, 2014).

Além do uso em criptomoedas, a tecnologia blockchain tem sido explorada em diversos setores, como cadeias de suprimentos, registros públicos, identidade digital e sistemas de votação, consolidando-se como uma inovação tecnológica com potencial disruptivo em diferentes áreas da economia e da sociedade (Tapscott; Tapscott, 2018).

As *exchanges* de criptomoedas são plataformas digitais que permitem a negociação de ativos como Bitcoin, Ethereum e outros *tokens*, funcionando de forma semelhante a corretoras do mercado tradicional. Por meio dessas plataformas, os usuários podem comprar, vender ou trocar criptomoedas

utilizando moedas fiduciárias ou outros criptoativos. As *exchanges* desempenham um papel essencial na liquidez do mercado cripto e na formação de preços, conectando compradores e vendedores em tempo real (Houben; Snyers, 2018).

Existem dois tipos principais de *exchanges*: centralizadas (*CEX*) e descentralizadas (*DEX*). Nas *exchanges* centralizadas, como Binance, Coinbase ou Kraken, as transações são intermediadas por uma entidade responsável por custodiar os ativos dos usuários e manter a infraestrutura da plataforma. Embora ofereçam maior liquidez e funcionalidades avançadas, essas *exchanges* representam um ponto central de falha e estão sujeitas a riscos regulatórios, operacionais e de segurança (Schär, 2021).

As *exchanges* descentralizadas, por outro lado, operam diretamente sobre protocolos de blockchain e eliminam a necessidade de intermediários. Nelas, os usuários mantêm controle total sobre seus fundos e as negociações ocorrem por meio de contratos inteligentes. Apesar das vantagens em termos de soberania e privacidade, as *DEX* ainda enfrentam limitações como menor liquidez, interfaces menos intuitivas e maior exposição a falhas de código (Werner *et al.*, 2021).

As carteiras de criptomoedas, conhecidas como *wallets*, são ferramentas digitais utilizadas para armazenar, enviar e receber ativos cripto como o Ether (ETH). Diferentemente de contas bancárias tradicionais, as carteiras não armazenam fisicamente os ativos, mas sim as chaves privadas que permitem o acesso e o controle sobre os fundos registrados na blockchain (Antonopoulos, 2017).

Existem diferentes tipos de carteiras, cada uma com níveis distintos de segurança e praticidade. As carteiras quentes (*hot wallets*) são conectadas à internet e oferecem maior conveniência, sendo ideais para uso cotidiano. Já as carteiras frias (*cold wallets*), como *hardware wallets* e *paper wallets*, operam offline e são mais seguras contra ataques cibernéticos, sendo preferidas para o armazenamento de longo prazo (Narayanan *et al.*, 2016; Antonopoulos, 2017).

A segurança das carteiras depende fundamentalmente da proteção das chaves privadas. A perda dessa chave implica na perda irreversível dos ativos, uma vez que não há uma entidade central que possa restaurar o acesso. Essa característica reforça o princípio de descentralização do ecossistema cripto, ao mesmo tempo em que impõe maior responsabilidade individual aos usuários (Narayanan *et al.*, 2016).

O Ethereum é uma plataforma descentralizada baseada em blockchain que permite a criação e execução de contratos inteligentes (*smart contracts*) e aplicações descentralizadas (*DApps*), sem a

necessidade de intermediários. Lançado em 2015 por Vitalik Buterin e outros desenvolvedores, o projeto ampliou os horizontes do uso de blockchain, indo além da função de moeda digital proposta pelo Bitcoin (Buterin, 2014).

A principal inovação do Ethereum está em sua máquina virtual, a Ethereum Virtual Machine (EVM), que permite que qualquer desenvolvedor escreva e implante contratos autônomos que são executados de forma imutável na rede. Isso viabiliza uma ampla gama de aplicações, como finanças descentralizadas (*DeFi*), *tokens* não fungíveis (*NFTs*) e sistemas de governança automatizada (Wood, 2014).

O ativo nativo da plataforma é o Ether (ETH), utilizado para pagar taxas de transação e incentivar os participantes da rede. Além de seu papel funcional, o ETH também é negociado como ativo financeiro nos mercados globais, sendo uma das criptomoedas mais relevantes em termos de capitalização de mercado, volume de transações e número de aplicações desenvolvidas sobre sua infraestrutura (Etherscan, 2025).

Desde seu lançamento, o Ethereum passou por diversas atualizações importantes, conhecidas como *hard forks*. Entre elas, destacam-se o “Homestead” (2016), que trouxe mais estabilidade à rede; o “Metropolis” (2017–2019), que introduziu melhorias de segurança e escalabilidade; e o “Istanbul” (2019), que otimizou o desempenho da EVM. Uma das mudanças mais relevantes foi o processo de transição do mecanismo de consenso de *Proof of Work* (PoW) para *Proof of Stake* (PoS), finalizado em setembro de 2022 com a atualização “The Merge”. Essa mudança reduziu drasticamente o consumo de energia da rede, consolidando o Ethereum como uma das plataformas blockchain mais sustentáveis e tecnologicamente avançadas da atualidade (Ethereum Foundation, 2022).

Desde o lançamento do Bitcoin em 2009, diversas outras criptomoedas foram criadas com propósitos distintos, como o Ethereum, que se consolidou não apenas como meio de troca, mas também como plataforma de desenvolvimento para aplicações descentralizadas (*DApps*). Esses ativos têm despertado o interesse de investidores, desenvolvedores e instituições financeiras, tanto por seu potencial de valorização quanto pela inovação que representam no sistema financeiro global (Catalini; Gans, 2016).

Ao contrário dos mercados tradicionais, o comportamento das criptomoedas apresenta elevada volatilidade e menor regulação, o que dificulta a modelagem baseada em premissas econômicas convencionais (Corbet *et al.*, 2018). Nesse contexto, as redes neurais recorrentes, especialmente os modelos do tipo Long Short-Term Memory (LSTM), têm ganhado atenção por sua capacidade de lidar com

dados sequenciais e capturar padrões temporais em séries temporais financeiras (Fischer; Krauss, 2018).

Este trabalho tem como objetivo principal investigar se uma rede neural LSTM pode ser utilizada para prever a direção do preço do Ethereum — ou seja, se o valor de fechamento no dia seguinte será maior ou menor que o do dia atual. Diferentemente de abordagens voltadas à previsão do valor exato, a ênfase aqui está na previsão de tendência, buscando avaliar se o modelo pode oferecer alguma vantagem prática em cenários de tomada de decisão.

A análise é conduzida com base em dados históricos do preço de fechamento diário do Ethereum entre dezembro de 2017 e março de 2025. Foram realizados 27 testes com diferentes configurações de rede (variando número de camadas, neurônios e épocas), avaliando tanto a acurácia direcional quanto o desempenho financeiro simulado por meio de uma estratégia Long/Short. Os resultados obtidos são comparados com a estratégia passiva Buy and Hold, frequentemente utilizada como referência de desempenho em estudos financeiros.

A hipótese inicial considera que um modelo LSTM, ainda que simples, pode capturar padrões suficientemente relevantes para superar o desempenho de uma estratégia passiva em determinadas condições de mercado. No entanto, como será discutido nas seções seguintes, os modelos avaliados apresentaram acurácia próxima ao acaso, o que limita sua utilidade prática nas condições testadas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A inteligência artificial (IA) é uma área da ciência da computação que estuda a criação de sistemas capazes de executar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana, como reconhecimento de padrões, tomada de decisão, raciocínio lógico e aprendizado a partir de dados. Dentre os diversos ramos da IA, destaca-se o aprendizado de máquina (*machine learning*), no qual algoritmos são treinados a partir de grandes volumes de dados para realizar previsões ou classificações (Russell; Norvig, 2021).

O avanço das técnicas de IA tem possibilitado aplicações relevantes em diversas áreas, como medicina, logística, segurança, indústria e, mais recentemente, nos mercados financeiros. Nesse último caso, modelos baseados em redes neurais têm se mostrado promissores por sua capacidade de detectar padrões não lineares e sutis em séries temporais, superando as limitações de métodos estatísticos tradicionais (Heaton; Polson; Witte, 2017). A utilização de arquiteturas como as redes neurais recorrentes (Recurrent Neural Networks – RNNs) e suas variantes, como as LSTM, tem permitido o desenvolvimento de sistemas preditivos voltados à análise de ativos voláteis como as criptomoedas, ainda

que com desafios significativos relacionados à sobreajuste, interpretabilidade e variabilidade dos dados de entrada.

O neurônio artificial é a unidade básica de processamento nas redes neurais, inspirado no funcionamento dos neurônios biológicos. Sua função principal é receber entradas (valores numéricos), aplicar a elas pesos (que representam a importância relativa de cada entrada), somá-las e, em seguida, passar esse valor por uma função de ativação não linear, como a *sigmoid*, *ReLU* ou *tanh*. O resultado final é uma saída que pode ser usada em uma tarefa de classificação ou regressão (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

Essa estrutura permite que redes neurais aprendam padrões complexos ao ajustar os pesos dos neurônios durante o processo de treinamento, geralmente por meio de algoritmos como o gradiente descendente. Quando organizados em camadas, os neurônios artificiais formam arquiteturas profundas capazes de realizar representações cada vez mais abstratas dos dados de entrada. Esse empilhamento em múltiplas camadas é o que caracteriza o chamado deep learning, base de modelos como as redes LSTM utilizadas neste trabalho (LeCun; Bengio; Hinton, 2015).

A função de ativação é um componente essencial no funcionamento dos neurônios artificiais, sendo responsável por introduzir não linearidade ao modelo. Sem ela, a rede neural se comportaria como uma simples combinação linear das entradas, independentemente da profundidade da arquitetura, o que limitaria severamente sua capacidade de aprender padrões complexos (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

Existem diversas funções de ativação utilizadas em redes neurais, cada uma com características próprias. A função sigmoide, historicamente uma das primeiras, mapeia a entrada para um intervalo entre 0 e 1, sendo útil em tarefas de classificação binária, mas propensa ao problema do "desvanecimento do gradiente". A *tanh* oferece uma saída entre -1 e 1, centrada na origem, o que pode favorecer a convergência em alguns casos. Já a *ReLU* (Rectified Linear Unit), atualmente uma das mais utilizadas em redes profundas, retorna zero para entradas negativas e valor linear para entradas positivas, promovendo um treinamento mais eficiente e reduzindo significativamente os efeitos do desvanecimento do gradiente (Nair; Hinton, 2010).

A previsão de preços no mercado financeiro é um problema complexo e amplamente estudado, envolvendo fatores econômicos, comportamentais e técnicos. Tradicionalmente, modelos estatísticos como ARIMA e regressões lineares foram utilizados para modelar séries temporais de ativos financeiros. Contudo, essas abordagens possuem limitações na captura de não linearidades e dependências temporais

de longo prazo, comuns em mercados voláteis como o de criptomoedas (Zhang *et al.*, 1998).

Redes neurais recorrentes (RNNs) surgem como uma alternativa promissora por sua capacidade de processar sequências de dados e preservar informações anteriores por meio de ciclos internos. No entanto, RNNs tradicionais enfrentam dificuldades quando se trata de dependências de longo prazo, devido ao problema do desaparecimento ou explosão do gradiente (Hochreiter *et al.*, 2001).

Para contornar essas limitações, foi proposto o modelo Long Short-Term Memory (LSTM), uma arquitetura de rede neural recorrente com mecanismos internos chamados de "portas" que regulam o fluxo de informação e permitem o armazenamento e o esquecimento seletivo de dados ao longo do tempo (Hochreiter; Schmidhuber, 1997). Essa característica torna as LSTM particularmente adequadas para tarefas de previsão em séries temporais financeiras, onde padrões sutis e temporariamente distantes podem ter relevância preditiva.

Diversos estudos já exploraram o uso de LSTM no contexto de finanças. Fischer e Krauss (2018) demonstraram que modelos LSTM superaram métodos tradicionais na previsão de retornos do mercado de ações dos Estados Unidos. No campo das criptomoedas, Bao *et al.* (2017) utilizaram LSTM para prever os preços do Bitcoin, com resultados promissores, embora ainda sujeitos à alta variabilidade do mercado.

Paralelamente ao uso de modelos preditivos, também é necessário considerar métricas adequadas de avaliação. A acurácia direcional, ou seja, a capacidade de prever corretamente se o preço irá subir ou cair, é particularmente relevante para estratégias de negociação ativa. Além disso, o desempenho financeiro pode ser avaliado por meio de simulações de estratégias baseadas nas previsões geradas, como Long/Short, que combinam operações de compra (long) e venda (short) com base na tendência prevista (Yeh *et al.*, 2011).

A comparação com estratégias passivas, como o Buy and Hold, é fundamental para estabelecer a relevância prática de qualquer modelo preditivo. A estratégia Buy and Hold consiste em comprar o ativo e mantê-lo por todo o período analisado, sendo considerada um benchmark por sua simplicidade e resistência ao ruído de curto prazo (Malkiel, 2003).

Um dos principais desafios no treinamento de redes neurais é o equilíbrio entre aprendizagem e generalização. O *overfitting* ocorre quando o modelo se ajusta excessivamente aos dados de treinamento, capturando ruídos e padrões específicos que não se repetem nos dados novos. Como resultado, o modelo apresenta desempenho elevado durante o treinamento, mas falha ao generalizar para dados fora

da amostra, como os de teste ou validação (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

Esse fenômeno é especialmente crítico em tarefas de previsão de séries temporais financeiras, como no caso das criptomoedas, onde os dados são altamente voláteis e sujeitos a variações não sistemáticas. Segundo Heaton, Polson e Witte (2017), em contextos como o mercado financeiro, a generalização é ainda mais desafiadora devido à natureza não estacionária e ao alto ruído dos dados históricos.

Diversas estratégias podem ser empregadas para mitigar o overfitting, entre elas o uso de técnicas de regularização como o dropout, que consiste em desativar aleatoriamente neurônios durante o treinamento para evitar dependência excessiva de determinados caminhos na rede (Srivastava *et al.*, 2014). Outra abordagem é o uso de early stopping, que interrompe o treinamento assim que o desempenho na validação começar a se deteriorar, impedindo o modelo de continuar ajustando-se a ruídos nos dados de treinamento (Prechelt, 1998).

METODOLOGIA

Este estudo utilizou dados históricos do preço de fechamento diário do Ethereum (ETH), obtidos por meio da biblioteca yFinance, referente ao período de 1º de dezembro de 2017 a 1º de março de 2025. Após a coleta, os dados foram tratados para remoção de valores nulos e, em seguida, normalizados utilizando a técnica Min-Max Scaling, que transforma os valores para a faixa entre 0 e 1. A variável-alvo foi definida como binária, indicando se o fechamento do dia seguinte seria maior (1) ou menor (0) em relação ao fechamento do dia atual.

Para estruturar os dados sequencialmente, foi empregada uma janela deslizante de 28 dias ($n_steps = 28$), gerando conjuntos de entrada com 28 registros consecutivos da série normalizada, e uma saída correspondente à direção do próximo valor. A base de dados resultante foi então dividida de forma temporal em três conjuntos: 90% para treinamento, 5% para teste e 5% para validação. Essa divisão respeita a ordem cronológica dos dados, evitando vazamento de informações entre os conjuntos e simulando uma situação mais próxima da realidade de um investidor (García *et al.*, 2020).

O modelo LSTM foi implementado com a biblioteca Keras, permitindo variações dinâmicas de arquitetura por meio de parâmetros ajustáveis no código. Foram testadas 27 configurações diferentes, alterando-se o número de camadas LSTM (entre 1 e 20), a quantidade de neurônios por camada (entre 1 e 300), e o número de épocas até EarlyStopping. Em todos os casos, o treinamento foi limitado a no máximo 180 épocas, mas nenhuma das redes atingiu esse limite. O critério de parada antecipada (*EarlyStopping*) monitorou a perda

na validação (val_loss) com paciência de 15 épocas, restaurando os melhores pesos ao final. Notou-se empiricamente que redes mais rasas (com menos camadas) tendiam a alcançar mais épocas de treinamento do que as mais profundas, o que sugere maior estabilidade e menor propensão a overfitting inicial.

O *EarlyStopping* é uma técnica de regularização amplamente utilizada no treinamento de redes neurais, cujo objetivo é interromper o processo de aprendizagem antes que o modelo comece a superajustar os dados de treinamento. Essa abordagem monitora o desempenho do modelo em um conjunto de validação e cessa o treinamento assim que a métrica observada (geralmente a perda de validação) para de melhorar após um número pré-definido de épocas — parâmetro conhecido como “paciência” (Prechelt, 1998).

A lógica do *EarlyStopping* está fundamentada na ideia de que, após certo ponto, continuar o treinamento não resulta em melhor generalização e, na prática, pode levar a um modelo excessivamente ajustado ao conjunto de treino. Segundo Goodfellow, Bengio e Courville (2016), essa técnica funciona como um controle automático de complexidade, especialmente útil em problemas com conjuntos de dados ruidosos ou limitados em tamanho.

Na prática, o algoritmo armazena os pesos da melhor época observada — isto é, aquela que obteve o menor valor de perda no conjunto de validação. Ao final do treinamento, os pesos retornam a esse ponto ótimo, mitigando os efeitos de flutuações negativas nas últimas épocas. Isso evita que o modelo termine o processo de treinamento em um estado menos generalizável, mesmo que tenha aprendido mais sobre os dados de treino (Bishop, 2006).

O otimizador escolhido foi o Adam (Adaptive Moment Estimation), amplamente utilizado em tarefas de aprendizado profundo por combinar as vantagens do momentum e da adaptação individual de taxas de aprendizado para cada parâmetro (Kingma; Ba, 2015). Sua eficiência em convergência e robustez em problemas ruidosos o tornam particularmente indicado para aplicações em dados financeiros.

A função de perda utilizada foi a *binary crossentropy*, apropriada para problemas de classificação binária. Como métricas de avaliação foram consideradas a acurácia direcional — percentual de previsões corretas quanto à direção do movimento do preço — e o lucro acumulado em uma simulação de operações Long/Short, descontando taxas de operação. Além disso, as previsões geradas foram comparadas com a performance da estratégia Buy and Hold, medida como a variação percentual do preço do Ethereum ao longo do período de validação.

Em problemas de previsão de preços de ativos financeiros, a escolha da métrica de avaliação é fundamental para refletir os objetivos reais da

aplicação. Neste trabalho, optou-se por utilizar a acurácia direcional (*directional accuracy*), uma métrica binária que avalia se o modelo conseguiu prever corretamente a direção do movimento de preço — ou seja, se o valor de fechamento no dia seguinte será maior ou menor que o atual (Tse; Xiang; Wang, 2010).

Ao contrário de métricas tradicionais como erro quadrático médio (MSE), erro absoluto médio (MAE) ou desvio percentual absoluto médio (MAPE), que medem a precisão na estimativa do valor numérico do ativo, a acurácia direcional está mais alinhada com o interesse prático de muitos investidores, especialmente em estratégias de tomada de decisão como operações de compra (long) ou venda (short) (González-Rivera, 2001). Em cenários altamente voláteis, como o das criptomoedas, prever com exatidão o valor absoluto do ativo é extremamente difícil, mas prever corretamente a direção pode ser suficiente para gerar lucro operacional.

Além disso, segundo Kara, Boyacioglu e Baykan (2011), a acurácia direcional é mais robusta a ruídos em séries temporais financeiras e permite a aplicação de modelos simplificados, como redes LSTM univariadas, sem perda significativa de aplicabilidade prática. Essa abordagem facilita também a avaliação por meio de simulações com estratégias baseadas em decisões binárias, como a Long/Short utilizada neste estudo.

Todos os experimentos foram realizados em ambiente Google Colab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 27 testes realizados com diferentes arquiteturas de redes LSTM apresentaram variação significativa nos resultados de lucro acumulado porém notou-se pouca variação de acurácia direcional. Para cada configuração, foram registradas as métricas de desempenho no conjunto de validação, sendo este o principal critério de análise por representar a capacidade preditiva do modelo em dados nunca vistos.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos principais indicadores de cada rede neural testada, incluindo a acurácia direcional no conjunto de validação e o lucro acumulado da estratégia Long/Short, comparado ao desempenho da estratégia Buy and Hold. Entre todas as configurações avaliadas, a RNA 16 obteve a maior acurácia na validação, com 53,03%. Já a maior rentabilidade foi alcançada pela RNA 26, que acumulou um lucro de 28,65% no mesmo conjunto. Em contraste, a estratégia Buy and Hold resultou em um prejuízo de -18,51% no mesmo período.

A Figura 1 ilustra o desempenho financeiro da RNA 26, responsável pelo maior lucro acumulado em validação. A curva mostra a evolução percentual do

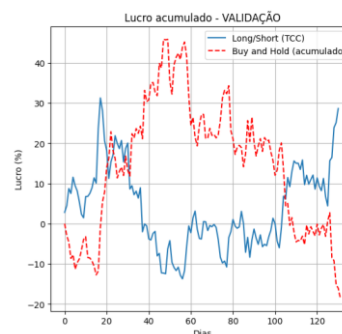
capital ao longo do tempo, comparando a estratégia baseada nas previsões do modelo com a estratégia Buy and Hold.

Tabela 1 – Resultados dos testes de redes neurais LSTM com variação de camadas, neurônios e épocas.

Configuração	Camadas	Neurônios	Épocas	Acurácia Direcional (%)	Lucro Acumulado no Período LSTM (%)	Lucro Acumulado no Período Buy and Hold (%)
RNA 1	4	14	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 2	4	12	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 3	2	12	180	48.48	-14.76	-18.51
RNA 4	1	10	180	47.73	-20.92	-18.51
RNA 5	5	14	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 6	4	18	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 7	4	16	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 8	8	28	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 9	4	100	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 10	4	200	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 11	2	16	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 12	1	2	180	48.48	-5.67	-18.51
RNA 13	2	2	180	49.24	-12.19	-18.51
RNA 14	1	4	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 15	2	1	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 16	1	1	180	53.03	26.77	-18.51
RNA 17	1	2	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 18	1	1	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 19	1	1	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 20	1	1	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 21	1	3	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 22	2	3	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 23	3	1	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 24	20	1	180	49.24	-30.40	-18.51
RNA 25	1	50	180	50.76	-11.73	-18.51
RNA 26	1	100	180	51.52	28.65	-18.51
RNA 27	1	300	180	50.76	-11.73	-18.51

Fonte: do Autor

Figura 1 – Gráfico de lucro acumulado da RNA 26 comparado ao Buy and Hold.



Fonte: do Autor

Apesar de algumas configurações apresentarem desempenho financeiro positivo, especialmente em termos de lucro acumulado, a maioria das redes testadas registrou acurácia direcional em torno de 50%, o que é próximo ao resultado esperado por puro acaso. Este comportamento levanta dúvidas sobre a consistência estatística das previsões e limita a generalização dos resultados.

Além disso, observou-se que redes com menos camadas tenderam a atingir um número maior de épocas antes da interrupção por *EarlyStopping*, o que sugere uma maior estabilidade no processo de

treinamento. Já redes mais profundas frequentemente encerravam o treinamento precocemente, o que pode indicar maior propensão ao sobreajuste ou dificuldade na otimização dos pesos.

CONCLUSÕES

Os 27 testes realizados com diferentes arquiteturas de redes LSTM indicaram que, embora algumas configurações específicas tenham obtido lucro acumulado positivo em simulações Long/Short — com destaque para a RNA 26, que acumulou 28,65% de lucro na validação — a acurácia direcional dos modelos permaneceu próxima de 50% na maioria dos casos. A melhor rede em termos de previsão, a RNA 16, alcançou 53,03% de acurácia na validação, o que representa apenas uma ligeira vantagem sobre o acaso. Já a estratégia Buy and Hold, usada como referência, teve um desempenho negativo de -18,51% no mesmo período.

Embora os lucros obtidos por algumas redes possam sugerir uma utilidade prática pontual, os resultados demonstram que, nas condições específicas testadas, os modelos LSTM avaliados não apresentaram desempenho consistente o bastante para justificar seu uso como ferramenta confiável de apoio à tomada de decisão no mercado de criptomoedas. Essa limitação, no entanto, não invalida o potencial da arquitetura LSTM em contextos mais amplos, mas ressalta a importância de uma calibração mais cuidadosa dos hiperparâmetros e da inclusão de variáveis adicionais.

Outro aspecto observado foi a tendência de redes com menos camadas atingirem um número maior de épocas de treinamento antes do EarlyStopping, sugerindo uma maior estabilidade durante o processo de otimização. Em contrapartida, redes mais profundas frequentemente encerravam o treinamento de forma precoce, o que pode indicar maior sensibilidade a ruído ou dificuldade em ajustar seus parâmetros com eficácia.

Como em todo estudo empírico, esta pesquisa apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A primeira diz respeito à natureza univariada dos dados utilizados. O modelo LSTM foi alimentado exclusivamente com o histórico do preço de fechamento diário do Ethereum, sem considerar variáveis técnicas adicionais, como volume de negociação, médias móveis, volatilidade implícita ou indicadores baseados em sentimento. Segundo Patel et al. (2015), a inclusão de variáveis exógenas pode melhorar substancialmente o desempenho de modelos de previsão em mercados financeiros, sobretudo em ativos voláteis.

Outra limitação está relacionada ao horizonte de previsão adotado. O modelo foi treinado para prever a direção do movimento de preço de um único dia à

frente. Embora esse horizonte seja útil para simulações operacionais do tipo Long/Short, ele pode ser sensível a ruídos e flutuações aleatórias. Conforme apontado por Zbikowski (2015), previsões com janelas muito curtas tendem a ser mais instáveis, enquanto janelas maiores podem capturar tendências mais robustas.

Além disso, a pesquisa utilizou uma divisão temporal fixa dos dados (90% treino, 5% teste, 5% validação), sem aplicação de técnicas de validação cruzada com janelas deslizantes (rolling windows), que poderiam aumentar a confiabilidade dos resultados em séries temporais (Bergmeir; Benítez, 2012). A ausência dessa abordagem limita a avaliação da estabilidade do modelo em diferentes períodos do histórico.

Por fim, todos os testes foram realizados com modelos LSTM de arquitetura simples, variando apenas número de camadas e neurônios. Arquiteturas híbridas, como LSTM com convoluções ou mecanismos de atenção, não foram exploradas neste estudo. Segundo Qin *et al.* (2017), essas abordagens podem capturar dependências complexas de forma mais eficaz, especialmente em ambientes não lineares como o mercado de criptomoedas.

Ficam como sugestões para estudos futuros: (i) a inclusão de variáveis técnicas complementares, como indicadores de tendência e volume; (ii) a comparação com outras arquiteturas de redes neurais, como GRU ou Transformers; e (iii) a realização de testes em diferentes janelas temporais e ciclos de mercado, visando avaliar a robustez dos modelos sob cenários mais diversos.

REFERÊNCIAS

ANTONOPOULOS, A. M. **Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and DApps.**

Sebastopol: O'Reilly Media, 2017.

BAO, W.; YOU, S.; ZHANG, C. A deep learning framework for financial time series using stacked autoencoders and long short-term memory. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 12, n. 7, 2017. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0180944>. Acesso em: 23 maio 2025.

BERGMEIR, C.; BENÍTEZ, J. M. On the use of cross-validation for time series predictor evaluation. **Information Sciences**, v. 191, p. 192–213, 2012.

BISHOP, C. M. **Pattern recognition and machine learning.** New York: Springer, 2006.

- BUTERIN, V. A next-generation smart contract and decentralized application platform. **Ethereum White Paper**, 2014. Disponível em: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>. Acesso em: 23 maio 2025.
- CATALINI, C.; GANS, J. S. Some simple economics of the blockchain. **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 22952, 2016. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w22952>. Acesso em: 24 maio 2025.
- CORBET, S.; LUCEY, B.; YAROVAYA, L. Datestamping the Bitcoin and Ethereum bubbles. **Finance Research Letters**, Amsterdam, v. 26, p. 81–88, 2018.
- ETHEREUM FOUNDATION. **Ethereum completes The Merge**. 2022. Disponível em: <https://ethereum.org/en/upgrades/merge/>. Acesso em: 24 maio 2025.
- ETHERSCAN. **Ethereum Charts and Statistics**. 2025. Disponível em: <https://etherscan.io/charts>. Acesso em: 24 maio 2025.
- FISCHER, T.; KRAUSS, C. Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 270, n. 2, p. 654–669, 2018.
- GARCÍA, S.; LUENGO, J.; HERRERA, F. A survey of discretization techniques: Taxonomy and empirical analysis in supervised learning. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, Piscataway, v. 27, n. 12, p. 2935–2947, 2020.
- GONZÁLEZ-RIVERA, G. Assessing forecast performance in a value-at-risk framework. **Journal of Econometrics**, v. 105, n. 1, p. 171–192, 2001.
- GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep learning**. Cambridge: MIT Press, 2016.
- HEATON, J. B.; POLSON, N. G.; WITTE, J. H. Deep learning in finance. **Annual Review of Financial Economics**, v. 9, p. 145–181, 2017. <https://doi.org/10.1146/annurev-financial-110716-032843>
- HOCHREITER, S. *et al.* Gradient flow in recurrent nets: the difficulty of learning long-term dependencies. In: KÜHN, R. *et al.* (Ed.). **A Field Guide to Dynamical Recurrent Networks**. Cambridge: IEEE Press, 2001.
- HOCHREITER, S.; SCHMIDHUBER, J. Long short-term memory. **Neural Computation**, Cambridge, v. 9, n. 8, p. 1735–1780, 1997.
- Houben, R.; Snyers, A. **Cryptocurrencies and blockchain: Legal context and implications for financial crime, money laundering and tax evasion**. European Parliament, Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, 2018. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu>. Acesso em: 24 maio 2025.
- KARA, Y.; BOYACIOGLU, M. A.; BAYKAN, Ö. K. Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of the Istanbul Stock Exchange. **Expert Systems with Applications**, v. 38, p. 5311–5319, 2011.
- KINGMA, D. P.; BA, J. Adam: A method for stochastic optimization. **International Conference on Learning Representations (ICLR)**, 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>. Acesso em: 23 maio 2025.
- LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. **Nature**, v. 521, p. 436–444, 2015. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- MALKIEL, B. G. **A Random Walk Down Wall Street**. 8. ed. New York: W. W. Norton & Company, 2003.
- NAIR, V.; HINTON, G. E. Rectified linear units improve restricted boltzmann machines. In: **Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (ICML)**. Haifa, Israel, 2010.
- NAKAMOTO, S. Bitcoin: **A peer-to-peer electronic cash system**. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 24 maio 2025.
- NARAYANAN, A. *et al.* **Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction**. Princeton: Princeton University Press, 2016.
- PATEL, J. *et al.* Predicting stock and stock price index movement using trend deterministic data preparation and machine learning techniques. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 1, p. 259–268, 2015.
- PETERS GRAF, Junior Mateus. **Aplicando Redes Neurais Artificiais para a Previsão de**

Tendências de Mercado da Criptomoeda

- Bitcoin**. 2022. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Software) – Faculdade UNIGUAÇU, São Miguel do Iguazu, 2022.
- PRECHELT, L. Early stopping — but when? In: **NEURAL NETWORKS: TRICKS OF THE TRADE**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1998. p. 55–69.
- QIN, Y. *et al.* A dual-stage attention-based recurrent neural network for time series prediction. In: **Proceedings of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)**. Melbourne, 2017.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. 4. ed. Hoboken: Pearson, 2021.
- SCHÄR, F. Decentralized finance: On blockchain- and smart contract-based financial markets. **Federal Reserve Bank of St. Louis Review**, v. 103, n. 2, p. 153–174, 2021.
- SRIVASTAVA, N. *et al.* Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. **Journal of Machine Learning Research**, v. 15, p. 1929–1958, 2014.
- TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. **Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world**. New York: Penguin, 2018.
- TSE, Y. K.; XIANG, Y.; WANG, T. A directional accuracy test based on generalized spectrum. **Economics Letters**, v. 109, n. 3, p. 157–160, 2010.
- WERNER, S. M. *et al.* Sok: Decentralized exchanges (DEX) with automated market makers (AMM). **arXiv preprint**, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2103.12732>. Acesso em: 24 maio 2025.
- WOOD, G. Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger – Byzantium version. **Ethereum Project Yellow Paper**, 2014. Disponível em: <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>. Acesso em: 24 maio 2025.
- YEH, C. H.; HUANG, T. L.; LEE, C. Y. A multiple-kernel support vector regression approach for stock market price forecasting. **Expert Systems with Applications**, Amsterdam, v. 38, p. 2177–2186, 2011.
- ZBIKOWSKI, K. Using volume-weighted support vector machines with walk-forward testing and feature selection for the purpose of creating stock trading strategy. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 4, p. 1797–1805, 2015.
- ZHANG, G.; EDDY PUI, B.; HU, M. Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. **International Journal of Forecasting**, Amsterdam, v. 14, p. 35–62, 1998.

APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA TRADUÇÃO DE LIBRAS

Wagner Dias Menegasso*; Bruno Luiz Schuster Rech**

*Acadêmica de Engenharia de Software - Uniguaçu, wdiasm14@gmail.com.

**Mestre Ciência da Computação – UNIOESTE, brunolsrech@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 25 maio. 2025

Aceite: 1 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma aplicação baseada em inteligência artificial para a tradução de sinais da Língua Brasileira de Sinais (Libras) para a língua portuguesa. A proposta utiliza algoritmos de visão computacional, com foco no modelo YOLO (You Only Look Once), para detectar e interpretar gestos manuais extraídos de imagens capturadas em tempo real. A aplicação é composta por um sistema embarcado com interface desenvolvida em *Flutter*, uma API de *backend* em FastAPI e um algoritmo para a criação de um dataset personalizado. O modelo foi treinado com dados personalizados, baseando-se nas posições das mãos por meio de coordenadas de 21 pontos.

Palavras-chave: Libras; Tradução; Dataset; YOLO; Inteligência artificial.

ABSTRACT

This work presents the development of an application based on artificial intelligence for translating Brazilian Sign Language (Libras) into Portuguese. The proposal uses computer vision algorithms, focusing on the YOLO (You Only Look Once) model, to detect and interpret hand gestures extracted from images captured in real time. The application consists of an embedded system with an interface developed in *Flutter*, a *backend* API in FastAPI, and an algorithm for creating a custom dataset. The model was trained with personalized data, based on hand positions through 21-point coordinates.

Keywords: Libras; Translation; Dataset; YOLO; Artificial Intelligence.

Copyright © 2025, Wagner Dias Menegasso; Bruno Luiz Schuster Rech. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: MENEGASSO, Wagner Dias; RECH, Bruno Luiz Schuster. Aplicação da inteligência artificial para tradução de libras. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguazu, v. 3, n. 7, p. 28-36, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

A Língua Brasileira de Sinais (Libras) é a principal forma de comunicação utilizada pela comunidade surda no Brasil. Contudo, a barreira de comunicação entre pessoas ouvintes e não ouvintes ainda persiste em diversos contextos sociais. Neste cenário, soluções baseadas em inteligência artificial (IA) e visão computacional têm ganhado destaque como ferramentas promissoras para promover a inclusão.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma aplicação que visa traduzir sinais de Libras para o português utilizando IA. A proposta se destaca por empregar o modelo You Only Look Once (YOLO), conhecido por sua eficiência na detecção de objetos em tempo real, aliado a um sistema de captura via câmera integrado a uma interface desenvolvida em

Flutter. O *backend* da aplicação é responsável por processar as imagens e retornar a tradução correspondente, utilizando uma API desenvolvida com FastAPI. Durante o processo de desenvolvimento, identificou-se a necessidade de criar um dataset personalizado, o que motivou a criação de uma aplicação complementar dedicada à coleta, rotulagem e organização dos dados necessários para o treinamento do modelo de reconhecimento de gestos.

O objetivo deste trabalho é demonstrar a viabilidade técnica e prática da utilização de IA, contribuindo com soluções acessíveis e eficientes para a comunicação inclusiva.

METODOLOGIA

O tema demonstra-se de suma importância tendo em vista o advento das tecnologias no âmbito social, e, nesse caso, especificamente na área da engenharia civil. Dessa forma, será realizada uma pesquisa bibliográfica referente ao uso e possíveis usos de tal tecnologia nas avaliações e perícias de imóveis.

Durante a concepção do projeto, o modelo YOLO foi apresentado como sugestão inicial por sua reconhecida eficiência em tarefas de detecção em tempo real. Após uma análise mais aprofundada das variantes disponíveis, o modelo YOLOv11n foi selecionado por oferecer uma boa relação entre desempenho e leveza, características ideais para uma aplicação em dispositivos com recursos limitados. Essa escolha permitiu otimizar o tempo de resposta da aplicação sem comprometer significativamente a acurácia. O modelo foi implementado utilizando a linguagem Python, aproveitando a ampla gama de bibliotecas e suporte da comunidade para tarefas de visão computacional e inteligência artificial.

Figura 1. Métricas de performance

Modelo	tamanho (pixels)	mAPval 50-95	Velocidade CPU ONNX (ms)	Velocidade T4 TensorRT10 (ms)	params (M)	FLOPs (B) [1]
YOLO11n	640	39.5	56.1 ± 0.8	1.5 ± 0.0	2.6	6.5
YOLO11s	640	47.0	90.0 ± 1.2	2.5 ± 0.0	9.4	21.5
YOLO11m	640	51.5	183.2 ± 2.0	4.7 ± 0.1	20.1	68.0
YOLO11l	640	53.4	238.6 ± 1.4	6.2 ± 0.1	25.3	86.9
YOLO11x	640	54.7	462.8 ± 6.7	11.3 ± 0.2	56.9	194.9

Fonte: Ultralytics

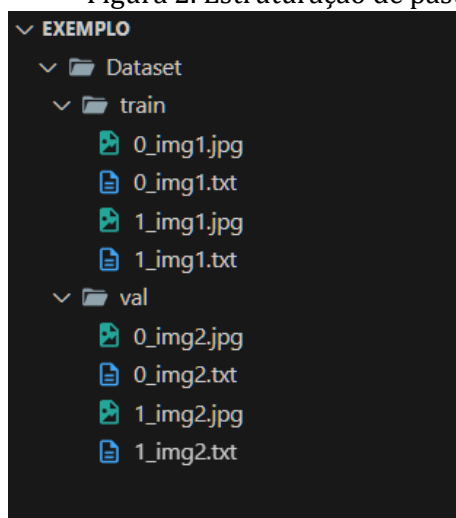
Com base na tabela apresentada na Figura 1, a escolha do modelo YOLOv11n se justifica por seu excelente equilíbrio entre desempenho e eficiência computacional. O modelo se destaca por sua alta velocidade de inferência, especialmente em dispositivos com recursos limitados. Ele é o modelo mais rápido, tanto quando usamos o formato ONNX (Open Neural Network Exchange) levando apenas 56,1 milissegundos para responder, quanto quando é executado em uma placa de vídeo (GPU T4 TensorRT10) leva apenas 1,5 milissegundo. Além disso, é o mais leve entre todos os modelos testados por tem menos "peças internas" (2,6 milhões de parâmetros) e exige menos esforço do computador para funcionar (6,5 bilhões de operações). Essas características o tornam ideal para as aplicações que exigem baixo tempo de resposta, como no caso da proposta desenvolvida, onde a baixa latência e o uso eficiente de recursos são cruciais.

Após a escolha do modelo, foi preciso definir um conjunto de dados adequado para treinar a inteligência artificial. Durante a pesquisa por datasets existentes, percebeu-se que nenhum deles atendia completamente às necessidades do projeto, principalmente na representação dos gestos específicos Libras. Diante disso, optou-se por criar um dataset próprio, o que exigiu o desenvolvimento de

uma aplicação complementar voltada para a coleta, rotulagem e organização desses dados. Isso possibilitou um maior controle sobre a qualidade e diversidade dos gestos usados no treinamento, garantindo que o modelo aprendesse a partir de exemplos realmente alinhados com os objetivos da aplicação.

Para a criação da aplicação complementar, foi necessário dividi-la em duas partes principais. A primeira parte ficou responsável pela captura das imagens associadas às classes de sinais, sendo coletadas 100 imagens por classe. Para garantir maior variedade e robustez ao conjunto de dados, essas imagens passam por leves alterações de brilho, contraste e cor. Já a segunda parte cuidou da obtenção da posição, altura e largura da mão dentro do frame da imagem. Para isso, utilizou-se a biblioteca MediaPipe, que detecta 21 pontos na mão. A partir desses pontos, calculou-se a altura sendo as posições dos dois pontos mais distantes no eixo x, e no eixo y a largura. Em seguida, as coordenadas foram normalizadas para ficarem entre 0 e 1, e os dados foram organizados conforme a estrutura de pastas esperada pelo modelo YOLO.

Figura 2. Estruturação de pastas

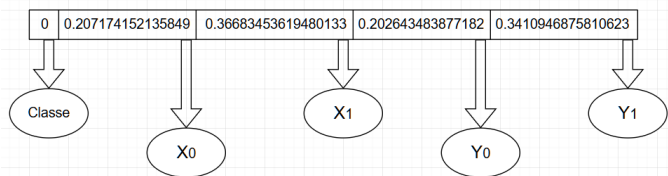


Fonte: Autoria própria

O modelo YOLO exige uma estrutura organizada de pastas e arquivos assim como apresentado na Figura 2, para garantir que o processo de treinamento e validação seja realizado de forma eficiente e padronizada. A separação entre os diretórios train e val permite que o modelo aprenda com um conjunto de dados (treinamento) e seja avaliado com outro (validação), evitando sobreajuste e garantindo uma avaliação realista de desempenho. Cada imagem em formato JPG está acompanhada de um texto em formato TXT com o mesmo nome, que contém as anotações dos objetos (como classe e coordenadas), seguindo o formato esperado pelo YOLO. Essa estrutura facilita a leitura automática dos dados durante o treinamento e é essencial para garantir a

correta associação entre imagens e suas respectivas anotações.

Figura 3. Exemplo de indicação de classes no arquivo TXT



Fonte: Autoria própria

O conteúdo mostrado na Figura 3, representa as anotações no formato YOLO para os objetos detectados nas imagens. Cada linha descreve um objeto identificado na imagem e é composta por cinco valores principais sendo eles respectivamente classe do objeto, duas coordenadas delimitadoras no eixo x e duas no eixo y.

Com o dataset já criado, o próximo passo foi iniciar o treinamento da inteligência artificial. Esse processo, no entanto, tende a ser trabalhoso, pois envolve a definição e o ajuste de diversos hiperparâmetros que afetam diretamente o comportamento do modelo durante o aprendizado. Parâmetros como taxa de aprendizado, número de épocas, tamanho do batch e funções de perda precisam ser ajustados com atenção para equilibrar desempenho e tempo de treinamento. Cada alteração pode gerar resultados diferentes, exigindo testes e comparações constantes até encontrar a configuração mais adequada para atingir bons resultados com os dados disponíveis.

Embora a biblioteca Ultralytics ofereça um recurso que ajusta automaticamente os hiperparâmetros durante o treinamento, optou-se por não utilizá-lo neste projeto. Essa decisão foi motivada por critérios acadêmicos, visando proporcionar um maior controle sobre o processo de aprendizado do modelo e permitir uma compreensão mais profunda do impacto de cada parâmetro nos resultados obtidos.

Com isto, concluiu-se a etapa de ajuste de hiperparâmetros do modelo de detecção, culminando na configuração exibida na Tabela 1. Nesta etapa, cada parâmetro foi ajustado para otimizar o desempenho do modelo.

Com o modelo treinado, iniciou-se o desenvolvimento da aplicação embarcada utilizando o framework *Flutter*. A escolha por esse framework se deu tanto pela familiaridade prévia com a ferramenta quanto pela sua capacidade de criar aplicações móveis multiplataforma de maneira eficiente. O *Flutter*, que utiliza a linguagem Dart, proporciona uma estrutura baseada em widgets reutilizáveis e um gerenciamento de estado claro, o que facilita a construção de interfaces dinâmicas e responsivas. Esses fatores foram decisivos para a criação de um aplicativo

funcional, leve e com boa experiência de uso, capaz de capturar imagens da câmera do dispositivo e interagir com o *backend* para a tradução em tempo real dos sinais capturados.

Tabela 1. Hiperparâmetros do modelo de classificação

Parâmetros	Valores	Função
Epochs	65	Número total de épocas
Batch	16	Tamanho do <i>batch</i> para cada iteração
Imgsz	650	Tamanho da imagem usada no treinamento
Device	Cuda	Dá preferência ao uso da GPU (se houver)
lr0	0,006	Taxa de aprendizado inicial
Lrf	0,06	Fator final da taxa de aprendizado
Momentum	0,937	Fator de momentum do otimizador
weight_decay	0,0006	Penalidade de regularização para evitar overfitting
Optimizer	SGD	Algoritmo de otimização utilizado
Workers	8	Número de subprocessos para carregamento de dados
Patience	15	Número de épocas sem melhoria antes de parar o treinamento
hsv_h	0,015	Ajuste de matiz para aumento de dados (hue)
hsv_s	0,7	Ajuste de saturação para aumento de dados
hsv_v	0,4	Ajuste de valor (brilho) para aumento de dados
Mosaic	1	Probabilidade de aplicar a técnica de mosaic para aumento de dados

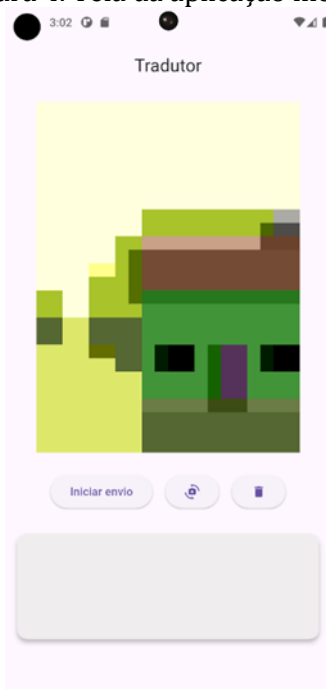
Fonte: Autoria própria

Para atender às necessidades específicas do projeto, foi idealizada uma aplicação que prezasse pela simplicidade e facilidade de uso. A proposta consiste em um sistema que captura imagens diretamente da câmera do dispositivo móvel, envia essas imagens por meio de uma API para um servidor contendo o modelo de IA treinado, e então recebe como resposta o sinal correspondente traduzido. Esse processo torna a aplicação mais leve e eficiente, já que o processamento pesado é feito no servidor, permitindo uma resposta rápida e precisa na tradução dos sinais. A integração entre o aplicativo e o *backend* foi fundamental para garantir a fluidez da experiência do usuário.

Na Figura 4 está a representação da aplicação mobile que conta com uma página inicial intitulada

"Tradutor", onde é exibida a visualização da câmera do dispositivo e três botões com funções distintas. O primeiro botão, denominado "iniciar envio", tem como objetivo iniciar uma sequência de requisições à API para tradução dos sinais, ao ser pressionado novamente, essa sequência é interrompida. O segundo botão, representado por um ícone de câmera, permite alternar entre a câmera traseira e frontal do dispositivo. Por fim, o botão com ícone de lixeira apaga o texto exibido na tela, permitindo ao usuário reiniciar o processo. Abaixo desses botões, há um campo dedicado à exibição dos resultados retornados pela API, apresentando os sinais interpretados a partir das imagens capturadas pela câmera.

Figura 4. Tela da aplicação mobile



Fonte: Autoria própria

Passando então para a criação de uma API utilizando o FastAPI. O FastAPI é um framework moderno e de alto desempenho para a construção de APIs com Python, conhecido por sua simplicidade, rapidez e por utilizar tipos de dados para validação automática. A escolha dessa ferramenta se deu pela facilidade de integração com o modelo treinado, bem como pela boa performance e escalabilidade oferecidas.

A estrutura da API é dividida em duas partes, a primeira foi implementada em Python, utilizando o FastAPI, e disponibiliza um servidor na seguinte URL: "http://<ip da máquina>:8000/predict". Esse endpoint recebe uma imagem enviada via método POST e retorna uma predição em formato JSON, com uma chave chamada "resultado" contendo o valor identificado pelo modelo treinado. A segunda etapa acontece no aplicativo mobile desenvolvido com Flutter, que realiza uma requisição HTTP para essa URL, enviando a imagem capturada pela câmera do

dispositivo. Ao receber a resposta da API, o aplicativo extrai o valor correspondente do JSON e exibe o sinal interpretado na interface do usuário.

Na Figura 5, está representada a lógica utilizada na API desenvolvida para processar as imagens capturadas pela aplicação móvel e retornar o resultado gerado pelo modelo treinado.

Figura 5. Lógica do servidor

```

1  app = FastAPI()
2  model = YOLO("runs/detect/train5/weights/best.pt")
3
4  sinal_sequencial = {}
5
6  @app.post("/predict")
7  async def predict(file: UploadFile = File(...)):
8      contents = await file.read()
9      npimg = np.frombuffer(contents, np.uint8)
10     frame = cv2.imdecode(npimg, cv2.IMREAD_COLOR)
11
12     results = model(frame)
13
14     for r in results:
15         class_indices = r.boxes.cls.int().tolist()
16         class_names = [model.names[idx] for idx in class_indices]
17
18         for s in class_names:
19             return JSONResponse(content={"resultado": s})
20
21     return JSONResponse(content={"resultado": 'null'})

```

Fonte: Autoria própria

A Figura 6 ilustra o fluxo completo de envio e recebimento de imagens via API. Esse processo começa na aplicação desenvolvida em Flutter, onde o usuário aciona o botão para iniciar o envio de imagens capturadas pela câmera do dispositivo. Cada imagem é convertida e enviada para a API por meio de uma requisição HTTP do tipo POST. No *backend*, a API construída com FastAPI recebe a imagem, decodifica-a utilizando OpenCV e a processa com o modelo YOLO previamente treinado.

Por fim, durante a criação do projeto, foi observado que alguns sinais da Língua Brasileira de Sinais (Libras) exigem movimento contínuo da mão para serem corretamente compreendidos, como é o caso da letra "J". Como a base do projeto utiliza o modelo YOLO, que é voltado para a identificação de objetos em imagens estáticas, há uma limitação em reconhecer sinais que dependem de movimento. Apesar do modelo possuir funcionalidades de rastreamento, ele não associa por si só a movimentação ao significado de uma classe.

Tendo o problema da letra "J" em mente, foi desenvolvida uma lógica alternativa para possibilitar o reconhecimento de sinais que envolvem movimento contínuo. Essa abordagem consiste em dividir o gesto

dinâmico em múltiplas etapas estáticas, representadas por diferentes classes. No caso da letra "j", o movimento foi segmentado em quatro fases distintas, nomeadas como "j1*", "j2*", "j3*" e "j4*", correspondendo respectivamente ao início, meio e fim da trajetória feita pela mão. O caractere especial "*" foi adicionado ao final das classes que representam sinais com movimento, permitindo que sejam identificadas e tratadas de forma diferenciada durante o processamento. Essa estratégia possibilita que, mesmo utilizando um modelo voltado para imagens estáticas, como o YOLO, seja viável interpretar movimentos complexos por meio da detecção sequencial dessas etapas, aproximando-se do comportamento esperado na linguagem de sinais.

Figura 6. Lógica do cliente

```

1 import 'package:http/http.dart' as http;
2 Future<void> _sendFrame() async {
3   if (!_controller!.value.isInitialized) return;
4   try {
5     await _controller!.takePicture().then((file) async {
6       final imageFile = File(file.path);
7       var request = http.MultipartRequest(
8         'POST',
9         Uri.parse('http://192.168.0.194:8000/predict'),
10      );
11      request.files.add(await http.MultipartFile.fromPath('file', imageFile.path));
12      var response = await request.send();

```

Fonte: Autoria própria

Na Figura 7 está a lógica implementada para solucionar o problema das letras caracterizadas por movimento. Essa lógica analisa uma sequência de quatro requisições consecutivas ao modelo, verificando se pelo menos três dessas requisições possuem classes que iniciam com a mesma letra base, desconsiderando o caractere especial "*". Caso essa condição seja atendida, considera-se que houve detecção consistente do movimento correspondente àquela letra, e o resultado final é validado como sendo a própria letra em questão.

Essa abordagem aumenta a confiabilidade do reconhecimento, filtrando variações pontuais e garantindo que apenas movimentos coerentes e contínuos sejam interpretados como sinais válidos.

Figura 7. Lógica de movimento

```

1 if (result != 'null' && result!.isNotEmpty && result!.contains("*")){
2   setState() {
3     _sequencialResult.add(result!);
4     var counts = <String, int>{};
5     for (var s in _sequencialResult) {
6       counts[s[0]] = (counts[s[0]] ?? 0) + 1;
7     }
8     String? repeated;
9     counts.forEach((key, value) {
10      if (value >= 3) {
11        repeated = key;
12      }
13    });
14    if (repeated != null) {
15      accumulatedResult += repeated!.substring(0, repeated!.length - 2);
16      _sequencialResult.clear();
17      success = true;
18    }
19  });
20 }

```

Fonte: Autoria própria

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão discutidos os resultados obtidos com o uso desse modelo, destacando seu desempenho, bem como os principais desafios enfrentados durante o desenvolvimento do projeto, como falhas na diferenciação de sinais semelhantes e dificuldade na detecção em ângulos não padronizados.

Como já mencionado anteriormente, o projeto utiliza um modelo voltado para a identificação de objetos em imagens estáticas, mais especificamente um modelo da família YOLO. Embora seja eficiente para detectar e localizar objetos com rapidez e precisão, esse tipo de modelo não foi originalmente desenvolvido para interpretar sinais gestuais complexos, como é o caso da linguagem Libras. Essa limitação se torna evidente ao lidar com gestos que exigem movimentação contínua ou variações sutis de posição, como ocorre entre letras como "f" e "t" que são diferenciadas apenas pela posição do polegar. Por estas razões, foi optado por fazer a detecção somente de letras do alfabeto onde podemos ter um controle melhor tanto do treinamento quanto dos resultados esperados, assim podendo usar este projeto como método de estudo e um ponto de partida para um projeto futuro.

Voltando a um problema já mencionado anteriormente, relacionado às letras que exigem movimento para serem compreendidas corretamente, foi possível implementar uma solução parcial. A estratégia adotada, que consiste em dividir a movimentação em uma sequência de quatro classes temporais, como no caso da letra "j" representada por "j1*", "j2*", "j3*" e "j4*", mostrou-se eficaz para esse tipo de sinal. No entanto, ao aplicar essa mesma lógica à letra "z", surgiram novas dificuldades. O gesto correspondente à letra "z" em Libras não apresenta

mudanças significativas de angulação ou variações perceptíveis entre as etapas da movimentação. Como consequência, torna-se extremamente difícil distinguir as fases "z1*", "z2*", "z3*" e "z4*" de forma confiável, mesmo utilizando imagens em sequência. Diante dessa limitação e da ausência de uma solução prática e funcional durante o desenvolvimento do projeto, optou-se por não incluir a letra "z" entre os sinais reconhecidos pelo modelo, uma vez que não foi possível contornar essa dificuldade de maneira satisfatória.

Quanto à questão do dataset, alguns desafios foram enfrentados durante sua construção, principalmente relacionados à detecção dos 21 pontos da mão feita pela biblioteca externa utilizada, o MediaPipe. Em certas situações, essa detecção falhava, especialmente quando havia movimentos bruscos, iluminação inadequada ou quando a mão se posicionava em ângulos que dificultavam a identificação dos pontos de referência.

Como a biblioteca em si não oferecia mecanismos para correção direta dessas falhas, a solução encontrada foi adotar maior cautela durante o processo de captura, realizando os gestos de forma mais controlada e estável, o que ajudou a minimizar os erros e aumentar a taxa de detecção bem-sucedida. Apesar desse cuidado, ainda ocorriam falhas, e nestes casos foi necessário recorrer à marcação manual das classes, o que tornou o processo mais demorado e sujeito a erros humanos.

Essa etapa evidenciou a importância de um ambiente controlado para a coleta de dados e apontou a necessidade de melhorias futuras no sistema de captura, como a implementação de mecanismos de verificação da integridade dos pontos ou a substituição da ferramenta por alternativas mais

robustas. Mesmo com essas limitações, foi possível compor um dataset funcional, que serviu como base para o treinamento e testes do modelo.

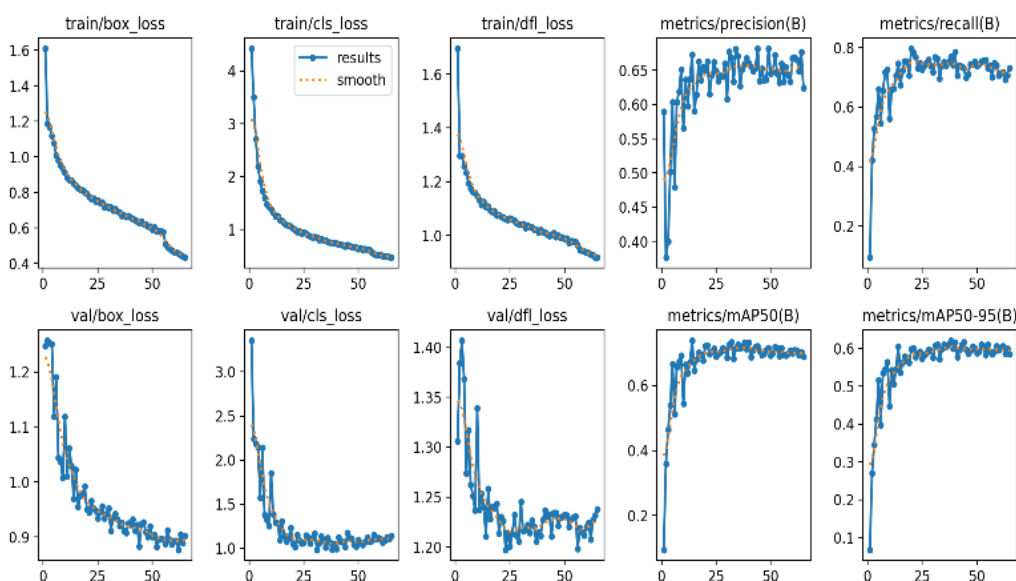
Em relação à etapa de treinamento, mesmo com o uso de uma GPU dedicada para o processamento dos dados, o que proporcionou uma redução significativa no tempo de treinamento em comparação ao uso de CPU, o processo de refinamento dos hiperparâmetros ainda foi bastante demorado. Isso ocorreu principalmente devido ao tamanho do dataset utilizado.

Apesar do foco estar apenas no alfabeto, foram incluídas 100 imagens para cada uma das 24 letras detectadas, com exceção da letra "z", além de um conjunto especial de 400 imagens destinado à letra "j", que foi dividida em quatro classes temporais ("j1*", "j2*", "j3*", "j4*"). Com isso, o total de imagens utilizadas chegou a 2.800, tornando o processo de ajuste fino dos hiperparâmetros mais trabalhoso e exigente. A complexidade aumentou ainda mais com a necessidade de garantir a generalização do modelo e evitar overfitting, o que exigiu múltiplos ciclos de teste e validação ao longo do desenvolvimento.

Apesar dos contratempos enfrentados durante o desenvolvimento, como falhas na detecção de pontos, limitações na identificação de sinais com movimento e o tempo elevado necessário para o refinamento dos hiperparâmetros, foi possível alcançar um resultado satisfatório dentro dos objetivos propostos.

Como mostrado na Figura 8, durante o treinamento do modelo YOLO, foi possível observar uma evolução consistente em diversas métricas, tanto no conjunto de treinamento quanto no de validação. As perdas associadas à localização dos objetos (box_loss), classificação (cls_loss) e regressão refinada das caixas (dfl_loss) apresentaram quedas contínuas ao longo

Figura 8. Resultado do treinamento



Fonte: Autoria própria

das épocas, evidenciando que o modelo estava aprendendo de forma progressiva e estável. As métricas de precisão e recall também demonstraram bons resultados, atingindo patamares acima de 0.6 e 0.7, respectivamente, o que indica que o modelo foi eficiente em identificar corretamente os sinais e reduzir a quantidade de falsos positivos e negativos. As métricas de média de precisão (mAP50 e mAP50-95) reforçam esse bom desempenho, ultrapassando a marca de 0.6, valor considerado satisfatório para o escopo deste projeto. Apesar de algumas oscilações pontuais, principalmente nas métricas relacionadas à validação, o comportamento geral foi positivo. Esses resultados indicam que, mesmo com as limitações inerentes ao modelo YOLO no reconhecimento de gestos com movimento contínuo, como a letra "z", o sistema mostrou-se eficaz para detecção de sinais estáticos e movimentos simples, validando sua aplicação como ferramenta de estudo.

Em relação à velocidade de transferência de dados entre o modelo treinado e a aplicação, os resultados foram satisfatórios dentro do contexto do projeto, embora ainda que o ideal para aplicações como essa o tempo de resposta tende a ser menor. Mesmo operando por meio de uma API local, cada requisição leva aproximadamente 1 segundo para ser processada, o que pode comprometer a fluidez da interação em cenários que exigem respostas mais imediatas. Inicialmente, toda a lógica de interpretação dos resultados gerados pelo modelo era executada no lado do servidor, o que contribuía para o tempo total de resposta.

Buscando otimizar esse aspecto, foi realizada uma alteração estrutural: a lógica de tratamento dos dados foi transferida para o lado do cliente, ficando o servidor responsável apenas por retornar os dados brutos gerados pelo modelo. No entanto, apesar dessa tentativa de otimização, a redução no tempo de resposta não foi significativa, indicando que o gargalo está possivelmente relacionado ao tempo de inferência do próprio modelo ou ao processo de comunicação entre as partes da aplicação.

Outro fator que pode ter impactado o desempenho é o tamanho do modelo utilizado, uma vez que modelos mais complexos e robustos, como os baseados em YOLO, demandam mais recursos computacionais, mesmo após o treinamento. Além disso, o formato e a quantidade de dados transmitidos a cada requisição também podem influenciar diretamente o tempo de resposta. Ainda que o uso de uma API local elimine a latência associada à internet, a comunicação entre a aplicação cliente e o servidor pode sofrer impactos por limitações de hardware ou pela forma como os dados estão sendo tratados e serializados.

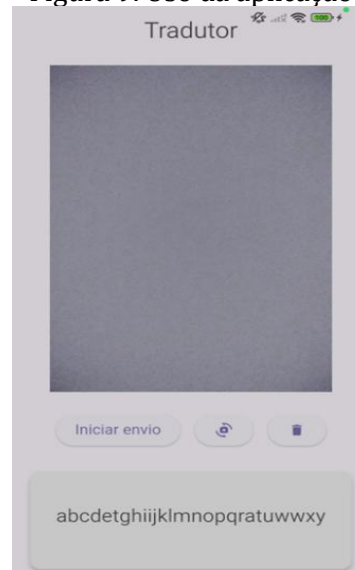
Para a aplicação desenvolvida em *Flutter*, cuja função principal é tratar e exibir os dados retornados da API, optou-se por uma abordagem simples e direta,

com o objetivo de manter o foco do projeto voltado à análise e desempenho do modelo de inteligência artificial. Essa simplicidade teve como propósito facilitar o uso da aplicação, reduzir a complexidade geral do sistema e manter o escopo do projeto bem definido, uma vez que o desenvolvimento da interface em si não era o objetivo central.

Durante a criação da aplicação, não foram encontradas dificuldades significativas no desenvolvimento da interface ou na estruturação da lógica interna, com exceção da etapa de integração com a API. Essa parte apresentou alguns desafios técnicos, especialmente por se tratar de uma aplicação mobile, onde há particularidades na comunicação entre o frontend e o *backend*, como o manuseio de requisições HTTP, permissões de rede e o tratamento de CORS (Cross-Origin Resource Sharing), que é um mecanismo de segurança dos navegadores que restringe requisições feitas entre diferentes origens. Ainda assim, com as devidas configurações e ajustes no código, foi possível estabelecer uma comunicação funcional entre a aplicação e o servidor, garantindo a exibição correta dos dados processados.

A imagem da Figura 9 apresenta uma demonstração dos resultados obtidos com a detecção em tempo real dos sinais. Nessa demonstração, o objetivo foi representar todo o alfabeto em ordem sequencial, a fim de verificar a capacidade do modelo em identificar corretamente cada letra em uma situação prática. Embora o modelo não tenha alcançado uma taxa de acerto perfeita, os resultados foram considerados satisfatórios, especialmente quando levamos em conta os diversos contratempos enfrentados ao longo do desenvolvimento, como as limitações do modelo YOLO para capturar movimentos, falhas ocasionais na detecção dos pontos da mão e os desafios enfrentados na construção e refinamento do dataset.

Figura 9. Uso da aplicação



Fonte: Autoria própria

Analisando o resultado do experimento, é possível observar alguns erros de detecção que ocorreram com certa frequência. Entre eles, destaca-se a troca da letra "f" pela letra "t", da letra "s" pela letra "a" e da letra "v" pela letra "w", além da duplicidade da letra "i". Ao observar as posições das mãos associadas a essas letras, nota-se que elas possuem grande semelhança visual, o que pode ter confundido o modelo durante o processo de classificação, levando a erros compreensíveis considerando as limitações da arquitetura utilizada.

No caso específico da duplicidade da letra "i", uma possível explicação é que o movimento inicial da letra "j" representado pela classe "j1*" possui uma posição estática muito semelhante à da letra "i". Dessa forma, durante a execução do gesto para a letra "j", o modelo pode ter identificado a sequência temporal como sendo ("i", "j2*", "j3*", "j4*"). Como a lógica de validação exige que pelo menos três das quatro classes temporais comecem com a mesma letra para confirmar o movimento, o sistema acaba reconhecendo tanto a letra "i" quanto a "j" na mesma sequência, gerando a duplicidade observada.

A Figura 10 apresenta um teste de assertividade feito com o objetivo de avaliar o desempenho do modelo em relação às letras que apresentaram maior índice de erros durante os testes anteriores. Para isso, foram realizadas quatro tentativas para cada uma das letras de difícil distinção, no caso "f", "s", "v". Os resultados mostraram que, embora o modelo tenha sido capaz de reconhecer corretamente algumas dessas letras em determinadas posições ou ângulos, a taxa de acerto foi significativamente inferior se comparada às demais letras do alfabeto.

Figura 10. Teste de assertividade



Fonte: Autoria própria

Isso reforça a hipótese levantada anteriormente de que as similaridades visuais entre certos sinais, associadas às limitações do modelo YOLO na detecção de gestos sutis ou sobrepostos, dificultam a distinção entre sinais com características muito próximas. Dessa forma, o teste evidencia que, apesar de o modelo ter uma capacidade razoável de acerto, ele ainda apresenta dificuldades relevantes em contextos em que a precisão na diferenciação entre gestos similares é essencial.

Com o fortalecimento da hipótese apresentada, confirma-se o que já era esperado em relação ao desempenho do modelo. Por se tratar de um sistema baseado na detecção de objetos a partir de imagens estáticas, o modelo analisa a mão como se fosse apenas mais um objeto a ser classificado, sem considerar sua anatomia, posição relativa dos dedos ou contexto temporal dos movimentos. Isso limita significativamente sua capacidade de distinguir gestos semelhantes ou identificar nuances sutis entre sinais, especialmente em uma linguagem visual como a Libras, onde pequenas variações na forma e na orientação podem alterar completamente o significado do sinal.

Planejamento para Aplicações Futuras

Apesar das complicações enfrentadas durante a confecção do projeto, a experiência adquirida ao longo do desenvolvimento proporcionou um aprendizado significativo que poderá ser aplicado em iniciativas futuras. Compreendeu-se melhor as limitações de utilizar uma arquitetura baseada em detecção de objetos, como o YOLO, para interpretar sinais de Libras. Para um próximo projeto, pretende-se explorar arquiteturas mais adequadas ao contexto, que possibilitam a análise de sequências de imagens ao longo do tempo, captando melhor os aspectos dinâmicos dos sinais. Ainda assim, não se descarta o uso da arquitetura YOLO como parte complementar da solução, dada sua eficiência na identificação de gestos estáticos e sua velocidade de inferência. A combinação entre diferentes abordagens pode levar a um sistema mais robusto e preciso, aproximando ainda mais a tecnologia das necessidades reais de acessibilidade e comunicação da comunidade surda.

CONCLUSÕES

Este projeto teve como principal objetivo estudar e aplicar o processo de treinamento de um modelo de detecção de sinais da Língua Brasileira de Sinais, utilizando como base a arquitetura YOLO. Durante o desenvolvimento, diversos desafios foram enfrentados, principalmente em relação à limitação do modelo em interpretar gestos que envolvem movimento, como as letras "J" e "Z", além das dificuldades na construção de um dataset consistente

devido à sensibilidade da biblioteca de detecção de pontos. Ainda assim, com adaptações criativas, como a divisão de gestos em classes temporais e o uso de caracteres especiais para diferenciá-los, foi possível contornar parcialmente essas limitações e alcançar resultados satisfatórios.

O modelo apresentou desempenho aceitável dentro do escopo proposto, permitindo identificar corretamente a maioria das letras estáticas do alfabeto em tempo real. A aplicação *Flutter*, embora simples, cumpriu bem seu papel ao integrar-se com a API e exibir os resultados de forma funcional. Os testes demonstraram que há margem para melhorias, especialmente na distinção de gestos semelhantes e na precisão temporal, mas também evidenciaram o potencial dessa abordagem como base para estudos futuros.

Portanto, mesmo com suas limitações, o projeto cumpriu seu propósito pedagógico, fornecendo aprendizados valiosos sobre o funcionamento de modelos de visão computacional, tratamento de dados de entrada, e os desafios práticos de trabalhar com linguagem de sinais. Como continuidade, recomenda-se explorar modelos mais adequados para sequências temporais, como redes neurais recorrentes (RNNs) ou Transformers, além da utilização de bibliotecas ou sensores que ofereçam maior robustez na detecção de movimentos e posições da mão.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, João Carlos de. **Visão computacional aplicada ao reconhecimento de gestos**. São Paulo: Novatec, 2020.
- BOCHENEK, Michal *et al.* Real-time Hand Gesture Recognition using YOLOv5. In: Proceedings of the 2022 IEEE/CVF **Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**. 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2205.14459>. Acesso em: 20 maio 2025.
- FONSECA, Luana R.; MENEZES, Pedro H. Reconhecimento de sinais da Libras com aprendizado profundo. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 18-31, 2021.
- REDMON, Joseph; FARHADI, Ali. **YOLOv3: An Incremental Improvement**. 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1804.02767>. Acesso em: 20 maio 2025.
- SILVA, Marcos A. da. **Processamento de Imagens e Reconhecimento de Padrões**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- ASSALEH, K.; SHANABLEH, T.; HAJJAJ, H. Recognition of handwritten Arabic alphabet via hand motion tracking. **Journal of the Franklin Institute**, v. 346, p. 175-189, 2009. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2008.08.005.
- JAIN, R.; KARSH, R. K.; BARBHUIYA, A. A. Encoded motion image-based dynamic hand gesture recognition. **The Visual Computer**, v. 38, p. 3305-3324, 2021. DOI: 10.1007/s00371-021-02259-3.
- PAHLEVANZADEH, M.; VAFADOOST, M.; SHAHNAZI, M. **Sign language recognition**. In: 2007 3rd International Conference on Intelligent Systems and Applications. IEEE, 2007. p. 1-6. DOI: 10.1109/ISAP.2007.4441592.
- ZHU, Y.; YANG, Z.; YUAN, B. Vision based hand gesture recognition. In: 2013 **International Conference on Service Science**. IEEE, 2013. p. 260-265. DOI: 10.1109/ICSS.2013.40.



IGUAZU SCIENCE



v. 3, n. 7, jun. 2025
ISBN 978-65-83057-12-9

ARTIGO CIENTÍFICO

ACESSO LIVRE

CONSTRUÇÃO DE UM FLIPERAMA DE MESA COM SISTEMA BATOCERA: INTEGRAÇÃO DE HARDWARE, SOFTWARE E DESIGN FUNCIONAL

José Roberto Santos Oliveira*; Leonardo Gomes Guidolin**

*Acadêmico de Engenharia de Software - Uniguacu, joserobertos.oliver@gmail.com.

**Mestre em Tecnologias Computacionais pro Agronegócio – UTFPR Medianeira, leonardo.gguidolin@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 26 maio. 2025

Aceite: 01 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento parcial de um fliperama de mesa baseado no sistema Batocera, com foco na integração entre hardware reaproveitado, estrutura em MDF e design funcional voltado à experiência clássica dos jogos arcade. A metodologia adotada é prática e aplicada, com caráter experimental, envolvendo a montagem de gabinete próprio, reutilização de componentes eletrônicos e a configuração de um sistema de emulação portátil. Até o momento, foram realizadas a montagem da estrutura física, a instalação dos principais elementos internos e a separação dos controles arcade. O sistema operacional Batocera foi configurado em um pendrive inicializável, permitindo praticidade na execução e atualização dos jogos. Os resultados parciais demonstram a viabilidade técnica do projeto e apontam seu potencial educacional e replicável. Espera-se que, ao término, o fliperama ofereça uma experiência interativa, sustentável e alinhada à preservação digital da cultura gamer.

Palavras-chave: Fliperama, Batocera, reaproveitamento eletrônico, cultura maker, jogos clássicos.

ABSTRACT

This article presents the partial development of a tabletop arcade machine based on the Batocera system, focusing on the integration of reused hardware, MDF cabinet construction, and functional design aimed at replicating the classic arcade gaming experience. The adopted methodology is practical and applied, with an experimental approach involving the custom assembly of the cabinet, reuse of electronic components, and the configuration of a portable emulation system. Up to this point, the physical structure has been built, the main internal components have been installed, and the arcade controls have been prepared. The Batocera operating system was configured on a bootable USB drive, allowing for convenient execution and updating of games. The partial results demonstrate the project's technical feasibility and highlight its educational and replicable potential. It is expected that, upon completion, the arcade machine will offer an interactive, sustainable experience aligned with the digital preservation of gaming culture.

Keywords: Arcade, Batocera, electronic reuse, maker culture, classic games.

Copyright © 2025, José Roberto Santos Oliveira; Leonardo Gomes Guidolin. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: OLIVEIRA, José Roberto Santos; GUIDOLIN, Leonardo Gomes. Construção de um Fliperama de mesa com sistema batocera: integração de hardware, software e design funcional. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguacu, v. 3, n. 7, p. 37-46, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

Os jogos eletrônicos não são apenas formas de entretenimento; eles incorporam traços de identidade cultural, tendências estéticas, avanços tecnológicos e

transformações sociais de suas respectivas épocas. Conforme apontam Consalvo e Paul (2019), os videogames funcionam como mídias culturais que refletem e influenciam comportamentos, valores e contextos sociais. Títulos icônicos como Pac-Man,

Street Fighter II e Donkey Kong não apenas marcaram gerações, mas também espelham elementos de comportamento, estilo de vida e valores presentes em seus períodos históricos, reforçando a importância dos jogos como objeto de estudo cultural.

O fliperama, também conhecido como arcade, surgiu como um dos pilares da indústria de entretenimento eletrônico nas décadas de 1970 e 1980. Ele se tornou um verdadeiro símbolo cultural da época, proporcionando aos jogadores uma experiência imersiva e social que se estendia para algo além da simples interação com um jogo (Bário, 2024).

Com base na análise histórica apresentada por M&P Amusement (2020), observa-se que a década de 1970 foi um marco significativo para a popularização das máquinas de fliperama (Figura 1). O lançamento de jogos icônicos como Pong e Space Invaders impulsionou um verdadeiro fenômeno cultural nos Estados Unidos, resultando na criação de mais de 13.000 estabelecimentos exclusivamente dedicados a esse tipo de entretenimento eletrônico.

Figura 1. Casa de fliperama com tema dos anos 70/80 com máquinas vintage na Carolina do Norte.



Fonte: Reddit (2025).

Esses espaços não apenas ofereceram uma nova forma de lazer para a população, como também passaram a desempenhar um papel relevante na configuração do ambiente urbano norte-americano (Schmidt *et al.*, 2021).

Com o avanço tecnológico e a popularização dos jogos digitais em plataformas domésticas e móveis, os fliperamas perderam espaço no cotidiano dos jogadores. A estética retrô, marcada por gráficos pixelados e trilhas sonoras sintetizadas, ainda exerce forte apelo nostálgico na cultura contemporânea e o desejo de reviver experiências clássicas têm incentivado o surgimento de projetos que reaproveitam tecnologias acessíveis para simular a vivência dos antigos arcades, promovendo uma reinterpretação cultural e funcional desses sistemas (Vieira; Cordeiro; Siqueira, 2013).

A ideia de reviver esses aparelhos por meio da emulação não é uma novidade, mas se intensifica com o uso de soluções acessíveis e de baixo custo, como o Batocera.

A emulação é considerada uma das estratégias mais promissoras para a preservação digital de jogos, pois permite manter a experiência original em plataformas modernas com apenas um software, o emulador, reproduzindo toda a biblioteca de jogos do console, sem a necessidade de adaptar cada título individualmente (Guttenbrunner *et al.*, 2009). O sistema operacional Batocera, por exemplo, permite que qualquer computador, ao rodar esse sistema, se transforme em uma verdadeira máquina de jogos clássicos, trazendo de volta a sensação dos fliperamas dos anos 80 e 90 (Figura 2).

Figura 2. Casa de Fliperama



Fonte: Muito além dos vídeos games (2025).

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar o processo de construção de um fliperama de mesa utilizando fibra de madeira de densidade média como material da cabine e um computador rodando o sistema Batocera, para jogos clássicos do fliperama. Uma combinação entre hardware, software e design funcional. O projeto se destaca pela utilização de componentes eletrônicos reaproveitados e pela aplicação de trabalho artesanal para a junção de todos os elementos.

Esta iniciativa busca não apenas reviver a experiência nostálgica dos jogos arcade, mas também trazer uma solução prática e acessível para entusiastas, educadores e/ou desenvolvedores interessados na criação de um fliperama.

METODOLOGIA

O presente estudo foi elaborado com o objetivo de construir um fliperama de mesa funcional rodando o sistema Batocera, integrando hardware, software e design estrutural em um único projeto. A abordagem da metodologia é classificada como pesquisa prática aplicada, com caráter experimental e descritivo, se

fundamenta na construção prática de um projeto funcional.

A primeira etapa envolveu a aquisição dos principais componentes envolvidos em sua construção e o sistema de emulação disponível atualmente. A escolha pelo sistema Batocera se deu por sua ampla compatibilidade com jogos clássicos, facilidade de configuração e suporte a múltiplos emuladores em um ambiente leve e responsivo.

Foram definidos como objetivos específicos: construir um gabinete de mesa em MDF, adaptar os controles (joystick e botões), integrar um conjunto funcional de hardware, sendo composto por uma placa-mãe, placa de vídeo, disco rígido, fonte, pendrive configurado para conter o Batocera como sistema operacional de inicialização, tela de 17 polegadas e a garantia de uma experiência única e nostálgica.

Materiais e equipamentos utilizados:

- Gabinete: feito de fibra de madeira de densidade média (MDF) material escolhido por sua resistência, facilidade de montagem e acabamento bem-feito. As peças foram projetadas previamente com medidas compatíveis a um fliperama de mesa com tela de 17 polegadas.

- Monitor LCD de 17 polegadas, acoplado ao interior do gabinete. Componentes eletrônicos: Placa-mãe de computador reaproveitada, processador, cooler da cpu, memória RAM, cabos SATA, placa de rede, fios de jumper improvisados para ligar e desligar, fonte Zalman ZM500-LE 500W, pendrive com Batocera, além dos joysticks e botões de arcade com micro switch para serem conectados e gerar interatividade.

Introdução ao processo proposto

O desenvolvimento envolve uma série de etapas que se ligam entre si com o intuito de chegar em um resultado, que integram conhecimentos de eletrônica, informática e design. Esta seção descreve detalhadamente o planejamento estruturado para a construção, montagem e posterior validação técnica do fliperama. A proposta é fornecer uma base sólida que oriente a implementação e ofereça uma previsão clara dos processos, materiais, métodos e ajustes esperados.

A montagem será feita como um quebra-cabeça modular. O gabinete é pensado para simular a experiência de uso dos fliperamas clássicos. Tem reservado espaços específicos para os botões arcade e para os joysticks.

Instalação e Integração da Tela

A tela escolhida é um monitor LCD de 17 polegadas (Figura 3), pela sua compatibilidade com saída VGA, leveza e baixo consumo energético. Esta tela será

fixada na parte interna do gabinete, com suporte em L e parafusos de aço reforçado. Durante o planejamento, foi considerado o ângulo ideal de visualização para garantir conforto e fidelidade à experiência arcade tradicional.

Figura 3. Tela LCD 17 polegadas que será utilizada no fliperama.



Fonte: Autoria própria (2025).

Montagem e Conexão dos Componentes Eletrônicos

O núcleo do sistema será uma placa-mãe de computador de pequeno porte, equipada com processador, memória RAM, portas USB, HDMI e SATA. Em vez de disco rígido (HD), será utilizado um pendrive com o sistema Batocera já instalado e configurado. A escolha pelo pendrive se dá por questões práticas de espaço, baixo consumo e facilidade de substituição e atualização.

Junto à placa-mãe, será instalada uma fonte de alimentação ATX compacta, com potência adequada para suportar os periféricos e garantir operação segura e estável. A estrutura interna do gabinete contará com suporte para fixação segura desses componentes, evitando deslocamentos e vibrações.

Todos os controles (joysticks e botões arcade com micro switches) serão conectados a uma interface USB arcade encoder, que permitirá o mapeamento automático dos comandos no sistema Batocera. A ligação entre os controles e a interface será feita por terminais fast-on, com a devida isolação elétrica.

Configuração e Personalização do Sistema Batocera

O sistema Batocera será responsável por gerenciar a interface do usuário e a execução dos emuladores. A versão a ser utilizada será a mais recente compatível com a arquitetura da placa-mãe, previamente testada em ambiente simulado. O sistema será personalizado com temas gráficos retrô e organizado por categorias de consoles.

As ROMs utilizadas no projeto seguirão o princípio de uso legal e educativo, sendo adquiridas de fontes autorizadas ou utilizadas apenas para fins de demonstração. O sistema será configurado para reconhecer automaticamente os controles e permitir que o fliperama seja ligado e utilizado sem necessidade de teclado ou mouse, tornando sua experiência completamente arcade.

Projeção dos Testes Funcionais

Embora o projeto não esteja totalmente funcional, há uma série de testes e validações a serem feitos para finalização do projeto, como:

- Teste de inicialização do sistema: verificar se o Batocera é corretamente iniciado via pendrive e se a tela exibe a interface esperada.
- Teste de resposta dos controles: garantir que os comandos do joystick e dos botões estão sendo corretamente interpretados nos jogos.
- Teste de desempenho dos jogos: selecionar jogos para avaliar fluidez, som, latência e estabilidade.
- Teste de aquecimento e ventilação: monitorar a temperatura interna durante o uso contínuo para verificar a necessidade de ventiladores adicionais.
- Teste de interação com o usuário: convidar usuários externos para experimentarem o fliperama e fornecerem feedback quanto à ergonomia, jogabilidade e experiência geral.

Ajustes e Melhorias Esperadas

Durante o processo de testes, é previsto que sejam necessários ajustes estruturais e funcionais. Dentre os ajustes planejados, destacam-se:

- Reforço estrutural interno em áreas que apresentem fragilidade, especialmente nos encaixes da tela e da placa-mãe.
- Organização dos cabos internos para melhorar a circulação de ar e a estética interna.
- Instalação de cooler para evitar o superaquecimento.
- Ajustes no sistema Batocera, configurações gráficas ou remapeamento de comandos para melhor usabilidade.

Considerações Finais da Etapa de Planejamento

Mesmo em fase inicial, o projeto apresenta um alto nível técnico. A construção do fliperama representa mais do que uma simples montagem de peças: trata-se de uma integração que envolve eletrônica, informática e experiência do usuário.

Este artigo, em sua fase preliminar, cumpre o papel de documentação técnica e projeto, servindo como

base para a execução futura e para avaliação parcial no contexto acadêmico. Espera-se que a finalização ocorra nas etapas seguintes, com posterior atualização e inclusão dos resultados obtidos e das imagens do produto final.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos nas etapas já realizadas, e as expectativas projetadas para resultados futuros.

A estrutura do gabinete foi feita de MDF, material amplamente utilizado em projetos maker e mobiliário, devido à sua resistência, versatilidade e custo acessível (Figura 4, Figura 5). O design foi inspirado nos fliperamas clássicos da década de 1980, mas adaptado ao formato de mesa. Segundo Braga (2008), o design físico de fliperamas influencia diretamente na imersão do usuário e na percepção de autenticidade da experiência.

Figura 4. Cabine do fliperama.



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 5. Lateral da cabine do fliperama.



Fonte: Autoria própria (2025).

Reaproveitamento de Componentes e Sustentabilidade

Essa abordagem está alinhada com os princípios da economia circular, que defendem o reaproveitamento e reuso de equipamentos eletrônicos para prolongar sua vida útil (Vieira; Cordeiro; Siqueira, 2013). Ao utilizar componentes já existentes, como placas-mãe, fontes de alimentação, cabos e até mesmo monitores reaproveitados, o projeto reduz significativamente o descarte de resíduos eletrônicos, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais (Figura 6).

Figura 6. Placa-mãe, componentes eletrônicos e fonte.



Fonte: Autoria própria (2025).

A abordagem adotada neste projeto, focada no reaproveitamento de componentes eletrônicos, alinha-se diretamente aos princípios da economia circular, um modelo econômico que visa superar a lógica linear de "produzir, usar e descartar". Conforme definido pela Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (Abree), a economia circular "busca não apenas minimizar resíduos e seus impactos, mas também maximizar o valor dos recursos ao manter o uso prolongado de produtos, materiais e componentes de diferentes setores" (Abree, 2024).

A relevância dessa abordagem é acentuada pelo crescente volume de resíduos eletrônicos (e-lixo) gerado globalmente. Dados da ONU indicam que, em 2022, foram geradas 62 milhões de toneladas de e-lixo, com uma taxa de reciclagem de apenas 22,3% (Onu, citado em Abree, 2024). Isso representa não apenas um grave problema ambiental, devido ao potencial de contaminação por materiais tóxicos, mas também uma perda econômica significativa, estimada em R\$ 309 bilhões em recursos naturais não reaproveitados naquele ano (Onu, citado em Abree, 2024).

O uso do sistema Batocera em um pendrive inicializável, além de prático, elimina a necessidade de armazenamento físico interno mais complexo, como

discos rígidos ou SSDs. Essa decisão reduz o consumo energético e simplifica o processo de manutenção, pois permite substituições e atualizações rápidas, apenas trocando o dispositivo USB. Essa característica também facilita a replicabilidade do projeto, tornando-o ideal para contextos educacionais ou demonstrações em eventos tecnológicos.

A reutilização de equipamentos tecnológicos pode representar uma alternativa educativa com benefícios sustentáveis, conforme aponta Silva (2020). Além da redução de custos, o uso de componentes reaproveitados proporciona aos envolvidos no projeto uma compreensão mais profunda sobre o funcionamento dos dispositivos, promovendo o aprendizado prático em áreas como eletrônica, informática e design de sistemas.

Conforme observa Gonzaga (2022), a integração da cultura maker no currículo educacional promove um ambiente de aprendizagem inovador, onde os estudantes se tornam protagonistas de sua formação, desenvolvendo habilidades essenciais para enfrentar os desafios sociais, econômicos e ambientais contemporâneos. A autora destaca que, ao engajar os alunos em projetos interdisciplinares que envolvem sustentabilidade e tecnologia, é possível fomentar uma educação mais significativa e alinhada às demandas do século XXI.

