

# **Revista Ubiquidade**

## **Revista Ubiquidade**

Data de publicação Dezembro/2025

Copyright © 2025 UniAnchieta

### **Expediente**

A revista Ubiquidade é uma publicação semestral vinculada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação do UniAnchieta, exclusivamente eletrônica, que pretende divulgar contribuições originais, teóricas ou empíricas, relacionadas às áreas de Tecnologia de Informação e Comunicação (TICs) e está aberta para trabalhos científicos de pesquisadores nacionais ou internacionais.

O envio de trabalhos para apreciação, assim como o pedido de informações, pode ser feito por meio do endereço: [ubiquidade@anchieta.br](mailto:ubiquidade@anchieta.br)

### **Editor**

Prof. Dr. Juliano Schimiguel (UniAnchieta)

### **Conselho Editorial**

Prof.a Dra. Aline Brum Loreto, Universidade Federal de Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS)/RS

Prof.a Dra. Cecília Sosa Arias Peixoto, Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC), Campinas/SP

Prof. Dr. Carlos Adriano Martins, Unid - Universidade Cidade de São Paulo, São Paulo/SP

Prof. Dr. Hélio Rosetti Júnior, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória/ES

Prof. Dra. Jane Garcia de Carvalho, Unid - Universidade Cidade de São Paulo, São Paulo/SP

Prof. Dr. Josney Freitas Silva, UEMG - Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Frutal/MG

Prof. Dr. Juliano Schimiguel, UniAnchieta e Univ. Cruzeiro do Sul

Prof. Me. Juliano Silva Marçal, Centro Universitário Anchieta, Jundiaí/SP

Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Teófilo Otoni/MG

Prof.a Dra. Lucy Mirian Campos Tavares Nascimento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Formosa/GO

Prof. Dr. Pedro Isaías (Universidade Aberta, Lisboa/Portugal)

Prof. Dr. Marcelo Eloy Fernandes, Faculdade de Tecnologia (FATEC), Barueri/SP

Prof. Ma. Nádia Vilela Pereira, IFTO — Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas

Prof. Dr. Vivaldo José Breternitz, Universidade Paulista (Unip), Jundiaí/SP

Prof.a Dra. Viviane Sartori, Universidad Europea del Atlántico (Uniatlantico), Salamanca, Espanha

Ubiquidade / Centro Universitário Anchieta – V.8, N.2, 2025 – Jundiaí: Unianchieta, 2025.

Semestral

ISSN 2236-9031

1. Ciência da Computação. 2. Sistemas de Informação. 3. Sistemas de Computação e Teleinformática.

CDU: 004(05)

Catálogo na Publicação

Bibliotecária Responsável – Elizabete Alves – CRB-8/3589.

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19/02/1998. É permitida a reprodução e distribuição desta obra, desde que para fins educacionais e integralmente mantidas as informações autorais. É vedado seu uso comercial, sem prévia autorização, por escrito, dos autores e da Editora.

# Prefácio

Neste número V.8, N.2 (2025) - Ago/Dez, da Revista Ubiquidade, veiculamos artigos significativos, de professores e pesquisadores com importante atuação na área acadêmica e científica. Podemos destacar autores destas instituições: Universidade Cruzeiro do Sul (São Paulo/SP), Centro Universitário Anchieta (Unianchieta), UNIFACCAMP – Centro Universitário Campo Limpo Paulista, Instituto Federal do Amazonas (IFAM, Manaus/AM), Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCCAMP), entre outros.

No artigo “Inteligência Artificial na Educação Financeira: Personalização, Autonomia e Alinhamento Curricular no Novo Ensino Médio”, os autores Santos e Santos, analisam o potencial da Inteligência Artificial como mediadora da aprendizagem em Educação Financeira, fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa e nas diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A partir de pesquisa qualitativa, identificam que sistemas tutores inteligentes e plataformas adaptativas favorecem a personalização, o feedback formativo e o desenvolvimento da autonomia discente.

O artigo “Banco de Dados para IoT: uma Abordagem Analítica sobre Desempenho e Eficiência”, de Pires, propõe um framework e oferece uma análise comparativa entre três tipos principais de bancos de dados - relacionais, NoSQL e temporais - aplicados a ambientes IoT, com o objetivo de avaliar o desempenho e a adequação de cada tecnologia. Foram analisados estudos experimentais e abordagens que utilizaram diferentes métricas de desempenho. Os resultados indicam que bancos de dados temporais, como o InfluxDB, apresentam a melhor eficiência em termos de latência e taxa de ingestão para grandes volumes de dados IoT em tempo real.

O artigo “Desafios e Propostas para uma Acessibilidade Real no Moodle para Pessoas com Deficiência Visual: da Teoria à Prática”, de Santos, Mendonça, Santos, Schimiguel e Fernandes, busca analisar os entraves à acessibilidade real na plataforma Moodle e propor soluções para garantir equidade no processo educacional. Por meio de revisão sistemática da literatura, foram analisados artigos, relatórios técnicos e estudos de caso que abordam a experiência de usuários com deficiência visual e as políticas institucionais relacionadas ao Moodle. Identificaram-se três desafios principais: técnicos, como a incompatibilidade com alguns leitores de tela e atividades não adaptadas; pedagógicos, como a falta de capacitação docente para criação de materiais acessíveis e institucionais, como núcleos de acessibilidade com recursos insuficientes.

Já no artigo intitulado “Sistema de Gestão Interna (SGI) para uma Livraria, Integrado à Gestão do Conhecimento (GC)”, de Dallora e Peixoto, apresenta-se a aplicação do Gerenciamento de Conhecimento como parte do Gerenciamento da Integração no desenvolvimento do Projeto Integrador VI do curso de Engenharia de Software. O

projeto consistiu no desenvolvimento de um sistema para a gestão de vendas e estoque da livraria da Paróquia IECLB do Centro de São Paulo. Utilizando o framework ágil Scrum, a equipe organizou o trabalho em sprints, promovendo registro constante de decisões, compartilhamento de informações e integração entre equipe e usuário final.

Finalmente, o artigo “Análise Estática de Algoritmos com Geração de Complexidade Assintótica”, de Silva, Vicentin e Valdo, teve como meta validar e evidenciar, na prática, a aplicação da complexidade assintótica por meio da análise estática de algoritmos. Para isso, foi desenvolvida uma ferramenta web interativa que possibilita a geração e visualização da complexidade de diversos algoritmos, tornando esses conceitos teóricos, frequentemente considerados abstratos, mais acessíveis, concretos e passíveis de verificação em um contexto prático. A pesquisa abordou desde os fundamentos da teoria da complexidade algorítmica, passando pela aplicação de heurísticas de identificação de estruturas de controle, até a construção de representações estruturais como Árvores Sintáticas Abstratas (AST) e Grafos de Fluxo de Controle (CFG), que serviram de base para a inferência da complexidade.

# Sumário

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO FINANCEIRA: PERSONALIZAÇÃO, AUTONOMIA E ALINHAMENTO CURRICULAR NO NOVO ENSINO MÉDIO** (Rodrigo Mariano dos SANTOS, Márcio Eugen Klingenschmid Lopes dos SANTOS) ..... 7

**BANCO DE DADOS PARA IOT: UMA ABORDAGEM ANALÍTICA SOBRE DESEMPENHO E EFICIÊNCIA** (Luis Fernando PIRES) ..... 22

**DESAFIOS E PROPOSTAS PARA UMA ACESSIBILIDADE REAL NO MOODLE PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL: DA TEORIA À PRÁTICA** (Carlos Alberto Carvalho dos SANTOS, Deiverson Iamute MENDONÇA, Gernei Goes dos SANTOS, Juliano SCHIMIGUEL, Vera Maria Jarcovis FERNANDES) ..... 38

**SISTEMA DE GESTÃO INTERNA (SGI) PARA UMA LIVRARIA, INTEGRANDO À GESTÃO DO CONHECIMENTO (GC)** (Guilherme Lange DALLORA, Cecília Sosa Arias PEIXOTO) ..... 50

**ANÁLISE ESTÁTICA DE ALGORITMOS COM GERAÇÃO DE COMPLEXIDADE ASSINTÓTICA** (Felipe Destro Munhos SILVA, Giovanni Fernandes VICENTIN, Clayton Augusto VALDO) ..... 62

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO FINANCEIRA: PERSONALIZAÇÃO, AUTONOMIA E ALINHAMENTO CURRICULAR NO NOVO ENSINO MÉDIO

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FINANCIAL EDUCATION: PERSONALIZATION, AUTONOMY, AND CURRICULAR ALIGNMENT IN THE NEW HIGH SCHOOL

Rodrigo Mariano dos SANTOS  
[mariano.rx2@gmail.com](mailto:mariano.rx2@gmail.com)

Universidade Cruzeiro do Sul

Márcio Eugen Klingenschmid Lopes dos SANTOS  
[marcioeuden@gmail.com](mailto:marcioeuden@gmail.com)

Universidade Cruzeiro do Sul

### Resumo

O artigo analisa o potencial da Inteligência Artificial (IA) como mediadora da aprendizagem em Educação Financeira (EF), fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa e nas diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A partir de pesquisa qualitativa e análise de 37 publicações (2020–2025), identifica que sistemas tutores inteligentes (STI) e plataformas adaptativas favorecem a personalização, o feedback formativo e o desenvolvimento da autonomia discente. Os resultados mostram que a IA pode fortalecer o pensamento crítico e o protagonismo estudantil quando orientada por práticas éticas. No Brasil, sua integração ainda é limitada por desafios de infraestrutura e formação docente, embora iniciativas regionais, como o “Educa Pé-de-Meia Digital”, evidenciem seu potencial. Conclui-se que a IA deve promover equidade, formação docente contínua e uso responsável.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial; Educação Financeira; Aprendizagem Significativa; Autonomia Discente; Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

### Abstract

The article analyzes the potential of Artificial Intelligence (AI) as a mediator of learning in Financial Education, grounded in the Theory of Meaningful Learning and the guidelines of the BNCC. Based on qualitative research and the analysis of 37 publications (2020–2025), it identifies that intelligent tutoring systems and adaptive platforms enhance personalization, formative feedback, and the development of student autonomy. The results show that AI can strengthen critical thinking and student agency when guided by ethical practices. In Brazil, its integration remains limited by infrastructure challenges and teacher training, although regional initiatives, such as the “Educa Pé-de-Meia Digital” project, demonstrate its potential. The study concludes that AI should promote equity, ongoing teacher development, and responsible use.

**Keywords:** Artificial Intelligence; Financial Education; Meaningful Learning; Student Autonomy; National Common Curricular Base (BNCC).

## INTRODUÇÃO

A EF tem ganhado centralidade na formação dos estudantes da educação básica ao promover letramento financeiro, consumo consciente e autonomia na tomada de decisões econômicas (Vieira; Pessoa, 2020). A BNCC reconhece essa relevância ao tratá-la como tema transversal essencial ao pensamento crítico e à sustentabilidade financeira (Brasil, 2018), embora persistam desafios relacionados à falta de materiais contextualizados e ao desinteresse discente quando os conteúdos são apresentados de forma abstrata (Camine, 2016). Paralelamente, a expansão da IA no campo educacional tem possibilitado novas formas de personalização da aprendizagem, apoiadas por recursos como *machine learning*, sistemas inteligentes e ambientes adaptativos (Holmes; Bialik; Fadel, 2019).