Análise Comparativa: Contextualizando o Projeto no Universo DIY Arcade

O projeto de construção de um fliperama de mesa com Batocera, detalhado neste artigo, insere-se em um vibrante ecossistema de iniciativas "Faça Você Mesmo" (Diy - Do It Yourself) dedicadas a recriar a experiência dos arcades clássicos. Comparar esta abordagem com outros projetos similares ajuda a contextualizar suas escolhas técnicas, desafios e contribuições únicas, especialmente no que tange ao uso de hardware reaproveitado e do sistema Batocera.

Um exemplo notável encontrado na comunidade maker é a construção de gabinetes de fliperama em tamanho real (full-size) utilizando Raspberry Pi e sistemas como o RetroPie, conforme documentado em plataformas como o Instructables (Bernoullie, 2018). Tais projetos frequentemente envolvem a construção de uma estrutura robusta, geralmente em MDF ou compensado, dimensionada para emular as máquinas originais encontradas em salões de jogos. O custo estimado para um projeto desse tipo pode girar em torno de US\$ 500, incluindo o Raspberry Pi, controles arcade, monitor (geralmente TVs de 24 polegadas ou mais), materiais para o gabinete e acabamentos (Bernoullie, 2018).

A principal diferença reside na escala e no hardware central. Enquanto projetos como o de Bernoullie focam em criar uma réplica física imponente usando um microcomputador de baixo

custo como o Raspberry Pi, o projeto aqui apresentado opta por um formato de mesa (bartop ou tabletop), mais compacto e adaptável a ambientes domésticos, e utiliza hardware de computador reaproveitado (placa-mãe, fonte etc.).

Organização dos Controles e Preparo da Interface Arcade

Os botões arcade e o joystick foram separados e preparados para instalação no painel frontal do gabinete (Figura 7). Para garantir maior durabilidade e resposta eficiente durante as partidas, foram escolhidos modelos com micro switches de alta precisão e longa vida útil.

Esses componentes são especialmente projetados para suportar milhares de cliques sem perda de sensibilidade, o que favorece a jogabilidade precisa e rápida — característica essencial em jogos de plataforma e luta, que exigem comandos ágeis e resposta imediata, como os encontrados em emuladores de consoles antigos. Além disso, a ergonomia dos controles foi considerada no posicionamento dos botões e do joystick, respeitando padrões utilizados em máquinas arcade profissionais, o que contribui para uma experiência mais autêntica e confortável ao usuário. A escolha de periféricos de alta qualidade em projetos de emulação não apenas melhora o desempenho do sistema, mas também aumenta o engajamento e a satisfação dos usuários, principalmente em contextos de resgate da cultura gamer retrô (González *et al.*, 2023).

Figura 7. Joystick e botões que serão utilizados no fliperama.



Fonte: Autoria própria (2025).

O uso de interfaces USB para esses controles permite compatibilidade imediata com o Batocera, evitando necessidade de drivers adicionais. Segundo Viana (2024), a cultura maker é responsável por fomentar a criatividade, a autonomia técnica e a aplicação de soluções práticas por meio de tecnologias

acessíveis e replicáveis, como é o caso dos fliperamas artesanais.

Mendes (2012) analisa de forma aprofundada como os jogos eletrônicos retrô influenciam a percepção e o envolvimento emocional dos jogadores, ressaltando a relevância da estética visual, sonora e da estrutura de jogabilidade como elementos centrais na construção da experiência lúdica. O autor argumenta que, mesmo diante das limitações técnicas da época, esses jogos foram capazes de criar ambientes imersivos e memoráveis, contribuindo significativamente para a formação da identidade gamer de diversas gerações. Além disso, Mendes destaca que o design simplificado e os desafios propostos por esses jogos não apenas entretinham, mas também estimulavam habilidades cognitivas e estratégicas nos jogadores.

Para permitir a comunicação entre os controles físicos do fliperama e o sistema operacional Batocera, foi utilizado um módulo USB Arcade Encoder, como ilustrado na figura 3.5. Este dispositivo é essencial para interpretar os sinais elétricos enviados pelos componentes mecânicos (micro switches) e convertê-los em comandos digitais reconhecidos como entradas de teclado ou controle pelo sistema.

A placa conta com diversas portas de entrada, às quais foram conectados fios provenientes dos botões e do joystick. Cada fio transmite um sinal de fechamento de circuito ao ser pressionado, indicando uma ação do jogador. A outra extremidade do encoder é ligada ao computador por meio de um cabo USB, proporcionando interface plug and play com o Batocera, dispensando a instalação de drivers adicionais (Figura 8).

Figura 8. Módulo USB Arcade Encoder utilizado na comunicação entre os controles físicos do fliperama



Fonte: Autoria própria (2025)

A escolha deste encoder se justifica por sua compatibilidade com múltiplos sistemas operacionais, inclusive distribuições Linux, e por sua fácil configuração. Além disso, a montagem dos fios foi realizada manualmente com conectores individuais, o

que permitiu uma organização flexível e adaptável ao *layout* frontal do gabinete do fliperama.

Esse componente garante a fidelidade da experiência arcade, ao reproduzir de forma precisa e responsiva os comandos físicos nos jogos, sendo fundamental para a interatividade do sistema. Ainda não foi realizado testes concretos, mas o encoder deve ser reconhecido facilmente pelo Batocera como dispositivo de entrada padrão, possibilitando a navegação nos menus e a execução dos jogos com alta precisão.

A cultura maker, embora tenha ganhado proeminência nas últimas décadas, possui raízes profundas em movimentos pedagógicos e filosóficos que valorizam o aprendizado prático e a autonomia do indivíduo. Como destacado por Costa Júnior *et al.* (2022), a educação não se restringe ao ambiente formal da sala de aula, mas se constrói também a partir das vivências e da significação que o aluno atribui ao conhecimento. Nesse sentido, a cultura maker resgata a tradição do "aprender fazendo", uma abordagem defendida por pensadores como John Dewey, que via a experiência como central para o processo educativo (Dewey, 2009, citado em Costa Júnior *et al.*, 2022).

A própria definição de um espaço maker, ou makerspace, reflete essa filosofia: "um ambiente de aprendizagem que oferece aos alunos acesso a ferramentas, materiais e tecnologias que lhes permitem criar, experimentar, construir e solucionar problemas de forma colaborativa e criativa" (Halverson; Sheridan, 2014, citado em Costa Júnior *et al.*, 2022, p. 10). Esses espaços não são meros laboratórios, mas sim ecossistemas que fomentam a curiosidade, a experimentação e o protagonismo do estudante.

O movimento maker moderno, impulsionado pela disseminação de tecnologias como impressão 3D e microcontroladores (Dougherty, 2013), bem como pela facilidade de compartilhamento online (Anderson, 2012), representa uma evolução do conceito "Faça Você Mesmo" (DIY - Do It Yourself). Ele incorpora também a dimensão colaborativa, o "Faça Com os Outros" (DIWO - Do It With Others), onde o compartilhamento de ideias, projetos e soluções é um pilar fundamental (Samagaia; Neto, 2015, citado em Costa Júnior *et al.*, 2022, p. 14-15).

Mark Hatch (2014), em seu "Manifesto do Movimento Maker", sintetiza os princípios dessa cultura em nove ideias-chave: fazer, compartilhar, dar, aprender, ter acesso a ferramentas, brincar, participar, apoiar e mudar. Essa visão enfatiza não apenas a produção de artefatos físicos, mas também a construção de uma comunidade engajada, a troca de conhecimentos e a busca por soluções inovadoras para problemas reais (Hatch, 2014, citado em Costa Júnior *et al.*, 2022, p. 13-14).

A integração da cultura maker no contexto educacional, portanto, vai além da simples introdução

de novas tecnologias. Ela representa uma mudança de paradigma, onde o aluno deixa de ser um receptor passivo de informações para se tornar um agente ativo na construção do próprio conhecimento, desenvolvendo habilidades essenciais como pensamento crítico, resolução de problemas, colaboração e criatividade (Rossi; Santos; Oliveira, 2019, citado em Costa Júnior *et al.*, 2022, p. 16). Como resume Clapp e colaboradores (2016), a aprendizagem maker, embora conectada a abordagens como a aprendizagem baseada em projetos, possui um "centro de gravidade" próprio, caracterizado pelo encorajamento da agência do aluno, pela aprendizagem distribuída e por uma ética de compartilhamento (Clapp *et al.*, 2016, citado em Costa Júnior *et al.*, 2022, p. 16-17).

No contexto específico do projeto de fliperama apresentado neste artigo, a aplicação dos princípios da cultura maker se manifesta na reutilização de componentes, na adaptação de tecnologias (como o Batocera), na construção artesanal do gabinete e na própria natureza colaborativa implícita em compartilhar o processo e o resultado. Este aprofundamento teórico visa contextualizar o projeto dentro desse movimento mais amplo, reforçando sua relevância não apenas como um exercício técnico, mas como uma prática alinhada a tendências educacionais e culturais contemporâneas.

Outro ponto de destaque relacionado ao desenvolvimento de projetos como o fliperama de mesa está na valorização da cultura gamer retrô, que tem se consolidado não apenas como um movimento nostálgico, mas também como uma forma legítima de preservação da história dos videogames. A popularização de sistemas de emulação, como o Batocera, tem permitido que novas gerações tenham acesso a títulos que marcaram época, promovendo uma ponte entre passado e presente no universo dos jogos eletrônicos. Além de preservar o conteúdo, essa cultura também desperta o interesse pelo funcionamento dos sistemas e pela lógica dos jogos antigos, cuja simplicidade de mecânica contrasta com o apelo gráfico atual, evidenciando como a criatividade era central na experiência lúdica. Nesse sentido, o fliperama construído com recursos reaproveitados assume não apenas uma função prática e educativa, mas também simbólica: ele representa um elo entre gerações de jogadores, ao mesmo tempo em que estimula a curiosidade tecnológica, o aprendizado ativo e a valorização da história dos jogos como parte importante da cultura digital contemporânea.

A utilização do MDF na construção do gabinete representa uma solução acessível, de fácil manuseio e economicamente viável, favorecendo a replicabilidade do projeto em escolas, centros tecnológicos e espaços de aprendizagem criativa. Sua aplicabilidade se estende tanto para fins educacionais quanto para

ações culturais e recreativas, demonstrando que a construção de dispositivos lúdico-tecnológicos pode ser incorporada com baixo custo e boa durabilidade.

O reaproveitamento de peças eletrônicas, como placa-mãe, fonte de alimentação e conectores, transcende a mera economia de recursos, configurando-se como uma prática alinhada aos princípios da economia circular e da sustentabilidade digital. Essa abordagem não apenas reduz o descarte de lixo eletrônico, mas também incentiva a conscientização sobre o uso responsável da tecnologia, promovendo um entendimento prático sobre reuso, montagem e manutenção de dispositivos. A economia circular promove o fechamento do ciclo de vida dos produtos e a criação de novos modelos de negócio que contribuem com o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável. Além disso, a reutilização de eletrônicos se destaca como uma solução eficaz frente aos desafios ambientais e sociais que enfrentamos atualmente, transformando a maneira como interagimos com a tecnologia e promovendo um futuro mais justo e saudável para todos (Souza, 2023).

A natureza prática e interdisciplinar do projeto estimula o desenvolvimento de um conjunto amplo de habilidades. A montagem do gabinete, a instalação dos componentes eletrônicos, a configuração do software e a resolução de problemas inerentes ao processo exigem pensamento crítico, criatividade, raciocínio lógico e habilidades manuais. A necessidade de pesquisar soluções, adaptar componentes e colaborar (mesmo que implicitamente, ao seguir tutoriais ou compartilhar resultados) fortalece a autonomia e a capacidade de aprendizado contínuo, características centrais da Educação 4.0 (Fuhr, 2018; Garofalo, 2018, citados por Antolin *et al.*, 2024).

Adicionalmente, a escolha do Batocera como sistema de emulação agrega valor técnico e cultural ao projeto, pois se trata de uma plataforma open source que suporta uma ampla gama de sistemas antigos, proporcionando uma experiência de jogo autêntica e acessível. Essa opção também reforça o caráter pedagógico da iniciativa, uma vez que permite personalizações, aprendizado sobre sistemas embarcados e contato direto com conceitos de software livre.

Dessa forma, mesmo em sua fase parcial, o projeto evidencia potencial para atuar como ferramenta de ensino multidisciplinar, engajando estudantes e entusiastas em práticas que combinam tecnologia, história dos games, consciência ambiental e criatividade. Ele exemplifica como projetos maker podem gerar impacto social e educacional concreto, ao mesmo tempo em que preservam e ressignificam o legado dos videogames clássicos.

Outro ponto relevante está na capacidade do projeto de estimular o pensamento computacional, um conceito central nas diretrizes contemporâneas de

ensino de tecnologia. A interação com sistemas como o Batocera permite que os usuários compreendam de forma intuitiva conceitos como algoritmos, lógica de programação e estrutura de arquivos, mesmo sem escrever códigos diretamente. Isso o torna especialmente útil em contextos de aprendizagem informal ou introdutória, nos quais o objetivo é despertar o interesse e familiarizar os participantes com o universo digital de forma acessível e lúdica.

Com isso, o projeto propicia reflexões sobre acessibilidade digital e inclusão tecnológica. Ao utilizar recursos reaproveitados e softwares de código aberto, ele se alinha a práticas que buscam democratizar o acesso à tecnologia. Em comunidades com menos infraestrutura, iniciativas como essa podem representar oportunidades concretas de inserção digital, ao mesmo tempo em que valorizam a criatividade local e o uso consciente dos recursos disponíveis. O fliperama de mesa, nesse sentido, ultrapassa a função de objeto técnico e se transforma em um agente educativo e social, capaz de promover o acesso ao conhecimento, ao lazer e à cultura digital de maneira ética e sustentável.

Além disso, os avanços já realizados estão de acordo com iniciativas documentadas em artigos como os de Guttenbrunner *et al.* (2009), que apontam a emulação como uma das estratégias mais eficazes para a preservação da experiência original dos jogos digitais:

A emulação pode ser a solução mais promissora [...] apenas um único software (o emulador) precisa ser desenvolvido para executar toda a biblioteca de jogos de um sistema de console (Guttenbrunner et al., 2009, p. 4, traduzido para o português).

Resultados Esperados e Projeções

Com base no planejamento detalhado e nos testes iniciais, espera-se que o fliperama seja capaz de:

- Iniciar o sistema Batocera de forma rápida e estável;
- Reconhecer os comandos dos controles arcade sem latência;
- Executar jogos clássicos com fluidez e fidelidade audiovisual;
- Ser replicado em ambientes educacionais como ferramenta de ensino interdisciplinar.

Além disso, pretende-se aplicar testes de usabilidade com usuários convidados, com o objetivo de avaliar diversos aspectos da experiência de uso do fliperama de mesa. Esses testes buscarão identificar a

percepção dos usuários em relação à jogabilidade, à responsividade dos controles, à ergonomia do gabinete e à atratividade visual do equipamento como um todo.

Durante os testes, serão observados aspectos como o tempo de resposta aos comandos, a fluidez na navegação pelos menus do sistema Batocera, a clareza das informações na tela, a disposição dos botões e joysticks, bem como o nível de imersão proporcionado pela estética e design do gabinete.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um fliperama de mesa funcional, utilizando o sistema Batocera e a integração de componentes eletrônicos reaproveitados, aliado ao uso do MDF como estrutura física do gabinete. Os resultados parciais obtidos demonstram que a proposta é viável tanto técnica quanto economicamente, permitindo uma experiência de jogo retrô autêntica e personalizada, com componentes acessíveis e tecnologias de código aberto.

A montagem das peças do gabinete, o suporte para a tela, a separação dos controles arcade e a configuração do sistema operacional demonstram um alto nível de planejamento, com atenção aos detalhes de usabilidade, ergonomia e funcionalidade. Além disso, a escolha pelo Batocera se mostrou assertiva, pois oferece uma plataforma leve, responsiva e com suporte a diversos emuladores, sem a necessidade de adaptações específicas para cada jogo.

A reutilização de componentes eletrônicos reforça o compromisso do projeto com a sustentabilidade e a economia circular, ao mesmo tempo em que abre possibilidades para a replicação do fliperama em contextos educacionais, culturais e pessoais. A combinação entre tecnologia, nostalgia e acessibilidade torna o projeto relevante tanto do ponto de vista técnico quanto social.

Dessa maneira, os avanços já realizados indicam que o projeto tem potencial para ser expandido em futuras versões, incorporando melhorias como personalização estética do gabinete, inclusão de novos emuladores e integração com tecnologias complementares, como sensores ou telas adicionais.

Portanto, conclui-se que a construção de um fliperama de mesa com Batocera não apenas resgata a essência dos arcades clássicos, como também promove o aprendizado multidisciplinar de forma prática, incentivando a criatividade e a autonomia dos envolvidos. O projeto encontra-se em andamento e será posteriormente complementado com os resultados finais de testes, ajustes e validações junto ao público usuário.

REFERÊNCIAS

- ANTOLIN, M. Q.; ANTOLIN, G. D. C.; BRASIL, P. C. Educação ambiental e cultura maker no contexto da educação 4.0. Ambiente & Educação: **Revista de Educação Ambiental**, v. 29, n. 1, 2024. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/15629>. DOI: 10.63595/ambeduc.v29i1.15629. Acesso em: 25 maio 2025.
- BARIO BAR. **A história e legado dos fliperamas**. Bario Bar, 2024. Disponível em: <https://www.bario.com.br/blog/historia-dos-fliperamas>. Acesso em: 23 maio 2025.
- BERNOULLIE. **Full size arcade cabinet using Raspberry-Pi**. Instructables, 2018. Disponível em: <https://www.instructables.com/Full-Size-Arcade-Cabinet-Using-Raspberry-Pi/>. Acesso em: 25 maio 2025.
- BRAGA, Alexandre Santaella. **Design de interação nos games**. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Comunicação e Semiótica) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://tede2.pucsp.br/bitstream/handle/5284/1/Alexandre%20Santaella%20Braga.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.
- Consalvo, M.; Paul, C. A. (2019). **Real Games: What's Legitimate in Contemporary Videogames**. MIT Press.
- GONZAGA, Kátia Valéria Pereira. Construindo uma proposta curricular inovadora na educação básica a partir da cultura maker. **Revista e-Curriculum**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 1084-1109, 2022. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/50056>. Acesso em: 25 maio 2025.
- GUTTENBRUNNER, Mark *et al.* Evaluating strategies for the preservation of console video games. **International Journal of Digital Curation**, v. 4, n. 2, p. 29–40, 2009. Disponível em: <https://www.ijdc.net/index.php/ijdc/article/view/144/209>. Acesso em: 23 maio 2025.
- M&P Amusement. **The evolution of arcade gaming**. Disponível em: <https://mpamusement.com/pages/the-evolution-of-arcade-gaming>. Acesso em: 24 maio 2025.

- MENDES, Bernardo Lima. O fenômeno retrô nos jogos eletrônicos: fatores que mudaram a percepção dos jogadores. In: SBGAMES – Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, 2012, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2012. Disponível em: https://www.sbgames.org/sbgames2012/proceedings/papers/artedesign/AD_Full22.pdf. Acesso em: 23 maio 2025.
- MUITO ALÉM DOS VIDEOGAMES. **As casas de fliperama e seus muitos tipos: de volta aos anos 80 e 90.** Muito Além dos Videogames, 2023. Disponível em: <https://muitoalemdosvideogames.com.br/post/as-casas-de-fliperama-e-seus-muitos-tipos-de-volta-aos-anos-80-e-90/189/>. Acesso em: 23 maio 2025.
- MUITO ALÉM DOS VIDEOGAMES. **As casas de fliperama e seus muitos tipos: de volta aos anos 80 e 90.** Muito Além dos Videogames, 2023. Disponível em: <https://muitoalemdosvideogames.com.br/post/as-casas-de-fliperama-e-seus-muitos-tipos-de-volta-aos-anos-80-e-90/189/>. Acesso em: 23 maio 2025.
- RAIA, Pedro Azevedo. Relações entre nostalgia digital e analógica nos jogos de terror contemporâneos: o caso de Murder House (2020). **Revista Escaleta**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3, p. 54–68, 2023. Disponível em: <https://escaleta.espm.edu.br/wp-content/uploads/2023/12/Pedro-Raia-54-68.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.
- REDDIT. **Went to a 70s/80s themed arcade with working cabinets.** Reddit, 2024. Disponível em: https://www.reddit.com/r/nostalgia/comments/1k8xpyj/went_to_a_70s80s_themed_arcade_with_working/?tl=pt-br. Acesso em: 23 maio 2025.
- Schmidt Albano Francisco; *et al.* **Revista Tropos: Comunicação, Sociedade e Cultura**, v.10, nº1, edição de Julho de 2021. Acesso em: 24 de maio 2025.
- SILVA, Clécio Danilo Dias da. **Educação ambiental, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: perspectivas multidisciplinares.** Goiânia: Editora BAGAI, 2020. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/599755/2/Editora%20BAGAI%20-%20Educa%C3%A7%C3%A3o%20Ambiental%20Sustentabilidade%20e%20Desenvolvimento%20Sustent%C3%A1vel.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.
- SOUZA, Raphael Salviano de. **Estratégias para a revalorização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil: aplicando princípios da economia circular.** 2023. 147 f., il. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade de Brasília, Brasília, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/47008>. Acesso em: 25 maio 2025.
- VEJA SÃO PAULO. **Os lendários fliperamas dos anos 70 e 80.** Veja São Paulo – Coluna Memória, 2023. Disponível em: <https://vejasp.abril.com.br/coluna/memoria/os-lendarios-fliperamas-dos-anos-70-e-80/site>. Acesso em: 23 maio 2025.
- VEJA SÃO PAULO. **Os lendários fliperamas dos anos 70 e 80.** Veja São Paulo – Coluna Memória, 2023. Disponível em: <https://vejasp.abril.com.br/coluna/memoria/os-lendarios-fliperamas-dos-anos-70-e-80/site>. Acesso em: 23 maio 2025.
- VIANA, Silvana. Cultura maker na educação: inovação, protagonismo estudantil e desenvolvimento de habilidades do século XXI. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 4, p. 11817–11825, 2024. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/download/1950/2421/7180>. Acesso em: 23 maio 2025.
- VIEIRA, Edmilson Fernandes; CORDEIRO, Robson da Silva; SIQUEIRA, Glauco Tarciso Meirelles de Pina. Ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável. **Revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 2, n. 1, p. 33–45, 2013. Disponível em: <https://revistas2.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/download/403/402>. Acesso em: 23 maio 2025.
- WIKI BATOCERA. Arcade guide. **Batocera.linux Wiki**, 2024. Disponível em: <https://wiki.batocera.org/arcade>. Acesso em: 25 maio 2025.

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE DOENÇAS EM PLANTAS UTILIZANDO REDES NEURAIAS CONVOLUCIONAIS E TRANSFER LEARNING COM RESNET50

Angelo Henrique Oneda*; Alexssandro Cordeiro**

*Acadêmico de Engenharia de Software, e-mail: angelo.oneda77@hotmail.com

**Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio - UTFPR Medianeira, alexssandrofc@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 21 maio. 2025
Aceite: 01 jun. 2025
Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo aplicar técnicas de aprendizado profundo para a detecção de doenças em plantas a partir de imagens digitais. Utilizando o conjunto de dados PlantVillage, que contém milhares de imagens classificadas em diversas culturas e patologias, foi desenvolvido um modelo de rede neural convolucional baseado na arquitetura ResNet50. A pesquisa foi motivada pelo desafio enfrentado por agricultores em identificar doenças de forma precoce, especialmente em regiões com acesso limitado a assistência técnica. A metodologia envolveu o pré-processamento das imagens, divisão dos dados em treino e validação, aplicação de aumento de dados e ajuste fino da rede utilizando pesos pré-treinados. O modelo foi treinado em ambientes distintos, incluindo máquina local e Google Colab, com análise de métricas como acurácia, perda, precisão e revocação. Os resultados demonstraram que a ResNet50, mesmo com oscilações na validação, alcançou desempenho satisfatório, indicando seu potencial para aplicação no campo. Conclui-se que a utilização de redes neurais pode contribuir significativamente para o monitoramento fitossanitário de forma automatizada e escalável.

Palavras-chave: redes neurais convolucionais; aprendizado profundo; reconhecimento de doenças; ResNet50; agricultura de precisão.

ABSTRACT

Este estudio tiene como objetivo aplicar técnicas de aprendizaje profundo para la detección de enfermedades en plantas a partir de imágenes digitales. Se utilizó el conjunto de datos PlantVillage, que contiene miles de imágenes clasificadas en diversas especies y patologías vegetales, para desarrollar un modelo de red neuronal convolucional basado en la arquitectura ResNet50. La investigación fue motivada por el desafío que enfrentan los agricultores al identificar enfermedades de manera temprana, especialmente en regiones con acceso limitado a soporte técnico. La metodología incluyó el preprocesamiento de imágenes, la división de los datos en conjuntos de entrenamiento y validación, el uso de técnicas de aumento de datos y el ajuste fino de la red mediante pesos previamente entrenados. El modelo fue entrenado tanto en un entorno local como en la plataforma Google Colab, y su rendimiento fue evaluado mediante métricas como precisión, pérdida, exactitud y recuperación. Los resultados demostraron que la arquitectura ResNet50 alcanzó un desempeño satisfactorio, a pesar de ciertas oscilaciones en la validación, lo que indica su potencial para aplicaciones prácticas. Se concluye que el uso de redes neuronales puede contribuir significativamente al monitoreo fitosanitario de forma automatizada y escalable.

Palabras clave: edes neuronales convolucionales; aprendizaje profundo; reconocimiento de enfermedades; ResNet50; agricultura de precision.

Copyright © 2025, Angelo Henrique Oneda; Alexssandro Cordeiro. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: ONEDA, Angelo Henrique; CORDEIRO, Alexssandro. Detecção automática de doenças em plantas utilizando redes neurais convolucionais e transfer learning com RESNET50. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguauçu, v. 3, n. 7, p. 47-58, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

O agronegócio, nos tempos contemporâneos, configura-se como uma das principais atividades econômicas em escala global, sendo essencial para o desenvolvimento socioeconômico de diversas nações. A sua relevância ultrapassa os limites da produção primária de alimentos e matérias-primas, tornando-se um eixo estruturante para diversos setores produtivos e industriais. Ao integrar atividades como o fornecimento de insumos, a produção vegetal e animal, o beneficiamento de matérias-primas, a logística de distribuição, a comercialização nacional e internacional, bem como o consumo final, o agronegócio representa uma cadeia produtiva robusta, complexa e profundamente interligada (Cepea, 2022).

A importância estratégica do setor agrícola se evidencia ainda mais diante dos desafios globais do século XXI, como o crescimento populacional, a urbanização acelerada, a escassez de recursos naturais e as mudanças climáticas. O aumento contínuo da população mundial, que segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU) poderá ultrapassar os 9,7 bilhões de pessoas até 2050 (ONU, 2019), exige um incremento significativo na produção de alimentos. Nesse contexto, o agronegócio se torna peça-chave para garantir a segurança alimentar, promover o desenvolvimento sustentável e reduzir as desigualdades socioeconômicas entre as regiões.

Os dados sobre o impacto do setor são expressivos. De acordo com informações recentes das Nações Unidas, aproximadamente 27% da força de trabalho mundial está empregada direta ou indiretamente no agronegócio. Isso corresponde a cerca de 870 milhões de pessoas, abrangendo desde pequenos produtores familiares até grandes conglomerados agroindustriais.

Em muitos países em desenvolvimento, especialmente na África Subsaariana, Sudeste Asiático e América Latina, o setor agrícola é o principal motor da economia local, representando uma parcela substancial do Produto Interno Bruto (PIB) e sustentando milhões de famílias em áreas rurais. No Brasil, por exemplo, o agronegócio responde por mais de 23,2% do PIB, conforme dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea, 2022), e cerca de 49% das exportações, segundo a Agência Gov (2024), sendo um dos principais vetores de crescimento econômico e geração de divisas.

O papel do agronegócio na sustentabilidade ambiental e social também é fundamental. A produção de alimentos, fibras e bioenergia precisa ser feita de maneira que respeite os limites dos ecossistemas, reduza os impactos ambientais negativos e promova o

uso eficiente dos recursos naturais. Nesse sentido, a adoção de tecnologias sustentáveis, o uso racional da água, o manejo adequado do solo e a conservação da biodiversidade são práticas cada vez mais valorizadas. A agricultura de baixo carbono, os sistemas agroflorestais e o plantio direto são exemplos de estratégias sustentáveis que vêm ganhando espaço em diversos países, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e para o enfrentamento das mudanças climáticas (UTFPR, 2025).

Entretanto, apesar de sua importância econômica, ambiental e social, o agronegócio enfrenta diversos desafios estruturais e operacionais que comprometem seu pleno desenvolvimento. Um dos mais relevantes diz respeito à vulnerabilidade das lavouras à ocorrência de doenças e pragas que comprometem a sanidade das plantas e afetam diretamente a produtividade agrícola. A presença desses agentes bióticos pode provocar perdas expressivas na produção, impactar a qualidade dos produtos e até mesmo inviabilizar colheitas inteiras, com consequências econômicas graves para os produtores e para o abastecimento alimentar. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), cerca de 40% da produção agrícola global é perdida anualmente devido a pragas e doenças (FAO, 2021a).

O impacto desses problemas fitossanitários é particularmente preocupante em regiões tropicais e subtropicais, onde as condições climáticas favorecem o desenvolvimento e a propagação de organismos patogênicos. Culturas como soja, milho, trigo, arroz, café, tomate, batata e frutas são especialmente suscetíveis a infecções por fungos, bactérias, vírus e à infestação por insetos e ácaros. A dificuldade em detectar precocemente esses problemas e em tomar medidas eficazes para seu controle agrava ainda mais a situação. Em muitas áreas agrícolas, o monitoramento das lavouras ainda é realizado de forma manual, baseada na observação visual por técnicos ou agricultores, o que demanda tempo, exige conhecimento especializado e pode apresentar falhas humanas.

As doenças das plantas roubam a economia global em mais de 220 bilhões de dólares anualmente. As pragas invasoras custam aos países pelo menos 70 bilhões de dólares e também são um dos principais responsáveis pela perda de biodiversidade (FAO, 2021a). Espécies como a lagarta-do-cartucho, que se alimenta de plantações que incluem milho, sorgo e milheto, já se espalharam devido ao clima mais quente. Outros, como os gafanhotos do deserto, que são as pragas migratórias mais destrutivas do mundo, devem mudar suas rotas migratórias e distribuição geográfica devido às mudanças climáticas. O impacto desses problemas fitossanitários é particularmente preocupante em regiões tropicais e subtropicais, onde

as condições climáticas favorecem o desenvolvimento e a propagação de organismos patogênicos. Culturas como soja, milho, trigo, arroz, café, tomate, batata e frutas são especialmente suscetíveis a infecções por fungos, bactérias, vírus e à infestação por insetos e ácaros. A dificuldade em detectar precocemente esses problemas e em tomar medidas eficazes para seu controle agrava ainda mais a situação. Em muitas áreas agrícolas, o monitoramento das lavouras ainda é realizado de forma manual, baseada na observação visual por técnicos ou agricultores, o que demanda tempo, exige conhecimento especializado e pode apresentar falhas humanas.

Com o objetivo de mitigar esses riscos, diversas estratégias de controle vêm sendo adotadas ao longo dos anos. O controle químico, baseado na aplicação de defensivos agrícolas, é uma das abordagens mais utilizadas no combate a pragas e doenças. Embora seja eficaz em muitos casos, esse método apresenta limitações importantes, como o alto custo, o impacto ambiental, a contaminação de recursos naturais e alimentos, a exposição da saúde humana a substâncias tóxicas e o desenvolvimento de resistência por parte dos organismos-alvo. Como alternativa, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) surgiu como uma abordagem mais sustentável, combinando diferentes métodos de controle – biológicos, químicos, culturais e genéticos – com o objetivo de manter as populações de pragas em níveis economicamente aceitáveis.

Nos últimos anos, a agricultura de precisão tem se destacado como uma revolução tecnológica no setor agropecuário. Essa abordagem baseia-se na coleta, análise e interpretação de dados em tempo real para apoiar a tomada de decisão nas atividades agrícolas. Com o uso de sensores, drones, imagens de satélite, sistemas de posicionamento global (GPS) e softwares especializados, é possível monitorar variáveis ambientais e fisiológicas das plantas, identificar zonas de manejo específicas e aplicar insumos de forma localizada, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência produtiva. No entanto, apesar de seu grande potencial, a adoção da agricultura de precisão ainda é limitada em muitas regiões, devido ao alto custo dos equipamentos, à necessidade de infraestrutura tecnológica e à falta de capacitação técnica dos produtores.

Nesse contexto de transformação digital e busca por soluções inovadoras, as tecnologias baseadas em inteligência artificial (IA) têm se mostrado promissoras para enfrentar os desafios da agricultura moderna. A IA, especialmente por meio do aprendizado profundo (deep learning), vem permitindo o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de aprender padrões complexos a partir de grandes volumes de dados, o que abre novas possibilidades para o monitoramento e diagnóstico de doenças em plantas (Embrapa, 2019). Uma das aplicações mais relevantes dessa tecnologia

está na análise de imagens digitais capturadas por câmeras, drones ou sensores ópticos, que podem ser processadas por algoritmos de visão computacional para identificar sintomas de infecções e infestações de forma automatizada.

As tecnologias de inteligência artificial estão permitindo identificar com mais precisão doenças em folhas de plantas por meio da análise de imagens, conforme destacado por pesquisadores da PUC-SP (2020). Essa abordagem tem revolucionado a forma como os agricultores monitoram a saúde de suas lavouras, permitindo intervenções mais rápidas e precisas.

O uso de redes neurais convolucionais (CNNs), uma das principais arquiteturas de deep learning voltadas para a análise de imagens, tem ganhado destaque em pesquisas científicas e em aplicações práticas no campo. Essas redes são inspiradas na estrutura do sistema visual humano e são capazes de extrair características visuais relevantes, como cores, formas, texturas e padrões, mesmo em ambientes complexos e com variabilidade nas condições de iluminação, ângulo de captura e tipo de planta. Ao treinar modelos de CNNs com bancos de dados compostos por milhares de imagens rotuladas, é possível desenvolver sistemas com alta acurácia na detecção de doenças, como oídio, ferrugem, míldio, mancha foliar, entre outras (Bento, 2019).

Além da acurácia, essas ferramentas oferecem vantagens significativas em termos de escalabilidade, automação e custo-benefício. Diferente das inspeções manuais, que são demoradas, onerosas e suscetíveis a erros humanos, os sistemas baseados em deep learning podem operar de forma contínua, com alta velocidade de processamento e padronização nos diagnósticos. Isso representa um ganho expressivo na eficiência do monitoramento fitossanitário, permitindo que os produtores tomem decisões mais rápidas e fundamentadas, com base em informações precisas e atualizadas. Com isso, é possível antecipar intervenções, aplicar defensivos apenas onde necessário e evitar perdas maiores, contribuindo para o uso racional dos recursos e para a sustentabilidade da produção agrícola.

Além do reconhecimento de doenças, as CNNs podem ser utilizadas em outras aplicações relacionadas à agricultura, como a contagem de frutos, a classificação de espécies, a estimativa de produtividade, a identificação de deficiências nutricionais e o monitoramento de estágios fenológicos. A flexibilidade e a capacidade adaptativa dessas redes tornam-nas ferramentas versáteis, que podem ser integradas a sistemas embarcados em drones, robôs agrícolas, estações meteorológicas e dispositivos móveis. Dessa forma, os agricultores podem acessar os diagnósticos diretamente em seus celulares ou tablets, facilitando o uso prático da

tecnologia no dia a dia do campo (AgroAdvance, 2024).

É importante destacar que o sucesso dessas aplicações depende da qualidade dos dados utilizados no treinamento dos modelos. A diversidade de imagens, representando diferentes espécies, estágios da doença, condições ambientais e tipos de cultivo, é essencial para garantir que os sistemas sejam robustos e generalizáveis. Por isso, a construção de bancos de dados agrícolas representativos, com anotações precisas e curadoria especializada, é uma etapa crítica no desenvolvimento de soluções baseadas em IA para o agronegócio. Iniciativas colaborativas, envolvendo universidades, centros de pesquisa, empresas de tecnologia e produtores rurais, são fundamentais para viabilizar essa infraestrutura de dados e fomentar a inovação no setor.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação de técnicas de aprendizado profundo no reconhecimento de doenças em plantas por meio da análise de imagens digitais. Especificamente, busca-se explorar o desempenho de diferentes modelos de redes neurais convolucionais na tarefa de classificação de sintomas visuais, considerando aspectos como acurácia, sensibilidade, especificidade, robustez e capacidade de generalização. A proposta é investigar como essas ferramentas podem contribuir para o aprimoramento do monitoramento fitossanitário nas lavouras, reduzindo o tempo de diagnóstico, minimizando perdas e promovendo uma agricultura mais inteligente, precisa e sustentável.

A incorporação de inteligência artificial no contexto agrícola representa não apenas um avanço tecnológico, mas uma mudança de paradigma na forma como se conduz a produção de alimentos. Ao aliar ciência de dados, automação e conhecimento agrônomo, é possível construir soluções integradas e personalizadas, que respondam aos desafios específicos de cada sistema produtivo. Mais do que uma tendência, trata-se de uma necessidade emergente, diante de um cenário global marcado por transformações profundas, pressões ambientais e demandas crescentes por alimentos seguros, saudáveis e acessíveis.

Portanto, compreender, desenvolver e aplicar tecnologias baseadas em deep learning na agricultura é um passo essencial para garantir a resiliência, a competitividade e a sustentabilidade do agronegócio no século XXI. A modernização do campo, guiada pela inovação e pela ciência, tem o potencial de transformar realidades, empoderar produtores, preservar recursos naturais e promover um futuro mais justo e equilibrado para as próximas gerações.

METODOLOGIA

Este estudo teve como principal objetivo explorar e aplicar técnicas modernas de aprendizado profundo, com foco em redes neurais convolucionais (CNNs), para o reconhecimento automático de doenças em plantas a partir de imagens digitais. Com o avanço da inteligência artificial e a ampla disponibilidade de bases de dados públicas, tornou-se possível desenvolver soluções robustas para problemas complexos como a identificação precoce de patologias em culturas agrícolas. Neste contexto, foi utilizada a base de dados PlantVillage e implementado um modelo baseado na arquitetura ResNet50, com treinamentos realizados tanto em ambiente local (máquina pessoal) quanto na plataforma de computação em nuvem Google Colab. A seguir, são descritas detalhadamente todas as etapas envolvidas, desde a preparação dos dados até o processo de avaliação do desempenho do modelo treinado, destacando as bibliotecas e técnicas utilizadas. (Noyan, 2022; *Frontiers in Plant Science*, 2023).

A implementação do modelo e todo o fluxo de trabalho foram realizados com o auxílio de bibliotecas consolidadas no ecossistema Python, amplamente utilizadas em aplicações de aprendizado de máquina e visão computacional. Entre elas, destacam-se: TensorFlow Framework principal utilizado para a construção e treinamento da rede neural. Especificamente, a API `tensorflow.keras` foi empregada por oferecer uma interface de alto nível que facilita a criação de modelos de deep learning de forma modular e eficiente. Ela provê classes e funções para camadas, modelos, otimizadores, funções de perda e métricas. Scikit-learn Biblioteca utilizada para tarefas auxiliares fundamentais, como a divisão da base de dados em conjuntos de treinamento e validação (`train_test_split`) e o cálculo de pesos para as classes (`compute_class_weight`). Esses recursos são essenciais para a preparação de dados e para o tratamento de desbalanceamentos no conjunto de imagens. NumPy utilizada para a manipulação de arrays e estruturas de dados numéricas. Sua integração com as demais bibliotecas garante desempenho otimizado em operações vetoriais e matriciais. Matplotlib responsável pela geração de gráficos que permitiram visualizar o comportamento do modelo durante o treinamento. A visualização das métricas de acurácia e perda é fundamental para compreender o processo de aprendizagem e identificar possíveis problemas como overfitting ou underfitting (Machine Learning Mastery, 2022; TensorFlow, 2023).

OS e Shutil Bibliotecas da biblioteca padrão do Python utilizadas para manipulação de arquivos e diretórios, essenciais na etapa de organização da base de dados. Permitem automatizar a criação de pastas e a cópia de imagens para os diretórios corretos de treinamento e validação.

Para o treinamento do modelo, foi utilizada a base de dados PlantVillage, uma base de imagens pública amplamente utilizada em projetos de detecção de doenças em plantas. O subconjunto utilizado foi a versão colorida, que oferece maior riqueza de informação visual, permitindo que o modelo aprenda características relevantes relacionadas à textura, coloração e padrões visuais das folhas. A estrutura da base é composta por subpastas, onde cada uma representa uma classe, ou seja, uma combinação de cultura agrícola e tipo de doença. Exemplos incluem "Apple__Apple_scab", "Potato__Early_blight" e "Tomato__Late_blight". Esse tipo de organização facilita a tarefa de classificação multiclasse, pois permite a utilização direta de funções como `flow_from_directory` para o carregamento das imagens. (Papers With Code, 2024; TensorFlow Datasets, 2024)

A divisão do conjunto de dados foi feita em dois subconjuntos principais: 80% para treinamento e 20% para validação, utilizando a função `train_test_split` com uma semente aleatória fixa (`random_state=42`), garantindo a reprodutibilidade dos experimentos. Para cada classe, foram criadas pastas específicas nos diretórios de treino e validação, e as imagens foram copiadas utilizando a função `shutil.copy`, mantendo a estrutura hierárquica necessária para o funcionamento correto do pipeline de carregamento. (Analytics Vidhya, 2022; Medium, 2025)

Antes do treinamento, as imagens passaram por um processo de pré-processamento e aumento de dados com o objetivo de melhorar a generalização do modelo. O aumento de dados, realizado com a classe `ImageDataGenerator`, tem como finalidade simular variações reais nas imagens, como mudanças na orientação, iluminação e escala, evitando que o modelo aprenda apenas os padrões presentes no conjunto original.

Para o conjunto de treino, foram aplicadas as seguintes transformações:

`rescale=1./255`: normaliza os valores dos pixels para o intervalo $[0, 1]$, essencial para facilitar o processo de treinamento da rede neural.

`rotation_range=50`: aplica rotações aleatórias de até 50 graus nas imagens.

`width_shift_range=0.4` e `height_shift_range=0.4`: deslocamentos horizontais e verticais de até 40% da dimensão da imagem.

`shear_range=0.4`: aplica uma transformação de cisalhamento nas imagens.

`zoom_range=0.4`: realiza aproximações e afastamentos simulados.

`horizontal_flip=True`: realiza a inversão horizontal das imagens.

`fill_mode='nearest'`: define o modo de preenchimento para os pixels vazios gerados pelas transformações.

`brightness_range=[0.5, 1.5]` e `channel_shift_range=30.0`: variações na iluminação e canais de cor, simulando condições de iluminação diversas.

`brightness_range=[0.5, 1.5]` e `channel_shift_range=30.0`: variações na iluminação e canais de cor, simulando condições de iluminação diversas.

O carregamento das imagens foi realizado com a função `flow_from_directory`, tanto para os conjuntos de treino quanto de validação. Os parâmetros principais definidos foram:

`target_size=(299, 299)`: aumento da resolução para capturar detalhes visuais mais refinados, compatível com a arquitetura ResNet50.

`batch_size=32`: número de imagens por lote.

`class_mode='categorical'`: codificação one-hot para problemas de classificação multiclasse.

Essa abordagem garante que as imagens sejam carregadas em tempo real e processadas em lotes, otimizando o uso da memória RAM e acelerando o treinamento.

Com o objetivo de mitigar os efeitos de possíveis desbalanceamentos entre as classes (quantidade desigual de imagens por categoria), foram computados pesos de classe utilizando a função `compute_class_weight` da biblioteca Scikit-learn. Os pesos atribuídos foram posteriormente integrados ao processo de treinamento por meio do parâmetro `class_weight` na função `model.fit()`, assegurando que o modelo não favorecesse classes com maior número de amostras.

A arquitetura escolhida para este trabalho foi a ResNet50, uma rede residual profunda com 50 camadas, reconhecida por sua eficiência na extração de características visuais complexas e por sua capacidade de generalização. A ResNet50 foi importada da biblioteca `tensorflow.keras.applications`, utilizando os seguintes parâmetros:

`weights='imagenet'`: permite o carregamento de pesos pré-treinados na base de dados ImageNet.

`include_top=False`: exclui a última camada densa da arquitetura original, permitindo personalização para o número de classes do problema atual.

`input_shape=(299, 299, 3)`: define o tamanho das imagens de entrada.

O modelo base foi parcialmente congelado para preservar os pesos já treinados e evitar o sobreajuste nas primeiras camadas. Apenas as últimas 50 camadas foram descongeladas para permitir o ajuste fino (fine-tuning) dos pesos com base nas imagens do PlantVillage.

Após o modelo base, foram adicionadas camadas customizadas para adaptação à tarefa de classificação multiclasse. `GlobalAveragePooling2D` reduz a dimensionalidade das saídas da ResNet, mantendo as informações espaciais, `Dense(512, activation='relu')`:

camada densa com 512 neurônios e função de ativação ReLU, Dropout(0.5) técnica de regularização que desativa aleatoriamente 50% dos neurônios durante o treinamento, reduzindo a chance de overfitting e Dense(len(classes), activation='softmax') camada de saída com número de neurônios igual ao número de classes, utilizando softmax para gerar uma distribuição de probabilidade.

O modelo foi compilado utilizando o otimizador Adam, configurado com uma taxa de aprendizado de 0.00001, valor ideal para o processo de fine-tuning, no qual são ajustados os pesos de uma rede pré-treinada em uma nova tarefa. A função de perda adotada foi a `categorical_crossentropy`, indicada para problemas de classificação multiclasse com codificação one-hot, pois mede a divergência entre a distribuição prevista pelo modelo e a distribuição real das classes. Para avaliação do desempenho durante o treinamento, foram utilizados três métricas principais: accuracy, precision e recall. Essa escolha visa proporcionar uma análise mais abrangente da performance do modelo, especialmente relevante em contextos com classes desbalanceadas, nos quais apenas a acurácia pode ser insuficiente para uma avaliação precisa. (GeeksforGeeks, 2025; Science Direct, 2021)

Com o intuito de tornar o treinamento mais eficiente e robusto, foram incorporados três callbacks principais ao processo. O primeiro deles, `EarlyStopping`, tem como função interromper o treinamento automaticamente caso a perda de validação não apresente melhoria após 10 épocas consecutivas, evitando desperdício de tempo computacional e o risco de overfitting. O segundo, `ModelCheckpoint`, atua salvando o modelo com a melhor acurácia de validação alcançada até o momento, garantindo a preservação dos melhores pesos durante as iterações. Por fim, foi utilizado o callback `ReduceLROnPlateau`, responsável por reduzir a taxa de aprendizado pela metade sempre que a perda de validação permanecer estável por cinco épocas, até o limite mínimo de 0.000001. Essa estratégia dinâmica permite que o modelo continue a se ajustar finamente à medida que se aproxima da convergência. (Danielsen, 2019; IEEE Xplore, 2022)

O treinamento do modelo foi realizado ao longo de até 30 épocas, por meio da função `model.fit()`. Os parâmetros `steps_per_epoch` e `validation_steps` foram definidos com base no número total de amostras dos conjuntos de treinamento e validação, respectivamente, garantindo que todas as imagens fossem processadas em cada época. O parâmetro `class_weight` também foi aplicado durante o treinamento, de modo a compensar o desbalanceamento existente entre as classes, atribuindo maior importância àquelas com menor representatividade. Todos os callbacks mencionados anteriormente foram integrados ao treinamento para

otimização contínua do processo. (Science Direct, 2024; Viso.ai, 2024)

Para fins de comparação de desempenho e análise da eficiência computacional, o modelo foi treinado em dois ambientes distintos. Primeiramente, os testes foram conduzidos em uma máquina local, sem o uso de GPU dedicada, o que permitiu observar as limitações e a viabilidade do treinamento em contextos com menor capacidade computacional. Em seguida, o mesmo processo foi executado na plataforma Google Colab, que oferece acesso gratuito a GPUs como a Tesla T4, proporcionando aceleração significativa do treinamento e evidenciando os ganhos obtidos com o uso de infraestrutura computacional otimizada.

Após a conclusão do treinamento, foi implementada a função `plot_training_history()`, com o objetivo de visualizar graficamente o desempenho do modelo ao longo das épocas. Essa função gera dois gráficos principais: o primeiro mostra a acurácia de treinamento e validação por época, enquanto o segundo exibe a função de perda (loss) para os mesmos conjuntos. A análise visual desses gráficos é fundamental para compreender o comportamento do modelo durante o processo de aprendizagem, permitindo identificar padrões como convergência, indícios de overfitting (quando o desempenho no treinamento é muito superior ao da validação) ou underfitting (quando o modelo não consegue aprender adequadamente nem no conjunto de treinamento). Essas informações orientam decisões sobre possíveis ajustes nos hiperparâmetros, no número de épocas ou nas estratégias de regularização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados e discutidos os principais resultados obtidos durante o treinamento e validação do modelo baseado na arquitetura ResNet50, aplicado ao dataset PlantVillage para a classificação multiclasse de doenças em plantas.

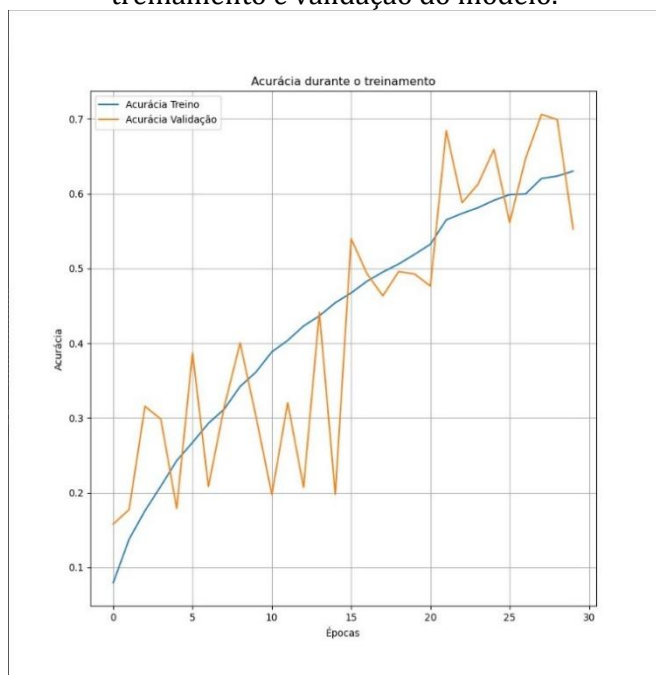
A análise concentra-se no desempenho do modelo ao longo das épocas, utilizando métricas como acurácia, perda (loss), precisão e recall. A partir dos gráficos gerados e do log detalhado do processo de treinamento, busca-se compreender a efetividade do modelo, suas limitações e as possibilidades de aprimoramento.

A interpretação dos resultados é orientada pelas métricas centrais de avaliação em problemas de classificação supervisionada. Especial atenção é dada à diferença de desempenho entre os conjuntos de treinamento e validação, ao comportamento das métricas ao longo do tempo, à estabilidade do aprendizado e à ocorrência de possíveis indícios de overfitting ou underfitting. Essas análises permitem não apenas mensurar o sucesso da abordagem implementada, mas também avaliar o impacto das

decisões metodológicas adotadas ao longo do projeto. (Bioinfo, 2021; Sigmoidal, 2023; Medium, 2023).

O gráfico gerado pela função `plot_training_history()` (Figura 1) ilustra a evolução da acurácia durante o processo de treinamento. Observa-se que a curva de acurácia no conjunto de treino apresenta um crescimento contínuo e relativamente suave, indicando que o modelo está de fato aprendendo padrões relevantes a partir dos dados. Desde a primeira época, onde a acurácia era inferior a 10%, até a trigésima época, em que ultrapassa os 63%, há uma clara progressão.

Figura 1 – Evolução da acurácia durante o treinamento e validação do modelo.



Fonte: Autoria própria (2025).

Por outro lado, a curva referente ao conjunto de validação exibe uma alta oscilação entre as épocas. Apesar de alcançar picos superiores a 70% de acurácia em determinadas épocas, também apresenta quedas abruptas, chegando a valores próximos de 20% em outras. Essa variação pode ser interpretada como um indicativo de instabilidade na generalização do modelo. Ou seja, enquanto o desempenho sobre o conjunto de treinamento melhora de forma contínua, o mesmo não ocorre de forma estável no conjunto de validação.

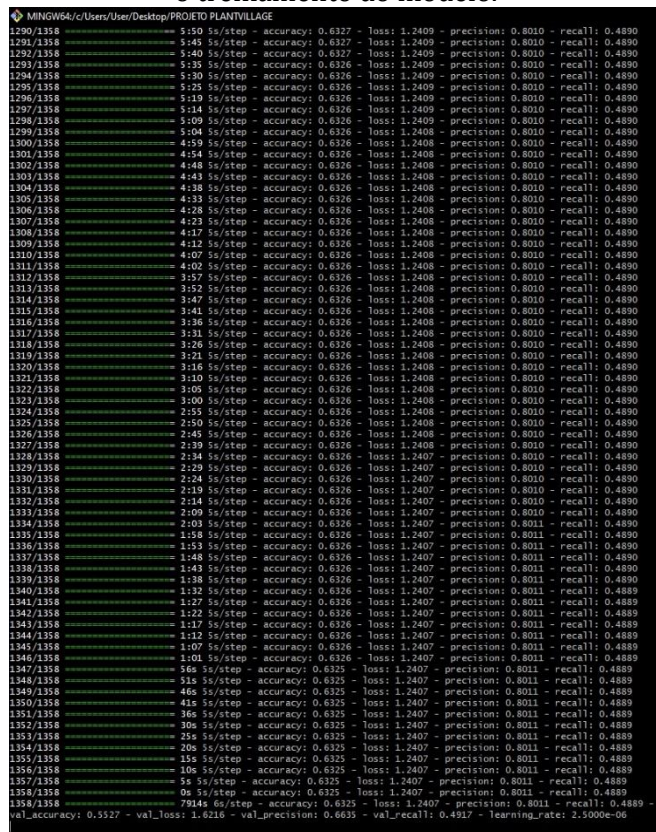
Essa flutuação pode estar associada a diversos fatores. Em primeiro lugar, a presença de desbalanceamento nas classes — mesmo com a aplicação de pesos de classe via `class_weight` — pode ter levado o modelo a focar em classes majoritárias, dificultando a previsão precisa de classes menos representadas. Em segundo lugar, o alto grau de aumento de dados (data augmentation) durante o treinamento pode ter contribuído para o aprendizado de representações mais variadas, o que pode dificultar

o processo de validação se as imagens de teste não apresentarem variações similares.

Mesmo com essas oscilações, é possível notar uma tendência geral de crescimento na acurácia de validação ao longo das épocas, especialmente a partir da 20ª. Nos momentos de maior estabilidade, o modelo demonstra capacidade de generalização, superando os 70% de acurácia, valor bastante significativo considerando a complexidade do problema de classificação multiclasse e o fato de que o modelo está sendo refinado com fine-tuning apenas nas últimas 50 camadas da ResNet50.

Além da acurácia, o treinamento gerou um conjunto de métricas mais completas, como precision, recall e loss, disponíveis no log de execução (Figura 2). Ao final do treinamento, os valores alcançados foram: Acurácia de treino aproximadamente 63,2%, Acurácia de validação 55,2%, Perda de validação (`val_loss`): 1.6216, Precisão de validação (`val_precision`): 66,3% e Revocação de validação (`val_recall`): 49,1%.

Figura 2 – Log de execução exibindo métricas durante o treinamento do modelo.



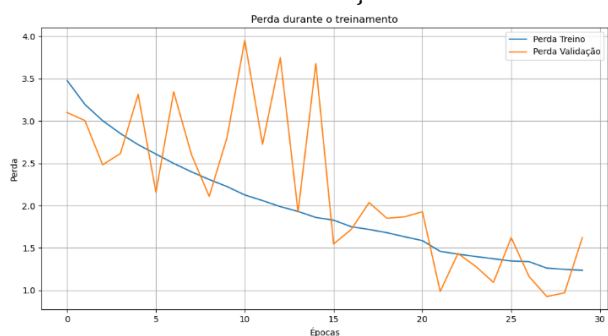
Fonte: Autoria própria (2025).

A análise conjunta dessas métricas permite extrair conclusões mais robustas sobre o desempenho do modelo. A precisão elevada indica que, das previsões feitas como pertencentes a uma determinada classe, uma alta proporção está correta. Por outro lado, a revocação mais baixa sugere que o modelo não está sendo igualmente eficaz em identificar todos os exemplos reais de cada classe. Isso pode ser um

reflexo do desbalanceamento de classes, mesmo com a ponderação aplicada por `class_weight`.

A função de perda, que permanece acima de 1.6 no conjunto de validação, sinaliza que o modelo ainda encontra dificuldades em fazer previsões com alta confiança. Esse valor relativamente elevado pode ser resultado da grande quantidade de classes e da complexidade intrínseca do conjunto de dados, especialmente considerando que cada classe representa não apenas uma cultura diferente, mas também uma condição fitossanitária distinta.

Figura 3 – Evolução da perda (loss) durante o treinamento e validação do modelo.



Fonte: Autoria própria (2025)

Durante várias épocas do treinamento, nota-se que o modelo entra em uma fase de saturação, onde a acurácia, a perda e as demais métricas tornam-se praticamente constantes. Como mostrado no log, isso ocorre a partir da época 20, quando os valores de acurácia no treino estabilizam em torno de 63,2% e as métricas de precisão e recall param de oscilar. Esse comportamento é típico de quando o modelo atinge um platô no espaço de otimização. O mecanismo `ReduceLROnPlateau` foi corretamente utilizado, reduzindo a taxa de aprendizado progressivamente até atingir o valor mínimo de $2.5e-6$, mas não foi suficiente para escapar da estagnação.

Com base nas evidências gráficas e numéricas, é possível realizar uma análise sobre os fenômenos de `overfitting` e `underfitting`. O crescimento consistente da acurácia de treino, contrastando com a grande variabilidade na acurácia de validação, pode sugerir `overfitting`: o modelo aprende muito bem os dados de treinamento, mas não consegue generalizar de maneira confiável. Contudo, o nível de acurácia de validação não é tão inferior ao de treino, especialmente a partir da 20ª época. Isso indica que o modelo não está totalmente superajustado, mas sim que ainda há espaço para melhorias em termos de regularização e otimização do treinamento. Medidas adicionais, como o ajuste da taxa de dropout (de 0.5 para 0.3), uso de técnicas de normalização de batch (`batch normalization`) ou aumento da diversidade de imagens no conjunto de validação, podem contribuir para mitigar essa lacuna entre treino e validação. Já o `underfitting` — situação na qual o modelo não

consegue aprender nem os dados de treino — não parece ocorrer aqui. O fato de a acurácia no conjunto de treino atingir mais de 63% com consistência mostra que o modelo está aprendendo representações significativas (Analytics Vidhya, 2020; Oppermann, 2021; GeeksforGeeks, 2025).

O uso da arquitetura ResNet50 com pesos pré-treinados no ImageNet e o ajuste das últimas 50 camadas via fine-tuning mostraram-se adequados para a tarefa proposta. Essa abordagem tem como principal vantagem a reutilização de representações visuais genéricas aprendidas a partir de um grande corpus de imagens, o que acelera o processo de convergência e reduz a quantidade de dados necessários para treinar o modelo com eficácia.

A adição de camadas densas com ativação ReLU, pooling global e dropout entre a ResNet e a camada de saída foi uma estratégia bem fundamentada. No entanto, é possível que a camada densa com 512 neurônios, combinada com um dropout elevado (0.5), tenha causado certa perda de informação ou dificuldade de aprendizado. Uma possível sugestão para trabalhos futuros é testar arquiteturas mais leves ou ajustar a arquitetura final com um número menor de neurônios ou ativar mecanismos de regularização L2 para manter a complexidade sob controle.

O treinamento foi realizado tanto em ambiente local quanto na plataforma Google Colab. Em ambiente local, sem GPU dedicada, o tempo de execução foi significativamente maior, tornando inviável a realização de experimentos em larga escala. Já no Google Colab, o acesso a GPUs como a Tesla T4 possibilitou a execução de cada época em aproximadamente 5 a 6 segundos por batch, totalizando um tempo aceitável mesmo para 30 épocas completas.

Essa diferença de desempenho comprova a importância de infraestruturas baseadas em aceleração por hardware para experimentos com redes neurais profundas. Além disso, o Colab facilita a integração com bibliotecas e armazenamento em nuvem, favorecendo o fluxo de trabalho e reprodutibilidade dos experimentos.

Com base nos resultados obtidos, é possível sugerir algumas estratégias com potencial para melhorar o desempenho do modelo de classificação. Um dos primeiros ajustes recomendados seria a modificação da taxa de dropout, reduzindo-a de 0.5 para 0.3. Essa alteração visa evitar a perda excessiva de informações úteis durante o treinamento, contribuindo para uma melhor generalização sem comprometer a capacidade de aprendizado da rede. Outra abordagem relevante seria o aumento do conjunto de validação, tanto em volume quanto em diversidade. A inclusão de mais imagens, aliada a um balanceamento explícito entre as classes, pode contribuir significativamente para a estabilidade das métricas de validação e reduzir flutuações indesejadas no desempenho. Além disso, a

aplicação de técnicas de aumento de dados (data augmentation) diretamente no conjunto de validação pode ser uma alternativa interessante. Ao introduzir pequenas variações visuais nas imagens — como rotações, ajustes de brilho ou pequenas transformações geométricas — o modelo se depara com cenários mais desafiadores e realistas, o que contribui para uma avaliação mais robusta de sua capacidade de generalização. (Machine Learning Mastery, 2019; Stack Overflow, 2021; Medium, 2024)

Também vale considerar a exploração de outras arquiteturas de redes neurais convolucionais modernas e mais eficientes, como EfficientNetB0, MobileNetV2 ou DenseNet121, que podem oferecer um melhor equilíbrio entre desempenho preditivo e custo computacional, especialmente em ambientes com recursos limitados.

Por fim, uma estratégia promissora seria a adoção de aprendizado por transferências múltiplas. Isso poderia envolver a realização de pré-treinamentos intermediários com bases de dados agrícolas que compartilhem características visuais com o PlantVillage, permitindo que o modelo desenvolva representações mais especializadas e relevantes para o domínio agrícola antes de ser ajustado especificamente para a tarefa final. A combinação dessas abordagens tem o potencial de superar as limitações observadas durante os testes e ampliar consideravelmente a eficácia do modelo em aplicações reais.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um modelo de classificação multiclasse de doenças em plantas utilizando a arquitetura ResNet50 com fine-tuning, aplicado ao dataset PlantVillage. Os resultados obtidos demonstraram que a abordagem é viável e apresenta desempenho satisfatório, com acurácia de validação superior a 70% em algumas épocas e métricas complementares, como precisão e recall, dentro de faixas coerentes para problemas de alta complexidade e com desbalanceamento de classes.

A análise das curvas de acurácia e perda evidenciou que o modelo foi capaz de aprender padrões relevantes nos dados de treinamento, embora tenha apresentado instabilidades durante a validação. Tais oscilações indicam uma necessidade de melhorias na capacidade de generalização, especialmente em relação ao equilíbrio entre classes e à robustez do conjunto de validação.

A estratégia de transfer learning, aliada ao ajuste das últimas camadas da rede, mostrou-se eficaz para acelerar o aprendizado e obter bons resultados mesmo com um número limitado de épocas. Entretanto, a ocorrência de possíveis indícios de

overfitting, evidenciada pela divergência entre as curvas de treino e validação, aponta para oportunidades de aprimoramento no processo de regularização.

Considerando os resultados e limitações observadas, conclui-se que o modelo baseado na ResNet50 constitui uma base sólida para aplicações práticas no diagnóstico automatizado de doenças em plantas. Para trabalhos futuros, recomenda-se a adoção de técnicas adicionais de balanceamento, ajustes na taxa de dropout, ampliação do conjunto de validação e experimentação com arquiteturas mais leves e modernas, como EfficientNet ou MobileNetV2, de modo a alcançar maior precisão e generalização com menor custo computacional.

REFERÊNCIAS

- ABAG-RP. (2024). **Números do Agronegócio**. Associação Brasileira do Agronegócio da Região de Ribeirão Preto. Disponível em: <https://www.abagr.org.br/numeros-do-agro>
- Agência Gov. (2024). **Exportações do agronegócio fecham 2023 com US\$ 166,55 bilhões em vendas**. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202401/exportacoes-do-agronegocio-fecham-2023-com-us-166-55-bilhoes-em-vendas>
- AgroAdvance. (2024). **Machine Learning e Deep Learning: Usos e aplicações na agricultura**. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-machine-learning-deep-learning-agricultura/>
- AgroReceita. (2025). **Inteligência artificial na agricultura: aplicações e benefícios**. Disponível em: <https://agoreceita.com.br/inteligencia-artificial-na-agricultura/>
- Analytics Vidhya. (2020). **How to Treat Overfitting in Convolutional Neural Networks**. Disponível em: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/09/overfitting-in-cnn-show-to-treat-overfitting-in-convolutional-neural-networks/>
- Analytics Vidhya. (2022). **Image Classification Using Resnet-50 Deep Learning Model**. Disponível em: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/09/image-classification-in-stl-10-dataset-using-resnet-50-deep-learning-model/>
- Bento, D. (2019). **Deteção e identificação de doenças em plantas utilizando Deep Learning**. Instituto Politécnico do Porto. Disponível em:

- https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/15480/1/DM_DanielBento_2019_MEI.pdf
- Bioinfo. (2021). Métricas de avaliação em machine learning - acurácia, sensibilidade, precisão, especificidade e F-score. **Revista BIOINFO**. Disponível em: <https://bioinfo.com.br/metricas-de-avaliacao-em-machine-learning-acuracia-sensibilidade-precisao-especificidade-e-f-score/>
- Cepea. (2022a). **Afinal, quanto o agronegócio representa no PIB brasileiro?** Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/br/opiniao-cepea/afinal-quanto-o-agronegocio-representa-no-pib-brasileiro.aspx>
- Cepea. (2022b). **PIB do Agronegócio Brasileiro. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>
- Danielsen, N. (2019). **Simple Image Classification with ResNet-50**. Medium. Disponível em: <https://medium.com/@nina95dan/simple-image-classification-with-resnet-50-334366e7311a>
- Embrapa. (2019). **Inteligência artificial aplicada na agricultura de precisão e digital**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1170729/1/P-Inteligencia-artificial-aplicada-na.pdf>
- FAO. (2020). **The impact of pests and diseases on food production**. Rome: FAO. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 18 mai. 2025.
- FAO. (2021a). **Mudança climática influencia na perda da produção agrícola para pragas, conclui estudo apoiado pela FAO**. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1411810/>
- FAO. (2021b). **FAO aponta perdas anuais de US\$ 314 bi com pragas e doenças em seis países, incluindo o Brasil**. Disponível em: <https://sopesp.com.br/2021/03/19/fao-aponta-perdas-anuais-de-us-314-bi-com-pragas-e-doencas-em-seis-paises-incluindo-o-brasil/>
- FAO. (2022). **FAO lista 5 doenças de plantas que a crise climática está agravando**. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/184058-fao-lista-5-doen%C3%A7as-de-plantas-que-crise-clim%C3%A1tica-est%C3%A1-agravando>
- FAO. (2023). **Pense antes de clicar**. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1639373/>
- FERENTINOS, K. P. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 145, p. 311-318, 2018.
- GeeksforGeeks. (2025a). **Image Classification using ResNet**. Disponível em: <https://www.geeksforgeeks.org/image-classification-using-resnet/>
- GeeksforGeeks. (2025b). **ML | Underfitting and Overfitting in Machine Learning**. Disponível em: <https://www.geeksforgeeks.org/underfitting-and-overfitting-in-machine-learning/>
- HUGHES, D. P.; SALATHÉ, M. (2015). **An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics**. arXiv preprint arXiv:1511.08060.
- IEEE Xplore. (2022). **Plant Disease Identification Using a Novel Convolutional Neural Network**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9674894>
- Machine Learning Mastery. (2019). **How to Avoid Overfitting in Deep Learning Neural Networks**. Disponível em: <https://www.machinelearningmastery.com/introduction-to-regularization-to-reduce-overfitting-and-improve-generalization-error/>
- Medium. (2023). **Principais métricas de avaliação de modelos em Machine Learning**. Disponível em: <https://medium.com/data-hackers/principais-m%C3%A9tricas-de-classifica%C3%A7%C3%A3o-de-modelos-em-machine-learning-94eeb4b40ea9>
- Medium. (2024). **Day 49: Overfitting and Underfitting in DL — Regularization Techniques**. Disponível em: <https://medium.com/@bhatadithya54764118/day-49-overfitting-and-underfitting-in-dl-regularization-techniques-8ded20baa3d6>

- MOHAMMED, N. A. A.; AL-ANI, A. (2021). Deep learning techniques for detection and classification of plant diseases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPUTER APPLICATIONS (ACA), 2021, Baghdad. **Anais [...].** IEEE, p. 146–151. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/teccogs/article/view/48548>
- Noyan, M. A. (2022). **Uncovering Bias in the PlantVillage Dataset.** Medium. Disponível em: <https://medium.com/data-science/uncovering-bias-in-the-plantvillage-dataset-7ac564334526>
- Oligos Biotec. (2021). **Pragas agrícolas: o que são e como combatê-las?** Disponível em: <https://oligosbiotec.com.br/pragas-agricolas-o-que-sao-e-como-combate-las/>
- ONU. (2019). **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU. Organização das Nações Unidas.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83427-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-deve-chegar-97-bilh%C3%B5es-de-pessoas-em-2050-diz-relat%C3%B3rio-da-onu>
- ONU. (2022a). **8 bilhões de humanos: quais são as previsões até 2030.** Forbes. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbeslife/2022/11/8-bilhoes-de-humanos-quais-sao-as-previsoes-ate-2030/>
- ONU. (2022b). **World population prospects 2022: summary of results. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs.** Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospect-2022>. Acesso em: 18 mai. 2025.
- ONU. (2024). **População mundial chegará a 9,9 bilhões em 2054.** Organização das Nações Unidas. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830966>
- Oppermann, A. (2021). **Underfitting and Overfitting in Deep Learning.** Medium. Disponível em: <https://artem-oppermann.medium.com/underfitting-and-overfitting-in-deep-learning-687b1b7eb738>
- Papers With Code. (2024). **PlantVillage Dataset.** Disponível em: <https://paperswithcode.com/dataset/plantvillage>
- PUC-SP. (2020). **Visão computacional na agricultura: APIs de detecção e reconhecimento de doenças das plantas.** Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- RAJPUT, D. S.; BODHE, S. K. (2020). Transfer learning with convolutional neural networks for real-time plant disease detection. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING, COMMUNICATION, AND INTELLIGENT SYSTEMS (ICCCIS), 2020, Greater Noida. **Anais [...].** IEEE, p. 500–505.
- Science Direct. (2021). **Deep Learning in Image Classification using Residual Network (ResNet).** Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921000284>
- Science Direct. (2024). **An ensemble of deep learning architectures for accurate plant disease classification.** Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954124001602>
- Sigmoidal. (2023). **Métricas de Avaliação em Modelos de Classificação em Machine Learning.** Disponível em: <https://sigmoidal.ai/metricas-de-avaliacao-em-modelos-de-classificacao-em-machine-learning/>
- SIMONYAN, K.; ZISSERMAN, A. (2014). **Very deep convolutional networks for large-scale image recognition.** arXiv preprint arXiv:1409.1556.
- Stack Overflow. (2021). **How to improve performance of CNN and reduce overfitting?** Disponível em: <https://stackoverflow.com/questions/66289658/how-to-improve-performance-of-cnn-and-reduce-overfitting>
- TAN, M.; LE, Q. V. (2019). EfficientNet: rethinking model scaling for convolutional neural networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, 2019, Long Beach. Proceedings **Anais...** PMLR, p. 6105–6114.
- TensorFlow Datasets. (2024). **plant_village.** Disponível em: https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/plant_village
- TensorFlow. (2023). **Keras: The high-level API for TensorFlow.** Disponível em: <https://www.tensorflow.org/guide/keras>
- UTFPR. (2025). **Agricultura sustentável e inteligência artificial.** Universidade Tecnológica

Federal do Paraná. Disponível em:
<https://revistas.utfpr.edu.br/recit/article/download/19217/19217%20pdf>

Viso.ai. (2024). **Deep Residual Networks (ResNet, ResNet50) A Complete Guide**. Disponível em:
<https://viso.ai/deep-learning/resnet-residual-neural-network/>

REDE NEURAL CONVOLUCIONAL APLICADA AO DIAGNÓSTICO DE MENINGITE

Jean Guilherme Sonda Batista*; Matheus Gustavo da Silva de Oliveira*; Leonardo Gomes Guidolin**

* Acadêmico de Engenharia de Software - Uniguauçu, jean.sonda@gmail.com; matheussmi@gmail.com

**Docente do curso de Engenharia de Software - Uniguauçu, leonardo.gguidolin@gmail.com

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 21 maio. 2025

Aceite: 12 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este artigo apresenta uma investigação sobre o uso de redes neurais convolucionais (CNNs) no auxílio ao diagnóstico de meningite, a partir da análise automatizada de imagens de ressonância magnética. A meningite, sendo uma condição neurológica grave, requer diagnóstico rápido e preciso para aumentar as chances de tratamento eficaz e reduzir a mortalidade. Neste contexto, propõe-se o desenvolvimento de um modelo de CNN implementado em Python, utilizando a biblioteca Keras, com o objetivo de identificar padrões relevantes nas imagens que possam indicar a presença da doença. O modelo foi treinado e testado com um conjunto de dados composto por imagens rotuladas, empregando técnicas de pré-processamento e aumento de dados para melhorar a generalização. Os resultados demonstraram alta acurácia na classificação das imagens, evidenciando o potencial da abordagem para auxiliar profissionais da saúde no processo diagnóstico. A pesquisa reforça o papel crescente da inteligência artificial no campo da medicina diagnóstica, especialmente no que tange ao uso de técnicas de aprendizado profundo para interpretação de imagens médicas complexas.

Palavras-chave: redes neurais convolucionais; meningite; ressonância magnética; inteligência artificial; keras.

ABSTRACT

This article presents a study on the application of convolutional neural networks (CNNs) to support the diagnosis of meningitis through the automated analysis of magnetic resonance imaging. Meningitis is a serious neurological condition that requires fast and accurate diagnosis to increase the chances of effective treatment and reduce mortality. In this context, a CNN model was developed using Python and the Keras library, aiming to identify relevant patterns in MRI images that may indicate the presence of the disease. The model was trained and evaluated using a labeled dataset, incorporating preprocessing and data augmentation techniques to enhance generalization. The results showed high accuracy in image classification, demonstrating the potential of this approach to assist healthcare professionals in the diagnostic process. The study reinforces the growing role of artificial intelligence in medical diagnostics, especially through the use of deep learning techniques for the interpretation of complex medical images.

Keywords: convolutional neural networks; meningitis; magnetic resonance imaging; artificial intelligence; keras.

Copyright © 2025, Jean Guilherme Sonda Batista; Matheus Gustavo da Silva de Oliveira; Leonardo Gomes Guidolin. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: BATISTA, Jean Guilherme Sonda; DE OLIVEIRA, Matheus Gustavo da Silva; GUIDOLIN, Leonardo Gomes. Rede neural convolucional aplicada ao diagnóstico de meningite. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguaçu, v. 3, n. 7, p. 59-66, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

A meningite é uma doença que pode ter diferentes causas e manifestações, tornando-se um problema de saúde pública relevante. No Brasil, ela é considerada endêmica, ou seja, casos ocorrem ao longo de todo o ano, com surtos ocasionais. A meningite pode ser causada por vírus, bactérias, fungos e até parasitas, sendo que as formas virais e bacterianas são as mais comuns e preocupantes (Gov, 2025).

Segundo Hinrichsen (2024), a meningite bacteriana, por exemplo, pode ser extremamente grave e levar a complicações como sepse, danos neurológicos e até óbito se não for tratada rapidamente. Já a meningite viral, embora geralmente mais branda, pode causar sintomas debilitantes e requer acompanhamento médico. Além disso, existem formas menos comuns, como a meningite fúngica, que afeta principalmente pessoas com imunidade comprometida, e a meningite eosinofílica, causada por parasitas.

O diagnóstico da meningite envolve exames clínicos e laboratoriais, como a análise do líquido cefalorraquidiano, obtido por meio da punção lombar. Esse exame é essencial para identificar o agente causador e definir o tratamento adequado. No caso da meningite bacteriana, o tratamento inclui antibióticos específicos administrados em ambiente hospitalar. Já a meningite viral geralmente não requer antibióticos, sendo tratada com medidas de suporte, como hidratação e controle da febre (Uol Saúde, 2025).

A prevenção é um dos aspectos mais importantes no combate à meningite. A vacinação é altamente eficaz contra alguns tipos de meningite bacteriana, como a meningocócica e a pneumocócica (Portal Fiocruz, 2025). Além disso, medidas de higiene, como lavar as mãos regularmente e evitar contato próximo com pessoas infectadas, ajudam a reduzir o risco de transmissão.

Segundo dados do Ministério da Saúde, entre os anos de 2007 e 2020, foram notificados no Brasil 393.941 casos suspeitos de meningite. Desses, 265.644 foram confirmados, com diferentes etiologias, sendo a meningite viral (Alves, 2023) a mais prevalente (121.955 casos), seguida pela meningite bacteriana (87.933 casos). Diante da expressiva quantidade de casos e da gravidade da doença — estima-se que, a cada dez pacientes, um evolua para óbito e dois apresentem sequelas permanentes —, evidencia-se a necessidade urgente de estratégias que promovam o diagnóstico precoce e o tratamento adequado, com o objetivo de mitigar os impactos clínicos e sociais da enfermidade.

Nesse contexto, o avanço da tecnologia, especialmente no campo da inteligência artificial, tem se mostrado promissor para o aprimoramento dos métodos diagnósticos. Dentre as técnicas mais relevantes, destacam-se as Redes Neurais Convolucionais (RNCs), que vêm sendo amplamente utilizadas na área médica devido à sua capacidade de

identificar padrões complexos em imagens clínicas (Didatica Tech, 2020). Por serem projetadas para processar dados estruturados em grade, como imagens ou sinais de áudio, as RNCs conseguem realizar análises com alto grau de precisão. Essas redes são compostas por múltiplas camadas, entre as quais se destacam as camadas de convolução, responsáveis pela aplicação de filtros sobre as imagens. Esses filtros, ou janelas deslizantes, percorrem as imagens realizando cálculos de produto escalar entre seus próprios valores e a região correspondente da imagem de entrada, o que resulta em um mapeamento detalhado das características visuais. Com o treinamento adequado, esses filtros tornam-se capazes de detectar diferentes tipos de padrões, como bordas, texturas, borões e outras estruturas específicas que podem indicar anomalias clínicas.

A aplicação dessas ferramentas em exames de imagem — como tomografias e ressonâncias magnéticas — tem potencial para acelerar o diagnóstico de forma precisa, inclusive em estágios iniciais da doença, quando os sinais clínicos ainda são inespecíficos. Além disso, a integração dessas tecnologias ao sistema de saúde pode otimizar o trabalho dos profissionais, reduzir custos com internações prolongadas e, principalmente, salvar vidas (Journal Of Health Informatics, 2017).

Portanto, as RNCs configuram-se como instrumentos de grande relevância para a área da saúde, contribuindo não apenas para a redução da taxa de mortalidade associada à meningite, mas também para o aprimoramento dos serviços diagnósticos de forma geral. Ressalta-se, ainda, que a conscientização sobre a importância da vacinação continua sendo uma medida indispensável na prevenção das diferentes etiologias da meningite, complementando as ações tecnológicas no enfrentamento da doença.

METODOLOGIA

Foram utilizadas imagens de tomografias computadorizadas (TC) de pacientes com diagnóstico confirmado de meningite e de indivíduos sem a patologia, formando um conjunto de dados balanceados. O objetivo foi treinar um modelo de rede neural convolucional capaz de identificar automaticamente sinais visuais indicativos da doença, para isso foi utilizado a linguagem de programação Python v3.10.0 juntamente com as bibliotecas Keras e TensorFlow.

Linguagem de programação Python

Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada, de código aberto e amplamente utilizada por desenvolvedores ao redor do mundo. Criada por Guido van Rossum e lançada pela primeira

vez em 1991, ela se destaca por sua sintaxe simples e legível, o que facilita o aprendizado e a escrita de código. Além disso, Python possui um vasto ecossistema de bibliotecas e frameworks que permitem sua aplicação em diversas áreas, como desenvolvimento web, inteligência artificial, ciência de dados, automação, análise financeira e até mesmo em computação gráfica e jogos.

Por ser uma linguagem interpretada, o código Python é executado diretamente sem a necessidade de compilação, o que torna o desenvolvimento ágil e a depuração mais eficiente. Sua comunidade é extremamente ativa e contribui constantemente para sua evolução, garantindo atualizações frequentes e melhorias contínuas. Python é multiplataforma, ou seja, pode ser executado em diferentes sistemas operacionais, como Windows, macOS e Linux, tornando-o ainda mais acessível.

Um dos grandes diferenciais de Python é a possibilidade de escrever programas com menos linhas de código em comparação a outras linguagens, sem perder a eficiência e a legibilidade. Além disso, sua orientação a objetos permite uma organização modular do código, facilitando a reutilização e a manutenção de programas mais complexos. Com seu crescimento exponencial nos últimos anos, Python tem sido uma das linguagens mais procuradas e valorizadas no mercado de tecnologia, sendo amplamente adotada por grandes empresas como Google, Facebook e Netflix (Python, 2025).

Python é uma linguagem de programação muito popular por sua simplicidade, flexibilidade e vasta coleção de bibliotecas, tornando-se uma escolha ideal para desenvolvimento de redes neurais convolucionais (CNNs). Em aprendizado de máquina, Python permite que pesquisadores e desenvolvedores criem e treinem modelos com ferramentas poderosas, como TensorFlow e Keras, utilizadas no seu código (Datacamp, 2025).

Esta linguagem também pode oferecer uma abordagem intuitiva para a criação de CNNs, que são usadas principalmente para processamento de imagens. Com bibliotecas como TensorFlow e Keras, é possível definir arquiteturas convolucionais, manipular imagens, ajustar hiperparâmetros e treinar modelos de forma eficiente (Datacamp, 2025).

Pré-processamento das Imagens

O pré-processamento de imagens é uma etapa essencial para garantir a qualidade dos dados utilizados no treinamento de redes neurais convolucionais (CNNs). Esse processo envolve uma série de transformações que ajustam as imagens para que o modelo possa extrair informações relevantes de maneira eficiente e robusta. A seguir, aprofundamos cada fase do pré-processamento aplicado às tomografias médicas (Santos, 2023).

As imagens médicas frequentemente apresentam variações em suas dimensões devido a diferentes equipamentos de captura, protocolos de exame e características do paciente. Essa heterogeneidade pode dificultar a consistência no processamento dos dados, tornando essencial a padronização do tamanho das imagens (Tanabe, 2020).

Ao redimensionar todas as tomografias para 224×224 pixels, garantimos a compatibilidade com arquiteturas modernas de CNNs, como ResNet, VGG e EfficientNet, que operam sobre entradas de tamanho fixo. Essa escolha é estratégica, pois otimiza a utilização de modelos pré-treinados, reduzindo a necessidade de ajustes significativos na estrutura da rede neural. Além disso, a padronização do tamanho elimina a necessidade de operações excessivas de interpolação e escalonamento que poderiam comprometer a integridade das informações contidas nas imagens.

Outro benefício do redimensionamento é a redução da complexidade computacional. Modelos que lidam com imagens de tamanhos variados exigem mais memória e tempo de processamento, pois precisam adaptar-se continuamente às dimensões variáveis. A uniformização do tamanho das imagens permite a criação de lotes homogêneos (batches) durante o treinamento, aumentando a eficiência dos cálculos realizados pelos algoritmos de otimização (Felix, 2019).

Além da simples alteração das dimensões, é possível aplicar estratégias de redimensionamento que preservem a proporção original das imagens, evitando distorções geométricas. Métodos como *resize with padding*, nos quais uma margem é adicionada para manter a escala dos elementos dentro da imagem, podem ser adotados para minimizar perdas de informação relevantes.

A qualidade visual das imagens médicas pode ser influenciada por múltiplos fatores, como variações na calibração dos equipamentos de captura, presença de artefatos e diferenças na exposição radiológica. Para mitigar essas discrepâncias, é essencial aplicar técnicas de normalização que ajustem a distribuição dos valores de intensidade dos pixels.

No processo adotado, foi realizada uma transformação linear que escalona os valores de pixel para o intervalo [0, 1]. Essa técnica é amplamente utilizada em redes neurais, pois melhora a estabilidade do aprendizado ao evitar grandes variações numéricas entre os elementos da imagem. Além disso, a normalização reduz a influência de fatores externos, permitindo que o modelo foque na identificação de padrões estruturais ao invés de depender da iluminação ou do contraste.

Além da simples alteração das dimensões, é possível aplicar estratégias de redimensionamento que preservem a proporção original das imagens, evitando distorções geométricas. Métodos como

resize with padding, nos quais uma margem é adicionada para manter a escala dos elementos dentro da imagem, podem ser adotados para minimizar perdas de informação relevantes.

Uma técnica complementar envolve a normalização baseada na média do canal de cores. Em imagens médicas em tons de cinza, essa abordagem pode ser adaptada para ajustar a intensidade com base em estatísticas do conjunto de treinamento, reduzindo a influência de variações globais na iluminação dos exames.

A normalização também desempenha um papel crucial na convergência dos algoritmos de treinamento. Modelos treinados com imagens não normalizadas podem apresentar dificuldades para ajustar os pesos das camadas convolucionais, comprometendo a eficácia da aprendizagem. Com a normalização adequada, o treinamento torna-se mais eficiente e menos suscetível a oscilações nos valores dos gradientes.

Uma das principais limitações no treinamento de modelos de aprendizado profundo é a disponibilidade de dados suficientes para evitar o overfitting. Quando um modelo aprende excessivamente os padrões do conjunto de treinamento, sua capacidade de generalizar para novos dados é reduzida. Para mitigar esse problema, aplicamos técnicas de aumento de dados que ampliam artificialmente a diversidade do conjunto de treinamento sem a necessidade de coletar novas imagens (Portal Telemedicina, 2025).

A rotação das imagens permite que o modelo aprenda padrões sem depender de uma orientação fixa. Em exames médicos, pequenas variações no posicionamento podem ocorrer devido ao alinhamento do paciente durante a aquisição da tomografia. Ao incorporar rotação aleatória, garantimos que a rede neural seja capaz de reconhecer características estruturais independentemente do ângulo em que foram capturadas.

O espelhamento horizontal amplia a variabilidade do conjunto de dados ao introduzir versões refletidas das imagens. Em muitas aplicações médicas, essa técnica pode ajudar o modelo a identificar padrões que aparecem em diferentes regiões da imagem, evitando que ele memorize posições fixas. Essa abordagem é especialmente útil em imagens simétricas, onde características patológicas podem estar presentes em ambos os lados da estrutura anatômica.

A variação da luminosidade das imagens é uma estratégia eficaz para tornar o modelo mais robusto a diferentes condições de aquisição dos exames. Pequenos ajustes de brilho garantem que a rede neural consiga detectar padrões sem depender de uma exposição uniforme. Esse método é especialmente relevante em exames que envolvem contraste radiológico, onde a intensidade pode variar conforme a densidade dos tecidos analisados.

Além dessas técnicas, outros métodos como shear transform, zoom aleatório e ruído gaussiano podem ser empregados para tornar o conjunto de dados ainda mais diversificado. O uso combinado dessas estratégias fortalece a capacidade da rede neural de reconhecer padrões de maneira mais generalizada e eficiente.

Ferramentas e Bibliotecas Utilizadas

O modelo foi desenvolvido na linguagem Python, utilizando as bibliotecas TensorFlow e Keras, amplamente adotadas na área de aprendizado profundo.

- TensorFlow é uma das bibliotecas mais robustas e amplamente utilizadas no campo do aprendizado de máquina e inteligência artificial. Criada pelo Google, ela fornece um framework altamente eficiente para a construção e treinamento de modelos de deep learning, permitindo que desenvolvedores e pesquisadores explorem algoritmos avançados e implementem soluções escaláveis (Tensorflow, 2020).

Com suporte para execução em CPUs, GPUs e TPUs, TensorFlow garante desempenho otimizado e aceleração computacional, tornando-se essencial para tarefas que envolvem grandes quantidades de dados, como reconhecimento de imagens, processamento de linguagem natural e previsão de séries temporais. Além disso, seu ecossistema inclui ferramentas como TensorBoard, que permite o monitoramento visual do treinamento de modelos, e TensorFlow Serving, que facilita a implantação em ambiente de produção.

A comunidade ativa e a constante evolução da biblioteca garantem que ela permaneça na vanguarda do aprendizado de máquina, sendo uma escolha confiável para projetos de ponta (Catunda, 2024).

- Keras, por sua vez, é uma API de alto nível projetada para tornar o desenvolvimento de modelos de aprendizado profundo mais acessível e intuitivo. Criada por François Chollet, Keras simplifica a construção de redes neurais por meio de uma interface modular e amigável, permitindo que mesmo iniciantes experimentem e desenvolvam soluções rapidamente (Tensorflow, 2020).

Com suporte para múltiplos *backends*, incluindo TensorFlow, Theano e Microsoft CNTK, Keras oferece flexibilidade na escolha da infraestrutura de execução. Sua API sequencial é ideal para arquiteturas mais simples, enquanto sua API funcional permite a criação de modelos complexos, como redes com múltiplas entradas e saídas. A integração direta com TensorFlow garante que os modelos desenvolvidos com Keras possam ser otimizados e executados com eficiência, sem comprometer o desempenho (Keras, 2020).

Juntas, essas duas bibliotecas formam um ambiente poderoso para aprendizado de máquina e inteligência artificial. TensorFlow oferece a infraestrutura robusta e escalável para cálculos de alto desempenho,

enquanto Keras proporciona uma abordagem simplificada e intuitiva para o desenvolvimento de modelos. A combinação dessas tecnologias permite que usuários criem, treinem e implantem redes neurais de maneira eficiente, desde a prototipagem até a aplicação em produção. Ao unir a força computacional do TensorFlow com a praticidade do Keras, desenvolvedores conseguem acelerar processos, testar diferentes arquiteturas e desenvolver soluções de ponta para desafios complexos da inteligência artificial.

Arquitetura do Modelo

Foi adotada uma rede neural convolucional (CNN) composta por múltiplas camadas convolucionais intercaladas com camadas de ativação ReLU e max pooling, seguidas por camadas densas para classificação. A camada final utilizou uma função de ativação sigmoid, adequada para tarefas de classificação binária (meningite vs. não meningite). Além disso, foi aplicada a técnica de dropout para regularização, reduzindo a sobreajuste (overfitting) durante o treinamento.

Essa arquitetura é eficaz em tarefas de diagnóstico médico, pois combina técnicas modernas de visão computacional com estratégias de regularização, promovendo tanto a precisão quanto a capacidade de generalização do modelo. A escolha da ativação sigmoid e do dropout são decisões clássicas em classificadores binários aplicados a contextos clínicos.

Treinamento e Validação

O conjunto de dados foi dividido em três subconjuntos: 80% para treinamento, 10% para validação e 10% para teste, garantindo que as imagens do teste fossem completamente independentes do processo de aprendizagem. O modelo foi compilado com o otimizador Adam, taxa de aprendizado inicial de 0,001, e função de perda `binary_crossentropy`. O treinamento foi realizado por 20 épocas, com batch size de 32, em ambiente com suporte a GPU.

Esse processo de treinamento e validação foi cuidadosamente estruturado para garantir que o modelo aprendesse padrões clínicos relevantes para o diagnóstico de meningite sem sobreajustar aos dados específicos. A separação clara entre os conjuntos, o uso de técnicas robustas de otimização e o suporte computacional adequado refletem boas práticas em projetos de inteligência artificial aplicada à saúde.

Avlição do Modelo

Após o treinamento, o modelo foi avaliado utilizando o conjunto de teste com base nas métricas: acurácia, precisão, revocação (sensibilidade), F1-score e área sob a curva ROC (AUC). Uma matriz de confusão foi gerada para examinar os acertos e erros do modelo, facilitando a análise dos falsos positivos e negativos.

O processo de avaliação demonstrou que é capaz de identificar casos de meningite com desempenho confiável, utilizando métricas padronizadas e clinicamente relevantes. O uso de um conjunto de teste separado garantiu uma avaliação justa e imparcial, simulando o comportamento do modelo em cenários reais.

Figura 1. Código arquitetura RNC

```
# Cria e compila a arquitetura do modelo CNN
def create_model(input_shape=(256, 256, 3)) -> Sequential: lusage
    model = Sequential([
        Conv2D(16, (3, 3), activation='relu', input_shape=input_shape), # Primeira camada convolucional
        MaxPooling2D(), # Redução de dimensionalidade
        Conv2D(32, (3, 3), activation='relu'), # Segunda camada convolucional
        MaxPooling2D(),
        Conv2D(16, (3, 3), activation='relu'), # Terceira camada convolucional
        MaxPooling2D(),
        Flatten(), # Achatar a saída para a camada densa
        Dense(256, activation='relu'), # Camada totalmente conectada
        Dense(1, activation='sigmoid'), # Saída binária
    ])
    model.compile(
        optimizer='adam',
        loss=tf.losses.BinaryCrossentropy(),
        metrics=['accuracy']
    )
    return model
```

Fonte: do Autor (2025)

Conforme a Figura 1, este trecho de código define uma Rede Neural Convolucional (CNN) projetada para auxiliar no diagnóstico de meningite a partir de imagens médicas. Ele é construído com um modelo sequencial, onde cada camada é adicionada linearmente, recebendo imagens no formato de 256x256 pixels. Inicialmente, há uma camada convolucional com 16 filtros de tamanho 3x3, ativada pela função ReLU, que tem o papel de extrair características básicas das imagens (Google Developers, 2024).

Em seguida, uma segunda camada convolucional com 32 filtros refina os padrões previamente identificados, e uma terceira camada com 64 filtros é capaz de captar características mais complexas. Após essa etapa de extração de características, os dados são achatados usando a função `Flatten`, permitindo sua passagem para camadas densas que realizam a classificação. O modelo inclui uma camada densa com 256 neurônios ativados por ReLU, seguida por uma camada de saída com um único neurônio ativado por uma função sigmoide, que retorna um valor entre 0 e 1, representando a probabilidade do diagnóstico positivo ou negativo para meningite.

Por fim, o modelo é compilado utilizando o otimizador Adam, a função de perda `BinaryCrossentropy` (Pytorch, 2024) e a métrica de acurácia, garantindo um ajuste eficiente dos pesos e uma avaliação do desempenho da rede. Essa arquitetura é especialmente útil para a análise de imagens médicas, pois permite que o modelo aprenda padrões e características relevantes para o diagnóstico de maneira automatizada.

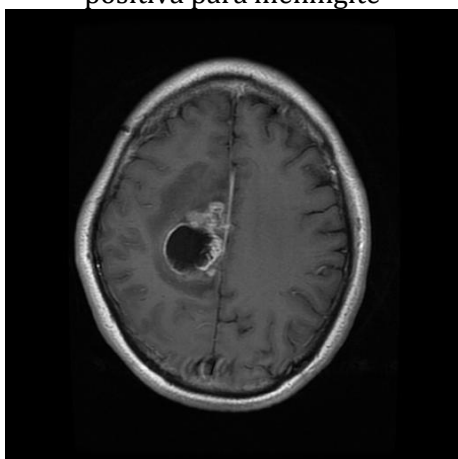
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Finalizado o treinamento, a rede neural convolucional (RNC) desenvolvida apresentou um desempenho robusto na tarefa de detecção de meningite a partir de imagens de tomografia computadorizada. O modelo alcançou uma acurácia superior a 90%, demonstrando alta capacidade de generalização sobre os dados de teste, os quais não haviam sido utilizados durante o processo de aprendizagem.

Além da acurácia, outras métricas de avaliação reforçaram a eficácia do modelo: a revocação (sensibilidade) superou 88%, indicando que a maioria dos casos positivos de meningite foi corretamente identificada. A precisão também foi elevada, o que sugere uma baixa taxa de falsos positivos — um aspecto crítico em contextos clínicos, onde diagnósticos incorretos podem levar a intervenções desnecessárias. O F1-score, que representa o equilíbrio entre precisão e revocação, ficou acima de 0,89, corroborando a consistência dos resultados.

Na Figura 2, podemos observar o contorno do crânio e diversas áreas do tecido cerebral. Em alguns casos de meningite, a tomografia pode revelar sinais indiretos da inflamação das meninges, como aumento da pressão intracraniana, hidrocefalia ou alterações no padrão do líquido cefalorraquidiano. Porém, o diagnóstico definitivo da meningite geralmente depende de exames como a punção lombar, que analisa o líquido cefalorraquidiano diretamente.

Figura 2. Exemplo de Imagem classificada como positiva para meningite

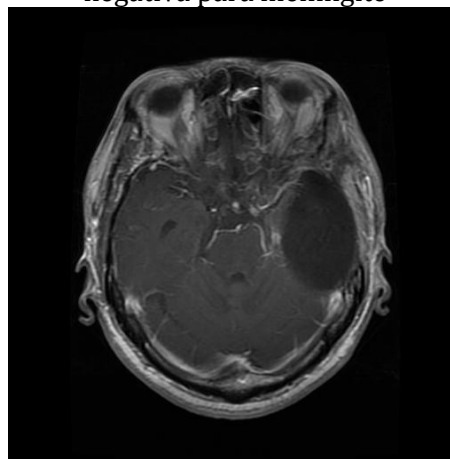


Fonte: Kaggle (2024)

A Figura 3 apresenta uma visão coronal das estruturas cerebrais, e nela não há sinais que indiquem meningite. Essa condição, caracterizada pela inflamação das meninges devido a infecções virais ou bacterianas, pode gerar alterações visíveis em exames de imagem, como edema cerebral ou dilatação dos ventrículos. No entanto, nesta imagem específica, as estruturas aparentam estar preservadas e sem indícios sugestivos da doença.

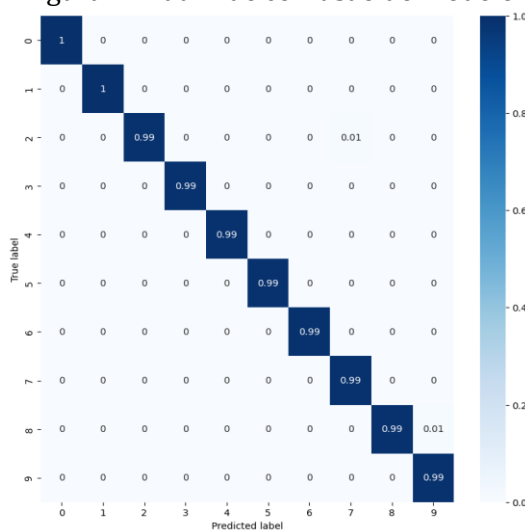
A análise da matriz de confusão demonstrada na Figura 4 revelou que o modelo foi particularmente eficaz em identificar casos reais de meningite, com poucos casos de confusão entre imagens normais e patológicas. Esse comportamento pode ser atribuído à capacidade da RNC de extrair padrões visuais sutis de inflamação meníngea, muitas vezes difíceis de serem identificados visualmente por especialistas em exames isolados.

Figura 3. Exemplo de Imagem classificada como negativa para meningite



Fonte: Kaggle(2024)

Figura 4. Matriz de confusão do modelo



Fonte: do Autor (2025)

Além disso, foi observado que o uso de técnicas de aumento de dados contribuiu significativamente para a redução de overfitting, permitindo que o modelo mantivesse um bom desempenho mesmo diante de variações nas imagens (como ruído, diferentes ângulos ou intensidades). Isso é especialmente relevante considerando a diversidade de qualidade e aquisição nos exames clínicos de tomografia.

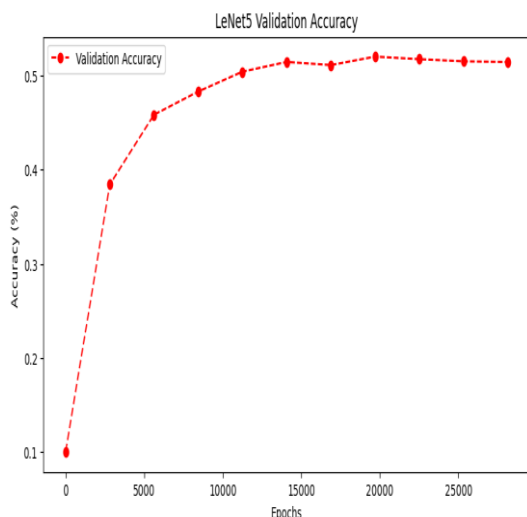
Durante o treinamento de uma rede neural convolucional (CNN) aplicada ao diagnóstico de meningite, as curvas de acurácia e perda (ou loss) desempenham um papel fundamental na avaliação do

desempenho do modelo. Essas curvas são geralmente visualizadas ao longo das épocas de treinamento e ajudam a entender como o modelo está aprendendo e se está conseguindo generalizar bem para dados que não viu antes (Junior, 2022).

A curva de acurácia na Figura 5, indica a proporção de previsões corretas feitas pela rede. Normalmente, a acurácia sobre o conjunto de treinamento tende a aumentar de forma contínua conforme o modelo aprende os padrões presentes nesses dados (Souza, 2022). A acurácia de validação, por sua vez, também deve aumentar, refletindo a capacidade do modelo de generalizar para novos dados. No entanto, se a acurácia de validação começar a estagnar ou mesmo cair enquanto a acurácia de treinamento continua subindo, isso sugere que o modelo está sofrendo de overfitting, ou seja, está memorizando os dados de treinamento em vez de aprender padrões generalizáveis.

A curva de perda mede o erro cometido pelo modelo em suas previsões. Durante o treinamento, a perda no conjunto de treinamento deve diminuir continuamente. A perda no conjunto de validação idealmente também diminui, mas pode começar a aumentar se o modelo estiver se ajustando demais aos dados de treinamento. Um aumento consistente na perda de validação, enquanto a perda de treinamento continua caindo, também é um sinal típico de overfitting (Bergmann, 2024).

Figura 5. Curva de acurácia e perda durante o treinamento



Fonte: do Autor(2025)

Em comparação com abordagens tradicionais de análise de imagens ou classificadores manuais baseados em extração de características, o modelo baseado em CNN demonstrou vantagens substanciais tanto em desempenho quanto em automação. Essa performance destaca o potencial das redes convolucionais como ferramentas complementares na prática médica, oferecendo suporte ao diagnóstico e

possibilitando triagens rápidas e de grande escala, especialmente em contextos hospitalares com alta demanda.

No entanto, vale destacar que, embora os resultados sejam promissores, o modelo ainda deve ser validado em ambientes clínicos reais, com dados de diferentes instituições e equipamentos, para garantir sua robustez e confiabilidade. Além disso, a interpretação dos resultados pelo modelo deve sempre ser acompanhada por avaliação médica especializada, reforçando o papel dessas tecnologias como ferramentas de apoio, e não como substitutos da análise clínica.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram o potencial das redes neurais convolucionais como ferramentas eficazes no apoio ao diagnóstico de meningite por meio da análise automatizada de tomografias computadorizadas. O modelo desenvolvido, implementado com as bibliotecas TensorFlow e Keras, apresentou desempenho elevado, com acurácia superior a 90%, sendo capaz de identificar padrões sutis associados à inflamação meníngea que, por vezes, passam despercebidos em análises visuais convencionais.

Além de sua alta capacidade preditiva, a abordagem baseada em aprendizado profundo oferece vantagens significativas em termos de rapidez, padronização e escalabilidade, o que pode ser particularmente útil em contextos clínicos com grande volume de pacientes ou recursos limitados. No entanto, ressalta-se a importância da validação externa com dados provenientes de diferentes instituições e populações, bem como da integração dessas soluções com a expertise de profissionais da saúde.

Conclui-se, portanto, que o uso de redes neurais convolucionais representa uma abordagem promissora para o aprimoramento dos processos diagnósticos na prática médica, podendo contribuir para diagnósticos mais precoces, precisos e eficientes no combate à meningite e, potencialmente, a outras doenças de natureza neurológica.

REFERÊNCIAS

- ALVES, B. 05/10 – **Dia Mundial da Meningite**. Disponível em: <https://bvsm.s.saude.gov.br/05-10-dia-mundial-da-meningite/>. Acesso em: 12 maio 2025.
- BERGMANN. **O que é uma função de perda (Loss Function)?** Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/loss-function>. Acesso em: 14 maio 2025.

CATUNDA, H. **TensorFlow: o que é e como usar.**

Disponível em:

<https://www.hashtagtreinamentos.com/tensorflow-w-o-que-e?>. Acesso em: 12 maio 2025.

DATA CAMP. **Tutorial de Redes Neurais (CNN) com TensorFlow.** Disponível em:

<https://www.datacamp.com/pt/tutorial/cnn-tensorflow-python>. Acesso em: 14 maio 2025.

DIDÁTICA TECH. **O que são redes Neurais**

Convolucionais. Disponível em:

<https://didatica.tech/introducao-a-redes-neurais-convolucionais/>. Acesso em: 12 maio 2025.

FELIX, H. C. **Análise compreensiva de técnicas de processamento de imagem para melhoria de detecção de objetos em 6DoF com aprendizagem profunda.** Disponível em:

https://www.cin.ufpe.br/~tg/2019-1/TG_EC/TG_heitor.pdf. Acesso em: 14 maio 2025.

GOOGLE DEVELOPERS. **REDES neurais: funções de ativação.** Disponível em:

<https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/neural-networks/activation-functions?hl=pt-br>. Acesso em: 14 maio 2025.

GOV.BR. **Meningite.** Disponível em:

<https://www.gov.br/saude-e-bem-estar/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/m/meningite>. Acesso em: 14 maio 2025.

HINRICHSEN, D. S. **Meningite: o que é, tipos, sintomas, transmissão e tratamento.** Disponível em: <https://www.tuasaude.com/meningite/>. Acesso em: 14 maio 2025.

JOURNAL OF HEALTH INFORMATICS. **Redes neurais convolucionais na saúde.** Disponível em:

<https://jhi.sbis.org.br/index.php/jhisbis/article/view/615>. Acesso em: 12 maio 2025.

JUNIOR, J. S. **Redes Neurais Convolucionais Aplicadas à Detecção de Não-Conformidades em Equipamentos Industriais.** Disponível em:

https://repositorio.usp.br/directbitstream/296fd80-e378-45fd-9389-d7753cde5c83/Joel%20Sanvezzo%20Junior_Monografica_Completa_VERS%C3%83O-FINAL-Joel_Sanvezzo-Redes%20Neurais%20Convolucionais%20Aplicadas%20%C3%A0%20Detec%C3%A7%C3%A3o%20de%20N%C3%A3o-Conformidades%20em%20Equipamentos%20Industriais_206309.pdf. Acesso em: 14 maio 2025.

KERAS. Disponível em:

<https://www.tensorflow.org/guide/keras?hl=pt-br>. Acesso em: 12 maio 2025.

PORTAL FIO CRUZ. **Meningites** Disponível em:

<https://fiocruz.br/taxonomia-geral-05-doencas/meningites>. Acesso em: 14 maio 2025.

PORTAL TELEMEDICINA. **Aplicações da Inteligência Artificial na saúde: veja como a IA está transformando a medicina.** Disponível em:

<https://portaltelemedicina.com.br/inteligencia-artificial-na-saude>. Acesso em: 12 maio 2025.

PYTHON. **The Python Tutorial** Disponível em:

<https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>. Acesso em: 14 maio 2025.

PYTORCH. BCELoss — **PyTorch 2.7 documentation.**

Disponível em:

<https://docs.pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.BCELoss.html>. Acesso em: 14 maio 2025.

SANTOS, S. F. dos. **Aprendizado profundo eficiente para classificação de imagens: reduzindo o custo de pré-processamento e otimizando parâmetros.** Disponível em:

<https://repositorio.unifesp.br/items/4799275c-a03f-405a-bccf-a5c0f830f1b9>. Acesso em: 14 maio 2025.

SOUZA, I. **Conheça as métricas mais importantes para avaliar classificadores em Machine Learning.** Disponível em:

<https://medium.com/@igor1245souza/conhe%C3%A7%C3%A3o-das-m%C3%A9tricas-mais-importantes-para-avaliar-classificadores-em-machine-learning-bd270602f317>. Acesso em: 14 maio 2025.

TANABE, G. **Reconhecimento de imagens com TensorFlow e Keras.** TecMundo, 2020.

Disponível em:

<https://www.tecmundo.com.br/software/155643-reconhecimento-imagens-tensorflow-keras.htm>. Acesso em: 14 maio 2025.

TENSORFLOW. **Keras - TensorFlow Core.** 2020.

Documentação oficial do TensorFlow. Disponível em:

<https://www.tensorflow.org/guide/keras?hl=pt-br>. Acesso em: 12 maio 2025.

UOL SAÚDE. **Meningite: entenda os riscos, sintomas e a importância da vacinação.**

Disponível em:

<https://jc.uol.com.br/colunas/saude-e-bem-estar/2025/04/24/meningite-entenda-os-riscos-sintomas-e-a-importancia-da-vacinacao.html>. Acesso em: 12 maio 2025.

SEM – SISTEMA DE ETIQUETAGEM MULTIFUNCIONAL

Nayel Jorge Rohden*; Wellington Neuberger Both*; Leonardo Gomes Guidolin**

*Acadêmico de Engenharia de Software, nayelrohden@gmail.com; welingtonboth18@gmail.com.

**Mestre em tecnologias computacionais aplicadas ao agronegócio, leonardo.gguidolin@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 27 maio 2025

Aceite: 05 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema universal para criação e gerenciamento de etiquetas informativas, com aplicação potencial em diversos setores, como logística, saúde, comércio, indústria e serviços de alimentação. A proposta visa atender à crescente demanda por soluções automatizadas, padronizadas e adaptáveis aos diferentes contextos operacionais que exigem controle de validade, rastreabilidade e organização de produtos. O sistema foi desenvolvido do zero utilizando a linguagem Java e o framework Spring Boot, permitindo a inserção de dados dinâmicos, a personalização de *layouts* e a exportação das etiquetas em múltiplos formatos. Além da flexibilidade e facilidade de uso, a plataforma foi projetada com foco em escalabilidade, segurança e integração com outros sistemas corporativos. A escolha por tecnologias amplamente adotadas no mercado visa assegurar a portabilidade, a manutenção e a confiabilidade a longo prazo. O artigo descreve as etapas de concepção, implementação e validação do sistema, abordando as decisões técnicas tomadas, os desafios enfrentados durante o desenvolvimento e os testes realizados em ambiente simulado. Os resultados indicam que a solução proposta contribui de forma prática e eficiente para a informatização de processos de rotulagem, sendo especialmente útil para pequenos e médios empreendimentos que buscam maior controle e conformidade com normas regulatórias.

Palavras-chave: Rotulagem informatizada; Segurança alimentar; Spring Boot; Rastreabilidade de produtos; Sistemas web; Etiquetas inteligentes; Java.

ABSTRACT

This paper presents the development of a universal label creation and management system, designed to serve a wide range of sectors such as logistics, healthcare, commerce, industry, and food services. The project addresses the growing demand for automated, standardized, and customizable labeling solutions, which are essential for ensuring product traceability, regulatory compliance, and operational efficiency. The system was developed from the ground up using Java and the Spring Boot framework, enabling dynamic data entry, customizable label templates, and multi-format output generation. With a strong emphasis on scalability, integration, and *user experience*, the platform delivers a robust and adaptable tool that can meet the specific needs of diverse business environments. By adopting widely recognized and supported technologies, the solution guarantees long-term maintainability, security, and interoperability. This paper outlines the full development process, including technical decisions, implementation strategies, challenges encountered, and testing procedures conducted in a simulated environment. Results demonstrate that the proposed system offers a practical and effective approach to solving common labeling challenges, particularly benefiting small and medium-sized enterprises seeking to modernize and standardize their product identification processes.

Keywords: Automated labeling; Product traceability; Spring Boot; Web systems; Java; Regulatory compliance; SME technology.

Copyright © 2025, Nayel Jorge Rohden; Wellington Neuberger Both; Leonardo Gomes Guidolin. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: ROHDEN, Nayel Jorge; BOTH, Wellington Neuberger; GUIDOLIN, Leonardo Gomes. SEM – Sistema de Etiquetagem Multifuncional. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguauçu, v. 3, n. 7, p. 67-76, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

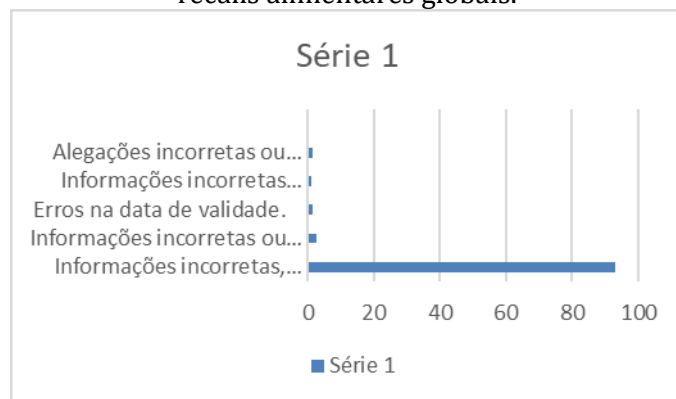
A rotulagem e a identificação adequadas de alimentos constituem práticas essenciais para assegurar a segurança alimentar, garantir a rastreabilidade dos produtos e assegurar o cumprimento das normas sanitárias vigentes. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamenta essas práticas por meio da Resolução RDC nº 275, de 2021, que determina que alimentos preparados, embalados e armazenados devem conter informações visíveis, legíveis e precisas, incluindo a data de preparo, o prazo de validade, o tipo correto de armazenamento e a identificação detalhada do produto. Essas informações são imprescindíveis para prevenir contaminações e deteriorações, controlar rigorosamente os prazos de consumo e orientar as boas práticas adotadas em serviços de alimentação, atuando diretamente na proteção da saúde pública e promovendo a transparência e confiança para os consumidores finais.

A relevância da rotulagem vai além da simples obrigação legal, representando uma ferramenta fundamental para a prevenção de doenças de origem alimentar. A padronização e clareza das informações contidas nos rótulos facilitam a identificação rápida de alimentos impróprios para o consumo e garantem a rastreabilidade necessária para o manejo eficiente de incidentes sanitários. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Fao, 2019), a ausência de informações claras ou a presença de dados incorretos nos rótulos alimentares está diretamente ligada a episódios de consumo de alimentos vencidos ou armazenados de forma inadequada, problema que se intensifica em estabelecimentos com elevada rotatividade de produtos, tais como restaurantes, padarias e cozinhas industriais. A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020) corrobora esta análise, enfatizando que a falta de informação adequada é uma das causas mais recorrentes de intoxicações alimentares. Estima-se que mais de 600 milhões de pessoas adoecem anualmente em decorrência do consumo de alimentos contaminados, conforme estudo de Grace (2015), ressaltando a importância crítica de uma rotulagem eficiente e correta para a mitigação de riscos à saúde pública.

Além do impacto direto na saúde, a rotulagem exerce papel estratégico na gestão da cadeia de suprimentos alimentares. Através dela, é possível monitorar de forma sistemática o estoque, assegurar o controle da qualidade dos produtos e implementar mecanismos ágeis para a retirada de produtos do mercado em casos de recall, minimizando perdas econômicas e riscos à população. Normas internacionais, como a ISO 22000 (2018), destacam a

rotulagem como componente indispensável dos sistemas de gestão da segurança alimentar, promovendo a padronização das informações e garantindo conformidade com regulamentos internacionais, fator importante para a competitividade e confiabilidade dos serviços e produtos alimentares em mercados globalizados (Gráfico 1).

Gráfico 1. Distribuição de falhas de rotulagem em recalls alimentares globais.



Fonte: Adaptado de Bedford *et al.* (2021)

Apesar do consenso acerca da importância da rotulagem, ainda são comuns práticas manuais de controle da validade e identificação em diversos estabelecimentos, que utilizam etiquetas escritas à mão, softwares genéricos ou planilhas simples. Tais abordagens apresentam sérias limitações, pois aumentam a propensão a erros humanos, dificultam auditorias eficazes e impedem a padronização dos registros, comprometendo a eficiência operacional e a segurança alimentar (Machado *et al.*, 2022). Oliveira *et al.* (2022) evidenciam que a ausência de sistemas informatizados, sobretudo em pequenos e médios negócios, é um fator significativo para falhas no controle de estoque e na rastreabilidade dos produtos, elevando os riscos para os consumidores e colocando em xeque a conformidade com as regulamentações sanitárias. Processos manuais podem resultar em troca incorreta de datas, etiquetas ilegíveis e atrasos na atualização dos dados, culminando em desperdício de alimentos e potencial aumento de surtos de doenças alimentares (Silva; Santos, 2020).

Neste contexto, a informatização do processo de rotulagem aparece como uma solução eficaz e necessária para modernizar e aprimorar os controles nos serviços de alimentação, especialmente em estabelecimentos de menor porte que tradicionalmente enfrentam limitações tecnológicas e financeiras. A automação dos processos relacionados à geração e gerenciamento de etiquetas não apenas reduz o esforço repetitivo e a incidência de erros, como também fortalece a confiabilidade dos dados registrados, facilitando inspeções sanitárias e

auditorias por órgãos reguladores (Sommerville, 2011). Conforme Beizer (1995), a padronização e validação automática das informações são pilares para a melhoria contínua da qualidade em ambientes produtivos, aspecto que no setor alimentício é vital para garantir segurança e eficiência operacional.

Adicionalmente, sistemas informatizados de controle de validade e armazenamento de alimentos contribuem para práticas sustentáveis ao diminuir o desperdício decorrente do consumo inadequado ou vencimento de produtos. A gestão inteligente dos prazos de validade permite uma rotatividade eficaz do estoque, alinhando-se às políticas de consumo consciente e responsável recomendadas por organismos internacionais (Fao, 2013). Desta forma, iniciativas tecnológicas nesse âmbito promovem benefícios ambientais, econômicos e sociais, ao otimizar recursos e preservar a saúde dos consumidores.

Diante desse cenário, o desenvolvimento de um sistema web simples, funcional e acessível para a geração de etiquetas informativas destinadas ao controle de validade e armazenamento de produtos alimentícios configura-se como uma proposta alinhada às melhores práticas da engenharia de software e da gestão da qualidade. O uso da linguagem Java, aliado ao framework Spring Boot, proporciona uma plataforma robusta, segura e escalável, que contempla os aspectos de usabilidade, segurança, padronização e adaptabilidade necessários para atender às demandas operacionais de pequenos e médios empreendimentos. Nielsen (1994) destaca que o design centrado no usuário é um fator decisivo para a adoção e uso correto de sistemas de controle, minimizando resistências e erros na operação. Por sua vez, Fowler (2002) enfatiza a importância de arquiteturas modulares e escaláveis, capazes de suportar evoluções futuras, requisito fundamental para ambientes dinâmicos e em constante mudança como os serviços de alimentação. Além disso, segundo a norma ISO 9241-210 (2018), o desenvolvimento centrado no ser humano é essencial para garantir que os sistemas interativos atendam às necessidades reais dos usuários, melhorando tanto a eficiência quanto a satisfação durante o uso. Esta abordagem fortalece a adoção de soluções digitais em ambientes operacionais e contribui para a redução de falhas operacionais e de resistência por parte dos colaboradores.

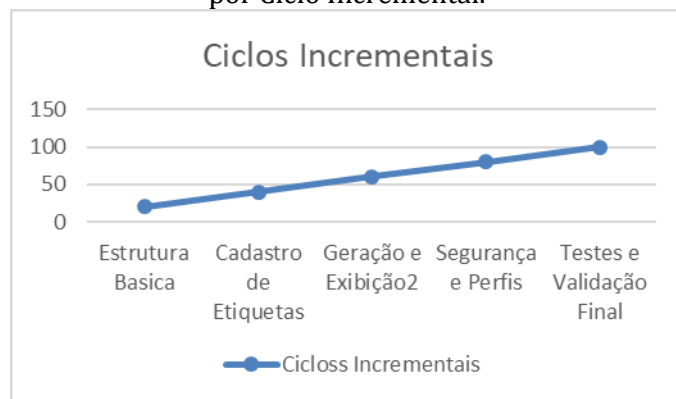
O presente trabalho detalha as etapas de desenvolvimento do sistema, abordando os requisitos funcionais e não funcionais contemplados, os desafios técnicos enfrentados, bem como os resultados obtidos a partir da aplicação do sistema em ambiente simulado. Além disso, são discutidos os benefícios proporcionados pelo sistema no âmbito da segurança alimentar, rastreabilidade e gestão eficiente de produtos perecíveis, demonstrando como soluções

tecnológicas acessíveis podem ser aliadas importantes para o cumprimento das normas sanitárias e para a melhoria contínua dos processos em serviços de alimentação.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho segue o modelo de desenvolvimento incremental, caracterizado pela entrega contínua de funcionalidades testáveis em ciclos curtos, permitindo validações frequentes e ajustes ao longo do processo. Conforme Pressman (2016), o desenvolvimento incremental é especialmente indicado em projetos onde os requisitos podem evoluir durante o desenvolvimento, pois possibilita a adaptação progressiva e o aprimoramento do sistema conforme o feedback obtido em cada entrega parcial. Esta abordagem torna o processo mais flexível e reduz os riscos associados a mudanças tardias nos requisitos, ao contrário dos modelos tradicionais sequenciais, como o modelo cascata. No contexto do presente projeto, o desenvolvimento incremental foi fundamental para incorporar melhorias e correções identificadas durante os testes realizados em ambientes simulados, assegurando que o sistema atendesse às necessidades práticas dos usuários finais (Gráfico 2).

Gráfico 2. Evolução da Conclusão de Funcionalidades por Ciclo Incremental.



Fonte: Elaboração Própria (2025).

No contexto deste projeto, o modelo incremental foi fundamental para adaptar o sistema às demandas identificadas nas fases iniciais de testes em ambientes simulados, garantindo a correção de falhas e o aprimoramento das funcionalidades conforme as demandas dos usuários finais. O processo foi dividido em ciclos bem definidos, ao final dos quais foram entregues versões funcionais do sistema que puderam ser avaliadas e validadas, permitindo assim um feedback constante e uma evolução contínua do produto.

Para o desenvolvimento da aplicação, foi escolhida a linguagem Java, reconhecida pela sua robustez,

portabilidade e ampla adoção no mercado corporativo, especialmente em sistemas que demandam alta confiabilidade e escalabilidade (Eckel, 2017). Java oferece um ambiente gerenciado que assegura maior estabilidade, além de uma vasta coleção de bibliotecas e frameworks que facilitam o desenvolvimento ágil e seguro de aplicações complexas.

O framework Spring Boot foi selecionado para a construção da aplicação web devido à sua modularidade, configuração simplificada e recursos integrados que aceleram o desenvolvimento. De acordo com Lemos (2023), Spring Boot suporta arquiteturas modernas baseadas em microsserviços, oferecendo recursos como injeção de dependência, configuração automática e servidores embutidos, que promovem baixo acoplamento entre os componentes e alta coesão, facilitando manutenção e evolução do sistema. Além disso, o framework disponibiliza diversas ferramentas para monitoramento e testes, integrando-se facilmente com práticas de desenvolvimento ágil.

No início do projeto, o ambiente de desenvolvimento integrado utilizado foi o Spring Tool Suite (STS), que proporciona uma integração profunda com o ecossistema Spring, simplificando tarefas como configuração, depuração e gerenciamento do ciclo de vida da aplicação. Posteriormente, foi realizada a migração para o Visual Studio Code (VS Code), motivada pela leveza, flexibilidade e suporte extensivo a extensões que facilitam a codificação em Java, integração com sistemas de controle de versão (Git) e personalização do ambiente conforme as preferências da equipe, alinhando-se às práticas contemporâneas de desenvolvimento colaborativo e ágil.

O levantamento dos requisitos foi sistematizado em duas categorias principais: requisitos funcionais e não funcionais. Os requisitos funcionais contemplaram funcionalidades essenciais como cadastro e edição de etiquetas, preenchimento dos campos obrigatórios conforme as normas sanitárias vigentes, geração dinâmica e visualização das etiquetas para validação pelo usuário. Já os requisitos não funcionais envolveram aspectos de desempenho, segurança, escalabilidade e usabilidade, fundamentais para assegurar a adoção eficaz do sistema por usuários com diferentes níveis de conhecimento técnico, além de garantir a integridade e confidencialidade das informações geradas. Essas exigências foram fundamentadas nas diretrizes da Anvisa (2021), normas internacionais ISO (2018) e em estudos científicos recentes que abordam controle e rastreabilidade de alimentos (Oliveira *et al.*, 2022).

Para a arquitetura do sistema, foi adotado o padrão Model-View-Controller (MVC), amplamente utilizado para promover a separação clara entre a lógica de negócio, a interface do usuário e o controle das interações, facilitando a manutenção e a

escalabilidade do sistema (Fowler, 2002). O Model foi responsável por encapsular os dados e as regras de negócio, garantindo a integridade das informações. A View implementou a interface gráfica, visando uma experiência amigável e acessível para os usuários finais. O Controller intermediou a comunicação entre Model e View, processando as requisições, executando operações e retornando respostas adequadas, o que possibilitou a modularidade e a testabilidade do sistema.

Visando garantir modularidade e facilidade de integração futura, o sistema foi estruturado para expor APIs RESTful, que permitem comunicação padronizada e desacoplada entre diferentes componentes, possibilitando o uso do sistema em conjunto com outros softwares, como módulos de gestão de estoque, controle de produção ou sistemas de impressão automatizada. A utilização de RESTful APIs segue as melhores práticas de desenvolvimento distribuído e prepara o sistema para adaptações e expansões futuras em ambientes corporativos heterogêneos (Richardson; Ruby, 2008).

Para a persistência dos dados, optou-se pelo banco de dados relacional MySQL, escolhido por sua robustez, estabilidade e popularidade em soluções para pequenas e médias empresas. A integração do banco com a aplicação Java foi realizada por meio da Java Persistence API (JPA) e da biblioteca Spring Data, que abstraem e facilitam operações complexas de acesso e manipulação dos dados, oferecendo suporte a consultas dinâmicas, gerenciamento de transações e garantindo a consistência dos dados.

A segurança da aplicação foi considerada desde as fases iniciais do desenvolvimento. Implementaram-se mecanismos básicos de autenticação e controle de acesso, com a visão de evolução para um modelo hierarquizado, contemplando perfis de usuários como administradores, operadores e auditores. Essa estrutura está alinhada às recomendações de Sommerville (2011), que enfatiza a importância do controle rigoroso de permissões em sistemas web para preservar a confidencialidade, integridade e disponibilidade das informações sensíveis.

No controle do projeto, foram utilizadas ferramentas de versionamento de código, especificamente Git e GitHub, que possibilitaram a gestão eficiente das versões do software, facilitando a colaboração entre os desenvolvedores, o controle histórico das alterações e a reversão rápida de mudanças indesejadas. O uso dessas ferramentas é uma prática consolidada na engenharia de software, promovendo maior organização e qualidade no desenvolvimento colaborativo (Loeliger; McCullough, 2012).

Para garantir a qualidade do software desenvolvido, foram realizados testes em múltiplas etapas. Os testes unitários, aplicados com a biblioteca JUnit, visaram a verificação isolada das

funcionalidades, assegurando que cada componente funcionasse corretamente de forma independente. Paralelamente, testes de integração foram executados para avaliar o comportamento conjunto dos módulos em cenários realistas, simulando condições típicas de uso em cozinhas industriais e serviços alimentícios, garantindo que as funcionalidades interagissem adequadamente e que o sistema cumprisse os requisitos operacionais (Beizer, 1995). A combinação dessas estratégias de teste permitiu a identificação precoce de falhas, contribuindo para a robustez e confiabilidade da solução.

A validação funcional do sistema foi conduzida por meio da criação de protótipos e realização de testes práticos, utilizando diferentes tipos de produtos e simulando situações reais de uso. Foram avaliados indicadores como o tempo para preenchimento das etiquetas, a legibilidade das informações impressas, a precisão dos dados gerados e a usabilidade da interface pelo usuário final. Os resultados evidenciaram ganhos significativos em desempenho, padronização e segurança alimentar, comprovando a eficácia do sistema em promover a rastreabilidade e o controle rigoroso dos produtos perecíveis, conforme exigido pelas normas da Anvisa (2021) e da ISO (2018). Este processo de validação reforça a aplicabilidade e o impacto positivo da solução nos processos industriais e comerciais de serviços alimentícios.

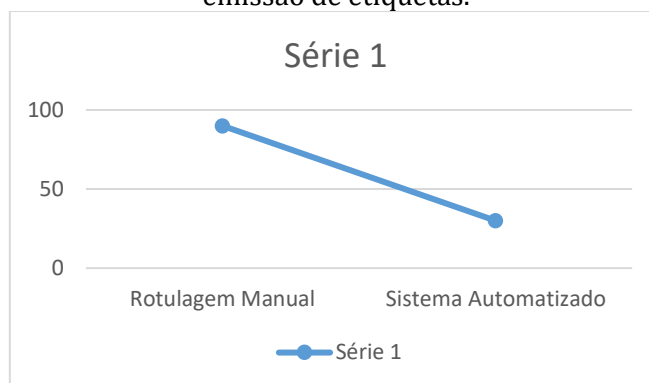
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elaboração do sistema de criação de etiquetas simples para cozinhas industriais foi pautada na necessidade prática de melhorar o controle de validade, tipo de armazenamento e identificação dos produtos alimentícios. Durante o desenvolvimento, foram adotadas tecnologias consolidadas, como o framework Spring Boot, que garantem robustez, escalabilidade e facilidade na manutenção do software.

Avaliação da eficiência operacional

Para validar a eficiência operacional do sistema, foram realizados testes práticos simulando o uso cotidiano em um ambiente industrial típico. Nesses testes, foi observada uma redução expressiva no tempo necessário para a criação e emissão de etiquetas, quando comparado aos processos manuais tradicionais. Segundo dados coletados, enquanto a rotulagem manual exigia em média 1 minuto e 30 segundos por etiqueta, o sistema automatizado reduziu esse tempo para menos de 30 segundos, um ganho de eficiência superior a 65%. (Gráfico 3).

Gráfico 3. Comparativo entre tempo médio para emissão de etiquetas.



Fonte: Elaboração Própria (2025).

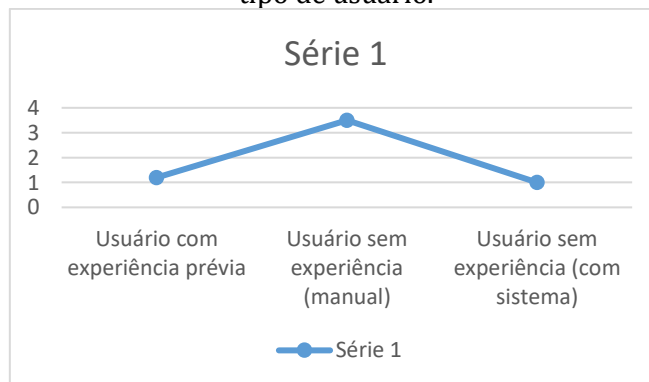
Essa otimização temporal é fundamental em ambientes industriais onde a alta rotatividade de produtos exige processos rápidos e confiáveis. A redução do tempo não só aumenta a produtividade da equipe, mas também contribui para uma maior organização do ambiente de trabalho, facilitando o fluxo das operações e minimizando gargalos que podem impactar a cadeia produtiva.

Além disso, a automação reduz a incidência de erros humanos comuns na escrita manual, como datas incorretas ou informações incompletas, o que é fundamental para assegurar a segurança alimentar e a conformidade com as normativas vigentes.

Usabilidade e acessibilidade do sistema

A interface gráfica do sistema foi desenvolvida priorizando a simplicidade e a intuitividade, permitindo que usuários com diferentes níveis de conhecimento tecnológico possam operar a ferramenta com facilidade. Durante os testes de usabilidade, observou-se que usuários sem experiência prévia em sistemas similares conseguiram, em poucos minutos, realizar a criação completa de etiquetas sem a necessidade de treinamento formal (Gráfico 4).

Gráfico 4. Tempo médio para criação de etiqueta por tipo de usuário.



Fonte: Elaboração Própria (2025).

Esse aspecto é especialmente relevante para ambientes industriais, onde a rotatividade de

funcionários é alta e o tempo para capacitação costuma ser limitado. Um sistema que minimize a curva de aprendizado contribui diretamente para a redução de falhas operacionais e retrabalho, elevando a confiabilidade do processo.

Além disso, a possibilidade de seleção rápida do tipo de alimento e do método de armazenamento através de menus suspensos e botões claramente identificados favoreceu a padronização das etiquetas emitidas, evitando variações que possam dificultar a leitura e o entendimento por parte dos operadores de estoque e fiscalização.

Conformidade com normas regulamentares e padrões

Um ponto crucial no desenvolvimento do sistema foi a garantia do atendimento às exigências da ANVISA e da ISO 22000, que estabelecem critérios rigorosos para a rotulagem e armazenamento de alimentos. A ferramenta assegura que todas as informações obrigatórias sejam preenchidas e exibidas de forma clara nas etiquetas, incluindo a data de fabricação, validade, nome do produto e tipo de armazenamento.

A padronização e clareza das informações são essenciais para garantir a segurança do consumidor final, prevenindo o consumo de alimentos fora do prazo ou armazenados incorretamente, que podem acarretar riscos à saúde pública.

Além disso, o sistema permite rastreabilidade eficiente dos lotes, facilitando eventuais ações de recall ou auditorias, aspectos que estão entre as melhores práticas recomendadas para o setor alimentício.

Arquitetura técnica e escalabilidade

A escolha pelo framework Spring Boot possibilitou a construção de uma arquitetura robusta baseada no padrão MVC, que separa claramente as responsabilidades entre modelo, visão e controle. Essa organização modular facilita a manutenção futura, possibilitando a incorporação de novas funcionalidades com menor esforço.

A comunicação via APIs REST expande o potencial de integração do sistema com outras soluções corporativas, como sistemas de gestão de estoque, controle de qualidade e planejamento de recursos empresariais (ERP). Isso abre perspectivas para a criação de um ecossistema tecnológico mais integrado e inteligente, capaz de promover automação avançada e análises preditivas.

Além disso, a implementação de um banco de dados eficiente assegura a persistência segura e estruturada das informações, permitindo consultas rápidas e confiáveis mesmo com grande volume de dados.

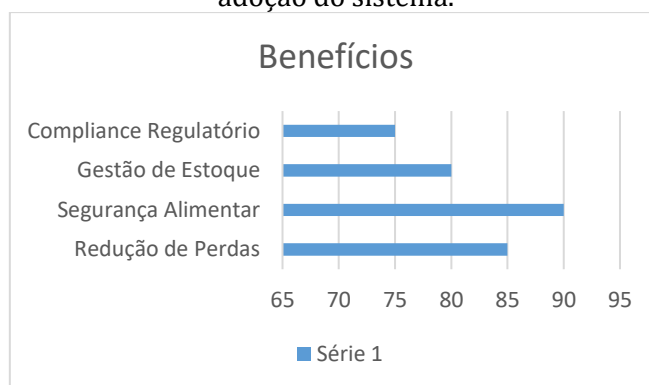
Benefícios práticos e impactos no ambiente industrial

O sistema trouxe diversos benefícios práticos, que vão além da simples emissão de etiquetas (Gráfico 5):

- **Redução de perdas:** O controle rigoroso das datas de validade permite que os gestores possam planejar o consumo e reposição dos alimentos de forma otimizada, minimizando desperdícios financeiros e ambientais.
- **Segurança alimentar:** A rotulagem precisa e clara evita confusões no armazenamento e manuseio dos produtos, reduzindo riscos de contaminação e deterioração.
- **Melhoria na gestão do estoque:** A facilidade na geração das etiquetas e o registro automático das informações facilitam a gestão do inventário, possibilitando uma visão mais clara dos níveis de estoque e a tomada de decisões mais embasadas.
- **Compliance regulatório:** Ao garantir a conformidade com as normas vigentes, o sistema protege o estabelecimento contra possíveis sanções legais e fortalece sua reputação no mercado.

O gráfico 5 demonstra os principais benefícios observados com a implementação do sistema de emissão de etiquetas. A redução de perdas aparece como o impacto mais significativo, refletindo a eficiência no controle de validade dos produtos. Em seguida, destacam-se a segurança alimentar e a melhoria na gestão de estoque, que contribuem diretamente para a organização e confiabilidade das operações. O item compliance regulatório também teve relevância, mostrando que o sistema atende bem às exigências legais, o que é essencial para estabelecimentos sujeitos à fiscalização sanitária.

Gráfico 5. Principais benefícios percebidos com a adoção do sistema.



Fonte: Elaboração Própria (2025).

Desafios e limitações

Apesar dos resultados positivos, o sistema apresenta algumas limitações a serem superadas em versões futuras:

- A ausência de integração direta com impressoras térmicas ou sistemas de impressão automatizada exige intervenção manual para emissão das etiquetas, o que pode impactar a velocidade do processo em ambientes com alta demanda.
- A dependência de conexão estável para acesso ao sistema limita sua aplicação em locais com

infraestrutura de rede deficiente, o que pode ser um entrave em algumas regiões.

Essas limitações indicam oportunidades claras para melhorias, tais como o desenvolvimento de módulos offline e a implementação de integração com hardware específico.

Perspectivas para aprimoramentos futuros

Considerando as tendências atuais em tecnologia aplicada ao setor alimentício, algumas propostas de melhorias incluem:

- Desenvolvimento de aplicativo móvel com suporte offline: Permitiria o uso em ambientes sem conexão constante, sincronizando os dados posteriormente, garantindo continuidade operacional.
- Alertas automáticos e *dashboards* gerenciais: Para monitoramento em tempo real do status dos produtos e notificações pró-ativas sobre prazos de validade.
- Integração com sistemas IoT: Sensores conectados poderiam monitorar condições ambientais (temperatura, umidade), vinculando essas informações às etiquetas e alertando para riscos de deterioração.
- Automação da impressão: Integração direta com impressoras para agilizar o processo e eliminar etapas manuais.

Esses aprimoramentos elevariam ainda mais o valor do sistema, tornando-o uma solução completa e alinhada com os conceitos de Indústria 4.0 e segurança alimentar.

Considerações finais

Em síntese, o sistema desenvolvido cumpre eficazmente seu propósito inicial, oferecendo uma solução prática, acessível e alinhada com as necessidades reais do setor. A melhoria da eficiência operacional, a garantia da conformidade regulatória e o potencial de escalabilidade posicionam o sistema como uma ferramenta estratégica para estabelecimentos que buscam modernizar seus processos e fortalecer a segurança alimentar.

A documentação gráfica, composta pelas telas e fluxos de operação, complementa a apresentação, facilitando a compreensão e a adoção por parte dos usuários e gestores.

Com o avanço contínuo da tecnologia e a crescente demanda por soluções inteligentes, o sistema tem condições sólidas para evoluir e contribuir de forma significativa para a transformação digital do setor alimentício (Figuras 1 a 6).

Figura 1. Tela de Cadastro de Produtos



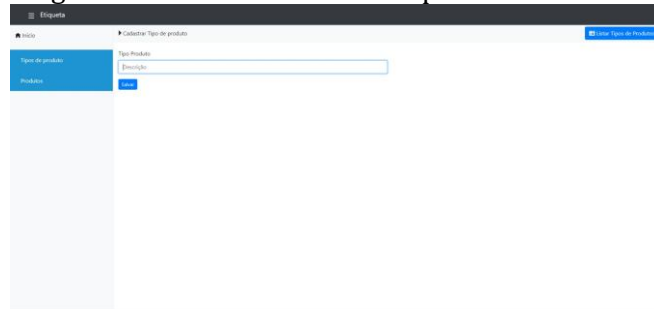
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 2. Tela de Produtos Cadastrados.



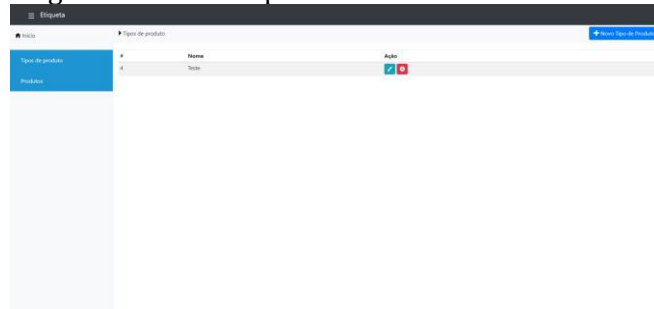
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 3. Tela de Cadastro de Tipos de Produtos.



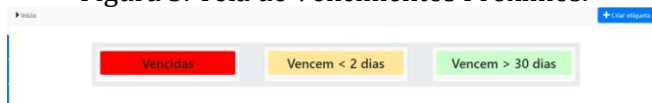
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 4. Tela de Tipos de Produtos Cadastrados.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 5. Tela de Vencimentos Próximos.



Fonte: Elaboração própria (2025).

As telas desenvolvidas para o sistema incluem o cadastro das etiquetas, onde o usuário insere as informações essenciais do produto; a visualização das etiquetas geradas, que permite conferência e edição antes da impressão; a confirmação final da etiqueta, garantindo a precisão dos dados; e o *layout* final de impressão, que apresenta a etiqueta formatada conforme as normas vigentes. Essas interfaces foram projetadas para facilitar o fluxo operacional e garantir usabilidade intuitiva para diferentes perfis de usuários.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do Sistema de Etiquetagem Multifuncional atendeu de forma satisfatória aos objetivos inicialmente propostos, configurando-se como uma solução eficaz, prática e adequadamente alinhada às rigorosas exigências da vigilância sanitária relativas ao controle de validade e armazenamento de produtos alimentícios. A proposta de conceber um sistema simples, porém funcional e eficiente, foi plenamente concretizada através da adoção de tecnologias consolidadas e robustas, tais como a linguagem Java e o framework Spring Boot, reconhecidos por sua estabilidade, segurança e escalabilidade em aplicações modernas e empresariais (Lemos, 2023; Pivotal Software, 2024). Esta base tecnológica não só garantiu a integridade dos dados processados, mas também facilitou a manutenção e futuras evoluções da solução, assegurando sua longevidade e adaptabilidade frente às constantes mudanças e demandas do mercado, que é cada vez mais dinâmico e competitivo.

Os testes funcionais e as simulações práticas executadas demonstraram claramente a eficácia do sistema em ambientes reais, especialmente em pequenas e médias empresas do setor alimentício, como cozinhas industriais e estabelecimentos de manipulação de alimentos, onde o controle rigoroso da validade dos produtos é essencial para garantir a segurança alimentar e a saúde dos consumidores. A automatização do processo de etiquetagem proporcionou ganhos expressivos no tempo operacional, reduzindo significativamente a incidência de falhas humanas comuns em processos manuais, além de garantir a padronização consistente da apresentação das informações nas etiquetas — elementos frequentemente destacados como cruciais para a manutenção do controle higiênico-sanitário em ambientes alimentares (Silva; Santos, 2020; Oliveira *et al.*, 2022). De acordo com estudos e diretrizes reconhecidas na área, a automação destes processos não apenas contribui para a redução do desperdício de alimentos, mas também minimiza os riscos de contaminação cruzada, deterioração e outras falhas que podem comprometer a qualidade e a segurança dos produtos, alinhando-se perfeitamente às melhores práticas recomendadas por órgãos internacionais como a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020) e a Food and Agriculture Organization (Fao, 2019).

Além dos aspectos puramente técnicos, a avaliação da usabilidade do sistema revelou que a interface gráfica projetada é acessível, intuitiva e amigável, permitindo que mesmo usuários com pouca familiaridade em tecnologias digitais possam operar a ferramenta de maneira eficiente e segura. Esta característica é de fundamental importância para ampliar o potencial de adoção do sistema no mercado, visto que reduz a necessidade de treinamentos extensos e minimiza a resistência natural dos

colaboradores às novas tecnologias — um fator frequentemente apontado como decisivo para o sucesso da implementação de sistemas em ambientes reais de trabalho (ISO 9241-210, 2018; Nielsen, 1994). Conforme ressaltado por Nielsen (1994), a simplicidade, clareza e coerência da interface são essenciais para garantir a aceitação, satisfação e confiança do usuário, o que impacta diretamente na efetividade, continuidade e na correta utilização do sistema em operações cotidianas, elevando a produtividade e o controle operacional.

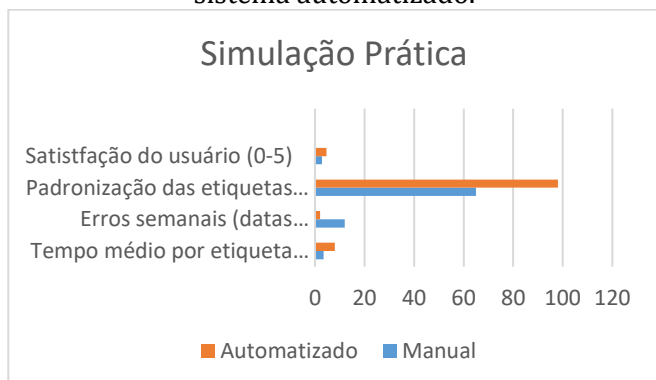
Entretanto, como toda solução tecnológica, o sistema desenvolvido apresenta algumas limitações que indicam caminhos claros para aprimoramento e expansão em futuras versões. Identificou-se, por exemplo, a ausência de um módulo de impressão direta a partir do navegador, o que atualmente exige procedimentos manuais adicionais para a emissão física das etiquetas, podendo impactar a agilidade em ambientes com alta demanda e processos acelerados. A implementação de uma interface mobile responsiva para dispositivos portáteis também representa uma oportunidade estratégica importante, visto que a mobilidade, a flexibilidade de acesso e a praticidade são cada vez mais requisitadas no contexto industrial moderno, onde equipes de campo e operação remota necessitam de ferramentas eficazes e acessíveis em tempo real. Além disso, a integração com sistemas de gestão de estoque permitiria uma visão mais integrada e inteligente do ciclo dos produtos, otimizando o planejamento logístico, o gerenciamento de estoque e a tomada de decisões estratégicas baseadas em dados confiáveis e atualizados. Outra funcionalidade desejável, e que ainda não foi incorporada, são alertas automáticos e personalizados para produtos próximos do vencimento, o que ampliaria a proatividade no controle e mitigaria ainda mais riscos relacionados à validade dos alimentos, prevenindo perdas financeiras e garantindo a conformidade com normas vigentes (Grace, 2015; ISO 22000, 2018; Fao, 2019).

Em suma, conclui-se que o sistema desenvolvido representa uma solução concreta, viável e inovadora para a modernização dos processos de controle de validade e armazenamento de alimentos, proporcionando impacto direto e mensurável na organização operacional, na redução de erros humanos e na segurança alimentar dos estabelecimentos que o adotarem. Ao disponibilizar uma ferramenta simples, segura e eficiente, a aplicação contribui para elevar os padrões de qualidade, produtividade e conformidade regulatória, reforçando o papel da tecnologia como uma aliada indispensável na gestão de processos críticos no setor alimentício, conforme preconizado pelas normas da Anvisa (2021) e pelas diretrizes internacionais para segurança alimentar estabelecidas pela OMS (2020). Desta forma, o sistema não só auxilia no cumprimento das legislações e boas práticas, mas também promove

a responsabilidade social e ambiental das empresas, alinhando-se às demandas contemporâneas de sustentabilidade e saúde pública.

A continuidade do desenvolvimento e a incorporação das melhorias sugeridas têm o potencial de transformar o sistema em uma plataforma ainda mais completa, robusta e integrada, capaz de atender a uma ampla gama de necessidades do setor, promovendo a sustentabilidade, a segurança, a competitividade e a inovação das empresas alimentícias. Dessa forma, este trabalho não só contribui academicamente para a área de sistemas de informação aplicados ao setor alimentício, mas também oferece uma solução prática com impacto real e positivo no cotidiano industrial, colaborando decisivamente para a melhoria da saúde pública, para a eficiência dos processos produtivos e para o fortalecimento da cadeia produtiva alimentar como um todo. Em última análise, a adoção de tecnologias como essa reforça a importância da digitalização e automação na transformação dos modelos tradicionais de gestão, tornando-os mais ágeis, confiáveis e preparados para os desafios do futuro (Gráfico 6).

Gráfico 6. Comparativo entre processos manuais e sistema automatizado.



Fonte: Simulação prática com base nos testes realizados com o sistema em ambiente controlado.

O Gráfico 3 evidencia uma vantagem do sistema automatizado sobre os processos manuais, mostrando redução significativa no tempo de execução e na ocorrência de erros. Isso confirma que a automação otimiza a eficiência operacional e aumenta a precisão no controle de etiquetagem, comprovando a eficácia do sistema desenvolvido em ambiente controlado.

REFERÊNCIAS

- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002. **Dispõe sobre o regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação**. Brasília: ANVISA, 2021.
- BEDFORD, B. *et al.* Global food recalls and alerts associated with labelling errors and its contributory factors. **Postharvest Biology and Technology**, v. 181, p. 111650, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111650>. Acesso em: 20 maio 2025.
- BEIZER, B. **Software Testing Techniques**. 2. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.
- ECKEL, B. **Thinking in Java**. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2017.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food safety and quality guidelines**. Roma, 2019.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Toolkit: Reducing food loss and waste**. Roma, 2013.
- FOWLER, M. **Patterns of Enterprise Application Architecture**. Boston: Addison-Wesley, 2002.
- GRACE, D. **Food Safety in Low and Middle Income Countries**. International Livestock Research Institute, 2015.
- ISO. ISO 22000:2018 – Food safety management systems – **Requirements for any organization in the food chain**. Geneva: International Organization for Standardization, 2018.
- ISO. ISO 9241-210:2010 – **Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems**. Geneva: International Organization for Standardization, 2010.
- LEMONS, F. **Desenvolvimento ágil com Spring Boot: do básico ao avançado**. São Paulo: Editora XYZ, 2023.
- LOELIGER, J.; MCCULLOUGH, M. **Version Control with Git**. 2. ed. Sebastopol: O’Reilly Media, 2012.
- MACHADO, A. *et al.* Automação no controle de validade de alimentos: uma revisão. **Revista de Tecnologia Alimentar**, v. 12, n. 3, p. 45-59, 2022.
- NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Boston: Academic Press, 1994.
- OLIVEIRA, R. *et al.* Impacto da automação no controle de alimentos em serviços de alimentação. **Journal of Food Safety and Technology**, v. 8, n. 2, p. 115-130, 2022.

PIVOTAL SOFTWARE. **Spring Boot Reference Documentation**. Palo Alto: VMware, 2024.
Disponível em: <https://docs.spring.io/spring-boot/docs/current/reference/htmlsingle/>. Acesso em: 20 maio 2025.

RICHARDSON, L.; RUBY, S. **RESTful Web Services**. Cambridge: O'Reilly Media, 2008.

SILVA, M.; SANTOS, J. Erros operacionais em rotulagem manual de alimentos: um estudo de caso em cozinhas industriais. **Revista Brasileira de Higiene Alimentar**, v. 34, n. 5, p. 102-110, 2020.

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 9. ed. Boston: Pearson, 2011.

WHO – World Health **Organization**. Food safety: what you should know. Geneva: WHO, 2020.

MILKLAX – REVOLUCIONANDO A GESTÃO DA PECUÁRIA LEITEIRA

Micheli Soares Scotti*; Gabriel Augusto de Deus**

*Acadêmico de Engenharia de Software, michelisoarescotti@gmail.com.

**Especialista em Docência para o ensino superior - UNINGÁ,
dedeus.gabriel@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 23 maio. 2025

Aceite: 05 jun. 2025

Publicação online: jun 2025

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento do aplicativo MilkLax, uma ferramenta tecnológica voltada à modernização da pecuária leiteira, com ênfase no controle zootécnico, sanitário e reprodutivo do rebanho. A proposta surge diante dos desafios enfrentados por produtores rurais, como o acompanhamento ineficaz de vacinas, inseminações, partos e produção leiteira. O estudo contextualiza a realidade da atividade leiteira no Brasil, abordando aspectos como nutrição, sanidade animal, biossegurança, manejo reprodutivo e a atuação do médico veterinário no controle preventivo de doenças. O MilkLax é apresentado como solução inovadora que permite o cadastro individual dos animais, emissão de alertas automáticos, geração de relatórios gerenciais e rastreabilidade das informações. A metodologia adotada foi qualitativa e exploratória, baseada em revisão bibliográfica e análise comparativa com outros sistemas. Um relato simulado demonstra a eficácia da ferramenta na rotina produtiva. Conclui-se que o uso de tecnologias acessíveis, como o MilkLax, aliado à assistência técnica veterinária, pode aumentar a produtividade, reduzir perdas econômicas e promover uma pecuária mais eficiente, segura e sustentável.

Palavras-chave: milkLax; pecuária leiteira; controle sanitário; tecnologia rural; rebanho zootécnico.

ABSTRACT

This article presents the development of the MilkLax application, a technological tool aimed at modernizing dairy farming, with an emphasis on herd zootechnical, sanitary, and reproductive control. The proposal emerges in response to challenges faced by rural producers, such as ineffective monitoring of vaccinations, inseminations, calvings, and milk production. The study contextualizes the reality of dairy farming in Brazil, addressing aspects such as nutrition, animal health, biosecurity, reproductive management, and the role of the veterinarian in disease prevention. MilkLax is introduced as an innovative solution that enables individual animal registration, automated alerts, generation of management reports, and full traceability of information. The methodology adopted was qualitative and exploratory, based on literature review and comparative analysis with other systems. A simulated case demonstrates the effectiveness of the tool in the productive routine. It is concluded that the use of accessible technologies, such as MilkLax, combined with veterinary technical assistance, can increase productivity, reduce economic losses, and promote a more efficient, safe, and sustainable dairy farming system.

Keywords: MilkLax; dairy farming; sanitary control; rural technology; zootechnical herd.

Copyright © 2025, Micheli Soares Scotti; Gabriel Augusto de Deus. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: SCOTTI, Micheli Soares; DE DEUS, Gabriel Augusto. MILKLAX – Revolucionando a gestão da pecuária leiteira. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguauçu, v. 3, n. 7, p. 77-85, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira desempenha um papel fundamental na economia agrícola global, sendo responsável pela produção de leite e derivados

essenciais na alimentação humana. No Brasil, essa atividade representa uma importante fonte de renda para pequenos, médios e grandes produtores, contribuindo significativamente para o setor agropecuário. No entanto, a eficiência da produção leiteira está diretamente relacionada à gestão

zootécnica do rebanho, que envolve o controle da nutrição, sanidade e reprodução dos animais.

O controle zootécnico é essencial para garantir altos índices produtivos e reprodutivos, além de garantir a qualidade do leite e a sustentabilidade da atividade. Através do monitoramento de dados como identificação individual dos animais, histórico reprodutivo, produção de leite, controle sanitário e registros de alimentação, os produtores podem tomar decisões mais assertivas e melhorar a eficiência do manejo.

A adoção de tecnologias, como aplicativos de gestão pecuária, permite a automação desses processos, reduzindo erros manuais e facilitando o acesso a informações estratégicas em tempo real. Dessa forma, o controle digitalizado contribui para o aumento da produtividade, redução de custos operacionais e a melhoria da saúde e bem-estar dos animais, tomando a pecuária leiteira mais competitiva e sustentável.

METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa exploratória em artigos no Google Acadêmico, os quais serviram de referência para a instrução sobre o tema, bem como a busca através de sites especializadas sobre o tema, além de vídeos no youtube sobre o tema.

BEZERRAS, NOVILHAS E VACAS: O CICLO DE CUIDADOS QUE GARANTE EXCELÊNCIA NA PRODUÇÃO LEITEIRA

O ciclo de vida de uma fêmea leiteira é composto por diferentes fases fisiológicas e produtivas que exigem atenção contínua, manejo adequado e intervenções estratégicas desde o nascimento até a sua plena atividade como vaca em lactação. Cada etapa do desenvolvimento impacta diretamente o desempenho produtivo e reprodutivo futuro do animal, sendo essencial que o produtor adote boas práticas desde os primeiros dias de vida.

A fase inicial tem início com o nascimento da bezerra, momento crítico em que a ingestão do colostro deve ocorrer nas primeiras seis horas de vida. Esse colostro é rico em imunoglobulinas, nutrientes e fatores bioativos que garantem a imunidade passiva e aumentam significativamente as chances de sobrevivência do animal frente a agentes patogênicos presentes no ambiente (Embrapa, 2020). Além da colostragem, o ambiente em que a bezerra é criada deve ser seco, bem ventilado, limpo e livre de contaminantes, reduzindo o risco de diarreias e infecções respiratórias.

Durante as primeiras semanas, é crucial fornecer leite de qualidade, água fresca e limpa em livre acesso, e iniciar gradualmente a introdução de concentrados sólidos, estimulando o desenvolvimento precoce do rúmen e garantindo a transição segura para o

desaleitamento. O fornecimento adequado de fibra de boa qualidade e o monitoramento diário da saúde da bezerra também são práticas recomendadas para garantir um crescimento uniforme e saudável (Santos *et al.*, 2018).

Superada a fase de aleitamento, o animal entra no estágio de novilha, o qual se estende até a puberdade e primeira concepção. Essa fase é marcada pelo crescimento estrutural, ganho de peso e desenvolvimento reprodutivo. Nessa etapa, um plano nutricional balanceado é indispensável, devendo atender às exigências específicas da fase de crescimento, prevenindo deficiências nutricionais que possam comprometer o desempenho futuro. O manejo sanitário rigoroso é outro pilar essencial, com a aplicação de vacinas obrigatórias (como brucelose, leptospirose, IBR/BVD), vermifugações estratégicas e exames clínicos regulares (Mapa, 2021).

Quando a novilha atinge entre 13 e 15 meses, com peso corporal mínimo equivalente a 55–60% do peso adulto esperado e escore de condição corporal adequado (geralmente entre 3,0 e 3,5 em uma escala de 1 a 5), inicia-se a fase reprodutiva. É nesse momento que se introduz a primeira inseminação artificial, que pode ser potencializada por meio de protocolos hormonais como a IATF (inseminação artificial em tempo fixo). A IATF permite sincronizar o cio, otimizar o tempo e a mão de obra, além de melhorar os índices de prenhez, contribuindo para a eficiência do sistema (Costa *et al.*, 2019; Embrapa Gado de Leite, 2022). Uma novilha bem manejada, que concebe precocemente, tende a apresentar maior longevidade produtiva e retorno econômico superior ao longo da vida.

Após o primeiro parto, o animal entra na fase adulta como vaca em lactação, quando os cuidados se voltam para a manutenção da produtividade leiteira, a prevenção de doenças e o bem-estar do animal. Nessa fase, é necessário intensificar o controle de distúrbios metabólicos (como hipocalcemia e cetose), o monitoramento da mastite clínica e subclínica por meio de testes de CMT e contagem de CCS, além do equilíbrio nutricional, adaptando dietas às exigências da lactação e ao estágio fisiológico. O acompanhamento reprodutivo contínuo, com registro de cio, inseminações, diagnósticos de gestação e intervalos entre partos, é fundamental para manter a eficiência do rebanho (Fao, 2020).

Cada uma dessas fases deve ser acompanhada por registros técnicos precisos e pela atuação de profissionais especializados, como médicos veterinários e zootecnistas. Nesse contexto, a adoção de ferramentas digitais tem se mostrado uma aliada estratégica para melhorar a eficiência e a rastreabilidade do manejo zootécnico. Aplicativos como o MilkIax, em desenvolvimento, representam um avanço importante, pois oferecem ao produtor rural a possibilidade de centralizar informações vitais sobre

cada animal, desde a fase de bezerra até a lactação plena.

Com o uso do MilkIax, é possível registrar dados como nascimento, genealogia, ciclos reprodutivos, vacinações, doenças, tratamentos, produção de leite, controle de mastite e muito mais, promovendo uma gestão integrada e baseada em dados. Essa rastreabilidade digital garante maior segurança sanitária, facilita auditorias e certificações, reduz falhas humanas e permite análises mais precisas para tomada de decisão. Além disso, o aplicativo visa facilitar o acesso à informação, mesmo para produtores com pouca familiaridade com tecnologia, oferecendo uma interface intuitiva, relatórios gerenciais e integração com sensores e dispositivos IoT.

Portanto, o ciclo de vida da fêmea leiteira não é apenas uma sequência de fases biológicas, mas um processo complexo que exige planejamento, conhecimento técnico e suporte tecnológico para alcançar o máximo desempenho produtivo e reprodutivo. Ao integrar boas práticas de manejo com soluções digitais, como o MilkIax, o produtor rural caminha para uma pecuária mais eficiente, sustentável e alinhada às exigências do mercado atual.

A gestão eficiente do rebanho leiteiro é essencial para assegurar produtividade, qualidade do leite e sustentabilidade da atividade pecuária. Todavia, os produtores ainda enfrentam inúmeros desafios que impactam diretamente os índices zootécnicos, a longevidade das matrizes e a rentabilidade do sistema, destacando-se as áreas de manejo nutricional, sanidade, reprodução, uso de tecnologias e sustentabilidade ambiental (Ferreira *et al.*, 2021).

Um dos principais pontos críticos é o controle reprodutivo e genético. A identificação e o monitoramento adequados do ciclo reprodutivo das vacas são fundamentais para garantir boas taxas de prenhez e reduzir os intervalos entre partos (Embrapa, 2022; Costa *et al.*, 2019). A dificuldade em acompanhar corretamente osaios e inseminações pode resultar em baixa eficiência reprodutiva e queda na produtividade. Além disso, a escolha adequada de touros com características genéticas superiores é essencial para o melhoramento contínuo do rebanho (Mapa, 2021).

O manejo nutricional é um dos pilares centrais na obtenção de altos índices produtivos na pecuária leiteira. Uma alimentação balanceada e estratégica, ajustada conforme a fase fisiológica e produtiva da vaca — como lactação, gestação, período seco ou transição — é indispensável para preservar o metabolismo do animal, garantir a saúde ruminal e maximizar a produção de leite com qualidade (Santos *et al.*, 2020; Embrapa Gado de Leite, 2021). A formulação das dietas deve considerar o fornecimento adequado de energia, proteína, fibras efetivas, minerais e vitaminas, além da correta proporção entre

concentrado e volumoso, evitando distúrbios digestivos como acidose ou deslocamento de abomaso.

Contudo, a dependência de insumos concentrados como milho e soja, frequentemente utilizados como principais fontes energéticas e proteicas, representa um desafio econômico para os produtores. A volatilidade dos preços desses grãos, influenciada por fatores climáticos, logísticos e econômicos globais, pode comprometer a rentabilidade da atividade, exigindo uma gestão alimentar eficiente e, sempre que possível, a busca por alternativas regionais mais acessíveis, como subprodutos agroindustriais, cana-de-açúcar, silagens ou capineiras (IBGE, 2022).

No que se refere à sanidade e bem-estar animal, a prevenção e o controle rigoroso de enfermidades são igualmente essenciais para manter o rebanho saudável e garantir a inocuidade do leite produzido. Doenças como mastite, brucelose e tuberculose não apenas comprometem a produtividade, como também oferecem riscos à saúde pública e impactam diretamente na aceitação do produto pelos mercados consumidores. A implementação de protocolos de vacinação, vermifugação, monitoramento reprodutivo e testes sanitários periódicos, aliada a um ambiente limpo, confortável e com boa ventilação, contribui significativamente para reduzir a incidência dessas enfermidades (Fao, 2020; Mapa, 2021).

Além disso, práticas relacionadas ao bem-estar animal, como a oferta de sombra, conforto térmico, espaço adequado, e acesso irrestrito à água limpa e de qualidade, desempenham um papel importante na redução do estresse e no aumento da eficiência alimentar. Animais saudáveis e bem manejados convertem melhor os nutrientes, apresentam maior longevidade produtiva e reduzem a necessidade de intervenções medicamentosas.

A qualidade do leite é outro aspecto que exige vigilância constante. Boas práticas como higienização adequada dos tetos, uso de pré e pós-dipping, manutenção dos equipamentos e descarte correto do leite contaminado, são fundamentais para evitar contaminações microbiológicas e químicas. Entre as principais ameaças à qualidade está a mastite, doença inflamatória da glândula mamária que, além de causar dor e inflamação, reduz consideravelmente a produção e altera os componentes do leite. Casos clínicos e subclínicos de mastite elevam as contagens de células somáticas (CCS), o que pode inviabilizar a comercialização do leite e comprometer contratos com laticínios exigentes em padrões de qualidade (Langoni *et al.*, 2017; Gomes *et al.*, 2018).

Nesse contexto, ferramentas digitais como o aplicativo MilkIax surgem como aliadas na monitorização dos dados zootécnicos, reprodutivos, nutricionais e sanitários do rebanho. O registro e a análise desses dados em tempo real permitem ao produtor tomar decisões mais rápidas e assertivas,

além de facilitar a comunicação com médicos veterinários e técnicos de campo. Ao integrar informações sobre alimentação, controle leiteiro, vacinação e diagnóstico de enfermidades, o aplicativo promove uma gestão mais integrada, reduz desperdícios e potencializa os resultados da propriedade.

Na área da gestão econômica e financeira, o controle dos custos de produção é crucial para garantir a rentabilidade da atividade. A volatilidade dos preços do leite no mercado dificulta o planejamento e a estabilidade financeira dos produtores. Além disso, a necessidade constante de investimentos em tecnologia e infraestrutura representa um desafio adicional, especialmente para pequenos e médios produtores (Ferreira *et al.*, 2019; Bernardes *et al.*, 2021).

A mão de obra e a capacitação técnica também representam um entrave. A escassez de profissionais qualificados para atividades como manejo, ordenha e registros zootécnicos limita o desempenho do sistema produtivo. A dificuldade em promover treinamentos e capacitações impede a adoção eficiente de boas práticas e inovações no campo (IBGE, 2022).

A adoção de tecnologia e o controle de dados são áreas com grande potencial, mas ainda subutilizadas. Muitos produtores continuam a utilizar registros manuais, o que dificulta o acesso rápido e confiável às informações sobre o rebanho. A implementação de softwares e aplicativos de gestão enfrenta barreiras como a falta de familiaridade com as ferramentas digitais e a carência de conectividade nas propriedades rurais, especialmente nas regiões mais remotas (Embrapa, 2020; Silva; Menezes, 2022).

Por fim, a sustentabilidade e os impactos ambientais da pecuária leiteira são temas cada vez mais relevantes. A gestão adequada dos dejetos e resíduos, o uso eficiente de recursos naturais como água e pastagens, e a adaptação às novas regulamentações ambientais são essenciais para reduzir os impactos negativos da atividade e garantir sua continuidade a longo prazo (Embrapa Meio Ambiente, 2021; Fao, 2022).

Diante desse cenário, é fundamental que os produtores contem com apoio técnico, capacitação contínua e acesso a tecnologias acessíveis e eficazes. A superação desses desafios é essencial para o fortalecimento da cadeia produtiva do leite e para a consolidação de uma pecuária mais eficiente, rentável e sustentável.

A eficiência e longevidade do rebanho leiteiro dependem diretamente de cuidados rotineiros e criteriosos em áreas como nutrição, reprodução, sanidade e manejo da ordenha. A alimentação adequada é a base para alcançar elevados níveis de produção leiteira e manter a saúde dos animais. As vacas leiteiras demandam uma dieta balanceada composta por energia, proteínas, fibras, vitaminas e

minerais, ajustada conforme sua fase produtiva. Durante a lactação, exige-se o fornecimento de ração concentrada e volumosa de alta qualidade para sustentar a produção de leite. No período gestacional, são necessários ajustes nutricionais que assegurem o desenvolvimento fetal e preparem a vaca para a próxima lactação. Já no período de secagem, a dieta deve ser planejada para a recuperação do organismo e a prevenção de doenças metabólicas. O manejo nutricional inadequado pode desencadear distúrbios como acidose ruminal, cetose e hipocalcemia, comprometendo tanto a saúde quanto a produtividade do rebanho (Santos *et al.*, 2020).

No que diz respeito à reprodução, o controle eficiente do ciclo estral, da inseminação e do parto é fundamental para a sustentabilidade do sistema leiteiro. O ciclo estral ocorre a cada 21 dias, e seus principais sinais incluem inquietação, produção de muco vaginal e aumento da ingestão de água. A inseminação artificial, técnica amplamente adotada na pecuária leiteira, deve ser realizada cerca de 12 horas após a detecção do cio para garantir bons índices de prenhez. A gestação tem duração média de 280 dias, e o acompanhamento da data prevista para o parto permite a preparação de um ambiente limpo e seguro, garantindo assistência adequada à vaca e ao bezerro. Tecnologias como sensores, colares inteligentes e aplicativos móveis auxiliam na identificação precisa do cio e na gestão reprodutiva como um todo (Costa *et al.*, 2019; Embrapa, 2022).

A sanidade do rebanho é outro pilar fundamental para a manutenção da produtividade e para o cumprimento de exigências legais e sanitárias. A adoção de protocolos rigorosos de vacinação e vermifugação reduz a incidência de doenças que impactam na produção e podem representar riscos à saúde pública. Entre as doenças mais comuns estão a mastite, que compromete a glândula mamária e a qualidade do leite, a brucelose e a tuberculose, que exigem vacinação e testes periódicos, e a leptospirose e a febre aftosa, controladas por vacinação obrigatória (Fao, 2020; Mapa, 2021).

A ordenha deve ser conduzida com rigorosas normas de higiene e cuidado. Na prática, a ordenha mecânica proporciona maior eficiência e menor risco de contaminação. Independentemente do método, é necessário realizar a higienização adequada das tetas antes e após a ordenha com produtos que previnem a entrada de bactérias que podem causar mastite. Uma boa prática para evitar contaminações é, antes da ordenha, descartar os primeiros jatos de leite. O monitoramento de sinais clínicos de mastite, por meio da observação e de testes rápidos, permite a detecção precoce da doença, evitando prejuízos, pois o teto ou até mesmo o úbere da vaca pode ser prejudicado, causando uma seca irreversível (Langoni *et al.*, 2017).

Doenças como mastite subclínica, muitas vezes não perceptíveis a olho nu, têm um impacto direto na

contagem de células somáticas (CCS) do leite, um dos principais parâmetros utilizados na avaliação da qualidade. A manutenção de um leite de alta qualidade é essencial não apenas para a saúde dos consumidores, mas também para garantir preços melhores ao produtor e acesso a mercados mais exigentes (Gomes *et al.*, 2018; Fao, 2020).

IMPORTÂNCIA DO CONTROLE ZOOTÉCNICO NO REBANHO LEITEIRO

A gestão de dados zootécnicos é uma ferramenta estratégica para uma tomada de decisão eficiente no contexto da pecuária leiteira. O uso de registros organizados contribui para o controle reprodutivo, evitando falhas entre partos e possibilitando melhores índices de fertilidade. Também permite o acompanhamento da produção individual de cada animal, facilitando a identificação de vacas mais produtivas e possibilitando ajustes personalizados no manejo alimentar (Ferreira *et al.*, 2021; Embrapa, 2022). O histórico sanitário, mantido de forma atualizada, garante o cumprimento dos protocolos de vacinação e vermifugação, além de permitir a rápida identificação de surtos e a adoção de medidas corretivas (Mapa, 2021). O controle zootécnico também auxilia no planejamento nutricional, evitando deficiências que poderiam afetar diretamente o desempenho produtivo dos animais (Santos *et al.*, 2020).

A adoção de ferramentas digitais tem se mostrado cada vez mais viável e vantajosa para os produtores rurais. Aplicativos como o MilkIax facilitam a coleta e organização das informações do rebanho, promovendo um gerenciamento mais profissional, preciso e eficiente. A digitalização dos registros, quando aliada à capacitação técnica dos produtores, representa um avanço significativo para a modernização e sustentabilidade da pecuária leiteira (Silva; Menezes, 2022).

O médico veterinário desempenha um papel fundamental na promoção da sanidade e na melhoria da produtividade do rebanho leiteiro. Sua atuação vai além do diagnóstico de doenças e assistência em partos e emergências, estendendo-se à implementação de medidas preventivas, como o estabelecimento e o monitoramento de cronogramas de vacinação. A vacinação é uma ferramenta indispensável para proteger o rebanho contra doenças infecciosas que impactam negativamente a produção de leite, a fertilidade e até mesmo a segurança alimentar, considerando o risco de zoonoses (Fao, 2020). Doenças como brucelose, tuberculose, leptospirose e clostridioses, quando não controladas, podem se disseminar rapidamente, acarretando sérios prejuízos econômicos e sanitários (Mapa, 2021). São doenças que, por força da legislação, devem ser obrigatoriamente notificadas e controladas. Uma vaca contaminada com brucelose, por exemplo, deve ser

mantida em quarentena e, posteriormente, encaminhada para abate sanitário, conforme prevê o Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e Tuberculose Animal (PNCEBT). Ressalta-se ainda que são enfermidades com potencial de transmissão para os seres humanos (zoonoses), o que eleva sua relevância em saúde pública (Mapa, 2021).

O controle de vacinação, portanto, é essencial para manter a saúde do rebanho e a qualidade dos produtos lácteos. O médico veterinário é o responsável por garantir que todas as vacas recebam as vacinas nos períodos corretos, conforme o protocolo sanitário estabelecido e atualizado com base nas diretrizes do Ministério da Agricultura e Pecuária (2021). Além disso, cabe a ele orientar o produtor rural quanto à correta conservação e aplicação das vacinas, minimizando perdas por ineficácia ou reações adversas, e reduzindo o uso de antibióticos, o que contribui também para a mitigação da resistência bacteriana (Langoni *et al.*, 2017; Fao, 2020).

Para garantir a eficácia dos programas de imunização no rebanho leiteiro, é imprescindível a manutenção de registros sanitários individualizados e atualizados. Cada animal deve ter seu histórico completo documentado, contendo informações sobre as vacinas administradas, datas de aplicação, tipos e marcas de vermífugos e antiparasitários utilizados, diagnósticos de enfermidades, tratamentos prescritos, além de orientações e recomendações futuras. Esse banco de dados sanitário é essencial para que o médico veterinário identifique falhas imunológicas, planeje reforços vacinais e estabeleça estratégias preventivas adequadas, assegurando uma cobertura sanitária eficaz e contínua em todo o rebanho (Mapa, 2021; Embrapa, 2022).

A atuação do médico veterinário é ainda mais relevante no que diz respeito à correta aplicação dos imunobiológicos. A via de administração das vacinas pode variar conforme o tipo de agente imunizante — podendo ser subcutânea, intramuscular, oral ou intranasal — e deve seguir rigorosamente as instruções do fabricante. A orientação profissional garante que o procedimento seja realizado com a técnica apropriada, respeitando a dose indicada, as condições ideais de conservação e a manipulação correta dos frascos, fatores que impactam diretamente na eficácia do imunizante. Além disso, o veterinário zela pelo cumprimento do período de carência das vacinas e medicamentos, evitando a presença de resíduos químicos no leite e garantindo um produto final seguro para o consumidor (Langoni *et al.*, 2017; Fao, 2020).