Nesse contexto, o Novo Ensino Médio, com sua ênfase em flexibilidade curricular e itinerários formativos, amplia o potencial integrador entre EF e IA ao favorecer percursos personalizados e o desenvolvimento de competências para a vida adulta. Ferramentas baseadas em IA têm sido utilizadas para diagnosticar lacunas de aprendizagem, oferecer atividades adaptativas e fornecer feedback imediato, contribuindo para práticas mais inclusivas e centradas no aluno (Luckin et al., 2016). No ensino de EF, plataformas inteligentes como ChatGPT, Gemini ou Copilot permitem tanto a resolução de problemas financeiros quanto a simulação de cenários reais de tomada de decisão, favorecendo o pensamento crítico e a autonomia intelectual (Moran; Bacich; Trevisani, 2020).

Diante dessas transformações, emerge a questão central do estudo: como a IA pode contribuir para o desenvolvimento da autonomia e do pensamento crítico no ensino de EF no Novo Ensino Médio, em consonância com a BNCC, a Estratégia Nacional de Educação Financeira (ENEF) e a LDBEN? A EF envolve conceitos complexos como, juros compostos, inflação, crédito, risco-retorno e planejamento orçamentário que permanecem abstratos quando ensinados de forma expositiva. Ao integrar simuladores financeiros inteligentes, plataformas adaptativas e chatbots educacionais, a IA possibilita cenários interativos que permitem ao estudante testar estratégias, visualizar consequências e refletir sobre consumo, poupança e endividamento, alinhando-se às competências previstas nos marcos legais.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### EF e Marcos Legais Brasileiros

A EF envolve conhecimentos, habilidades e atitudes voltadas à tomada de decisões responsáveis sobre consumo, crédito e investimentos, articulando aspectos matemáticos, éticos e sociais (Vieira; Pessoa, 2020). Na BNCC (Brasil, 2018), consolida-se como tema transversal, especialmente na área de Matemática, por meio das unidades de Grandezas, Medidas, Probabilidade e Estatística, que favorecem o uso de dados e situações reais para compreender juros, orçamento e riscos.

A ENEF (Brasil, 2010), por sua vez, organiza a EF em pilares como planejamento, poupança, prevenção ao endividamento e uso consciente do crédito. Esses eixos tornam-se mais efetivos quando apoiados por experiências práticas, o que inclui simulações e atividades contextualizadas. A integração com tecnologias digitais amplia a potencialidade formativa da EF ao favorecer análises comparativas, projeções e experimentações que aproximam o estudante de situações financeiras reais. Assim, EF assume papel estratégico na formação integral, promovendo autonomia, criticidade e cidadania econômica, conforme defendem Camine (2016) e os documentos normativos brasileiros.



## IA e Personalização da Aprendizagem

A IA tem impulsionado novas possibilidades de inovação pedagógica ao permitir maior personalização e adaptação dos percursos formativos. Holmes, Bialik e Fadel (2019) destacam que STI, plataformas adaptativas e chatbots educacionais ajustam atividades e sequências didáticas conforme o desempenho de cada estudante, oferecendo feedback imediato e acompanhamento individualizado. Luckin et al. (2016) afirmam que esses sistemas proporcionam diagnósticos contínuos, identificando lacunas conceituais e sugerindo trilhas personalizadas.

Pesquisas recentes reforçam as contribuições da IA para inclusão e motivação, tanto para docentes quanto discentes, considerando-se alguns contras. Lima e Silva (2023) argumentam que a personalização mediada por IA promove equidade ao considerar diferentes ritmos e estilos de aprendizagem. Cordeiro e Souza (2024) observam que ferramentas generativas incentivam autoria estudantil quando utilizadas com intencionalidade pedagógica. No panorama internacional, Pedró (2021) ressalta que a IA pode reduzir desigualdades se integrada a políticas de formação docente e infraestrutura, enquanto Selwyn (2022) alerta para riscos da automação acrítica.

Casos brasileiros, como o aplicativo “Educa Pé-de-Meia Digital” um aplicativo de EF guiado por IA, para apoiar o uso consciente da bolsa-auxílio do programa Pé-de-Meia desenvolvido por estudantes do Piauí (SEDUC-PI, 2025), mostram que a IA pode fomentar protagonismo e EF contextualizada. Assim, a IA potencializa, mas não substitui, o papel docente, reforçando práticas centradas no aluno, visando uma abordagem ética e pedagógica.

## Aprendizagem Significativa e a Convergência com a IA

Segundo Ausubel (2003), a aprendizagem significativa ocorre quando novos conceitos se integram aos conhecimentos prévios de forma substantiva e não arbitrária. Para isso, organizadores prévios são fundamentais no processo de ancoragem cognitiva. A IA contribui diretamente para essa lógica ao diagnosticar conhecimentos prévios, adaptar atividades e oferecer recursos introdutórios contextualizados, funcionando como “organizadores prévios digitais”.

STI como o *Cognitive Tutor* (Koedinger & Corbett, 2006) e o *ASSISTments* (Feng et al., 2009) utilizam algoritmos de *machine learning* para antecipar dificuldades e propor intervenções apropriadas. Plataformas adaptativas, como *ALEKS*, *DreamBox* e ferramentas de IA generativa, constroem trilhas progressivas sustentadas por representações múltiplas e feedbacks explicativos (Holmes et al., 2019).

Esse processo estimula metacognição e autorregulação (Flavell, 1979), reforçando o papel ativo do aprendiz. No contexto da EF, simuladores de orçamento, calculadoras de juros compostos e visualizações financeiras ajudam a relacionar conceitos abstratos à realidade cotidiana. Ao permitir experimentações seguras e feedback contínuo, a IA torna a aprendizagem mais significativa e conectada às competências da BNCC e da ENEF.

## IA e EF Crítica

A inserção da IA no ensino exige reflexão ética, pedagógica e social. Freire (1996) alerta que qualquer tecnologia deve promover autonomia e consciência crítica, evitando reforçar desigualdades ou limitar a participação ativa dos estudantes. Selwyn (2022) complementa que algoritmos podem restringir repertórios quando operam sem supervisão docente, gerando riscos de padronização e dependência tecnológica.

Kenski (2003) destaca o papel insubstituível do professor como mediador crítico do conhecimento, responsável por orientar o uso reflexivo das tecnologias e contextualizar informações. Além disso, desigualdades de acesso a dispositivos e conectividade podem aprofundar distâncias educacionais (Pedró, 2021).

Na EF, esses desafios se intensificam, pois alguns simuladores e plataformas são vinculados ao mercado financeiro e podem induzir comportamentos de consumo ou escolhas de produtos. Assim, é fundamental que a IA seja utilizada de modo problematizador, possibilitando a análise crítica de ofertas, riscos e interesses comerciais. A EF crítica requer que estudantes interpretem dados, desconstruam discursos e compreendam sistemas financeiros, em sintonia com os princípios da ENEF e da pedagogia freireana.

## **METODOLOGIA**

A pesquisa fundamenta-se em abordagem qualitativa e descritiva, voltada a compreender como a IA tem sido incorporada ao ensino de EF no Novo Ensino Médio. Conforme Minayo (2014), o enfoque qualitativo permite interpretar fenômenos educacionais em sua complexidade, analisando sentidos e práticas relacionadas à personalização, autonomia discente e alinhamento curricular. Trata-se também de investigação descritiva, pois busca caracterizar experiências, tendências e desafios presentes na literatura, sem estabelecer relações causais.

O corpus da pesquisa foi composto por 37 estudos publicados entre 2020 e 2025, selecionados em bases como SciELO, Google Scholar, CAPES Periódicos e ERIC. Os descritores utilizados combinaram termos como inteligência artificial, educação, aprendizagem adaptativa, educação financeira, BNCC e autonomia discente. Foram incluídas produções disponíveis integralmente, alinhadas ao foco pedagógico da investigação, além de documentos normativos como BNCC (Brasil, 2018), ENEF (Brasil, 2010) e diretrizes do CNE. A seleção seguiu duas etapas: leitura inicial de títulos e resumos, seguida da leitura integral dos textos elegíveis.

A análise dos materiais foi guiada por princípios da triangulação metodológica (Denzin, 2017), articulando evidências bibliográficas, documentos oficiais e o referencial teórico. Adotou-se codificação temática inspirada em Braun e Clarke (2019), visando identificar categorias relacionadas a diagnóstico, personalização, feedback e autonomia no uso da IA. A interpretação seguiu lógica hermenêutica (Gadamer, 2002), compreendendo a integração entre tecnologia e prática docente como fenômeno dinâmico e situado.

## **Natureza e Abordagem**

A abordagem qualitativa adotada busca compreender como a IA influencia práticas pedagógicas e contribui para o desenvolvimento da autonomia e da aprendizagem significativa em EF. Como afirmam Bogdan e Biklen (1994), esse tipo de pesquisa valoriza o contexto e a interpretação dos sujeitos, permitindo examinar interações entre tecnologia, currículo e formação discente. A dimensão descritiva, por sua vez, possibilita caracterizar de que modo os princípios da BNCC e da ENEF se materializam em práticas mediadas por IA, sem pretensões de generalização estatística.

## Procedimentos Técnicos

### a) Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica estruturou-se no levantamento, organização e análise de publicações nacionais e internacionais sobre IA na educação, EF escolar e metodologias ativas sustentadas por tecnologias digitais. O recorte temporal (2020–2025) justifica-se pela aceleração da adoção de IA durante e após a pandemia, momento em que ferramentas adaptativas e tutores digitais se disseminaram (Holmes; Bialik; Fadel, 2019; Luckin et al., 2016). A análise buscou identificar tendências, potencialidades e limitações pedagógicas, especialmente em relação à personalização da aprendizagem e às competências previstas pela BNCC.

### b) Análise documental

A análise documental examinou marcos normativos brasileiros fundamentais à pesquisa:

- **BNCC** (Brasil, 2018);
- **ENEF** (Brasil, 2010);
- **LDBEN** (Lei 9.394/1996);
- Pareceres do **CNE** relacionados a TDICs e ao Novo Ensino Médio.

Esses documentos foram interpretados à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003) e das contribuições de Moran, Bacich e Trevisani (2020), permitindo identificar convergências entre diretrizes curriculares e práticas de IA voltadas à formação crítica e cidadã em EF.

A validação das análises foi reforçada pela triangulação entre evidências teóricas, achados empíricos e orientações legais, ampliando a consistência interpretativa do estudo (Flick, 2018).

## Considerações Éticas e Validação

Embora baseada em fontes secundárias, a pesquisa observou rigor ético quanto ao uso de referências, respeito à propriedade intelectual e precisão na interpretação dos dados, seguindo a ABNT NBR 10520:2023. As etapas de leitura, categorização e síntese foram conduzidas com critérios de relevância, atualidade e consistência metodológica, garantindo credibilidade e transparência no processo interpretativo. Além disso, ao reconhecer que o pesquisador é parte ativa da construção do conhecimento (Creswell & Poth, 2018), adotou-se postura reflexiva ao longo de toda a análise.

O processo de análise baseou-se em quatro dimensões fundamentais: diagnóstico das lacunas, adaptação dos conteúdos, feedback formativo e promoção da autonomia estudantil etapas que estruturam o ciclo da personalização da aprendizagem mediada por IA.

Além desses procedimentos, a etapa metodológica também envolveu um processo sistemático de organização, classificação e síntese dos materiais coletados, assegurando rigor e coerência na construção das interpretações. Essa etapa compreendeu a definição de categorias analíticas preliminares, elaboradas à luz do referencial teórico sobre IA na educação, EF e políticas curriculares brasileiras, permitindo estabelecer vínculos entre os princípios da BNCC e da ENEF e as potencialidades formativas da IA.

A partir desse movimento analítico-comparativo, os documentos e estudos foram examinados de forma sistemática, buscando identificar convergências, tensões e lacunas que contribuíssem para a compreensão crítica do fenômeno investigado. Esse procedimento, de natureza qualitativa e interpretativa, reforça a ideia de que a investigação metodológica ultrapassa a simples descrição dos materiais, configurando-se como um exercício teórico-analítico capaz de revelar a complexidade das interações entre tecnologia, currículo e formação discente no contexto do Novo Ensino Médio. Conforme argumenta Biesta (2020), processos interpretativos em pesquisa educacional exigem atenção ao modo como políticas, práticas e tecnologias moldam subjetividades e produzem diferentes formas de participação estudantil, aspecto diretamente relacionado ao papel da IA na personalização da aprendizagem.

Além dessas diretrizes, torna-se imprescindível reconhecer que investigações envolvendo ferramentas de IA demandam vigilância contínua quanto à transparência algorítmica, à proteção de dados e à mitigação de vieses estruturais. Mesmo quando fundamentado em fontes secundárias, como ocorre neste estudo, o exame ético precisa considerar os riscos presentes em tecnologias cujo funcionamento interno nem sempre é compreensível aos educadores. Assim, a validação dos achados depende não apenas do rigor metodológico empregado, mas também da capacidade de problematizar discursos que naturalizam o uso da IA na educação. Essa reflexão é coerente com as discussões de Koster e Dutilh Novaes (2023), que alertam que sistemas algorítmicos podem reforçar desigualdades se não forem avaliados à luz de princípios de justiça, acessibilidade e equidade digital. Nesse sentido, compreender que modelos de personalização podem reproduzir assimetrias torna-se fundamental para assegurar um uso ético, responsável e pedagogicamente orientado da IA.

Abaixo encontra-se a representação esquemática do ciclo formativo composto pelas etapas de Diagnóstico, Adaptação, Feedback e Autonomia, que orientam a personalização da aprendizagem e o desenvolvimento da autonomia discente no contexto da EF.

**Figura 1** – Fluxo da Personalização do Ensino pela IA.



**Fonte:** Elaborado pelo autor, com base em Luckin et al. (2016), Holmes, Bialik e Fadel (2019) e Brasil (2018).

Conforme ilustrado na Figura 1, o processo de personalização mediado por IA segue um fluxo dinâmico que inicia com o diagnóstico das necessidades cognitivas e culmina na promoção da autonomia intelectual e moral do estudante.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa evidenciam que a integração da IA à EF no Novo Ensino Médio opera por meio de um ciclo dinâmico composto por diagnóstico, adaptação, feedback e autonomia. Esse processo aproxima-se dos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003) e das competências previstas pela BNCC e ENEF, ao promover personalização da aprendizagem, acompanhamento contínuo e tomada de decisão consciente. A análise bibliográfica e documental demonstra que a IA contribui para transformar práticas tradicionais de ensino da EF, oferecendo simulações contextualizadas, rotas personalizadas e ambientes pedagógicos que favorecem metacognição, protagonismo e equidade.

A Figura 1 sintetiza esse fluxo, destacando a função da IA como mediadora do processo formativo. Cada etapa apresenta forte correspondência com princípios normativos: o diagnóstico está ligado à contextualização; a adaptação, à equidade; o feedback, à avaliação formativa; e a autonomia, à formação integral. Esses achados confirmam que a IA, quando usada de forma crítica e orientada por mediação docente, fortalece tanto a aprendizagem quanto a cidadania financeira.

## IA como Mediadora da Aprendizagem e da Autonomia Discente

Os resultados indicam que ferramentas de IA atuam como mediadoras cognitivas fundamentais ao desenvolvimento da autonomia intelectual e moral dos estudantes. STI e plataformas adaptativas identificam conhecimentos prévios, oferecem feedback imediato e promovem autorregulação, aspectos diretamente relacionados à metacognição (Flavell, 1979). Esse processo permite que o estudante monitore suas compreensões, revise estratégias e avance conforme seu ritmo.

À luz da BNCC (Brasil, 2018), a personalização mediada por IA reforça a Competência Geral 6, que orienta o uso crítico, reflexivo e ético das tecnologias digitais. Na EF, isso se traduz na capacidade de analisar crédito, planejar orçamento e compreender riscos financeiros com base em dados e simulações reais. Piaget (1978) diferencia autonomia intelectual de autonomia moral, ambas acionadas em atividades de EF que exigem tomada de decisão ética, competência ampliada por ambientes inteligentes. Freire (1996) reforça que a autonomia nasce do diálogo e da problematização da realidade; logo, a IA potencializa, mas não substitui, a mediação humana consciente.

Em síntese, a IA contribui para uma aprendizagem mais significativa, pois cria condições para que estudantes relacionem conteúdos abstratos de EF como juros compostos, custo efetivo total, inflação ou risco-retorno, a situações concretas de vida, fortalecendo a autonomia discente e a capacidade de agir criticamente no mundo financeiro.

A análise documental evidencia que tanto a BNCC quanto a ENEF apresentam pontos de convergência com a personalização mediada por IA, ainda que não mencionem explicitamente o termo. A BNCC, ao definir a Competência Geral 6, orienta que os estudantes utilizem tecnologias digitais “de forma crítica, significativa, reflexiva e ética”, enfatizando autonomia e protagonismo discente princípios operacionalizados pelos sistemas adaptativos de IA. Já a ENEF (2010) estabelece que a EF promova a “tomada de decisão consciente, informada e responsável”, objetivo diretamente relacionado ao uso de plataformas inteligentes capazes de simular cenários de consumo, crédito e investimentos. Como ressaltam Williamson e Eynon (2020), políticas curriculares e ecossistemas digitais caminham para crescente convergência, reforçando a importância de estruturas que incentivem diagnósticos individualizados, orientação personalizada e autonomia progressiva, elementos centrais da aprendizagem adaptativa.

Sob essa perspectiva, os achados do estudo sugerem que a IA atua como mediadora do processo de aprendizagem ao articular diagnóstico contínuo, feedback formativo e adaptação dinâmica das tarefas, fortalecendo condições para o desenvolvimento da autonomia intelectual no ensino de EF. Ao identificar concepções prévias e oferecer atividades contextualizadas, plataformas inteligentes assumem a função de “organizadores prévios digitais”, dialogando com os pressupostos da aprendizagem significativa e favorecendo a reorganização das estratégias cognitivas. Como afirmam Holmes e Porayska-Pomsta (2021), sistemas educacionais baseados em IA ampliam práticas metacognitivas ao incentivar reflexão, monitoramento e ajustes contínuos das ações de aprendizagem. Esses mecanismos contribuem para decisões financeiras mais críticas e responsáveis, em conformidade com as orientações da BNCC e da ENEF em temas como orçamento, consumo consciente e análise de crédito.

Nesse sentido, a mediação realizada pela IA deve ser compreendida como um processo dialógico que integra diagnóstico permanente, feedback imediato e intervenção pedagógica intencional. Ferramentas adaptativas ampliam a autonomia discente ao revelar padrões de raciocínio, antecipar dificuldades e estimular decisões fundamentadas, embora tal autonomia não surja automaticamente: ela depende da mediação docente que ensina os estudantes a interpretar criticamente sugestões algorítmicas, identificar vieses e compreender implicações éticas no uso de dados. Como defendem Knox, Williamson e Bayne (2020), a autonomia no contexto da IA não se reduz à interação técnica, mas resulta de práticas reflexivas que articulam agência humana e sistemas inteligentes. Assim, a IA potencializa o protagonismo estudantil ao

oferecer condições para percursos cognitivos personalizados, desde que vinculada a projetos pedagógicos coerentes com os princípios de formação integral da BNCC e da ENEF. O quadro a seguir sintetiza as principais convergências entre a BNCC, a ENEF e a IA.

**Tabela 1** - Evidências da BNCC e da ENEF relacionadas à Personalização com IA

Documento	Diretriz Relevante	Relação com IA e Personalização
<b>BNCC (2018)</b> Competência Geral 6	Uso crítico, significativo e ético das tecnologias digitais	Sistemas de IA promovem personalização, reflexão e metacognição
<b>BNCC – Matemática/EF (EF/EM)</b>	Ênfase em resolução de problemas, tomada de decisão e análise de dados. EF como tema transversal da aprendizagem.	Plataformas adaptativas e simuladores financeiros com IA atendem diretamente a essas competências
<b>ENEF (2010)</b>	Promoção da autonomia e responsabilidade na gestão financeira	IA permite simular cenários, analisar riscos e apoiar decisões com feedback imediato
<b>Pareceres do CNE sobre TDICs</b>	Incentivo ao uso pedagógico de tecnologias para aprendizagem ativa	A IA amplia a personalização e o acompanhamento contínuo previsto pelos documentos

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025), a partir da análise comparativa entre a BNCC (BRASIL, 2018), a Estratégia Nacional de Educação Financeira – ENEF (BRASIL, 2010) e literatura recente sobre Inteligência Artificial aplicada à Educação.

À luz das evidências sistematizadas na Tabela 1, observa-se que a interlocução entre BNCC, ENEF e tecnologias de IA configura um cenário propício ao fortalecimento de práticas pedagógicas orientadas pela personalização, autonomia e análise crítica dos dados. Essa convergência revela que a incorporação de sistemas inteligentes não apenas operacionaliza diretrizes curriculares, mas amplia o potencial formativo da EF ao possibilitar diagnósticos precisos, feedback contínuo e simulações contextualizadas de tomada de decisão.

Nesse sentido, estudos recentes, como o de Zawacki-Richter et al. (2020), destacam que abordagens educacionais mediadas por IA tendem a promover maior equidade e responsividade pedagógica quando articuladas a políticas curriculares claras e à mediação docente reflexiva. Desse modo, a Tabela 1 evidencia que a IA, quando empregada de forma ética, crítica e alinhada aos marcos normativos brasileiros, pode consolidar um ecossistema educativo que potencializa o protagonismo discente e aprofunda a aprendizagem significativa em EF.