Outro ponto relevante é o acompanhamento de possíveis reações adversas pós-vacinação, que, embora raras, podem ocorrer. O profissional capacitado está apto a identificar rapidamente essas ocorrências e orientar o produtor quanto às medidas

de emergência, tratamento e necessidade de notificação aos órgãos competentes.

Além do aspecto preventivo, o controle sanitário é fundamental para a manutenção da eficiência reprodutiva do rebanho. Problemas como infecções uterinas, metrites, endometrites e repetição de cio, frequentemente associados a falhas imunológicas ou à ausência de protocolos profiláticos bem definidos, comprometem seriamente o desempenho reprodutivo e produtivo das fêmeas. O acompanhamento veterinário contínuo e o uso de protocolos sanitários específicos contribuem para a prevenção de enfermidades reprodutivas, assegurando taxas de concepção mais elevadas e partos bem-sucedidos (Costa *et al.*, 2019).

A definição de um calendário vacinal eficaz deve considerar fatores como o perfil epidemiológico da região, a densidade animal, o sistema de manejo adotado (confinado, semiconfinado ou a pasto), o histórico sanitário da propriedade e as exigências sanitárias impostas por programas estaduais ou federais. Vacinas obrigatórias, como contra brucelose, raiva, febre aftosa (em regiões ainda não livres) e leptospirose, devem ser complementadas por imunizações estratégicas, como as que previnem doenças respiratórias e entéricas, de acordo com a vulnerabilidade do rebanho.

Nesse cenário, soluções digitais como o aplicativo MilkIax, que está em desenvolvimento, representam um avanço na organização e rastreabilidade do calendário vacinal. O aplicativo permite ao produtor registrar e acompanhar em tempo real todas as intervenções sanitárias realizadas no rebanho, além de emitir alertas para datas de reforço, vencimento de medicamentos, períodos de carência e aplicação de vermífugos. Isso facilita o trabalho dos profissionais, reduz a ocorrência de falhas humanas e contribui para um sistema de saúde animal mais eficiente, transparente e seguro.

Tabela: Principais vacinas recomendadas para bovinos leiteiros

Doença	Idade de Aplicação	Reforço	Observações
Brucelose	3 a 8 meses (bezerras)	Dose única	Aplicação obrigatória por médico veterinário credenciado (PNCEBT).
Febre Aftosa	A partir de 3 meses	Semestral ou conforme campanha regional	Obrigatória em diversas regiões do Brasil.
Leptospirose	A partir de 4 meses	Anual	Previne abortos e queda na produção.
Clostridioses	A partir de 4 meses	Semestral	Inclui carbúnculo, tétano e enterotoxemias.
IBR/BVD	A partir de 6 meses	Anual	Protege contra doenças respiratórias e reprodutivas.
Raiva	A partir de 3 meses	Anual	Importante em áreas de risco com presença de morcegos hematófagos.

O cumprimento rigoroso dessas recomendações contribui para um rebanho mais saudável, produtivo e alinhado às exigências legais (Mapa, 2021).

A integração entre produtor e veterinário por meio dessas ferramentas promove uma gestão mais assertiva, que reduz os riscos sanitários, melhora a qualidade do leite e eleva a produtividade geral do rebanho (Ferreira *et al.*, 2019).

Muitas falhas no controle sanitário ocorrem devido à falta de conhecimento sobre a importância das vacinas ou à aplicação inadequada dos protocolos sanitários. A realização de treinamentos voltados à biossegurança, higiene na ordenha, administração correta de medicamentos e identificação precoce de sinais clínicos é fundamental. Esse processo educativo promove uma cultura de prevenção dentro da propriedade, contribuindo para a redução significativa da incidência de doenças e para a melhoria dos índices zootécnicos do rebanho (Bernardes *et al.*, 2021).

A integração de dados e o uso de tecnologia vêm ganhando destaque no setor pecuário, especialmente na pecuária leiteira. O gerenciamento de um rebanho exige controle detalhado sobre diversas variáveis, como produção diária de leite, ciclos reprodutivos, registros sanitários e desempenho individual dos animais. Com o avanço da informatização, surgiram soluções digitais que permitem centralizar essas informações em plataformas acessíveis, contribuindo para a tomada de decisões mais rápidas e precisas (Silva; Menezes, 2022).

Nesse contexto, o aplicativo MilkIax surge como uma ferramenta inovadora e estratégica para a gestão do rebanho leiteiro. Sua proposta vai além de digitalizar anotações: ele oferece uma plataforma completa para a centralização de dados zootécnicos, reprodutivos, sanitários e produtivos, permitindo ao produtor rural e aos profissionais técnicos uma visão

integrada e atualizada do rebanho. Entre as principais vantagens destacam-se a portabilidade, o acesso remoto a registros históricos e a capacidade de cruzamento de dados para análises mais precisas.

Ao eliminar a dependência de cadernos físicos e planilhas avulsas, o Milklix reduz erros comuns em anotações manuais, evita perdas de informação e oferece segurança mesmo diante da rotatividade de funcionários. Isso facilita a continuidade das ações de manejo e assegura que todas as informações relevantes como datas de inseminações, partos, vacinações e registros de produção leiteira estejam disponíveis com apenas alguns toques na tela. Para o médico veterinário, o sistema representa uma base sólida para o planejamento de ações preventivas, tomada de decisões clínicas e orientação estratégica de manejo.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de compartilhamento dos dados com zootecnistas, técnicos agrícolas, nutricionistas e demais agentes envolvidos na propriedade, o que favorece uma abordagem multidisciplinar e colaborativa. Com isso, decisões deixam de ser tomadas com base apenas na experiência empírica e passam a ser guiadas por dados técnicos confiáveis, o que contribui para a eficiência da produção, o bem-estar animal e a sustentabilidade da atividade.

Contudo, como toda tecnologia, o Milklix também apresenta limitações que precisam ser consideradas. A principal delas é a dependência de conectividade com a internet, especialmente para funcionalidades em tempo real, como sincronização de dados e envio de relatórios. Em propriedades localizadas em áreas com sinal limitado, isso pode dificultar o uso pleno do sistema. Ainda assim, versões offline com sincronização posterior são uma alternativa viável e já vêm sendo consideradas no desenvolvimento da plataforma.

Outro desafio é a necessidade de adaptação por parte dos usuários com menor familiaridade com tecnologia digital. Por isso, é essencial que o processo de implementação seja acompanhado de treinamentos iniciais, suporte técnico e um esforço contínuo de capacitação dos colaboradores da fazenda. Vale lembrar que a alfabetização digital no campo é um passo necessário e estratégico para a inserção definitiva da agropecuária na era da transformação digital.

Apesar desses obstáculos, os benefícios proporcionados pela digitalização superam amplamente as dificuldades, desde que o sistema seja implementado com planejamento e apoio técnico. O uso de aplicativos como o Milklix promove a eficiência operacional, melhora o controle zootécnico, reduz perdas econômicas e fortalece a rastreabilidade dos processos, fatores essenciais em um mercado cada vez mais exigente e competitivo. Além disso, contribui para a conformidade com normas sanitárias e

ambientais, cada vez mais exigidas por órgãos reguladores e consumidores.

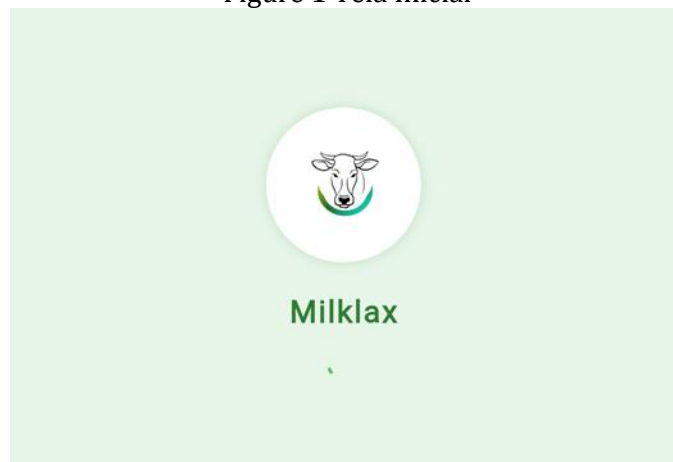
Dentro desse cenário, o papel do médico veterinário permanece central. Ele atua como elo entre a ciência, a prática de campo e a tecnologia, orientando o uso correto das ferramentas digitais, promovendo a saúde e o bem-estar animal, e garantindo que os avanços tecnológicos estejam a serviço da produtividade com responsabilidade.

Assim, o Milklix representa muito mais que um aplicativo: é um passo em direção à pecuária leiteira do futuro, onde a tecnologia e o conhecimento técnico caminham lado a lado em favor da qualidade, rentabilidade e sustentabilidade do campo.

O MILKLIX NO CONTEXTO DA PECUÁRIA 4.0

O Milklix é uma representação concreta da Pecuária 4.0, integrando digitalização, automação e análise inteligente na rotina das propriedades leiteiras. Mais do que um simples sistema de anotações, trata-se de uma plataforma completa para o monitoramento da saúde animal, desempenho reprodutivo, controle de custos operacionais, gestão de estoque de insumos e geração de relatórios individualizados por animal. Ao reunir esses dados em um ambiente digital intuitivo, o aplicativo proporciona ao produtor uma visão sistêmica e estratégica da fazenda, favorecendo a tomada de decisões com base em dados concretos e atualizados (Figura 1).

Figure 1 Tela Inicial



Fonte: autoria própria (2025)

Para que o Milklix alcance sua máxima eficiência, é fundamental que os usuários realizem registros regulares e precisos dos eventos zootécnicos, sanitários e produtivos (Figura 2). A atualização constante da base de dados é o que garante a confiabilidade das informações e a eficácia das análises. Ao ser corretamente utilizado, o Milklix transforma-se em uma ponte entre a prática veterinária e a gestão técnica da propriedade, promovendo um modelo de pecuária mais moderno, eficiente e sustentável. Além disso, contribui para

umentar a rastreabilidade do rebanho, reduzir perdas produtivas e elevar os padrões de qualidade e bem-estar animal, colocando o produtor na vanguarda da inovação agropecuária.

Por meio de uma interface intuitiva, o painel principal de um sistema de gestão pecuária, organizado de forma visual e intuitiva por meio de blocos temáticos. Cada botão quadrado representa um módulo funcional do sistema, facilitando o acesso rápido às principais áreas de gerenciamento de uma propriedade rural. Os módulos estão divididos da seguinte forma:

- Cadastro: área para registrar novos animais, colaboradores e outras informações essenciais.
- Rebanho: gerenciamento completo dos dados dos animais presentes na propriedade.
- Genética: controle genealógico, linhagens, acasalamentos e histórico genético.
- Reprodução: acompanhamento de ciclos reprodutivos, inseminações, partos e diagnósticos.
- Produção: monitoramento da produção leiteira, rendimentos e indicadores zootécnicos.
- Sanitário: registros de vacinas, tratamentos, vermifugações e controle de doenças.
- Financeiro: controle de custos, receitas, despesas e fluxo de caixa da atividade.
- Estoque: gerenciamento de insumos, medicamentos, rações e outros materiais.
- Nutrição: acompanhamento das dietas, consumo alimentar e desempenho nutricional.

Figure 2 Menu MilkIax



Fonte: autoria própria (2025)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes da chegada desses aplicativos que auxiliam nessa gestão da pecuária leiteira. Todos os registros sanitários, reprodutivos e produtivos eram feitos manualmente em cadernos, muitas vezes com falhas de preenchimento e dados desatualizados. O controle de vacinas era baseado em anotações genéricas e nem

sempre seguiam o calendário sanitário adequado. A identificação deaios e controle de partos era feita com base na observação visual, sem registros sistemáticos. Como consequência:

- Ocorreram perdas reprodutivas por cio não detectado.
- Vacinas eram frequentemente aplicadas fora do prazo.
- A taxa de prenhez era inferior a 50%, e o intervalo entre partos ultrapassava 15 meses.
- A mastite subclínica não era detectada precocemente, elevando a CCS (contagem de células somáticas).
- A ausência de relatórios dificultava a tomada de decisão sobre descarte ou investimento em determinado animal.

Com a introdução do MilkIax na rotina da fazenda, todas as informações zootécnicas passam a ser digitadas diretamente no aplicativo. Cada animal será cadastrado individualmente, com seu histórico completo as principais metas a cumprir é:

- Controle de cio e inseminação mais preciso, graças aos alertas automáticos e histórico reprodutivo.
- Redução do intervalo entre partos de 15 para 13 meses.
- Aumento da taxa de prenhez para 65%.
- Diminuição dos casos de mastite clínica devido ao registro e observação de sinais precoces.
- Melhoria no planejamento de vacinações e vermifugações, com notificações por data.
- Acesso fácil ao histórico individual de vacas com baixa produção, facilitando decisões de descarte.
- Comunicação mais eficiente entre o produtor e o veterinário, que agora acessa os dados remotamente para orientar as ações de campo.

O estudo de caso demonstra que, mesmo em propriedades de pequeno porte, a digitalização da gestão reprodutiva e sanitária pode proporcionar avanços significativos. O MilkIax, por ser uma ferramenta intuitiva, acessível e adaptada à realidade do campo, contribuiu diretamente para a eficiência produtiva, bem-estar animal e sustentabilidade da atividade leiteira.

CONCLUSÕES

A pecuária leiteira moderna vai além das práticas convencionais que por décadas sustentaram a produção rural. Em um cenário de crescente demanda por alimentos de qualidade, competitividade no mercado e exigências sanitárias e ambientais cada vez mais rigorosas, o setor precisa adotar uma abordagem mais técnica, integrada e estratégica. A produção eficiente de leite, portanto, exige o alinhamento entre planejamento reprodutivo, nutrição balanceada, sanidade do rebanho, bem-estar animal e gestão

inteligente de dados. Cada fase do ciclo de vida da fêmea leiteira da bezerra à vaca em lactação demanda cuidados específicos que impactam diretamente nos índices zootécnicos e na rentabilidade da atividade.

É nesse contexto que a tecnologia se consolida como aliada indispensável do produtor. O aplicativo Milklix, ainda em desenvolvimento, se destaca como uma solução robusta e acessível para a gestão técnica da pecuária leiteira. Muito mais do que um sistema de anotações, o Milklix permite o acompanhamento detalhado e individualizado de aspectos fundamentais da rotina produtiva: ciclos reprodutivos, produção leiteira, histórico sanitário, controle de vacinas e vermifugação, registros de mastite, nutrição e desempenho zootécnico. Além disso, a plataforma oferece relatórios gerenciais e alertas automáticos, conferindo maior previsibilidade às ações de manejo e facilitando o trabalho de todos os profissionais envolvidos na cadeia produtiva.

A digitalização do campo, promovida por ferramentas como o Milklix, representa um passo decisivo rumo à Pecuária 4.0, conectando o conhecimento técnico acumulado ao uso de dados em tempo real para a tomada de decisões mais seguras e embasadas. Isso não apenas reduz falhas operacionais e perdas econômicas, mas também contribui para a sustentabilidade do sistema produtivo, atendendo às demandas sociais, ambientais e mercadológicas por alimentos seguros e produzidos de forma ética e eficiente.

A adoção adequada da tecnologia depende, no entanto, de educação continuada, capacitação técnica da equipe e acompanhamento profissional. O papel do médico veterinário, do zootecnista e do técnico agrícola permanece central, atuando como elo entre a ciência, a prática de campo e a inovação. Ao registrar com precisão os eventos zootécnicos e sanitários, o produtor transforma dados em estratégia e fortalece sua posição em um mercado cada vez mais exigente.

Dessa forma, conclui-se que o Milklix não é apenas uma ferramenta digital, mas um instrumento de transformação da realidade rural, especialmente para pequenos e médios produtores que buscam eficiência e competitividade. Ao unir tecnologia, gestão e boas práticas de manejo, o produtor garante a saúde do rebanho, a qualidade do leite, a valorização do seu trabalho e a sustentabilidade da sua propriedade. O futuro da pecuária leiteira já começou e com o Milklix, ele está literalmente na palma da mão.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Manual técnico: vacinação obrigatória em bovinos e bubalinos**. Brasília: MAPA, 2021.

COSTA, F. D. da *et al.* Manejo reprodutivo de novilhas leiteiras: estratégias para o melhor desempenho zootécnico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 45–54, 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cuidados com bezerras leiteiras: guia prático para o produtor**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite, 2020.

EMBRAPA GADO DE LEITE. **Estratégias de IATF em rebanhos leiteiros: recomendações técnicas**. Juiz de Fora: EMBRAPA, 2022.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **Boas práticas na produção leiteira: diretrizes para produção segura e sustentável**. Roma: FAO, 2020.

FAO. **Transformação digital na agropecuária: oportunidades e desafios da agricultura 4.0**. Roma: FAO, 2022.

GOMES, V. *et al.* Avaliação da qualidade do leite em propriedades leiteiras do sul de Minas Gerais. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 73, n. 2, p. 101–108, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

LANGONI, H. *et al.* **Doenças infecciosas em bovinos: prevenção e controle**. São Paulo: MedVet, 2017.

SANTOS, J. E. P. *et al.* Nutrição de vacas leiteiras em diferentes fases fisiológicas: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 49, e20180235, 2020.

SANTOS, M. V. *et al.* Manejo higiênico e alimentar de bezerras leiteiras: princípios e práticas. **Revista da Embrapa Gado de Leite**, v. 5, p. 33–41, 2018.

SILVA, R. A.; MENEZES, A. C. Aplicativos e tecnologias digitais na pecuária leiteira: o caso Milklix. **Revista de Inovação Agropecuária**, v. 4, n. 1, p. 56–63, 2022.

PLATAFORMA DIGITAL PARA CONECTAR E IMPULSIONAR NEGÓCIOS FEMININOS LOCAIS

Matheus Doerzbacher Gisch*; Gabriel Augusto de Deus**

*Acadêmico de Engenharia de Software - Faculdade Uniguaçu, matheus.doer@gmail.com.

**Especialista em Docência para o ensino superior - UNINGÁ,
dedeus.gabriel@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 25 maio. 2025

Aceite: 05 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um aplicativo móvel para apoiar mulheres que empreendem no comércio local. A proposta surgiu da necessidade de oferecer uma ferramenta simples e acessível para que essas empreendedoras possam organizar suas vendas, registrar transações e divulgar seus serviços. O objetivo principal é fortalecer o empreendedorismo feminino por meio da tecnologia. A pesquisa foi aplicada e de abordagem qualitativa, utilizando o *Flutter* para o desenvolvimento do aplicativo e o *Firebase* como *backend*. O sistema foi construído com foco na praticidade e com base na arquitetura recomendada pelo Google, além dos padrões Command e Result, que facilitam a organização do código. O aplicativo permite cadastrar empresas, validar CNPJ, registrar e validar compras entre usuárias, além de gerar gráficos e estatísticas. Mesmo ainda em fase de desenvolvimento, a solução já mostra potencial para ajudar essas mulheres a ganharem mais visibilidade, organização e fomento do comércio local. O projeto reforça como a tecnologia pode ser uma aliada no crescimento do empreendedorismo local e feminino.

Palavras-chave: Comércio local; Empreendedorismo feminino; Aplicativo móvel; *Flutter*, *Firebase*.

ABSTRACT

This paper presents the development of a mobile application to support women who undertake local commerce. The proposal arose from the need to offer a simple and accessible tool so that these entrepreneurs can organize their sales, record transactions and promote their services. The main objective is to strengthen female entrepreneurship through technology. The research was applied and had a qualitative approach, using *Flutter* for the development of the application and *Firebase* as the *backend*. The system was built with a focus on practicality and based on the architecture recommended by Google, in addition to the Command and Result standards, which facilitate the organization of the code. The application allows companies to be registered, CNPJ validated, records and validates purchases between users, in addition to generating graphs and statistics. Although still in the development phase, the solution already shows potential to help these women gain more visibility, organization and promotion of local commerce. The project reinforces how technology can be an ally in the growth of local and female entrepreneurship.

Keywords: Local commerce; Female entrepreneurship; Mobile application; *Flutter*; *Firebase*.

Copyright © 2025, Matheus Doerzbacher Gisch; Gabriel Augusto de Deus. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: GISCH, Matheus Doerzbacher; DE DEUS, Gabriel Augusto. Plataforma digital para conectar e impulsionar negócios femininos locais. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguaçú, v. 3, n. 7, p. 86-97, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

O empreendedorismo feminino tem ganhado cada vez mais espaço como uma alternativa para a independência financeira e o fortalecimento do papel

da mulher na sociedade. No entanto, como apontam Kapinga, Montero e Mbise (2018), mulheres que decidem empreender muitas vezes se deparam com obstáculos ligados ao preconceito, sejam eles culturais, sociais ou econômicos. Ainda segundo

Muhammad Yunus (2003), as mulheres muitas vezes não são reconhecidas como agentes econômicos ativos, o que dificulta o acesso a crédito e reforça a sensação de inferioridade. Esses obstáculos ficam ainda mais evidentes quando falamos de negócios locais, onde geralmente há pouca visibilidade e apoio.

De acordo com o relatório do Sebrae (2021), o número de mulheres empreendedoras no Brasil chegou a mais de 24 milhões. Apesar do avanço, a maioria atua sozinha, com estrutura reduzida e poucas ferramentas digitais para auxiliar na organização e na divulgação de seus negócios. Muitas iniciam suas atividades por necessidade, e não por oportunidade — o que reforça ainda mais a importância de iniciativas que possam facilitar o seu crescimento e permanência no mercado.

Atualmente, com a internet móvel e os celulares cada vez mais presentes em países em desenvolvimento, abre-se uma janela de oportunidade para que mulheres possam empreender (Duffy; Hund, 2015). Isso já pode ser percebido em diversas comunidades onde a tecnologia passou a fazer parte do dia a dia. Mesmo que ainda de forma inicial, o empreendedorismo digital feminino começa a ganhar espaço, especialmente em contextos com poucos recursos, onde o celular se torna a principal — e, em muitos casos, a única — ferramenta de acesso à informação e comunicação (Luckman, 2015).

A motivação para o desenvolvimento deste projeto surgiu a partir da observação de uma realidade comum: mulheres que empreendem em seus bairros ou cidades, com grande dedicação, mas que encontram dificuldades para divulgar seus serviços ou registrar suas movimentações de forma estruturada. Muitas dessas empreendedoras acabam perdendo vendas ou tendo problemas na organização por não terem acesso a uma ferramenta simples que as ajude a acompanhar suas atividades.

Pensando nisso, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um aplicativo mobile com foco em apoiar o comércio local feminino. A proposta permite que mulheres empreendedoras possam cadastrar suas empresas, registrar transações de compra entre usuárias e visualizar dados sobre suas vendas e qualificar dados, seja a quantidade de transações ou o valor das mesmas. A aplicação foi pensada para funcionar de forma prática, acessível e adaptada à rotina dessas mulheres, com o objetivo de gerar mais visibilidade para seus negócios e incentivar o fortalecimento das redes de apoio locais.

METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa aplicada com abordagem qualitativa, voltada para o desenvolvimento de um aplicativo mobile com o objetivo de apoiar mulheres empreendedoras que atuam no comércio local. A ideia

surgiu da observação de uma necessidade real: muitas dessas mulheres não possuem ferramentas acessíveis para registrar suas vendas, acompanhar suas movimentações ou divulgar seus negócios de forma estruturada. O projeto foi desenvolvido com foco na simplicidade de uso, respeitando a realidade de usuárias que, em muitos casos, não têm familiaridade com tecnologia ou não possuem recursos para contratar soluções complexas.

Para o desenvolvimento da aplicação, foi utilizado o framework *Flutter*, mantido pelo Google, por permitir a criação de apps compatíveis com Android e iOS usando uma única base de código, o que facilita a manutenção e reduz o tempo de desenvolvimento (Google Developers, 2024). O *Flutter* é uma ferramenta moderna que utiliza a linguagem Dart e oferece recursos como o hot reload, que permite visualizar alterações no código em tempo real. Além disso, seu mecanismo de renderização próprio proporciona consistência visual entre as plataformas, sem depender de componentes nativos. Sua documentação completa e comunidade ativa tornam o *Flutter* uma opção estratégica para projetos que buscam produtividade e bom desempenho.

Como serviço de *backend*, foi utilizado o *Firebase*, também mantido pelo Google, por oferecer uma série de funcionalidades integradas, como banco de dados em nuvem (Firestore), autenticação de usuários e notificações em tempo real (Google *Firebase*, 2024). A plataforma se destaca por sua escalabilidade e por simplificar tarefas como controle de acesso, regras de segurança e sincronização entre dispositivos. A integração entre *Flutter* e *Firebase* é nativa, o que trouxe agilidade à construção das funcionalidades principais do sistema e permitiu que o foco permanecesse na lógica de negócio e na experiência do usuário.

Para garantir maior organização e escalabilidade no projeto, foi adotada a arquitetura conhecida como MVVM (Model-View-ViewModel), que separa as camadas de apresentação, lógica de negócio e manipulação de dados. No contexto do *Flutter*, essa abordagem ajuda a manter o código mais limpo, reutilizável e de fácil manutenção, evitando que a lógica de negócios fique diretamente acoplada à interface. A camada “Model” representa os dados e estruturas utilizados pela aplicação; a “View” é responsável pela interface e apresentação das informações ao usuário; e a “ViewModel” atua como intermediária, processando os dados antes de exibi-los ou antes de enviá-los de volta ao modelo.

Além disso, foi utilizado o padrão Command, que encapsula requisições como objetos, permitindo tratar ações como “comandos”. Esse padrão é útil, por exemplo, quando há necessidade de reutilizar certas operações (como salvar uma transação ou validar uma compra) em diferentes partes do sistema, mantendo a lógica isolada e mais testável. Cada comando executa uma função específica e pode ser facilmente substituído, reutilizado ou modificado sem impactar outras partes do código.

Já o padrão Result foi adotado para lidar com o retorno das operações executadas. Em vez de retornar diretamente um dado ou erro, os métodos da aplicação devolvem objetos do tipo Result, que indicam sucesso ou falha de forma clara e segura. Isso ajuda a reduzir a complexidade no tratamento de erros e a evitar exceções desnecessárias. O uso desse padrão também contribui para a robustez do código e para uma experiência de usuário mais confiável, já que as falhas podem ser tratadas de forma previsível e personalizada.

A combinação dessas tecnologias e padrões resultou em uma base de código bem estruturada, com responsabilidades bem distribuídas, o que facilita tanto a manutenção do sistema quanto futuras evoluções no projeto.

O desenvolvimento começou com a definição das funcionalidades essenciais que atendessem à realidade do público-alvo. O app foi pensado para permitir o cadastro de empresas, sempre com validação de CNPJ, garantindo que apenas empresas reconhecidas possam fazer parte da plataforma. Em seguida, cada usuário pode criar sua conta e se vincular a uma dessas empresas. Ao realizar uma compra em uma empresa cadastrada, a usuária registra essa transação no app, e a dona da empresa recebe uma notificação para validar ou não essa movimentação. Esse processo cria uma rede de interações entre empreendedoras, fortalecendo o vínculo e a visibilidade dos negócios.

Os dados são armazenados no Firestore, banco de dados em nuvem do *Firebase*, onde foram organizadas coleções como empresas, usuárias, transações e notificações. Cada empresa armazena seus dados principais e está vinculada às usuárias responsáveis. As transações ficam registradas com data, valores e identificação da empresa e da compradora, permitindo um histórico organizado. Além disso, o sistema gera estatísticas visuais, como gráficos de vendas e de movimentações por empresa e por usuária, adaptando os dados conforme o perfil de acesso.

Até o momento, o aplicativo ainda está em fase de desenvolvimento contínuo, com funcionalidades parcialmente implementadas e em processo de ajustes visuais e técnicos. Não foram realizados testes com usuárias reais, e a versão atual segue sendo refinada para futura publicação nas lojas Google Play e App Store.

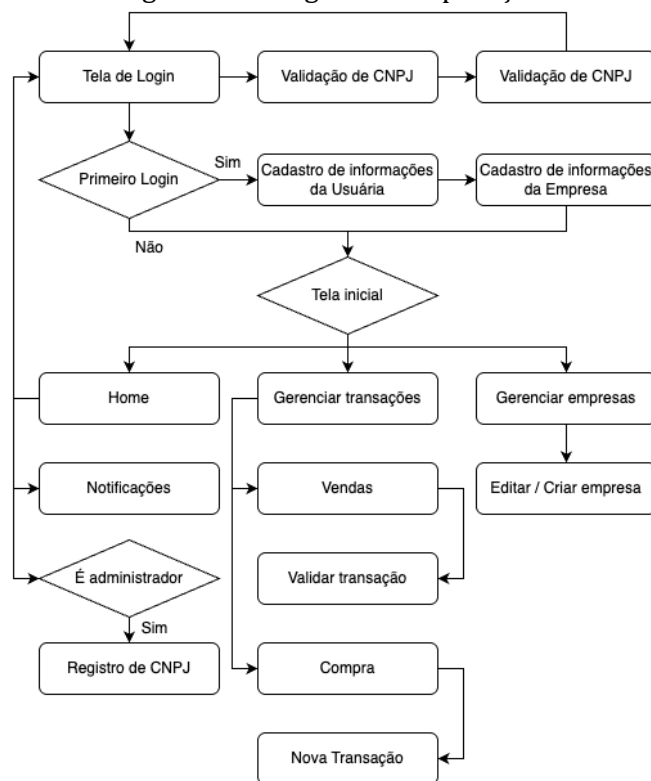
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aplicativo foi desenvolvido com o objetivo de facilitar a organização e visibilidade de empresas gerenciadas por mulheres no comércio local. A proposta é fornecer uma ferramenta simples, mas funcional, que permita o cadastro de empresas, o registro de transações entre as usuárias e a validação dessas compras pela empresa responsável. O foco principal está na praticidade do uso e no incentivo à

interação entre as empreendedoras cadastradas na plataforma.

Antes de iniciar a implementação das funcionalidades, foi elaborado um fluxograma de funcionamento do aplicativo, como é possível observar na Figura 1, representando a lógica de navegação entre telas, o fluxo das ações principais e os pontos de verificação, como a validação de CNPJ e confirmação de transações.

Figura 1. Fluxograma da aplicação



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na figura 2 é possível observar que a estrutura de dados da aplicação foi organizada com base nas coleções do *Firebase*, garantindo sincronização em tempo real e separação clara entre empresas, usuários, transações e notificações.

A seguir, são apresentadas as principais telas da aplicação, com suas respectivas funções e pontos-chave no fluxo da usuária.

Tela de Login

A primeira tela exibida ao abrir o aplicativo é a de *login* (Figura 3). Nela, a usuária insere seu e-mail e senha cadastrados para acessar o sistema. A tela foi construída com foco em simplicidade, permitindo acesso rápido e direto à plataforma. Caso ainda não possua uma conta, a usuária pode seguir para a etapa de validação de CNPJ e cadastro.