Os estudos analisados indicam, de modo recorrente, que atividades de EF apoiadas por IA produzem ganhos qualitativos em relação ao ensino tradicional expositivo. Enquanto abordagens convencionais frequentemente limitam-se à resolução de listas de exercícios sobre juros e descontos, ambientes inteligentes permitem que o aluno acompanhe, em tempo real, o efeito de suas escolhas sobre o saldo final

de um orçamento ou de um investimento, experimentando diferentes prazos, taxas e valores de contribuição. Essa possibilidade de testar hipóteses e observar gráficos de evolução de dívidas e patrimônio, em um ciclo contínuo de tentativa, erro e correção mediado pela IA, fortalece a metacognição e a autonomia na gestão financeira pessoal, indo além da mera memorização de fórmulas matemáticas.

Experiências Internacionais e o Panorama Brasileiro

O estudo também identificou que o Brasil se encontra em estágio emergente na integração da IA ao ensino médio, enquanto países como Coreia do Sul e Finlândia já implementam políticas estruturadas de personalização curricular mediada por IA. A Coreia do Sul, desde 2020, adota o programa *AI Education Roadmap*, que utiliza sistemas inteligentes para mapear competências individuais e recomendar percursos personalizados de aprendizagem. A Finlândia, por sua vez, incorpora a IA dentro da abordagem *Phenomenon-Based Learning*, estimulando o pensamento interdisciplinar e a metacognição como competências centrais para o século XXI (OCDE, 2023).

De acordo com a UNESCO (Pedró, 2021), essas experiências demonstram que a IA pode fortalecer a equidade educacional quando associada a políticas de formação docente e infraestrutura tecnológica. O quadro a seguir sintetiza as principais diferenças entre as experiências internacionais e o contexto brasileiro:

Tabela 2 - Comparativo Internacional sobre o Uso da Inteligência Artificial na Educação e o Panorama Brasileiro

País/Instituição	Abordagem	Objetivo Central	Desafios Identificados
Coreia do Sul	IA para personalização curricular	Ajustar o currículo ao ritmo de cada estudante e prever dificuldades de aprendizagem	Sobrecarga de dados e riscos à privacidade estudantil
Finlândia	Aprendizagem baseada em fenômenos com suporte de IA	Promover pensamento crítico e metacognição	Necessidade de constante atualização docente
UNESCO (Pedró, 2021)	Framework ético global para IA na educação	Garantir uso equitativo e inclusivo da IA	Desigualdades tecnológicas entre países
OCDE (2023)	Indicadores de inovação educacional	Fomentar políticas baseadas em evidências e IA	Lacunas de implementação em países emergentes



<b>Brasil</b>	Integração incipiente via BNCC e programas estaduais (ex: Educa Pé-de-Meia Digital, PI)	Personalizar o ensino e promover autonomia discente	Formação docente insuficiente e infraestrutura desigual
---------------	---	---	---

**Fonte:** Adaptado de UNESCO (Pedró, 2021) e OCDE (2023).

Essas comparações evidenciam que o Brasil possui potencial para avançar, desde que adote políticas que combinem inovação tecnológica com equidade social e fortalecimento docente. A experiência brasileira destaca-se por iniciativas regionais criativas, mas ainda carece de políticas nacionais que consolidem a IA como eixo estruturante da formação integral.

No Brasil, a integração ainda é emergente, embora iniciativas estaduais inovadoras demonstrem potencial de avanço, como o “Educa Pé-de-Meia Digital”, desenvolvido no Piauí (SEDUC-PI, 2025). Tais experiências revelam que, mesmo em cenários de infraestrutura desigual, projetos guiados por IA podem fortalecer EF crítica e protagonismo juvenil.

Entretanto, persistem lacunas estruturais, como falta de conectividade, ausência de programas nacionais de formação docente em IA e desigualdade digital, dificultando a consolidação de políticas federais que sustentem inovação e equidade simultaneamente. Ainda assim, os resultados sugerem que o Brasil possui base normativa (BNCC, ENEF, Diretrizes do CNE) compatível com a integração da IA, faltando ampliar condições materiais e formativas para sua efetivação.

### **Desafios Éticos, Pedagógicos e Institucionais**

Os desafios identificados na literatura indicam que a adoção da IA na EF deve ser acompanhada de postura crítica, ética e humanizada. Selwyn (2022) alerta para riscos de padronização curricular e dependência tecnológica, enquanto Kenski (2003) enfatiza que o professor é mediador insubstituível para interpretar dados, orientar escolhas e promover reflexão crítica. Além disso, desigualdades de acesso a equipamentos e conectividade podem ampliar a exclusão educativa (Pedró, 2021).

No campo da EF, desafios éticos incluem o uso de plataformas vinculadas ao setor financeiro, que podem influenciar hábitos de consumo ou induzir escolhas de crédito e investimento. Por isso, é essencial que as experiências mediadas por IA sejam conduzidas com transparência, neutralidade pedagógica e análise crítica das fontes, conforme orientam a BNCC e a ENEF.

Do ponto de vista institucional, os principais desafios identificados são:

- ausência de políticas nacionais de formação docente para IA;
- fragilidades de infraestrutura tecnológica;
- necessidade de diretrizes éticas claras para proteção de dados estudantis;
- dependência de soluções privadas sem regulação suficiente.

Assim, recomenda-se que políticas públicas priorizem formação docente, equidade tecnológica e transparência algorítmica, assegurando que a IA seja instrumento de emancipação e não de desigualdade.

## Práticas Inovadoras e Perspectivas Futuras

As práticas inovadoras identificadas na literatura demonstram que simuladores financeiros, jogos educativos e plataformas adaptativas baseadas em IA ampliam o desenvolvimento da autonomia, da análise crítica e da metacognição. Ao testar cenários de consumo, comparar modalidades de crédito ou projetar investimentos, estudantes vivenciam experiências reais de tomada de decisão, fortalecendo competências previstas pela BNCC e ENEF. Tais atividades superam o modelo tradicional expositivo da Matemática Financeira, permitindo que o erro se torne oportunidade de aprendizagem e reflexão.

Contudo, a consolidação dessas práticas depende de políticas estruturais contínuas. A pesquisa reconhece suas limitações por basear-se exclusivamente em literatura e documentos, recomendando investigações empíricas em escolas e redes de ensino para validar e aprofundar os achados. Estudos de caso e pesquisas longitudinais podem evidenciar como a IA impacta, na prática, o desenvolvimento das competências financeiras ao longo do Ensino Médio.

De forma geral, os resultados confirmam que a IA deve ser compreendida como meio de promover uma EF crítica, significativa e cidadã, articulando tecnologia e humanização, inovação e ética, autonomia e responsabilidade social.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa reafirma que a IA representa um vetor transformador na promoção da EF, ao possibilitar práticas pedagógicas inovadoras, personalizadas e alinhadas aos princípios da BNCC. A integração entre IA e EF no Novo Ensino Médio revela-se como um caminho promissor para o desenvolvimento de competências cognitivas, socioemocionais e digitais, contribuindo para a formação de sujeitos críticos, autônomos e preparados para lidar com os desafios do mundo contemporâneo. Conforme defendem Holmes, Bialik e Fadel (2019), a IA, ao adaptar-se às necessidades individuais dos estudantes, viabiliza uma aprendizagem mais equitativa e significativa, fortalecendo o protagonismo discente e a mediação pedagógica consciente.

Os resultados da investigação indicam que a personalização adaptativa promovida pela IA pode reduzir desigualdades educacionais, ao permitir que cada estudante avance conforme seu ritmo e estilo de aprendizagem, promovendo um ensino centrado no aluno e orientado por dados. Essa dinâmica, alicerçada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003), demonstra que a tecnologia, quando utilizada de forma crítica e intencional, potencializa a construção de novos saberes a partir de conhecimentos prévios, consolidando aprendizagens duradouras. Assim, a IA não substitui o papel docente, mas o ressignifica: o professor assume a função de mediador e curador do conhecimento, capaz de articular tecnologia e pedagogia de forma ética, reflexiva e contextualizada (Moran, Bacich & Trevisani, 2020).

Entretanto, a adoção da IA na EF requer uma reflexão crítica e sistêmica. Para que sua inserção seja efetiva e equitativa, é indispensável enfrentar desafios estruturais, éticos e formativos. As lacunas normativas quanto à proteção de dados, à transparência algorítmica e à responsabilidade no uso das tecnologias educacionais exigem políticas públicas robustas e contínuas. Autores como Luckin et al. (2016) e Kenski (2003) alertam que a tecnologia, isoladamente, não garante inovação pedagógica; é a mediação consciente e a formação docente que asseguram sua integração significativa. Nesse sentido, a capacitação dos professores para o uso ético e pedagógico da IA constitui condição essencial para democratizar o acesso às suas potencialidades e mitigar riscos de exclusão digital.

Em síntese, ao focalizar a EF como campo privilegiado de experimentação pedagógica com IA, este estudo evidencia que as potencialidades da personalização, do feedback formativo e da análise de dados educacionais ganham concretude quando aplicadas a decisões cotidianas sobre consumo, crédito, poupança e investimento. A comparação entre abordagens tradicionais e práticas mediadas por IA sugere que, enquanto as primeiras tendem a fragmentar conteúdos e descolar o ensino da realidade econômica dos estudantes, as segundas possibilitam a vivência de cenários financeiros autênticos, nos quais o aluno pode projetar consequências de suas escolhas e exercitar, simultaneamente, competências matemáticas, éticas e socioemocionais.

Reforça-se, assim, que o escopo deste trabalho não é a IA na educação em sentido amplo, mas a análise de como a IA pode qualificar a EF no Novo Ensino Médio, em alinhamento com a BNCC, com a ENEF e com a LDBEN. Ao articular personalização da aprendizagem, feedback formativo e análise de dados educacionais com cenários concretos de consumo, crédito, poupança e investimento, a integração entre IA e EF contribui para a formação de sujeitos financeiramente autônomos, críticos e socialmente responsáveis, em consonância com o projeto de educação integral preconizado pelos documentos oficiais brasileiros.

### **Sugestões para Pesquisas Futuras**

Sugere-se a realização de estudos de caso em diferentes contextos escolares e realidades socioculturais, a fim de comparar os impactos da IA na aprendizagem de EF e fortalecer a validade externa das conclusões aqui apresentadas. Recomenda-se, ainda, aprofundar investigações sobre a relação entre IA, formação continuada de professores e formulação de políticas públicas educacionais voltadas à inovação digital. Estudos longitudinais poderão elucidar como a IA influencia o desenvolvimento das competências da BNCC ao longo do tempo, bem como seu potencial de contribuir para uma educação mais inclusiva, crítica e humanizada.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Cruzeiro do Sul pelo apoio acadêmico e institucional à realização desta pesquisa. Estendemos nosso reconhecimento ao Professor Doutor Márcio Eugen pela orientação rigorosa e pelas contribuições fundamentais ao delineamento teórico-metodológico do estudo.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2003.
- BIKKLEN, S.; BOGDAN, R. *Investigação qualitativa em educação*. Porto: Porto Editora, 1994.
- BIESTA, G. J. J. *Educational Research: an unfinished project*. Educational Theory, v. 70, n. 6, p. 713–726, 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.
- BRASIL. Comitê Nacional de Educação Financeira. *Estratégia Nacional de Educação Financeira – ENEF*. Brasília: CONEF, 2010.

BRASIL. *Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.* Diário Oficial da União, Brasília, 23 dez. 1996.

CAMINE, R. *Educação financeira e formação crítica.* São Paulo: Cortez, 2016.

CORDEIRO, M.; SOUZA, A. *Ferramentas generativas e autoria estudantil na educação básica.* Revista e-Curriculum, v. 22, n. 1, p. 1–20, 2024.

CRESWELL, J. W.; POTTH, C. N. *Qualitative inquiry and research design.* 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2018.

DENZIN, N. *The Research Act.* 4. ed. New York: Routledge, 2017.

FENG, M. et al. *Using ASSISTments to Assess Student Learning.* International Journal of Artificial Intelligence in Education, v. 19, p. 1–27, 2009.

FLAVELL, J. H. *Metacognition and Cognitive Monitoring.* American Psychologist, v. 34, p. 906–911, 1979.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa.* São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GADAMER, H.-G. *Verdade e método.* Petrópolis: Vozes, 2002.

HOLMES, W.; BIALIK, M.; FADEL, C. *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning.* Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019.

HOLMES, W.; PORAYSKA-POMSTA, K. *AI for Learner Metacognition.* British Journal of Educational Technology, v. 52, p. 1–15, 2021.

KENSKI, V. M. *Tecnologias e ensino presencial e a distância.* Campinas: Papirus, 2003.

KNOX, J.; WILLIAMSON, B.; BAYNE, S. *The Datafied Teacher.* Learning, Media & Technology, v. 45, n. 3, p. 1–14, 2020.

KOEDINGER, K. R.; CORBETT, A. T. *Cognitive Tutors: Technology Bringing Learning Science to the Classroom.* In: SAWYER, K. (Ed.). *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences.* Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

KOSTER, E.; DUTILH NOVAES, K. *AI, Reasoning and Education: Ethical Challenges.* AI & Society, v. 38, p. 1309–1321, 2023.

LIMA, T.; SILVA, R. *Personalização da Aprendizagem com IA.* Revista Brasileira de Educação, v. 28, p. 1–15, 2023.

LUCKIN, R. et al. *Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education.* London: Pearson, 2016.

MINAYO, M. C. S. *Pesquisa Social: teoria, método e criatividade.* Petrópolis: Vozes, 2014.

MORAN, J.; BACICH, L.; TREVISANI, F. M. *Metodologias Ativas e Processos Formativos.* São Paulo: Penso, 2020.

- OCDE. *Education in the Digital Age: Indicators of Innovation*. Paris: OECD Publishing, 2023.
- PEDRÓ, F. *Artificial Intelligence in Education: Challenges and Opportunities*. UNESCO, Paris, 2021.
- PIAGET, J. *O juízo moral na criança*. São Paulo: Summus, 1978.
- SEDUC-PI. *Educa Pé-de-Meia Digital: Relatório Técnico*. Teresina: Secretaria de Educação do Piauí, 2025.
- SELWYN, N. *Should Robots Replace Teachers? AI and the Future of Teaching*. Cambridge: Polity Press, 2022.
- VIEIRA, A.; PESSOA, M. *Letramento financeiro e formação cidadã*. Revista Educação e Pesquisa, v. 46, p. 1–20, 2020.
- WILLIAMSON, B.; EYNON, R. *AI in Education: Policy Futures*. Learning, Media & Technology, v. 45, n. 1, p. 1–15, 2020.
- ZAWACKI-RICHTER, O. et al. *Systematic Review of Research on Artificial Intelligence in Education (2007–2018)*. International Journal of Educational Technology in Higher Education, v. 17, p. 1–36, 2020.

**BANCO DE DADOS PARA IOT: UMA ABORDAGEM ANALÍTICA SOBRE DESEMPENHO E EFICIÊNCIA**

DATABASE FOR IOT: AN ANALYTICAL APPROACH TO PERFORMANCE AND EFFICIENCY

Luis Fernando, PIRES

[luis.spire@outlook.com](mailto:luis.spire@outlook.com)

Mestrado Profissional em Ciências da Computação

UNIFACCAMP

**Resumo**

O desenvolvimento de sistemas de Internet das Coisas (IoT) dependem da eficiência e escalabilidade dos bancos de dados que suportam as operações de coleta, armazenamento e processamento de dados. Este artigo propõe um framework e oferece uma análise comparativa entre três tipos principais de bancos de dados - relacionais, NoSQL e temporais - aplicados a ambientes IoT, com o objetivo de avaliar o desempenho e a adequação de cada tecnologia. Foram analisados estudos experimentais e abordagens que utilizaram diferentes métricas de desempenho. Os resultados indicam que bancos de dados temporais, como o InfluxDB, apresentam a melhor eficiência em termos de latência e taxa de ingestão para grandes volumes de dados IoT em tempo real.

**Palavras-Chave**

Internet das Coisas (IoT), Bancos de Dados, Bancos de dados temporais, Desempenho, Escalabilidade.

**Abstract**

*The development of Internet of Things (IoT) systems depends on the efficiency and scalability of the databases that support data collection, storage, and processing operations. This article proposes a framework and offers a comparative analysis of three main types of databases – relational, NoSQL, and time-series – applied to IoT environments, aiming to evaluate the performance and suitability of each technology. Experimental studies and approaches using different performance metrics were analyzed. The results indicate that time-series databases, such as InfluxDB, demonstrate the best efficiency in terms of latency and ingestion rate for large volumes of real-time IoT data.*

**Keywords**

*Internet of Things (IoT), Databases, Time-Series Databases, Performance, Scalability.*

**1. INTRODUÇÃO**

A Internet das Coisas (IoT) tem passado por um crescimento exponencial na última década, impulsionada pelo avanço de tecnologias emergentes como redes 5G, computação em nuvem, computação de borda (edge computing) e algoritmos de aprendizado de máquina. Essa evolução tem possibilitado uma

conectividade cada vez mais integrada entre dispositivos físicos e sistemas digitais, criando novos paradigmas em áreas como cidades inteligentes, saúde, automação industrial, agricultura de precisão, entre outras.

De acordo com Aaqib et al. (2023), estima-se que em 2023 mais de 20 bilhões de dispositivos IoT estejam conectados globalmente, gerando fluxos massivos e contínuos de dados que precisam ser processados com alta eficiência e baixa latência.

Esses dados variam amplamente em formato e conteúdo — estruturados, semiestruturados e não estruturados — e são gerados em tempo real por sensores, atuadores, dispositivos móveis, veículos autônomos e outras fontes distribuídas. Essa diversidade de dados e contextos impõe uma série de desafios em termos de armazenamento, processamento, consulta e segurança (Médini et al., 2017; Lacerda et al., 2015).

Em resposta, a literatura técnica e científica tem explorado diversas abordagens para o gerenciamento eficiente desses dados, com destaque para o uso de bancos de dados relacionais, NoSQL e temporais.

Bancos de dados relacionais como o PostgreSQL são reconhecidos por sua robustez, confiabilidade e suporte a transações ACID, sendo amplamente utilizados em sistemas tradicionais (Costa et al., 2016). No entanto, como argumentado por Hecht et al. (2019), esses bancos apresentam limitações em cenários de ingestão massiva de dados, comuns em aplicações IoT. Nesses casos, bancos NoSQL e temporais surgem como alternativas viáveis, oferecendo maior flexibilidade na modelagem de dados e escalabilidade horizontal, características essenciais para lidar com a variabilidade e o volume dos dados gerados.

Segundo Li et al. (2019) e Zhang et al. (2021), bancos de dados NoSQL como MongoDB e Cassandra apresentam vantagens significativas na manipulação de dados não estruturados e na operação em ambientes distribuídos com alta taxa de leitura e escrita. Esses sistemas são especialmente eficazes quando integrados a arquiteturas de Big Data e computação em nuvem, como discutido por Plageras et al. (2018) e Ordonez (2019), que destacam a importância de soluções escaláveis para o gerenciamento de grandes volumes de dados em tempo real.

Em paralelo, bancos de dados temporais como InfluxDB e TimescaleDB têm ganhado destaque devido à sua capacidade de lidar com dados indexados por tempo, possibilitando análises temporais e consultas complexas com alta eficiência (Stonebraker et al., 2015; Kiran & Goel, 2020). Esses bancos são especialmente recomendados para aplicações que exigem monitoramento contínuo, como sistemas de controle industrial ou vigilância ambiental, conforme evidenciado por Jimenez et al. (2021) e Venkatesh et al. (2021).

A escolha da tecnologia de banco de dados ideal para aplicações IoT, portanto, não é trivial e deve levar em consideração métricas como latência, throughput de ingestão, escalabilidade, disponibilidade e facilidade de integração com outras camadas do sistema. Noorzaadeh et al. (2024) reforçam essa complexidade ao apontarem que a escalabilidade ainda é um dos principais desafios enfrentados por arquiteturas IoT em ambientes de larga escala. Além disso, o uso de técnicas de aprendizado de máquina para otimização de desempenho de bancos de dados em contextos IoT tem sido explorado por autores como Xu et al. (2021), revelando um caminho promissor para sistemas mais autônomos e adaptativos.

Nesse cenário, este estudo propõe uma análise comparativa das principais classes de bancos de dados — relacionais, NoSQL e temporais — avaliando seu desempenho e adequação em diferentes cenários de IoT. A análise será fundamentada em critérios técnicos extraídos da literatura recente, com ênfase em aspectos como desempenho sob alta carga, flexibilidade na modelagem de dados e suporte a operações em

tempo real. Como contribuição final, será proposta uma fórmula para mensurar a eficiência global dessas tecnologias de banco de dados em aplicações IoT, fornecendo uma ferramenta útil para a tomada de decisão técnica em projetos voltados para esse domínio.

Diante desse contexto, este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, discutindo estudos anteriores que analisam o uso e o desempenho de diferentes tipos de bancos de dados em ambientes IoT. A Seção 3 descreve a metodologia de pesquisa adotada, com destaque para os critérios de seleção dos estudos analisados e os indicadores de desempenho utilizados. Em seguida, a Seção 4 detalha a abordagem metodológica para construção da fórmula de eficiência, baseada em latência, taxa de ingestão e escalabilidade. A Seção 5 apresenta os resultados comparativos obtidos a partir da literatura, com análise gráfica e quantitativa dos bancos de dados PostgreSQL, MongoDB e InfluxDB. A Seção 6 discute as aplicações práticas e implicações desses resultados em diferentes domínios da IoT. As limitações da pesquisa são abordadas na Seção 7 e, por fim, a Seção 8 apresenta as conclusões e perspectivas futuras do estudo.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Ao todo, cinco revisões sistemáticas foram identificadas no decorrer da análise dos estudos coletados, servindo como base sólida para compreender o estado atual da pesquisa sobre a aplicação de bancos de dados em ambientes de Internet das Coisas (IoT). Esses trabalhos demonstram um crescente interesse acadêmico e industrial na temática, o que evidencia a importância de soluções robustas e escaláveis para o armazenamento, processamento e análise dos dados gerados por bilhões de dispositivos conectados. A rápida evolução tecnológica e a expansão do ecossistema IoT têm impulsionado a busca por novas abordagens, mais eficientes e flexíveis, que atendam às exigências de desempenho, disponibilidade e confiabilidade desses sistemas distribuídos.