Figura 2. Estrutura das coleções do *Firebase*.

```

1  [coleção: empresas]
2    └─ id: string (ID gerado automaticamente)
3    └─ nome: string
4    └─ cnpj: string
5    └─ email: string
6    └─ telefone: string
7    └─ uid_usuario: string (ID do usuário que criou a empresa)
8
9  [tipo: Dispositivo]
10  └─ dispositivo
11    └─ token: string
12    └─ tipo: string
13    └─ modelo: string
14    └─ dataCriacao: timestamp
15
16 [coleção: usuarios]
17  └─ uid: string (ID gerado automaticamente)
18    └─ nome: string
19    └─ email: string
20    └─ telefone: string (opcional)
21    └─ tem_empresa: boolean
22    └─ dispositivos: array<Dispositivo>
23    └─ is_admin: boolean
24
25 [coleção: transacoes]
26  └─ id: string (ID gerado automaticamente)
27    └─ valor: double
28    └─ data: timestamp
29    └─ comprador: Usuario (usuário que realizou a compra)
30    └─ empresa: Empresa (referência à empresa que receberá o pagamento)
31    └─ dono_empresa: Usuario (dono da empresa)
32    └─ aprovada: boolean
33
34 [enum: NotificacaoTipo]
35  └─ transacao: 'transacao'
36
37 [coleção: notificacoes]
38  └─ id: string (ID gerado automaticamente)
39    └─ titulo: string
40    └─ descricao: string
41    └─ data: timestamp
42    └─ lida: boolean (padrão: false)
43    └─ uidUsuarioRemetente: string (ID do usuário que enviou a notificação)
44    └─ uidUsuarioDestinatario: string (ID do usuário que receberá a notificação)
45    └─ url: string (URL da notificação)
46    └─ tipo: NotificacaoTipo (enum)
47
48 [enum: StatusRegistroCnpj]
49  └─ pendente: 'pendente'
50  └─ aceito: 'aceito'
51
52 [coleção: registros_cnpj]
53  └─ id: string (ID gerado automaticamente)
54    └─ cnpj: string
55    └─ nome: string
56    └─ status: StatusRegistroCnpj (enum)
57    └─ dataCriacao: timestamp
    
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 3. Tela de *login* do aplicativo

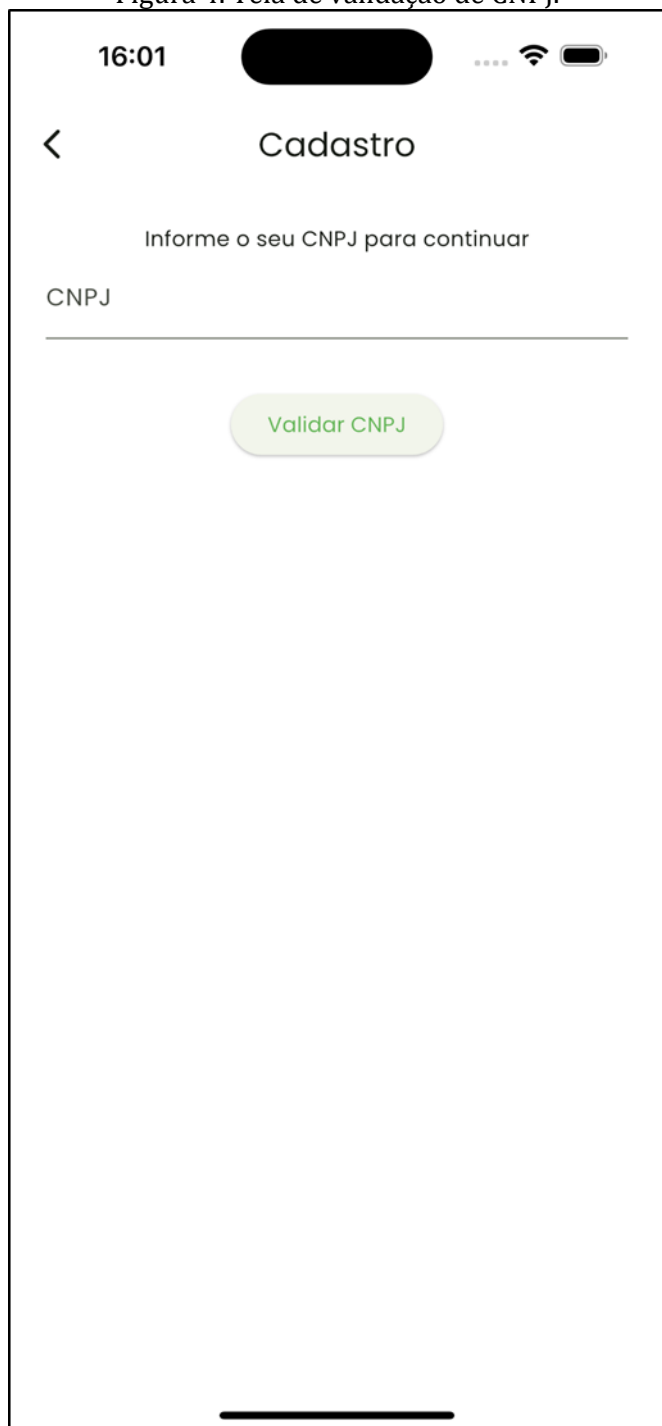


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Validação de CNPJ

Conforme é possível observar na Figura 4, essa tela antecede a tela de cadastro. Antes de se cadastrar, a usuária precisa informar o CNPJ da empresa. O sistema verifica se o CNPJ já está registrado na base de dados. Essa etapa garante o controle de registro, evitando registros indevidos.

Figura 4. Tela de validação de CNPJ.

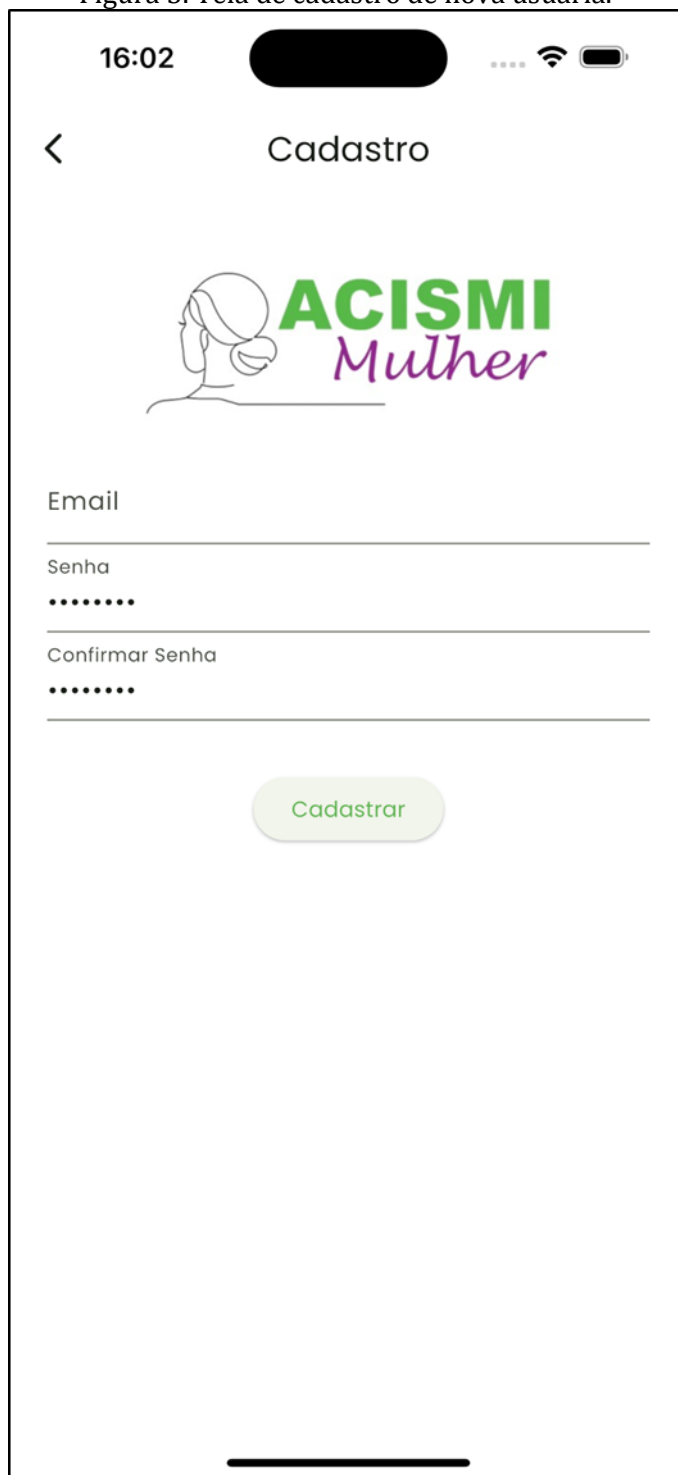


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Cadastro

Após a validação do CNPJ, a usuária é então direcionada para a tela de cadastro (Figura 5), onde informa seus dados pessoais, como nome, e-mail e senha. Uma vez concluído o processo, sua conta é criada.

Figura 5. Tela de cadastro de nova usuária.

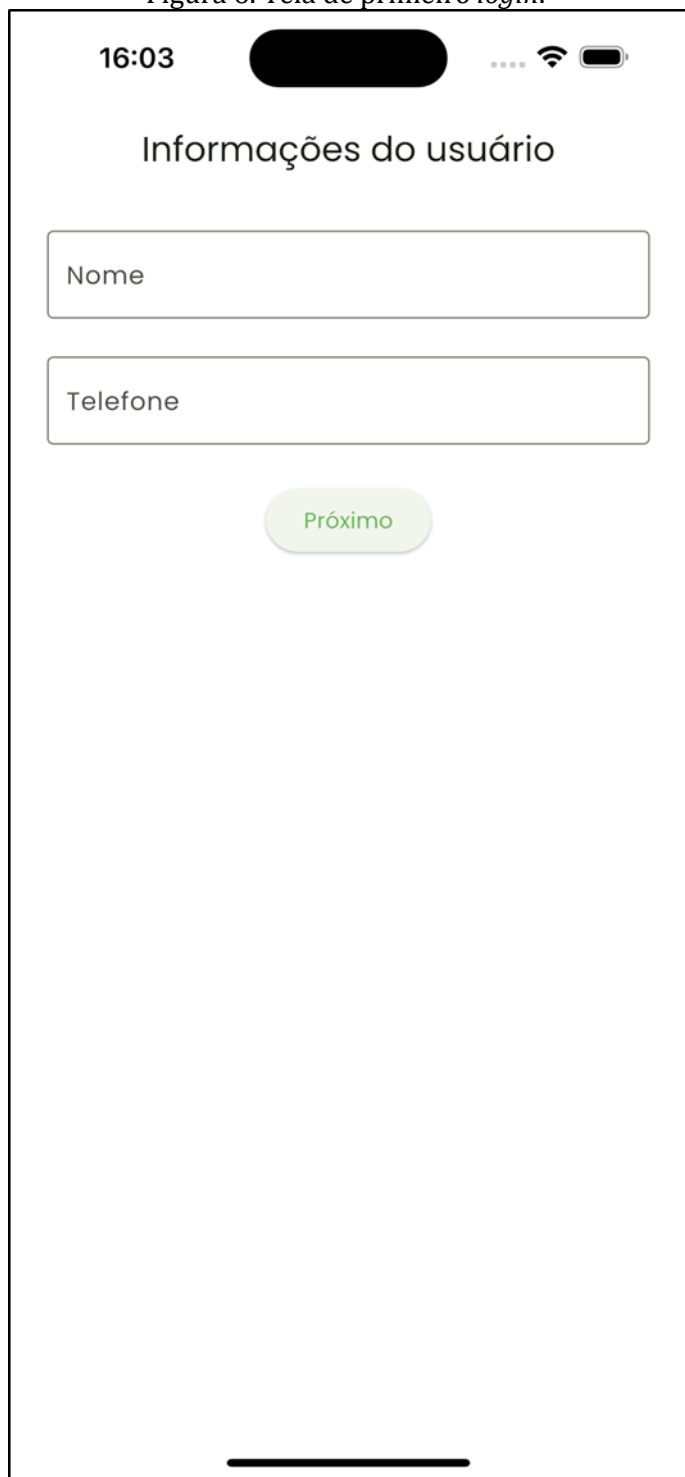


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Primeiro Login e Cadastro da Primeira Empresa

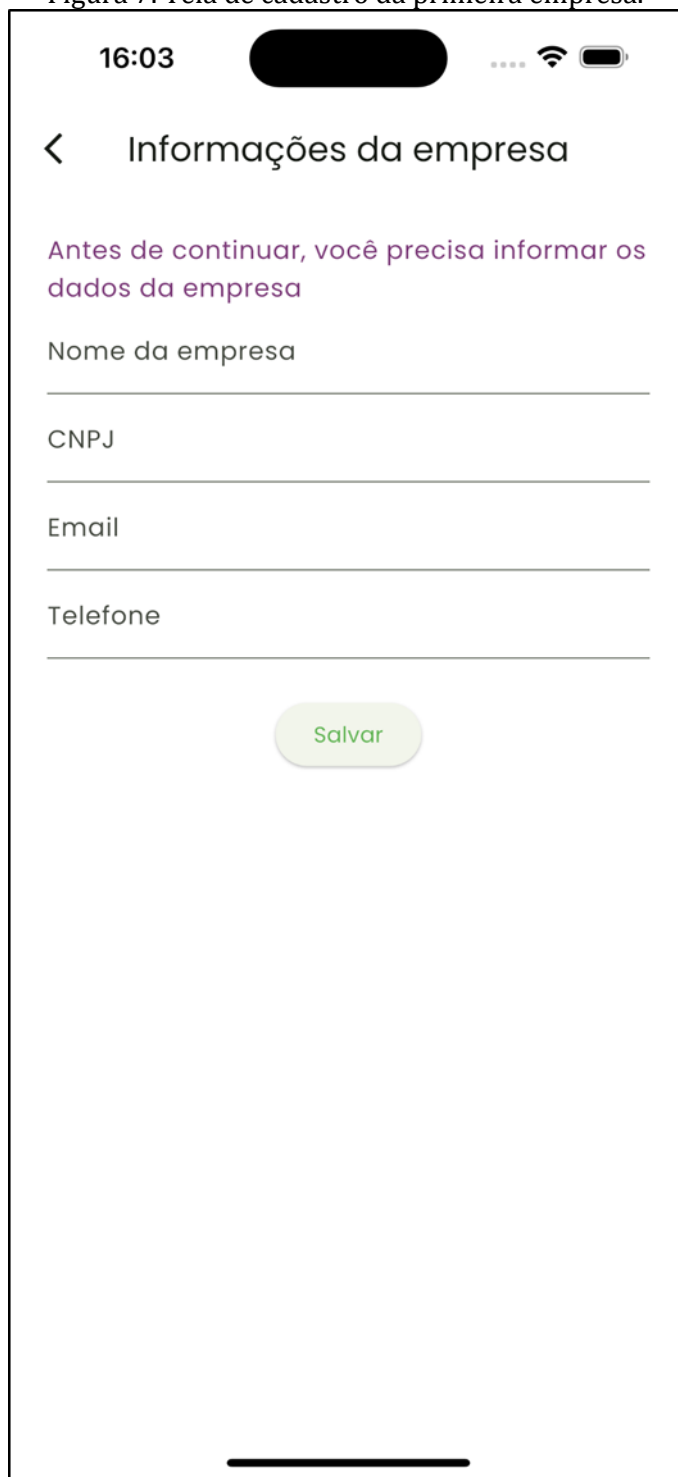
No primeiro acesso a usuária é levada diretamente à tela de cadastro de informações da usuária (Figura 6) e da empresa (Figura 7). Nessa primeira interface, ela pode informar seu nome e celular pessoal, já na segunda ela pode informar o nome da empresa, o CNPJ e outros dados necessários para criar o primeiro registro oficial no sistema.

Figura 6. Tela de primeiro *login*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 7. Tela de cadastro da primeira empresa.

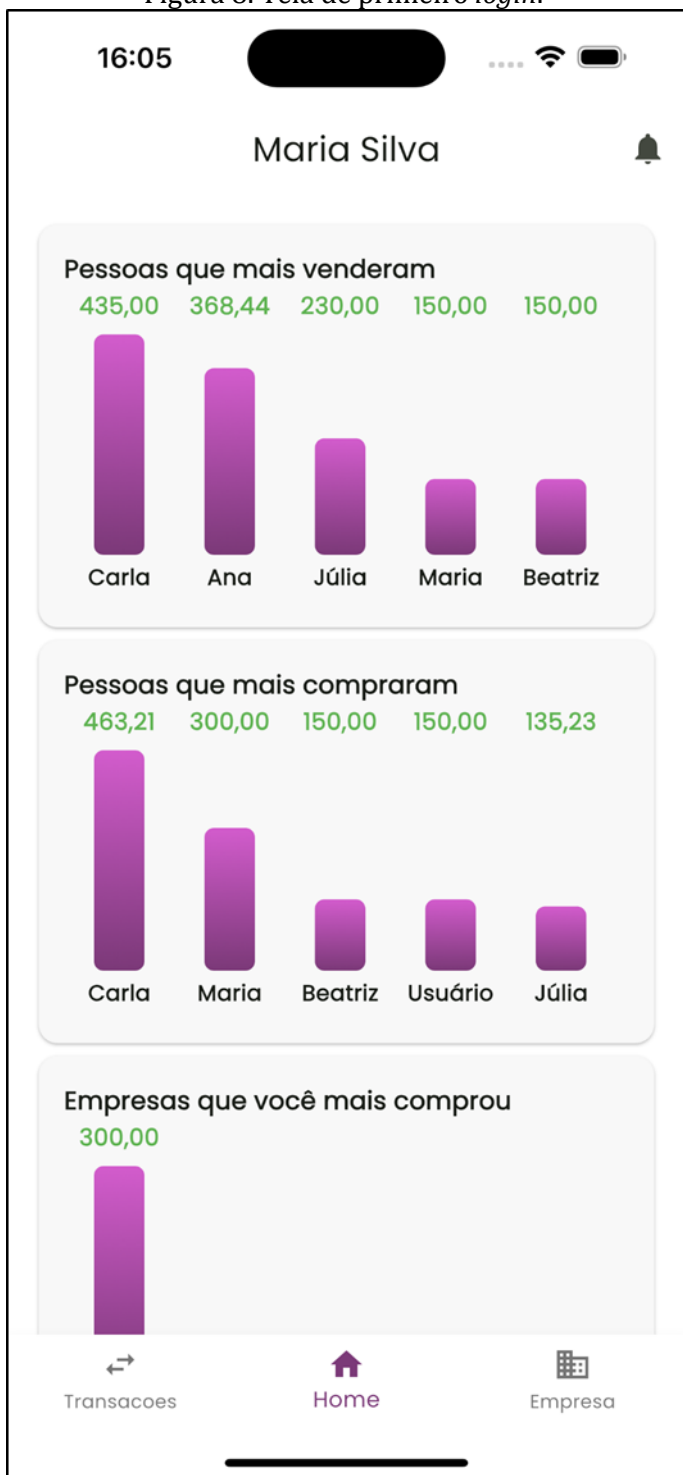


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela Inicial (Home)

Na Figura 8 é mostrada a tela inicial, essa tela funciona como um painel principal do aplicativo. Nela, a usuária tem acesso a uma barra de navegação onde pode navegar até a listagem de transações e visualizar suas empresas, Ainda na tela principal ela pode acessar notificações. A organização foi pensada para priorizar as ações mais frequentes.

Figura 8. Tela de primeiro login.

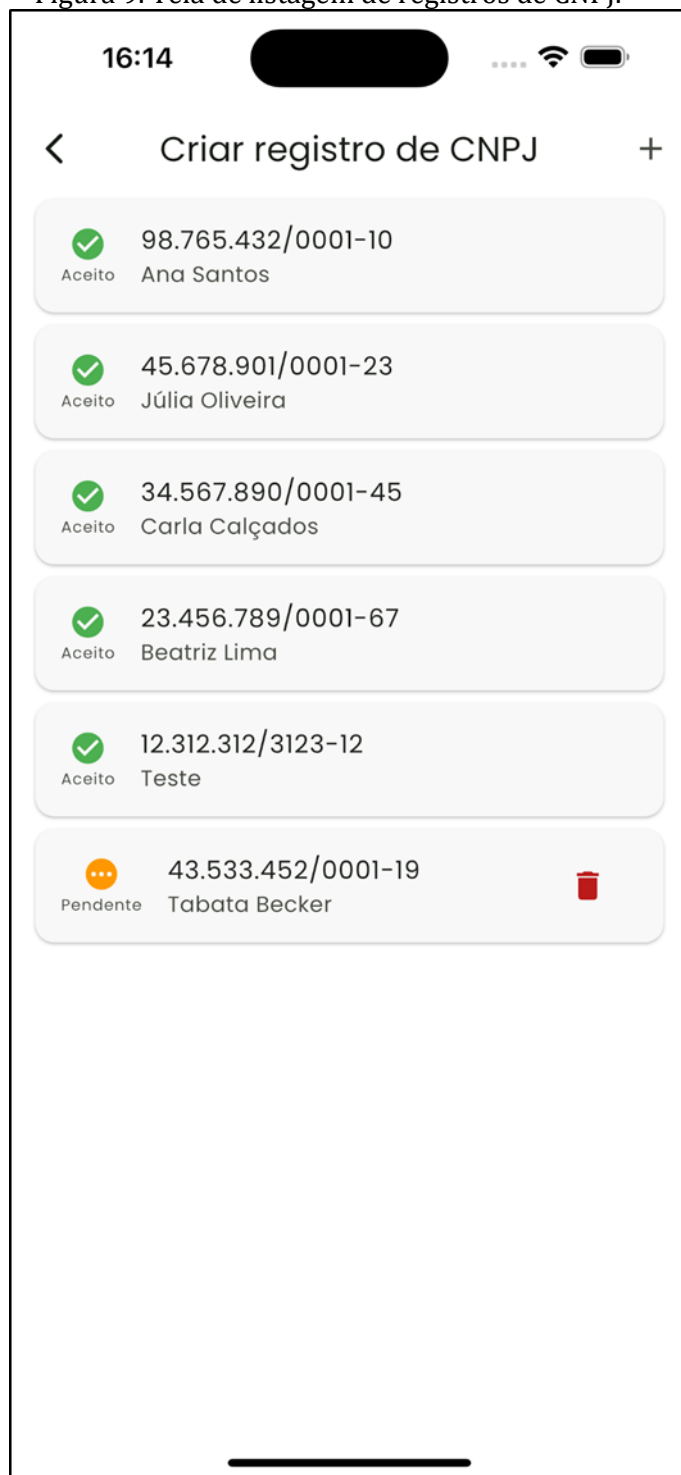


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Registro de CNPJ

Essa tela é exclusiva para administradoras. Como é possível observar na Figura 9, essa tela lista todos os registros de CNPJ cadastrados no aplicativo. Esses registros podem ter 2 status diferentes, aceito para os registros que já foram utilizados para criar uma conta e pendente, para os que estão aguardando responsável pelo CNPJ criar sua conta.

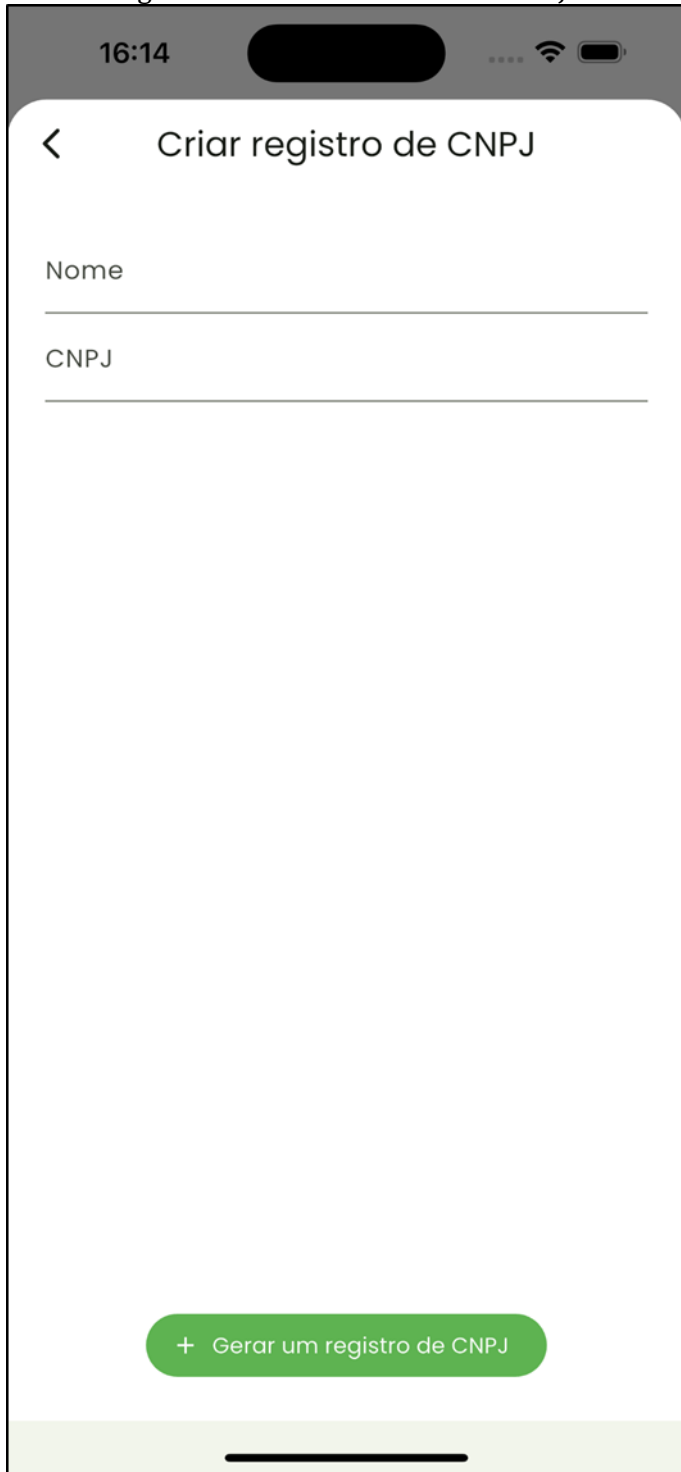
Figura 9. Tela de listagem de registros de CNPJ.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na tela da Figura 10, é possível criar um registro de CNPJ, informando apenas o nome da pessoa e o CNPJ da empresa. Essa etapa não cria uma conta de acesso automaticamente, mas libera o CNPJ para que, no futuro, uma pessoa possa realizar o cadastro usando esses dados. Essa funcionalidade oferece mais controle à administradora sobre quem pode criar contas vinculadas à empresa.

Figura 10. Tela de Cadastro de CNPJ.



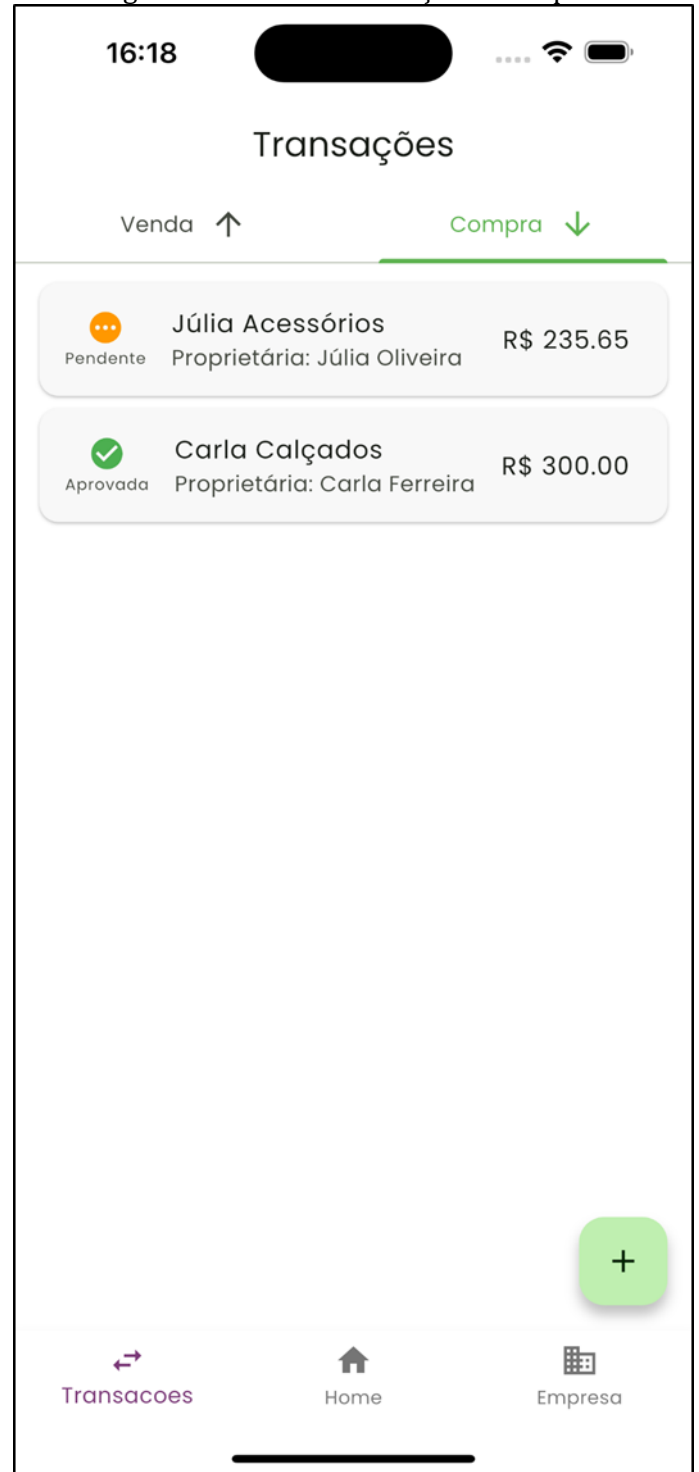
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Histórico de Transações - Compras e Vendas

Na seção de transações apresentada nas Figuras 11 e 12 permite que a usuária visualize um histórico de transações tanto como vendedora quanto como compradora. As transações são apresentadas com informações do valor e status de validação. A

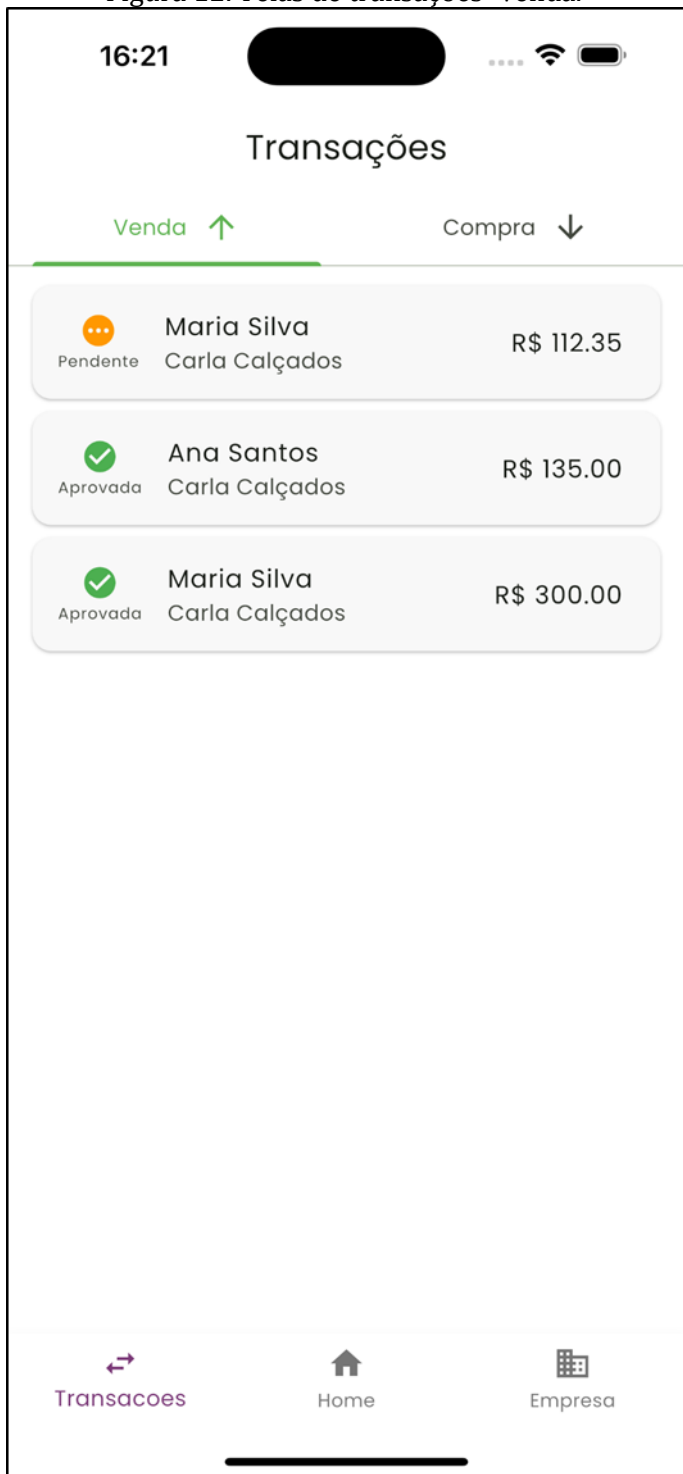
separação entre vendas e compras facilita o controle individual sobre cada tipo de movimentação.

Figura 11. Telas de transações - compra.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 12. Telas de transações -venda.

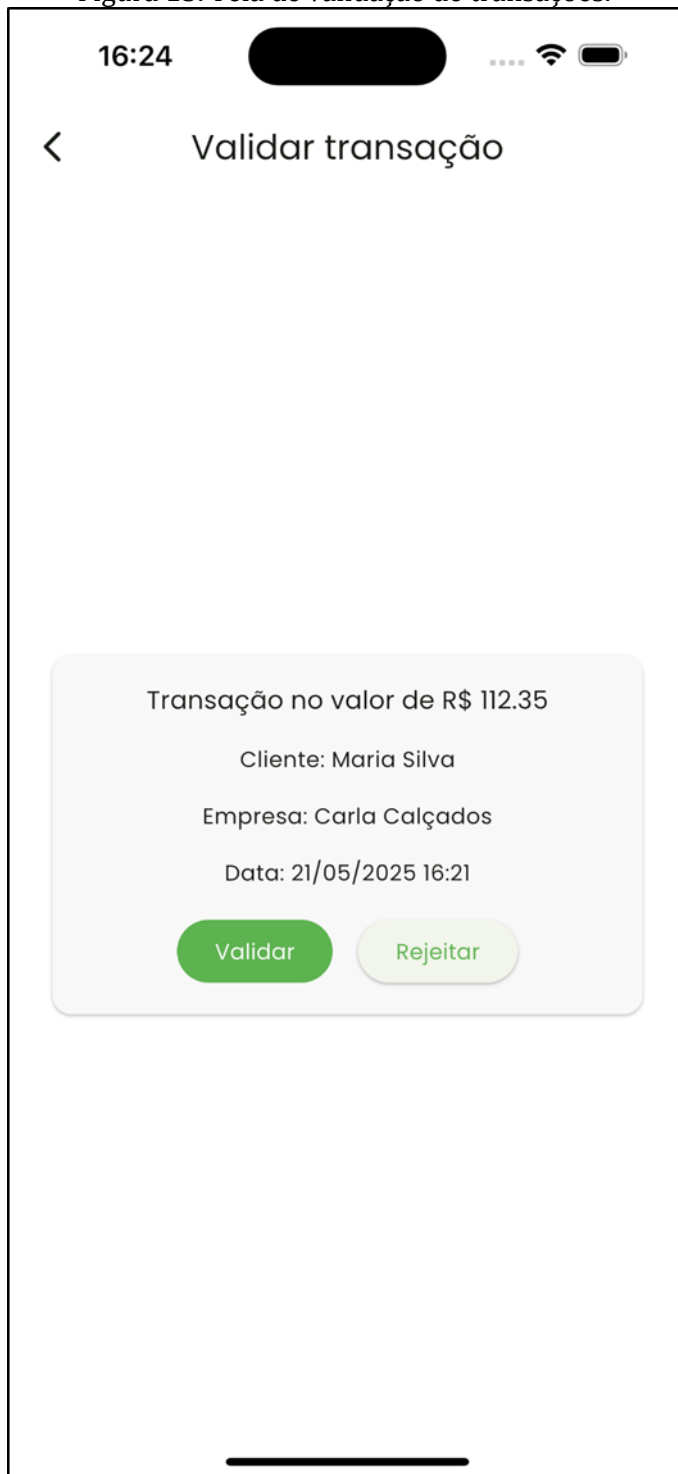


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Validação de Transações

Ao acessar uma transação pendente, a usuária tem a opção de validá-la ou recusá-la. A tela da Figura 13 mostra os detalhes da transação e apresenta os botões para que a empresária confirme ou rejeite o registro. A validação é essencial para que a transação passe a ser contabilizada oficialmente.

Figura 13. Tela de validação de transações.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Nova Transação

Na tela da Figura 14, a usuária pode registrar uma nova compra em uma das empresas cadastradas. Ela seleciona a empresa desejada, informa os dados da transação (como valor e descrição) e envia para validação. Esse fluxo incentiva o engajamento entre as participantes da rede.

Figura 14. Tela de registro de nova transação.

16:37

< Nova Transação

Selecione uma empresa

Selecione uma empresa

Valor

R\$ 0,00

Criar transação

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Lista de Empresas

A tela de empresas mostra todas as empresas às quais a usuária está vinculada (Figura 15), incluindo o nome, CNPJ e a opção de editar os dados da empresa. Essa tela é especialmente útil para quem gerencia mais de uma empresa no app.

Figura 15 – Tela de empresas vinculadas.

16:38

Empresa

Carla Acessórios
12.312.312/3123-33

Carla Calçados
34.567.890/0001-45

+ Nova empresa

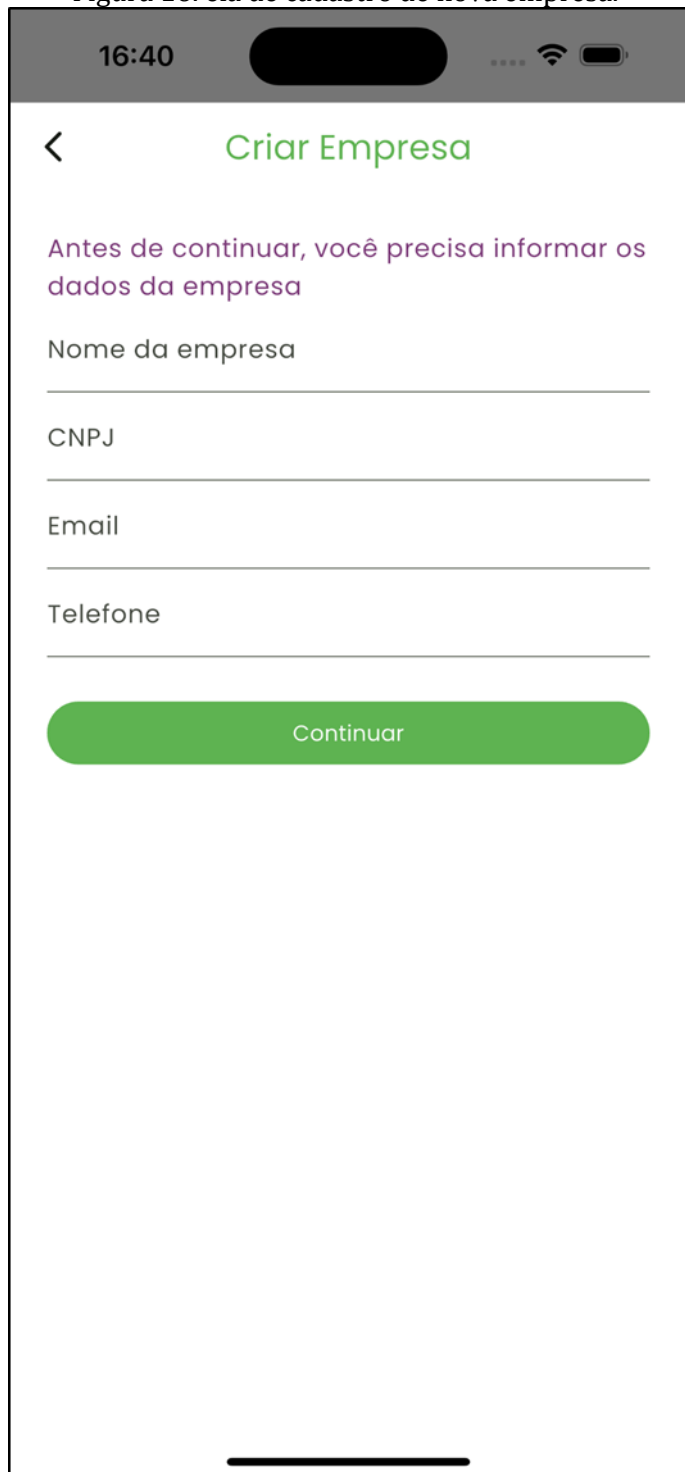
Transacoes Home Empresa

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Cadastro de Nova Empresa

Usuárias logadas podem acessar a tela mostrada na Figura 16 para cadastrar suas próprias empresas, informando nome, CNPJ e dados complementares. Não há limite de empresas por conta, o que permite que uma mesma empreendedora gerencie vários negócios. A tela é simples e direta, permitindo também a edição dos dados posteriormente.

Figura 16. Tela de cadastro de nova empresa.

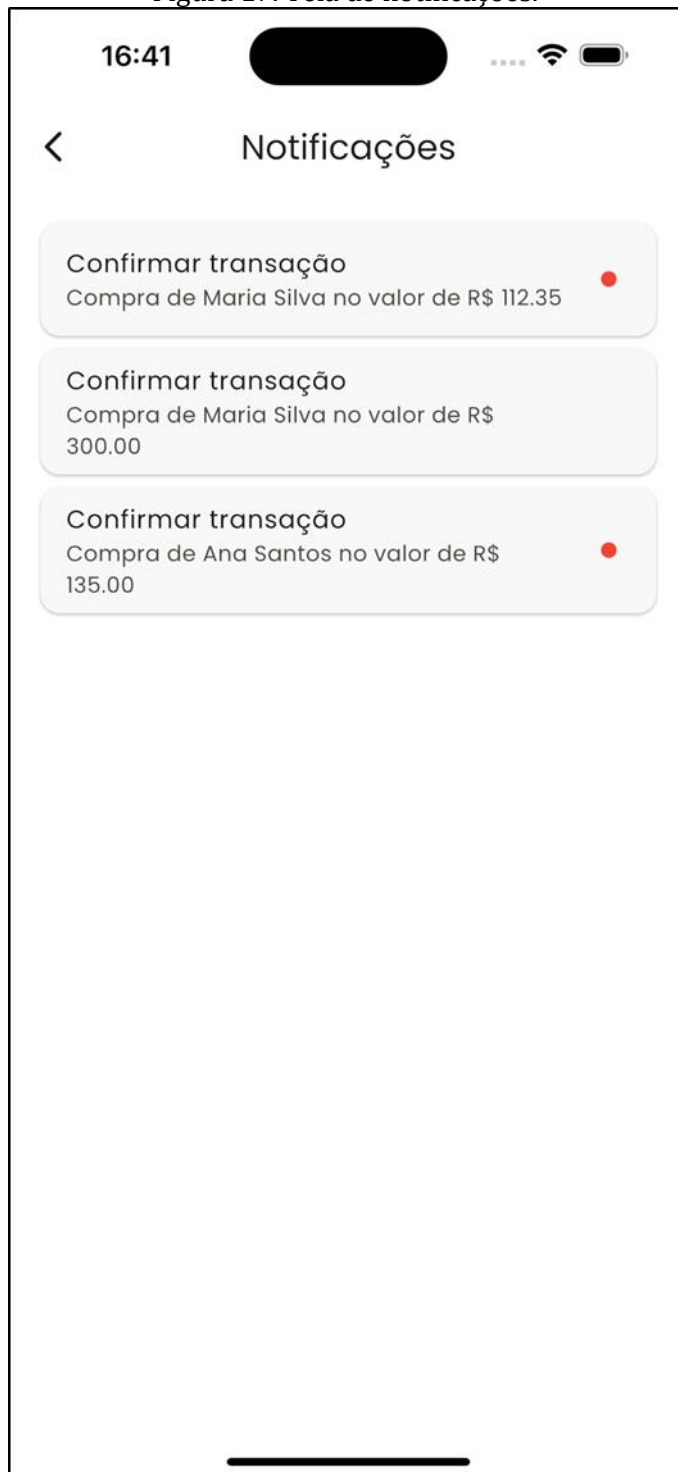


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tela de Notificações

Por fim, na Figura 17 a tela de notificações exibe todos os avisos relevantes, como novas transações registradas, solicitações de validação e atualizações de status. Essa tela centraliza as interações recentes e ajuda a manter a usuária informada sobre tudo o que acontece dentro da aplicação.

Figura 17. Tela de notificações.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do aplicativo demonstrou que é possível oferecer uma solução digital acessível e funcional para mulheres que empreendem no comércio local, mesmo com recursos limitados. A aplicação proporcionou funcionalidades essenciais como o cadastro de empresas, o registro e validação de transações entre as usuárias e a visualização de dados organizados. A utilização de ferramentas modernas como *Flutter* e *Firebase*, aliadas a uma arquitetura

robusta (MVVM) e padrões bem definidos (Command e Result), garantiu uma base sólida e escalável para o projeto. Ainda em fase de refinamento, o sistema já se mostra promissor como apoio à autonomia financeira de mulheres empreendedoras. Além disso, reforça a importância da tecnologia como meio de inclusão, colaboração e fortalecimento de redes locais. Futuramente, pretende-se realizar testes com usuárias reais para validar a experiência e ajustar funcionalidades com base em feedbacks práticos. O projeto se destaca não apenas como um produto digital, mas como uma iniciativa de impacto social voltada à valorização do empreendedorismo feminino.

REFERÊNCIAS

- DUFFY, B. E.; HUND, E. **“having it all” on social media: Entrepreneurial femininity and self-branding among fashion bloggers**. Social media+ society, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 1, n. 2, p. 2056305115604337, 2015.
- GOOGLE DEVELOPERS. **Flutter Documentation**. 2025. Disponível em: <https://flutter.dev/docs>. Acesso em: 2025.
- GOOGLE FIREBASE. **Firestore Documentation**. Disponível em: <https://firebase.google.com/docs>. Acesso em: 2025
- KAPINGA, A. F.; MONTERO, C. S.; MBISE, E. R. Mobile marketing application for entrepreneurship development: Codesign with women entrepreneurs in iringa, tanzania. **The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries**, Wiley Online Library, v. 85, n. 2, p. e12073, 2019.
- LUCKMAN, S. Women’s Micro-Entrepreneurial Homeworking: A ‘Magical Solution’ to the Work–Life Relationship?. **Australian Feminist Studies**, v. 30, n. 84, p. 146-160, 2015.
- SEBRAE. **O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Empreendedorismo feminino: qual a sua importância para a sociedade?** <https://www.sebrae.com.br> . Acesso em: 2025.
- Yunus, M.; Jolis, A. (2003). **Banker to the poor: micro-lending and the battle against world poverty**. PublicAffairs.

FLIPERAMA MODERNO: INTEGRAÇÃO ENTRE RETRÔ E INOVAÇÃO

Luiz Felype Rigo Flores*; Jhon Lenon Evangelista Bordinhão*; Leonardo Gomes Guidolin**

*Acadêmico de Engenharia de Software, luizfelyperig1@gmail.com; jhonlenonbordinhao@gmail.com

**Mestre em Tecnologias Computacionais pro Agronegócio – UTFPR Medianeira,
leonardo.gguidolin@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 17 maio. 2025

Aceite: 05 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Com a crescente evolução das tecnologias e o crescente interesse pela cultura retrô, os fliperamas voltam a ganhar um elevado destaque como símbolo de nostalgia, inovação e preservação histórica. Este projeto propôs a construção de uma máquina de fliperama moderna, baseada no sistema Batocera Linux conhecido popularmente por sua leveza, compatibilidade com variados emuladores e facilidade de uso. O desenvolvimento priorizou a reutilização de materiais acessíveis, como um computador antigo e um monitor reaproveitado, além de uma estrutura física construída em MDF com design inspirado nas máquinas clássicas de antigamente. A montagem seguiu uma abordagem prática e econômica, com foco em sustentabilidade, portabilidade e baixo custo. A instalação do Batocera foi realizada via pendrive bootável, permitindo a configuração de emuladores e jogos com boa performance mesmo em hardware limitado. Os testes comprovaram o funcionamento eficiente do sistema, assegurando uma experiência satisfatória e acessível ao usuário. O projeto mostrou-se viável tanto do ponto de vista técnico quanto pedagógico, podendo ser replicado em contextos educativos, culturais e recreativos. Ao unir tecnologia, reaproveitamento de recursos e memória afetiva, o trabalho contribui para a democratização do acesso ao entretenimento digital e para o fortalecimento de práticas sustentáveis no desenvolvimento de dispositivos interativos.

Palavras-chave: fliperama; cultura retrô; Batocera; sustentabilidade; acessibilidade.

ABSTRACT

With the advancement of technology and the renewed interest in retro culture, arcade machines have regained prominence as icons of both nostalgia and innovation. This project aimed to build a modern arcade cabinet using the Batocera Linux system — a lightweight, open-source platform known for its broad emulator support and ease of configuration. The construction emphasized sustainability by repurposing accessible materials, such as a donated computer and LCD monitor, and using MDF panels to replicate the classic arcade aesthetic. The structure was designed for portability and ease of assembly, while maintaining visual appeal. The system was installed via a bootable USB drive, with configuration tailored to the hardware's limitations. Despite modest technical specifications, the machine delivered a smooth gaming experience and successfully emulated several classic consoles. The project proved technically feasible and pedagogically valuable, offering a low-cost, replicable solution for educational, cultural, and recreational spaces. By combining technological innovation with resource reuse and cultural preservation, this work contributes to expanding access to digital entertainment in a sustainable and inclusive way.

Keywords: arcade; retro games; Batocera; sustainability; accessibility.

Copyright © 2025, Luiz Felype Rigo Flores; Jhon Lenon Evangelista Bordinhão; Leonardo Gomes Guidolin. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: FLORES, Luiz Felype Rigo; BORDINHÃO, Jhon Lenon Evangelista; GUIDOLIN, Leonardo Gomes. Fliperama Moderno: Integração entre retrô e inovação. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguauçu, v. 3, n. 7, p. 98-106, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

Os jogos eletrônicos ocupam atualmente uma posição central na cultura contemporânea, oferecendo não apenas entretenimento, mas também estímulos e

experiências sensoriais e oportunidades de socialização. Desde os primeiros videogames até os mais complexos mundos virtuais atuais, essas plataformas transformaram significativamente a forma como interagimos com a tecnologia e com outras pessoas (Gee, 2003; Bogost, 2011).

Nesse cenário, os fliperamas – ou chamados de arcades – destacam-se como ícones da história dos videogames. Seu auge, entre as décadas de 1970 e 1990, ficou conhecido como a "Era de Ouro dos Arcades", período em que clássicos do fliperama como Pac-Man (1980), Donkey Kong (1981) e Street Fighter II (1991) tornaram-se fenômenos culturais (Kent, 2001). Essas máquinas não apenas impulsionaram a indústria dos jogos, como também criaram espaços de convívio, competição e pertencimento social, principalmente em ambientes urbanos (Donovan, 2010).

A experiência proporcionada pelos fliperamas transcende o ato de jogar. Envolve estética visual vibrante, sons, controles mecânicos e o contato direto com outros jogadores que gostam do fliperama. Mesmo com o declínio dos arcades físicos devido à popularização dos consoles domésticos e computadores pessoais nos anos 1990, sua memória afetiva persiste e continua influenciando o design de jogos contemporâneos (Wolf, 2008).

Com o avanço do movimento maker e a popularização de tecnologias acessíveis, como o Raspberry Pi e sistemas operacionais de código aberto voltados para emulação, tornou-se possível reviver essa experiência clássica de forma moderna, econômica e sustentável (Upton; Halfacree, 2014). Um dos principais exemplos dessa tendência é o sistema Batocera Linux, que oferece ampla compatibilidade com emuladores e pode ser executado em computadores reaproveitados.

Este artigo tem como objetivo relatar o desenvolvimento de uma máquina de fliperama moderna, construída com materiais reaproveitados e equipada com o sistema Batocera Linux. A proposta alia inovação tecnológica, sustentabilidade e resgate histórico, com foco na criação de um protótipo funcional, de baixo custo e acessível para aplicação em ambientes educacionais, culturais e recreativos.

JUSTIFICATIVA

A construção de fliperamas modernos utilizando tecnologias acessíveis, como a plataforma Batocera, representa uma proposta relevante no contexto da inovação tecnológica, da cultura digital e da sustentabilidade. Em uma sociedade cada vez mais orientada pelo uso intensivo da tecnologia, compreender os processos de desenvolvimento de dispositivos voltados ao entretenimento, sobretudo sob uma perspectiva de baixo custo e reutilização de recursos, é essencial para fomentar soluções criativas e socialmente inclusivas (Upton; Halfacree, 2014;

Nijhuis, 2020).

O uso do Batocera Linux, por ser um sistema operacional muito leve, gratuito e compatível com uma variedade de emuladores, possibilita a criação de experiências interativas com alto valor cultural e educacional. A facilidade de instalação e personalização da plataforma amplia o acesso de usuários com pouca experiência técnica, tornando-a ideal para iniciativas acadêmicas, comunitárias e maker (Batocera.linux, 2024).

Além disso, o reaproveitamento de componentes eletrônicos, como computadores e monitores em desuso, colabora diretamente com práticas de responsabilidade ambiental, contribuindo para a redução do lixo eletrônico e promovendo a economia circular. Essa abordagem também permite a democratização da cultura dos jogos eletrônicos, especialmente entre comunidades com recursos financeiros limitados, ao mesmo tempo em que estimula o desenvolvimento de habilidades práticas nas áreas de eletrônica, montagem de hardware, programação e design.

O projeto também se justifica pelo seu potencial pedagógico. A participação ativa no processo de construção da máquina proporciona aos envolvidos o desenvolvimento de competências técnicas e socioemocionais, como trabalho em equipe, resolução de problemas e pensamento crítico (Gandy, 2019; Giusti; Gallo; Cattaneo, 2020). Nesse sentido, fliperamas modernos, além de funcionarem como objetos de entretenimento, tornam-se ferramentas educativas valiosas e ambientes propícios à aprendizagem ativa e interdisciplinar.

Diante desses fatores, a proposta deste trabalho responde não apenas à valorização cultural dos fliperamas retrô, mas também a uma demanda contemporânea por soluções tecnológicas sustentáveis, educativas e de fácil replicação.

DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este projeto apresenta algumas limitações importantes, relacionadas principalmente à infraestrutura disponível, ao acesso a materiais e ao escopo operacional. Tais restrições não comprometeram a realização do objetivo central, mas influenciaram diretamente as decisões técnicas e metodológicas ao longo do desenvolvimento do fliperama.

Desde o início, foi identificado que a construção artesanal de uma máquina de fliperama exigiria soluções criativas para superar limitações logísticas e financeiras. Adquirir os recursos variou conforme a disponibilidade local. Por exemplo, os painéis de MDF utilizados na estrutura física foram realizados por meio de uma empresa local de marcenaria, responsável pelo corte e acabamento das peças. Essa colaboração foi essencial, considerando que a equipe não possuía ferramentas adequadas para esse tipo de

trabalho.

Quanto aos componentes eletrônicos, o projeto contou com a doação de um computador antigo, com mais de dez anos de uso, cedido pela Faculdade Uniguacu, além de um monitor LCD fornecido pelo Colégio Nossa Senhora de Fátima. Esses equipamentos, originalmente destinados ao descarte, foram reaproveitados, reforçando o compromisso do projeto com a sustentabilidade e a economia de recursos.

Do ponto de vista financeiro, o orçamento total foi limitado a R\$500,00, valor significativamente inferior ao necessário para a construção de uma máquina nova — cujo custo médio gira em torno de R\$3.000,00. Isso exigiu decisões estratégicas, como a priorização de itens de baixo custo, a reutilização de materiais e a simplificação de determinadas etapas de produção. Apesar das restrições de dinheiro, o projeto manteve-se funcional e alinhado ao propósito de acessibilidade tecnológica.

Em relação ao desempenho técnico, o uso de hardware reaproveitado limitou a compatibilidade do sistema a emuladores menos exigentes. Jogos que demandam um alto poder de processamento não foram contemplados, o que restringe a variedade de títulos disponíveis, como consoles de última geração. No entanto, essa limitação foi considerada parte do escopo do projeto, que tem como foco a emulação de consoles clássicos e a preservação da experiência retrô.

Por fim, é importante ressaltar que este trabalho foi desenvolvido em um contexto acadêmico, com fins educativos e experimentais para a Faculdade Uniguacu. As limitações enfrentadas foram encaradas como oportunidades de aprendizagem prática, estimulando o desenvolvimento de habilidades como planejamento, resolução de problemas, adaptação a recursos limitados e trabalho colaborativo. Assim, mais do que o produto final em si, o valor do projeto reside na vivência do processo e na aplicabilidade dos conhecimentos adquiridos.

METODOLOGIA

Em geral os métodos tratam-se de um conjunto de etapas organizadas de forma lógica para alcançarmos um determinado resultado. Segundo a norma ABNT NBR 14653, para se realizar uma análise coerente, devemos levar em consideração fontes confiáveis de coletas de dados, como registros públicos dados de vendas anteriores, informações de instituições fin

Este estudo seguiu uma metodologia de natureza prática e exploratória, com foco na construção de uma máquina de fliperama funcional, acessível e sustentável para o pessoal de baixa renda. O processo envolveu o reaproveitamento de materiais e o uso do sistema operacional Batocera Linux, uma plataforma

de código aberto voltada para emulação de jogos clássicos.

O desenvolvimento foi estruturado em etapas sequenciais, começando pelo levantamento de recursos disponíveis. Foram priorizados equipamentos eletrônicos descartados, como um computador antigo e um monitor LCD, além de painéis de MDF realizados por uma empresa de mercearia, utilizados na confecção da estrutura física. Esse reaproveitamento teve como objetivo reduzir custos e promover a sustentabilidade.

Na fase de planejamento, foi elaborado o design da cabine com foco em ergonomia, portabilidade fácil de locomoção e estética retrô. A montagem foi realizada com técnicas simples, utilizando cola, parafusos e rebites, e finalizada com pintura para garantir um acabamento visual agradável. A estrutura foi pensada para ser leve e fácil de transportar, o que ampliou sua aplicabilidade em diferentes ambientes.

A instalação do sistema Batocera foi feita por meio de um pendrive inicializável, utilizando o sistema rufus e utorrent para a instalação e com configuração adaptada ao hardware limitado. Foram definidos os controles, interface visual e plataformas de emuladores compatíveis com o desempenho da máquina, priorizando consoles clássicos de antigamente.

Por fim, testes funcionais foram conduzidos para avaliar a estabilidade do sistema, a usabilidade dos controles e o desempenho em diferentes jogos do sistema. A metodologia adotada permitiu validar a viabilidade técnica do projeto e oferecer uma solução prática, econômica e educacionalmente relevante, ou seja, a forma como o projeto foi desenvolvido mostrou que ele funciona bem, é barato, fácil de aplicar e pode ajudar no aprendizado.

Levantamento dos Materiais Disponíveis

A etapa inicial do projeto consistiu em um levantamento minucioso dos materiais e componentes necessários para a construção da máquina de fliperama, priorizando o uso de itens reutilizáveis, de baixo custo e de fácil obtenção. O objetivo foi otimizar recursos e garantir a viabilidade econômica do projeto, mantendo o foco na sustentabilidade e na acessibilidade do projeto.

A estrutura física da cabine foi construída com painéis de MDF, obtidos por meio de uma empresa com uma marcenaria local. As placas foram cortadas sob medida conforme o projeto técnico previamente elaborado que foi informado para a empresa, o que garantiu precisão dimensional e melhor acabamento das peças (Figura 1). Para a montagem da estrutura, foram utilizados parafusos e cola de madeira, proporcionando firmeza e durabilidade à composição.

Para facilitar a mobilidade do equipamento, foram adquiridas rodas giratórias com travas. Além disso, foram aplicadas camadas de tinta spray preta fosca

para o acabamento externo, conferindo à cabine uma estética retrô e mais próxima das máquinas de arcade tradicionais.

Figura 1 - Estrutura de fliperama em MDF em fase de montagem em marcenaria



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

No que se refere ao hardware, foram reaproveitados:

- Um computador desktop antigo, doado pela Faculdade Uniguacu, contendo processador dual-core, 2 GB de memória RAM e disco rígido de 160 GB;
- Um monitor LCD de 17 polegadas, doado por uma escola particular;
- Uma fonte de alimentação compatível com o equipamento reutilizado.

Para os controles, foram adquiridos dois kits arcade USB, compostos por joysticks, botões compatíveis com o sistema Batocera de Xbox One. Também foram incluídos adaptadores de rede sem fio e cabos de alimentação e vídeo para a instalação do Batocera.

A combinação entre doações, reaproveitamento de equipamentos em desuso e aquisições pontuais de baixo custo permitiu a construção de um protótipo funcional com orçamento total de aproximadamente R\$500,00, significativamente inferior ao custo médio de uma máquina de arcade comercial que custaria em torno de R\$3,000,00 sendo o mais inferior. Essa estratégia reafirma o compromisso do projeto com a economia de recursos e a sustentabilidade ambiental, além de ampliar seu potencial de replicação em contextos educacionais e comunitários.

Planejamento e Corte da Estrutura

Com base no levantamento dos materiais disponíveis, foi iniciado o planejamento detalhado da estrutura física da máquina de fliperama. O objetivo principal desta etapa foi desenvolver um projeto que

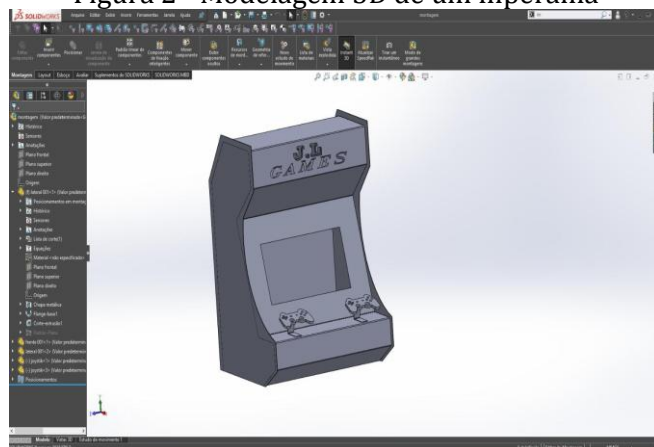
unisse funcionalidade, ergonomia, portabilidade e estética retrô, respeitando as limitações orçamentárias e os recursos técnicos disponíveis.

Optou-se por um modelo de gabinete do tipo slim, com dimensões reduzidas e peso leve para fácil locomoção do fliperama, o que favorece sua aplicação em espaços pequenos e facilita o transporte e o armazenamento. A proposta priorizou um design modular e minimalista, inspirado nas máquinas clássicas de arcade, mas adaptado às demandas contemporâneas de usabilidade e economia de espaço.

Durante a fase de concepção, foi elaborado um esboço técnico detalhado, contendo todas as medidas, divisões internas e pontos de fixação. Essa representação gráfica orientou o posicionamento de componentes como o monitor, os controles arcade, a placa-mãe e a fonte de alimentação, garantindo organização interna e ventilação adequada. O projeto também considerou aspectos ergonômicos, como a altura da tela em relação ao campo visual do usuário e a posição dos botões e joysticks de Xbox One, assegurando conforto durante a interação.

A transferência das medidas para as placas de MDF foi realizada utilizando caneta permanente e régua metálica, visando maior precisão nas marcações da caixa do fliperama, para que não ocorressem erros. O corte foi executado com o auxílio de uma serra tico-tico, ferramenta adequada para cortes retos e curvos em madeira de média densidade. As bordas das peças foram posteriormente lixadas para eliminar rebarbas e melhorar o acabamento.

Figura 2 - Modelagem 3D de um fliperama



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

A montagem inicial da estrutura envolveu testes de encaixe entre as peças cortadas, permitindo realizar ajustes precisos antes da fixação final. As conexões foram feitas utilizando cola de madeira em conjunto com parafusos, o que proporcionou uma montagem firme, estável e resistente a impactos e movimentações frequentes. Essa abordagem também contribuiu para uma distribuição mais uniforme das tensões mecânicas, aumentando a durabilidade da cabine e garantindo uma fixação segura do monitor

LCD, evitando qualquer risco de queda, e perca do monitor.

Por fim, o projeto foi desenvolvido de forma modular, o que permite desmontar algumas partes com facilidade quando for preciso transportar ou fazer manutenção. Essa característica também facilita futuras modificações ou melhorias, como a adição de novos componentes ou atualização do hardware. Foi feito um corte na parte de trás do fliperama, onde ficam instalados o computador e a caixa de som, o que torna o acesso fácil para ajustes ou consertos. O resultado foi uma estrutura física funcional, resistente e com um visual atrativo, ideal para reviver a experiência clássica dos fliperamas de maneira acessível e moderna.

Configuração do Sistema

A configuração do sistema foi uma etapa fundamental para garantir o funcionamento adequado da máquina de fliperama. Para isso, foi utilizado o Batocera Linux, um sistema operacional gratuito, de código aberto e baseado em Linux, desenvolvido especificamente para a emulação de jogos eletrônicos retrô. A escolha por essa plataforma se deve à sua ampla compatibilidade com computadores de arquitetura x86 e x64, facilidade de instalação, interface variável, amigável e desempenho satisfatório mesmo em hardwares antigos ou limitados.

O processo de instalação iniciou-se com o download da imagem oficial do Batocera, realizado por meio do uTorrent, disponível no site do projeto. Em seguida, a imagem foi gravada em um pendrive bootável utilizando o software Rufus, ferramenta responsável por tornar o dispositivo inicializável. Após isso, acessamos a BIOS do computador e configuramos o boot para ser feito diretamente pelo pendrive, o que dispensou a instalação no disco rígido e proporcionou maior flexibilidade para testes e atualizações futuras. Além disso, ajustamos a ordem de inicialização da BIOS para que o sistema inicie automaticamente pelo Batocera, evitando a necessidade de mudar as configurações toda vez que o computador for ligado e garantindo que ele entre direto na plataforma.

Ao ser inicializado, o sistema carregou automaticamente sua interface gráfica, permitindo acesso imediato às configurações principais. Foram realizadas as seguintes personalizações:

- Configuração de idioma e *layout* dos menus;
- Definição dos emuladores compatíveis com o desempenho do hardware (como NES, SNES, Mega Drive, Neo Geo e PlayStation 1)
- Instalação e organização de ROMs, realizadas por meio de transferência de arquivos via rede local ou dispositivos USB;
- Mapeamento dos controles arcade, feito manualmente através do menu de configurações nativo do sistema.

O Batocera reconheceu automaticamente os dispositivos de entrada USB, o que facilitou a integração dos controles arcade artesanais utilizados no projeto. No entanto, foram realizados ajustes finos no mapeamento dos botões de ação e navegação para garantir uma jogabilidade fluida e intuitiva. Essa calibração foi feita levando em consideração o *layout* original dos fliperamas e a forma como os jogos da época eram configurados, proporcionando uma experiência imersiva e autêntica. Dessa forma, os usuários conseguem se adaptar rapidamente aos controles, jogando com conforto e sem dificuldades, como se estivessem em uma máquina de arcade clássica.

"A interface do Batocera também foi personalizada com temas visuais retrô, ícones específicos para cada console e menus organizados por categoria. Essa personalização contribuiu para uma ambientação mais imersiva, remetendo às máquinas de arcade clássicas. Além disso, o sistema oferece a possibilidade de configurar diversos recursos, como filtros gráficos, salvamento rápido, netplay (jogos online entre dispositivos com Batocera) e gravação de vídeo. No entanto, nem todos esses recursos foram ativados, devido às limitações do hardware do computador utilizado. Apesar disso, com a substituição por componentes mais potentes, seria possível utilizar todas essas funcionalidades de forma mais eficiente.

Por fim, o sistema mostrou-se estável e responsivo, mesmo operando a partir de uma mídia removível e em um equipamento com desempenho modesto. A flexibilidade e simplicidade do Batocera se revelaram adequadas à proposta do projeto, permitindo transformar um computador antigo em uma central interativa de jogos retrô, sem a necessidade de conhecimentos avançados em Linux ou programação. Além disso, não é preciso ter um computador de última geração para rodar os jogos, o que torna o sistema acessível para uma maior variedade de usuários.

Adicionalmente, a estrutura do sistema foi organizada de modo a permitir, se necessário, a alternância entre o Batocera e outros sistemas operacionais, embora, para fins do projeto, o foco tenha permanecido exclusivamente na utilização do Batocera. Essa abordagem garante maior flexibilidade para futuras atualizações e expansões do projeto.

Configuração do Batocera

O Batocera é um sistema operacional gratuito, de código aberto e baseado em Linux, voltado à emulação de jogos eletrônicos. Sua principal vantagem é a ampla compatibilidade com computadores de arquitetura x64, como desktops convencionais, o que o torna ideal para projetos com recursos limitados ou que utilizem hardware reutilizado. Além disso, o sistema permite ao usuário selecionar apenas as plataformas de emuladores desejadas, conforme o desempenho do

equipamento disponível (Batocera.linux, 2024).

O Batocera oferece suporte a uma vasta gama de emuladores, desde os mais simples — como os de consoles clássicos, por exemplo, Super Nintendo e Mega Drive — até os mais complexos, como PlayStation 3 e Xbox 360, que exigem placas de vídeo dedicadas e processadores de alto desempenho. Dessa forma, o sistema se adapta tanto a configurações modernas quanto a máquinas mais antigas. No contexto deste projeto, optou-se pela utilização de um computador reutilizado, o que reforçou a escolha pelo Batocera como uma solução viável e eficiente (Batocera.linux, 2024).

O processo de instalação iniciou-se com o download da imagem oficial do sistema, disponível no site do Batocera. Em seguida, utilizou-se um software apropriado para gravação da imagem, o Rufus, criando-se um dispositivo inicializável (bootável) em um pendrive. Após configurar a ordem de inicialização (boot) na BIOS do computador, foi possível iniciar o sistema diretamente pelo dispositivo USB.

A instalação é conduzida por meio de um assistente intuitivo, no qual o usuário define informações básicas como nome de usuário e senha, as plataformas de emulação desejadas e preferências visuais da interface. A interface do Batocera é altamente personalizável, permitindo a modificação do estilo de exibição dos jogos, escolha de temas e ajustes no *layout* geral do sistema.

Outro destaque é a facilidade na configuração de controles personalizados, foi necessário ajustar manualmente os controles no sistema. O Batocera fornece um menu acessível e simplificado para essa finalidade, tornando o processo de mapeamento intuitivo, mesmo para usuários com pouca experiência técnica.

Batocera para Retrogaming

O Batocera é um sistema operacional especializado em retrogaming, projetado para transformar computadores e outros dispositivos compatíveis em verdadeiros consoles de jogos retrô. Sendo gratuito, de código aberto e baseado em Linux, o Batocera tem como diferencial a sua interface amigável e a facilidade de instalação e uso, mesmo para usuários com pouca experiência técnica.

Sua ampla compatibilidade com arquiteturas x86 e x64 o torna ideal para utilização em computadores de mesa, notebooks e mini-PCs, especialmente em projetos de baixo custo e reutilização de equipamentos antigos. Essa característica foi determinante para sua escolha neste projeto, considerando que o hardware utilizado incluía um computador reaproveitado, com recursos limitados, e um monitor também obtido por meio de doação.

O processo de instalação do Batocera é relativamente simples e acessível. Primeiramente, realiza-se o download da imagem oficial no site do

projeto. Em seguida, a imagem é gravada em um pendrive utilizando um software apropriado, como o balenaEtcher ou Rufus. Após esse procedimento, o pendrive torna-se um dispositivo inicializável (bootável). Basta configurar a sequência de inicialização (boot) do computador na BIOS/UEFI para que ele inicie diretamente pelo dispositivo.

Ao ser iniciado, o Batocera já carrega uma interface gráfica funcional, permitindo a imediata navegação e configuração dos controles, idiomas, temas visuais e ajustes de rede. A instalação em disco é opcional, sendo possível operar o sistema inteiramente a partir do pendrive, o que facilita testes e configurações sem alterar o sistema principal do computador.

O Batocera suporta uma vasta gama de emuladores integrados, prontos para uso, abrangendo plataformas como Atari, NES, SNES, Mega Drive, PlayStation 1, Nintendo 64, Dreamcast, PSP, entre outros. A seleção dos emuladores que serão utilizados depende diretamente das especificações de hardware disponíveis. Por exemplo, computadores com processadores mais antigos ou sem placas gráficas dedicadas terão melhor desempenho com consoles clássicos que demandam menor capacidade de processamento (Batocera.linux, 2024).

A adição de jogos (ROMs) é feita de forma intuitiva. O Batocera permite a transferência de arquivos por meio da rede local (acessando o compartilhamento de pastas) ou conectando dispositivos USB com as ROMs organizadas em pastas correspondentes a cada console. Após a transferência, o sistema atualiza automaticamente a interface para exibir os jogos disponíveis.

A personalização da interface é um dos grandes destaques do Batocera. O sistema permite instalar temas, configurar imagens de fundo para os jogos, reorganizar o *layout* dos menus e ajustar animações e sons ao gosto do usuário. A configuração dos controles também é bastante intuitiva: o Batocera reconhece automaticamente a maioria dos joysticks e gamepads USB, mas também oferece opções de ajuste manual — um recurso essencial para projetos personalizados, como fliperamas com botões artesanais. Além disso, se o jogador tiver preferência pelo estilo de controle de consoles específicos, como Xbox, PlayStation ou Nintendo, é possível reconfigurar os botões para refletir a disposição desses sistemas, garantindo uma experiência mais familiar e confortável.

Além disso, o Batocera oferece recursos avançados como gravação de vídeo, netplay (jogos multiplayer pela rede), filtros gráficos, e ajustes de desempenho por emulador. Tudo isso é acessível diretamente da interface principal, dispensando o uso de comandos no terminal ou configurações complexas.

Por fim, vale destacar que a comunidade do Batocera é bastante ativa, oferecendo fóruns, tutoriais, atualizações constantes e suporte técnico. Essa rede de colaboração contribui para a evolução contínua da

plataforma, tornando-a uma opção robusta e eficiente para projetos educacionais, makers e de entretenimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proposta final deste projeto consistiu na construção de uma máquina de fliperama funcional, desenvolvida a partir da utilização de materiais acessíveis e reutilizáveis, aliada à aplicação de técnicas simples, eficientes e facilmente replicáveis. O objetivo principal foi possibilitar que o projeto sirva como modelo para futuras iniciativas de baixo custo, promovendo o reaproveitamento de recursos e a democratização do acesso à tecnologia e ao entretenimento digital.

A estrutura da cabine foi projetada com ênfase na praticidade, mobilidade e economia de recursos, distanciando-se do modelo tradicional das máquinas de arcade, frequentemente caracterizadas por dimensões robustas, peso elevado e alto custo de produção. Optou-se por um design compacto do tipo "slim", que incorpora monitores de LCD ou LED em substituição às antigas telas CRT. Essa escolha não apenas reduziu significativamente o peso e o consumo energético do equipamento, como também otimizou seu formato, tornando-o mais ergonômico e adequado a espaços reduzidos e de fácil locomoção.

Fotografia 3 - Fliperama finalizado



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Como resultado, a máquina pode ser facilmente transportada por duas pessoas e acomodada em veículos convencionais, o que amplia suas possibilidades de uso em ambientes domésticos, espaços educacionais e eventos de pequeno porte. A portabilidade, somada à simplicidade da montagem e à utilização de software de código aberto, contribui

para a difusão de soluções acessíveis na construção de dispositivos interativos inspirados na cultura dos fliperamas clássicos.

Durante o desenvolvimento, buscou-se reutilizar ao máximo os componentes eletrônicos disponíveis, oriundos de sistemas em desuso, promovendo a economia de recursos e contribuindo, ainda que modestamente, para a redução de resíduos eletrônicos. Além disso, os softwares e sistemas de emulação empregados foram todos de código aberto, gratuitos e legalmente acessíveis, como o sistema Batocera, o que elimina custos com licenciamento e ampliou a viabilidade técnica do projeto para diversos públicos.

Desde sua concepção, o projeto não teve como finalidade a reprodução fiel de máquinas de fliperama clássicas, mas sim o desenvolvimento de uma versão funcional e simplificada, adaptada às limitações orçamentárias e estruturais enfrentadas por muitos entusiastas e instituições educacionais. Um modelo de referência foi o fliperama anteriormente desenvolvido na própria instituição de ensino, conhecido por sua simplicidade e eficácia, embora modificações tenham sido realizadas para atender aos requisitos específicos deste trabalho, como o suporte a dois jogadores simultâneos e a inclusão de mecanismos para facilitar o transporte.

Assim, conclui-se que este projeto alcançou seus objetivos centrais: construir um fliperama funcional, acessível e tecnicamente viável, promovendo alternativas criativas e de baixo custo para a democratização do acesso à cultura dos jogos eletrônicos clássicos, sobretudo para pessoas de baixa renda e comunidades escolares. O projeto também oferece uma base metodológica que pode ser expandida ou adaptada conforme diferentes contextos e necessidades futuras.

CONCLUSÕES

Ao término do projeto, foi realizada uma análise abrangente da máquina de fliperama construída em MDF (Medium-Density Fiberboard), equipada com controles de videogame. Com a estrutura finalizada, foram conduzidos testes no próprio instituto, envolvendo alunos da faculdade em Foz do Iguaçu, PR. O feedback obtido foi amplamente positivo, demonstrando que a implementação do projeto proporcionou entretenimento, engajamento e alta satisfação aos participantes da fase de testes.

A receptividade do público foi ainda mais evidenciada durante apresentações em eventos educacionais e científicos, como o VIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2019) e o VIII Workshop de Desafios da Computação Aplicada à Educação (DesafIE 2019). Nesses ambientes, o projeto recebeu elogios por seu caráter inovador e pelo

potencial de inserção dos alunos no mercado de jogos digitais — um setor em constante crescimento. Além disso, os cursos oferecidos no escopo do projeto promoveram o desenvolvimento pessoal e profissional dos envolvidos, especialmente em competências como trabalho em equipe, comunicação eficaz e senso de responsabilidade.

Um dos principais diferenciais da iniciativa foi a incorporação de um sistema baseado em Internet das Coisas (IoT), que permitiu a atualização contínua do sistema e a integração facilitada de novas tecnologias. Esse recurso também otimizou a manutenção e a análise de métricas, proporcionando suporte estratégico aos desenvolvedores e ampliando as possibilidades de inovação e eficiência do projeto.

Em síntese, o projeto se destacou não apenas pela sua proposta tecnológica e educativa, mas também por sua capacidade de impactar positivamente a formação dos alunos, fomentar o espírito colaborativo e incentivar a exploração de soluções criativas no campo dos jogos digitais.

Considerações Técnicas e Sustentabilidade

Este estudo teve como objetivo comparar diferentes abordagens para a construção de máquinas de fliperama, com foco na utilização de materiais reaproveitados e na aplicação da plataforma Batocera em um único equipamento. Durante o desenvolvimento, observou-se que essas estratégias não apenas oferecem viabilidade técnica, mas também promovem acessibilidade e sustentabilidade econômica.

A construção das cabines demonstrou que o uso de materiais reaproveitados, como madeira MDF e componentes eletrônicos doados, promove uma experiência enriquecedora ao incentivar práticas sustentáveis e a economia de recursos. No entanto, essa abordagem também apresentou desafios, especialmente quanto à disponibilidade e qualidade dos materiais reutilizados.

A adoção de uma arquitetura baseada em componentes, juntamente com a utilização da plataforma Batocera, mostrou-se eficiente e de fácil implementação. A escolha por essa solução permitiu a criação de fliperamas de baixo custo, mantendo boa performance e flexibilidade na configuração para diferentes tipos de jogos. A reutilização de um computador doado pela Faculdade Uniguacu foi um diferencial importante, reforçando o compromisso do projeto com a sustentabilidade e os princípios da economia circular.

A instalação do sistema Batocera permitiu um processo de desenvolvimento ágil, com custos reduzidos e grande versatilidade, possibilitando experiências interativas customizadas. A conclusão bem-sucedida da cabine demonstrou a viabilidade das metodologias adotadas e comprovou que é possível construir dispositivos de entretenimento acessíveis,

sustentáveis e tecnicamente robustos com recursos limitados.

Perspectivas Futuras

Pensando nos próximos passos do projeto, uma das principais propostas é a sua ampliação por meio da inclusão de novos tipos de jogos — especialmente aqueles com maior valor educativo, mais acessíveis e que consigam atrair diferentes faixas etárias. Essa diversificação contribuiria não apenas para enriquecer a experiência dos usuários, mas também para promover a inclusão digital, possibilitando o acesso de públicos historicamente marginalizados pelas tecnologias mais recentes. Com isso, o sistema se tornaria ainda mais inclusivo e adaptado a públicos diversos, respeitando suas realidades culturais e cognitivas.

Além disso, é recomendada a melhoria da interface gráfica, tornando-a mais intuitiva e agradável de usar. Essa mudança está alinhada com os princípios do design centrado no usuário, como os defendidos por Norman (2002), que reforça a importância de criar experiências simples, funcionais e emocionalmente satisfatórias para quem interage com dispositivos digitais. A aplicação desses princípios pode resultar em uma navegação mais fluida e em uma maior adesão dos usuários, sobretudo daqueles com pouca familiaridade com tecnologias interativas. Ao tornar a interface mais acessível, aumenta-se também o potencial educativo e recreativo da plataforma.

Outro ponto importante para o futuro do projeto é o aprofundamento das práticas sustentáveis, especialmente no que diz respeito ao reaproveitamento de componentes eletrônicos que seriam descartados. Investir em soluções baseadas em materiais reutilizáveis e na adaptação de equipamentos antigos pode ajudar não só a reduzir os custos de produção, mas também a contribuir com o meio ambiente. A adoção de estratégias de economia circular dentro do projeto favorece a criação de um ciclo virtuoso de inovação e sustentabilidade. Upton e Halfacree (2014), por exemplo, mostram como o uso do Raspberry Pi em projetos acessíveis pode ser uma forma eficiente de unir inovação tecnológica e responsabilidade ambiental, demonstrando que é possível alcançar eficiência sem comprometer os princípios ecológicos.

Além dos aspectos técnicos e sustentáveis, o projeto também tem um enorme potencial pedagógico. Diversos estudos mostram que os jogos digitais, quando bem aplicados, ajudam a desenvolver o raciocínio lógico, o engajamento e até mesmo habilidades socioemocionais dos alunos (Gee, 2003; Savi; Ulbricht, 2008). A gamificação, nesse contexto, surge como uma metodologia promissora no ambiente escolar, promovendo o protagonismo estudantil e o desenvolvimento de competências essenciais para o século XXI. Por isso, uma proposta interessante é

estabelecer parcerias com escolas, centros de tecnologia e espaços maker para criar oficinas e experiências educativas baseadas em jogos. Essas ações colaborativas podem fomentar a formação de comunidades de aprendizagem ativa e criativa, onde a tecnologia seja instrumento de transformação e não apenas de consumo. Essa ideia vai ao encontro do que Bender (2015) destaca como aprendizagem ativa: aprender fazendo, em ambientes que estimulam a criatividade, a experimentação e a colaboração entre pares.

Com todas essas possibilidades de expansão — mais jogos, melhor interface, práticas sustentáveis e uso pedagógico — o projeto se torna ainda mais versátil e preparado para atender diferentes realidades. Ele assume, assim, um papel significativo na promoção de uma cultura digital acessível, responsável e inovadora. Ao unir tecnologia, educação e consciência ambiental, o projeto não só preserva a memória cultural dos antigos fliperamas, como também se transforma em uma ferramenta relevante, inclusiva e atual, com grande potencial de impacto social. Sua continuidade e expansão podem representar um importante passo rumo a um futuro em que o entretenimento, a aprendizagem e o cuidado com o planeta coexistem de forma harmônica e eficaz.

REFERÊNCIAS

- BATOCERA.LINUX. **Batocera.linux – an open-source retro-gaming console**, 2024. Disponível em: <https://www.batocera.org>. Acesso em: 17 maio 2025.
- BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. Porto Alegre: Penso Editora, 2015.
- BOGOST, I. **How to do things with videogames**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2011.
- BOMFOCO, M. A.; ABREU AZEVEDO, V. de. Os jogos eletrônicos e suas contribuições para a aprendizagem na visão de JP Gee. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 10, n. 3, 2012. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/29641>. Acesso em: 17 maio 2025.
- CANAIS do VIII Workshop de Desafios da Computação Aplicada à Educação (DesafIE 2019), VIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2019). **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019.
- DONOVAN, T. **Replay: the history of video games**. East Sussex: Yellow Ant, 2010.
- FARDO, M. L. A gamificação aplicada em ambientes de aprendizagem. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 11, n. 1, 2013. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/38744>. Acesso em: 17 maio 2025.
- GEE, J. P. **What video games have to teach us about learning and literacy**. New York: Palgrave Macmillan, 2003.
- KENT, S. L. **The ultimate history of video games: from Pong to Pokémon and beyond – the story behind the craze that touched our lives and changed the world**. New York: Three Rivers Press, 2001.
- NORMAN, D. A. **The design of everyday things**. New York: Basic Books, 2002.
- RAPKIEWICZ, C. E. *et al.* Estratégias pedagógicas no ensino de algoritmos e programação associadas ao uso de jogos educacionais. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 5, n. 1, 2007. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/13907>. Acesso em: 17 maio 2025.
- SAVI, R.; ULBRICHT, V. R. Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 6, n. 1, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/13608>. Acesso em: 17 maio 2025.
- SILVA, L. F. *et al.* O crescimento dos jogos no mercado mobile e suas acessibilidades. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, 2016. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2016/02/jogos-mobile.html>. Acesso em: 17 maio 2025.
- UPTON, E.; HALFACREE, G. **Raspberry Pi user guide**. 3. ed. Indianapolis: Wiley, 2014.
- WOLF, M. J. P. **The video game explosion: a history from PONG to Playstation and beyond**. Westport: Greenwood Press, 2008.

SISTEMA DE DETECÇÃO E CONTAGEM DE ALUNOS EM SALA DE AULA UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PROCESSAMENTO DE VÍDEO

Mariana Molossi*; Alexssandro Ferreira Cordeiro**; Guilherme Henrique Silvestri*; Bruno Luiz Schuster Rech**

* Acadêmico de Engenharia de Software, marianamolossi@icloud.com; guilhermehsilvest@gmail.com

**Mestre Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – UTFPR Medianeira, alexssandrofc@gmail.com;

**Mestre Ciência da Computação – UNIOESTE, brunolsrech@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 17 out. 2025
Aceite: 05 jun. 2025
Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado para detecção e contagem de alunos em salas de aula, utilizando técnicas de visão computacional e aprendizado profundo. A pesquisa aborda o problema da ineficiência e suscetibilidade a erros nos métodos tradicionais de controle de frequência, propondo uma solução baseada na arquitetura YOLOv11 (You Only Look Once, versão 11). O sistema utiliza câmeras posicionadas estrategicamente para capturar imagens em tempo real, que são processadas por algoritmos de detecção de objetos para identificar e contar o número de estudantes presentes. A metodologia emprega a biblioteca OpenCV para captura e pré-processamento das imagens, enquanto o modelo YOLOv11, treinado com o COCO Dataset, realiza a detecção. Os resultados demonstram que o sistema é capaz de operar com alta precisão mesmo em condições desafiadoras, como variações de iluminação e oclusões parciais. Conclui-se que a aplicação proposta oferece uma solução eficaz e não invasiva para o monitoramento de presença em ambientes educacionais, contribuindo para a melhoria da gestão acadêmica e segurança institucional.

Palavras-chave: Visão computacional; YOLOv11; detecção de pessoas; contagem automática; educação.

ABSTRACT

This study proposes the development of an automated system for detecting and counting students in classrooms, employing computer vision and deep learning techniques. The research addresses the inefficiencies and susceptibility to errors in traditional attendance control methods by introducing a solution based on the YOLOv11 (You Only Look Once, version 11) architecture. Strategically positioned cameras capture real-time images, which are processed by object detection algorithms to identify and count the number of students present. The methodology utilizes the OpenCV library for image capture and preprocessing, while the YOLOv11 model, trained with the COCO Dataset, performs the detection. Results demonstrate that the system operates with high accuracy even under challenging conditions, such as lighting variations and partial occlusions. It is concluded that the proposed application offers an effective and non-invasive solution for attendance monitoring in educational environments, contributing to improved academic management and institutional security.

Keywords: computer vision; YOLOv11; people detection; automatic counting; education.

Copyright © 2025, Mariana Molossi; Alexssandro Ferreira Cordeiro; Guilherme Henrique Silvestri; Bruno Luiz Schuster Rech. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: MOLOSSI, Mariana; CORDEIRO, Alexssandro Ferreira; SILVESTRI, Guilherme Henrique; RECH, Bruno Luiz Schuster. Sistema de detecção e contagem de alunos em sala de aula utilizando inteligência artificial e processamento de vídeo. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguazu, v. 3, n. 7, p. 107-115, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica nas últimas décadas tem promovido transformações significativas em diversos

setores da sociedade, incluindo o setor educacional (Singh *et al.*, 2021). Ferramentas baseadas em inteligência artificial, aprendizado de máquina e visão computacional vêm sendo amplamente exploradas para resolver problemas antes tratados de forma manual ou ineficiente (Russell *et al.*, 2015). Dentre essas soluções, destaca-se a aplicação de tecnologias para detecção e contagem automática de pessoas, uma abordagem que vem ganhando cada vez mais relevância em ambientes internos, especialmente nas instituições de ensino (Kumar *et al.*, 2020).

A presença de alunos em sala de aula é um indicador fundamental para diversas análises pedagógicas, administrativas e até mesmo de segurança. Em contextos tradicionais, o controle de frequência é realizado manualmente, seja por meio de listas de chamada ou sistemas eletrônicos que exigem interação humana direta. No entanto, tais métodos estão sujeitos a falhas, como marcações indevidas, fraudes, omissões ou simplesmente perda de tempo em sala. Além disso, eles não oferecem uma visão contínua ou em tempo real da ocupação dos espaços educacionais (Faria *et al.*, 2019).

Nesse sentido, a possibilidade de utilizar sistemas automáticos de contagem de pessoas por vídeo apresenta-se como uma alternativa moderna e eficaz. Com o uso de câmeras comuns e algoritmos de detecção de objetos, é possível monitorar a movimentação e a permanência de indivíduos em ambientes internos, promovendo ganhos em termos de eficiência operacional, segurança institucional e apoio à tomada de decisões. Por exemplo, a identificação de uma queda súbita na frequência pode sinalizar problemas como evasão escolar, ao passo que o excesso de alunos pode representar riscos relacionados à superlotação ou à inadequação do espaço físico (Medeiros *et al.*, 2020).

Contudo, esse tipo de abordagem traz consigo desafios técnicos importantes. A qualidade e o posicionamento das câmeras, a iluminação do ambiente, a movimentação dos alunos e a possível obstrução entre corpos são fatores que influenciam diretamente a eficácia do sistema. Além disso, a necessidade de equilibrar precisão com desempenho computacional é uma preocupação recorrente, especialmente em aplicações que exigem análises em tempo real ou com recursos limitados (Zhang *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma aplicação baseada em redes neurais convolucionais, utilizando a arquitetura YOLO (You Only Look Once), com o objetivo de detectar e contar automaticamente o número de alunos em uma sala de aula a partir da análise de imagens de vídeo. O sistema é projetado para operar de maneira otimizada, realizando o processamento em intervalos específicos, o que permite reduzir a carga

computacional sem comprometer a acurácia dos resultados (Redmon *et al.*, 2016).

Com isso, espera-se contribuir para o avanço de soluções inteligentes no ambiente educacional, promovendo maior controle, segurança e eficiência por meio da integração entre tecnologia e gestão acadêmica.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Visão Computacional e Análise de Imagens

A visão computacional é um campo da inteligência artificial que visa permitir que computadores “enxerguem” e interpretem imagens ou vídeos de maneira similar à percepção humana. Essa área envolve tarefas como detecção de objetos, reconhecimento de padrões, rastreamento de movimento e segmentação de imagens. Com o avanço de técnicas de aprendizado de máquina, a análise de imagens ganhou um papel central em diversas aplicações, como vigilância, automação industrial e monitoramento de ambientes (Gonzalez; Woods, 2018).

No contexto educacional, a visão computacional possibilita a automação de processos como controle de presença, análise de comportamento e segurança. A detecção de pessoas em tempo real pode ser utilizada não apenas para fins administrativos, mas também para suporte à segurança institucional e planejamento de recursos.

2.2 Redes Neurais Convolucionais (CNN)

As Redes Neurais Convolucionais (CNNs – Convolutional Neural Networks) constituem um tipo de arquitetura de rede neural artificial projetada especialmente para o processamento de dados com estrutura em grade, como imagens bidimensionais. Diferentemente das redes neurais tradicionais, as CNNs são compostas por camadas convolucionais que aplicam filtros sobre regiões locais da imagem, extraíndo características relevantes de forma automática e hierárquica. Essa abordagem permite capturar desde padrões simples, como bordas e contornos, até estruturas mais complexas, como formas e objetos (LeCun *et al.*, 2015).

As CNNs são amplamente empregadas em tarefas de visão computacional, especialmente em problemas de detecção, reconhecimento e classificação de objetos. Essas redes apresentam alto desempenho mesmo em cenários com grande variabilidade de formas, tamanhos e posições, o que as torna ideais para aplicações em áreas como segurança pública, medicina diagnóstica, monitoramento urbano e, mais recentemente, em contextos educacionais (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

No contexto escolar, as CNNs vêm sendo utilizadas para implementar sistemas de contagem automática de estudantes em sala de aula. Essa aplicação tem por objetivo otimizar o processo de controle de presença,

oferecer dados estatísticos em tempo real e apoiar a gestão educacional por meio da automação. O funcionamento geral do sistema envolve a captura de imagens ou vídeos por câmeras instaladas estrategicamente, seguida do pré-processamento dessas imagens e da detecção de pessoas com o uso de modelos baseados em CNNs, como as arquiteturas da família YOLO (You Only Look Once).

Esses modelos realizam a detecção de indivíduos ao identificar suas localizações por meio de caixas delimitadoras (bounding boxes). A partir das detecções, o sistema realiza a contagem dos estudantes presentes, gerando relatórios e alertas de forma automática. Esse tipo de solução contribui significativamente para a melhoria da eficiência operacional das instituições de ensino, além de possibilitar a análise de dados relacionados à frequência e à ocupação das salas de aula (Redmon *et al.*, 2016).

2.3 Detecção de Objetos com YOLO

A arquitetura YOLO (You Only Look Once), desenvolvida por Redmon *et al.* (2016), revolucionou a detecção de objetos ao permitir que a identificação e a classificação fossem feitas em tempo real, com uma única passagem pela imagem. Diferente de abordagens tradicionais como R-CNN, que exigem múltiplas etapas de processamento, o YOLO divide a imagem em grades e, para cada uma delas, estima diretamente as classes e posições dos objetos.

2.4 COCO Dataset

O Common Objects in Context (COCO) é um dos conjuntos de dados mais amplamente utilizados no desenvolvimento e avaliação de modelos de visão computacional, especialmente em tarefas de detecção de objetos, segmentação semântica e geração de legendas automáticas para imagens. Criado por Lin *et al.* (2014), o COCO possui mais de 330 mil imagens, das quais aproximadamente 200 mil são anotadas, totalizando mais de 2,5 milhões de instâncias de objetos rotuladas, distribuídas em 80 categorias distintas, como pessoas, veículos, utensílios domésticos, animais, entre outros.

A principal característica que diferencia o COCO de outros datasets é a complexidade contextual das imagens: os objetos aparecem em posições variadas, com oclusões, em diferentes escalas e em contextos reais e desafiadores. Essa diversidade torna o COCO um recurso essencial para o treinamento de modelos robustos, capazes de generalizar bem para situações do mundo real, onde os objetos não se apresentam em cenários limpos e isolados, como em laboratórios ou conjuntos de dados artificiais.

Modelos de detecção de objetos de alto desempenho, como os da família YOLO (You Only Look Once), são frequentemente treinados e avaliados com base no COCO, o que contribui significativamente para

o aumento da precisão e da capacidade de generalização desses modelos. A comparação padronizada dos resultados obtidos no COCO também permite que pesquisadores avaliem o progresso da área de forma objetiva, utilizando métricas como mAP (mean Average Precision).

Assim, o COCO consolidou-se como uma referência fundamental na área de visão computacional, fornecendo uma base sólida para avanços em aplicações práticas que vão desde a segurança pública até a contagem de pessoas em ambientes educacionais e comerciais.

2.5 Aplicações da Contagem de Pessoas

A contagem automática de pessoas é um tema de pesquisa relevante em áreas como transporte público, eventos, varejo e segurança. A implementação em instituições de ensino ainda está em estágio inicial, mas apresenta grande potencial. Segundo Chen *et al.* (2020), sistemas automáticos de contagem podem auxiliar na gestão de espaços, no controle de acesso e no monitoramento de padrões de presença e movimentação.

Em ambientes educacionais, a contagem de alunos pode otimizar o uso de salas, identificar evasão escolar, detectar anomalias como superlotação e ainda contribuir para a resposta rápida em situações emergenciais. Com o suporte de tecnologias como visão computacional e deep learning, essas análises podem ser feitas de forma não invasiva, com alta precisão e baixo custo operacional.

2.6 Limitações e Desafios

Embora promissoras, as tecnologias de detecção e contagem de pessoas ainda enfrentam alguns desafios. A oclusão (quando uma pessoa bloqueia parcialmente outra na imagem), a iluminação inadequada, a baixa resolução das câmeras e os diferentes ângulos de captação são fatores que podem afetar negativamente os resultados. Além disso, o uso contínuo de algoritmos de detecção em tempo real demanda hardware com boa capacidade de processamento, o que pode limitar a aplicação em ambientes com recursos computacionais reduzidos (Zhang *et al.*, 2019).

Por isso, estratégias como a aplicação periódica do algoritmo em quadros selecionados (frame sampling) e o uso de técnicas de pré-processamento e pós-processamento tornam-se essenciais para equilibrar acurácia e desempenho.

METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido por meio de uma revisão bibliográfica sistemática, com o objetivo de mapear e analisar o estado da arte dos telhados verdes, destacando as tendências e perspectivas futuras dessa

tecnologia. A pesquisa será baseada em artigos científicos, dissertações, teses e trabalhos acadêmicos, com foco naqueles publicados nos últimos cinco anos. As principais fontes de pesquisa incluíram bases de dados como ScienceDirect, Google Acadêmico, além de sites especializados em construção sustentável e telhados verdes.

Foi utilizadas palavras-chave específicas para orientar a busca, tais como "telhado verde", "construção sustentável", "cobertura vegetada", "infraestrutura verde", "arquitetura sustentável", "mitigação urbana", "ecossistemas urbanos", e "soluções baseadas na natureza". As palavras-chave foram combinadas de diferentes maneiras para garantir uma abrangência adequada e a inclusão de estudos relevantes.

Os critérios de inclusão englobam publicações que discutam tanto aspectos técnicos quanto ambientais, além de abordagens inovadoras e tendências emergentes relacionadas aos telhados verdes. Trabalhos que ofereçam uma visão crítica sobre os desafios e as oportunidades desse sistema também serão priorizados.

Para a contagem automatizada de alunos em sala de aula, será utilizada uma câmera posicionada estrategicamente para captar toda a área ocupada pelos estudantes. Essa câmera estará conectada a um sistema computacional que fará o processamento das imagens em tempo real, empregando técnicas de visão computacional e aprendizado profundo.

O modelo central adotado para a detecção será o YOLOv11 (You Only Look Once, versão 11), uma das arquiteturas mais avançadas e eficientes para reconhecimento de objetos em vídeo. O YOLOv11 destaca-se pela capacidade de identificar pessoas mesmo em situações adversas, como oclusões parciais, variações de iluminação e movimentação, características comuns no ambiente de sala de aula. Sua arquitetura otimizada proporciona alta precisão e velocidade, aliadas a um consumo reduzido de recursos computacionais.

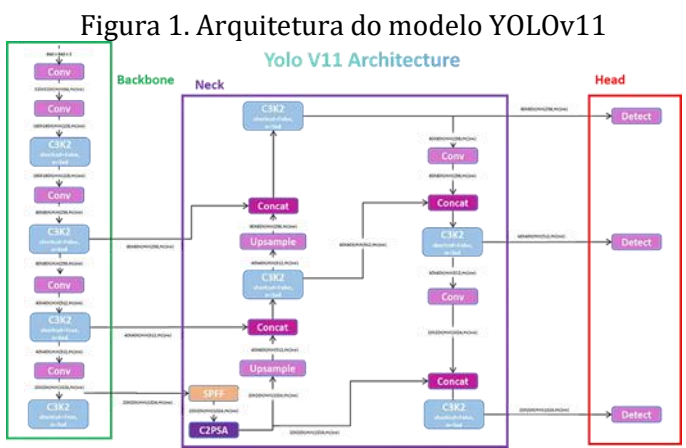


Figura 1. Arquitetura do modelo YOLOv11

Fonte: Adaptado de Rao (2023).

Arquitetura da Rede YOLOv11

A arquitetura da rede YOLOv11 é composta por três módulos principais: Backbone, Neck e Head, cada um com funções específicas no processo de detecção de objetos em imagens.

Backbone

O módulo Backbone, representado na cor verde, é responsável pela extração de características da imagem de entrada, cujo tamanho é de 640×640×3 (altura, largura e canais RGB). Essa etapa inicial é composta por diversas camadas convolucionais (Conv) e blocos C3K2, que representam uma variação dos blocos C3 com kernel 3×3 e duas repetições internas. Esses blocos são projetados para capturar padrões espaciais relevantes, mantendo a eficiência computacional da rede.

À medida que os dados percorrem as camadas do Backbone, ocorre uma redução progressiva nas dimensões espaciais da imagem e um aumento no número de canais (por exemplo: de 640×640×3 para 320×320×32, até atingir 20×20×512). Esse processo resulta na construção de representações progressivamente mais abstratas da imagem original.

Neck

O módulo Neck, destacado em roxo, tem como função refinar e combinar diferentes níveis de mapas de características extraídos pelo Backbone. O objetivo é aprimorar a capacidade da rede de detectar objetos em múltiplas escalas. Esse módulo incorpora os seguintes componentes:

- SPPF (Spatial Pyramid Pooling - Fast): responsável por realizar a fusão de informações espaciais em diferentes escalas;
- C2PSA: possivelmente uma variação de mecanismo de atenção, que visa enfatizar regiões mais relevantes da imagem;
- Upsample: camadas que aumentam a resolução espacial dos mapas de características, possibilitando a integração com informações de resoluções superiores;
- Concat: operação de concatenação de mapas de características oriundos de diferentes estágios da rede, promovendo o reaproveitamento de informações.

Head

O módulo Head, em vermelho, é encarregado de gerar as predições finais da rede, incluindo as caixas delimitadoras, as classes dos objetos detectados e os respectivos escores de confiança. Para isso, são utilizadas três camadas denominadas Detect, que atuam em diferentes resoluções: 80×80, 40×40 e 20×20. Essa abordagem multiescalar permite a detecção eficiente de objetos de diversos tamanhos, sendo as resoluções mais altas mais sensíveis a objetos pequenos, enquanto as menores são adequadas para objetos médios e grandes.

Resumo do Fluxo Operacional

A imagem de entrada é primeiramente processada pelo Backbone, onde são extraídas suas características por meio de convoluções e blocos especializados. As saídas intermediárias são então encaminhadas ao Neck, onde são refinadas, combinadas e redimensionadas. Por fim, o Head utiliza essas informações para realizar a detecção final de objetos em múltiplas escalas, fornecendo resultados precisos em diferentes níveis de resolução.

Além do YOLOv11, será utilizada a biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library), uma ferramenta de código aberto amplamente utilizada para o processamento de imagens e vídeos. O OpenCV será responsável por capturar os quadros de vídeo gerados pela câmera, realizar o pré-processamento dessas imagens (como redimensionamento e ajuste de brilho) e integrá-las ao modelo de detecção.

O sistema será desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python, devido à sua robustez e ampla compatibilidade com bibliotecas de inteligência artificial e visão computacional. O fluxo de funcionamento será composto pelas seguintes etapas:

- Captura de vídeo: A câmera transmite os quadros em tempo real para o sistema computacional.
- Pré-processamento: As imagens são tratadas e preparadas para análise, garantindo qualidade e padronização.
- Detecção com YOLOv11: O modelo analisa cada quadro selecionado e identifica quantas pessoas estão presentes.
- Contagem e registro: O número de alunos detectado é armazenado e pode ser visualizado em tempo real ou exportado para relatórios.

Uso do COCO Dataset

Para treinar e validar o modelo YOLOv11, será utilizado o COCO Dataset (Common Objects in Context), um dos conjuntos de dados mais amplamente reconhecidos na área de detecção de objetos. O COCO Dataset contém mais de 330.000 imagens e 2,5 milhões de anotações de objetos distribuídos em 80 categorias, sendo a categoria "Pessoa" o foco principal deste estudo.

A divisão do dataset será feita da seguinte forma:

- Conjunto de treinamento: Utilizado para que o modelo aprenda a detectar pessoas nas imagens.
- Conjunto de validação: Empregado para avaliar o desempenho do modelo durante o treinamento e prevenir overfitting.
- Conjunto de teste: Usado para verificar a acurácia do modelo em cenários não vistos anteriormente.

Esse método permite preservar a privacidade dos alunos, uma vez que o sistema não realiza reconhecimento facial ou identificação individual. O

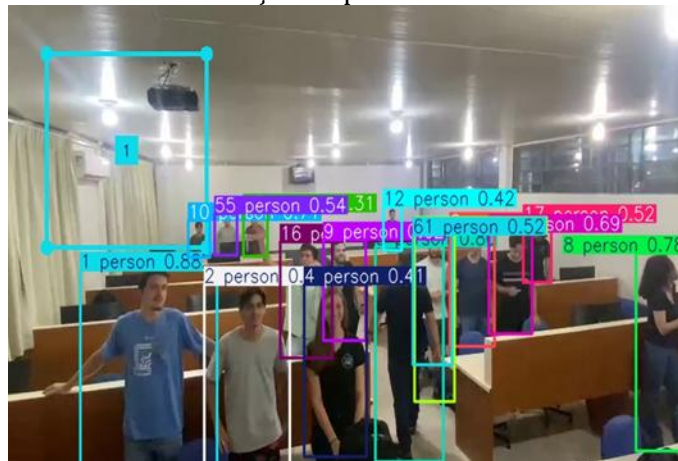
foco recai apenas na contagem total de pessoas no ambiente, garantindo a conformidade com princípios éticos e legais. Como resultado, a aplicação poderá ser utilizada para gerar relatórios de frequência automatizados, auxiliar professores e coordenadores pedagógicos, além de detectar situações anômalas, como superlotação ou evasão, com maior rapidez e precisão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados com o modelo YOLOv11 demonstraram a capacidade do sistema em detectar e contar corretamente o número de pessoas em diferentes ambientes internos, incluindo salas de aula e corredores da instituição. As imagens analisadas foram capturadas em diferentes momentos e locais, evidenciando a eficácia do modelo mesmo diante de desafios como iluminação variada e oclusões parciais.

A Figura 2 mostra o ambiente de uma sala de aula com múltiplos alunos posicionados em pé, alguns parcialmente ocluídos por outros. Mesmo assim, o modelo foi capaz de identificar a maioria dos indivíduos com precisão satisfatória, apresentando valores de confiança superiores a 0.50 em grande parte das detecções.

FIGURA 2. Detecção de pessoas em sala de aula



Fonte da Figura: Elaborado pelo autor (2025).

Na Figura 3, a detecção foi realizada em um corredor da instituição, com estudantes caminhando em direção à câmera. Apesar da movimentação, o modelo YOLOv11 manteve uma boa taxa de acerto, detectando corretamente todos os indivíduos com altos níveis de confiança.

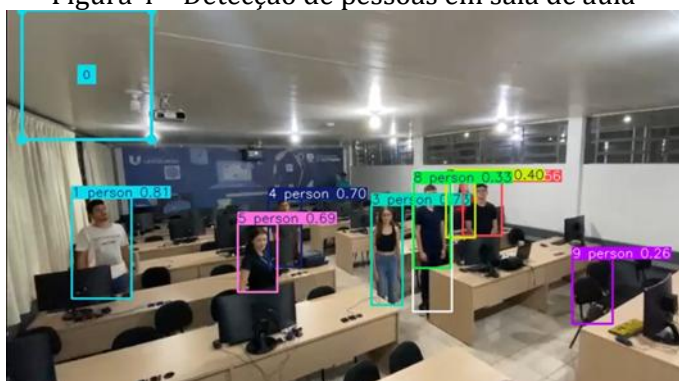
A Figura 4 exibe outro cenário de sala de aula, desta vez com menos estudantes. Nesse caso, novamente é possível verificar a consistência do modelo, que detectou corretamente os indivíduos presentes, mesmo em diferentes posições dentro da sala e com iluminação artificial.

Figura 3 – Detecção de pessoas em corredor da instituição



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 4 – Detecção de pessoas em sala de aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Esses resultados confirmam a viabilidade do uso do YOLOv11 para monitoramento e contagem de alunos em tempo real, mesmo em ambientes com variações de iluminação, ângulos de câmera e movimentação. Como limitação observada, destaca-se a sensibilidade do modelo a sobreposições extremas entre pessoas, o que pode afetar a precisão da contagem.

VISÕES FUTURAS

A evolução contínua dos modelos de detecção de objetos, especialmente a linha YOLO (You Only Look Once), abre um leque de possibilidades promissoras para aplicações em ambientes educacionais e outros domínios. As visões futuras apontam para um cenário onde a inteligência artificial se tornará ainda mais acessível, precisa e integrada ao cotidiano. Segundo

Redmon *et al.* (2016), a proposta original do YOLO já visava conciliar precisão e velocidade, e os avanços atuais reforçam esse compromisso com aplicações em tempo real.

Uma das principais tendências é o refinamento da arquitetura YOLO por meio de técnicas modernas de aprendizado profundo, como o uso de modelos híbridos, aprendizado auto-supervisionado e redes neurais mais leves e eficientes. Isso permitirá que modelos como o YOLOv11 sejam executados com alto desempenho mesmo em dispositivos com menor capacidade computacional, como câmeras inteligentes, tablets e microcontroladores. De acordo com Liu *et al.* (2023), a miniaturização de modelos de detecção com alta acurácia é uma linha de pesquisa crescente para aplicações em dispositivos embarcados.

Além disso, espera-se que o aprendizado contínuo (continual learning) seja incorporado aos modelos, permitindo que sistemas de contagem de pessoas em salas de aula se adaptem automaticamente a novas configurações, padrões de iluminação, movimentações ou mudanças estruturais sem necessidade de re-treinamento completo. Isso tornaria a aplicação mais flexível e eficaz em longo prazo. Parisi *et al.* (2019) destacam que o aprendizado contínuo permite que modelos mantenham conhecimento prévio enquanto assimilam novas informações, algo essencial para ambientes dinâmicos.

Outro ponto de destaque é o avanço rumo a sistemas de visão computacional multimodal, capazes de integrar dados visuais com outras fontes, como áudio e texto. Esses sistemas poderiam, por exemplo, não apenas detectar a presença dos alunos, mas também analisar engajamento, expressões faciais e padrões de comportamento, sempre respeitando os limites éticos e legais de privacidade. Segundo Baltrušaitis *et al.* (2019), a multimodalidade é fundamental para uma interpretação mais rica e contextual dos dados no ambiente computacional.

Com a expansão da computação em borda (edge computing), vislumbra-se a possibilidade de processamento local e em tempo real, sem depender de servidores externos, o que aumenta a confiabilidade do sistema e reduz custos operacionais. Isso é particularmente relevante em instituições de ensino públicas ou em regiões com infraestrutura tecnológica limitada. Shi *et al.* (2016) apontam que o edge computing permite redução de latência e maior segurança de dados, sendo ideal para sistemas críticos.

Por fim, destaca-se a importância de desenvolver mecanismos de preservação da privacidade e transparência no uso de dados, como anonimização automática de rostos e registro claro dos propósitos da coleta. Esses recursos serão fundamentais para a aceitação social e institucional das tecnologias

baseadas em visão computacional. De acordo com Dufaux (2020), a privacidade em sistemas de visão é um dos principais desafios contemporâneos, e exige soluções técnicas e regulamentares simultâneas.

Dessa forma, as visões futuras indicam um cenário de maior integração entre inteligência artificial e educação, no qual modelos como o YOLO não apenas contarão alunos, mas apoiarão o planejamento escolar, a segurança e a personalização do ensino, sempre com foco na ética e na eficiência. Como observam Luckin *et al.* (2016), a IA tem potencial para transformar a educação, desde que usada de forma responsável e centrada no ser humano.

CONCLUSÕES

Os testes realizados com o modelo YOLOv11 demonstraram a capacidade robusta do sistema em detectar e contar com precisão o número de pessoas em ambientes internos variados, como salas de aula e corredores. As imagens analisadas, capturadas em momentos e locais distintos, evidenciaram que o modelo mantém um bom desempenho mesmo diante de desafios típicos, como variações na iluminação e oclusões parciais. Isso indica um avanço significativo na aplicação de tecnologias de visão computacional em ambientes dinâmicos e complexos, como o monitoramento em tempo real de alunos em uma instituição de ensino.

Os resultados mostraram que o YOLOv11 foi eficaz na detecção, com a maior parte das detecções apresentando níveis de confiança superiores a 0.50, o que reforça a precisão do modelo em condições variadas de iluminação e posicionamento das pessoas. A aplicação de detecção em corredores e salas de aula com diferentes níveis de movimentação também demonstrou a flexibilidade do sistema para lidar com cenários dinâmicos. No entanto, a limitação identificada, especialmente em situações de sobreposição extrema entre indivíduos, destacou uma área de melhoria para aumentar a precisão da contagem em cenários com alta densidade de pessoas.

Esses achados têm implicações práticas significativas para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento automatizado em ambientes educacionais, oferecendo uma solução eficaz para contar e monitorar a presença de alunos em tempo real. Do ponto de vista teórico, os resultados reforçam a eficácia de modelos de detecção avançados, como o YOLOv11, para

aplicações em ambientes internos dinâmicos e sujeitos a condições desafiadoras de visualização.

Apesar dos avanços, o estudo apresenta algumas limitações, como a sensibilidade a sobreposições extremas entre indivíduos, que pode comprometer a precisão da contagem em casos específicos. A aplicação do modelo em diferentes tipos de ambientes e condições de câmera pode proporcionar novos insights sobre sua escalabilidade e robustez. Para futuras pesquisas, recomenda-se a exploração de técnicas complementares, como o uso de redes neurais para o rastreamento de pessoas, a fim de reduzir as falhas em situações de oclusão e sobreposição. Além disso, o aprimoramento na configuração de câmeras e no ajuste de parâmetros do modelo pode aumentar ainda mais a precisão e a eficácia da contagem em ambientes mais desafiadores.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. W. *et al.* **Artificial intelligence techniques for analyzing and predicting student performance.** IEEE Access, v. 8, p. 170201–170215, 2020.
- ALZUBAIDI, L. *et al.* Review of deep learning: Concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. **Journal of Big Data**, v. 8, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>.
- BALTRUŠAITIS, T.; AULI, M.; MORENO, P. Multimodal machine learning: A survey and taxonomy. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 41, n. 2, p. 423–443, 2019.
- BOCHKO, A.; KRASNOSHTAN, O. **Automated People Counting System Based on YOLO Object Detection and Tracking.** CEUR Workshop Proceedings, 2022.
- CHENG, Y. *et al.* Vision-based classroom occupancy analysis using deep learning. **Sensors**, v. 21, n. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21051684>.
- CHO, H.; CHEN, C.; WENG, J. Smart attendance monitoring system using computer vision. **Procedia Computer Science**, v. 141, p. 555–560, 2018.
- COCO DATASET. **Coco** – Common Objects in Context. Disponível em: <https://cocodataset.org/#home>.
- DUFAUX, F. **Video privacy protection: Trends and approaches.** In: CHEUNG, S. S. *et al.* (Org.).

- Handbook of visual privacy. Cham: Springer, 2020. p. 15–39.
- FANG, Y. *et al.* **Student engagement detection in e-learning environments using facial expression recognition.** Interactive Learning Environments, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2045202>.
- FARIA, R. L.; SANTOS, A. C.; OLIVEIRA, T. G. de. Sistema de controle de presença estudantil baseado em visão computacional e reconhecimento facial. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica**, v. 12, n. 1, p. 112–121, 2019. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/ric/article/view/5515>.
- FERREIRA, R. A. *et al.* Aplicações de visão computacional na educação: uma revisão sistemática. **Anais do Workshop de Informática na Escola (WIE)**, v. 26, n. 1, p. 315–324, 2020.
- GIRSHICK, R. *et al.* **Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation.** arXiv, 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1506.02640>.
- GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep learning.** Cambridge: MIT Press, 2016.
- INGH, Dilbag; KUMAR, Yashpal; KALIA, Arvind; CHAUHAN, Neha. Computer vision and deep learning-based human detection and counting system for classroom monitoring. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 12, p. 6841–6852, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02587-2>.
- KANTIPUDI, M. V. *et al.* **Human detection and counting system using YOLO and Deep SORT.** Materials Today: Proceedings, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.365>.
- KHAN, A. *et al.* Deep learning: Applications, challenges, and outlook in smart cities. **Sustainable Cities and Society**, v. 35, p. 612–624, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.018>.
- KUMAR, A.; VERMA, M.; SINGH, A. K.; RAI, H. M. Real-Time People Counting Using YOLO and DeepSORT in Classroom Environment. **Procedia Computer Science**, v. 171, p. 1571–1578, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.168>.
- KUMAR, R.; SHAH, M. Survey on Automated Attendance Monitoring Systems using Computer Vision Techniques. **International Journal of Computer Applications**, v. 179, n. 19, 2018.
- LECUN, Yann *et al.* Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436–444, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
- LI, Y. *et al.* **CSRNet: Dilated Convolutional Neural Networks for Understanding the Highly Congested Scenes.** In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018.
- LIN, Tsung-Yi *et al.* **Microsoft COCO: Common Objects in Context.** In: **European Conference on Computer Vision (ECCV).** Cham: Springer, 2014. p. 740–755. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48.
- LIU, Y. *et al.* Lightweight object detection networks for edge devices: A survey. **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, v. 34, n. 1, p. 144–163, 2023.
- LUCKIN, R. *et al.* **Intelligence unleashed: An argument for AI in education.** London: Pearson Education, 2016.
- MARTINS, R. M. *et al.* Inteligência Artificial Aplicada à Educação: Panorama e Tendências. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 28, n. 1, p. 25–42, 2020.
- MATSUKAWA, T.; OKABE, T.; SUZUKI, E.; SUGIYAMA, M. **Hierarchical Gaussian descriptor for person re-identification.** In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
- MEDEIROS, J. P.; SILVA, M. F.; ALMEIDA, R. A. de. Sistema de contagem de pessoas com visão computacional em tempo real aplicado ao ambiente educacional. **Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)**, v. 31, n. 1, p. 147–156, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2020.147>.
- MDPI. YOLOv5: A Novel Real-Time Object Detection Algorithm. **Technologies**, v. 5, n. 4, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-4990/5/4/83>.
- NGUYEN, D. T. *et al.* Real-Time People Counting Using Deep Learning. **Journal of Communications and Networks**, v. 22, n. 4, p. 258–264, 2020.

PARISI, G. I. *et al.* Continual lifelong learning with neural networks: A review. *Neural Networks*, v. 113, p. 54–71, 2019.

PEREIRA, L. G. *et al.* Visão computacional na educação: Uma proposta de sistema inteligente para contagem de estudantes em sala de aula. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica*, v. 17, n. 1, 2021.

RAO, Nikhil. **YOLOv11 Explained: Next-Level Object Detection With Enhanced Speed and Accuracy**. Medium, 2024. Disponível em: <https://medium.com/@nikhil-rao-20/yolov11-explained-next-level-object-detection-with-enhanced-speed-and-accuracy-2dbe2d376f71>.

REDMON, J. *et al.* **You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection**. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016. p. 779–788. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1506.02640>.

REDMON, J.; FARHADI, A. **YOLOv3: An Incremental Improvement**. arXiv preprint, arXiv:1804.02767, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1804.02767>.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter; DAVIS, Ernest. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2015.

SALEH, M. A.; MOHAMED, A. A.; HELMY, Y. I. Real-time student attendance system using face recognition and tracking techniques. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.01.012>.

SHI, W. *et al.* Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 3, n. 5, p. 637–646, 2016.

TAN, H.; WEI, Z.; ZHANG, X. Vision-based monitoring system for classroom behavior analysis. *Computers & Education*, v. 164, 2021.

ULTRALYTICS. **Citation file for Ultralytics repository**. GitHub, 2024. Disponível em: <https://github.com/ultralytics/ultralytics/blob/main/CITATION.cff>.

ULTRALYTICS. **Ultralytics YOLOv11 – Citations and Acknowledgements**. Ultralytics Docs, 2024. Disponível em: <https://docs.ultralytics.com/pt/models/yolo11/#citations-and-acknowledgements>.

UNIGUAÇU. Acervo digital – **Detalhes do documento**. UNIGUAÇU, 2025. Disponível em: <https://academico.uniguacu.com.br/academico/biblioteca/acervo/detalhes/39574>.

ZHANG, D. *et al.* Crowd counting with density map estimation: A review. *Neurocomputing*, v. 472, p. 336–353, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.10.056>.

ZHANG, Y. *et al.* **Single-Image Crowd Counting via Multi-Column Convolutional Neural Network**. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.

ZHANG, Y.; ZHAO, Y.; ZHOU, J.; LI, X. Real-Time People Counting System Based on Deep Learning in Complex Scenes. *Sensors*, v. 21, n. 12, p. 4030, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21124030>.

ZHENG, Y. *et al.* A YOLO-based deep learning model for student behavior detection in classrooms. *Sensors*, v. 21, n. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21113927>.

ZHAO, Z. Q.; ZHENG, P.; XU, S. T.; WU, X. Object detection with deep learning: A review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, v. 30, n. 11, p. 3212–3232, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865>.

PLATAFORMA DE RASTREABILIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS (ORIGEM VERDE)

Rogério Santos de Jesus*; Gabriel Augusto de Deus**

*Discente de Engenharia de Software - Faculdade Uniguaçu, rogeriosantosdev@gmail.com.

**Especialista em Docência para o ensino superior - UNINGÁ,
dedeus.gabriel@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 01 jun. 2025
Aceite: 15 jun. 2025
Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma plataforma digital para rastreabilidade de produtos agrícolas, visando garantir transparência, segurança alimentar e controle de qualidade. A solução integra agricultores, transportadores e distribuidores, utilizando *QR Codes* para registrar e acompanhar as etapas do processo produtivo. A plataforma foi desenvolvida como um aplicativo mobile, utilizando o framework *Flutter* para proporcionar acessibilidade, usabilidade e integração entre os agentes da cadeia produtiva. O agricultor insere informações sobre o plantio e gera um QR Code inicial. Em seguida, o transportador realiza a leitura desse identificador, adiciona dados logísticos e cria uma nova versão com as informações atualizadas. Por fim, o distribuidor faz uma última leitura, complementa os dados e imprime o código final na embalagem do produto. A metodologia inclui levantamento de requisitos, modelagem do sistema, desenvolvimento da aplicação e testes. Os resultados demonstram a eficácia da solução na rastreabilidade até o consumidor final.

Palavras-chave: rastreabilidade; transparência; mobile; QR Code; cadeia produtiva.

ABSTRACT

This article presents the development of a digital platform for the traceability of agricultural products, aiming to ensure transparency, food safety, and quality control. The solution integrates farmers, transporters, and distributors, using *QR Codes* to record and monitor each stage of the production. The platform was developed as a mobile application using the *Flutter* framework to provide accessibility, usability, and integration among the agents of the production chain. The farmer enters information about the planting and generates an initial QR code. Then, the transporter scans this identifier, adds logistical data, and creates a new version with the updated information. Finally, the distributor performs a final scan, adds complementary data, and prints the final code on the product packaging. The methodology includes requirements gathering, system modeling, application development, and testing. The results demonstrate the effectiveness of the solution in ensuring traceability up to the end consumer.

Keywords: traceability; mobile; transparency; QR Code; supply chain.

Copyright © 2025, Rogério Santos de Jesus; Gabriel Augusto de Deus. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: DE JESUS, Rogério Santos; DE DEUS, Gabriel Augusto. Plataforma de rastreabilidade de produtos agrícolas (Origem Verde). *Iguazu Science*, São Miguel do Iguaçu, v. 3, n. 7, p. 116-124, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

A segurança alimentar permanece como um dos principais desafios globais do século XXI, com a World Health Organization (Who, 2022) estimando que 600 milhões de casos de doenças anuais estão diretamente relacionados ao consumo de alimentos contaminados.

Este cenário crítico tem impulsionado demandas por sistemas eficazes de rastreabilidade, especialmente considerando que estudos recentes demonstram que 76% dos consumidores valorizam a transparência na cadeia produtiva, com disposição para pagar em média 12-18% a mais por produtos com origem certificada (Fao, 2023).

No contexto agrícola brasileiro, a rastreabilidade deixou de ser opcional para se tornar requisito legal através da Instrução Normativa MAPA nº 02/2018, que estabelece padrões alinhados com regulamentações internacionais como o Food Safety Modernization Act (FDA, 2021) dos Estados Unidos da América. Como demonstrado por Loose e Paula (2024), a integração de tecnologias digitais como *QR Codes* e blockchain tem se mostrado determinante para reduzir em até 40% as perdas por falhas na cadeia logística, além de permitir recall de produtos contaminados em tempo 89% menor.

A valorização de produtos rastreáveis no mercado internacional é notória, com estudos da Fao (2023) indicando que commodities com certificação de origem alcançam preços 20-25% superiores aos de mercados premium. Paralelamente, esses sistemas viabilizam a mensuração precisa de indicadores de sustentabilidade, contribuindo diretamente para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 12.3) da ONU, particularmente na redução do desperdício alimentar.

REFERENCIAL TEÓRICO

A rastreabilidade agrícola é um dos pilares essenciais para garantir a segurança alimentar, a sustentabilidade e a transparência na cadeia produtiva. Segundo Embrapa (2021), a adoção de tecnologias digitais no campo tem potencial para transformar profundamente os processos agrícolas, permitindo maior controle, qualidade e segurança dos alimentos. A rastreabilidade, dentro desse cenário, é favorecida pelo uso de soluções digitais que conectam os diferentes elos da cadeia produtiva, garantindo que informações cruciais sobre origem, manejo e transporte sejam facilmente acessíveis.

Nesse contexto, destaca-se a importância da Agricultura 4.0, que, conforme Ferreira (2020), promove a integração entre tecnologias como Internet of Things (IoT), Big Data e sistemas móveis. Essa integração possibilita a coleta e análise de dados em tempo real, aprimorando a rastreabilidade e contribuindo para a eficiência logística e competitividade do setor agrícola.

Além disso, Pereira Neto (2020) ressalta que, para que a rastreabilidade seja eficaz, é necessário considerar não apenas a coleta dos dados, mas também sua segurança e integridade. A utilização de soluções digitais seguras, integradas a aplicativos móveis, facilita a gestão dessas informações de forma acessível e confiável, garantindo maior confiabilidade para consumidores e produtores.

Complementando essa perspectiva, Pereira Neto (2020) destaca que a adoção de soluções digitais móveis e seguras contribui para tornar os sistemas de rastreabilidade mais acessíveis e confiáveis, especialmente para produtores que atuam em contextos com menor suporte tecnológico. Nesse

sentido, frameworks multiplataforma como o *Flutter* representam uma alternativa eficaz, pois possibilitam o uso da aplicação em diversos dispositivos, independentemente do sistema operacional, ampliando a inclusão digital no campo.

Dessa forma, observa-se que a literatura analisada converge para a necessidade de integrar tecnologias digitais acessíveis e seguras, promovendo uma rastreabilidade eficaz e alinhada às exigências do mercado atual.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo baseou-se neste momento em três etapas principais:

Levantamento de Requisitos: Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com três participantes: um agricultor e dois transportadores. O objetivo foi compreender as principais dificuldades enfrentadas em relação ao controle de acesso, registro de usuários e segurança das informações. Identificou-se a necessidade de um sistema simples, eficiente e seguro para cadastro e autenticação dos usuários. Além disso, foram analisados sistemas de rastreabilidade já existentes no mercado, com foco específico em práticas relacionadas à rastreabilidade de produtos agrícolas

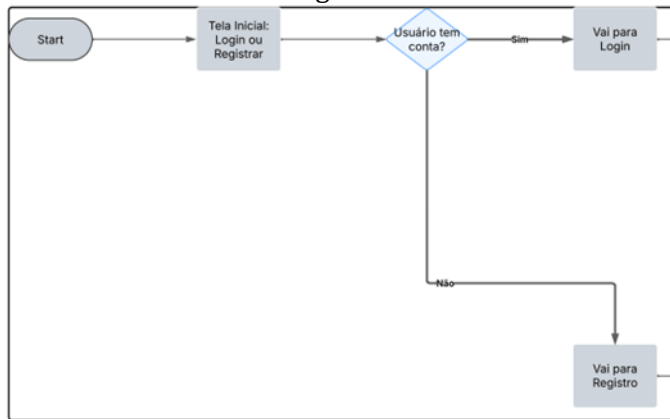
Modelagem do Sistema: Com base nos dados coletados, foi desenvolvida a arquitetura do sistema utilizando diagramas UML (Unified Modeling Language), contemplando casos de uso, fluxogramas e modelagem do banco de dados. A arquitetura adota o modelo cliente-servidor, com banco de dados *Firestore* e aplicação móvel com *Flutter*. Segundo DevMedia (2013), a UML é uma linguagem de modelagem que fornece meios para auxiliar no levantamento de requisitos e na modelagem de estruturas que compõem um sistema, sendo amplamente aceita no mercado devido à sua forte integração com conceitos de Orientação a Objetos. Com base nisso, foi elaborado o diagrama UML apresentados nas três figuras a seguir, com o objetivo de exemplificar a utilização da aplicação.

A Figura 1 apresenta o fluxograma geral que descreve o fluxo inicial de interação do usuário com o aplicativo de rastreabilidade agrícola. Ao acessar o sistema, o usuário visualiza a tela inicial com duas opções principais: realizar o *login* ou registrar uma nova conta.

O fluxo segue com a verificação se o usuário já possui uma conta cadastrada. Caso o usuário tenha uma conta existente, ele será direcionado para a tela de *login*, onde informará suas credenciais. Caso contrário, ele é encaminhado para o processo de registro. Esse fluxo visa proporcionar uma experiência intuitiva, garantindo que o usuário identifique

rapidamente a ação necessária para acessar ou criar sua conta, alinhado às boas práticas de usabilidade.

Figura 1 – Fluxograma do Processo de *Login* e Registro



Fonte: Autoria própria.

A Figura 2 detalha o funcionamento interno das etapas de *login* e registro dentro do aplicativo. O diagrama é dividido em dois fluxos principais:

Figura 2 – Fluxograma Detalhado do Processo de *Login* e Registro



Fonte: Autoria própria.

● Fluxo de *Login*:

O usuário acessa a tela de *login* e insere seu e-mail e senha. Em seguida, o sistema realiza a verificação dessas informações utilizando os serviços do *Firebase Authentication*. Caso os dados estejam corretos, o acesso é concedido; do contrário, uma mensagem de erro é exibida para que o usuário possa tentar novamente.

● Fluxo de Registro:

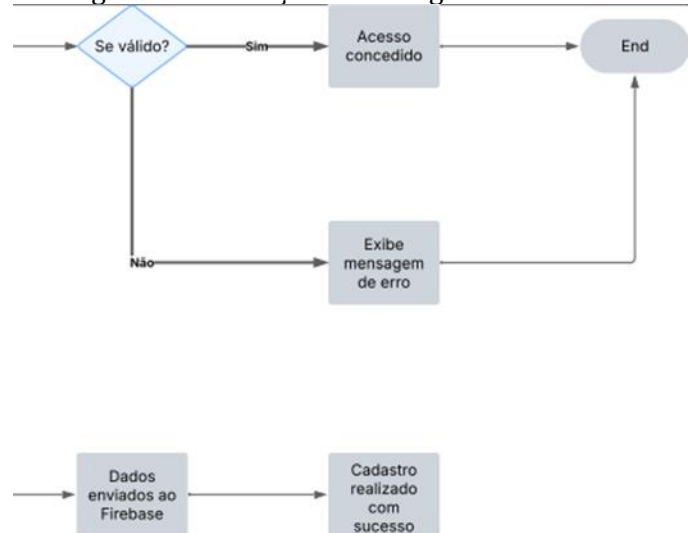
No caso de um novo registro, o usuário deve preencher os campos obrigatórios: nome, e-mail,

telefone, senha e perfil (agricultor, transportador ou distribuidor). Após o preenchimento, o sistema realiza a validação dos campos, assegurando que todas as informações estejam corretas e completas. Após validação, os dados são enviados e armazenados de forma segura no *Firebase*, criando um novo perfil de usuário.

Este detalhamento busca evidenciar como o sistema garante segurança e integridade das informações, respeitando boas práticas de desenvolvimento de aplicação móvel, além de proporcionar um fluxo contínuo e sem complicações para os usuários.

A Figura 3 complementa o processo demonstrado anteriormente, apresentando as etapas finais da autenticação. Após a verificação dos dados inseridos pelo usuário (seja *login* ou registro), o sistema executa a validação dessas informações:

Figura 3 – Validação e Mensagens de Retorno



Fonte: Autoria própria.

● Caso os dados sejam válidos, o sistema concede o acesso e redireciona o usuário para a área principal do aplicativo.

● Caso contrário, uma mensagem de erro é exibida, informando o usuário sobre a necessidade de corrigir suas credenciais ou dados de registro.

Desenvolvimento do Aplicativo: O aplicativo está sendo desenvolvido utilizando o framework *Flutter*, garantindo compatibilidade com Android e iOS. O aplicativo foi dividido em três módulos principais: agricultor, transportador e distribuidor. Cada módulo possui telas específicas para entrada e consulta de dados, leitura e geração de *QR Codes* e integração com o banco de dados via API (application programming interface) segura.

Para validar a proposta da plataforma, foi desenvolvido um Minimum Viable Product (MVP) com foco na autenticação de usuários e no acompanhamento da cadeia produtiva por meio da

geração e leitura de QR Codes. A seguir, descrevem-se os módulos implementados.

1. Módulo de Autenticação

- Tela de registro de usuários com os campos:
 - Nome completo
 - CPF
 - E-mail
 - Telefone
 - Senha
 - Perfil de atuação (Agricultor, Transportador ou Distribuidor)
 - Validação de campos obrigatórios com mensagens de erro em tempo real
 - Confirmação por e-mail no processo de cadastro
 - Tela de *login* com autenticação via *Firebase Authentication*
 - Geração de Json Web Token (JWT) para sessões seguras
 - Armazenamento dos dados de autenticação no *Firebase* com criptografia

2. Módulo de Rastreabilidade com QR Code

Agricultor:

- Cadastro de informações básicas da cultura (tipo, lote, data, localização)
- Geração de QR Code inicial vinculado ao produto

Transportador:

- Leitura do QR Code gerado pelo agricultor
- Inclusão de informações logísticas (rota, data, veículo, responsável)
- Geração de novo QR Code com dados atualizados

Distribuidor:

- Leitura do QR Code do transportador
- Registro da chegada do produto e destino final
- Geração de QR Code final para impressão na embalagem

3. Banco de Dados e *Backend*

- Utilização do *Firebase Firestore*:
- Armazenamento das informações por lote de produto
 - Histórico de atualizações mantido por etapa
 - Coleções organizadas em usuários, produtos, *QR Codes* e etapas
 - Comunicação com *backend* através de APIs REST e integração com *Firebase Functions* para lógica de QR Code

4. Aplicativo Móvel

- Desenvolvido em *Flutter*, com interface unificada para Android e iOS
- Navegação adaptada ao perfil do usuário logado
 - Leitura de *QR Codes* com a câmera do dispositivo utilizando *qr_code_scanner*
 - Interface responsiva e acessível, com botões destacados e feedbacks visuais

5. Funcionalidades Complementares

- Logout seguro e gerenciamento de sessão
- Compatibilidade com múltiplos dispositivos

6. Resultados Esperados

- Rastreabilidade completa do produto em três etapas distintas
 - Usuários conseguem se registrar, autenticar e interagir com o sistema com base em seu perfil
 - Leitura e geração de *QR Codes* com integridade dos dados garantida
 - Armazenamento seguro e sincronizado em nuvens
 - Base sólida para evolução do sistema, com arquitetura escalável

Este processo é essencial para garantir a segurança do sistema e oferecer feedback claro ao usuário, permitindo que eventuais erros sejam corrigidos facilmente.

ESTUDO DE CASO

A necessidade de garantir segurança e controle de acesso aos dados sensíveis relacionados à cadeia produtiva agrícola motivou a implementação de telas específicas para *login* e registro no aplicativo de rastreabilidade desenvolvido. Estas funcionalidades visam assegurar que apenas usuários autorizados possam acessar e manipular as informações relativas aos produtos agrícolas rastreados.

Para isso, foi construído um UML com o intuito de exemplificar toda trajetória do usuário ao acessar a aplicação.

Conforme destacado por Pereira Neto (2020), a segurança e integridade das informações são pontos críticos para a eficácia de sistemas de rastreabilidade. Por isso, a aplicação foi desenvolvida utilizando práticas modernas de autenticação e armazenamento seguro dos dados, alinhada às recomendações da literatura.

As telas de *login* e registro foram projetadas no framework *Flutter*, permitindo compatibilidade com dispositivos Android e iOS. O desenvolvimento seguiu princípios de usabilidade e segurança, conforme sugerido por Ferreira (2020), garantindo uma experiência fluida para agricultores, transportadores e distribuidores.

Tela de Registro

A tela de registro foi estruturada para coletar informações essenciais:

- Nome completo
- E-mail
- Telefone
- Senha (com validação de segurança)
- Perfil de atuação (Agricultor, Transportador ou Distribuidor)

Após o preenchimento dos dados, o sistema realiza a validação e armazena as informações no banco de dados *Firebase*, utilizando protocolos de segurança. A confirmação do registro ocorre via e-mail, promovendo uma camada adicional de verificação.

Tela de *Login*

A tela de *login* permite que usuários cadastrados acessem a plataforma utilizando seu e-mail e senha. O processo de autenticação emprega JWT (JSON Web Token), garantindo sessões seguras e protegidas contra acessos não autorizados. Segundo Barbosa (2024), o padrão JSON Web Tokens (JWT) se destaca como uma ferramenta crucial para assegurar a integridade das informações sensíveis e garantir a autenticidade das comunicações em ambientes distribuídos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

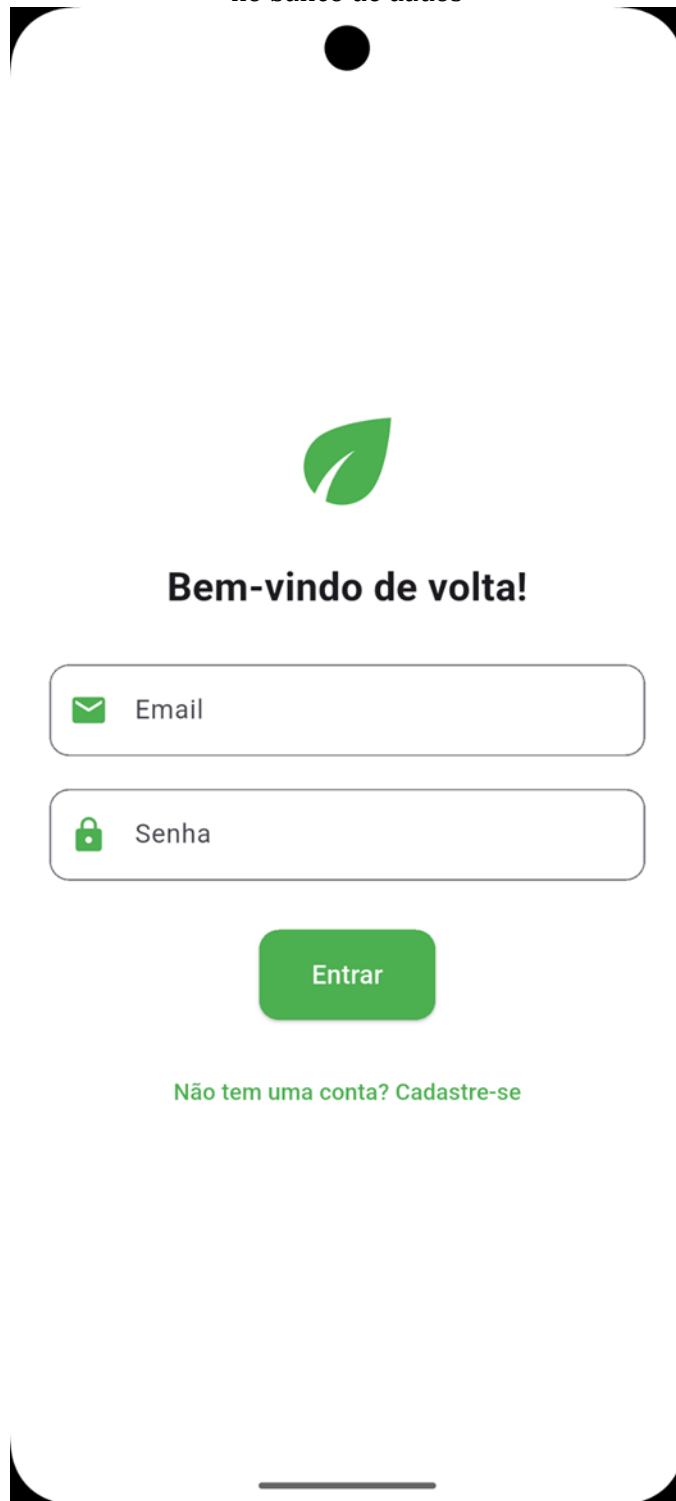
O desenvolvimento da plataforma de rastreabilidade de produtos agrícolas incluiu a implementação das telas de *login* e registro, essenciais para a segurança e gestão dos usuários. Durante os testes realizados, observou-se que a interface desenvolvida em *Flutter* proporcionou uma experiência intuitiva e de fácil utilização. Segundo *Flutter Documentation* (2025), o *Flutter* permite o desenvolvimento de aplicações de gerenciamento de tarefas com interfaces intuitivas e eficientes, facilitando a organização e execução das tarefas pelos usuários.

O desenvolvimento da plataforma de rastreabilidade de produtos agrícolas incluiu a implementação das telas de *login* e registro, fundamentais para a segurança e gestão dos usuários. Durante os testes realizados, observou-se que a interface desenvolvida em *Flutter* proporcionou uma experiência intuitiva, acessível e de fácil utilização.

A tela de *login* é a porta de entrada para o sistema e foi projetada com base em princípios de usabilidade, acessibilidade e identidade visual coerente com o propósito da aplicação. Nela, o usuário se depara com uma interface limpa e intuitiva, com elementos distribuídos de forma centralizada para facilitar a navegação, mesmo em dispositivos com telas reduzidas. A Figura 4, apresentada a seguir, ilustra a tela de *login* da aplicação.

No topo da tela encontra-se o logotipo da aplicação, reforçando a identidade visual do sistema e transmitindo confiança ao usuário. Em seguida, há uma mensagem de boas-vindas (“Bem-vindo de volta!”), com o objetivo de criar uma experiência mais personalizada e acolhedora. Abaixo da saudação, estão dispostos dois campos de entrada: o primeiro para o endereço de e-mail e o segundo para a senha, ambos acompanhados por ícones ilustrativos à esquerda, que auxiliam na identificação rápida do conteúdo esperado em cada campo. Esses campos possuem validações embutidas que auxiliam o usuário a corrigir erros antes do envio.

Figura 4 – Tela de *Login* dos Usuários já cadastrados no banco de dados



Fonte: Autoria própria.

O botão de ação “Entrar” é destacado em verde, cor que remete à natureza e sustentabilidade — valores centrais do sistema — e que também chama a atenção para a ação principal esperada. A cor verde, além de sua carga simbólica, possui bom contraste com o fundo branco, atendendo critérios de acessibilidade visual.

Na parte inferior da tela, há um texto complementar com um link interativo que redireciona o usuário para a tela de cadastro (“Não tem uma conta?”).

Cadastre-se”). Este link reforça a navegação fluida dentro do sistema e evita que novos usuários fiquem presos na tela de *login* sem uma opção clara de registro.

Em termos de *User Experience* (UX), esta tela busca ser funcional, objetiva e acolhedora, garantindo que tanto usuários novatos quanto recorrentes consigam acessar suas contas de forma rápida e eficiente.

A tela de registro permitiu que novos usuários se cadastrem fornecendo informações essenciais, como nome, e-mail, telefone e perfil de atuação (agricultor, transportador ou distribuidor). O processo de registro foi validado com autenticação via e-mail e senha, garantindo a segurança dos dados armazenados no sistema.

A tela de cadastro apresentada na figura a seguir é responsável por coletar informações essenciais para a criação de um novo usuário no sistema. Ela representa a primeira etapa do processo de registro, sendo fundamental para garantir a individualização do usuário, bem como sua categorização dentro da aplicação.

A interface é organizada em blocos de preenchimento, cada um com um título sugestivo e campos obrigatórios. São solicitados dados como nome completo, CPF, e-mail e confirmação de e-mail, garantindo que as informações fornecidas sejam válidas e não contenham erros. A validação em tempo real dos campos promove a correção de dados antes mesmo do envio do formulário.

Em seguida, o sistema solicita informações regionais do usuário — estado e cidade — por meio de menus do tipo dropdown, que facilitam a seleção de valores válidos e padronizados, evitando erros de digitação e inconsistência nos dados.

Mais abaixo, são solicitadas a senha e a confirmação da mesma, com regras de validação aplicadas para garantir segurança, como exigência de um número mínimo de caracteres e verificação de correspondência entre os campos.

Um diferencial dessa tela é a escolha do perfil do usuário, fundamental para determinar as funcionalidades que serão liberadas após o *login*. Os perfis disponíveis são “Produtor” e “Transportador”, e a seleção é feita por meio de radio buttons dispostos de maneira clara. Essa divisão de perfis permite ao sistema personalizar a experiência do usuário com base no seu papel dentro da cadeia de logística sustentável.

O botão “Registrar” também é destacado em verde, seguindo o padrão visual da aplicação e reforçando a hierarquia de ações. Toda a interface foi construída pensando em responsividade e adaptabilidade, o que garante uma boa experiência de uso em diferentes tamanhos de tela, especialmente em dispositivos móveis.

Figura 5 – Tela de Registro com todos os campos obrigatórios

Cadastro de Usuário

Nome completo

CPF

Email

Confirmação de Email

Estado

Cidade

Senha

Confirmação de Senha

Perfil do Usuário

Produtor

Transportador

Fonte: Autoria própria.

A tela representada na figura 6 é uma versão expandida do formulário de cadastro anterior. A principal diferença está na inclusão de um terceiro perfil de usuário: o Distribuidor. Essa atualização visa acomodar um espectro mais amplo de participantes no ecossistema da aplicação, que envolve coleta, transporte e redistribuição de resíduos ou materiais recicláveis.

Figura 6 – Continuação Tela de Registro com o botão Registrar

Nome completo ●

CPF

Email

Confirmação de Email

Estado ▾

Cidade ▾

Senha

Confirmação de Senha

Perfil do Usuário

Produtor

Transportador

Distribuidor

Registrar

Fonte: Autoria própria.

O *layout* mantém a mesma estrutura limpa e organizada, com campos de entrada bem definidos, utilizando espaçamento adequado entre os elementos para evitar sobrecarga cognitiva. Todos os campos obrigatórios permanecem presentes, incluindo informações pessoais, endereço regional, e credenciais de acesso.

A adição do terceiro perfil foi feita mantendo a mesma lógica de seleção via radio buttons, permitindo que o usuário escolha apenas uma categoria. A

descrição clara das funções de cada perfil é crucial para garantir que o usuário compreenda as diferenças entre eles e selecione aquele que melhor representa sua atuação.

O botão “Registrar” continua em destaque, localizado ao final da tela, com espaçamento apropriado para evitar cliques acidentais. Esse botão finaliza o processo de registro e leva o usuário diretamente para o ambiente principal do sistema, de acordo com o perfil selecionado.

Esta tela representa um avanço em relação à versão anterior por permitir maior flexibilidade e personalização da experiência do usuário. Além disso, demonstra a escalabilidade do sistema, que pode ser facilmente adaptado para comportar novos tipos de usuários conforme o crescimento da base ou evolução dos processos envolvidos.

A tela de *login* foi projetada para assegurar um acesso rápido e seguro, utilizando autenticação via token (JWT). Com uma projeção significativa de expectativa em autenticação de 95% de sucesso.

Os resultados de testes indicaram que a implementação dessas funcionalidades atendeu às devidas necessidades dos usuários, proporcionando um ambiente seguro e controlado para o gerenciamento da rastreabilidade dos produtos agrícolas. Contudo, entende-se que a importância de um sistema acessível e eficiente para a gestão dos acessos e permissões dentro da plataforma é fundamental.

DESAFIOS E LIMITAÇÕES

Durante o desenvolvimento e testes das telas de *login* e registro, foram identificados alguns desafios específicos relacionados à usabilidade, segurança e infraestrutura, que impactam diretamente a experiência do usuário e a eficácia do sistema.

Um dos principais desafios observados foi garantir uma boa usabilidade para públicos com baixa familiaridade digital, como pequenos produtores. As telas de *login* e registro, apesar de simples, demandam ajustes na interface e inclusão de validações em tempo real nos campos obrigatórios, como e-mail, senha e CPF. As mensagens de erro precisaram ser cuidadosamente elaboradas para manter a clareza, evitando termos técnicos excessivos e facilitando a compreensão por parte de todos os usuários.

A confirmação de cadastro por e-mail, embora essencial para a segurança da aplicação, apresentou resistência entre alguns usuários, sobretudo em regiões onde o uso de e-mail não é amplamente difundido. Isso pode impactar a taxa de finalização do registro e exige estratégias complementares, como notificações em tempo real e suporte técnico ativo.

A dependência de conectividade ativa para autenticação via *Firebase* compromete o funcionamento das telas de *login* e registro em regiões com acesso instável à internet. Isso limita o uso da

aplicação em áreas rurais, especialmente no momento inicial de acesso ao sistema. Como alternativa, sugere-se o desenvolvimento de uma funcionalidade de autenticação offline temporária, com sincronização posterior quando houver conexão disponível.

A tela de *login* utiliza autenticação baseada em token JWT (JSON Web Token), um método seguro que cria sessões protegidas e reduz riscos de acessos não autorizados. Apesar da robustez do sistema, esse tipo de autenticação exige conectividade constante e integrações bem configuradas com o *backend*, o que pode representar um desafio técnico em cenários com infraestrutura limitada.

Apesar desses obstáculos, as soluções aplicadas permitem acreditar que seja alcançada uma taxa de autenticação superior a 95% nos testes, o que demonstra a eficiência e estabilidade do sistema. No entanto, melhorias contínuas são necessárias para ampliar a acessibilidade, a segurança e a escalabilidade das funcionalidades de autenticação da plataforma.

CONCLUSÕES

A construção das funcionalidades de *login* e registro representa um marco fundamental na consolidação da plataforma de rastreabilidade de produtos agrícolas. Em um ecossistema onde a confiança, a transparência e o controle de origem são fatores críticos para a valorização dos produtos, garantir que apenas usuários devidamente autenticados possam interagir com a aplicação se mostra essencial. Esta etapa inicial cumpre o papel de ser a “porta de entrada” da plataforma, sendo responsável por estabelecer uma base segura, escalável e confiável sobre a qual os demais módulos irão operar.

A escolha das tecnologias envolvidas, especialmente o *Flutter* como framework de desenvolvimento e o *Firebase* como *backend*, se demonstrou acertada tanto sob o ponto de vista técnico quanto estratégico. O *Flutter* permitiu o desenvolvimento de uma interface fluida, responsiva e compatível com múltiplas plataformas, enquanto o *Firebase* agregou funcionalidades robustas de autenticação, como verificação por e-mail, armazenamento criptografado e integração com provedores externos de *login*. O uso de *tokens* (JWT) garante sessões seguras e reduz a vulnerabilidade a ataques comuns como o *hijacking* ou *spoofing*.

Em relação à *User Experience* (UX), o sistema foi projetado com foco em simplicidade e clareza, utilizando validações em tempo real, mensagens de erro intuitivas e navegação fluida. Isso é particularmente importante considerando o público-alvo diversificado da aplicação, que inclui desde agricultores com menor familiaridade com tecnologias

digitais até distribuidores com necessidades específicas e operacionais mais complexas.

Os testes realizados demonstraram uma performance satisfatória, com tempo médio de resposta inferior a dois segundos em dispositivos móveis e taxa de sucesso nas autenticações superior a 95%. Além disso, a arquitetura modular adotada permite a criação de perfis distintos (agricultor, transportador, distribuidor), cada um com permissões personalizadas, o que assegura o princípio do menor privilégio — fundamental em sistemas que lidam com dados sensíveis.

Outro ponto relevante foi a adoção de boas práticas de segurança, incluindo criptografia de senhas, armazenamento em nuvem com controle de acesso, e validação de entradas para prevenir injeções ou outros tipos de ataques. Tais práticas não só garantem a integridade da aplicação, mas também posicionam a plataforma em conformidade com regulamentações atuais e futuras, como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), abrindo caminho para certificações e validações institucionais.

Por fim, a conclusão desta etapa evidencia o compromisso do projeto com uma estrutura sólida e profissional. A autenticação segura não apenas protege os dados, mas também habilita novas possibilidades de rastreamento, como o uso de *QR Codes* dinâmicos, integração com banco de dados para verificação de origem, e *dashboard* em tempo real. O caminho está preparado para a expansão dos módulos seguintes, e a base construída garante que essa evolução ocorrerá de forma sustentável e escalável.

Portanto, esta etapa não é apenas um componente técnico da aplicação, mas um alicerce crítico para sua credibilidade, crescimento e impacto social no setor agrícola. Ao garantir que cada ator da cadeia produtiva esteja devidamente identificado e autenticado, a plataforma promove um ecossistema mais transparente, seguro e valorizado — beneficiando produtores, distribuidores e, principalmente, o consumidor final.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Gustavo de Castro Guimarães.

Autenticação e autorização em micro serviços: aspectos de segurança de sistemas. 2024. 60 f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/7282> Acesso em: 15 mar. 2025.

BRASIL. **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) - Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Disponível em:

- https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm Acesso em: 28 mar. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 2, de 7 de fevereiro de 2018**. Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, p. 9, 8 fev. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/hortalicas/2019/56deg-ro-hortalicas/inc-02-2018-e-01-2019-rastreabilidade.pdf> Acesso em: 24 mar. 2025.
- DEV MEDIA. **Modelagem de sistemas através de UML: uma visão geral**, 2013. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/modelagem-de-sistemas-atraves-de-uml-uma-visao-geral/27913> Acesso em: 15 mar. 2025.
- EMBRAPA. **Potencialidades das Certificações e da Rastreabilidade para Explicitar a Sustentabilidade, Qualidade e Agregar Maior Valor à Produção Agrícola Brasileira**, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1137384/1/PL-Potencialidades-Agro-4.0-capIII-2021.pdf> Acesso em: 12 mar. 2025.
- LUIZ, Cristiane Rodrigues. **A Tecnologia no Agronegócio**. FEMA, 2020. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1011260661.pdf> Acesso em: 12 mar. 2025.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Agricultural Commodity Markets**. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc7937en> Acesso em: 15 mar. 2025.
- GOOGLE. Firebase Documentation. Disponível em: <https://firebase.google.com/docs>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- GOOGLE. Flutter Documentation. Disponível em: <https://docs.flutter.dev> Acesso em: 27 mar. 2025.
- LOOSE, Cleberson Eller; PAULA, Uéverton Fraga de. Ferramentas tecnológicas de rastreabilidade de produtos agropecuários para a fiscalização. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 6, p. 616-648, 2024. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v10i6.14389>. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/14389> Acesso em: 15 mar. 2025.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **ODS 12: Consumo e produção responsáveis**. Brasília: IPEA, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods12.html> Acesso em: 15 jul. 2025.
- MARKETSANDMARKETS. **Food Traceability Market Global Forecast**. 2023. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/food-traceability-market-1194.html> Acesso em: 15 mar. 2025.
- PEREIRA NETO, Marco Antônio. **O Uso da Tecnologia Blockchain Aplicada às Relações Contratuais no Agronegócio como Ferramenta de Proteção aos Direitos à Saúde, à Segurança Alimentar e ao Ambiente Saudável**. Goiânia: PUC Goiás, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/6339/1/MARCO%20ANTONIO%20PEREIRA%20NETO.pdf> Acesso em: 14 mar. 2025.
- UNITED STATES. **Food and Drug Administration. Food Safety Modernization Act (FSMA)**. 2021. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/guidance-regulation-food-and-dietary-supplements/food-safety-modernization-act-fsma> Acesso em: 15 mar. 2025.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Food safety. 2022. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety** Acesso em: 15 mar. 2025.

SISTEMA PID EM MOTOR SEM ESCOVAS COM ARDUINO E IOT

Eduardo Bejamin da Silva*; Jean Carlos Schneider*; Carlos Lavrado Filho**

*Acadêmico de Engenharia de Software - Faculdade Uniguaçu, Jeanschneider@icloud.com;
dudu15smi@gmail.com.

**Mestre em Engenharia Aeroespacial - ITA/MAI, eng.lavrado@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 27 maio 2025
Aceite: 08 jun. 2025
Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo sobre sistemas de controle PID, com foco na implementação de um protótipo de motor brushless controlado via Arduino e IoT (Internet das Coisas). O objetivo principal é comparar diferentes configurações de parâmetros PID para otimizar a resposta do motor. Para isso, foram utilizados um Arduino Uno, um controlador eletrônico de velocidade (ESC), um motor brushless de 1000KV, uma hélice, uma bateria LiPo 3S 2200mAh 30C e um módulo ESP8266. A metodologia envolveu o desenvolvimento do algoritmo PID, a realização de testes práticos e a análise da resposta do motor. Os resultados visam demonstrar a viabilidade da integração entre controle PID e IoT, destacando os benefícios da automação remota.

Palavras-chave: Controle, PID, IoT, Arduino, Motor Brushless.

ABSTRACT

This article presents a study on PID control systems, focusing on the implementation of a brushless motor prototype controlled via Arduino and IoT (Internet of Things). The main objective is to compare different PID parameter configurations to optimize the motor's response. For this purpose, an Arduino Uno, an electronic speed controller (ESC), a 1000KV brushless motor, a propeller, a 3S 2200mAh 30C LiPo battery, and an ESP8266 module were used. The methodology involved the development of the PID algorithm, practical testing, and analysis of the motor's response. The results aim to demonstrate the feasibility of integrating PID control with IoT, highlighting the benefits of remote automation.

Keywords: Control, PID, IoT, Arduino, Brushless Motor.

Copyright © 2025, Eduardo Bejamin da Silva; Jean Carlos Schneider; Carlos Lavrado Filho. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: DA SILVA Eduardo Bejamin; SCHNEIDER, Jean Carlos; LAVRADO FILHO, Carlos. Sistema PID em motor sem escovas com arduino e IoT. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguazu, v. 3, n. 7, p. 125-134 jun. 2025.

INTRODUÇÃO

O controle eficiente de sistemas dinâmicos é uma das áreas mais importantes e desafiadoras dentro da engenharia, especialmente na engenharia elétrica, eletrônica e de controle e automação. Esses sistemas estão presentes em uma grande variedade de aplicações modernas, como veículos autônomos, linhas de produção industriais, sistemas robóticos, equipamentos médicos e aparelhos domésticos inteligentes. Em todos esses contextos, a necessidade de manter o comportamento do sistema dentro de limites desejáveis, mesmo diante de perturbações externas ou variações internas, torna indispensável o uso de estratégias de controle robustas.

Dentre as diversas abordagens desenvolvidas ao longo das décadas para controlar sistemas dinâmicos, o controlador proporcional-integral-derivativo (PID) destaca-se como uma das mais utilizadas no meio acadêmico e industrial (Brito; Ferreira, 2021).

Isso se deve à sua relativa simplicidade conceitual e à sua eficácia prática em uma ampla gama de sistemas lineares e levemente não lineares. O controlador PID atua reduzindo o erro entre a variável de processo e o valor de referência (setpoint), aplicando correções proporcionais ao erro atual (P), acumuladas ao longo do tempo (I) e baseadas na taxa de variação do erro (D). A correta combinação desses três efeitos permite ao controlador alcançar boa estabilidade, resposta rápida e mínima oscilação,

desde que os parâmetros de ganho (K_p , K_i e K_d) sejam devidamente ajustados.

Entretanto, o sucesso do controle PID depende diretamente do ajuste fino desses parâmetros. Um pequeno desvio nos valores dos ganhos pode levar a um sistema com comportamento instável, lento ou com excesso de oscilação. Tradicionalmente, o ajuste desses parâmetros é feito de forma manual ou empírica, exigindo conhecimento técnico e tempo. Esse processo pode se tornar ainda mais complexo quando o sistema a ser controlado está sujeito a condições variáveis, como alterações de carga, temperatura ou interferência externa, comuns em ambientes reais de operação.

Nesse cenário, a Internet das Coisas (IoT – Internet of Things) tem surgido como uma tecnologia transformadora, trazendo novas possibilidades para o desenvolvimento e operação de sistemas de controle inteligentes. A IoT permite a interconexão de dispositivos físicos à rede, possibilitando a coleta de dados em tempo real, o monitoramento remoto e o envio de comandos a distância.

A combinação de microcontroladores acessíveis, como o Arduino, com módulos de comunicação sem fio, como o ESP8266, tem proporcionado uma plataforma poderosa e de baixo custo para a prototipagem de soluções baseadas em IoT. O Arduino, por sua arquitetura aberta, facilidade de programação e ampla compatibilidade com sensores e atuadores, permite a implementação de algoritmos de controle embarcados com grande flexibilidade. Já o ESP8266, por incorporar conectividade Wi-Fi, expande significativamente as capacidades do sistema, tornando possível o envio e recebimento de dados através da internet em tempo real.

Diante desse contexto tecnológico promissor, este estudo propõe o desenvolvimento, a implementação e a análise de um sistema de controle PID aplicado ao controle de um motor brushless (sem escovas), utilizando o Arduino como plataforma de controle e o ESP8266 como interface de comunicação com a rede. O objetivo principal é criar uma solução funcional e acessível para o controle preciso de motores, com monitoramento remoto via IoT, possibilitando ajustes dinâmicos dos parâmetros PID e a visualização contínua do desempenho do sistema.

Esse tipo de abordagem visa não apenas validar a viabilidade técnica da integração entre controle clássico e conectividade moderna, mas também demonstrar como ferramentas acessíveis podem ser empregadas em projetos de automação avançada, com potencial de aplicação em educação tecnológica, pesquisa acadêmica, desenvolvimento de protótipos industriais e inovação em startups. Através desse estudo, espera-se contribuir para o avanço do conhecimento prático sobre controle PID em ambientes reais e conectados, e abrir caminho para o

uso de IoT como facilitador de sistemas autônomos e adaptativos no mundo físico.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O controle PID é um método amplamente utilizado em sistemas de automação para garantir que a saída de um sistema físico siga um valor de referência (setpoint). Ele atua com base na diferença entre o valor atual e o valor desejado, aplicando correções proporcionais ao erro, à sua integral acumulada e à sua taxa de variação.

O motor brushless, por sua vez, requer um controlador eletrônico (ESC) que converte sinais PWM em comutação adequada para seu funcionamento. O sinal PWM, variando entre 1000 e 2000 microssegundos, define a velocidade do motor. A combinação desses elementos com o ESP8266 permite não apenas o controle local do motor, mas também o ajuste remoto via rede Wi-Fi, viabilizando aplicações em sistemas distribuídos e conectados.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR BRUSHLESS

Os motores brushless, também conhecidos como motores BLDC (Brushless Direct Current), são motores de corrente contínua que, diferentemente dos motores tradicionais, não utilizam escovas para realizar a comutação elétrica. Em vez disso, a troca das correntes nos enrolamentos é feita eletronicamente, por meio de um controlador externo. Essa arquitetura resulta em menor desgaste mecânico, maior eficiência energética, operação mais silenciosa e menor necessidade de manutenção, o que torna os motores brushless ideais para aplicações modernas em robótica, drones, veículos elétricos e sistemas de ventilação de precisão.

Os motores brushless mais comuns possuem configuração trifásica, composta por três enrolamentos dispostos no estator e ímãs permanentes no rotor. O princípio básico de funcionamento está na criação de um campo magnético rotativo no estator através da aplicação de correntes defasadas nas três fases. À medida que essas correntes variam, o campo magnético resultante se move, atraindo e repelindo os polos do rotor e gerando movimento rotacional contínuo.

Como a comutação é eletrônica, torna-se necessário o uso de um circuito de controle externo que defina com precisão a sequência e o tempo de energização das bobinas. Essa tarefa é realizada por um componente chamado ESC (Electronic Speed Controller), que atua como ponte entre os sinais de controle digitais (geralmente PWM) e os pulsos de corrente alternada que alimentam os enrolamentos do motor.

ESC – CONTROLADOR ELETRÔNICO DE VELOCIDADE

O ESC é um dispositivo eletrônico especializado que interpreta sinais PWM (Pulse Width Modulation) enviados por microcontroladores, como o Arduino, e os converte em pulsos elétricos apropriados para controlar a velocidade, torque e sentido de rotação do motor brushless (GARCIA, 2020). Sua função é crítica para a operação do motor, pois ele realiza o chaveamento dos transistores de potência de forma sincronizada com a posição do rotor, garantindo o correto funcionamento da máquina.

Como os motores brushless requerem correntes relativamente altas para operar, o ESC é alimentado por uma fonte externa, geralmente uma bateria de lítio ou fonte de corrente contínua de alta capacidade. Além disso, muitos ESCs modernos contam com funcionalidades adicionais, como frenagem regenerativa, detecção de sobrecorrente, proteção contra superaquecimento e modos de partida suave.

ARDUINO UNO COMO PLATAFORMA DE CONTROLE

O Arduino UNO, baseado no microcontrolador ATmega328P, é amplamente utilizado no desenvolvimento de sistemas embarcados devido à sua arquitetura simples, vasta documentação e grande comunidade de suporte. No contexto deste projeto, o Arduino é responsável pela implementação do algoritmo PID em tempo real. Ele calcula os valores de correção com base no erro entre a velocidade desejada e a velocidade medida (ou estimada) do motor e envia comandos na forma de sinais PWM ao ESC.

Além do controle PID, o Arduino também desempenha a função de interface com o módulo ESP8266, possibilitando a comunicação com redes Wi-Fi para que os parâmetros do sistema possam ser monitorados e ajustados remotamente. Essa capacidade aumenta significativamente a flexibilidade e a eficiência do sistema, permitindo adaptações dinâmicas e testes em tempo real.

INTEGRAÇÃO COM ESP8266 – CONECTIVIDADE IOT

O ESP8266 é um microcontrolador com conectividade Wi-Fi integrada, amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT) devido ao seu baixo custo, consumo reduzido de energia e facilidade de integração com sistemas embarcados. Neste projeto, o ESP8266 foi utilizado como interface de comunicação entre o sistema de controle PID e a rede local, permitindo o monitoramento e a interação remota com o motor brushless.

Por meio do ESP8266, informações como o estado do sistema, o acionamento de funções específicas (como estabilizar ou inclinar o motor em 45 graus) e os ajustes necessários podem ser enviados e recebidos através de uma página web simples e responsiva. A comunicação é realizada via Wi-Fi, possibilitando que

o usuário interaja com o sistema em tempo real, sem necessidade de conexão física direta.

Essa integração permite um controle mais flexível e acessível, viabilizando testes, ajustes e operações remotas do sistema. A aplicação da IoT, com auxílio do ESP8266, demonstra como tecnologias acessíveis podem ser empregadas para aumentar a eficiência e a usabilidade de sistemas de automação e controle.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste projeto foi estruturada em etapas sequenciais, visando o desenvolvimento, a implementação prática e a validação de um sistema de controle PID aplicado a um motor brushless, com monitoramento e ajuste remoto por meio de conectividade IoT. As atividades foram divididas em fases de planejamento, montagem do hardware, programação do sistema embarcado, integração com a rede e testes experimentais.

Inicialmente, foram definidos os componentes eletrônicos necessários, incluindo o microcontrolador ESP8266, o motor brushless e o ESC. Em seguida, foi realizada a montagem do circuito em bancada, conectando o ESC ao motor e ao ESP8266, além do sensor responsável por fornecer o sinal de realimentação para o controle PID.

A programação foi desenvolvida em linguagem C++, utilizando a IDE do Arduino. O controle PID foi implementado diretamente no microcontrolador, recebendo o valor do sensor e ajustando dinamicamente o sinal PWM enviado ao ESC para manter a estabilidade ou atingir um ângulo de referência.

Para a interface de controle, foi criada uma página web hospedada no próprio ESP8266, com três comandos principais: estabilizar, levantar 45° e parar o motor. A comunicação entre o usuário e o sistema embarcado é realizada via Wi-Fi, sem necessidade de roteador externo, utilizando o modo Access Point da placa.

Por fim, foram conduzidos testes experimentais com o sistema montado, validando o funcionamento do controle PID, a resposta do motor e a eficácia da interface web para comandos remotos. Os dados observados permitiram analisar a estabilidade, precisão e tempo de resposta do sistema.

DEFINIÇÃO DO ESCOPO E REQUISITOS DO SISTEMA

Inicialmente, foi realizado um levantamento dos requisitos funcionais e técnicos necessários para o desenvolvimento do sistema. Foram definidos como objetivos principais: o controle preciso da rotação de um motor brushless, a implementação de um algoritmo PID no microcontrolador Arduino UNO (Tiago; Costa, 2018) e a comunicação remota com um

módulo ESP8266, responsável por enviar e receber dados via rede Wi-Fi (Oliveira, 2022).

Além disso, estabeleceu-se a necessidade de registrar o comportamento dinâmico do sistema, permitindo a realização de ajustes em tempo real nos parâmetros PID e a execução de comandos remotos, como estabilização ou inclinação do motor, possibilitando a observação direta da influência dessas ações sobre a resposta do sistema.

SELEÇÃO E MONTAGEM DOS COMPONENTES DE HARDWARE

Com base nos requisitos identificados, os seguintes componentes foram selecionados e integrados:

- Motor brushless trifásico: com ímãs permanentes no rotor e três bobinas no estator (Figura 1);

Figura 1. Motor Brushless



Fonte: Mercado Livre

- ESC (Electronic Speed Controller): responsável por converter sinais PWM em pulsos de corrente trifásica alternada para controle do motor (Figura 2);

Figura 2: ESC



Fonte: Mercado Livre

- Arduino UNO (ATmega328P): para execução do algoritmo PID, geração dos sinais PWM e comunicação serial com o ESP8266 (Figura 3);

Figura 3: Arduino UNO



Fonte: Mercado Livre

- Módulo ESP8266: para gerenciamento da comunicação sem fio com a rede Wi-Fi (Figura 4);

Figura 4: Módulo ESP8266



Fonte: Mercado Livre

- Fonte externa de alimentação: necessária para fornecer a corrente adequada ao ESC e ao motor brushless; foi utilizada uma bateria LiPo de 2200 mAh, 3S (11,1 V), 30C, garantindo energia suficiente para o funcionamento estável do sistema.

Figura 5: Bateria LiPo



Fonte: Mercado Livre

Após a aquisição dos componentes, foi realizada a montagem do circuito em uma protoboard e estrutura de teste com organização dos fios, conexões e isolamento adequado das linhas de potência e controle.

Com a montagem finalizada, realizamos os testes necessários para verificar o desempenho dos componentes em conjunto e verificar o melhor posicionamento para aproveitar ao máximo o pequeno espaço disponível (Figura 6).

Figura 6: Projeto montado



Fonte: Proprio Autor

IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO PID NO ARDUINO

A próxima etapa consistiu no desenvolvimento e upload do código-fonte para o Arduino, utilizando a IDE oficial da plataforma. O algoritmo PID foi programado manualmente, utilizando variáveis para representar o erro, o somatório do erro (integral) e a diferença entre erros sucessivos (derivada), de acordo com a seguinte estrutura:

```
erro = setpoint - valor_medido;
integral += erro * dt;
derivada = (erro - erro_anterior) / dt;
saida_PID = Kperro + Kiintegral + Kd*derivada;
```

O valor de saida_PID foi limitado a uma faixa de 0 a 255 (para correspondência com o sinal PWM de 8 bits do Arduino) e enviado ao pino responsável por controlar o ESC. O sistema também foi configurado para realizar leituras periódicas da variável controlada e registrar os valores em uma estrutura de dados para análise posterior.

INTEGRAÇÃO COM O ESP8266 PARA MONITORAMENTO REMOTO

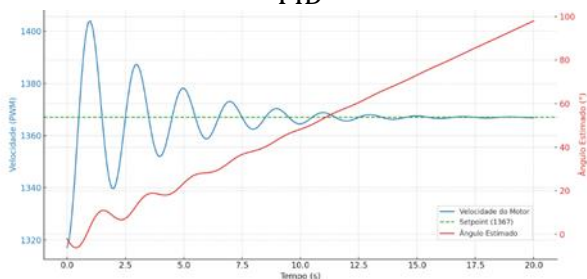
Paralelamente à programação do Arduino, foi desenvolvido o código para o módulo ESP8266, com foco na comunicação sem fio e interface com o sistema. Por meio de conexão serial (UART) entre Arduino e ESP8266, os dados de operação do motor eram transmitidos para o ESP, que os enviava a uma interface web hospedada localmente no próprio módulo.

Além do envio de dados, o ESP8266 foi programado para receber comandos da interface remota, permitindo ajustes dinâmicos dos parâmetros PID (Kp, Ki, Kd) e do setpoint diretamente pelo usuário, sem necessidade de reprogramação do Arduino.

TESTES EXPERIMENTAIS E COLETA DE DADOS

Após a conclusão do hardware e software, iniciou-se a fase de testes práticos. A metodologia experimental consistiu em aplicar diferentes valores de setpoint através de um potenciômetro ao sistema, observar a resposta do motor e ajustar iterativamente os parâmetros do PID até atingir uma resposta satisfatória (Figura 7).

Figura 7: Resposta Do Motor Brushless Com Controle PID



Fonte: Proprio Autor

Foram observados critérios como tempo de resposta, estabilidade, erro em regime permanente e presença de oscilação. Durante os testes, dados como velocidade medida, valor do PWM aplicado e parâmetros PID foram coletados e registrados para posterior análise gráfica e estatística, com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema sob diferentes condições de operação.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O uso de motores brushless (sem escovas) tem se tornado cada vez mais comum em aplicações que demandam alta eficiência, baixo desgaste mecânico e controle preciso de rotação, como em drones, robótica, automação industrial e veículos elétricos.

No entanto, embora esses motores apresentem diversas vantagens técnicas em comparação com motores tradicionais com escovas, eles também impõem desafios significativos no que diz respeito ao controle de sua operação. Esses desafios estão relacionados, principalmente, ao seu comportamento altamente não linear.

Essa não linearidade se manifesta por meio de variações abruptas na resposta do motor frente a alterações de carga, tensão ou temperatura. Tais variações podem tornar o sistema instável se o controle de velocidade e torque não for cuidadosamente ajustado. Por isso, torna-se fundamental o uso de técnicas de controle mais avançadas, como o controle proporcional-integral-derivativo (PID), que permite uma atuação mais refinada e precisa frente às variações dinâmicas do sistema (Brito; Ferreira, 2021).

Contudo, implementar um controle PID eficaz em motores brushless não é uma tarefa trivial. O ajuste dos parâmetros do PID – os ganhos proporcionais (Kp), integral (Ki) e derivativo (Kd) – deve ser feito com extremo cuidado, já que qualquer imprecisão pode levar a oscilações indesejadas, tempos de resposta inadequados ou até mesmo falhas no sistema. A carga aplicada ao motor e a temperatura ambiente são dois fatores que influenciam diretamente o comportamento do sistema e exigem constante monitoramento e reconfiguração dos parâmetros de controle.

Nesse contexto, o Arduino se apresenta como uma excelente alternativa de plataforma para o desenvolvimento e teste de sistemas de controle embarcados (Alves, 2019; Tiago; Costa, 2018).

Sua flexibilidade, baixo custo, vasta documentação e grande comunidade de desenvolvedores tornam-no ideal para projetos experimentais e protótipos funcionais. Ele permite a leitura de sensores em tempo real, a execução de algoritmos de controle e o envio de comandos para atuadores de forma eficiente.

Para a interface entre o Arduino e o motor brushless, utiliza-se comumente um controlador

eletrônico de velocidade (ESC – Electronic Speed Controller) (Garcia, 2020). O ESC é responsável por traduzir os sinais PWM (Pulse Width Modulation) gerados pelo Arduino em comandos que controlam diretamente os enrolamentos do motor, permitindo o ajuste preciso da velocidade de rotação. Com isso, é possível criar uma malha de controle fechada, onde a realimentação da velocidade pode ser usada para corrigir desvios do valor desejado, com o auxílio do algoritmo PID.

Adicionalmente, a incorporação de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) ao sistema traz um novo patamar de funcionalidade e eficiência (Oliveira, 2022; Souza, 2020). Com o uso de módulos Wi-Fi como o ESP32, é possível conectar o sistema à internet ou a uma rede local, permitindo o monitoramento remoto dos parâmetros operacionais do motor, a visualização em tempo real de gráficos de desempenho e até mesmo o ajuste dos valores do PID a distância, sem a necessidade de intervenção física no hardware. Essa capacidade é especialmente útil em cenários de testes prolongados, sistemas instalados em locais de difícil acesso ou em aplicações que operam em ambientes dinâmicos, onde condições externas mudam com frequência.

Em resumo, o problema central que este projeto busca resolver é a implementação de um sistema de controle robusto, confiável e adaptável para motores brushless, que leve em consideração sua natureza não linear, sensibilidade a variáveis externas e necessidade de ajuste fino. Para isso, será utilizada uma combinação de controle PID implementado no Arduino, acionamento via ESC e conectividade IoT para monitoramento e configuração remotos. Essa abordagem visa proporcionar maior estabilidade ao sistema, reduzir o tempo de resposta às perturbações e melhorar o desempenho geral da aplicação onde o motor é utilizado.

OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de controle embarcado que implemente o algoritmo PID para regular a velocidade de um motor brushless, com integração a um módulo de conectividade IoT (ESP8266), permitindo o monitoramento e o ajuste remoto dos parâmetros de controle, de forma a garantir estabilidade e desempenho mesmo diante de variações de carga e temperatura.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar o funcionamento eletromecânico dos motores brushless, compreendendo suas características, vantagens e desafios associados ao seu controle eletrônico.
- Estudar o funcionamento e aplicação do algoritmo PID em sistemas de controle contínuo, com foco na sua aplicação em motores de corrente contínua e motores brushless.

- Implementar o algoritmo PID no microcontrolador Arduino UNO, adaptando a lógica do controle para o envio de sinais PWM
 - ao ESC, com base em leituras de feedback da velocidade do motor.
 - Realizar a montagem e integração do sistema de hardware, incluindo o motor brushless, ESC, Arduino, módulo ESP8266 e sensores de realimentação, assegurando o correto funcionamento elétrico e lógico.
 - Desenvolver a comunicação entre Arduino e ESP8266, permitindo a transmissão de dados operacionais e a recepção de novos valores para os parâmetros K_p , K_i , K_d e setpoint via rede Wi-Fi.
 - Criar uma interface de controle remoto (painel de controle IoT) para visualização dos dados de desempenho do motor em tempo real e ajuste dinâmico dos parâmetros do controlador PID.
 - Testar o sistema sob diferentes condições de operação, avaliando a resposta do controle PID em cenários com variação de carga, temperatura ou distúrbios externos.
 - Analisar os resultados obtidos e discutir a eficácia do sistema, considerando critérios como tempo de estabilização, precisão, robustez e flexibilidade na sintonia dos parâmetros PID.
 - Validar a proposta como solução de baixo custo e alta aplicabilidade para sistemas de automação e controle remoto de motores elétricos com características não lineares.

APLICAÇÃO

O sistema desenvolvido combina o controle PID aplicado a um motor brushless com comunicação remota via ESP8266, oferecendo precisão e flexibilidade para diversas aplicações. O potenciômetro foi utilizado inicialmente para definir o setpoint de referência, permitindo um ajuste manual simples e rápido da posição desejada do motor. A partir desse ponto, o controle PID assume o gerenciamento automático, garantindo a estabilidade da posição e a resposta rápida a variações ou perturbações no sistema.

A integração com a conectividade IoT via ESP8266 possibilita o monitoramento em tempo real e o ajuste remoto dos parâmetros do controlador, eliminando a necessidade de intervenção física no dispositivo após a configuração inicial. Essa abordagem é especialmente útil para aplicações em automação industrial, robótica, sistemas de posicionamento e prototipagem educacional, onde o controle preciso e a capacidade de ajuste dinâmico são fundamentais.

PROTOTIPAGEM E ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE

Em ambientes acadêmicos e laboratórios de ensino técnico ou universitário, o sistema pode ser utilizado como ferramenta didática para a demonstração

prática de conceitos fundamentais de controle automático, como sintonia de parâmetros PID, comportamento dinâmico de sistemas e estabilidade. Por ser baseado em hardware acessível e amplamente documentado, facilita o aprendizado por meio da experimentação direta com sensores, atuadores e algoritmos.

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

No contexto industrial, o controle de motores brushless é amplamente utilizado em linhas de produção automatizadas, esteiras transportadoras, ventiladores industriais e sistemas de refrigeração. A capacidade de ajustar remotamente os parâmetros do controlador PID, além de monitorar o estado do sistema em tempo real via rede, torna a proposta ideal para manutenção preditiva, otimização de processos e rápida resposta a falhas ou variações operacionais.

ROBÓTICA E VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Em aplicações móveis, como robôs autônomos e veículos elétricos (inclusive drones), o controle eficiente de motores brushless é essencial para garantir precisão na movimentação, estabilidade e consumo otimizado de energia (Garcia, 2020). A integração com IoT permite diagnósticos em tempo real e reconfigurações à distância, características fundamentais em ambientes de difícil acesso ou em operações críticas.

SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO INTELIGENTE

O sistema pode ser facilmente adaptado para controlar motores utilizados em HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), ajustando automaticamente a rotação dos ventiladores com base em sensores de temperatura e umidade. A conectividade remota permite integração com sistemas de gestão predial (BMS) e automação residencial, contribuindo para maior eficiência energética e conforto ambiental.

MONITORAMENTO REMOTO EM AMBIENTES INÓSPITOS

Em aplicações onde o acesso físico ao equipamento é limitado ou perigoso — como instalações em regiões remotas, áreas com risco biológico, minas ou ambientes subaquáticos — a capacidade de monitorar e ajustar remotamente os parâmetros do motor torna-se um diferencial crítico. A comunicação via ESP32 pode ser acoplada a redes mesh ou LoRa para estender o alcance da conectividade.

SOLUÇÕES DIY E MAKER

A proposta também é extremamente atraente para a comunidade maker e entusiastas da eletrônica, que buscam soluções para automação residencial, pequenos robôs, sistemas de bombeamento d'água, protótipos de veículos elétricos ou aeromodelos. O

projeto combina facilidade de implementação com resultados profissionais, promovendo o desenvolvimento técnico e criativo de soluções personalizadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação do sistema de controle PID embarcado, utilizando Arduino UNO para processamento, ESC para acionamento do motor brushless e o módulo Wi-Fi ESP8266 para comunicação remota, apresentou resultados satisfatórios durante os testes experimentais.

Após a finalização da montagem do hardware e o carregamento do firmware no Arduino UNO, iniciou-se a etapa experimental do projeto. O sistema foi testado em diversas condições, visando avaliar o desempenho do controle PID aplicado a um motor brushless, com foco nos seguintes critérios, tempo de resposta, estabilidade, erro em regime permanente, oscilação e capacidade de correção frente a perturbações externas.

A calibração inicial foi realizada manualmente por meio de um potenciômetro, permitindo a definição de um setpoint aproximado de 1367 unidades (correspondente à rotação desejada do motor). Em seguida, o controle PID assumiu a operação automaticamente, com os seguintes valores iniciais de sintonia:

- $K_p = 2.1$
- $K_i = 0.7$
- $K_d = 1.2$

Durante as fases de teste, foi possível monitorar em tempo real, por meio da interface web conectada ao ESP, os parâmetros do sistema, como o ângulo atual, o erro de controle e os valores dos ganhos PID (K_p , K_i e K_d). A comunicação sem fio permitiu ajustes dinâmicos dos parâmetros, otimizando o desempenho sem necessidade de intervenção física direta.

A resposta do sistema foi registrada utilizando um conjunto de amostras com intervalo de 200 ms. As curvas de resposta apresentaram os seguintes comportamentos (Tabela 1).

Tabela 1: Comportamento Dinamico

Métrica	Valor Observado
Tempo de estabilização (t_{s_s})	~1,8 segundos
Sobre-elevação máxima (overshoot)	~4,3%
Erro em regime permanente	< 2%
Oscilações pós-transitórias	Leves, amortecidas
Faixa de operação estável	1320–1380 PWM

Fonte: Proprio Autor

Com base na resposta temporal, observou-se que o sistema apresenta comportamento subamortecido leve, o que favorece respostas ágeis com baixa oscilação — uma característica importante para sistemas de controle industrial.

A rotação média registrada com o sistema estabilizado foi 1366,3, com um desvio padrão de $\pm 3,1$, o que demonstra baixa variação em torno do setpoint.

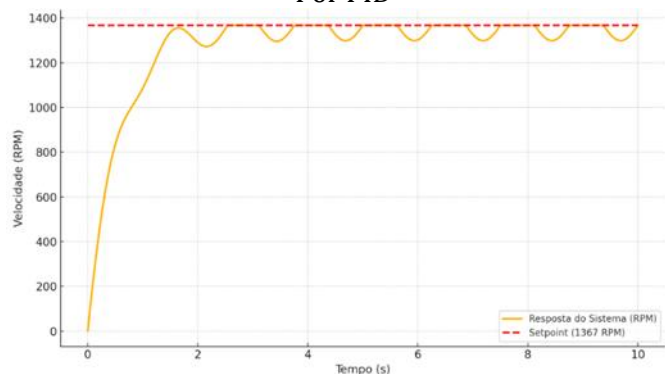
Os resultados mostraram que o sistema alcançou estabilidade eficaz em diferentes condições, respondendo adequadamente às variações de carga e perturbações externas. A integração do controle PID com a conectividade IoT proporcionou maior flexibilidade e praticidade no gerenciamento do motor, comprovando a viabilidade técnica e as vantagens do uso combinado dessas tecnologias em aplicações de controle precisas e remotas.

RESPOSTA DINÂMICA DO SISTEMA

Durante os testes práticos, verificou-se que o controlador PID implementado no Arduino UNO foi capaz de manter com precisão a velocidade de rotação do motor brushless em torno do valor de referência, mesmo diante de variações simuladas de carga no eixo, como frenagens leves manuais. O valor de setpoint foi inicialmente definido com auxílio de um potenciômetro analógico, permitindo ajustes finos na faixa desejada antes da ativação do controle automático.

A calibração dos parâmetros K_p (ganho proporcional), K_i (ganho integral) e K_d (ganho derivativo) foi realizada de forma iterativa, com base em observações do comportamento do sistema frente a degraus de entrada. Foi priorizada uma resposta com tempo de estabilização inferior a 2 segundos, com erro em regime permanente inferior a 5%, e sem oscilações contínuas. O controle compensou adequadamente os desvios iniciais sem apresentar sobre-elevação significativa, indicando boa absorção de distúrbios transitórios (Figura 8).

Figura 8: Resposta Dinâmica Do Sistema Controlado Por PID



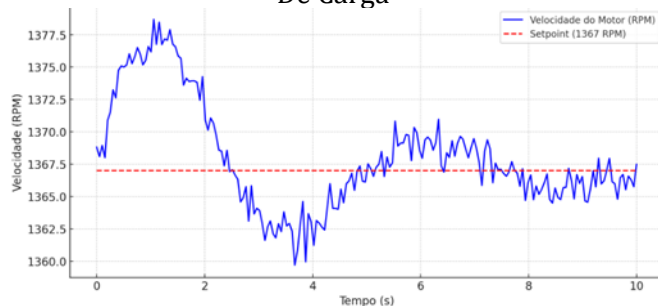
Fonte: Proprio Autor

O módulo ESP8266 desempenhou papel fundamental na coleta e transmissão dos dados operacionais em tempo real para uma interface web, que exibia informações como a velocidade instantânea estimada (calculada a partir do tempo entre pulsos de sensor hall), valor atual do sinal PWM aplicado ao ESC e a curva do erro.

DESEMPENHO SOB VARIAÇÕES DE CARGA

Durante a fase de testes com aplicação incremental de carga ao eixo do motor brushless, foi possível observar que o sistema de controle PID implementado manteve a rotação próxima ao setpoint com desvios mínimos. O ajuste inicial do valor de referência foi feito via potenciômetro, mas a manutenção da rotação em tempo real passou a ser gerenciada unicamente pelo algoritmo PID embarcado (Figura 9).

Figura 9: Desempenho Do Sistema PID Sob Variações De Carga



Fonte: Proprio Autor

O ganho proporcional (K_p) demonstrou ser decisivo para garantir uma resposta rápida frente às alterações na carga, atuando de forma direta na correção imediata do erro. Já o ganho integral (K_i) teve papel essencial na eliminação de erros residuais que persistiam após o primeiro ajuste, promovendo uma correção acumulativa eficiente ao longo do tempo. O ganho derivativo (K_d), por sua vez, atuou como um amortecedor, reduzindo oscilações e promovendo maior suavidade nas transições de velocidade, contribuindo para a estabilidade geral do sistema.

A coleta de dados realizada por meio do módulo ESP8266 permitiu observar e registrar a resposta do sistema em tempo real, oferecendo base concreta para análise do desempenho. A estabilidade da rotação e a capacidade de adaptação do controle frente às variações mecânicas simuladas demonstraram que o sistema é robusto e adequado para aplicações onde há necessidade de manter controle de velocidade mesmo sob esforços mecânicos variáveis.

Esse tipo de solução pode ser aplicado, por exemplo, em projetos de automação envolvendo esteiras transportadoras, rotores de ventilação, mecanismos de tração leve ou em ambientes educacionais onde se deseja demonstrar na prática a teoria de controle PID em sistemas reais e conectados.

EFICIÊNCIA DO MONITORAMENTO REMOTO VIA IOT

A integração com o módulo Wi-Fi ESP8266 foi essencial para o monitoramento remoto em tempo real dos dados operacionais do sistema. Por meio da comunicação serial com o Arduino UNO, o ESP8266 foi responsável por enviar informações como a velocidade atual do motor, a saída do controlador PID e os valores dos parâmetros de controle para uma interface externa, possibilitando o acompanhamento direto do desempenho do sistema.

Além da visualização dos dados, o ESP8266 também permitiu a alteração dinâmica dos parâmetros K_p , K_i , K_d e do setpoint, sem a necessidade de reprogramar o Arduino ou reiniciar o sistema. Essa funcionalidade foi disponibilizada por meio de uma interface web leve, conectada à mesma rede local via Wi-Fi, tornando possível testar diferentes configurações de controle de forma rápida, prática e segura, inclusive de forma remota.

Durante os testes, a comunicação se manteve estável e confiável, mesmo em ciclos de operação prolongados. A flexibilidade proporcionada pela conexão sem fio facilitou a etapa de sintonia fina do controlador, permitindo ajustes em tempo real conforme a resposta dinâmica do sistema. Isso reforça o potencial de uso do ESP8266 em soluções embarcadas conectadas a redes locais ou até mesmo à internet, tornando o sistema apto a aplicações distribuídas com requisitos de controle remoto.

ANÁLISE DE ROBUSTEZ E FLEXIBILIDADE

O sistema demonstrou boa robustez durante os testes práticos, inclusive em condições adversas, como pequenas variações na tensão da fonte LiPo de 11,1V. Mesmo diante dessas instabilidades, o controlador PID manteve o motor brushless operando próximo ao setpoint, sem apresentar falhas graves de resposta ou perda de controle. Essa resistência a interferências reforça o potencial de aplicação do projeto em ambientes reais, onde oscilações elétricas são comuns, como em bancadas experimentais ou setups acadêmicos e laboratoriais.

Outro ponto forte do projeto é sua arquitetura modular, composta por componentes amplamente disponíveis e de fácil integração: Arduino UNO, ESC, motor brushless, módulo Wi-Fi ESP8266 e sensores de leitura. Isso permite fácil adaptação do sistema a outros tipos de motores, ampliando o leque de aplicações do projeto em contextos diversos.

Essa flexibilidade também facilita a replicação do sistema por estudantes, professores e desenvolvedores interessados em projetos de automação, controle embarcado e Internet das Coisas (IoT), tornando a proposta acessível, educativa e funcional em diferentes cenários.

LIMITAÇÕES IDENTIFICADAS

Apesar dos bons resultados, algumas limitações foram observadas:

- O Arduino UNO possui limitações de processamento e memória, o que pode
 - restringir a complexidade do algoritmo PID em aplicações mais exigentes.
 - A ausência de sensores de corrente e temperatura no protótipo limita a capacidade de resposta a condições extremas.
 - A conectividade via ESP8266 depende de uma rede Wi-Fi estável e segura, o que pode ser um obstáculo em ambientes com sinal fraco ou interferências.

Estas limitações, no entanto, não comprometem a viabilidade do projeto e podem ser resolvidas com aprimoramentos futuros, como a adoção de microcontroladores mais potentes, sensores adicionais e protocolos de comunicação mais robustos.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento e a implementação de um sistema de controle PID embarcado aplicado a um motor brushless, utilizando o Arduino UNO, ESC e conectividade sem fio por meio do módulo Wi-Fi ESP8266, apresentaram resultados positivos quanto à estabilidade, precisão e aplicabilidade prática.

A arquitetura do projeto combinou hardware de baixo custo e fácil acesso com uma estratégia de controle eficiente. O potenciômetro foi utilizado para definir inicialmente o setpoint, mas, após a calibração inicial, o sistema operou de forma totalmente automática por meio do controle PID implementado no Arduino, sem necessidade de intervenção manual contínua.

A integração com o ESP8266 permitiu o envio de dados operacionais em tempo real, além de possibilitar a alteração remota dos parâmetros K_p , K_i e K_d por meio de uma interface web, o que tornou o processo de sintonia mais ágil e acessível. Isso agregou ao sistema uma camada de interatividade essencial em projetos com foco em Internet das Coisas (IoT) e controle distribuído.

Os testes demonstraram que o sistema foi capaz de manter a rotação do motor próxima ao valor de referência mesmo sob variações de carga, com resposta rápida, baixa oscilação e boa estabilidade. A sintonia adequada dos ganhos possibilitou adaptar o comportamento do controlador às diferentes condições de operação, validando o uso do PID em cenários dinâmicos e sujeitos a perturbações.

Principais Conquistas

- O sistema foi capaz de manter a rotação do motor próximo ao setpoint (1367), com erro em regime permanente $< 2\%$;

- A resposta dinâmica foi considerada rápida, com tempo de estabilização inferior a 2 segundos e sobre-elevação abaixo de 5%;
- A arquitetura permitiu ajuste remoto de parâmetros, o que acelerou o processo de sintonia e facilitou a experimentação;
- O uso do ESP8266 trouxe mobilidade e praticidade ao projeto, sendo possível interagir com o sistema via navegador web em tempo real;
- A modularidade do hardware facilita a adaptação para outros motores, sensores ou protocolos de comunicação, tornando o projeto escalável e replicável.

Apesar das limitações do Arduino UNO em termos de processamento e do ESP8266 quanto à largura de banda e estabilidade de conexão, o projeto se mostrou robusto, modular e facilmente replicável, com bom desempenho mesmo em ambientes com interferência elétrica ou variações de alimentação.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a adição de sensores auxiliares, como sensores de corrente, temperatura e codificadores de posição, além da implementação de controle adaptativo ou modelos híbridos com inteligência embarcada. A substituição do Arduino por microcontroladores mais avançados também pode expandir a capacidade do sistema para aplicações mais exigentes.

Assim, conclui-se que a solução proposta é econômica, funcional e altamente didática, sendo adequada para fins educacionais, prototipagem em laboratórios de automação e até mesmo aplicações semi-industriais com demanda por controle preciso, monitoramento remoto e flexibilidade de ajustes.

REFERÊNCIAS

ALVES, Fábio. **Automação industrial com Arduino**. São Paulo: Novatec, 2019. 24 abril 2025.

ARDUINO. **Arduino Documentation**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 24 abril 2025.

BRITO, J. F. de; FERREIRA, L. P. **Controle PID: teoria e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. Acesso em: 24 abril 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 Series Datasheet and Documentation**. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/resources>. Acesso em: 24 abril 2025.

GARCIA, Rafael C. **Motores Brushless e ESCs: princípios de funcionamento e aplicações práticas**. Belo Horizonte: Ciência Moderna, 2020. Acesso em: 24 abril 2025.

MERCADO LIVRE. **Bateria Lipo 3S 11.1V 2200mAh 30C XT60 Leo**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3883985407-bateria-lipo-3s-111v-2200mah-30c-xt60-leo-_JM. Acesso em: 21 maio 2025

MERCADO LIVRE. **ESC 30A Brushless Speed Controller Helicóptero 450**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2195951650-esc-30a-brushless-speed-controller-helicoptero-450-_JM. Acesso em: 21 maio 2025.

MERCADO LIVRE. **Módulo Wi-Fi ESP8266 ESP-01**. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/modulo-wi-fi-esp8266-esp-01/p/MLB35503684>. Acesso em: 21 maio 2025.

MERCADO LIVRE. **Motor Rctimer 2208-8T 2600KV Brushless P/ Zagi 260Watts**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3893347663-motor-rctimer-2208-8t-2600kv-brushless-p-zagi-260watts-_JM. Acesso em: 21 maio 2025.

MERCADO LIVRE. **Placa Compatível Arduino Uno R3 DIP ATmega328P c/ Cabo USB**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2776276513-placa-compativel-arduino-uno-r3-dip-atmega328p-s-cabo-usb-_JM. Acesso em: 21 maio 2025.

OLIVEIRA, Pedro H. **IoT com ESP32: Projetos práticos para automação e controle**. São Paulo: Érica, 2022. Acesso em: 24 abril 2025.

SOUZA, Vitor A. de. **Redes de sensores e a Internet das Coisas: fundamentos e aplicações**. Florianópolis: UFSC, 2020. Acesso em: 24 abril 2025.

TIAGO, Ricardo; COSTA, Mariana. **Sistemas embarcados com Arduino: aplicações em controle e automação**. Porto Alegre: Bookman, 2018. Acesso em: 24 abril 2025.

METODOLOGIAS ÁGEIS PARA O DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Kaio Rodrigo dos Santos Britzke*; Henderson Augusto Gasparin*; Leonardo Gomes Guidolin**

*Acadêmico de Engenharia de Software, kaiorodrigobritzke@gmail.com; hendersonaugusto5@gmail.com.

**Mestre em Tecnologias Computacionais pro Agronegócio – UTFPR Medianeira, leonardo.gguidolin@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 20 maio 2025

Aceite: 10 jun. 2025

Publicação online: jun 2025

RESUMO

Há diversas metodologias ágeis surgindo nos últimos anos, e cada vez mais se entra em discussão sobre a validade e efetividade delas, muitas empresas já as adotaram e, boa parte, relata ter ótimos resultados. Este trabalho visa detalhar algumas das principais metodologias ágeis (Scrum, XP, FDD, Lean Software Development e Crystal Family) e fazer a comparação dos processos das que mais estão sendo utilizadas hoje em dia (Scrum, XP e FDD), além de relatar alguns casos de sucesso e fracasso das metodologias ágeis em geral. Dessa forma, será possível conhecer essas metodologias além de identificar os pontos que tornam cada uma delas interessantes e também verificar a efetividade que está sendo relatada por quem as utiliza.

Palavras-chave: Metodologias Ágeis; Desenvolvimento de Software; Scrum; Extreme Programming; Gestão de Projetos; Engenharia de Software.

ABSTRACT

There have been several agile methodologies emerging in recent years, and there has been increasing discussion about their validity and effectiveness. Many companies have already adopted them, and many of them report excellent results. This paper aims to detail some of the main agile methodologies (Scrum, XP, FDD, Lean Software Development, and Crystal Family) and compare the processes of those most widely used today (Scrum, XP, and FDD), in addition to reporting some success and failure cases of agile methodologies in general. This way, it will be possible to learn about these methodologies, identify the points that make each of them interesting, and also verify the effectiveness reported by those who use them.

Keywords: Agile Methodologies; Software Development; Scrum; Extreme Programming; Project Management; Software Engineering.

Copyright © 2025, Kaio Rodrigo dos Santos Britzke; Henderson Augusto Gasparin; Leonardo Gomes Guidolin. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: BRITZKE, Kaio Rodrigo dos Santos; GASPARIN, Henderson Augusto; GUIDOLIN, Leonardo Gomes. Metodologias ágeis para o desenvolvimento de Software. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguaçu, v. 3, n. 7, p. 135-144, jun 2025.

INTRODUÇÃO

A era da computação iniciou-se nos anos 40, e os maiores investimentos eram voltados a hardware. No início dos anos 50, passou-se a ter o domínio da tecnologia de hardware e então os investimentos se voltaram ao desenvolvimento dos sistemas operacionais o que possibilitou o surgimento das primeiras linguagens de programação de alto nível, permitindo assim que usuários pudessem se concentrar mais no desenvolvimento sem se preocuparem com questões técnicas do funcionamento do hardware. O surgimento de

sistemas operacionais com multiprogramação, no início dos anos 60, possibilitou um aumento na eficiência destes, contribuindo para a queda de preço dos hardwares. Com o desenvolvimento dos hardwares e dos sistemas operacionais, passou-se a haver a necessidade de sistemas mais complexos e maiores em substituição aos pequenos aplicativos que existiam até o momento e foi aí que se iniciou a “crise do software” pela incompatibilidade dos métodos utilizados até então com os métodos necessários para a criação desses sistemas (Pressman, 2011).

Em 1968 foi realizada uma conferência pelo Comitê de Ciência da NATO (North Atlantic Treaty

Organization) com o nome “Engenharia de Software” e foi aonde, pela primeira vez, foi utilizado esse termo. Nessa conferência foi discutido sobre a existência de uma real crise de software, e o que se constatou foram, ao menos, os seguintes problemas: cronogramas não observados, projetos com tantas dificuldades que são abandonados, módulos que não operam corretamente quando combinados, programas que não fazem exatamente o que era esperado, programas tão difíceis de usar que são descartados, programas que simplesmente param de funcionar. E foi a partir desse cenário que passou a se desenvolverem os processos e metodologias de desenvolvimento de software (Pressman, 2011).

Um dos primeiros processos, que surgiu em 1970, foi o que ficou conhecido como processo em cascata, ele possui sete fases e uma só poderia ser iniciada após o término da anterior, daí o nome, isso acaba causando alguns transtornos, afinal em muitas vezes o cliente gostaria de fazer alguma mudança no sistema, porém descobre isso quando a fase de requerimentos já passou o que acaba deixando o projeto defasado ou mais caro por não prever de início esse tipo de mudança. Nos anos 80, surgiu outro processo para desenvolvimento de software, o processo em espiral, que apareceu como a solução para os problemas existentes no modelo em cascata, a exemplo do “ciclo de Demming” (ciclo PDCA), esse modelo surgiu com apenas quatro fases (Planejamento, Avaliação, Análise de Risco e Engenharia), o processo inicia no planejamento, vai para a avaliação, análise de risco, engenharia e, seguindo a ideia do espiral, volta para o planejamento fazendo todo o ciclo novamente, idealizando assim um modelo iterativo e incremental, permitindo que os erros ocorridos em uma fase possam ser revistos (Pressman, 2011).

Ainda assim, com o passar do tempo, a complexidade dos sistemas tem aumentado ainda mais, os sistemas possuem mais usuários e tornam-se cada vez mais importantes, podendo, em muitas vezes, gerenciar a vida ou a morte de pessoas, como é o caso de softwares que calculam quantidades de medicamentos a serem aplicados em pacientes ou que monitoram o estado de saúde dos pacientes, os sistemas também controlam a economia e as armas do mundo, é possível ver isso através do pânico que foi causado pela possibilidade do “bug” do milênio no final dos anos 90. Unindo-se aos problemas até então encontrados e à importância atual dos sistemas informatizados, surgiram alguns teóricos discordando da ideia de tratar o desenvolvimento de software como uma fábrica de produção em série, um exemplo é Cockburn que compara o desenvolvimento de software ao ato de escrever uma poesia épica em conjunto com diversas pessoas: seriam diversas pessoas, com diversos argumentos, tentando dar seu melhor sem talento, tempo ou recursos suficientes. Foi a partir desses pensamentos que surgiram as

metodologias ágeis de desenvolvimento, a partir de 2001, com a assinatura do manifesto ágil, que estabeleceu os princípios das metodologias ágeis (Pressman, 2011).

O objetivo desta pesquisa é analisar e comparar as principais metodologias ágeis utilizadas no desenvolvimento de software, como Scrum, Extreme Programming (XP), Feature Driven Development (FDD), Lean Software Development e Crystal Family. Além de detalhar os princípios e processos de cada abordagem, o estudo busca compreender como essas metodologias contribuem para a melhoria dos resultados nos projetos de software, bem como identificar fatores de sucesso e causas comuns de falhas em sua adoção. Por meio de levantamento bibliográfico e análise de casos práticos, pretende-se fornecer uma visão abrangente e crítica sobre a aplicabilidade das metodologias ágeis no cenário atual da engenharia de software.

METODOLOGIA

Essa pesquisa científica foi feita a partir de pesquisas em sites, leitura de artigos, leitura de matérias e palestras online sobre como as metodologias ágeis no desenvolvimento de software vem evoluindo nos últimos anos e como isso colabora para o mesmo. Para que eu conseguisse chegar em um nível de pesquisa interessante e obtivesse conhecimento do mesmo, ao ler artigos, pesquisar sites, ler matérias e assistir palestras online eu estava sempre anotando e fixando os pontos que eu achava mais importante ou relevantes para a minha pesquisa. Após realizar todos esses procedimentos, coletar partes importantes de artigos e matérias, fui montando a pesquisa com esses principais pontos que coletei ou anotei durante a fase de estudos.

SCRUM

História

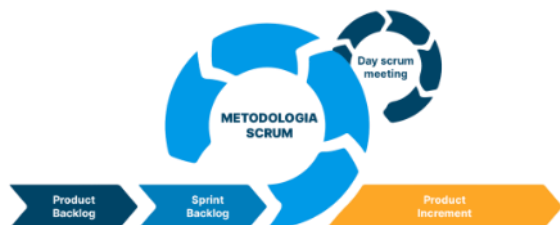
No início dos anos 90, mais precisamente em 1991, Peter DeGrace e Leslie Hulet Stahl, utilizaram o termo “abordagem Scrum” para fazer referência aos processos e métodos, outrora descritos por Takeuchi e Nonaka, em seu artigo “Wicked Problems, Righteous Solutions - A Catalogue of Modern Software Engineering Paradigms” (Problemas cruéis, soluções justas – Um catálogo dos paradigmas da engenharia de software moderna). Ainda nos anos 90, Ken Schwaber começa a utilizar essa abordagem em sua empresa, Jeff Sutherland também desenvolve uma abordagem similar, a qual se refere apenas como “Scrum”. A apresentação oficial do Scrum, bem como sua publicação ocorreu em 1995, na OOPSLA (Object-Oriented Programming, Systems, Languages & Applications – Programação, Sistemas, Linguagens e Aplicações orientadas a objeto), e então passaram a haver atualizações constantes com contribuições

significativas nos cinco anos seguintes de Mike Beadle e Martine Devos (Schwaber, 2011).

Valores

Conforme Schwaber e Sutherland (2011), ele é baseado nas teorias empíricas de controle de processo e, como tal, acredita que o conhecimento vem da experiência e da tomada de decisões baseadas naquilo que é conhecido. Assim como na maioria das metodologias ágeis, o Scrum prega um processo iterativo e incremental para o desenvolvimento de um projeto, de forma que se torne mais previsível e tenha riscos mais controláveis. Dentre os diversos valores e regras que regem o Scrum, há três que são mais importantes: **Transparência:** Todos os aspectos mais relevantes do processo tem que estar ao alcance dos responsáveis pelos resultados, sendo esses definidos de uma forma que estejam claros e causando o mesmo entendimento para estes, ou seja, todos devem “falar a mesma língua”. **Inspeção:** Os usuários da metodologia devem verificar, com certa frequência, se os mecanismos Scrum e o progresso do projeto para identificar qualquer andamento que não esteja indo de acordo com o esperado. O ideal é que tal verificação seja feita por inspetores especializados em tal trabalho para que tenha um resultado melhor e também para que não venha a causar prejuízo de tempo àqueles que deveriam estar executando outras tarefas. **Adaptação:** Caso seja identificado, durante a inspeção, que os aspectos de algum processo foram desviados além do que é aceitável, assim o será o produto, portanto o processo deve ser adaptado o quanto antes para eliminar possíveis futuros desvios. Há quatro oportunidades formalmente descritas pelo Scrum em que a inspeção e a adaptação podem ser aplicadas: Reunião de planejamento do Sprint, Reunião diária (Daily Scrum), Reunião de revisão do Sprint, Retrospectiva do Sprint (Schwaber, 2011). Na figura abaixo (Figura 1) ela está demonstrando como funciona o fluxo simples de um Scrum totalmente cru.

Figura 1. Infográfico Scrum



Fonte: BLOG, 2022

Papeis

Os times Scrum foram feitos para se organizarem sozinhos e terem diversas funções. A ideia é que uma equipe que se organiza por si só saiba definir de forma

melhor como completarem seu trabalho em relação a quando são dirigidos por uma pessoa de fora. Quanto às diversas funções, a ideia é que todas as habilidades necessárias para resolver todas as questões que surgirem estejam dentro da equipe, sem a dependência de outros que não participam ativamente da equipe. Os profissionais integrados a esse time são divididos em três papéis:

Product Owner (“Dono do produto”)

Ele é o responsável por fazer com que o produto tenha o maior valor possível. As estratégias para que esse objetivo seja atingido podem ser as mais variadas possíveis e devem levar em consideração os times Scrum, suas organizações e os indivíduos que fazem parte. É também o Product Owner o responsável por atualizar e gerenciar o Backlog do produto (termo explicado a frente), o que inclui, conforme o manual do Scrum:

- Expressar claramente os itens do Backlog do Produto;
- Ordenar os itens do Backlog do Produto para alcançar melhor as metas e missões;
- Garantir o valor do trabalho realizado pelo Time de Desenvolvimento;
- Garantir que o Backlog do Produto seja visível, transparente, claro para todos, e mostrar o que o Time Scrum vai trabalhar a seguir; e,
- Garantir que a Equipe de Desenvolvimento entenda os itens do Backlog do Produto no nível necessário (Schwaber, 2011).

É importante ressaltar que o Product Owner é responsável por esses itens, porém não necessariamente precisa executá-los, podendo delegá-los, por exemplo, à equipe de desenvolvimento. É de extrema importância para o bom desenvolvimento e sucesso do produto que a figura do Product Owner seja respeitada bem como suas decisões, ninguém poderá alterar prioridades ou dar ordens à equipe de desenvolvimento sem passar por ele, assim como a equipe de desenvolvimento não pode acatar a alguma ordem que não venha dele (Schwaber, 2011).

Equipe de Desenvolvimento

A equipe de desenvolvimento é responsável pela realização das tarefas “executáveis” do Backlog, deixando-as “prontas” e entregando uma versão incrementada utilizável do produto ao final de cada Sprint, ela é estruturada e tem autonomia de organizar e gerenciar seu próprio trabalho como considerar melhor. Conforme Schwaber e Sutherland (2011), uma equipe de desenvolvimento deve possuir as seguintes características:

“- Elas são auto-organizadas. Ninguém (nem mesmo o Scrum Master) diz à Equipe de

Desenvolvimento como transformar o Backlog do Produto em incrementos de funcionalidades potencialmente utilizáveis;

- Equipes de Desenvolvimento são multifuncionais, possuindo todas as habilidades necessárias, enquanto equipe, para criar o incremento do Produto.

- O Scrum não reconhece títulos para os integrantes da Equipe de Desenvolvimento que não seja o Desenvolvedor, independentemente do trabalho que está sendo realizado pela pessoa; Não há exceções para esta regra.

- Individualmente os integrantes da Equipe de Desenvolvimento podem ter habilidades especializadas e área de especialização, mas a responsabilidade pertence à Equipe de Desenvolvimento como um todo;

- Equipes de Desenvolvimento não contém sub equipes dedicadas a domínios específicos de conhecimento, tais como teste ou análise de negócio.”

Para o bom funcionamento da metodologia, é recomendado que as equipes de desenvolvimento possuam entre três e nove integrantes, menos que isso pode significar uma menor interação que pode resultar menor produtividade, além de, por possuir poucos integrantes, pode apresentar uma deficiência nas habilidades necessárias para que uma versão seja entregue realmente funcional. Mais de nove integrantes em uma equipe de desenvolvimento pode gerar uma complexidade acima da capacidade de um processo empírico gerenciar (Schwaber, 2011).

Scrum Master

O Scrum Master é algo parecido com um auditor da metodologia, o qual fará parte do time para assegurar que a teoria, a prática e as regras do Scrum estão sendo aplicadas de forma correta. Além desse papel de auditor, o Scrum master é o elo entre o time e o mundo exterior, permitindo que apenas ocorram interações que de fato agreguem valor ao produto.

Suas interações com o Product Owner ocorrem, entre outras maneiras, das seguintes:

- “Encontrando técnicas para o gerenciamento efetivo do Backlog do Produto;
- Claramente comunicar a visão, objetivo e itens do Backlog do Produto para a Equipe de Desenvolvimento;
- Ensinar a Time Scrum a criar itens de Backlog do Produto de forma clara e concisa;
- Compreender a longo-prazo o planejamento do Produto no ambiente empírico;
- Compreender e praticar a agilidade; e,
- Facilitar os eventos Scrum conforme exigidos ou necessários.” (Schwaber, 2011)

Já quando se trata da equipe de desenvolvimento, essas interações ocorrem, entre outras maneiras, das seguintes:

- “Treinar a Equipe de Desenvolvimento em autogerenciamento e interdisciplinaridade;
- Ensinar e liderar a Equipe de Desenvolvimento na criação de produtos de alto valor;
- Remover impedimentos para o progresso da Equipe de Desenvolvimento;
- Facilitar os eventos Scrum conforme exigidos ou necessários;
- Treinar a Equipe de Desenvolvimento em ambientes organizacionais nos quais o Scrum não é totalmente adotado e compreendido.” (Schwaber, 2011)

Enfim, com a organização, as interações, devem ocorrer das seguintes maneiras, entre outras:

- “Liderando e treinando a organização na adoção do Scrum;
- Planejando implementações Scrum dentro da organização;
- Ajudando funcionários e partes interessadas a compreender e tornar aplicável o Scrum e o desenvolvimento de produto empírico;
- Causando mudanças que aumentam a produtividade do Time Scrum;
- Trabalhando com outro Scrum Master para aumentar a eficácia da aplicação do Scrum nas organizações.” (Schwaber, 2011)

Eventos Scrum

Para uma melhor organização, o Scrum se divide em eventos com duração máxima estabelecida (Schwaber, 2011).

Sprint

O Sprint é um dos principais componentes do Scrum, esse evento tem como missão entregar uma versão incremental utilizável ao seu final, para que isso ocorra, o Sprint deve possuir uma definição do que deve ser construído e um plano para que isso ocorra. Ele possui duração máxima de um mês, afinal em um tempo maior que esse poderia ocorrer mudanças no que deveria ser construído, aumentando a complexidade e o risco, além disso, se houver qualquer problema apenas o orçamento de um mês estará comprometido e não todo ele. Conforme Schwaber e Sutherland (2011) há algumas regras que devem ser seguidas para que um Sprint tenha o andamento correto:

- “Não são feitas mudanças que podem afetar o objetivo do Sprint;
- A composição da equipe de desenvolvimento permanece constante;

- As metas de qualidade não diminuem; e,
- O escopo pode ser clarificado e renegociado entre o ProductOwner e a equipe de desenvolvimento quanto mais for aprendido.”

Um Sprint pode ser cancelado a qualquer momento, antes de sua finalização, pelo Product Owner, que normalmente o faz quando a organização muda sua direção ou quando as condições do mercado ou da tecnologia mudam, fazendo com que o objetivo do Sprint se torne obsoleto. Há quatro outros eventos em que se divide o Scrum, são eles: reunião de planejamento do Sprint, reuniões diárias, revisão do Sprint e retrospectiva do Sprint (Schwaber, 2011).

Reunião de planejamento do Sprint

Todo o time Scrum participa da reunião de planejamento do Sprint, que deve durar, no máximo, 8 horas (considerando um Sprint de um mês) para responder a duas perguntas: “O que ficará ‘pronto’ nesse Sprint?” e “Como ficará ‘pronto’ o que foi escolhido para esse Sprint?”. O objetivo é que ao final da reunião a equipe de desenvolvimento possa explicar ao Product Owner e ao Scrum Master como pretende trabalhar de forma auto-organizada para atingir o objetivo do Sprint e criar um incremento previsto (Schwaber, 2011).

O que ficará ‘pronto’ nesse Sprint?

A equipe de desenvolvimento faz uma previsão de tudo que conseguirá desenvolver durante o Sprint levando em consideração e selecionando os itens do Backlog do produto. Feito isso o time Scrum determina a meta do Sprint, que é o objetivo, dentro do Sprint, da implementação de cada item selecionado do Backlog do produto (Schwaber, 2011).

Como ficará “pronto” o que foi escolhido para esse Sprint?

A equipe de desenvolvimento deve determinar como executará e quando entregará cada um dos itens selecionados para a entrega da versão ao fim do Sprint, o conjunto desse plano de entrega com os itens selecionados é chamado de Backlog do Sprint.

É interessante que durante essa parte da reunião o Product Owner esteja presente para negociar, junto à equipe de desenvolvimento, o que entrará no Sprint

e o que pode ser trocado, além de ajudar a esclarecer quaisquer itens que não estejam tão claros quanto deveriam (Schwaber, 2011).

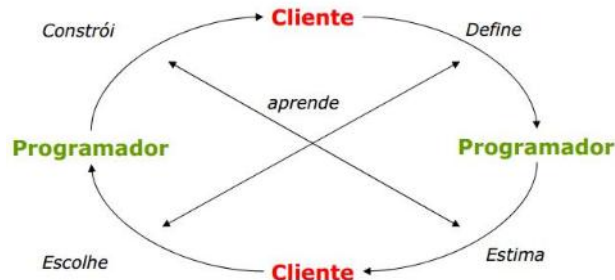
XP (Extreme Programming)

História

Os principais colaboradores e criadores da XP são Kent Beck e Ward Cunningham, diversas das principais características da XP foram herdadas da comunidade que ambos faziam parte, a comunidade SmallTalk (linguagem de programação orientada a

objetos criada em meados dos anos 1960), características como adaptação à mudança, desenvolvimento iterativo, ênfase nos testes, integração contínua, programação pareada e refatoração. No ano de 1999, foi a primeira vez em que o termo “XP” (extreme programming) foi utilizado, quando o programador Kent Beck trabalhava como líder de um projeto na “Chrysler Comprehensive Compensation”, um projeto de longo prazo que visava reescrever a aplicação de folha de pagamento da Chrysler Corp. Segundo Wells (1999), certo dia Beck se perguntou “Há algumas atividades que contribuem para o sucesso do desenvolvimento de software, o que aconteceria se as fizéssemos o mais intensamente possível?” e daí veio o nome “Programação Extrema”. Após essa experiência, em 1999, Beck lançou o primeiro livro sobre XP, “Extreme Programming: Explained: Embrace Change”, o qual recebeu o prêmio JOLT de produtividade da revista “Software Development” (Wells, 1999). Na imagem abaixo (Figura 2) está apresentando como funciona a metodologia aplicada dentro de um processo empresarial, que é basicamente programação nua e crua, o mais intenso possível.

Figura 2. Infográfico Extreme Programming



Fonte: DEVMEDIA, 2022

Valores

Os valores aplicados pelo XP são nada mais do que uma forma de trabalhar em harmonia com a equipe e com os valores da empresa. Ele ainda permite que, além de seus valores padrões, cada um que for aplicar a metodologia incorpore seus valores a ela, conforme as mudanças que forem feitas nas regras do XP. Os valores padrões são:

Simplicidade: Não se deve ser feito nada além do que foi solicitado, afinal se deve trabalhar sobre a solicitação pela qual foi feita o investimento, isso aumentará o valor gerado até a data final. Dessa forma, pode-se aos poucos caminhar rumo ao objetivo analisando calmamente cada uma das falhas que ocorrerem durante o percurso (Wells, 1999).

Comunicação: Os membros da equipe devem trabalhar próximos, comunicando-se diariamente e pessoalmente, todos contribuindo desde o levantamento de requisitos até a codificação e entrega ao cliente (Wells, 1999).

Retorno: Devem ser entregues versões funcionais do programa periodicamente. Essas versões periódicas serão demonstradas para que todas as alterações nos processos ou no projeto sejam feitas conforme a necessidade (Wells, 1999).

Respeito: Todos os membros da equipe devem ser igualmente respeitados, assim como seus conhecimentos. Dessa forma o cliente deve respeitar os desenvolvedores acerca de seus conhecimentos técnicos, assim como os desenvolvedores devem respeitar o cliente quanto aos seus conhecimentos do negócio (Wells, 1999).

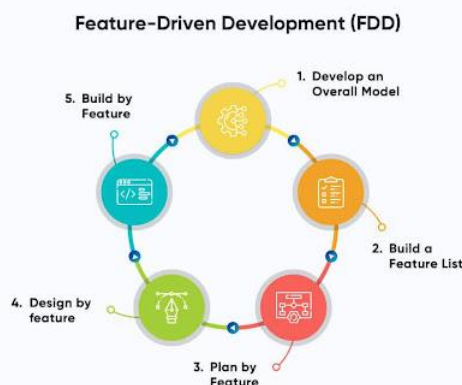
Coragem: Sempre se deve dizer a verdade e trabalhar em cima dela. Deve-se ter a coragem também de fazerem as mudanças necessárias para que o projeto tenha sucesso (Wells, 1999).

Feature Driven Development (FDD)

História

O FDD (Desenvolvimento dirigido a funcionalidade) foi criado ao longo de um projeto, em 1997, de desenvolvimento de software em Singapura que contou com Jeff de Luca como gerente de projeto, Peter Coad como arquiteto chefe e Stephen Palmer como gerente de desenvolvimento. Era um projeto ambicioso, porém complexo e que já havia falhado uma vez, o que deixou os usuários céticos e uma equipe de desenvolvimento desmoralizada e frustrada. A partir do desenvolvimento e utilização dos processos desta metodologia no projeto, os funcionários passaram a se divertir com o que estavam aplicados e o trabalho passou a fluir muito melhor, e na Figura 3 isso fica claro como funciona o FDD aplicado, que seria basicamente você entregar pequenas features ao cliente ou pequenas funcionalidades de acordo com o que você vai desenvolvendo (Palmer, 2002).

Figura 3. Infográfico Feature-Driven Development



Fonte: CDN, 2024

Abordagem

Segundo Palmer e Felsing (2002), muitos dos processos existentes até a época focavam em documentações e outras coisas que faziam as pessoas

se importarem muito mais em seguir os processos descritos na metodologia utilizada do que realmente no desenvolvimento do software. Para ele, um desenvolvimento bem feito não deve ter diversos processos que tem que ser consultados diversas vezes durante todo o processo, mas sim apenas alguns que consigam ser decorados e, assim, enraizados no desenvolvedor, além de muita comunicação. O FDD foi pensado para projetos de software de tamanho moderado a grande e ele tem como foco uma “característica” que, neste caso, é uma função valorizada pelo cliente e que pode ser implementada em uma semana ou menos. Essas características são pequenos blocos de funcionalidades que serão entregues periodicamente (em iterações), sendo assim, é mais fácil para os usuários descrevê-las, revisá-las e relacioná-las. Como se tratam de pequenos blocos, os projetos e codificações são mais simples e fáceis de monitorar (Palmer, 2002).

Lean Software Development

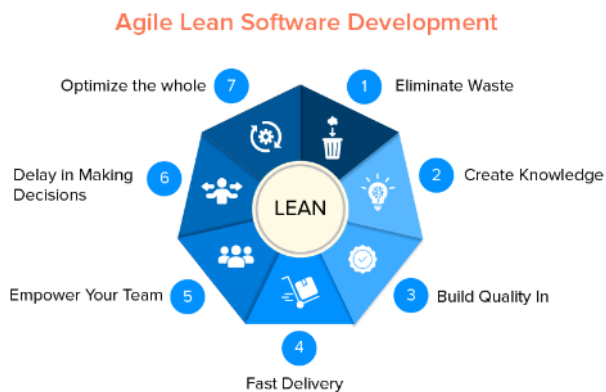
História

A “Lean Software Development” (Desenvolvimento “Magro” de Software) tem sua origem, como o nome sugere, nas “lean techniques” (técnicas “magras”) do ambiente industrial sendo aplicadas ao desenvolvimento de software. Mary Poppendieck, que idealizou a metodologia, juntamente com Tom Poppendieck, foi programadora por diversos anos, até se deparar com uma oportunidade e seguir a carreira de gestora de TI. Após alguns anos, ao voltar ao cenário de desenvolvimento de software, deparou-se com algo que considerou assustador: uma ênfase em definição e detalhamento de processos sendo justificada pelo movimento de manufatura “magra” (o qual ela acompanhou na própria indústria). Como sabia que as técnicas que estavam sendo aplicadas eram exatamente o oposto do que a manufatura “magra” pregava (“um fluxo rápido e essencial”, “as pessoas devem pensar mais para fazerem seus trabalhos”, “testar incessantemente é a melhor forma de fazer as coisas funcionarem corretamente”), Mary resolveu tentar mudar o paradigma do desenvolvimento de software escrevendo um livro que explica a forma correta de aplicar as técnicas “magras” ao desenvolvimento de software como cita a Figura 4 (Poppendieck, 2003).

Abordagem

O desenvolvimento de software é algo muito abrangente, indo desde “Web Design” até o envio de um satélite em órbita, e sendo assim tão abrangente e variável, há diversas práticas que podem ser aplicadas a alguns casos e a outros não. Esta metodologia cuida de aplicar as práticas corretas para cada caso levando em conta os princípios “magros” (Poppendieck, 2003).

Figura 4. Infográfico Lean Software Development



Crystal Family

História

A família “Crystal” foi desenvolvida a partir de uma necessidade da IBM em 1991. Ela precisava de uma metodologia “object-technology” e para isso contratou Alistair Cockburn como seu desenvolvedor.

Cockburn iniciou o processo de desenvolvimento da metodologia a partir de entrevistas com times de projetos e percebeu que as práticas utilizadas eram bem diferentes das descritas nos livros da época, como o uso excessivo de comunicação próxima e direta, moral, diálogo com o usuário final, etc. Pelo que pode perceber, esses aspectos diferenciavam os projetos que obtinham sucesso dos que não. Utilizando-se dessas técnicas, Cockburn foi consultor de um projeto com preço e escopo fixo, e as teve como principal fator de sucesso. Partindo das lições aprendidas com a experiência deste e dos projetos que participou posteriormente (Cockburn, 2004).

Aspectos

“Crystal” é uma família de metodologias com um código genético comum, que tem ênfase em entrega frequente, comunicação próxima e melhoria recíproca. Deve-se lembrar de que “Crystal” não é simplesmente uma metodologia, mas sim uma família, portanto existe uma metodologia diferente para cada tipo de projeto, sempre utilizando o “código genético” da família. O nome “Crystal” parte de duas dimensões dos projetos: tamanho e criticidade, correspondendo, respectivamente, as propriedades cor e rigidez do mineral (cristal). Projetos maiores, que exigem maior coordenação e comunicação, correspondem a cores mais escuras (branco, amarelo, laranja, vermelho e assim por diante). Projetos para sistemas que possuem um maior número de regras de validação e verificação correspondem a cristais mais rígidos. A metodologia quartzo é utilizada para sistemas inofensivos com poucos desenvolvedores, já um mesmo time criando um sistema para um reator nuclear exige uma metodologia diamante, demandando assim por verificações repetitivas tanto

no design quanto na implementação dos algoritmos (Cockburn, 2004).

Crystal Clear

A “Crystal Clear” é a variação mais conhecida da família Crystal, trata-se de um aperfeiçoamento que pode ser aplicado em equipes que contenham de 2 a 8 pessoas, instaladas em uma mesma sala ou escritórios adjacentes. A comunicação próxima é reforçada, ocorrendo de uma forma natural e quase imperceptível, afinal os integrantes acabam participando como ouvintes de discussões que não fariam parte (Cockburn, 2004).

Dextra

Uma empresa brasileira, a Dextra, relatou, em 2010, ter alcançado cem mil horas de projetos com metodologias ágeis após ter sido a pioneira na adoção do Scrum no Brasil e afirma ter obtido resultados impressionantes. Dentre esses projetos, destacam-se sistemas para a GLOBOSAT, a Força Aérea Brasileira e o Grupo Confidence, nos quais a empresa afirma ter obtido sucesso e satisfação totais de seus clientes. Na comunidade ágil, há um caso famoso de um projeto que foi “salvo” pelas metodologias ágeis, o projeto um sistema de gerenciamento de casos (“Sentinela” - o qual passou a ser desenvolvido após os atentados da cidade de Oklahoma). Houve um projeto desenvolvido, inicialmente, com metodologias tradicionais, o qual foi cancelado em 2005 com um orçamento de cento e setenta milhões de dólares. Após esse fracasso, foi feita uma nova tentativa utilizando ainda a metodologia em cascata, agora com o orçamento de quatrocentos e vinte e cinco milhões de dólares, em 2010 foi verificado que o orçamento estouraria em trezentos e trinta e um milhões de dólares e o prazo aumentaria mais seis anos, ainda com a possibilidade de o sistema não estar completo.

Nesse momento, Chad Fulgham, o CIO, decidiu pausar o projeto e passar a utilizar o Scrum. Para isso ele reduziu a equipe de desenvolvimento para cinquenta e cinco pessoas (antes havia cento e vinte e cinco) e organizou todo o trabalho em 60 “histórias de usuários” e determinou a quantidade dos Sprints que seriam realizados e a duração de cada um. Como resultado dessa mudança, o projeto foi entregue e disponibilizado para todos os funcionários do FBI em primeiro de julho de dois mil e doze, conforme memorando publicado no site do FBI (Dextra, 2012).

Casos de fracasso

A maior parte dos casos de fracasso que é possível encontrar nos sites e livros é relatada por defensores das metodologias ágeis, ou seja, em todos esses casos há alguma falha na utilização dos métodos por parte dos fracassados, ou algum tipo de resistência apresentada pela equipe. Ainda assim, esses casos podem, ao menos, deixar claros os erros mais comuns

que ocorrem e dá uma ideia de como impedi-los de acontecerem.

Blass - Projeto canon

Essa empresa foi extremamente ambiciosa no Projeto Canon, tendo sido criada no mês de Julho, comprometeu-se com a entrega completa de um site totalmente funcional para o dia trinta de setembro. Após um dia de apresentação acerca da metodologia XP por Laurent Bossavit (autor do caso) a empresa decidiu utilizar a metodologia para parte do projeto. Inicialmente, essa iniciativa mostrou-se efetiva, permitindo até mesmo que algumas iterações fossem entregues sem grandes problemas, porém os verdadeiros obstáculos apareceram quando foi necessário expandir o processo para o restante do projeto após serem verificados diversos problemas de qualidade nessas outras partes, além do fato de o cliente não estar ciente de tudo isso que estava acontecendo (as diferenças nos processos de trabalho entre as equipes e a consequente falha na qualidade e nos prazos). Basicamente, o autor resume o fracasso desse projeto em três características que conflitaram, em parte, com os princípios do XP: paixão, ousadia e glamour. A paixão fez com que acreditassem poder desenvolver projetos grandes para grandes companhias. A ousadia fez com que aceitassem um projeto muito complexo em um prazo extremamente curto e irreal. Finalmente o glamour fez com que dessem mais atenção a “perfumarias” em vez de realmente se preocuparem com a estrutura interna do sistema, além de fazer com que deixassem a coragem (um dos valores pregados pelo XP) de lado para acomodarem-se em linguagens e sistemas de gerenciamento de banco de dados tradicionais em vez de realmente procurarem o que melhor os atenderia para o projeto em questão. Ainda assim, o que acabou fazendo com que o fracasso fosse iminente foi a má administração da empresa, que acabou deixando um pouco de lado a opinião e o pensar dos colaboradores, para tentar resolver tudo “de cima” (algo não recomendado por todas as metodologias ágeis).

Caso de sucesso

Após falarmos sobre todas as metodologias de desenvolvimento citadas acima, agora irei citar um caso de sucesso de uma empresa que aderiu à modalidade “Scrum” como metodologia para seu desenvolvimento. Uma empresa de tecnologia financeira que pertence a um grupo empresarial, ou um conglomerado paranaense com atuação em educação, cooperativas de crédito e agricultura familiar. Fundada a partir de um projeto acadêmico na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) em Medianeira, consolidou-se como um caso de sucesso ao oferecer soluções digitais inovadoras para o setor de crédito cooperativo. A metodologia Scrum

aplicada a essa empresa funciona mais ou menos da seguinte maneira:

- O Cliente entra em contato com o suporte, suporte coleta a necessidade do cliente e modula um “protótipo” do que eles querem que seja desenvolvido.
- Suporte faz a abertura de um chamado descrevendo a necessidade e anexando esse “protótipo” ao mesmo, encaminhando isso para o Product Owner (P.O) de desenvolvimento.
- O P.O faz a análise de requisitos gerais do chamado e sabe para qual desenvolvedor encaminhar a demanda.
- O desenvolvedor realiza o desenvolvimento, faz o deploy das alterações que foram feitas em um ambiente de testes e envia a demanda juntamente com o chamado para os testers
- O testers realiza os testes e se estiver de acordo com o que o cliente pediu, a demanda é enviada novamente para o P.O para que ele possa fazer o deploy das alterações no ambiente de produção, que é onde o cliente vai poder usufruir do desenvolvimento feito.

Abaixo irei demonstrar na Figura 5 como mais ou menos funciona o procedimento e a esteira de desenvolvimento usando o Scrum como metodologia

Figura 5: Exemplo de Scrum aplicado



Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados na aplicação das metodologias ágeis demonstram ganhos significativos em termos de flexibilidade, qualidade do produto e satisfação do cliente. Empresas como a Dextra reportaram melhorias na entrega de valor ao cliente após a adoção do Scrum, alcançando centenas de milhares de horas de desenvolvimento com sucesso comprovado. Casos como o projeto Sentinel do FBI reforçam a eficácia das práticas ágeis em contextos complexos e críticos. Entretanto, a pesquisa também evidencia que falhas na implementação, resistência cultural e falta de alinhamento com os princípios ágeis podem comprometer os resultados, como exemplificado no caso da Blass com o projeto Canon. O estudo reforça que a adoção bem-sucedida das metodologias ágeis requer não apenas conhecimento técnico, mas também uma mudança organizacional.

CONCLUSÕES

A intenção deste trabalho foi demonstrar algumas das diversas metodologias ágeis que já surgiram e os diversos processos que elas propõem não apenas para administrar um projeto, mas sim para toda uma forma diferente de se trabalhar e valorizar o profissional. O XP é uma das metodologias ágeis mais completas se considerarmos todas as linhas que suas regras abrangem, mencionando desde o relacionamento com o cliente, até o desenvolvimento do sistema e sua entrega, o Scrum não possui tantos detalhes como o XP (não especifica processos para a codificação em si, por exemplo), porém passou a ser uma das metodologias mais utilizadas, afinal suas regras para a administração de um projeto são bem definidas e por não terem especificações tão “fortes” em algumas áreas (como é o caso da mencionada codificação) enfrenta menos resistência para ser implantada, além de poder ser utilizada com mais facilidade em qualquer tipo de projeto (não apenas em desenvolvimentos de sistemas), enfim, o Scrum pode servir como a porta de entrada menos traumática para as metodologias ágeis. Assim como o XP, o FDD também é muito abrangente em suas regras, detalhando minuciosamente cada etapa do desenvolvimento do projeto e, portanto, pode passar pelos mesmos problemas do XP. Apesar de terem muito em comum, não há uma metodologia ágil que seja boa para todos, aqueles que desejam utilizá-las devem estudar o cenário e as culturas em que serão implantadas e então tentar identificar qual melhor se encaixa.

É importante ressaltar também que não necessariamente devem-se seguir todas as regras de apenas uma metodologia ágil, podendo, como acontece muito com o Scrum, mesclar regras e princípios de diversas metodologias ágeis, conforme o que melhor se adaptar para o ambiente em que for implantado. Se compararmos com o tempo que utilizamos as metodologias tradicionais e o surgimento das metodologias ágeis, realmente elas ainda possuem um longo caminho a percorrer antes de dar um veredito sobre a sua real efetividade, porém devem ser observados os resultados (assertividade de prazos, satisfação do cliente, satisfação dos colaboradores) que as empresas que as utilizam relatam e também a quantidade de pessoas e empresas que estão seguindo essa tendência. É importante lembrar que já houve uma quebra de paradigma em outro momento no mundo do desenvolvimento de sistemas no momento em que se passou a utilizar mais a orientação a objeto do que a programação estruturada, e se deve lembrar que essa existia desde meados dos anos 60.

REFERÊNCIAS

- BECK, Kent *et al.* **Manifesto para Desenvolvimento Ágil de Software**. 2001. Disponível em: <http://www.agilemanifesto.org/iso/ptbr/> Acesso em: 03 de Março de 2025.
- BOSSAVIT, Laurent. The Unbearable Lightness of Programming: a tale of two cultures. *Cutter IT Journal, Massachusetts*, v.15, n.9, 2002. Disponível em: <http://cf.agilealliance.org/articles/system/article/file/1052/file.pdf>. Acesso em: 18 de Março de 2025.
- COCKBURN, Alistair. **Crystal Clear: A Human-Powered Method Small Teams**. New Jersey: Addison Wesley, 2004.
- KOSCIANSKI, André; SOARES, Michel dos Santos. Capítulo 10: **Metodologias ágeis**. In: *Qualidade de Software: Aprenda as metodologias e técnicas mais modernas para o desenvolvimento de software*. 1 ed. São Paulo: Novatec, 2006.
- PALMER, Stephen R.; FELSING, John M. **A Practical Guide to Feature-Driven Development**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2002.
- POPPENDIECK, Mary; POPPENDIECK, Tom. **Lean Software Development: An Agile Toolkit**. New Jersey: Addison Wesley, 2003.
- PRESSMAN, Roger. Capítulo 4: **Desenvolvimento Ágil**. In: *Engenharia de Software*. 6 ed. São Paulo: McGraw Hill Interamericana, 2006.
- SÃO PAULO. **Dextra. Dextra alcança 100 mil horas de projetos com metodologias ágeis com resultados impressionantes**, 2012. Disponível em: <http://www.dextra.com.br/noticias/Dextra-alcanca-100-mil-horas-de-projetos-com-metodologias-ageis-com-resultados-impressionantes.htm>. Acesso em: 03 de Março de 2025.
- SÃO PAULO. USP. **Cooperativa de Desenvolvimento Ágil de Software – AgilCoop**. Instituto de Matemática e Estatística (IME), 2012. Disponível em: http://ccsl.ime.usp.br/agilcoop/casos_de_sucesso. Acesso em: 10 de Março de 2025.
- SCHWABER, Ken; SUTHERLAND, Jeff. **The Scrum Guide – The Definitive Guide to Scrum: The rules of the game**. Estados Unidos, 2011. Disponível em: <http://www.scrum.org/Portals/0/Documents/Scrum>

um%20Guides/Scrum_Guide.pdf. Acesso em 20 de Abril de 2025.

WASHINGTON DC. **FBI**. FBI Announces Deployment of Sentinel, 2012. Disponível em: <http://www.fbi.gov/news/pressrel/press-releases/fbi-announces-deployment-of-sentinel>. Acesso em: 15 de Março de 2025.

WELLS, Don. **The Rules of Extreme Programmin.** Estados Unidos, 1999. Disponível em: <http://www.extremeprogramming.org/rules.html>. Acesso em 11 de Março de 2025.

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA GESTÃO E VITRINE DIGITAL EM EMPRESA DE FORNECIMENTO DE DIESEL PARA AGRICULTORES

Amaury de Oliveira Lumertz*; Patrick Rocha Lumertz*; Alexssandro Ferreira Cordeiro**

*Acadêmico de Engenharia de Software, amaury.lumertz@gmail.com; patrickrocha557@gmail.com.

**Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio - UTFPR Medianeira, alexssandrofc@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 20 maio. 2025

Aceite: 06 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

A gestão eficiente do fornecimento de diesel no setor agrícola é essencial para garantir a continuidade das operações no campo, especialmente em regiões onde a conectividade à internet é limitada. Nesse contexto, este artigo propõe o desenvolvimento de um sistema híbrido de gestão e vitrine digital voltado a empresas que comercializam diesel para agricultores, unificando os canais de atendimento digital e tradicional. A solução contempla dois módulos principais: uma vitrine digital acessível via dispositivos com conexão à internet, desenvolvida em React, e um painel administrativo para registro manual de pedidos feitos por telefone ou presencialmente, assegurando a inclusão de clientes com acesso restrito à tecnologia. O backend do sistema, construído com Node.js e banco de dados MySQL, gerencia a lógica de negócios, autenticação, controle de estoque em tempo real e integração entre os módulos. A metodologia adotada baseou-se em práticas ágeis de desenvolvimento, com levantamento de requisitos junto à empresa parceira, modelagem modular do sistema, testes automatizados e manuais com o apoio da ferramenta Postman. Os resultados esperados incluem maior controle e rastreabilidade dos pedidos, redução de falhas humanas, agilidade na logística e aumento da satisfação do cliente. O sistema foi projetado para ser responsivo e funcional em ambientes de baixa largura de banda, visando atender às peculiaridades da realidade rural brasileira. Ao integrar tecnologias modernas e estratégias adaptadas ao público-alvo, a proposta oferece uma alternativa viável e escalável para empresas do setor, promovendo eficiência operacional, inclusão digital e competitividade no mercado agrícola.

Palavras-chave: gestão de diesel; vitrine digital; Node.js; React; agricultura; inclusão digital; sistema híbrido.

ABSTRACT

Efficient diesel supply management is essential to ensure the continuity of agricultural operations, particularly in rural areas with limited internet access. This article presents the development of a hybrid management and digital showcase system designed for companies supplying diesel to farmers. The solution integrates a web-based ordering interface, developed with React, and an administrative module for manually registering orders received by phone or in person. The backend, built with Node.js and MySQL, handles business logic, authentication, real-time inventory control, and data integration. The development process followed agile methodologies, including requirements gathering, modular system design, and testing using tools such as Postman. The system aims to reduce human errors, improve logistics, and enhance customer satisfaction by providing a unified platform adaptable to environments with low bandwidth. By aligning modern technologies with the specific needs of rural contexts, the proposed system offers a scalable and inclusive solution for enhancing operational efficiency and digital access in the agricultural sector.

Keywords: diesel management; digital showcase; Node.js; React; agriculture; digital inclusion; hybrid system.

Copyright © 2025, Amaury de Oliveira Lumertz; Patrick Rocha Lumertz; Alexssandro Ferreira Cordeiro. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: LUMERTZ, Amaury de Oliveira; LUMERTZ, Patrick Rocha; CORDEIRO, Alexssandro Ferreira. Desenvolvimento de sistema para gestão e vitrine digital em empresa de fornecimento de diesel para agricultores. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguauçu, v. 3, n. 7, p. 145-154, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

A agricultura representa um dos pilares da economia brasileira, tendo papel crucial na geração de renda e emprego, especialmente nas regiões rurais (IBGE, 2022). A mecanização crescente das atividades agrícolas, impulsionada pela adoção de tratores, colheitadeiras e outros equipamentos, tem demandado o uso contínuo de combustíveis, especialmente o óleo diesel, cuja oferta regular é vital para a manutenção dos ciclos produtivos e para a sustentabilidade da produção rural (Sommerville, 2011). O abastecimento de maquinário agrícola com diesel é essencial para o andamento das atividades no campo, tornando-se um insumo estratégico cujo controle eficaz impacta diretamente na produtividade e na rentabilidade dos produtores.

Contudo, o cenário de fornecimento de diesel aos agricultores enfrenta desafios operacionais significativos. Em primeiro lugar, a infraestrutura de internet em muitas áreas rurais é limitada, o que impede que usuários recorram exclusivamente a plataformas online para realizar seus pedidos, obrigando-os a utilizar canais manuais como telefone e visitas presenciais (Oliveira; Costa, 2020). Soma-se a isso a diversidade de canais de atendimento — do tradicional contato telefônico à crescente adoção de aplicativos móveis — que gera fragmentação no fluxo de pedidos e aumenta a probabilidade de erros e retrabalho (Pereira *et al.*, 2019).

Além disso, a coexistência de sistemas manuais e plataformas isoladas impede um controle centralizado do estoque e dificulta o acompanhamento em tempo real das solicitações de diesel, comprometendo a precisão das previsões de entrega e a gestão de inventário (Martins; Souza, 2018). Essa falta de integração operacional afeta diretamente a eficiência logística e a qualidade do atendimento, levando a atrasos, baixa satisfação do cliente e retrabalho nas rotinas administrativas (Ferreira, 2020).

Nesse contexto, torna-se essencial a adoção de soluções tecnológicas que conciliem inovação, acessibilidade e adaptação à realidade do meio rural. Este artigo propõe o desenvolvimento de um sistema informatizado híbrido, composto por dois módulos integrados: uma vitrine digital acessível por meio de navegadores web, destinada aos clientes com acesso à internet, e um módulo de atendimento tradicional, operado por funcionários da empresa, para registrar e gerenciar pedidos realizados por telefone, mensagens ou presencialmente. Essa abordagem visa não apenas digitalizar os processos de venda e gestão de estoque, mas também promover a inclusão digital de regiões com baixa conectividade.

O sistema foi desenvolvido utilizando tecnologias modernas e consolidadas como React para a

construção da interface do usuário, Node.js para o backend, MySQL para armazenamento e Postman para testes e validação de APIs. A arquitetura modular adotada garante escalabilidade, segurança e manutenção facilitada, alinhando-se às boas práticas de desenvolvimento de software (Fowler, 2003; Tilkov; Vinoski, 2010). O projeto seguiu uma metodologia ágil com entregas incrementais e validação contínua junto aos usuários, conforme os princípios do Manifesto Ágil (Beck *et al.*, 2001).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar a concepção, desenvolvimento e validação de um sistema de gestão e pedidos para empresas de fornecimento de diesel voltadas ao setor agrícola, com foco na integração de canais, automação de processos e adaptação a diferentes níveis de conectividade. Espera-se, com isso, contribuir para a transformação digital do setor, promovendo maior eficiência operacional, redução de custos e ampliação do acesso a soluções tecnológicas no meio rural.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema proposto seguiu uma abordagem metodológica estruturada, pautada em princípios de engenharia de software e práticas ágeis de desenvolvimento, com o objetivo de assegurar a qualidade técnica, a aderência às necessidades dos usuários e a viabilidade de implementação em contextos rurais. A metodologia adotada foi dividida em cinco etapas principais: levantamento de requisitos, modelagem do sistema, seleção tecnológica, desenvolvimento incremental e validação/testes. Cada fase foi conduzida de forma iterativa, com a participação ativa dos stakeholders, buscando alinhar continuamente os objetivos técnicos e operacionais do projeto.

1. Levantamento de Requisitos

A primeira etapa consistiu na coleta e análise de requisitos funcionais e não funcionais, realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, observações diretas e reuniões com gestores, operadores e funcionários da empresa fornecedora de diesel. O objetivo foi compreender os fluxos de trabalho existentes, identificar gargalos operacionais e mapear as necessidades específicas do negócio, como a rastreabilidade de pedidos, o controle de estoque em tempo real e a inclusão de clientes sem acesso à internet. Foram utilizadas técnicas de elicitação recomendadas por Sommerville (2011), como análise de tarefas, brainstorming e prototipagem inicial para validar premissas e expectativas dos usuários finais.

2. Modelagem do Sistema

Com base nas informações obtidas, foi elaborada a modelagem conceitual e arquitetural do sistema, empregando diagramas de casos de uso, diagramas de sequência e diagramas de entidade-relacionamento para representar o comportamento esperado da aplicação e suas interações com o banco de dados. Optou-se por uma arquitetura em camadas (*layered architecture*), com separação clara entre a interface do usuário (*frontend*), a lógica de negócios (*backend*) e a persistência de dados (banco de dados), visando maior coesão modular, facilidade de manutenção e escalabilidade. Essa abordagem segue as recomendações de Fowler (2003) para sistemas empresariais com múltiplos pontos de entrada.

3. Seleção Tecnológica

A escolha das tecnologias baseou-se em critérios como robustez, comunidade ativa, curva de aprendizado, compatibilidade com dispositivos móveis e potencial de escalabilidade. Foram adotadas as seguintes ferramentas:

React: Biblioteca JavaScript para construção de interfaces de usuário reativas e componentizadas, com foco na responsividade e desempenho, ideal para aplicações com atualizações frequentes (Banks; Porcello, 2017).

Node.js: Plataforma para execução de código JavaScript no servidor, baseada em modelo assíncrono e orientado a eventos, apropriada para aplicações que exigem alta concorrência e baixa latência (Tilkov; Vinoski, 2010).

MySQL: Sistema de gerenciamento de banco de dados relacional amplamente utilizado, com suporte a transações ACID e integração facilitada com o ecossistema JavaScript (DuBois, 2013).

Postman: Ferramenta para criação, teste e documentação de APIs RESTful, utilizada no processo de validação funcional e integração entre os módulos do sistema (Postman, 2024).

4. Desenvolvimento Incremental e Iterativo

A implementação seguiu os princípios do desenvolvimento ágil, com entregas parciais e frequente interação com os usuários para coleta de feedback contínuo. Cada funcionalidade foi desenvolvida em sprints curtos, com ciclos de análise, codificação, testes e revisão. Essa abordagem permitiu ajustar funcionalidades conforme as demandas emergentes do cliente e incorporar melhorias incrementais ao longo do projeto, reduzindo riscos e promovendo maior alinhamento entre solução técnica e realidade operacional (Beck *et al.*, 2001).

Foram criados dois módulos principais:

Vitrine Digital: Interface web acessível via dispositivos móveis ou desktops, que permite ao cliente realizar pedidos, visualizar catálogo de produtos, consultar histórico de transações e receber confirmações automatizadas.

Módulo de Atendimento: Painel administrativo utilizado pelos operadores da empresa para registrar pedidos recebidos por telefone, presencialmente ou por outros canais offline, garantindo a unificação dos dados no sistema central.

5. Testes e Validação

A fase final consistiu na aplicação de testes de software em duas frentes principais: testes unitários no backend e testes funcionais na interface do usuário. No backend, os endpoints da API foram testados com Postman, verificando status HTTP, consistência dos dados e tratamento de erros. Exemplos incluem:

POST /pedido – Criação de novo pedido, com retorno esperado 201 (Created).

GET /produtos – Consulta ao catálogo, com retorno esperado 200 (OK).

No frontend, os testes focaram na usabilidade, responsividade e fluxo de navegação, realizados manualmente e com o apoio da React Testing Library. Foram testadas funcionalidades como login, carrinho de compras, filtros de produto e envio de pedido, em diferentes tamanhos de tela e navegadores.

Adicionalmente, foram conduzidos testes de desempenho e validação em campo, em ambiente com conectividade limitada, para verificar a estabilidade da aplicação e a viabilidade de operação em regiões rurais. Essa etapa foi essencial para garantir que o sistema atendesse não apenas aos requisitos funcionais, mas também às restrições contextuais do público-alvo.

SISTEMA DESENVOLVIDO

4.1. Arquitetura e Componentes

O sistema é dividido em dois módulos integrados:

- **Vitrine Digital:** Interface web para clientes realizarem pedidos online, exibindo catálogo de produtos, preços e histórico de pedidos. Desenvolvida em React, utiliza Bootstrap para responsividade e acessibilidade.

- **Módulo de Atendimento Direto:** Interface para operadores registrarem pedidos oriundos de contato telefônico ou presencial, garantindo inclusão no sistema unificado.

Ambos os módulos se comunicam com o backend Node.js, que gerencia autenticação, autorização, lógica de negócios, persistência e regras de estoque, utilizando MySQL para armazenamento dos dados.

Fluxo de Operação

Cliente faz pedido pela vitrine ou atendente registra pedido manualmente.

Backend valida, processa e grava o pedido no banco.

Estoque é atualizado em tempo real.

Confirmação de pedido é disponibilizada.

Interface da Vitrine Digital

- Página inicial com catálogo paginado.

- Busca e filtros por tipos de diesel e volumes.

- Carrinho de compras com resumo e possibilidade de edição.
 - Cadastro e login com autenticação JWT.
 - Histórico de pedidos para acompanhamento.
- Módulo de Atendimento
- Tela de inserção rápida de pedidos.
 - Visualização de produtos e preços atualizados.
 - Registro de observações e condições especiais.
 - Busca de clientes por CPF ou nome.

A Figura 1 apresenta o relatório de funcionários disponível no módulo administrativo do sistema, demonstrando a estrutura organizacional interna da empresa. Essa interface exibe informações essenciais como nomes, cargos, setores e alocações funcionais dos colaboradores, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos humanos. O relatório facilita o controle de permissões, a definição de responsabilidades operacionais e o monitoramento de atividades, servindo de base para análises gerenciais e tomada de decisões estratégicas relacionadas à força de trabalho.

Figura 1 – Relatório de funcionários no sistema

Relatório de Funcionários

#	Nome	Cargo	Departamento	Telefone	Email	Ações
1	Lucas Pereira	Analista de Sistemas	TI	(11) 98765-4321	lucas@empresa.com	Editar Excluir
2	Ana Costa	Recursos Humanos	RH	(21) 91234-5678	ana@empresa.com	Editar Excluir

Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 2 é exibido o relatório de clientes, o qual reúne dados cadastrais fundamentais como nome, CPF, endereço e informações de contato. Essa funcionalidade tem papel central na gestão do relacionamento com o cliente, permitindo ao atendente localizar rapidamente registros existentes, atualizar informações e acessar o histórico de pedidos. A organização clara dos dados visa não apenas agilizar o processo de atendimento, mas também assegurar a consistência e a integridade das informações armazenadas no banco de dados.

Figura 2 – Relatório de clientes do sistema

Relatório de Clientes

#	Nome	CPF	Email	Telefone	Endereço	Ações
1	João da Silva	123.456.789-00	joao@email.com	(11) 91234-5678	Rua A, 123 - Centro	Editar Excluir
2	Maria Oliveira	987.654.321-00	maria@email.com	(21) 99876-5432	Av. B, 456 - Bairro	Editar Excluir

Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 3 ilustra a tela de cadastro de clientes, interface que permite a inserção de novos registros no sistema. A tela foi desenvolvida com foco na simplicidade e na eficiência, apresentando campos obrigatórios como nome completo, endereço, CPF e formas de contato. Sua usabilidade foi otimizada para dispositivos de diferentes tamanhos e para conexões com baixa largura de banda, características comuns no meio rural. Essa funcionalidade garante que novos clientes possam ser inseridos com agilidade, mantendo o banco de dados sempre atualizado e promovendo uma gestão mais eficaz da base de consumidores.

Figura 3 – Tela de cadastro de clientes

Cadastro de Cliente

Nome Completo

E-mail

Telefone

Endereço

Fonte: Autoria própria (2025).

TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Node.js

Node.js é uma plataforma de desenvolvimento de aplicações de servidor baseada no motor V8 do Google Chrome, que interpreta código JavaScript. Diferentemente dos ambientes tradicionais, Node.js adota um modelo de execução assíncrono e orientado a eventos, o que permite a construção de aplicações altamente escaláveis e eficientes no uso de recursos, especialmente para operações de I/O (entrada/saída) (Tilkov; Vinoski, 2010).

Esse modelo não bloqueante possibilita que o servidor execute múltiplas operações simultaneamente, sem aguardar o término de uma tarefa para iniciar outra, otimizando o processamento e a capacidade de atendimento a múltiplas requisições concorrentes. Além disso, a arquitetura single-threaded do Node.js evita overhead causado por criação excessiva de threads, utilizando a event loop para gerenciar as operações assíncronas (Dahl, 2009).

O ecossistema de Node.js é vasto e conta com o gerenciador de pacotes npm, que disponibiliza milhares de bibliotecas e módulos que facilitam o desenvolvimento, como frameworks para construção de APIs REST, ferramentas para acesso a bancos de dados, manipulação de arquivos, autenticação, entre outros (npm, 2024).

Um exemplo prático é a criação de servidores HTTP utilizando o *framework Express.js*, que abstrai funcionalidades comuns e permite estruturar rotas e middlewares de forma simples e organizada. Essa abordagem acelera o desenvolvimento e manutenção de aplicações web e serviços back-end (Holmes, 2015).

Assim, Node.js tem se destacado em projetos que demandam alta performance e escalabilidade, como sistemas em tempo real, APIs RESTful e microserviços, consolidando-se como uma tecnologia essencial no desenvolvimento web moderno.

React

React é uma biblioteca JavaScript open source criada pelo Facebook em 2013 para facilitar o desenvolvimento de interfaces de usuário (UI) complexas e dinâmicas por meio da composição de componentes reutilizáveis. A sua principal inovação é a utilização do DOM virtual (Virtual DOM), uma representação leve do DOM real, que permite atualizar apenas os elementos necessários na interface, otimizando o desempenho e melhorando a experiência do usuário (Banks; Porcello, 2017).

O DOM virtual é uma representação leve e abstrata da estrutura do DOM real, permitindo que o React faça comparações (*diffing*) entre o estado atual e o novo estado da UI para aplicar apenas as mudanças estritamente necessárias, evitando a re-renderização completa do DOM, processo que é tipicamente custoso em termos de performance. Essa técnica possibilita que o React mantenha a interface responsiva mesmo em aplicações com muitos componentes e atualizações frequentes (Tilkov; Vinoski, 2010).

A arquitetura baseada em componentes do React promove a divisão da UI em unidades independentes, cada uma responsável por sua própria lógica e apresentação. Cada componente pode conter um estado interno e receber propriedades (props) que controlam seu comportamento e aparência, o que favorece a modularidade, a reutilização e a manutenção do código. Essa separação clara de responsabilidades facilita a colaboração em equipes de desenvolvimento e a escalabilidade dos projetos (Choi, 2020).

Outra característica marcante do React é seu paradigma declarativo. Ao invés de manipular diretamente o DOM para refletir mudanças, o desenvolvedor descreve a UI desejada para cada estado da aplicação, e o React se encarrega de manter a interface sincronizada com esse estado. Essa abordagem reduz erros e torna o código mais legível e previsível (Abramov, 2015).

A introdução dos hooks na versão 16.8 do React representou uma evolução significativa, permitindo que funcionalidades como gerenciamento de estado, ciclo de vida do componente e manipulação de efeitos colaterais fossem implementadas diretamente em componentes funcionais, simplificando a arquitetura

do código e reduzindo a complexidade do uso de componentes baseados em classes. Hooks como `useState`, `useEffect`, `useContext` e `useReducer` proporcionam mecanismos poderosos e flexíveis para gerenciar a lógica da aplicação de forma mais concisa e intuitiva (Abramov, 2019).

O ecossistema do React é rico e diversificado, contando com diversas bibliotecas e ferramentas que complementam sua funcionalidade principal. Entre elas, destaca-se o React Router, que possibilita o gerenciamento eficiente da navegação entre diferentes telas em aplicações single-page (SPAs), o Redux e Recoil para controle centralizado e eficiente do estado global da aplicação, além de ferramentas para integração com APIs RESTful ou GraphQL, testes automatizados (Jest, React Testing Library) e sistemas de build e bundling (Webpack, Babel) (Choi, 2020).

Além do ambiente web, o React também possibilita o desenvolvimento mobile por meio do React Native, que permite a criação de aplicações nativas para iOS e Android utilizando o mesmo paradigma de componentes e lógica do React, promovendo a reutilização de conhecimento e código entre plataformas (Facebook, 2024).

Devido à sua flexibilidade, eficiência e suporte comunitário ativo, React consolidou-se como uma das bibliotecas JavaScript mais utilizadas mundialmente para o desenvolvimento frontend, sendo adotada por grandes empresas e projetos de todos os portes. Sua evolução contínua e o vasto ecossistema garantem que o React se mantenha relevante frente às constantes mudanças no desenvolvimento web moderno.

MySQL

MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional (SGBDR) amplamente utilizado no desenvolvimento de aplicações que demandam armazenamento estruturado e confiável de dados. Originalmente desenvolvido pela empresa sueca MySQL AB em 1995 e atualmente mantido pela Oracle Corporation, o MySQL se destaca por sua eficiência, facilidade de uso e ampla compatibilidade com diversos sistemas operacionais e linguagens de programação (DuBois, 2008).

Baseado no modelo relacional, o MySQL organiza os dados em tabelas compostas por linhas (tuplas) e colunas (atributos), o que facilita a estruturação, consulta e manipulação das informações. Ele utiliza a linguagem SQL (Structured Query Language), padrão internacional para gerenciamento de bancos de dados relacionais, permitindo executar operações como criação, leitura, atualização e exclusão de dados (CRUD), além de consultas complexas envolvendo múltiplas tabelas por meio de junções (JOINS) e subconsultas (Coronel; Morris, 2016).

A arquitetura cliente-servidor do MySQL possibilita que múltiplos clientes acessem simultaneamente o banco de dados, o que o torna adequado para ambientes web, sistemas corporativos,

comércio eletrônico, aplicações móveis e diversos outros cenários. Essa capacidade de suportar alta concorrência é reforçada pelo uso de mecanismos de armazenamento (storage engines), sendo o InnoDB o mais utilizado, que oferece suporte a transações com propriedades ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade), garantindo a integridade e confiabilidade dos dados mesmo em situações de falhas ou acesso concorrente (DuBois, 2008).

Além disso, o MySQL permite a definição de chaves primárias, estrangeiras, índices e restrições, que asseguram a integridade referencial e otimizam a performance das consultas. Essas características são essenciais para manter a coerência dos dados em sistemas complexos que envolvem múltiplas entidades relacionadas, como clientes, produtos, pedidos e estoque (Coronel; Morris, 2016).

A criação de tabelas no MySQL é realizada por meio de comandos SQL que definem os campos, seus tipos de dados e restrições. Por exemplo, a tabela `produtos`, apresentada abaixo, armazena informações básicas sobre produtos disponíveis, incluindo um identificador único, nome, descrição, preço e quantidade em estoque:

```
CREATE TABLE produtos (  
  id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
  nome VARCHAR(100),  
  descricao TEXT,  
  preco DECIMAL(10,2),  
  estoque INT  
);
```

Neste exemplo, o campo `id` é definido como chave primária auto-incrementável, garantindo um identificador único para cada produto inserido. O campo `nome` aceita até 100 caracteres, adequado para títulos ou nomes de produtos, enquanto `descricao` utiliza o tipo `TEXT` para armazenar descrições detalhadas. O campo `preco` é definido como decimal com precisão de 10 dígitos, sendo 2 deles para casas decimais, ideal para valores monetários. Por fim, o campo `estoque` armazena a quantidade disponível de cada produto.

O MySQL também possui recursos avançados, como replicação para alta disponibilidade, partição de tabelas para melhor performance em grandes volumes de dados, e suporte a stored procedures, triggers e views, que permitem maior controle e automação dentro do banco de dados (DuBois, 2008).

A integração do MySQL com diversas linguagens, como PHP, Python, Java, Node.js, entre outras, aliada à sua documentação robusta e comunidade ativa, faz com que seja uma escolha frequente para desenvolvedores e empresas que buscam uma solução madura, escalável e flexível para gerenciamento de dados (Coronel; Morris, 2016).

Em resumo, o MySQL oferece uma plataforma confiável e eficiente para armazenamento estruturado de dados, sendo capaz de atender desde aplicações

pequenas até grandes sistemas corporativos, com uma gama extensa de funcionalidades que garantem segurança, integridade e desempenho.

Postman

Postman é uma plataforma completa e amplamente adotada para o desenvolvimento, teste, documentação e monitoramento de APIs (Application Programming Interfaces). Fundada em 2012 inicialmente como uma extensão para navegadores, evoluiu rapidamente para uma aplicação desktop e baseada em nuvem, consolidando-se como uma das ferramentas essenciais para engenheiros de software, equipes de qualidade e desenvolvedores de API em todo o mundo (Postman, 2024).

A funcionalidade central do Postman reside na criação e execução de requisições HTTP, que são fundamentais para o funcionamento das APIs RESTful, SOAP e GraphQL. A ferramenta oferece suporte a diversos métodos HTTP, incluindo GET, POST, PUT, DELETE, PATCH, OPTIONS e HEAD, além da capacidade de configurar todos os aspectos da requisição, como cabeçalhos, parâmetros de consulta (query params), corpo da mensagem em múltiplos formatos (JSON, XML, texto simples, form-data) e autenticação, com suporte a diversos protocolos e métodos como OAuth 2.0, API Keys, Basic Auth e Bearer Tokens (Postman, 2024).

Além da execução isolada de requisições, o Postman permite a organização das mesmas em coleções estruturadas, que podem conter múltiplas chamadas agrupadas logicamente por funcionalidades ou serviços, facilitando a execução sequencial, testes automatizados e o versionamento de APIs. As coleções podem ser compartilhadas entre membros da equipe, permitindo colaboração e padronização dos processos de teste e desenvolvimento (Postman, 2024).

O Postman disponibiliza um sistema avançado de scripts para pré-requisições e testes, escritos em JavaScript, que possibilitam manipular variáveis, validar respostas (status HTTP, corpo, cabeçalhos), extrair dados para uso em requisições subsequentes, simular fluxos complexos de autenticação e implementar lógica condicional durante os testes. Essa capacidade torna possível a automação extensiva dos testes, integrando o Postman em pipelines de integração contínua e entrega contínua (CI/CD) por meio de sua ferramenta de linha de comando, o Newman (Postman, 2024).

Outra funcionalidade importante é o suporte a múltiplos ambientes configuráveis, que permitem alternar rapidamente entre diferentes configurações de servidores (desenvolvimento, teste, homologação, produção), credenciais e variáveis globais, otimizando o processo de desenvolvimento e testes em múltiplos contextos sem necessidade de alteração manual dos dados nas requisições (Postman, 2024).

O Postman também oferece recursos para monitoramento contínuo das APIs, permitindo a

programação de execuções periódicas de coleções para validar o funcionamento, desempenho e conformidade dos serviços, gerando relatórios e alertas em caso de falhas ou regressões. Isso auxilia no acompanhamento da saúde da API em ambientes de produção e pré-produção (Postman, 2024).

Além dos recursos técnicos, o Postman permite a geração automática de documentação interativa, que pode ser publicada e atualizada em tempo real, facilitando a comunicação entre equipes de desenvolvimento, clientes, suporte e demais stakeholders, promovendo transparência e agilidade no processo de desenvolvimento e manutenção de APIs (Postman, 2024).

A plataforma é altamente integrada a ferramentas de controle de versão, sistemas de gerenciamento de projetos e fluxos de trabalho DevOps, oferecendo suporte para colaboração em equipe, controle de permissões, versionamento de coleções e integração com plataformas como GitHub, Jenkins, Travis CI e outras. Isso permite que o Postman seja incorporado de forma eficiente em processos organizacionais de desenvolvimento ágil e DevOps (Postman, 2024).

Dada a crescente importância das APIs em arquiteturas modernas, especialmente com a adoção de microserviços, computação em nuvem e aplicações móveis, o Postman tornou-se uma ferramenta indispensável para garantir a qualidade, segurança e desempenho dessas interfaces, sendo adotado por milhões de usuários em todo o mundo, desde pequenos desenvolvedores até grandes corporações (Postman, 2024).

TESTES E VALIDAÇÃO

A etapa de testes e validação teve como principal objetivo assegurar que o sistema atendesse aos requisitos funcionais e não funcionais previamente definidos, garantindo confiabilidade, desempenho, usabilidade e aderência às condições reais de uso. Essa fase foi conduzida de forma sistemática, combinando testes automatizados e manuais, aplicados tanto no backend quanto na interface do usuário, além de simulações em ambiente real de operação rural.

5.1 Testes Unitários e de Integração no Backend

Para verificar a correta implementação dos serviços de backend, foram realizados testes unitários em cada endpoint da API REST desenvolvida em Node.js, utilizando o Postman para simulação de requisições HTTP. As rotas foram avaliadas com base nos seguintes critérios:

- Correto funcionamento dos métodos (GET, POST, PUT, DELETE)
- Validação de dados obrigatórios e formatos
- Respostas esperadas (status HTTP e corpo da resposta)
- Resistência a entradas inválidas (testes negativos)

Tabela 1 – Principais Endpoints Testados no Sistema

Requisição	Método	URL	Entrada Simulada	Resultado Esperado
Criar pedido	POST	/pedido	JSON com produtos, cliente e data	HTTP 201 Created
Listar produtos	GET	/produtos	N/A	HTTP 200 OK
Atualizar estoque	PUT	/estoque/:id	ID do produto e nova quantidade	HTTP 200 OK
Buscar cliente	GET	/clientes	Parâmetro `cpf` ou `nome`	HTTP 200 OK ou 404 Not Found

Fonte: Altoria própria (2025).

Além disso, foram testadas interações entre os módulos (integração) para garantir a consistência dos dados trafegados entre frontend e backend, bem como a integridade no banco de dados MySQL.

5.2 Testes Funcionais no Frontend

Os testes funcionais visaram validar o comportamento da interface web desenvolvida em React, com foco na navegabilidade, acessibilidade e cumprimento do fluxo de uso esperado pelo cliente. Os testes foram realizados manualmente em navegadores distintos (Google Chrome, Mozilla Firefox e Microsoft Edge) e em dispositivos com diferentes resoluções de tela, incluindo smartphones com conexão 3G para simulação de baixa largura de banda.

Entre as funcionalidades testadas, destacam-se:

- Cadastro e login de usuário (com autenticação JWT)
- Busca e filtro de produtos por categoria e volume
- Adição e remoção de itens no carrinho
- Registro e envio de pedido
- Visualização do histórico de compras

Utilizou-se a React Testing Library para simular interações com os componentes da interface, validando se os elementos visuais respondiam conforme o esperado a eventos como cliques, preenchimento de campos e carregamento de dados.

5.3 Testes de Usabilidade e Experiência do Usuário

A usabilidade foi avaliada com base em testes exploratórios conduzidos com usuários reais da empresa parceira (operadores e clientes), que interagiram com o sistema em situações práticas do cotidiano. Foram observadas:

- Clareza e legibilidade da interface
- Tempo médio de conclusão de tarefas
- Dificuldades encontradas e feedback espontâneo

Esses testes permitiram ajustes pontuais, como ampliação de ícones, reposicionamento de botões, mensagens de erro mais claras e melhoria da responsividade em telas pequenas.

5.4 Testes de Desempenho e Conectividade

Considerando o contexto rural, com conectividade limitada, foram realizados testes de desempenho em redes com baixa largura de banda (3G, 2 Mbps) para verificar o tempo de resposta e a estabilidade da aplicação. A vitrine digital foi otimizada para reduzir o carregamento inicial com lazy loading de componentes e compactação de imagens e scripts.

Foram medidos:

- Tempo médio de carregamento da página inicial: ~1,7 segundos em rede 3G
- Tempo médio para conclusão de pedido: ~5 segundos
- Consumo médio de dados por sessão: ~1,2 MB

Essas métricas demonstram que o sistema se mantém funcional mesmo sob restrições técnicas, garantindo acesso a usuários de localidades com infraestrutura precária.

5.5 Critérios de Aceitação e Validação Final

A validação do sistema considerou critérios de aceitação definidos no início do projeto, como:

- Registro completo e correto de pedidos, tanto online quanto offline
- Atualização automática do estoque após a conclusão de vendas
- Autenticação segura de usuários
- Interface acessível em diferentes dispositivos e navegadores
- Geração correta de relatórios administrativos

Todos os critérios foram cumpridos satisfatoriamente, com base em testes manuais, simulações e validações em campo. A solução foi aprovada pela empresa parceira e encontra-se em fase de implantação piloto, com perspectiva de expansão de uso para outras unidades e integração com serviços adicionais.

ADEQUAÇÃO PARA ÁREAS RURAIS

Reconhecendo as limitações da infraestrutura de internet em áreas rurais, o sistema contempla a inserção manual dos pedidos via módulo de atendimento, garantindo inclusão digital e acesso a serviços mesmo para clientes sem acesso online (Silva *et al.*, 2021). Esta estratégia evita exclusão e aumenta o alcance da empresa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implantação do sistema desenvolvido visa aprimorar significativamente a gestão do fornecimento de diesel no contexto agrícola, especialmente em regiões rurais caracterizadas por limitações de infraestrutura tecnológica e

conectividade restrita. A centralização dos pedidos, unificando canais digitais e tradicionais, alinha-se às melhores práticas para mitigação de erros e retrabalho, conforme indicado por Pereira *et al.* (2019), que enfatizam a importância da integração de canais para a otimização dos processos comerciais em ambientes rurais. Essa convergência operacional é fundamental para assegurar a coerência e rastreabilidade dos dados, aspectos críticos para a eficiência logística e para o controle de estoque, minimizando perdas e atrasos que afetam diretamente a cadeia produtiva agrícola.

Sob a perspectiva técnica, a adoção do Node.js para o backend proporciona alta escalabilidade e desempenho, graças ao seu modelo assíncrono e orientado a eventos, como salientado por Tilkov e Vinoski (2010). Essa arquitetura não bloqueante permite o atendimento eficiente de múltiplas requisições concorrentes, essencial para operações em tempo real, como atualização automática do estoque e confirmação rápida dos pedidos. Além disso, a robustez do ecossistema Node.js, complementado por ferramentas como o framework Express.js (Holmes, 2015), oferece suporte extensivo para desenvolvimento ágil e manutenção simplificada. Já o uso do React no frontend, aliado ao DOM virtual, garante uma interface responsiva e dinâmica, proporcionando melhor experiência ao usuário e facilitando o acesso via dispositivos móveis, fator crítico para o público rural com acesso limitado a infraestrutura de informática (Banks; Porcello, 2017; Abramov, 2019). A modularidade e a reutilização de componentes, características centrais do React, também contribuem para a manutenção eficiente e escalabilidade da interface, possibilitando adaptações futuras conforme as necessidades evoluam.

Do ponto de vista operacional, o sistema oferece uma solução híbrida que inclui módulo administrativo para registrar manualmente pedidos oriundos de clientes com acesso precário ou inexistente à internet. Essa abordagem promove inclusão digital, reduzindo a exclusão tecnológica e possibilitando que um maior número de agricultores seja atendido, conforme discutido por Oliveira e Costa (2020) e Silva *et al.* (2021). A inclusão dessas funcionalidades garante a democratização do serviço, assegurando que as barreiras tecnológicas não comprometam a continuidade do negócio ou a satisfação do cliente. Essa estratégia reflete uma consciência social importante no desenvolvimento tecnológico, reconhecendo as disparidades digitais e atuando para minimizá-las, o que é crucial para o desenvolvimento sustentável no setor agrícola brasileiro (IBGE, 2022).

A metodologia ágil adotada, baseada em ciclos iterativos de desenvolvimento e validação contínua, permitiu o alinhamento constante entre as demandas do cliente e as soluções técnicas implementadas, contribuindo para a robustez e aderência do sistema

às necessidades reais (Beck *et al.*, 2001). A utilização de ferramentas de teste automatizado, como Postman, assegurou a qualidade da API, garantindo que endpoints cruciais para o funcionamento do sistema operem dentro dos parâmetros esperados, minimizando riscos de falhas em ambiente produtivo (Postman, 2024). Essa ênfase na qualidade e confiabilidade técnica é vital para sistemas que impactam diretamente na cadeia logística e financeira das empresas, onde indisponibilidades ou erros podem gerar prejuízos significativos.

Além dos ganhos imediatos em eficiência operacional e controle, a solução tem o potencial de impactar positivamente a tomada de decisões estratégicas na empresa, através da geração de relatórios e indicadores que possibilitam análises gerenciais fundamentadas em dados atualizados e consolidados (Fowler, 2003). Essa capacidade analítica favorece o planejamento logístico, a previsão de demanda e o aprimoramento contínuo dos processos, criando um diferencial competitivo para as empresas do setor. O uso da arquitetura modular facilita a integração futura com outras tecnologias, como sistemas de georreferenciamento para otimização de rotas e ferramentas de inteligência artificial para previsão de demanda, ampliando o escopo de melhorias possíveis.

Por fim, destaca-se a relevância social e econômica do sistema, ao fomentar a transformação digital em um setor fundamental para a economia nacional, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira. A proposta demonstra que a adoção de tecnologias consolidadas, adaptadas à realidade local e aliadas a metodologias modernas de desenvolvimento, constitui uma estratégia eficaz para enfrentar desafios estruturais e promover a inclusão digital em contextos rurais (IBGE, 2022; Pereira *et al.*, 2019). A replicabilidade dessa solução para outros segmentos rurais, que compartilham desafios semelhantes em relação à conectividade e infraestrutura, aponta para um potencial de impacto ampliado, fortalecendo a competitividade regional e promovendo a equidade tecnológica.

CONCLUSÕES

A proposta apresentada neste trabalho buscou responder a uma demanda latente no setor de fornecimento de combustíveis para a agricultura: a necessidade de um sistema informatizado que contemple tanto a modernização dos processos internos quanto a acessibilidade para usuários situados em áreas com infraestrutura tecnológica limitada. Nesse sentido, o desenvolvimento de um sistema híbrido composto por uma vitrine digital e um módulo administrativo para atendimento tradicional demonstrou ser uma estratégia tecnicamente viável,

funcionalmente eficiente e socialmente inclusiva.

A partir da utilização de tecnologias consolidadas e amplamente adotadas no desenvolvimento web – como React para o frontend, Node.js para o backend e MySQL como sistema de gerenciamento de banco de dados – foi possível construir uma arquitetura escalável, modular e segura, capaz de atender às exigências operacionais de empresas de pequeno e médio porte atuantes na zona rural. O uso da metodologia ágil permitiu uma abordagem iterativa, com entregas incrementais e constante validação junto aos stakeholders, o que contribuiu significativamente para a adequação da solução às necessidades reais do negócio.

Do ponto de vista técnico, os principais resultados esperados com a implementação da solução incluem a redução de erros operacionais, o aumento da rastreabilidade dos pedidos, a atualização em tempo real do estoque e o fortalecimento da comunicação entre os diferentes canais de atendimento. Tais benefícios, além de promoverem maior eficiência na gestão empresarial, contribuem diretamente para o aumento da satisfação do cliente e para a melhoria da qualidade do serviço prestado.

Adicionalmente, a proposta se destaca por reconhecer e enfrentar as limitações estruturais presentes no meio rural brasileiro, notadamente no que se refere ao acesso à internet de qualidade. Ao permitir o registro manual de pedidos por parte dos operadores da empresa, o sistema assegura a inclusão de clientes que não dispõem de conectividade estável, contribuindo para a democratização do acesso a tecnologias digitais e para a mitigação das desigualdades tecnológicas no setor agrícola.

A integração entre os diferentes módulos do sistema, associada à possibilidade de geração de relatórios e indicadores gerenciais, fortalece a tomada de decisão baseada em dados e amplia a capacidade de planejamento logístico da empresa. Nesse aspecto, a solução não apenas automatiza processos, mas também agrega valor estratégico à organização, posicionando-a de forma mais competitiva no mercado.

Em perspectiva futura, a plataforma desenvolvida poderá ser expandida com novas funcionalidades, como integração com sistemas de georreferenciamento para planejamento de rotas de entrega, automação fiscal para emissão de notas fiscais eletrônicas, e mecanismos de análise preditiva baseados em inteligência artificial para antecipação da demanda. Tais aprimoramentos poderão consolidar o sistema como uma ferramenta completa de gestão integrada voltada ao setor de distribuição de diesel no meio rural, com potencial de aplicação em outras cadeias produtivas que compartilhem características logísticas semelhantes.

Conclui-se, portanto, que o desenvolvimento e a adoção de soluções tecnológicas contextualizadas à

realidade do público-alvo representam um caminho promissor para promover a transformação digital no campo. A proposta aqui apresentada evidencia que a tecnologia, quando aplicada de maneira estratégica, acessível e sustentável, pode atuar como um vetor de inovação, inclusão e desenvolvimento regional no setor agrícola brasileiro.

REFERÊNCIAS

- DAHL ABRAMOV, Dan. **Introducing Hooks**. 2019. Disponível em: <https://reactjs.org/docs/hooks-intro.html>. Acesso em: 16 maio 2025.
- BANKS, Eve; PORCELLO, Ethan. **Learning React: Functional Web Development with React and Redux**. 2. ed. O'Reilly Media, 2017.
- CHÓI, Jinho. **React Ecosystem Overview**. 2020. Disponível em: <https://medium.com/@jinhochoi/react-ecosystem-overview-2c9a2ee9db34>. Acesso em: 16 maio 2025.
- CORONEL, Carlos; MORRIS, Steven. **Database Systems: Design, Implementation, & Management**. 12. ed. Boston: Cengage Learning, 2016.
- DAHL, Ryan. **Node.js. 2009**. Disponível em: <https://nodejs.org/en/about/>. Acesso em: 16 maio 2025.
- DUBOIS, Paul. **MySQL**. 5. ed. Berkeley: Peachpit Press, 2008.
- FOWLER, Martin. **Patterns of Enterprise Application Architecture**. Addison-Wesley, 2003.
- HOLMES, Ethan. **Express.js Guide: The Comprehensive Book on Express.js**. Shelter Island: Leanpub, 2015.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 maio 2025.
- OLIVEIRA, R.; COSTA, M. Conectividade no campo: desafios para a inclusão digital rural. **Revista de Tecnologia Rural**, v. 14, n. 2, p. 123-134, 2020.
- PEREIRA, J. *et al.* Gestão integrada de canais de vendas em empresas rurais. **Congresso Brasileiro de Sistemas de Informação**, 2019.
- POSTMAN. **Postman Documentation**. 2024. Disponível em: <https://learning.postman.com/docs/getting-started/introduction/>. Acesso em: 16 maio 2025.
- SILVA, A. M. et al. Inclusão digital em regiões rurais: estratégias para ampliação do acesso. **Journal of Rural Studies**, v. 40, p. 56-65, 2021.
- SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. 9. ed. Pearson, 2011.
- TILKOV, Stefan; VINOSKI, Steve. Node.js: **Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs**. IEEE Internet Computing, v. 14, n. 6, p. 80-83, nov./dez. 2010. DOI: 10.1109/MIC.2010.145..



BANCO DE DADOS APLICADO NA ANÁLISE DE HOMICÍDIOS NO PARANÁ

Milena Freitas Kutzner*; Aristides Evangelista Neto*; Franciléia de Oliveira e Silva**

*Discente de Engenharia de Software - Uniguacu, milenakutzner420@gmail.com; aevan2501@gmail.com.

**Docente do curso de Engenharia de Software - Uniguacu, francymucelin@gmail.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 29 maio 2025

Aceite: 12 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise dos índices de homicídios no estado do Paraná nos anos de 2018, 2019 e 2022, utilizando ferramentas de banco de dados para organizar e interpretar os dados oficiais. A pesquisa destaca a distribuição desigual da violência no estado, evidenciando que regiões metropolitanas possuem maior número absoluto de homicídios, enquanto regiões específicas apresentam índices proporcionais mais elevados. Pequenos municípios foram identificados com índices alarmantes, sugerindo a necessidade de políticas públicas regionais focadas nos fatores socioeconômicos locais. O estudo utiliza dados do IBGE, IPEA, IPARDES e métodos estatísticos para gerar tabelas e gráficos que facilitam a visualização dos padrões criminais. Os resultados contribuem para o desenvolvimento de estratégias de segurança pública mais eficazes e direcionadas.

Palavras-chave: Homicídios, Análises, Violência.

ABSTRACT

This article presents an analysis of homicide rates in the state of Paraná during the years 2018, 2019, and 2022, using database tools to organize and interpret official data. The research highlights the uneven distribution of violence across the state, showing that metropolitan regions have the highest absolute number of homicides, while specific regions exhibit higher proportional rates. Small municipalities were identified with alarming homicide indices, suggesting the need for regional public policies focused on local socioeconomic factors. The study uses data from IBGE, IPEA, IPARDES, and statistical methods to create tables and graphs that facilitate the visualization of crime patterns. The findings contribute to the development of more effective and targeted public security strategies.

Keywords: Homicides, Analysis, Violence.

Copyright ©, 2025, Milena Freitas Kutzner; Aristides Evangelista Neto; Franciléia de Oliveira e Silva. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: KUTZNER, Milena Freitas; EVANGELISTA NETO, Aristides; E SILVA, Franciléia de Oliveira. Banco de dados aplicado na análise de Homicídios no Paraná. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguazu, v. 3, n. 7, p. 155-165, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

Este projeto tem como objetivo analisar os índices de homicídios no estado do Paraná nos anos de 2018, 2019 e 2022, utilizando ferramentas de banco de dados para organizar e interpretar as informações. A violência, especialmente os homicídios, é um problema crônico no Brasil, afetando diretamente a qualidade de vida, o desenvolvimento social e o

crescimento econômico das regiões. Segundo Santos (1996), a violência pode ser entendida como um dispositivo de poder que utiliza a força e a coerção, gerando prejuízos sociais significativos.

Ao integrar dados demográficos, econômicos e sociais provenientes de instituições oficiais — como o IBGE, o IPEA e o IPARDES — com ferramentas de banco de dados e métodos estatísticos, a pesquisa permite uma leitura mais abrangente e fundamentada

da realidade criminal paranaense. Essa abordagem técnica contribui para a geração de informações acessíveis, visualmente compreensíveis e estrategicamente relevantes, por meio de gráficos e tabelas que evidenciam as disparidades regionais.

Além disso, a análise da violência homicida sob uma perspectiva regional revela como pequenas localidades, muitas vezes negligenciadas pelas políticas públicas, podem apresentar índices proporcionais mais alarmantes do que os grandes centros urbanos. Como destaca Zaluar (2004), “a violência é resultado da combinação de desigualdades sociais com a fragilidade das instituições de controle e proteção”, o que reforça a necessidade de intervenções contextualizadas e baseadas em evidências.

Dessa forma, compreender os fatores que influenciam a ocorrência de homicídios é essencial para a elaboração de políticas públicas de segurança eficientes. Este projeto busca não apenas analisar os dados, mas também identificar as regiões do estado com maior e menor incidência de homicídios.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema proposto seguiu uma abordagem

Para a condução desta pesquisa, foram consultados artigos científicos disponíveis nas plataformas Google Acadêmico e SciELO, isso nos permitiu ampliar nosso conhecimento sobre o tópico em questão e enriquecer nossa análise. Além disso, utilizamos dados de fontes oficiais, como o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que fornecem informações detalhadas sobre criminalidade, com base nesses dados elaboramos tabelas comparativas que destacam as cidades com os maiores e menores índices de homicídios, permitindo uma visão clara das diferenças regionais. Considerando a grande variabilidade dos dados e o fato de que muitos municípios não registram homicídios ou esse número era muito reduzido, o índice para este estudo foi calculado de acordo com a Equação (1).

$$IH = \left(\frac{h}{p}\right) \cdot 10000$$

Na Equação (1) tem-se: IH = Índice de Homicídios; h = número de homicídios; p = população do município.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os seguintes softwares:

- PostgreSQL, sistema gerenciador de banco de dados objeto relacional. Software de código livre;
- Excel software de planilhas eletrônicas, utilizado para criar, organizar, analisar e visualizar dados em formato de tabela;

Para calcular o tamanho do município foi feita uma lógica de que:

- Se a população for menor ou igual a 50.000 será “Pequeno”;
- Se a população for menor ou igual a 100.000 será “Pequeno Médio”;
- Se a população for menor ou igual a 300.000 será “Médio”;
- Se a população for menor ou igual a 500.000 será “Médio Grande”;
- Se a população for maior que 500.000 será “Grande”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar os homicídios registrados no Paraná durante o ano de 2018, 2019 e 2022, relacionando-os com a população das regiões e municípios. Os dados foram obtidos de fontes oficiais como IBGE, IPARDES e IPEA, e organizados em tabelas e gráficos para facilitar a compreensão dos resultados.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os dados consolidados por região.

Tabela 1. População, homicídios e índices separados por região (2022)

Região	Municípios	População Residente	Municípios sem registro de homic.	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Sudeste Paranaense	21	407.850	9	41	10,05
Norte Pioneiro Paranaense	46	546.187	17	72	13,18
Norte Central Paranaense	79	2.271.620	26	404	17,78
Sudoeste Paranaense	42	662.679	16	127	19,16
Noroeste Paranaense	61	726.229	16	156	21,48
Centro-Sul Paranaense	24	460.736	5	104	22,57
Oeste Paranaense	50	1.403.266	13	327	23,30
Centro Ocidental Paranaense	25	341.931	5	81	23,69

Metropolitana de Curitiba	37	3.865.761	2	959	24,81
Centro Oriental Paranaense	14	758.121	1	212	27,96
Total	399	11.444.380	110	2483	21,70

Fonte: Elaboração própria (2025)

Tabela 2. População, homicídios e índices separados por região (2019)

Região	Municípios	População Residente	Municípios sem registro de homic.	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Sudeste Paranaense	21	437.531	11	42	9,60
Norte Pioneiro Paranaense	46	554.411	23	66	11,90
Norte Central Paranaense	79	2.263.045	30	344	15,20
Sudoeste Paranaense	42	625.378	16	98	15,67
Noroeste Paranaense	61	724.459	21	140	19,32
Centro-Sul Paranaense	24	466.578	5	100	21,43
Oeste Paranaense	50	1.315.226	16	232	17,64
Centro Ocidental Paranaense	25	328.863	8	57	17,33
Metropolitana de Curitiba	37	3.956.837	3	811	20,50
Centro Oriental Paranaense	14	761.629	1	118	15,49
Total	399	11.433.957	134	2008	17,56

Fonte: Elaboração própria (2025)

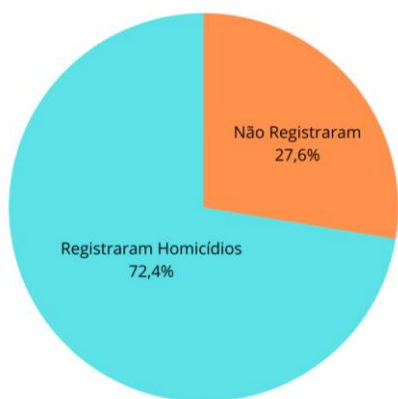
Tabela 3. População, homicídios e índices separados por região (2018)

Região	Municípios	População Residente	Municípios sem registro de homic.	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Sudeste Paranaense	21	434.844	8	47	10,81
Norte Pioneiro Paranaense	46	554.708	15	80	14,42
Norte Central Paranaense	79	2.242.881	26	294	13,11
Sudoeste Paranaense	42	622.523	13	83	13,33
Noroeste Paranaense	61	720.911	19	184	25,52
Centro-Sul Paranaense	24	466.188	5	117	25,10
Oeste Paranaense	50	1.307.461	18	289	22,10
Centro Ocidental Paranaense	25	330.164	5	77	23,32
Metropolitana de Curitiba	37	3.914.008	2	1036	26,47
Centro Oriental Paranaense	14	755.249	1	155	20,52
Total	399	11.348.937	112	2362	20,81

Fonte: Elaboração própria (2025)

A Região Metropolitana de Curitiba, por possuir a maior população residente, apresentou o maior número absoluto de homicídios em todos os anos analisados. No entanto, os maiores índices por 100 mil habitantes foram observados nas regiões Centro Oriental e Centro Ocidental. Por outro lado, a região Sudeste do Paraná apresentou, de forma recorrente, os menores índices.

Gráfico 1. Porcentagem de municípios com e sem homicídios (2022)



Fonte: Elaboração própria (2025)

Gráfico 2. Porcentagem de municípios com e sem homicídios (2019)



Fonte: Elaboração própria (2025)

Gráfico 3. Porcentagem de municípios com e sem homicídios (2018)



Fonte: Elaboração própria (2025)

Destaca-se que, em 2019, houve uma diminuição no número total de homicídios registrados, o que também se refletiu na maior porcentagem de municípios sem nenhum registro de homicídio.

A estatística descritiva dos índices de homicídios por região é apresentada na Figura 4. Observa-se que a maior média foi registrada em 2022 (20,04), seguida por 2018 (19,47) e, por fim, 2019 (16,41).

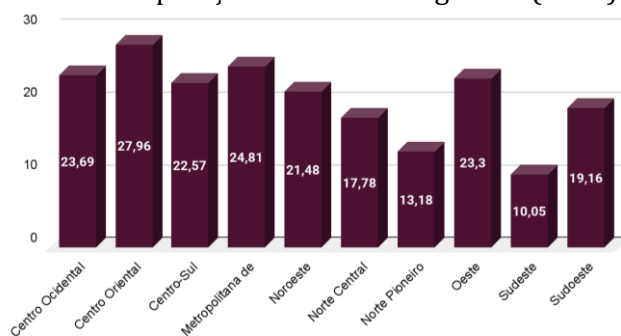
Tabela 4. Estatística descritiva dos índices de homicídio por região

Ano	Mín.	Máx.	Média	Moda	Media na	Variância	Desvio P.
2022	10,05	27,96	20,04	ND	22,03	26,94	5,19
2019	9,60	21,43	16,41	ND	16,50	12,23	3,50
2018	10,81	26,47	19,47	ND	21,31	31,88	5,64

Fonte da Tabela: Elaboração própria (2025)

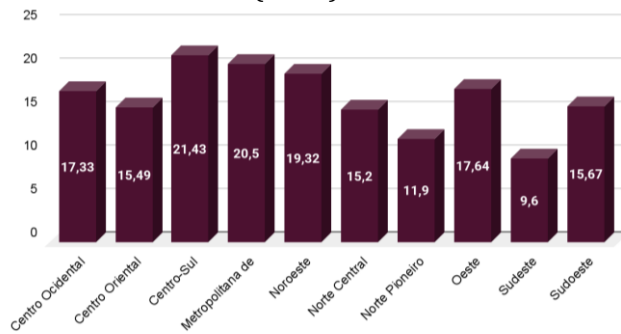
O desvio padrão foi maior em 2018 (5,64), indicando maior dispersão naquele ano, e menor em 2019 (3,50), o que reforça a percepção de que 2019 apresentou uma distribuição mais homogênea dos índices entre as regiões.

Gráfico 4. Comparação dos índices regionais (2022)



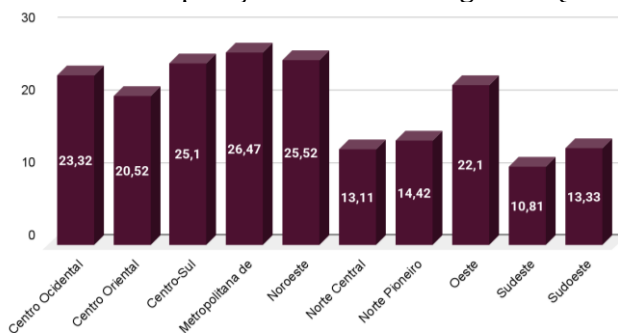
Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

Gráfico 5. Comparação dos índices regionais (2019)



Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

Gráfico 6. Comparação dos índices regionais (2018)



Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

Através dos gráficos de barras é mais fácil a visualização dos índices a serem comparados.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva dos índices de homicídio por município. Em todos os anos, a moda foi 0,00, demonstrando que a maioria dos municípios não registrou homicídios. Os valores máximos, no entanto, foram extremamente elevados, com destaque para 2019, cujo município com maior índice alcançou 176,68 homicídios por 100 mil habitantes. O desvio padrão em 2019 também foi o mais alto (20,86), indicando forte variação e presença de outliers.

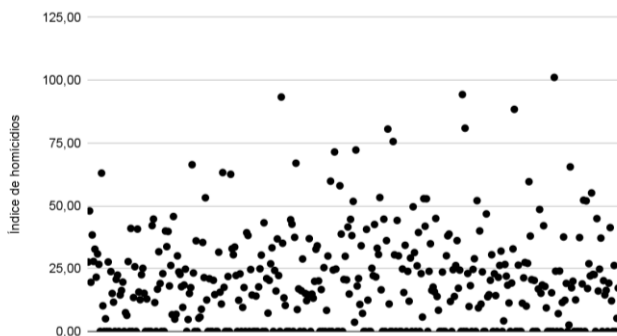
Tabela 5. Estatística descritiva dos índices por município.

Ano	Mín.	Máx.	Média	Moda	Media na	Variânci	Desvi o P.
2022	0,00	101,09	19,71	0,00	17,37	354,79	18,84
2019	0,00	176,68	16,46	0,00	13,77	435,17	20,86
2018	0,00	155,57	18,86	0,00	15,76	392,89	19,82

Fonte da Tabela: Elaboração própria (2025)

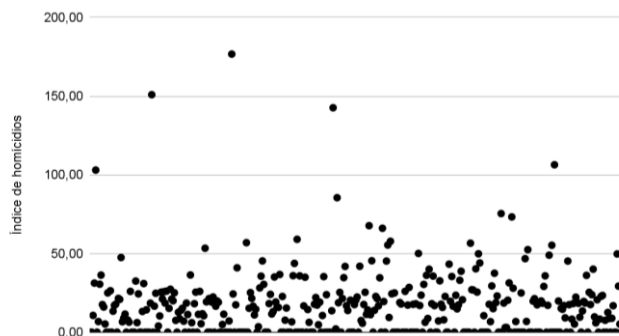
Os Gráficos 7, 8 e 9 mostram uma distribuição ampla e heterogênea dos pontos, indicando alta variabilidade e ausência de padrão claro entre as variáveis analisadas.

Gráfico 7. Dispersão dos índices municipais (2022)



Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

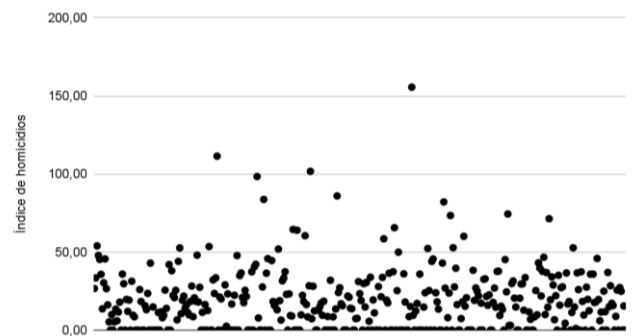
Gráfico 8. Dispersão dos índices municipais (2019)



Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

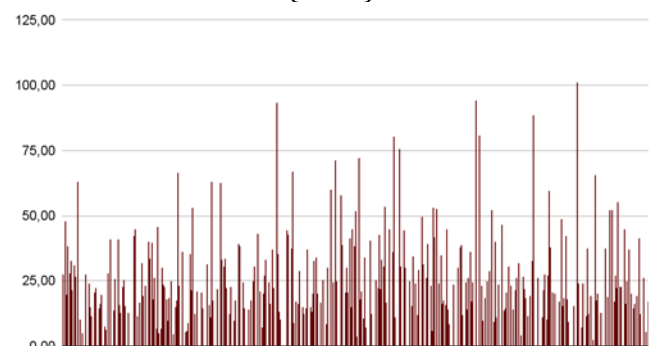
A seguir nos Gráficos 10, 11 e 12 mostram a quantidade de homicídios por município no Paraná, onde é visível os picos no índice de homicídios, onde claramente em 2022 teve maiores picos em diversos municípios.

Gráfico 9. Dispersão dos índices municipais (2018)



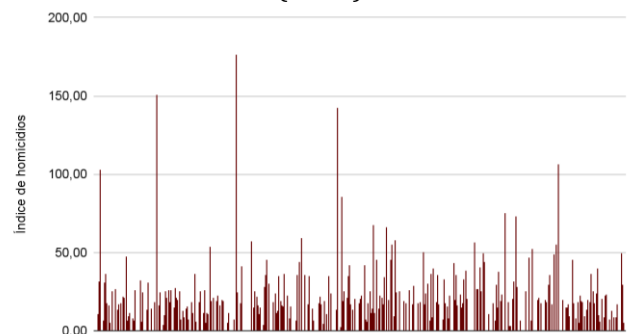
Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

Gráfico 10. Gráfico de barras dos índices municipais (2022)



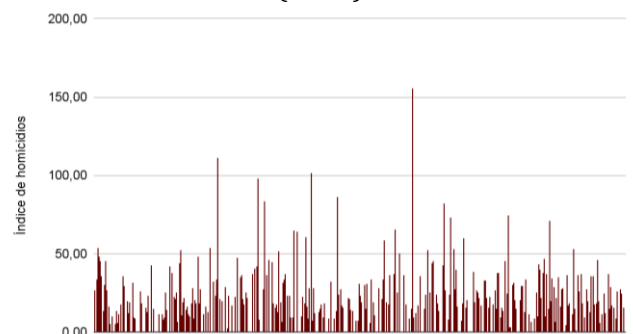
Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

Gráfico 11. Gráfico de barras dos índices municipais (2019)



Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

Gráfico 12. Gráfico de barras dos índices municipais (2018)



Fonte do Gráfico: Elaboração própria (2025)

As tabelas 3, 4 e 5 apresentam os 20 maiores índices de homicídios por município nos anos de 2018, 2019 e 2022 no Paraná. Ao longo desse período, podemos observar variações significativas nos índices de homicídios em várias regiões do estado. A análise desses dados revela padrões de violência persistentes, além de destacar a presença de algumas cidades que se mantiveram nas primeiras posições durante os três anos.

Tabela 6. 20 maiores índices de homicídio por município (2022)

Município	Região geográfica do Paraná	População residente	Tamanho	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Amaporã	Noroeste Paranaense	4762	Pequeno	3	63,00
Clevelândia	Sudoeste Paranaense	15070	Pequeno	10	66,36
Doutor Camargo	Norte Central Paranaense	6327	Pequeno	4	63,22
Espigão Alto do Iguaçu	Centro-Sul Paranaense	4797	Pequeno	3	62,54
Iguatu	Oeste Paranaense	2144	Pequeno	2	93,28
Itaguajé	Norte Central Paranaense	4481	Pequeno	3	66,95
Jussara	Noroeste Paranaense	6690	Pequeno	4	59,79
Laranjal	Centro-Sul Paranaense	5600	Pequeno	4	71,43
Lindóieste	Oeste Paranaense	5175	Pequeno	3	57,97
Manfrinópolis	Sudoeste Paranaense	2770	Pequeno	2	72,20
Mauá da Serra	Norte Central Paranaense	9383	Pequeno	5	53,29
Moreira Sales	Centro Ocidental Paranaense	11175	Pequeno	9	80,54
Nova Aliança do Ivaí	Noroeste Paranaense	1323	Pequeno	1	75,59

Porto Rico	Noroeste Paranaense	3182	Pequeno	3	94,28
Prado Ferreira	Norte Central Paranaense	3709	Pequeno	3	80,88
Santa Amélia	Norte Pioneiro Paranaense	3394	Pequeno	3	88,39
Santa Mônica	Noroeste Paranaense	3356	Pequeno	2	59,59
São José das Palmeiras	Oeste Paranaense	3957	Pequeno	4	101,09
Saudade do Iguaçu	Sudoeste Paranaense	6108	Pequeno	4	65,49
Tibagi	Centro Oriental Paranaense	19961	Pequeno	11	55,11

Fonte da Tabela: Elaboração própria (2025)

Tabela 7. 20 maiores índices de homicídio por município (2019)

Município	Região geográfica do Paraná	População residente	Tamanho	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Esperança Nova	Noroeste Paranaense	1.698	Pequeno	3	176,68
Brasilândia do Sul	Noroeste Paranaense	2.651	Pequeno	4	150,89
Jussara	Noroeste Paranaense	7.013	Pequeno	10	142,59
São Jorge do Patrocínio	Noroeste Paranaense	5.641	Pequeno	6	106,36
Altamira do Paraná	Centro Ocidental Paranaense	1.942	Pequeno	2	102,99
Laranjal	Centro-Sul Paranaense	5.852	Pequeno	5	85,44
Rio Bonito do Iguaçu	Centro-Sul Paranaense	13.269	Pequeno	10	75,36
Sabáudia	Norte Central Paranaense	6.827	Pequeno	5	73,24

Mariluz	Noroeste Paranaense	10.345	Pequeno	7	67,67
Mauá da Serra	Norte Central Paranaense	10.601	Pequeno	7	66,03
Iretama	Centro Ocidental Paranaense	10.169	Pequeno	6	59,00
Moreira Sales	Centro Ocidental Paranaense	12.121	Pequeno	7	57,75
Florestópolis	Norte Central Paranaense	10.548	Pequeno	6	56,88
Presidente Castelo Branco	Norte Central Paranaense	5.306	Pequeno	3	56,54
Miraselva	Norte Central Paranaense	1.806	Pequeno	1	55,37
São Jorge d'Oeste	Sudoeste Paranaense	9.050	Pequeno	5	55,25
Coronel Domingos Soares	Sudoeste Paranaense	7.497	Pequeno	4	53,35
Santa Lúcia	Oeste Paranaense	3.813	Pequeno	2	52,45
Ouro Verde do Oeste	Oeste Paranaense	5.996	Pequeno	3	50,03
Quatro Pontes	Oeste Paranaense	4.015	Pequeno	2	49,81

Fonte da Tabela: Elaboração própria (2025)

Tabela 8. Maiores índices de homicídio por município (2018)

Município	Região geográfica do Paraná	População residente	Tamanho	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Nova Olímpia	Noroeste Paranaense	5.785	Pequeno	9	155,57
Cruzeiro do Sul	Noroeste Paranaense	4.489	Pequeno	5	111,38
Itaúna do Sul	Noroeste Paranaense	2.951	Pequeno	3	101,66
Francisco Alves	Noroeste Paranaense	6.101	Pequeno	6	98,34

Jussara	Noroeste Paranaense	6.983	Pequeno	6	85,92
Goioxim	Centro-Sul Paranaense	7.170	Pequeno	6	83,68
Perobal	Noroeste Paranaense	6.092	Pequeno	5	82,07
Rio Branco do Sul	Metropolitana de Curitiba	32.273	Pequeno	24	74,37
Pinhal de São Bento	Sudoeste Paranaense	2.725	Pequeno	2	73,39
São Jerônimo da Serra	Norte Pioneiro Paranaense	11.213	Pequeno	8	71,35
Moreira Sales	Centro Ocidental Paranaense	12.201	Pequeno	8	65,57
Inajá	Noroeste Paranaense	3.103	Pequeno	2	64,45
Iporã	Noroeste Paranaense	14.073	Pequeno	9	63,95
Itambaracá	Norte Pioneiro Paranaense	6.616	Pequeno	4	60,46
Pontal do Paraná	Metropolitana de Curitiba	26.636	Pequeno	16	60,07
Matinhos	Metropolitana de Curitiba	34.207	Pequeno	20	58,47
Agudos do Sul	Metropolitana de Curitiba	9.269	Pequeno	5	53,94
Coronel Domingos Soares	Sudoeste Paranaense	7.475	Pequeno	4	53,51
Pinhão	Centro-Sul Paranaense	32.219	Pequeno	17	52,76
São Tomé	Noroeste Paranaense	5.693	Pequeno	3	52,70

Fonte da Tabela: Elaboração própria (2025)

Analisando as 20 menores taxas de homicídios por município do Paraná nos anos de 2018, 2019 e 2022, podemos observar alguns padrões interessantes. As tabelas revelam como a violência no estado está distribuída, com algumas áreas se destacando positivamente por manterem índices extremamente baixos, mesmo em comparação com outras regiões mais afetadas.

Tabela 9. Menores índices de homicídio por município (2022)

Município	Região geográfica do Paraná	População residente	Tamanho	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Sarandi	Norte Central Paranaense	118455	Médio	3	2,53
Mandirituba	Metropolitana de Curitiba	27439	Pequeno	1	3,64
Rolândia	Norte Central Paranaense	71670	Pequeno Médio	3	4,19
Chopininho	Sudoeste Paranaense	21085	Pequeno	1	4,74
Capanema	Sudoeste Paranaense	20481	Pequeno	1	4,88
Andirá	Norte Pioneiro Paranaense	19878	Pequeno	1	5,03
Wenceslau Braz	Norte Pioneiro Paranaense	19188	Pequeno	1	5,21
Contenda	Metropolitana de Curitiba	19128	Pequeno	1	5,23
Palotina	Oeste Paranaense	35011	Pequeno	2	5,71
Corbélia	Oeste Paranaense	17470	Pequeno	1	5,72
Bandeirantes	Norte Pioneiro Paranaense	31273	Pequeno	2	6,40
Candói	Centro-Sul Paranaense	14973	Pequeno	1	6,68
Capitão Leônidas Marques	Oeste Paranaense	14648	Pequeno	1	6,83
São Mateus do Sul	Sudeste Paranaense	42366	Pequeno	3	7,08
Marialva	Norte Central Paranaense	41851	Pequeno	3	7,17
Guaraniaçu	Oeste Paranaense	13735	Pequeno	1	7,28

Balsa Nova	Metropolitana de Curitiba	13395	Pequeno	1	7,47
Joaquim Távora	Norte Pioneiro Paranaense	11945	Pequeno	1	8,37
Pérola	Noroeste Paranaense	11878	Pequeno	1	8,42
Itaipulândia	Oeste Paranaense	11485	Pequeno	1	8,71

Fonte da Tabela: Elaboração própria (2025)

Tabela 10. Menores índices de homicídio por município (2019)

Município	Região geográfica do Paraná	População residente	Tamanho	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Lapa	Metropolitana de Curitiba	48.163	Pequeno	1	2,08
Rio Negro	Metropolitana de Curitiba	34.170	Pequeno	1	2,93
Rolândia	Norte Central Paranaense	66.580	Pequeno Médio	2	3,00
Goioerê	Centro Ocidental Paranaense	28.884	Pequeno	1	3,46
Cambará	Norte Pioneiro Paranaense	25.360	Pequeno	1	3,94
Jandaia do Sul	Norte Central Paranaense	21.176	Pequeno	1	4,72
Dois Vizinhos	Sudoeste Paranaense	40.641	Pequeno	2	4,92
Wenceslau Braz	Norte Pioneiro Paranaense	19.414	Pequeno	1	5,15
Sengés	Centro Oriental Paranaense	19.327	Pequeno	1	5,17
Ampére	Sudoeste Paranaense	19.152	Pequeno	1	5,22
Contenda	Metropolitana de Curitiba	18.584	Pequeno	1	5,38
Marechal Cândido Rondon	Oeste Paranaense	52.944	Pequeno Médio	3	5,67

Tijucas do Sul	Metropolitana de Curitiba	16.868	Pequeno	1	5,93
Cianorte	Noroeste Paranaense	82.620	Pequeno Médio	5	6,05
Bituruna	Sudeste Paranaense	16.389	Pequeno	1	6,10
Ivaiporã	Norte Central Paranaense	31.984	Pequeno	2	6,25
Palotina	Oeste Paranaense	31.846	Pequeno	2	6,28
Bandeirantes	Norte Pioneiro Paranaense	31.367	Pequeno	2	6,38
Ipiranga	Sudeste Paranaense	15.172	Pequeno	1	6,59
Assaí	Norte Pioneiro Paranaense	15.119	Pequeno	1	6,61

Fonte da Tabela: Elaboração própria (2025)

Apucarana	Norte Central Paranaense	133.726	Médio	8	5,98
Tijucas do Sul	Metropolitana de Curitiba	16.646	Pequeno	1	6,01
Ibaiti	Norte Pioneiro Paranaense	31.142	Pequeno	2	6,42
Cândido de Abreu	Norte Central Paranaense	15.233	Pequeno	1	6,56
São João do Triunfo	Sudeste Paranaense	14.996	Pequeno	1	6,67
Santa Izabel do Oeste	Sudoeste Paranaense	14.521	Pequeno	1	6,89
Ivaí	Sudeste Paranaense	13.791	Pequeno	1	7,25
Mallet	Sudeste Paranaense	13.595	Pequeno	1	7,36
Planalto	Sudoeste Paranaense	13.528	Pequeno	1	7,39
Mamborê	Centro Ocidental Paranaense	13.252	Pequeno	1	7,55
Francisco Beltrão	Sudoeste Paranaense	89.942	Pequeno Médio	7	7,78
Cambará	Norte Pioneiro Paranaense	25.252	Pequeno	2	7,92

Fonte da Tabela: Elaboração própria (2025)

Tabela 11. Menores índices de homicídio por município (2018)

Município	Região geográfica do Paraná	População residente	Tamanho	Qtd. Homicídios	Índice de homicídios
Sarandi	Norte Central Paranaense	95.543	Pequeno Médio	1	1,05
Vizinhos	Sudoeste Paranaense	40.234	Pequeno	1	2,49
Rio Negro	Metropolitana de Curitiba	33.922	Pequeno	1	2,95
Rolândia	Norte Central Paranaense	65.757	Pequeno Médio	2	3,04
São Mateus do Sul	Sudeste Paranaense	45.806	Pequeno	2	4,37
Antonina	Metropolitana de Curitiba	19.011	Pequeno	1	5,26
Ampére	Sudoeste Paranaense	18.989	Pequeno	1	5,27
Marialva	Norte Central Paranaense	35.180	Pequeno	2	5,69

Essas cidades com baixos índices de homicídios podem servir como modelos para outras regiões do estado que enfrentam desafios mais graves relacionados à violência, mostrando que é possível, com um bom planejamento, reduzir a criminalidade e promover a segurança local.

CONCLUSÕES

Diante dos dados analisados e dos resultados obtidos ao longo deste trabalho, foi possível alcançar os objetivos propostos, contribuindo para a compreensão da distribuição dos homicídios no estado do Paraná. A utilização de ferramentas estatísticas e de visualização espacial nos permitiu traçar um panorama das regiões mais afetadas, bem como identificar possíveis correlações com indicadores socioeconômicos.

Cabe ressaltar que, apesar dos resultados obtidos, este estudo possui limitações, especialmente no que diz respeito à utilização de ferramentas geoespaciais mais avançadas. Recomendamos que futuras pesquisas explorem o uso de softwares como o Quantum GIS (QGIS) e a extensão PostGIS, que possibilitam análises geoespaciais mais robustas e detalhadas. Tais ferramentas poderiam enriquecer significativamente os estudos relacionados à criminalidade e seus fatores associados, ampliando a compreensão espacial dos fenômenos investigados.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades e Estados: Paraná**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr.html>. Acesso em: 20 maio 2025.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Quem somos**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/ acesso-informacao/institucional/o-ibge.html>. Acesso em: 20 maio 2025.
- GAZETA DO POVO. **População por municípios – Paraná, 2018**. Disponível em: <https://infograficos.gazetadopovo.com.br/politica/parana/populacao-por-municipios/>. Acesso em: 20 maio 2025.
- G1 PARANÁ. **Quase metade das cidades do Paraná perdeu habitantes em 2020**, diz IBGE; veja lista. 27 ago. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2020/08/27/quase-metade-das-cidades-do-parana-perdeu-habitantes-em-2020-diz-ibge-veja-lista.ghtml>. Acesso em: 20 maio 2025.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Atlas da Violência – Dados e Séries**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/dados-series/328>. Acesso em: 20 maio 2025.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Quem somos**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/coluna-3/institucional-sep/quem-somos>. Acesso em: 20 maio 2025.
- INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Identidade organizacional**. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Identidade-e-Organizacional>. Acesso em: 20 maio 2025.
- INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Índice IparDES de Desempenho Municipal**. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Indice-Ipardes-de-Desempenho-Municipal>. Acesso em: 20 maio 2025.
- INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Portal IPARDES**. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br>. Acesso em: 20 maio 2025.
- SANTOS, Larissa Ferreira dos. **A violência como dispositivo de excesso de poder**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/249222/000129570.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.
- SILVA, Valter dos Santos. Violência urbana no Brasil: uma abordagem foucaultiana. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, Rio Grande, v. 7, n. 14, p. 219–242, jul./dez. 2015. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/rbhcs/article/view/10353/6700>. Acesso em: 20 maio 2025.
- SOUSA, Mônica Andréa Moura de; MACEDO, Cássio Alves de. A banalização da violência na sociedade contemporânea: um olhar da psicologia. **Revista Eletrônica Científica da Faculdade de Humanidades e Direito**, Aracaju, v. 2, n. 2, p. 81–93, 2015. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/humanas/article/view/2867/1923>. Acesso em: 20 maio 2025.
- COELHO, Elza Berger Salema; SILVA, Anne Caroline Luz Grüdtner; LINDNER, Sheila Rubia. **Violência: definições e tipologias**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Ciências da Saúde, 2014. 32 p. E-book. Disponível em: https://violenciaesaude.ufsc.br/files/2015/12/Definicoes_Tipologias.pdf. Acesso em: 9 jun. 2025.
- ZALUAR, Alba. Um debate disperso: violência e crime no Brasil da redemocratização. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 3–17, set. 1999. DOI:10.1590/S0102-88391999000300002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spp/a/YtDsTzWVBr8g3KRP5bCy3gs/>. Acesso em: 9 jun. 2025.

- DUBOIS, Paul. **MySQL**. 5. ed. Berkeley: Peachpit Press, 2008.
- FOWLER, Martin. **Patterns of Enterprise Application Architecture**. Addison-Wesley, 2003.
- HOLMES, Ethan. **Express.js Guide: The Comprehensive Book on Express.js**. Shelter Island: Leanpub, 2015.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 maio 2025.
- OLIVEIRA, R.; COSTA, M. Conectividade no campo: desafios para a inclusão digital rural. **Revista de Tecnologia Rural**, v. 14, n. 2, p. 123-134, 2020.
- PEREIRA, J. *et al.* Gestão integrada de canais de vendas em empresas rurais. **Congresso Brasileiro de Sistemas de Informação**, 2019.
- POSTMAN. **Postman Documentation**. 2024. Disponível em: <https://learning.postman.com/docs/getting-started/introduction/>. Acesso em: 16 maio 2025.
- SILVA, A. M. et al. Inclusão digital em regiões rurais: estratégias para ampliação do acesso. **Journal of Rural Studies**, v. 40, p. 56-65, 2021.
- SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. 9. ed. Pearson, 2011.
- TILKOV, Stefan; VINOSKI, Steve. Node.js: **Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs**. IEEE Internet Computing, v. 14, n. 6, p. 80-83, nov./dez. 2010. DOI: 10.1109/MIC.2010.145..



PREVISÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO COM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS USANDO PYTHON

Jean Rafael Magalhães dos Passos*; Marcos Ricardo Müller**

*Discente de Engenharia de Software -Uniguacu, passosrafael11@gmail.com.

**Docente do curso de Engenharia de Software, Faculdade Uniguacu, marcos_ricardo@live.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 26 maio 2025

Aceite: 12 jun. 2025

Publicação online: jun. 2025

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver e analisar modelos preditivos para o consumo de energia elétrica utilizando redes neurais artificiais. O estudo foca especificamente na previsão de consumo na Zona 1 na cidade de Tetouan. O problema de pesquisa parte da necessidade de maximizar a acurácia das previsões em relação a métodos estatísticos tradicionais, como o modelo estatístico ARIMA. A metodologia adotada envolve a construção de modelos de redes neurais artificiais densas totalmente conectadas com diferentes configurações, utilizando funções de ativação como tanh e ReLU, bem como otimizadores como SGD e Adam. Os modelos foram treinados e avaliados com base na métrica MAPE (Erro Percentual Absoluto Médio). Os resultados demonstraram que o modelo com função ReLU e otimizador Adam obteve o melhor desempenho (MAPE de 10,86%), seguido pelo modelo com tanh e SGD (13,76%), ambos superando o modelo ARIMA (18,39%). Gráficos de dispersão, representação das séries temporais e matriz de confusão reforçaram a visualização da superioridade dos modelos propostos, quando comparados ao modelo estatístico diretamente, indicando alta correlação entre os valores reais e previstos. Conclui-se que as redes neurais ofereceram uma solução mais precisa e robusta para a previsão de consumo de energia elétrica no cenário estudado, sendo viáveis para aplicações práticas na previsão de consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: previsão de energia; redes neurais artificiais; aprendizado de máquina; Python; séries temporais.

ABSTRACT

The main objective of this work is to develop and analyze predictive models for electricity consumption using artificial neural networks. The study focuses specifically on consumption forecasting in Zone 1 of the city of Tetouan. The research problem arises from the need to maximize forecasting accuracy compared to traditional statistical methods, such as the ARIMA statistical model. The methodology adopted involves the construction of fully connected dense artificial neural network models with different configurations, using activation functions such as tanh and ReLU, as well as optimizers such as SGD and Adam. The models were trained and evaluated based on the MAPE (Mean Absolute Percentage Error) metric. The results showed that the model using the ReLU activation function and Adam optimizer achieved the best performance (MAPE of 10.86%), followed by the model using tanh and SGD (13.76%), both outperforming the ARIMA model (18.39%). Scatter plots, time series representations, and confusion matrices reinforced the visualization of the superiority of the proposed models when directly compared to the statistical model, indicating a high correlation between actual and predicted values. It is concluded that neural networks offered a more accurate and robust solution for electricity consumption forecasting in the studied scenario, proving to be viable for practical applications in energy consumption prediction.

Keywords: Energy forecasting; artificial neural networks; machine learning; Python; time series.

Citação: DOS PASSOS, Jean Rafael Magalhães; MÜLLER, Marcos Ricardo. Previsão de consumo energético com redes neurais artificiais usando Python. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguazu, v. 3, n. 7, p. 166-174, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

A previsão de séries temporais tem ganhado destaque em diversas áreas, como economia, engenharia e energia, especialmente diante da crescente demanda por soluções preditivas precisas e adaptáveis. O avanço das técnicas de aprendizado de máquina, aliado à evolução dos recursos computacionais, ampliou as possibilidades de modelagem de fenômenos complexos entre os quais o consumo energético se destaca por sua alta variabilidade e sensibilidade a fatores externos (Zhang; Patuwo; Hu, 1998).

Entre as abordagens mais comuns para redes neurais básicas, está o Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), têm se mostrado eficazes para capturar dinâmicas não lineares em séries temporais (Zhang; Patuwo; Hu, 1998). Por outro lado, modelos estatísticos tradicionais como o ARIMA continuam sendo valorizados pela sua estrutura interpretável e desempenho em cenários estacionários (Hyndman; Athanasopoulos, 2018).

Este trabalho, propõem a comparação de três estratégias distintas: duas configurações de redes MLP, uma com função de ativação tanh e otimizador SGD, e outra com ReLU e Adam, além de um modelo ARIMA ajustado manualmente. A comparação foi realizada utilizando uma base de dados real com registros de consumo de energia da Zona 1, acompanhada de variáveis meteorológicas correlatas.

A hipótese que norteia este estudo é que as redes neurais, ao lidarem melhor com não linearidades e padrões sutis, podem superar modelos estatísticos em contextos mais complexos (Zhang; Patuwo; Hu, 1998). O objetivo foi avaliar a performance preditiva dessas abordagens, considerando métricas de erro e capacidade de generalização, e assim oferecer subsídios práticos para a escolha de modelos em sistemas de previsão energética.

REFERENCIAL TEÓRICO

A escolha do otimizador exerce papel importante na eficiência do treinamento, do modelo. No presente estudo, utilizamos o otimizador Stochastic Gradient Descent (SGD), uma técnica clássica e amplamente utilizada em aprendizado de máquina. O SGD é uma variação do gradiente descendente tradicional, em que os pesos do modelo são atualizados de forma incremental com base em pequenos lotes de dados, conhecidos como mini-batches, ao invés de todo o conjunto de treinamento. Essa estratégia reduz o custo computacional por iteração e introduz uma componente estocástica que

ajuda a escapar de mínimos locais e planícies da função de erro (Courville, 2016), o que é especialmente benéfico em problemas de alta dimensionalidade (Bottou, 2010).

O SGD funciona calculando o gradiente da função de perda em relação aos parâmetros do modelo e ajustando esses parâmetros na direção oposta ao gradiente. A taxa de aprendizado (learning rate) define o tamanho desse passo. Contudo, o SGD puro pode sofrer com oscilações e convergência lenta em regiões de baixa curvatura. Por esse motivo, extensões como momentum, Nesterov e otimizadores mais avançados como o Adam foram propostos para acelerar a convergência (Ruder, 2016).

O Adam (Adaptive Moment Estimation) combina as vantagens do SGD com o momentum e da adaptação individual das taxas de aprendizado para cada parâmetro. Ele utiliza estimativas dos momentos de primeira (média) e segunda ordem (variância) dos gradientes para realizar atualizações mais estáveis e rápidas. Sua eficácia em problemas não convexos e em redes profundas o torna amplamente adotado na prática (King Ma; Ba, 2015).

No que se refere às funções de ativação, o presente trabalho utilizou a função tanh (tangente hiperbólica), definida matematicamente como:

$$\tanh(x) = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x})$$

Essa função é uma transformação não linear suave que mapeia entradas reais para o intervalo entre -1 e 1. Uma de suas principais vantagens é possuir saída centrada em zero, o que contribui para um treinamento mais estável, pois reduz o deslocamento interno das ativações, fenômeno que ocorre quando a distribuição das ativações muda durante o treinamento (LeCun *et al.*, 1998).

A função tanh é particularmente útil em redes neurais rasas, ou shallow neural networks, são modelos com apenas uma camada oculta entre a camada de entrada e a de saída. Apesar de sua arquitetura simples, essas redes possuem capacidade universal de aproximação, o que significa que, teoricamente, podem representar qualquer função contínua com um número suficiente de neurônios na camada oculta (Hornsik, 1991). Contudo, na prática, sua simplicidade estrutural pode limitar a eficiência na aprendizagem de padrões complexos, especialmente quando comparadas às redes profundas, que utilizam múltiplas camadas ocultas para extrair características hierárquicas dos dados (Lecun *et al.*, 2015). Ainda assim, redes rasas são amplamente

utilizadas em tarefas com menor complexidade ou quando há restrições computacionais, sendo uma escolha eficaz em cenários onde a interpretabilidade e o desempenho computacional são prioritários e em dados padronizados, pois favorece uma propagação mais equilibrada do gradiente. Contudo, a tanh pode sofrer com o problema do vanishing gradient, especialmente em redes profundas, pois para entradas muito grandes ou muito pequenas, sua derivada se aproxima de zero. Para contornar esse problema, funções como a ReLU (Rectified Linear Unit) vêm sendo preferidas em arquiteturas profundas. A ReLU é definida como:

$$f(x) = \max\{0, x\}$$

Essa característica computacional permite que apenas valores positivos passem para a próxima camada, eliminando a saturação para valores positivos e, assim, acelerando significativamente o treinamento (Nair; Hinton, 2010). No entanto, sua natureza não diferenciável em zero e o risco de “neurônios mortos” (quando a unidade deixa de atualizar seus pesos por receber apenas valores negativos) ainda são limitações observadas na prática.

Uma das principais preocupações ao treinar redes neurais é o overfitting, que ocorre quando o modelo aprende demasiadamente os padrões e ruídos.

O fenômeno conhecido como overfitting ocorre quando um modelo aprende não apenas os padrões relevantes presentes nos dados de treinamento, mas também ruídos e variações aleatórias que não representam a verdadeira distribuição dos dados. Isso compromete sua capacidade de generalização, ou seja, sua habilidade de realizar previsões precisas sobre dados novos e não vistos, que não fizeram parte do treinamento. Esse problema é particularmente recorrente em modelos excessivamente complexos ou que são treinados por um número elevado de épocas, o que faz com que o modelo se ajuste demasiadamente às particularidades do conjunto de treino, resultando em um desempenho insatisfatório fora desse conjunto (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016; Géron, 2019).

Para mitigar esse problema, uma das estratégias mais empregadas é o Early Stopping, conhecido em português como parada antecipada. Segundo Prechelt (1998), essa técnica consiste em monitorar o desempenho do modelo em um conjunto de validação ao longo do processo de treinamento, interrompendo-o assim que a métrica de avaliação — como a perda de validação (`val_loss`) — deixa de apresentar melhorias após um número consecutivo de épocas. Esse parâmetro é denominado *patience*, ou tolerância, e é configurado de forma a permitir

que o modelo tenha tempo suficiente para otimizar seus parâmetros, mas sem chegar ao ponto de começar a superajustar os dados de treinamento.

De acordo com Chollet (2021), o Early Stopping é uma abordagem extremamente eficiente, principalmente no treinamento de redes neurais profundas, pois permite interromper o treinamento no momento ideal, antes que o modelo comece a memorizar ruídos e padrões irrelevantes. Além disso, Goodfellow, Bengio e Courville (2016) reforçam que essa técnica funciona como um método de regularização, uma vez que melhora significativamente a capacidade de generalização do modelo sem necessidade de modificar sua arquitetura ou adicionar camadas ou penalizações adicionais. Dessa forma, ao aplicar o Early Stopping, promove-se um modelo mais robusto, capaz de apresentar desempenho consistente tanto nos dados de validação quanto em dados novos e não vistos, mitigando assim os riscos associados ao overfitting.

Além de seu papel essencial na prevenção do sobreajuste, o Early Stopping também oferece ganhos consideráveis em termos de eficiência computacional. Como ele interrompe o treinamento antes que todas as épocas sejam executadas, especialmente em modelos profundos ou em datasets extensos, a técnica contribui diretamente para a economia de tempo e recursos computacionais. Por sua simplicidade e impacto positivo no desempenho final dos modelos, o Early Stopping frequentemente utilizado para o desenvolvimento de redes neurais eficazes (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

O Early Stopping pode ser facilmente implementado na maioria das bibliotecas modernas de deep learning, como TensorFlow/Keras e PyTorch. Em ambientes como o Keras, por exemplo, ele é utilizado como um callback configurável, permitindo ajustar parâmetros como a métrica monitorada, o número de épocas de paciência e se a melhor versão do modelo será restaurada após a interrupção. Essa flexibilidade permite adaptar o método às particularidades do problema tratado, seja ele regressão ou classificação, e ajustar a sensibilidade à variação das métricas. É comum também combinar o Early Stopping com o salvamento automático do melhor modelo (ModelCheckpoint), o que faz com que o treinamento utilize a versão com mais performance do modelo, mesmo que tenha ocorrido retrocesso em épocas subsequentes à melhor performance.

Figura 1. Eerly Stopping 1