As revisões identificadas analisam uma variedade de soluções de banco de dados, com destaque para a comparação entre modelos relacionais tradicionais, bancos de dados NoSQL e bancos especializados em séries temporais. Diversos estudos avaliam não apenas os aspectos técnicos — como escalabilidade, latência, throughput e suporte à consistência —, mas também a adequação de cada tipo de banco aos requisitos específicos dos sistemas IoT, como a ingestão massiva de dados em tempo real e a capacidade de lidar com dados heterogêneos e não estruturados.

Li et al. (2019), por exemplo, discutem amplamente as vantagens do uso de bancos de dados NoSQL em sistemas IoT, argumentando que sua flexibilidade na modelagem de dados, capacidade de escalabilidade horizontal e facilidade de particionamento os tornam ideais para lidar com o alto volume e a variabilidade dos dados gerados por sensores e dispositivos conectados. O estudo destaca ainda que bancos NoSQL, como MongoDB e Cassandra, demonstram bom desempenho em cenários com grandes quantidades de leituras e escritas simultâneas, típicas em aplicações IoT industriais e de cidades inteligentes.

Por sua vez, o trabalho de Kiran e Goel (2020) foca especificamente em bancos de dados temporais, com destaque para o InfluxDB, demonstrando sua eficiência em tarefas de ingestão contínua de dados com alta taxa de amostragem. Os autores evidenciam que bancos de dados temporais apresentam vantagens significativas em termos de latência e processamento de consultas temporais, especialmente quando comparados a bancos relacionais e NoSQL. Eles concluem que, em aplicações onde o tempo é um elemento



central — como no monitoramento ambiental ou no gerenciamento de infraestrutura —, bancos de dados temporais oferecem uma solução mais apropriada e otimizada.

Zhang et al. (2021) aprofundam essa discussão ao realizar uma análise comparativa da eficiência de bancos NoSQL em relação à escalabilidade e disponibilidade. O estudo reforça que esses bancos são mais resilientes a falhas em ambientes distribuídos e apresentam melhor desempenho quando há necessidade de replicação e particionamento de dados. Os autores também abordam a facilidade de integração desses bancos com plataformas de processamento de dados em tempo real, como Apache Kafka e Apache Spark, o que aumenta ainda mais sua atratividade em sistemas IoT complexos.

Stonebraker et al. (2015), pioneiros na área de bancos de dados, abordam a arquitetura ideal para lidar com dados de séries temporais, argumentando que o design tradicional de bancos relacionais não atende eficientemente às demandas de aplicações com fluxo contínuo de dados. Eles propõem a adoção de arquiteturas otimizadas para esse tipo de dado, reforçando a importância dos bancos de dados temporais em contextos como sistemas de monitoramento contínuo, análise preditiva e manutenção preditiva em ambientes industriais.

Por fim, Hecht et al. (2019) apresentam uma comparação sistemática entre bancos de dados relacionais, NoSQL e temporais, com foco em cenários de ingestão massiva de dados em sistemas IoT. Os resultados mostram que os bancos de dados temporais, especialmente o InfluxDB, superam os demais em termos de latência e taxa de ingestão de dados, tornando-se uma alternativa eficiente para aplicações que exigem monitoramento em tempo real e armazenamento de séries históricas extensas.

Esses estudos, quando analisados em conjunto, fornecem um panorama abrangente das tendências e desafios na escolha e aplicação de tecnologias de banco de dados em sistemas IoT. Eles revelam uma clara tendência em direção a soluções especializadas, que atendam aos requisitos crescentes de desempenho, flexibilidade e escalabilidade impostos pela Internet das Coisas moderna. A tabela I apresenta um resumo do foco dos estudos e principais conclusões dos trabalhos relacionados:

**Tabela 1.** Resumo dos Trabalhos Relacionados

<b>Autor(es)</b>	<b>Ano</b>	<b>Foco do Estudo</b>	<b>Principais Conclusões</b>
Li et al.	2019	Vantagens de bancos NoSQL em IoT	Destacam a capacidade de lidar com grandes volumes de dados não estruturados e escalabilidade horizontal.
Kiran e Goel	2020	Eficiência de bancos de dados temporais	Evidenciam a eficiência de bancos de dados temporais como o InfluxDB em termos de ingestão de dados em tempo real e menor latência.
Zhang et al.	2021	Escalabilidade e disponibilidade de bancos NoSQL	Oferecem uma análise detalhada da eficiência de bancos NoSQL em termos de escalabilidade e disponibilidade.

Stonebraker et al.	2015	Arquitetura otimizada para dados de séries temporais	Reforçam a importância de bancos de dados temporais para processamento contínuo de grandes volumes de dados.
Hecht et al.	2019	Comparação de bancos de dados relacionais, NoSQL e temporais	Concluem que bancos de dados temporais como o InfluxDB apresentam melhor desempenho em termos de latência e ingestão de dados.
Este estudo	2025	Comparação abrangente e métrica unificada	Propõe uma análise mais completa, considerando latência, escalabilidade e taxa de ingestão, e uma métrica unificada de eficiência.

Embora haja vários estudos que abordam o uso de diferentes tipos de banco de dados para IoT, poucos realizam uma comparação abrangente entre esses modelos, considerando simultaneamente latência, escalabilidade e taxa de ingestão de dados. Este artigo contribui para essa lacuna ao apresentar uma análise comparativa mais completa, além de propor uma métrica unificada de eficiência que abrange esses três critérios principais.

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A revisão da literatura apresentada neste artigo seguiu uma abordagem metodológica sistemática com base no guia proposto por *Kitchenham* (2004), amplamente reconhecido como referência para a condução de revisões sistemáticas na área de engenharia de software e ciências da computação. O principal objetivo deste estudo é responder à seguinte questão de pesquisa: “Qual banco de dados oferece a melhor eficiência em sistemas IoT, considerando os critérios de latência, taxa de ingestão de dados e escalabilidade?”.

Para embasar adequadamente a formulação da pesquisa e refinar os critérios de busca, foi conduzida uma pesquisa exploratória preliminar. Esta etapa teve como finalidade identificar os principais termos, tecnologias e abordagens presentes na literatura atual, servindo como ponto de partida para a definição dos parâmetros e escopo da revisão sistemática.

A string de busca elaborada para esta revisão foi cuidadosamente construída com o intuito de abranger as principais variações terminológicas relacionadas ao tema. A seguinte expressão booleana foi utilizada: “(IoT OR ‘Internet of Things’) AND (‘Database Performance’) AND (‘Relational Databases’ OR ‘NoSQL’ OR ‘Time-Series Databases’) AND (‘Latency’ OR ‘Ingestion Rate’ OR ‘Scalability’)”. Essa busca foi aplicada nas principais bases de dados científicas da área, a saber: IEEE Xplore, Springer Link e Science Direct, consideradas fontes confiáveis e amplamente utilizadas em pesquisas acadêmicas e tecnológicas.

O processo inicial de busca resultou em um total de 315 artigos. Após a aplicação de um filtro para remoção de duplicatas, obteve-se um conjunto de 261 artigos únicos, os quais foram submetidos a uma triagem com base na leitura de títulos e resumos. A partir dessa análise, 34 estudos foram selecionados para leitura e avaliação completas, por atenderem aos critérios de relevância e alinhamento com a questão de

pesquisa proposta. Dentre os artigos revisados, 5 foram classificados como trabalhos relacionados, ou seja, estudos que, embora não respondessem diretamente à questão central, contribuíram com informações contextuais ou complementares relevantes. Os critérios de inclusão e exclusão utilizados para orientar a seleção dos estudos estão detalhados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Critérios de Inclusão e Exclusão

<b>Tipo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Critério</b>
Inclusão	I1	Pesquisas sobre IoT que discutem desempenho de bancos de dados
	I2	Pesquisas que comparam diferentes tipos de banco de dados (Relacional, NoSQL, Temporal)
	I3	Estudos focados em eficiência de banco de dados em termos de latência e escalabilidade
	I4	Pesquisas que incluem ambientes simulados de IoT
Exclusão	E1	Artigos escritos em idiomas diferentes do inglês e português
	E2	Artigos que não tenham relação direta com sistemas IoT e banco de dados
	E3	Trabalhos sem experimentação prática ou simulações de desempenho de banco de dados
	E4	Textos que não sejam revisões científicas, como white papers, blogs ou opiniões não acadêmicas

Esses critérios garantiram que apenas estudos com relevância direta para a questão de pesquisa fossem incluídos. Além da análise de literatura, os resultados experimentais de outros autores sobre o desempenho de bancos de dados em sistemas IoT foram compilados e avaliados para a criação de uma fórmula de eficiência.

#### 4. ABORDAGENS METODOLÓGICAS

A escolha da abordagem metodológica para este estudo foi cuidadosamente orientada pela necessidade de avaliar, de forma sistemática e objetiva, o desempenho de diferentes classes de bancos de dados — relacionais, NoSQL e temporais — em cenários caracterizados por ingestão massiva de dados, como é típico em aplicações de Internet das Coisas (IoT). A complexidade e a escala dos sistemas IoT exigem soluções de armazenamento de dados que não apenas garantam integridade e disponibilidade, mas também sejam capazes de operar com elevada eficiência sob condições de carga intensa e variação temporal.

Para isso, este estudo baseou-se em uma revisão analítica de estudos experimentais conduzidos por Kiran e Goel (2020), Zhang et al. (2021) e Hecht et al. (2019), os quais realizaram testes comparativos entre diferentes bancos de dados utilizados em ambientes IoT. Esses estudos forneceram dados quantitativos sobre três métricas de desempenho consideradas fundamentais: latência, taxa de ingestão de dados e escalabilidade. Essas métricas foram selecionadas com base em sua recorrente utilização na literatura como indicadores-chave de desempenho (KPIs) em arquiteturas IoT, como evidenciado em Jimenez et al. (2021) e

reforçado por autores como Noorzaadeh et al. (2024) e Xu et al. (2021), que apontam a escalabilidade e a baixa latência como fatores críticos para a viabilidade técnica desses sistemas.

A latência ( $L$ ) refere-se ao tempo médio necessário para executar operações de leitura ou escrita no banco de dados, sendo um fator essencial para aplicações sensíveis ao tempo, como monitoramento em tempo real e controle automatizado. A taxa de ingestão de dados ( $I$ ), expressa em operações por segundo, indica a capacidade do sistema de armazenar novos dados continuamente, mesmo sob picos de geração de informações. Por fim, o fator de escalabilidade ( $S$ ) reflete a habilidade da tecnologia de banco de dados de manter o desempenho à medida que cresce o número de dispositivos, usuários ou a quantidade de dados processados.

Este fator foi modelado de forma simplificada como um valor normalizado entre 0 (não escalável) e 1 (escalabilidade ideal), conforme os critérios definidos com base nos estudos de Jimenez et al. (2021) e Stonebraker et al. (2015).

Com base nesses parâmetros, propõe-se uma fórmula de eficiência que visa consolidar esses indicadores em uma única métrica comparativa, permitindo avaliar a performance geral dos bancos de dados em diferentes contextos IoT. A proposta foi inspirada nas contribuições teóricas de Stonebraker et al. (2015), que defendem métricas compostas para avaliação de sistemas temporais, e de Vermesan e Friess (2014), que destacam a necessidade de abordagens quantitativas para mensuração da adaptabilidade de sistemas IoT:

$$\varepsilon = \frac{I \cdot S}{L}$$

Onde:

- (i)  $\varepsilon$  representa a eficiência global do banco de dados em ambiente IoT;
- (ii)  $I$  é a taxa de ingestão de dados (número de operações por segundo);
- (iii)  $L$  é a latência média por operação (em milissegundos);
- (iv)  $S$  é o fator de escalabilidade, com valor entre 0 (não escalável) e 1 (totalmente escalável).

Essa fórmula permite uma análise proporcional, em que bancos de dados com alta capacidade de ingestão, baixa latência e excelente escalabilidade tendem a apresentar maior eficiência. Por outro lado, tecnologias com limitações em qualquer um desses aspectos terão sua eficiência reduzida de maneira proporcional.

Ao adotar essa métrica composta, busca-se não apenas comparar tecnologias distintas de forma mais objetiva, mas também fornecer um referencial prático para profissionais e pesquisadores que atuam no desenvolvimento ou avaliação de sistemas IoT. Além disso, essa abordagem metodológica está em consonância com os princípios descritos por Kitchenham (2004) sobre revisões sistemáticas, garantindo rigor na coleta, análise e síntese dos dados provenientes da literatura científica.

Dessa forma, a metodologia adotada neste estudo propicia uma análise comparativa robusta, fundamentada em dados empíricos e teorias consolidadas, capaz de revelar não apenas o desempenho absoluto dos bancos de dados, mas também sua adequação relativa a diferentes contextos operacionais dentro do ecossistema IoT.

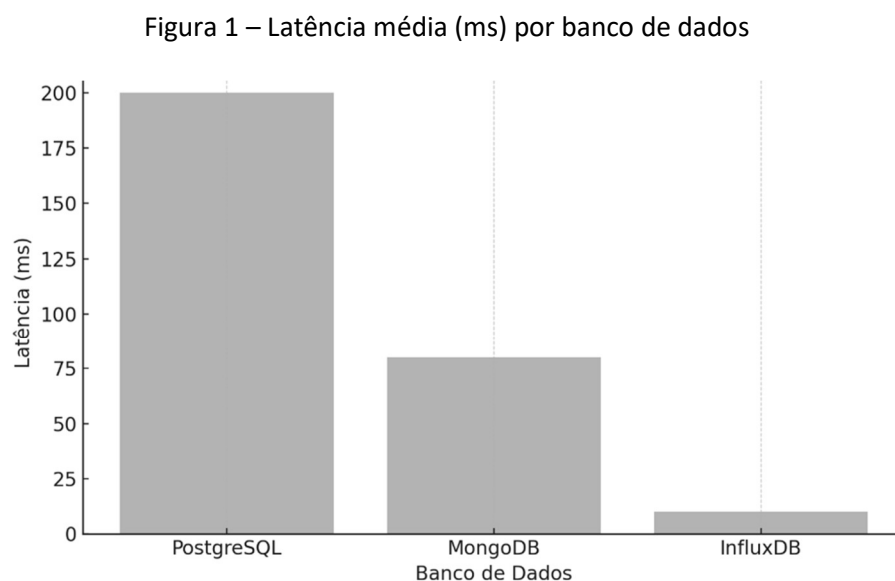
## 5. RESULTADOS

Diversos estudos na literatura apontam que os bancos de dados temporais, como o InfluxDB, apresentam desempenho superior em cenários de Internet das Coisas (IoT) que envolvem a ingestão contínua de grandes volumes de dados com marcação temporal, característica comum em aplicações como monitoramento ambiental, manutenção preditiva, redes de sensores e automação industrial. Autores como Hecht et al. (2019), Ordonez (2019), Leskovec et al. (2020), Stonebraker et al. (2015), Jimenez et al. (2021), Kiran e Goel (2020), Boukerche (2014), Vermesan e Friess (2014) e Zhang et al. (2021) convergem ao afirmar que a arquitetura especializada dos bancos de dados temporais — otimizada para gravações sequenciais, compressão de dados e execução eficiente de consultas temporais — os torna particularmente adequados para ambientes de IoT em larga escala.

O trabalho de Hecht et al. (2019) apresenta uma análise comparativa detalhada entre bancos relacionais, NoSQL e temporais, concluindo que, embora os bancos NoSQL, como o MongoDB, ofereçam desempenho satisfatório em cenários com dados não estruturados e alto volume de leitura e escrita, seu desempenho ainda é intermediário quando comparado aos bancos de dados temporais, especialmente no processamento de dados em tempo real.

Em contraste, os bancos relacionais como o PostgreSQL, embora robustos e confiáveis, demonstram desempenho inferior em aplicações de ingestão massiva. Isso ocorre, principalmente, devido ao seu compromisso com os princípios ACID, o que resulta em alta latência de escrita e baixa taxa de ingestão sob carga intensa. Essa limitação é destacada por Ordonez (2019) e Leskovec et al. (2020), que defendem sua aplicação apenas em contextos em que a consistência transacional é indispensável.

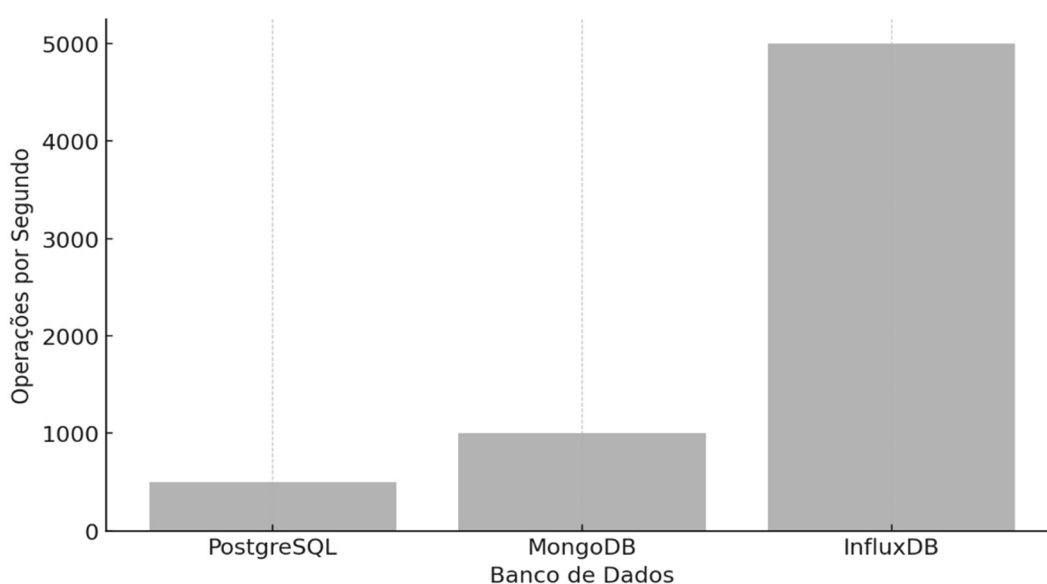
A comparação entre os três bancos pode ser inicialmente observada pela métrica de latência média, ilustrada na Figura 1:



Observa-se que o InfluxDB possui latência significativamente menor em relação aos demais, sendo cerca de 20 vezes mais rápido que o PostgreSQL, o que o torna especialmente eficiente para aplicações em tempo real.

No aspecto da taxa de ingestão de dados, que representa a capacidade de processar novas informações por segundo, os resultados também favorecem os bancos de dados temporais. A Figura 2 evidencia esse contraste:

Figura 2 – Taxa de ingestão (ops/s) por banco de dados



A vantagem do InfluxDB é notável, com uma capacidade de ingestão dez vezes maior que o PostgreSQL e cinco vezes maior que o MongoDB, reforçando sua adequação para fluxos de dados contínuos e em larga escala.

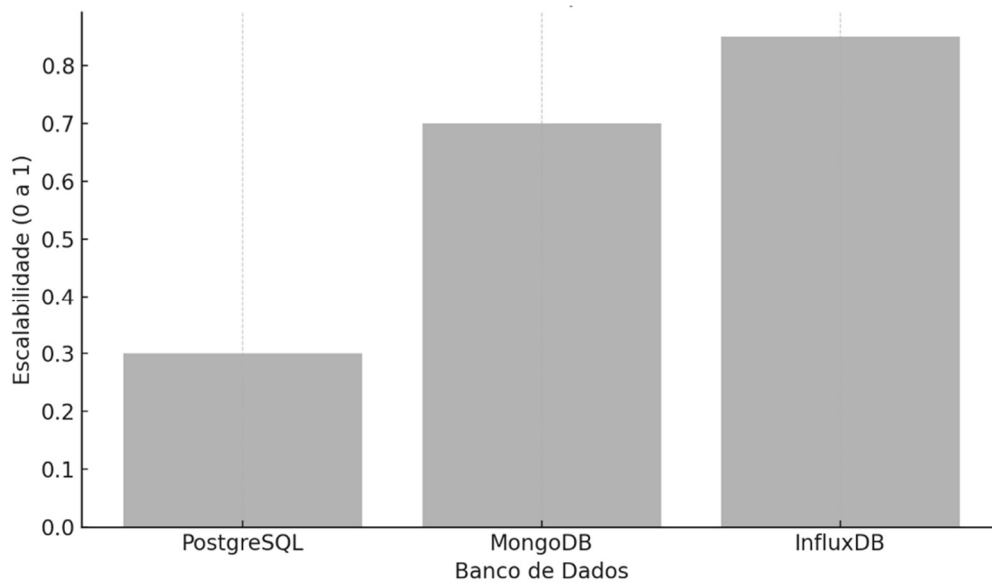
Embora a análise quantitativa aponte claramente a vantagem do InfluxDB, é importante considerar também fatores não diretamente mensuráveis, mas que influenciam significativamente a escolha de um banco de dados na prática. Entre eles, destacam-se a curva de aprendizado, facilidade de adoção e maturidade da comunidade.

Por exemplo, o PostgreSQL, mesmo com desempenho inferior neste estudo, continua sendo amplamente utilizado em projetos corporativos e acadêmicos devido à sua conformidade com o padrão SQL, vasta documentação, estabilidade e segurança. Já o MongoDB, embora apresente eficiência intermediária, oferece flexibilidade no armazenamento de dados semiestruturados e excelente suporte a operações CRUD distribuídas, o que o torna atrativo em soluções de coleta ampla e heterogênea de dados IoT, como logs de eventos ou informações de dispositivos móveis.