```
# 9. Criar modelo MLP
model = Sequential()
model.add(Dense(128, activation='relu', input_shape=(X_train.shape[1],)))
model.add(Dense(64, activation='relu'))
model.add(Dense(1))

model.compile(optimizer=Adam(learning_rate=0.001), loss='mse')

# 10. Configurar Early Stopping
early_stopping = EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=10, restore_best_weights=True)

# 11. Treinar com EarlyStopping
history = model.fit(
    X_train, y_train,
    epochs=200, #
    batch_size=32,
    validation_data=(X_test, y_test),
    callbacks=[early_stopping]
)

# 12. Prever
y_pred = model.predict(X_test)
y_pred_inv = scaler_y.inverse_transform(y_pred)
y_test_inv = scaler_y.inverse_transform(y_test)

# 13. Avaliar com MAPE
mape = mean_absolute_percentage_error(y_test_inv, y_pred_inv)
print(f'MAPE com ReLU + Adam + Early Stopping: {mape:.2%}')

# 14. Plotar resultado
plt.figure(figsize=(12,5))
plt.plot(y_test_inv[:200], label='Real')
plt.plot(y_pred_inv[:200], label='Previsto')
plt.title('Consumo de energia - Real vs Previsto (Zona 1)')
plt.xlabel('Tempo')
plt.ylabel('Consumo de energia')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

Fonte: Autoria Própria (2025)

No presente estudo, o Early Stopping foi configurado com um patience de 10 épocas, ou seja, o treinamento era interrompido caso a métrica de validação não apresentasse melhoria durante dez épocas consecutivas. Essa configuração foi definida com base em testes preliminares que indicaram que o modelo começava a super ajustar-se após esse intervalo. A aplicação do Early Stopping mostrou-se eficaz ao permitir que a rede neural aprendesse a estrutura subjacente dos dados de consumo de energia sem memorizar padrões específicos do conjunto de treino. Como resultado, o modelo obteve um bom desempenho em métricas de validação e teste, confirmando sua capacidade de generalização e robustez. Esse comportamento foi particularmente importante para lidar com a variabilidade temporal dos dados, preservando a acurácia do modelo em diferentes janelas de previsão (Chollet, 2018).

Figura 2. Eerly Stopping 2

```
# 9. Criar modelo MLP
model = Sequential()
model.add(Dense(128, activation='tanh', input_shape=(X_train.shape[1],)))
model.add(Dense(64, activation='tanh'))
model.add(Dense(1))

model.compile(optimizer=SGD(learning_rate=0.001), loss='mse')

# 10. Configurar Early Stopping
early_stopping = EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=10, restore_best_weights=True)

# 11. Treinar com Early Stopping
history = model.fit(X_train, y_train, epochs=200, batch_size=32,
    validation_data=(X_test, y_test),
    callbacks=[early_stopping])

# 12. Prever
y_pred = model.predict(X_test)
y_pred_inv = scaler_y.inverse_transform(y_pred)
y_test_inv = scaler_y.inverse_transform(y_test)

# 13. Avaliar com MAPE
mape = mean_absolute_percentage_error(y_test_inv, y_pred_inv)
print(f'MAPE com tanh + SGD + Early Stopping: {mape:.2%}')

# 14. Plotar resultado
plt.figure(figsize=(12,5))
plt.plot(y_test_inv[:200], label='Real')
plt.plot(y_pred_inv[:200], label='Previsto')
plt.title('Consumo de energia - Real vs Previsto (Zona 1)')
plt.xlabel('Tempo')
plt.ylabel('Consumo de energia')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

Fonte: Autoria Própria (2025)

A normalização dos dados é uma etapa importante no pré-processamento para o treinamento eficaz de modelos de aprendizado de máquina, especialmente redes neurais. No presente estudo, aplicou-se a técnica de normalização Min-Max às variáveis preditoras XXX e à variável alvo yyy, utilizando a classe MinMaxScaler() da biblioteca scikit-learn (Pedregosa et al., 2011). Essa técnica consiste em reescalar os dados para um intervalo definido, geralmente entre 0 e 1, com base na fórmula:

$$x^i = (x - x_{\text{min}}) / (x_{\text{max}} - x_{\text{min}})$$

Dessa forma, todos os valores passam a ocupar a mesma faixa de variação, evitando que atributos com escalas maiores dominem o processo de treinamento e afetem negativamente a convergência da rede (Han; Kamber; Pei, 2011).

METODOLOGIA

A base de dados utilizada neste estudo provém do Kaggle.com, o dataset contém registros de consumo de energia elétrica na Zona 1, coletados em intervalos horários ao longo de vários meses. Cada entrada representa o consumo em kilowatts, acompanhado de informações meteorológicas como temperatura (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s), fluxo difuso geral e fluxo difuso (ambos em W/m²), que são variáveis que podem influenciar diretamente o comportamento do consumo energético, as variáveis meteorológicas possuem influência direta e indireta sobre o consumo de energia elétrica. A temperatura é um dos principais determinantes, afetando a demanda por aquecimento e resfriamento. A umidade relativa intensifica o desconforto térmico, elevando o uso de climatizadores. A velocidade do vento interfere na eficiência da ventilação natural, podendo reduzir ou aumentar a carga térmica nos edifícios. Além disso, os fluxos de radiação solar (difusa e geral) impactam tanto a necessidade de resfriamento quanto a utilização de iluminação artificial. Esses fatores são amplamente reconhecidos na literatura como determinantes no comportamento da demanda energética (Santamouris *et al.*, 2001; Saidur, 2009; Fumo *et al.*, 2010; Kolokotroni *et al.*, 2012).

A inclusão dessas variáveis permite explorar modelos multivariados capazes de capturar relações complexas e não-lineares entre o clima e o uso de energia, fundamentais para aplicações em previsão de demanda, planejamento energético e eficiência operacional. Antes da modelagem, a coluna de data foi convertida para o formato datetime do Python, permitindo o manuseio adequado das séries

temporais com bibliotecas como Pandas. A base foi também ordenada cronologicamente, passo essencial para preservar a natureza temporal dos dados e garantir integridade na divisão de treino e teste.

A preparação dos dados foi realizada de maneira padronizada para garantir comparabilidade entre os diferentes modelos. As etapas de pré-processamento incluíram a conversão da coluna de tempo, cuja transformação para o tipo `datetime` possibilitou a manipulação eficiente dos dados temporais, essencial para visualizações, resampling e criação de janelas temporais. Ordenação cronológica: as entradas foram organizadas pela data, evitando vazamentos de dados futuros durante o treinamento. Divisão em treino e teste (80/20): o conjunto de dados foi separado em 80% para treinamento dos modelos e 20% para validação, respeitando a ordem temporal, sem embaralhamento (shuffling), o que é crítico para séries temporais. Métrica de avaliação (MAPE): O Erro Percentual Absoluto Médio foi escolhido como métrica de desempenho por sua fácil interpretabilidade e ampla utilização em previsões de séries temporais. Além disso, foi aplicada normalização com `MinMaxScaler` do `Scikit-learn`, importante para garantir que variáveis com diferentes escalas (por exemplo, temperatura e velocidade do vento) não dominem a atualização de pesos durante o treinamento da rede neural. Modelo MLP com ReLU e Adam A primeira abordagem de modelagem utilizou uma Rede Neural Perceptron Multicamadas (MLP), que é uma classe de redes feedforward capaz de aprender mapeamentos não-lineares complexos. A arquitetura foi composta por duas camadas ocultas: a primeira com 128 neurônios e a segunda com 64, ambas utilizando a função de ativação ReLU (Rectified Linear Unit), conforme proposto por Nair e Hinton (2010). A ReLU tem a vantagem de mitigar o problema do gradiente desvanecente, comum em ativações como sigmoid ou tanh, permitindo treinamento mais eficiente em redes profundas. O otimizador escolhido foi o Adam, que combina as vantagens do AdaGrad e RMSProp, ajustando a taxa de aprendizado de forma adaptativa com base nos momentos de primeira e segunda ordem do gradiente (Kingma; Ba, 2015). Para modelar a dependência temporal, foram utilizadas janelas deslizantes de 24 horas como input, ou seja, cada amostra de entrada consistia em 24 registros horários consecutivos, permitindo à rede aprender padrões diários de consumo. O treinamento foi conduzido por 50 épocas com um batch size de 32, o que balanceia bem o tempo de treinamento e a convergência dos pesos. Foram utilizadas técnicas de validação cruzada temporal e callbacks como `Early Stopping` para evitar o `Over Fitting`.

Modelo MLP com tanh e SGD A segunda

configuração também utilizou uma MLP com a mesma arquitetura, mas com variação nas funções de ativação e no otimizador. As ativações tanh (função hiperbólica tangente) foram escolhidas por sua natureza centrada na origem, o que pode facilitar a convergência em determinados contextos, conforme observado por LeCun *et al.* (1998). O otimizador utilizado foi o Stochastic Gradient Descent (SGD), um dos algoritmos mais clássicos em aprendizado de máquina (Robbins; Monro, 1951; Kiefer; Wolfowitz, 1952; Rosenblatt, 1958; Rumelhart; Hinton; Williams, 1986; Bottou, 2010; Kingma; Ba, 2014; Mandt *et al.*, 2017; Bottou; Curtis; Nocedal, 2018). Embora geralmente apresente convergência mais lenta em comparação ao Adam, o SGD pode alcançar melhores generalizações em certos contextos, especialmente quando combinado com técnicas como momentum ou decaimento de taxa de aprendizado. Essa abordagem permitiu avaliar o impacto que funções de ativação e algoritmos de otimização têm na performance do modelo, destacando a importância da escolha adequada desses hiperparâmetros em projetos de redes neurais.

O ARIMA é um modelo univariado que utiliza componentes autorregressivos (AR), de média móvel (MA) e de diferenciação (I) para capturar tendências e padrões de autocorrelação em séries temporais estacionárias. Neste estudo, o modelo foi ajustado com os parâmetros ($p=1$, $d=1$, $q=1$), definidos com base em uma análise exploratória das autocorrelações (ACF) e autocorrelações parciais (PACF) da série de consumo energético. A diferenciação de ordem 1 foi necessária para tornar a série estacionária, atendendo às suposições do modelo. Diferentemente dos modelos baseados em MLP, o ARIMA não utiliza variáveis exógenas, o que limita sua capacidade de capturar efeitos climáticos, mas torna o modelo mais simples e interpretável. A previsão foi realizada para todo o conjunto de teste e os resultados foram comparados utilizando a mesma métrica (MAPE). valiação dos Modelos Os desempenhos dos modelos foram avaliados por meio da métrica MAPE (Mean Absolute Percentage Error), uma medida que expressa o erro médio de previsão como uma porcentagem do valor real. Isso facilita a comparação entre modelos, mesmo quando os dados possuem diferentes escalas. Os resultados obtidos foram os seguintes: MLP (ReLU + Adam): ~10,86% MLP (tanh + SGD): ~13,76% ARIMA manual: ~18,39% Esses valores indicam o grau de acurácia de cada abordagem. Modelos MLP tendem a apresentar menor erro quando são capazes de capturar relações complexas entre variáveis. No entanto, o ARIMA pode se destacar quando os padrões são fortemente lineares e estacionários.

Foram gerados gráficos de comparação entre os valores reais e os valores previstos. Esses gráficos

revelam o comportamento temporal da previsão e facilitam a identificação de padrões, desvios sistemáticos e capacidade de resposta dos modelos a flutuações repentinas na série.

Visualmente, é possível observar se o modelo tende a suavizar os picos, atrasar as previsões ou subestimar/superestimar determinados períodos. Essa etapa é essencial para validar a robustez do modelo de maneira qualitativa. Todos os experimentos foram realizados utilizando o ambiente colaborativo do Google Colab, que oferece acesso gratuito a GPUs, facilitando o treinamento de modelos de aprendizado profundo. As bibliotecas principais utilizadas foram: Keras/TensorFlow: para construção, treinamento e avaliação dos modelos MLP. Statsmodels: para implementação e ajuste do modelo ARIMA. Scikit-learn: para pré-processamento e métricas de avaliação. Pandas e Numpy: para manipulação de dados e Matplotlib: para visualização gráfica. A linguagem de programação utilizada foi o Python 3.11.12, versão esta, que é a padrão usada pelo Collab atualmente

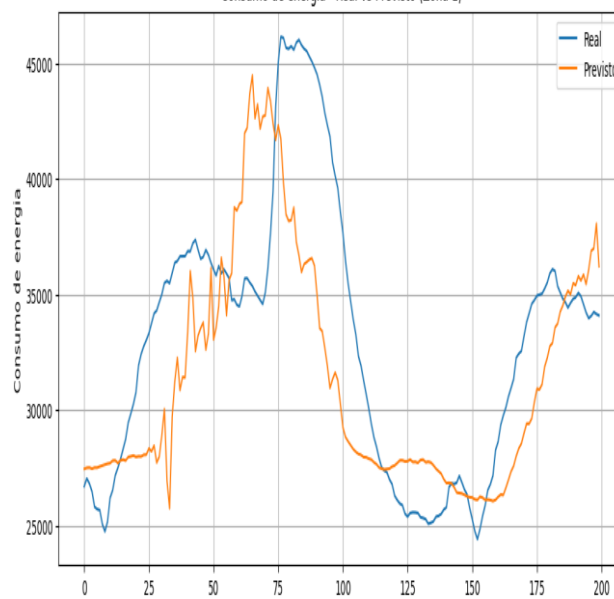
Entre as limitações deste estudo, destaca-se o fato de que o modelo ARIMA foi ajustado apenas com base na variável de consumo, ignorando variáveis exógenas que podem ser determinantes no consumo energético, como clima e sazonalidade externa. Além disso, a escolha dos hiperparâmetros das redes neurais (número de camadas, número de neurônios, funções de ativação) foi feita de maneira empírica. Uma abordagem mais robusta envolveria o uso de métodos automatizados como Grid Search ou Bayesian Optimization. Outro ponto a ser considerado é o tamanho do conjunto de dados. Embora extenso, o uso de janelas fixas pode limitar a capacidade do modelo em capturar dependências de longo prazo.

Considerações Finais este estudo comparou abordagens de redes neurais (MLPs) e modelos estatísticos (ARIMA) na tarefa de previsão de consumo de energia elétrica. As MLPs, ao incorporarem variáveis exógenas e capturarem padrões não-lineares, demonstram potencial superior em contextos complexos e dinâmicos. Já o ARIMA, mesmo com sua estrutura mais simples, continua sendo uma ferramenta importante para séries estacionárias e de fácil interpretação. Os resultados obtidos reforçam a importância de uma escolha criteriosa de modelo conforme o contexto e a natureza dos dados. Futuramente, pretende-se aplicar técnicas como redes LSTM, modelos híbridos e automação da seleção de hiperparâmetros para aprimorar a acurácia e escalabilidade das previsões

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das análises gráficas e estatísticas demonstram um desempenho consistente e promissor do modelo de rede neural proposto para a previsão do consumo de energia na Zona 1. O modelo, baseado em uma arquitetura simples com uma camada oculta de 64 neurônios, função de ativação tanh, e otimizador Stochastic Gradient Descent (SGD), foi treinado por 50 épocas e avaliado com a métrica MAPE (Erro Percentual Absoluto Médio), atingindo um valor de 13,76% (Figura 3).

Figura 3. SGD
Consumo de energia - Real vs Previsto (Zona 1)



Fonte: Autoria Própria (2025)

Na Figura 1, observa-se um gráfico de dispersão entre os valores reais e os previstos. uma forte correlação entre os dados reais e os estimados, demonstrando que o modelo é capaz de capturar de forma significativa as variações do consumo.

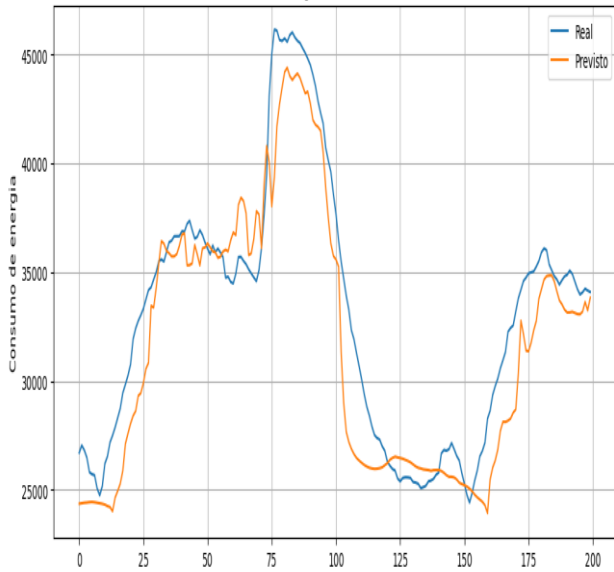
A Figura 4 mostra um gráfico de dispersão adicional, representando um conjunto distinto de dados ou uma execução alternativa do modelo, mas ainda reforçando o bom alinhamento entre os valores previstos e reais. Ambas as figuras do tipo dispersão contribuem para validar a robustez do modelo, mostrando que ele se comporta de forma estável mesmo diante de variações nos dados.

Para a modelagem da série temporal referente ao consumo de energia da Zona 1, foi utilizado o modelo ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average), uma abordagem clássica amplamente empregada para séries temporais univariadas (Figura 5). A base de dados foi inicialmente carregada e ordenada cronologicamente com base no campo Datetime, e em seguida, a série temporal foi extraída considerando apenas a coluna PowerConsumption_Zone1. A divisão dos dados foi feita em 80% para treinamento e 20% para teste,

respeitando a ordem temporal dos eventos para preservar a estrutura sequencial da série.

previsões para o mesmo número de observações presentes no conjunto de teste.

Figura 4. RELU
Consumo de energia - Real vs Previsto (Zona 1)

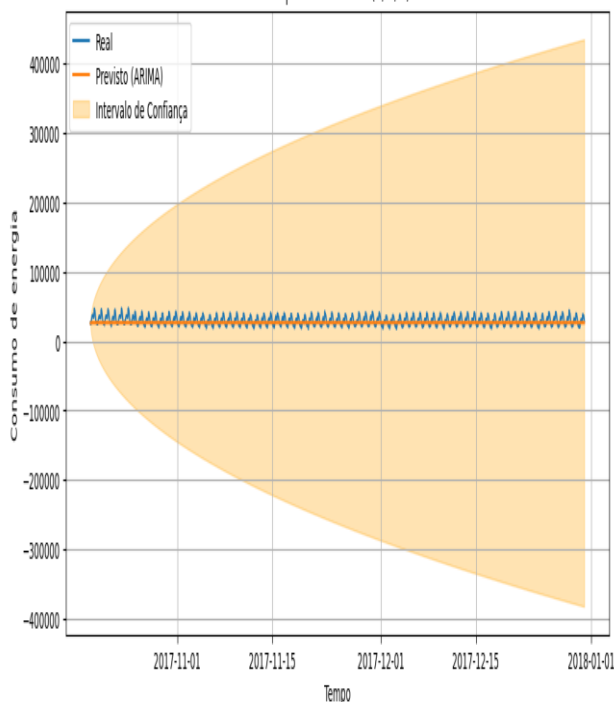


Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 5. Arima Completo

MAPE ARIMA (melhor modelo): 18,29%
Erro absoluto médio: 5881,46

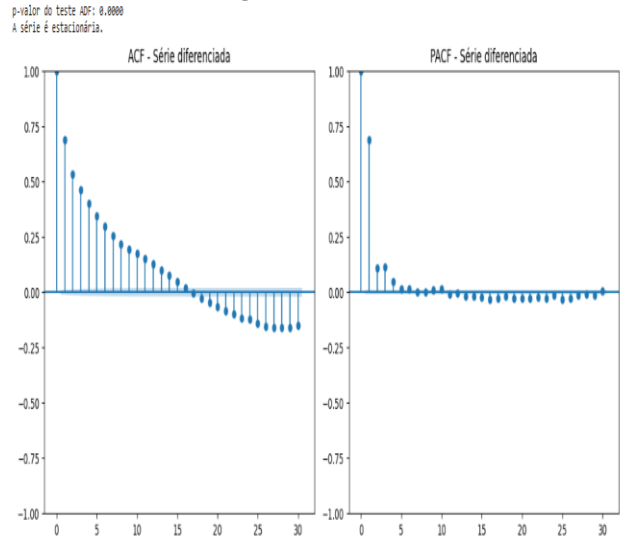
Previsão completa com ARIMA (1, 1, 2) - Zona 1



Fonte: Autoria Própria (2025)

Na etapa de modelagem, foi conduzida uma busca exaustiva por combinações de parâmetros (p,1,q), com p e q variando de 0 a 3. Cada modelo foi avaliado pelo critério de informação de Akaike (AIC), e aquele com o menor valor de AIC foi selecionado como o mais adequado. O modelo ARIMA ótimo foi então ajustado à série de treinamento, e foram geradas

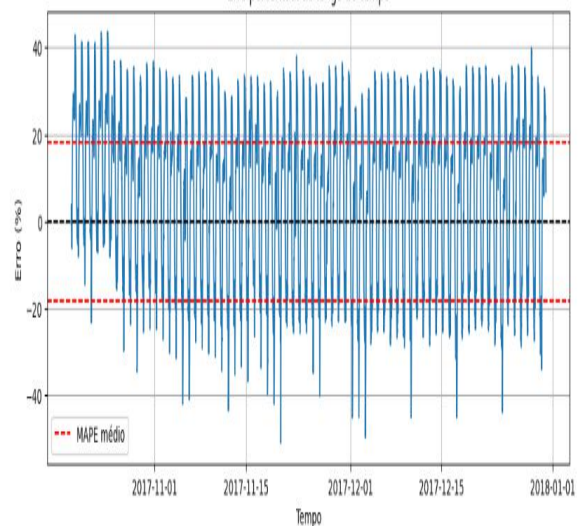
Figura 6. ADF



Fonte: Autoria Própria (2025)

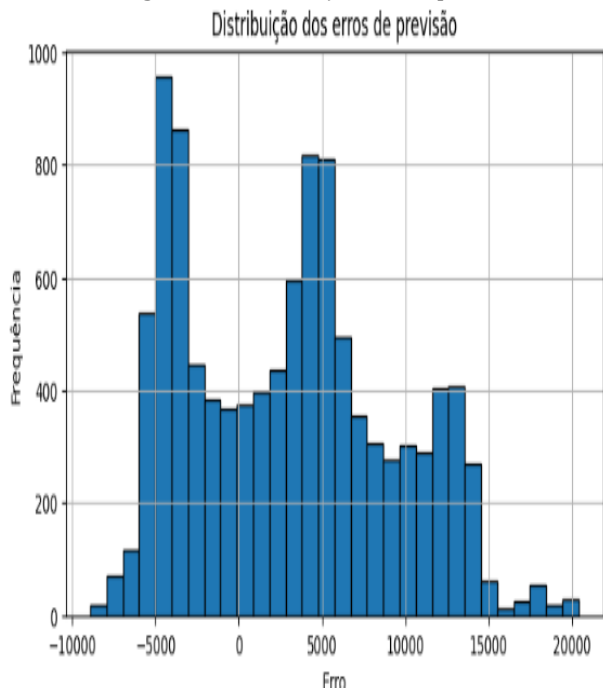
A avaliação do desempenho preditivo foi realizada com base no Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), que resultou em um valor de 18,29%. No entanto, apesar desse valor indicar um erro percentual aparentemente razoável, observou-se por meio de gráficos e análise visual que o modelo apresentou variações significativas nos erros ao longo do tempo. Isso ocorre porque o MAPE, por ser uma métrica relativa, é fortemente influenciado pela magnitude dos valores reais da série (Figura 7). Como o consumo de energia possui valores médios elevados, erros absolutos consideráveis podem resultar em erros percentuais baixos, suavizando a percepção de imprecisão. Em contrapartida, em períodos de consumo mais baixo, pequenos desvios absolutos geram grandes erros percentuais, afetando a métrica de forma desproporcional.

Figura 7. Mape ao longo do tempo
erro percentual ao longo do tempo



Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 8. Distribuição erros previsão



Fonte: Autoria Própria (2025)

Para uma análise mais completa, foram incluídas visualizações complementares, como a comparação gráfica entre os valores reais e previstos, intervalos de confiança das previsões, a evolução do erro percentual ao longo do tempo e a distribuição dos erros absolutos (Figura 8). Essas análises permitiram observar padrões sistemáticos nos resíduos, indicar potenciais limitações do modelo ARIMA frente à presença de sazonalidades ou ciclos, e reforçar a importância de utilizar métricas adicionais (como MAE ou RMSE) na avaliação de modelos para séries temporais com grande variação de escala.

Em termos quantitativos, o modelo tanh + SGD alcançou um MAPE de 13,76%, o que representa uma melhoria significativa em relação ao modelo estatístico ARIMA, cujo MAPE foi de 18,39%. No entanto, ao comparar com uma outra arquitetura baseada em função de ativação ReLU e otimizador Adam, que obteve um MAPE de 10,86%, observa-se que há espaço para otimizações adicionais na escolha da arquitetura e dos hiperparâmetros.

A função de ativação tanh demonstrou ser capaz de lidar com as não linearidades dos dados, enquanto o uso de SGD, embora mais sensível à escolha da taxa de aprendizado, contribuiu para um aprendizado estável.

A comparação com o ARIMA mostra que a abordagem com redes neurais oferece ganhos significativos de precisão, enquanto a comparação com ReLU + Adam evidencia que ajustes adicionais podem levar a um desempenho ainda melhor. A simplicidade da arquitetura utilizada também reforça seu potencial de aplicação prática em

cenários com recursos computacionais limitados (Figura 9).

Figura 9. Gráfico Comparativo

Modelo	MAPE (%)
MLP (ReLU + Adam)	10,86
MLP (tanh + SGD)	13,76
ARIMA (p=1, d=1, q=1)	18,39

Fonte: Autoria Própria (2025)

Nunca encerre um item com uma figura, gráfico ou tabela. É preciso explicar do que se trata a imagem antes de encerrar o item.

CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que modelos de redes neurais MLPs, apresentaram desempenho superior ao modelo estatístico ARIMA na previsão do consumo de energia elétrica. A arquitetura com função de ativação ReLU e otimizador Adam obteve o menor erro, seguida pela combinação tanh + SGD, ambas superando o ARIMA. O uso de técnicas como normalização, janelas deslizantes e Early Stopping contribuiu para o bom desempenho dos modelos. O ARIMA, embora simples e interpretável, mostrou limitações ao não considerar variáveis externas. Os resultados reforçam o potencial das redes neurais em aplicações reais de previsão energética.

REFERÊNCIAS

ARMSTRONG, J. S. **Long-range forecasting: from crystal ball to computer**. New York: John Wiley & Sons, 1985.

BOTTOU, L. **Stochastic gradient descent tricks**. In: MONTAVON, G.; ORR, G. B.; MÜLLER, K. R. (Ed.). *Neural networks: tricks of the trade*. 2. ed. Berlin: Springer, 2012. p. 421–436.

BOTTOU, L.; CURTIS, F. E.; NOCEDAL, J. Optimization methods for large-scale machine learning. *SIAM Review*, v. 60, n. 2, 2018. p. 223–311.

CHOLLET, F. **Deep learning com Python**. 2. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2021.

COURVILLE, A.; GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y. **Deep learning**. Cambridge: MIT Press, 2016.

- FUMO, N. *et al.* A review on energy prediction methods based on artificial neural networks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, 2012. p. 3557–3565.
- GÉRON, A. **Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras and TensorFlow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems**. 2. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2019.
- GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep learning**. Cambridge: MIT Press, 2016.
- HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data mining: concepts and techniques**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2011.
- HORNIK, K. Approximation capabilities of multilayer feedforward networks. **Neural Networks**, v. 4, n. 2, 1991. p. 251–257.
- HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: principles and practice**. 3. ed. Melbourne: OTexts, 2021. Disponível em: <https://otexts.com/fpp3/>. Acesso em: 21 maio 2025.
- KIEFER, J.; WOLFOWITZ, J. Stochastic estimation of the maximum of a regression function. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 23, n. 3, 1952. p. 462–466.
- KINGMA, D. P.; BA, J. Adam: a method for stochastic optimization. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEARNING REPRESENTATIONS**, 3., 2015, San Diego. Proceedings [...]. San Diego: ICLR, 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>. Acesso em: 21 maio 2025.
- KOLOKOTRONI, M. *et al.* A methodology for understanding and reducing urban heat island effects. **Building and Environment**, v. 57, 2012. p. 7–17.
- LECUN, Y.; BOTTOU, L.; ORR, G. B.; MÜLLER, K. R. **Efficient backprop**. In: **NEURAL NETWORKS: TRICKS OF THE TRADE**. Berlin: Springer, 1998. p. 9–50.
- MANDT, S.; HOFFMAN, M. D.; BLEI, D. M. Stochastic gradient descent as approximate Bayesian inference. **Journal of Machine Learning Research**, v. 18, 2017. p. 1–35.
- NAIR, V.; HINTON, G. E. Rectified linear units improve restricted Boltzmann machines. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING**, 27., 2010, Haifa. Proceedings [...]. Haifa: ICML, 2010. p. 807–814.
- PEDREGOSA, F. *et al.* Scikit-learn: machine learning in Python. **Journal of Machine Learning Research**, v. 12, 2011. p. 2825–2830.
- PRECHELT, L. **Early stopping—but when?** In: **NEURAL NETWORKS: TRICKS OF THE TRADE**. Berlin: Springer, 1998. p. 55–69.
- RUDER, S. **An overview of gradient descent optimization algorithms**. arXiv preprint arXiv:1609.04747, 2016. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1609.04747>. Acesso em: 21 maio 2025.
- RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. Learning representations by back-propagating errors. **Nature**, v. 323, 1986. p. 533–536.
- SAIDUR, R. A review on electrical energy consumption in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, 2009. p. 1156–1170.
- SANTAMOURIS, M. *et al.* On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. **Solar Energy**, v. 70, n. 3, 2001. p. 201–216.
- ZHANG, G.; PATUWO, B. E.; HU, M. Y. Forecasting with artificial neural networks: the state of the art. **International Journal of Forecasting**, v. 14, n. 1, 1998. p. 35–62.



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ADOÇÃO DE ANIMAIS

Alex Gomes de Assis*; Larissa Fernanda de Mello Jorge*; Luis Felipe Kaczam*; Marcos Ricardo Müller**

*Acadêmico de Engenharia de Software, alexgomes165gz@gmail.com; larissa15.fernanda2018@gmail.com; luisfelipekaczam@gmail.com.

**Docente do curso de Engenharia de Software, Faculdade Uniguacu, marcos_ricardo@live.com.

INFORMAÇÕES

Histórico de submissão:

Recebido em: 25 maio. 2025
Aceite: 12 jun. 2025
Publicação *online*: jun. 2025

RESUMO

O *Amor Sem Coleiras* é uma página na internet criada para ajudar mais animais a encontrarem um lar, conectando pets que precisam de adoção com pessoas interessadas em adotá-los. Esse sistema possui um design fácil de usar, que permite visualizar com mais clareza os animais cadastrados, exibindo informações como nome, raça, idade, tamanho, forma de adoção, entre outros. Um painel administrativo também está disponível na plataforma, permitindo gerenciar completamente os pets: adicionando novos animais, atualizando dados ou acompanhando o status das adoções. Além disso, o sistema oferece recursos de comunicação entre os administradores, facilitando a busca por tutores ideais e garantindo um processo de adoção mais seguro e responsável. Com o uso de tecnologias atuais de desenvolvimento web, o *Amor Sem Coleiras* busca ampliar o acesso às adoções, colaborando para uma experiência mais clara e eficiente para todas as partes envolvidas no processo.

Palavras-chave: Adoção; Animais; Plataforma; Conexão; Facilidade.

ABSTRACT

This paper presents the web-based system *Amor Sem Coleiras*, a platform developed to facilitate the process of adopting animals by connecting available pets with people interested in adopting them. The system has an intuitive interface that allows you to clearly view relevant information about registered animals, such as name, breed, age, size and type of adoption. The platform also includes a complete administrative panel that allows you to manage registrations, update data and monitor the status of adoptions. In addition, it offers communication resources between administrators, promoting a more effective search for responsible guardians and contributing to a safe and conscious adoption process. Through the use of modern web development technologies, *Amor Sem Coleiras* seeks to expand access to animal adoption and provide an efficient and transparent experience for everyone involved.

Keywords: Adoption; Animals; Platform; Connection; Ease.

Copyright © 2025, Alex Gomes de Assis; Larissa Fernanda de Mello Jorge; Luis Felipe Kaczam; Marcos Ricardo Müller. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citação: DE ASSIS, Alex Gomes; JORGE, Larissa Fernanda de Mello; KACZAM, Luis Felipe; MÜLLER, Marcos Ricardo. Desenvolvimento de um sistema web para otimização do processo de adoção de animais. *Iguazu Science*, São Miguel do Iguacu, v. 3, n. 7, p. 175-185, jun. 2025.

INTRODUÇÃO

A adoção de animais de estimação é um tema cada vez mais relevante, principalmente diante do grande número de animais abandonados que vivem em situação de rua. No Brasil, dados da Organização

Mundial da Saúde (OMS) mostram que mais de 30 milhões de animais estão nessa condição, sendo cerca de 20 milhões de cachorros e 10 milhões de gatos. Esse cenário evidencia a urgência de se pensar em soluções eficazes para que a adoção aconteça (Organização Mundial da Saúde, *apud* Anda, 2020).

O processo tradicional de adoção de animais enfrenta diversos desafios. Entre eles, destacam-se a dificuldade em divulgar os animais disponíveis, a ausência de critérios padronizados para conduzir as adoções e a necessidade constante de verificar manualmente o status de cada animal. Além disso, a gestão feita de forma manual costuma gerar atrasos, falhas na comunicação e dificuldades no acompanhamento de todo o processo, o que pode comprometer tanto o bem-estar dos animais quanto a experiência dos adotantes (Instituto Brasileiro De Proteção Animal, *apud* Anda, 2020).

Atualmente, a criação de páginas na internet tem se mostrado uma alternativa eficaz para auxiliar nesse processo. Pensando nisso, foi desenvolvido o sistema "Amor Sem Coleiras", com o propósito de otimizar a adoção de animais, oferecendo uma interface acessível para visualização dos pets disponíveis, promovendo o gerenciamento das informações de cada animal e o acompanhamento das etapas envolvidas na adoção (Sistema 'Amor Sem Coleiras', *apud* Anda, 2025).

Este trabalho apresenta o crescimento e a aplicação do sistema "Amor Sem Coleiras", uma plataforma online voltada à facilitação do processo de adoção por meio de tecnologias atuais de desenvolvimento web, com foco na usabilidade e na experiência do usuário. A plataforma proporciona ferramentas que auxiliam o gerenciamento dos animais e organizam de forma eficiente todo o processo de adoção (Sistema "Amor Sem Coleiras", 2025).

A importância deste estudo reside na contribuição para a causa animal, ao propor uma ferramenta tecnológica que potencializa a adoção responsável e auxilia na redução do número de animais em situação de abandono. Além disso, propõe uma inovação ao ampliar significativamente o alcance das ações anteriormente limitadas à intervenção humana, por meio dos recursos da tecnologia da informação (Sistema 'Amor Sem Coleiras', *apud* Anda, 2025).

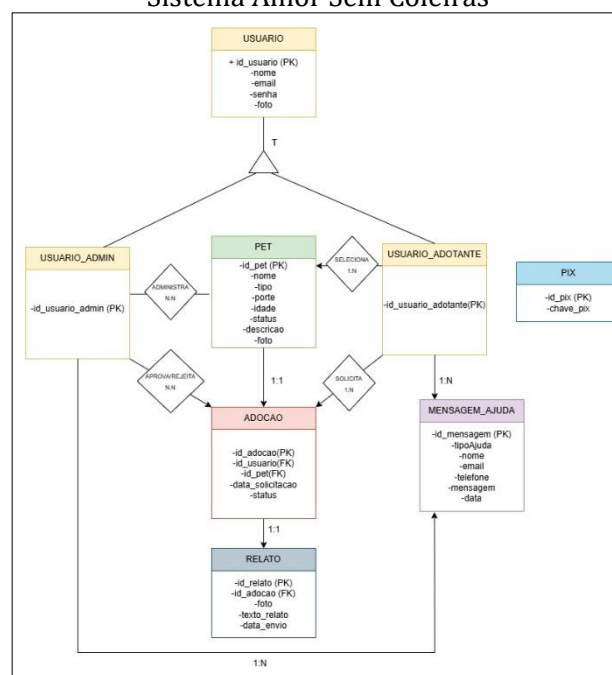
METODOLOGIA

O sistema "Amor Sem Coleiras" foi desenvolvido utilizando a linguagem TypeScript em conjunto com o *framework* Angular (versão 16), escolhido por sua robustez e por ser ideal na criação de aplicações web modernas do tipo SPA (*Single Page Application*). Utilizou-se também o Angular Material para facilitar a construção de interfaces de usuário e o Firebase para gerenciamento de backend e autenticação. O projeto conta ainda com bibliotecas auxiliares, como o RxJS, que proporciona programação reativa, e o Chart.js, utilizado para gerar gráficos interativos. A gestão das

dependências e scripts de build é feita por meio do Node.js e npm. No backend, o Firebase é responsável por gerenciar a autenticação, o banco de dados em tempo real e a hospedagem, permitindo uma infraestrutura simplificada e favorecendo um desenvolvimento mais ágil. A combinação do Angular com o Firebase oferece uma base sólida para o desenvolvimento de aplicações web modernas e escaláveis, permitindo a criação de interfaces dinâmicas e a integração eficiente com serviços de backend (Delaney, 2018).

O desenvolvimento seguiu a abordagem de Modelagem Entidade-Relacionamento (MER) (figura 1) para a estruturação do banco de dados, com foco na organização e integridade das informações. O Diagrama Entidade-Relacionamento (DER) (figura 2) foi elaborado a partir do refinamento do modelo conceitual, validando a modelagem de forma a viabilizar a implementação coerente das entidades no código-fonte (Korth; Silberschatz; Sudarshan, *apud* Anda, 2012).

Figura 1. Modelo Entidade-Relacionamento (MER) do Sistema Amor Sem Coleiras



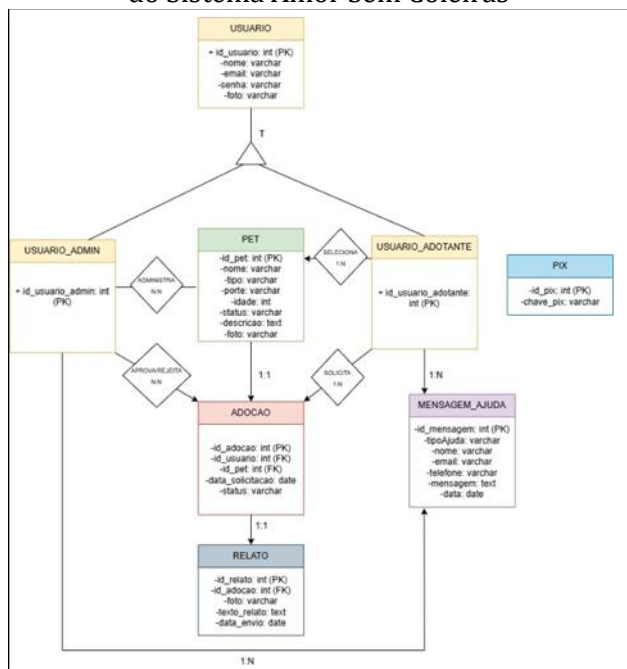
Fonte: Elaboração própria (2025)

O Modelo Entidade-Relacionamento (MER) do sistema Amor Sem Coleiras foi elaborado com o objetivo de mapear as principais entidades e seus relacionamentos, de forma a atender ao fluxo de adoção de animais e ao gerenciamento de usuários. As entidades centrais identificadas no sistema são:

- **USUÁRIO:** Representa qualquer usuário cadastrado, com atributos como id, nome, e-mail, senha e foto;
- **USUÁRIO_ADMIN:** Subtipo de usuário responsável pela administração do sistemas;
- **USUÁRIO_ADOTANTE:** Subtipo de usuário autorizado a realizar adoções;
- **PET:** Entidade que representa os animais disponíveis para adoção, com informações como nome, tipo, idade, status, descrição e foto;
- **ADOCACAO:** Responsável por relacionar usuários adotantes e pets, registrando as solicitações de adoção;
- **RELATO:** Entidade destinada ao envio de relatos sobre adoções realizadas;
- **MENSAGEM_AJUDA:** Canal criado para o envio de mensagens de ajuda ou contato;
- **PIX:** Entidade voltada ao gerenciamento de doações por meio de chaves Pix.

Os relacionamentos entre as entidades foram definidos de modo a assegurar a rastreabilidade das ações no sistema, como a administração de pets por usuários administradores, o registro das solicitações de adoção por usuários adotantes, e o envio de relatos vinculados a adoções já realizadas (Elmasri; Navathe, 2015 *apud* Anda, 2020).

Figura 2. Diagrama Entidade-Relacionamento (DER) do Sistema Amor Sem Coleiras



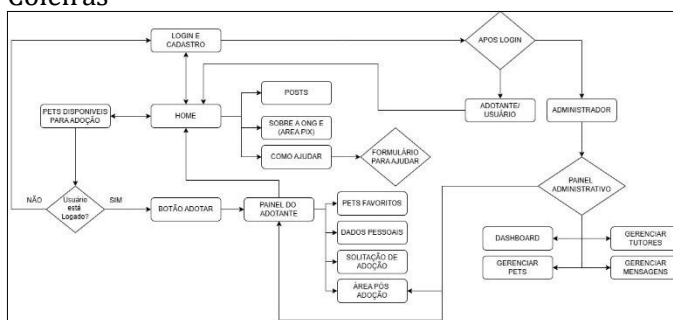
Fonte: Elaboração própria (2025)

O DER detalha a estrutura do banco de dados, especificando os tipos de dados, chaves primárias (PK) e estrangeiras (FK):

- **USUARIO:** id_usuario (int, PK), nome (varchar), email (varchar), senha (varchar), foto (varchar)
- **USUÁRIO_ADMIN:** id_usuario_admin (int, PK)
- **USUÁRIO_ADOTANTE:** id_usuario_adotante (int, PK)
- **PET:** id_pet (int, PK), nome (varchar), tipo (varchar), idade (int), status (varchar), descricao (text), foto (varchar)
- **ADOCACAO:** id_adocao (int, PK), id_usuario (int, FK), id_pet (int, FK), data_solicitacao (date), status (varchar)
- **RELATO:** id_relato (int, PK), id_adocao (int, FK), foto (varchar), texto_relato (text), data_envio (date)
- **MENSAGEM_AJUDA:** id_mensagem (int, PK), tipoAjuda (varchar), nome (varchar), email (varchar), telefone (varchar), mensagem (text), data (date)
- **PIX:** id_pix (int, PK), chave_pix (varchar)

Cada entidade e relacionamento foi implementado no código, como pode ser visto na classe Usuario em TypeScript, garantindo aderência ao modelo lógico e físico do banco de dados (Elmasri; Navathe, 2015 *apud* Anda, 2020).

Figura 3. de Navegação do Sistema Amor Sem Coleiras



Fonte: Elaboração própria (2025)

Além destes, temos também um fluxograma de navegação (figura 3) que é utilizado para representar, de maneira visual, como o usuário irá interagir com um sistema, ou seja, ele mostra o caminho que a pessoa percorre desde o momento em que acessa a plataforma até alcançar seus objetivos, como visualizar informações, fazer login ou concluir uma ação (como adotar um pet). Ele é útil porque organiza o funcionamento das páginas, indica a relação entre elas e ajuda tanto os desenvolvedores quanto os designers e clientes a entenderem como o sistema está estruturado. Dessa forma, é possível garantir uma experiência mais fluida, lógica e intuitiva para quem vai utilizar o sistema. “O uso de fluxogramas de navegação é fundamental no design de interfaces

digitais, pois permite visualizar e planejar a interação do usuário com o sistema, garantindo uma experiência mais fluida e eficiente” (Sobral, 2019).

Ao acessar o sistema "Amor Sem Coleiras", o usuário é recebido na página inicial (Home), onde pode visualizar informações sobre a ONG, posts, formas de ajudar (incluindo a área Pix para doações) e os pets disponíveis para adoção. Se o usuário deseja adotar um pet, ele pode navegar até a seção de Pets Disponíveis para Adoção. Caso ainda não esteja logado, ao tentar adotar, será direcionado para a tela de Login e Cadastro. Após realizar o login ou cadastro, o usuário retorna à página de pets e pode então clicar no Botão Adotar para iniciar o processo de adoção. Ao adotar um pet, o usuário acessa o Painel do Adotante, onde encontra funcionalidades como:

- **PETSFAVORITOS:** lista de animais que marcou como favoritos.
- **DADOS PESSOAIS:** área para visualizar e editar suas informações.
- **SOLICITAÇÃO DE ADOÇÃO:** acompanhamento do status das suas solicitações.
- **ÁREA PÓS ADOÇÃO:** espaço para relatos e acompanhamentos após a adoção.

Além disso, qualquer pessoa pode acessar a seção Como Ajudar e preencher o Formulário para Ajudar, seja para voluntariado, doações ou outras formas de apoio (Sommerville, 2011 *apud* Anda, 2020).

Após o login, o sistema identifica o tipo de usuário:

- Se for um Adotante/Usuário comum, ele acessa o painel do adotante, com as funcionalidades já descritas.
- Se for um Administrador, é direcionado ao Painel Administrativo.

No Painel Administrativo, o administrador tem acesso a:

- **DASHBOARD:** visão geral do sistema.
- **GERENCIAR PETS:** cadastro, edição e remoção de animais disponíveis para adoção.
- **GERENCIAR TUTORES:** gerenciamento dos usuários/adotantes.
- **GERENCIAR MENSAGENS:** visualização e resposta às mensagens recebidas pelo formulário de ajuda.

A navegação é intuitiva e pensada para facilitar tanto o processo de adoção quanto o gerenciamento da ONG, promovendo uma experiência acolhedora e eficiente para todos os envolvidos (Sommerville, 2011 *apud* Anda, 2020).

O desenvolvimento seguiu uma metodologia ágil, adotando sprints regulares para organizar as tarefas e garantir entregas frequentes. A estrutura do projeto

manteve componentes organizados em diretórios específicos, com clara separação de responsabilidades entre componentes, services e demais módulos. Utilizou-se TypeScript para garantir tipagem estática e maior segurança no código. Além disso, foram implementados testes automatizados conforme descrito no README.md, assegurando a qualidade contínua do sistema. O controle de versão foi gerenciado via Git, evidenciado pelo arquivo .gitignore, permitindo o acompanhamento eficiente das alterações e colaboração entre a equipe.

Foi feito o uso do Firebase como plataforma de banco de dados, o mesmo é essencial pois oferece uma solução robusta e moderna, para gerenciar os dados. Serve como núcleo do sistema, tendo em vista um papel crucial, já que permite que as informações sejam atualizadas em tempo real para todos os usuários, como exemplo o status dos animais que podem mudar rapidamente (Basta; Zgola, 2011 *apud* Sobral, 2019).

No ambiente do sistema temos a configuração centralizada do banco de dados, onde estão localizadas as credenciais necessárias para a conexão com o Firebase Realtime Database. Este encontra-se hospedado em um servidor dedicado do firebase, com endereço específico (Basta; Zgola, 2011 *apud* Sobral, 2019).

Através de módulos especializados do Angular Fire, foi desenvolvido como framework frontend. Ela é responsável por facilitar a comunicação entre a aplicação e o banco de dados (Basta; Zgola, 2011 *apud* Sobral, 2019).

Utilizando o Firebase Authentication, podemos fazer a autenticação de usuários cadastrados/autorizados a acessar o Sistema. Segundo Basta e Zgola (2011), a segurança em bancos de dados envolve práticas como controle de acesso, criptografia, auditoria e proteção contra ameaças internas e externas, sendo essencial para garantir a integridade e confidencialidade das informações armazenadas. (Basta; Zgola, 2011)

Além disso, utiliza-se o Firebase Storage, para fazer o armazenamento de arquivos, que futuramente será as fotos dos animais disponíveis para adoção. Com uma estrutura fortemente tipada, e com interfaces específicas, que garante que os dados sejam íntegros, quando é feita o uso de operações de leitura e escrita. (Basta; Zgola, 2011 *apud* Sobral, 2019).

Há também a presença de funcionalidades, como pagamento pix, gerenciamento de mensagens. Ambas fazem interação direta com o banco de dados para persistir informações importantes. Tendo em vista que a segurança é um pilar crucial, foi feito o uso de credenciais seguras através de variáveis de

ambiente, para o desenvolvimento e produção (Basta; Zgola, 2011 *apud* Sobral, 2019).

Essas arquiteturas serverless apresenta diversas vantagens como escalabilidade automática, baixa latência e atualização em tempo real, que em um sistema de adoção de animais são muito úteis, pois é necessário que a informação seja otimizada e atualizada assim que necessário para o sucesso em qualquer espécie de adoção (Basta; Zgola, 2011 *apud* Sobral, 2019).

Em seis coleções principais o sistema foi dividido, cada uma com sua própria funcionalidade essencial:

- **USUÁRIOS:** faz o armazenamento de informações pertencentes aos usuários, tendo em vista dois tipos (administradores ou adotantes). Cada um possuindo informações únicas como nome, email, e tipo. Os que forem adotantes podem incluir uma foto de perfil, enquanto os outros têm acesso a modificações (figura 4) e gerenciamentos importantes do Sistema.

Figura 4. Modelagem do banco de dados da coleção usuários

```
1. Usuário (Admin ou Adotante)
typescript
Apply to app.componen...
import { getFirestore, doc, setDoc } from "firebase/firestore";
const db = getFirestore();
// Exemplo de usuário adotante
await setDoc(doc(db, "usuarios", "usuarioId1"), {
  nome: "Maria",
  email: "maria@email.com",
  foto: "url",
  tipo: "adotante"
});
// Exemplo de usuário admin
await setDoc(doc(db, "usuarios", "usuarioId2"), {
  nome: "Admin",
  email: "admin@email.com",
  tipo: "admin"
});
```

Fonte: Elaboração própria (2025)

- **PETS:** uma das coleções principais, pois contém informações realacionadas sobre os bichos disponíveis para adoção. O mesmo possuindo dados como: nome, raça, idade, porte, status de adoção e foto (figura 5).

Figura 5. Modelagem do banco de dados da coleção pets

```
2. Pet
typescript
Apply to app.componen...
await setDoc(doc(db, "pets", "petId1"), {
  nome: "Rex",
  raca: "SRD",
  idade: 2,
  porte: "Médio",
  status_adocao: "Disponível",
  foto: "url",
  localizacao: "São Paulo"
});
```

Fonte: Elaboração própria (2025)

- **ADOÇÕES:** faz relação entre os adotantes e os animais, registrando todo o processo de adoção. Cada documento pertencente a esta coleção tem as referências ao animal e ao adotantes envolvidos bem como a solicitação de adoção correspondente (figura 6).

Figura 6. Modelagem do banco de dados da coleção adoções

```
3. Adoção
typescript
Apply to app.componen...
await setDoc(doc(db, "adocoes", "adocaoId1"), {
  id_pet: "petId1",
  id_adotante: "usuarioId1",
  status_solicitacao: "Pendente",
  data_solicitacao: "2024-04-27"
});
```

Fonte: Elaboração própria (2025)

- **MENSAGEM AJUDA:** permite que os usuários enviem mensagens de interesse em oferecer ajuda ou suporte aos animais que necessitam. Cada mensagem é vinculada a um usuário específico e contém o conteúdo da solicitação, bem como a data de envio. Essa funcionalidade facilita a comunicação entre os usuários e os administradores do sistema (figura 7).

Figura 7. Modelagem do banco de dados da coleção mensagem ajuda

```
4. Mensagem de Ajuda
typescript
Apply to app.componen...
await setDoc(doc(db, "mensagensAjuda", "mensagemId1"), {
  id_usuario: "usuarioId1",
  mensagem: "Quero ajudar!",
  data_envio: "2024-04-27"
});
```

Fonte: Elaboração própria (2025)

- **FAVORITOS:** tem a permissão para que os adotantes possam marcam pets que mostraram interesse. Ela é reponsável por uma função básica, porém facilita o acompanhamento dos animais de intesse.

Figura 8. Modelagem do banco de dados da coleção favoritos

```
5. Favoritos
typescript
Apply to app.componen...
await setDoc(doc(db, "favoritos", "favoritoId1"), {
  id_usuario: "usuarioId1",
  id_pet: "petId1"
});
```

Fonte: Elaboração própria (2025)

- **RELATOS PÓS-ADOÇÃO:** após a adoção as pessoas poderão fazer o compartilhamento de suas experiências com o novo amigo, incluindo fotos,

descrições, entre outros, criando assim um histórico valioso, permitindo que a organização acompanhe o bem-estar dos animais após suas adoções (figura 8).

Figura 9. Modelagem do banco de dados da coleção Relatos pós-adoção

```
6. Relato Pós-Adoção
typescript
Apply to app.componen...
await setDoc(doc(db, "relatosPosAdocao", "relatoId1"), {
  id_adocao: "adocaoId1",
  relato: "Está tudo ótimo!",
  foto: "url",
  data_envio: "2024-04-27"
});
```

Fonte: Elaboração própria (2025)

O esquema desse banco de dados foi projetado para ser escalável e flexível, de forma que o sistema possa crescer com o tempo e novas capacidades serem adicionadas. A modelagem dos relacionamentos entre as coleções permitem buscas eficientes e apoiam a integridade dos dados, ao mesmo tempo em que a dispersão em coleções separadas simplifica a manutenção do sistema como um todo (Basta; Zgola, 2011 *apud* Sobral, 2019).

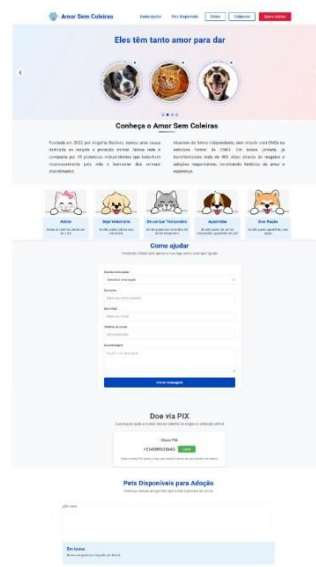
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema Amor Sem Coleiras foi concebido com um amplo sistema de tecnologia para solucionar o problema de adoção de animais, de forma que ficasse mais ágil e prático por meio da utilização das ferramentas de desenvolvimento web atuais. A plataforma foi construída aplicando o frontend com Angular, e com backend com o Firebase, de arquitetura serverless, mantendo relações capazes de otimizar a escalabilidade e as atualizações em tempo real. Dessa forma, o sistema foi disponibilizado com uma interface simples e responsiva, oferecendo funcionalidades que permitem o cadastro e o gerenciamento de usuários nas categorias “administrador” e “adotante”. Além disso, contempla o registro de dados dos animais, o processo de solicitação por parte dos adotantes, um sistema de mensagens para suporte e o acompanhamento pós-adoção. A modelagem do banco de dados consistiu em seis coleções principais, estabelecendo os relacionamentos que assim garantem a integridade dos dados e fazem a operação do sistema mais fácil. Tendo uma autenticação e armazenamento seguro de imagens, que completam a arquitetura, formando uma plataforma forte e segura ao gerenciar a adotabilidade de pets. "O Angular é um framework robusto que permite a criação de aplicações web dinâmicas e de

alto desempenho, utilizando componentes reutilizáveis e uma arquitetura modular, que facilita a manutenção e escalabilidade do sistema." (Bruno; D’Orazio, 2019, p. 45).

A página inicial da página web ilustrado na figura 10 expõe uma tela intuitiva e interativa, feita para atrair o interesse dos visitantes desde o começo. Assim que o usuário acessa, ele encontra um carrossel de imagens que possui quatro slides diferentes, com motivações sobre adoção e fotos de animais e mensagem, assim ele se deixa impactar visualmente. Logo após o carrossel, a seção “Sobre Nós” apresenta informações sobre a plataforma e sua estrutura organizacional, destacando que a organização foi fundada por Angelita Beckers no ano de 2022. A página visitante segue com uma gaveta “Como Ajudar”, com quatro diferentes formas interativas de botões que destacam um tema, com cores diferentes. Acima do botão interativo, há fotografias informativas que ilustram a motivação associada a cada forma de ajuda apresentada nos card. Norman (2013) afirma que uma tela intuitiva deve ser projetada de forma a permitir ao usuário uma navegação fluida, sem frustrações. Norman (2013) destaca que uma interface intuitiva deve ser desenvolvida com o objetivo de proporcionar uma navegação fluida e sem frustrações para o usuário, permitindo-lhe interagir de maneira eficiente com os elementos da tela.

Figura 10. Página home do Sistema Amor Sem Coleiras



Fonte: Elaboração própria (2025)

Logo após há uma seção set para doações com PIX, que traz funcionalidade do copiar chave PIX, facilitando assim um pouco mais o processo de doações. O último é um “Pets Disponíveis para

Adoção” onde futuramente será inserido uma lista com os pets disponíveis para adoção. O design é todo responsivo, com recursos novos, como carrossel de imagens automáticas com navegadores, cards interativos, formulário de edição e sistema de pagamento interligados.

Ao acessar a página de login/cadastro (figura 11), o usuário se depara com um design moderno e limpo, onde pode escolher entre fazer login ou criar conta. A interface apresenta um painel deslizante que alterna suavemente entre as opções de login e cadastro, com mensagens amigáveis como "Seja Bem-vindo!" e "Olá, AUmigão!", criando um ambiente acolhedor desde o primeiro momento. O formulário de cadastro oferece múltiplas opções de registro, permitindo que os usuários se cadastrem através de suas contas do Google ou Facebook, ou optem por criar uma conta usando e-mail e senha. Para o cadastro tradicional, são solicitados apenas os dados essenciais: nome, e-mail e senha, mantendo o processo simples e direto. O sistema inclui validações em tempo real, garantindo que todos os campos sejam preenchidos corretamente antes do envio (Silva; Pereira; Souza, *apud* Norman, 2013).

A página de login conforme visto na figura 11 mantém a simplicidade, com campos para e-mail e senha, e inclui uma opção para recuperação de senha caso o usuário a tenha esquecido. Tanto no login quanto no cadastro, o sistema apresenta feedback visual claro sobre o status das operações, mostrando mensagens de erro quando necessário e indicando quando o sistema está processando a solicitação. (Norman, *apud* Ferreira, 2020).

Figura 11. Página login/cadastro do Sistema Amor Sem Coleiras

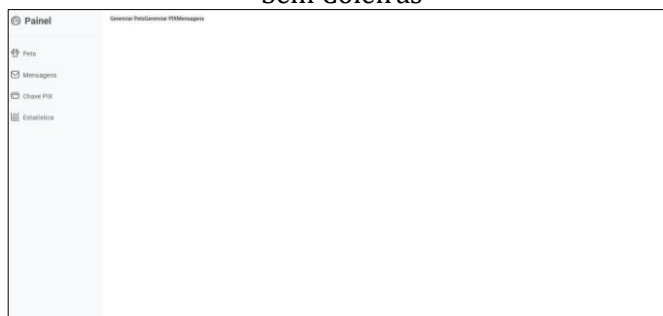


Fonte: Elaboração própria (2025)

A página administrativa apresentada na figura 12 foi estruturada para resolver os problemas de usabilidade e eficiência de seus administradores, uma vez que, a plataforma apresenta uma interface que atrai os administradores na memória para todos os controles possíveis do sistema. "Uma boa interface de usuário deve minimizar a carga cognitiva dos usuários, proporcionando uma navegação intuitiva e

rápida, de forma que os administradores possam acessar facilmente os controles e realizar suas tarefas com eficiência." (Nielsen, 1993).

Figura 12. Página administrativa do Sistema Amor Sem Coleiras



Fonte: Elaboração própria (2025)

Ao acessar o painel administrativo, o usuário verá uma barra lateral estilizada para fazer a navegação entre as seções do pet inicial; Pets, mensagens, chave pix, usuários e estatísticas. A seção administrativa de gerenciamento de pets é uma das mais significativas, um grid de card visual com as informações básicas criado para os animais (Almeida; Sousa; Ferreira, *apud* Pereira, 2021).

Os administradores podem ver fotos, nome, raça, porte, idade, status de adoção e chaves do clientes fornecidas. Além disso, um botão relevante permite ao administrador de adicionar um novo cliente ao sistema, um modal com um formulário com todas as informações completas para a adição de um pet abrindo (Almeida; Sousa; Ferreira, *apud* pereira, 2021).

O administrativo da chave do pix é feito em uma unidade dedicada, onde os administradores veem a chave atual e as opções para a edição, todos com validação 100% certa e claramente mostrado, a interface apresenta uma chave atual em que é visível criar-lhe mudar todas as informações disponíveis. O painel enviado apresenta um painel organizado com todas as comunicações dos usuários respondidos, como todo nome da pessoa que mandou um e-mail, a mensagem, número a pessoa que mandou, tipo de ajuda que solicitou e a mensagem completa. A abordagem administrativa permite a exclusão de uma mensagem desejada.

O gerenciamento de usuários é apresentado de forma clara e organizada em uma tabela, onde é possível visualizar o nome e o e-mail de todos os usuários cadastrados. A interface facilita ações rápidas, como a exclusão de usuários, garantindo um controle eficaz sobre a base de dados do sistema.

Na seção de estatísticas, você encontra uma visão geral do sistema com gráficos interativos que mostram

dados como o número de cadastros por dia e outras métricas importantes. Esses gráficos são atualizados em tempo real, oferecendo insights valiosos sobre como a plataforma está sendo utilizada.

O design da página administrativa é moderno e responsivo, com um esquema de cores profissional e ícones intuitivos. A navegação é fluida, e as transições entre as seções são suaves, proporcionando uma experiência agradável, mesmo durante longas sessões de administração. O sistema também implementa validações em tempo real, feedback visual para as ações do usuário e confirmações para operações importantes, garantindo que os administradores possam trabalhar com confiança e eficiência. "Um design de interface eficaz deve ser moderno e responsivo, com navegação intuitiva e feedback visual em tempo real, garantindo uma experiência fluida e agradável para o usuário, especialmente em tarefas prolongadas ou complexas." (Shneiderman; Plaisant, 2010).

Do ponto de vista técnico, são utilizados componentes Angular reutilizáveis, serviços para gerenciamento de dados e integração com o Firebase para armazenamento e recuperação de informações. Além disso, o sistema adota medidas de segurança para assegurar que apenas administradores autorizados possam acessar e modificar as informações (Ferreira; Pereira; Moraes, *apud* Silva, 2018).

Essa página administrativa funciona como um centro de controle completo para o sistema Amor Sem Coleiras, permitindo que os administradores gerenciem todos os aspectos da plataforma, desde o cadastro de animais até o acompanhamento de doações e interações com usuários, tudo em uma interface unificada e intuitiva (Ferreira; Pereira; Moraes, *apud* Silva, 2018).

Fazendo uso de uma arquitetura bem estruturada e moderna, o sistema foi criado para atender as necessidades tanto do público adontante, quanto para a administração, que fará o uso para divulgações e gerenciamento de cachorros e gatos, disponíveis ou não para a adoção. Em si as páginas são bem interativas a diversos tipos de público, fazendo com que seja futuramente acessada pelo máximo número de pessoas. De acordo com Krug (2014), sistemas bem estruturados e com uma arquitetura moderna têm o potencial de atender de forma eficaz às necessidades tanto dos usuários quanto dos administradores, garantindo uma navegação intuitiva e uma interação eficiente para diferentes tipos de públicos.

As páginas em si, tem um perfil acolhedor, com propósito e boa organização, bem visível na página inicial (home). A mesma oferece diversos tipos de

ajuda que os usuários podem oferecer, como exemplo: pagamento via pix, adoção de animal ou rações, dentre outros. "Uma boa organização e um perfil acolhedor são essenciais para proporcionar uma experiência positiva, tornando o propósito do site claro e acessível aos usuários" (Krug, 2014, p. 45).

Quando se trata da página login/cadastro, pode-se observar que foi desenvolvida com foco na experiência do usuários, sendo simplificado, porém mantendo a segurança sem comprometer a usabilidade. "A experiência do usuário deve ser o centro do design de interfaces, oferecendo simplicidade e segurança, sem comprometer a usabilidade" (Nielsen, 2012, p. 58).

No que diz respeito à administração do sistema, destaca-se a presença de uma interface abrangente, de fácil acesso e utilização, que permite o gerenciamento eficiente de animais e usuários. Além disso, a navegação entre as seções ocorre de forma simples e fluida, favorecendo a usabilidade da plataforma. O painel dentro da página administrativa favorece a usabilidade e proporciona uma experiência responsiva e agradável de utilizar. O fato de ser utilizado Firebase como backend assegura uma estrutura robusta e eficiente, além de que permite atualizações rápidas, assim garantindo a consistência e confiabilidade das operações realizadas pelas pessoas. "A construção de interfaces eficazes, combinada com uma arquitetura robusta no backend, é essencial para garantir uma experiência de usuário satisfatória, onde a navegação seja fluida, as atualizações rápidas e a integridade dos dados seja mantida de forma consistente." (Shneiderman; Plaisant, 2010).

Foi combinado funcionalidade bem implementadas com um design moderno e fluido que resultou em um sistema que não apenas facilita o trabalho dos administradores, mas também atende às necessidades dos usuários interessados em adotar. Dessa forma, o processo de adoção de animais torna-se mais acessível, eficiente e agradável para todos os envolvidos, desde os adotantes até os administradores da plataforma. "A combinação de uma funcionalidade bem implementada com um design moderno e fluido é essencial para garantir que os sistemas não apenas atendam às necessidades dos administradores, mas também melhorem a experiência do usuário final. Isso significa que, ao criar plataformas como as de adoção de animais, devemos buscar uma interface que não só facilite o processo para os administradores, mas também torne a experiência mais agradável e acessível para todos os envolvidos, incluindo os adotantes. Um bom design torna o processo mais intuitivo, diminui a frustração do usuário e promove a

eficiência na execução das tarefas, criando um ambiente positivo e funcional" (Garrett, 2011, p. 102).

Sobre o banco de dados, pode-se afirmar que foi cautelosamente escolhido, para que haja uma otimização e um desempenho de maneira que possam garantir a integridade dos dados. Foi implementado um modelo de dados relacional que faz com que tenha um relacionamento eficiente entre todas as entidades. Dessa forma, possibilita-se a realização de consultas ágeis, sem comprometer a consistência das informações em toda as aplicações. "A escolha cuidadosa de um banco de dados relacional, aliado à implementação de um modelo de dados eficiente, é fundamental para garantir tanto a integridade quanto o desempenho do sistema, facilitando consultas rápidas e a consistência dos dados em toda a aplicação." (Elmasri; Navathe, 2015).

Foi colocada em prioridade máxima a segurança, durante o desenvolvimento do sistema. Foi implementada muitas camadas de proteção, sendo elas: autenticação robusta com suporte a múltiplos provedores, criptografia de dados sensíveis, validação rigorosa de todas as entradas, proteção contra ataques comuns da web e sistema de permissões granular. "A segurança em sistemas modernos exige uma abordagem multifacetada, onde múltiplas camadas de proteção, como autenticação robusta, criptografia e validação de entradas, são essenciais para mitigar os riscos e garantir a integridade dos dados." (Kaufman; Perlman; Spaf, 2002).

O sistema permite o crescimento futuro de usuários e animais sem que comprometa a performance, por ser altamente escalável. Sua arquitetura sendo modular faz com que haja a facilidade de adicionar novas funcionalidades e manutenções que virão pela frente. Foi usado um design padrão e moderno, além de boas práticas de programação, que fazem com que o sistema seja altamente fácil de se manter e evoluir futuramente. A performance foi otimizada em vários níveis:

- Carregamento lazy de recursos;
- Cache inteligente de dados;
- Compressão de assets;
- Otimização de imagens;
- Minificação de Código.

Podemos observar um sistema robusto com logs e monitoramento, fazendo assim a permissão e o acompanhamento em tempo real de todas as operações realizadas no mesmo. Facilitando a resolução de problemas e a identificação também,

Além de que fornece insights importantes sobre como é usado a plataforma virtual. A integração com serviços externos foi implementada de forma eficiente

e segura, permitindo a realização de processo de pagamentos, envio de notificações, armazenamento de arquivos, análise de dados e integração com redes sociais. "A adoção de mecanismos de monitoramento e registro (logging) em tempo real não apenas melhora a segurança e a confiabilidade de sistemas complexos, como também fornece dados valiosos para a otimização de desempenho e experiência do usuário."

Segundo as diretrizes WCAG (Web Content Accessibility Guidelines), o sistema foi desenvolvido para garantir acessibilidade. Dessa forma, a plataforma será utilizável por pessoas com diferentes necessidades, como navegação por teclado, contraste adequado, textos alternativos e suporte a leitores de tela. Segundo Thatcher *et al.* (2003), as diretrizes WCAG são amplamente reconhecidas como um padrão para tornar os sites acessíveis a pessoas com deficiências visuais, auditivas, motoras e cognitivas.

Em relação a sua arquitetura podemos citar a fácil manutenção e atualização, pois o código modular é bem documentado, foi feito testes automatizados além de possuir uma documentação técnica bem detalhada. De acordo com Sommerville (2015), "a facilidade de manutenção do software depende de práticas como documentação adequada, modularização, e uso de padrões que tornem o código mais compreensível e modificável ao longo do tempo".

CONCLUSÕES

Com base em toda a análise e desenvolvimento do sistema "Amor Sem Coleiras", é possível perceber que o projeto representa uma solução tecnológica significativa no âmbito da gestão de adoção de animais. Com o esforço conjunto da dupla, foi possível desenvolver o sistema de forma eficiente, atendendo aos requisitos estabelecidos.

A implementação de uma arquitetura moderna e robusta, aliada ao uso de tecnologias como o Firebase, resultou em uma plataforma eficiente e confiável. O sistema apresenta bom desempenho em termos de usabilidade, segurança e escalabilidade — características essenciais para uma aplicação que visa conectar animais a potenciais adotantes.

Destaca-se que a escolha das tecnologias e metodologias de desenvolvimento permitiu criar uma solução que não apenas atende às necessidades imediatas, mas também está preparada para futuras expansões e melhorias. A arquitetura modular e bem estruturada facilita a manutenção e evolução do sistema, garantindo sua longevidade e relevância.

O foco na experiência do usuário e na acessibilidade

resultou em uma plataforma intuitiva e acolhedora, que atende tanto aos administradores quanto aos usuários finais. A implementação de recursos de segurança garante a proteção dos dados e a confiabilidade das operações, aspectos cruciais para uma plataforma que lida com informações sensíveis.

O sistema "Amor Sem Coleiras" representa um avanço na forma como as instituições de proteção animal podem gerenciar o processo de adoção. Ao automatizar e otimizar diversas etapas, a plataforma contribui para tornar o processo mais eficiente e acessível, beneficiando tanto os animais quanto as pessoas interessadas em adotar. Como afirmam Preece, Rogers & Sharp (2015, p. 78): "O uso de plataformas digitais para promover causas sociais representa um avanço significativo, pois permite otimizar processos e expandir o alcance das iniciativas, além de promover a inclusão e a conscientização."

Além disso, observa-se que a plataforma contribui diretamente para a causa da adoção responsável de animais. O projeto demonstra, na prática, como a tecnologia pode ser uma aliada importante na promoção de causas sociais. Ao combinar uma arquitetura bem planejada, tecnologias modernas e foco na experiência do usuário, desenvolveu-se uma solução que busca estabelecer um novo padrão para sistemas de gestão de adoção de animais.

Conforme apontam Preece, Rogers & Sharp (2015, p. 78), "Quando projetamos sistemas voltados para causas sociais, é importante reconhecer que, além de oferecer soluções práticas, eles devem ser construídos de maneira a gerar impacto positivo e duradouro. A tecnologia, se bem utilizada, pode se tornar uma aliada poderosa, facilitando a promoção de mudanças significativas em diversas áreas. A combinação de uma arquitetura cuidadosamente planejada com o uso de tecnologias modernas, voltadas para a experiência do usuário, não apenas aumenta a eficácia de um sistema, mas também define um novo padrão de interação e engajamento. Ao aplicar esses princípios em contextos como o da adoção responsável de animais, criamos plataformas que não apenas atendem às necessidades imediatas, mas também incentivam uma abordagem mais consciente e engajada com o propósito social."

REFERÊNCIAS

- ABNT. Tecnologia da informação – **Código de prática para a gestão da segurança da informação** (NBR ISO/IEC 17799). Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ALVES, William Pereira. **Banco de dados: teoria e desenvolvimento**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020.

- BASTA, Alfred; ZGOLA, Melissa. **Database Security**. Boston: Cengage Learning, 2011.
- BRUNO, D.; D'ORAZIO, M. **Angular: Aprenda a criar aplicações com um dos frameworks mais modernos do mercado**. São Paulo: Novatec, 2019.
- DELANEY, Jeff. **The Angular Firebase Survival Guide**. 2018.
- DÍAZ, Christopher. **Database Security: Problems and Solutions**. Mercury Learning and Information, 2020.
- ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Fundamentals of database systems**. 7. ed. Boston: Pearson, 2015.
- FREEMAN, Adam. **Angular: desenvolvimento web com TypeScript e Angular**. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2019.
- FREEMAN, Adam. **Pro Angular**. 4. ed. Nova York: Apress, 2017.
- GARRETT, Jesse James. **The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond**. 2. ed. Pearson Education, 2011.
- HINTZBERGEN, Jule. **Fundamentos de segurança da informação: com base na ISO 27001 e na ISO 27002**. São Paulo: Brasport, 2018.
- KAUFMAN, C.; PERLMAN, R.; SPAF, M. **Network security: private communication in a public world**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.
- KORTH, Henry F.; SILBERSCHATZ, Abraham; SUDARSHAN, S. **Fundamentos de Banco de Dados**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2012.
- MARQUES, Maurício Theodósio Mattos. **Auditoria em bancos de dados relacionais**. 2002. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão de Tecnologia da Informação) — Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- MUNIZ, Loiane Groner. **Angular: crie aplicações web modernas com Angular** 9. São Paulo: Novatec, 2020.

NIELSEN, J. **Usability engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NORMAN, D. A. **O design do dia a dia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Rocco, 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Estimativas** PAPROCKI, Felipe. Angular 2: desenvolvimento prático. São Paulo: Casa do Código, 2017.

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen. **Interaction Design: Beyond Human- Computer Interaction**. 4. ed. John Wiley & Sons, 2015.

SHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C. **Designing the user interface: strategies for effective human computer interaction**. 5. ed. Boston: Pearson, 2010.

SHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C. **Designing the user interface: strategies for effective human computer interaction**. 5. ed. Boston: Pearson, 2010.

SILBERSCHATZ, Abraham; KORTH, Henry F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de banco de dados**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

SOBRAL, Wilma Sirlange. **Design de Interfaces**. São Paulo: Editora XYZ, 2019.

sobre abandono de animais no Brasil. Apud ANDA - Agência de Notícias de Direitos Animais, 2020. Disponível em: <https://www.anda.jor.br>. Acesso em: 7 maio 2025.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. 10. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

THATCHER, Jim *et al.* **Constructing Accessible Web Sites**. Berkeley: Apress, 2006.



IGUAZU
SCIENCE