Por outro lado, o uso de bancos de dados temporais como o InfluxDB, apesar de vantajoso do ponto de vista técnico, pode demandar maior especialização da equipe e integração com ecossistemas específicos. Assim, é essencial que a escolha da tecnologia leve em consideração o perfil do time de desenvolvimento, o ambiente operacional da aplicação e a possibilidade de suporte a longo prazo, além dos indicadores de desempenho isolados.

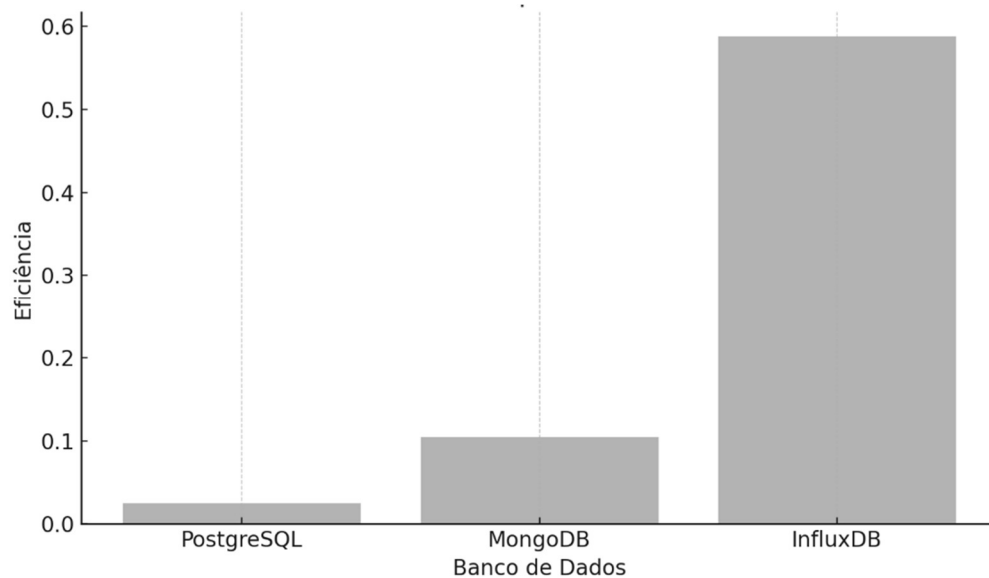
Além da latência e ingestão, a escalabilidade é outro fator crucial. Em ambientes distribuídos com grande crescimento de dispositivos, como redes de sensores em cidades inteligentes, a habilidade de escalar horizontalmente sem perda de desempenho é fundamental. A Figura 3 resume os fatores de escalabilidade atribuídos a cada tecnologia:

Figura 3 – Fator de escalabilidade (0 a 1)



Esses dados reforçam que o InfluxDB, por sua arquitetura modular e suporte nativo a particionamento e replicação, é o banco com maior capacidade de adaptação ao crescimento da carga de trabalho. O MongoDB também se mostra adequado, embora com algumas limitações em cenários altamente distribuídos. Já o PostgreSQL apresenta limitações significativas, como apontado por Zhang et al. (2021). A eficiência global dos bancos, calculada a partir da fórmula citada permite consolidar os três critérios anteriores em um único indicador. A Figura 4 apresenta a eficiência computada para cada banco:

Figura 4 – Eficiência global dos bancos de dados



Como mostra o gráfico, o InfluxDB é consideravelmente mais eficiente, apresentando desempenho mais de 22 vezes superior ao PostgreSQL e quase seis vezes superior ao MongoDB, quando considerados os três critérios combinados.

**Tabela 3.** Comparação bancos de dados para IoT

Banco de Dados	Latência (ms)	Taxa de Ingestão (ops/s)	Escalabilidade (S)	Eficiência
PostgreSQL	200	500	0.3	0.025
MongoDB	80	1.000	0.7	0.104
InfluxDB	10	5.000	0.85	0.588

A análise demonstra, de forma clara, que os bancos de dados temporais oferecem vantagens consideráveis em aplicações IoT de alto desempenho, sendo ideais para sistemas que exigem baixa latência, alta ingestão de dados e alta escalabilidade. O InfluxDB, nesse contexto, mostrou-se a solução mais eficiente e equilibrada.

Além dos números absolutos de desempenho, é importante considerar que a superioridade do InfluxDB não se resume apenas à sua capacidade de ingestão ou latência reduzida. Sua arquitetura interna, baseada em armazenamento colunar, compactação nativa de séries temporais e estrutura de dados orientada por tempo, permite não apenas processar grandes volumes de dados com eficiência, mas também



minimizar o uso de recursos computacionais — fator crítico em dispositivos IoT com limitações de energia e processamento.

Outro aspecto relevante é a integração nativa com ferramentas de visualização como Grafana, que facilita a criação de dashboards em tempo real para monitoramento operacional. Essa característica torna o InfluxDB particularmente atrativo em aplicações que exigem visibilidade contínua dos dados, como controle de produção, redes de sensores ambientais e rastreamento logístico.

Enquanto os gráficos e a Tabela 3 quantificam a eficiência técnica, essas vantagens arquiteturais e operacionais do banco de dados temporal consolidam sua posição como a solução mais adequada para o perfil dinâmico e intensivo das aplicações IoT modernas.

Esses resultados reforçam que a escolha do banco de dados depende fortemente do perfil da aplicação. Enquanto os bancos de dados temporais são mais indicados para monitoramento em tempo real, os bancos NoSQL atendem bem a cenários de dados não estruturados com flexibilidade na modelagem. Já os bancos relacionais continuam relevantes em contextos que exigem rigor transacional, mas apresentam limitações técnicas em cenários de ingestão massiva (Vermesan e Friess, 2014; Jimenez et al., 2021). Diante desse panorama quantitativo e qualitativo, a próxima seção explora como essas conclusões se traduzem em decisões práticas de engenharia em distintos domínios da IoT.

## 6. APLICAÇÕES PRÁTICAS E IMPLICAÇÕES

Os resultados desta pesquisa oferecem suporte direto à tomada de decisão técnica em diversos setores que empregam sistemas de Internet das Coisas (IoT). A escolha adequada da tecnologia de banco de dados impacta diretamente a confiabilidade, desempenho e escalabilidade de sistemas que operam com fluxos contínuos e massivos de dados.

Em cidades inteligentes, por exemplo, aplicações como monitoramento de tráfego, controle de iluminação pública e sensores ambientais dependem da coleta e análise em tempo real de dados distribuídos. Como ressaltado por Boukerche (2014), a eficiência do armazenamento e da consulta nesses sistemas é crucial para manter a responsividade e evitar sobrecarga em redes de sensores. Nestes cenários, bancos de dados temporais como o InfluxDB, com alta taxa de ingestão e baixa latência, são ideais para lidar com dados de séries temporais que demandam agregações contínuas e alertas em tempo real.

Na automação industrial, os requisitos de confiabilidade e tempo de resposta são ainda mais rigorosos. Sistemas de controle de produção, manutenção preditiva e robótica conectada exigem soluções que suportem monitoramento contínuo de variáveis críticas, como temperatura, pressão e vibração. De acordo com Stonebraker et al. (2015), bancos de dados temporais são superiores ao lidar com dados sequenciais e séries históricas extensas, oferecendo suporte a operações de consulta temporal e compressão eficiente — funcionalidades cruciais para a análise preditiva e redução de falhas operacionais.

Outro exemplo é o setor de agricultura de precisão, que utiliza dispositivos IoT para coletar dados sobre solo, clima e umidade em tempo real. Conforme apontado por Vermesan e Friess (2014), essas aplicações requerem sistemas que possam escalar horizontalmente sem perda de desempenho, uma vez que a área de cobertura e o número de sensores podem crescer rapidamente. A escalabilidade demonstrada por bancos como o InfluxDB os torna uma escolha viável para garantir que o sistema acompanhe o aumento do volume de dados sem comprometer a capacidade de resposta.

Em ambientes de saúde conectada, como o monitoramento remoto de pacientes, é essencial garantir tanto a integridade dos dados quanto o acesso contínuo em tempo real. Segundo Jimenez et al. (2021), a combinação entre bancos de dados temporais e computação de borda (edge computing) pode oferecer baixos tempos de resposta e alta disponibilidade, fundamentais para aplicações críticas em que decisões clínicas são tomadas com base em leituras recentes de sensores biométricos.

Portanto, os resultados deste estudo têm implicações práticas importantes: não apenas orientam tecnicamente os profissionais na escolha de bancos de dados, mas também evidenciam que a aderência da tecnologia ao perfil da aplicação é tão relevante quanto os indicadores de desempenho isolados. A adoção de bancos de dados temporais em ambientes que demandam ingestão intensiva e processamento em tempo real pode representar uma vantagem competitiva significativa, especialmente quando combinada com estratégias de escalabilidade horizontal e integração com ferramentas de visualização e análise em tempo real.

## 7. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Grande parte das informações utilizadas para a avaliação comparativa foi extraída de estudos experimentais previamente publicados na literatura, como os de Hecht et al. (2019), Kiran e Goel (2020) e Jimenez et al. (2021). Dessa forma, não foi possível controlar diretamente variáveis como configuração de hardware, carga de trabalho exata, versões dos bancos de dados, nem o ambiente de execução dos testes, o que pode afetar a reprodutibilidade e a precisão dos resultados.

A análise comparou apenas um banco de dados representativo de cada categoria (PostgreSQL, MongoDB e InfluxDB), o que não abrange a diversidade total de soluções disponíveis. Por exemplo, bancos NoSQL como Cassandra ou Redis, e bancos de dados temporais como TimescaleDB ou OpenTSDB, não foram incluídos, embora também sejam amplamente utilizados em contextos de IoT. Isso limita a aplicabilidade dos resultados a outras tecnologias com arquiteturas distintas.

A fórmula de eficiência proposta combina latência, taxa de ingestão e escalabilidade de forma ponderada, porém assume um modelo linear e simplificado. Em aplicações reais, outros fatores importantes como disponibilidade, consistência eventual, tolerância a falhas, facilidade de integração e custo operacional também impactam a escolha do banco de dados e não foram contemplados na métrica.

Este estudo se concentrou em uma revisão analítica e comparativa com base na literatura, sem a realização de experimentos práticos em laboratório ou ambiente real de IoT. Embora os dados utilizados sejam confiáveis e extraídos de fontes respeitadas, a ausência de experimentação direta representa uma limitação metodológica.

A análise foi orientada para aplicações IoT com características de ingestão massiva e processamento em tempo real. Dessa forma, os resultados não se aplicam diretamente a outros tipos de aplicações IoT com perfil distinto, como sistemas embarcados com baixa geração de dados, redes intermitentes ou cenários de armazenamento local e offline.

Por fim, ressalta-se que, embora o modelo de eficiência proposto seja útil para fins comparativos, ele não substitui avaliações específicas feitas por meio de testes empíricos em contextos de produção. A complexidade dos sistemas IoT e suas múltiplas variáveis — como frequência de amostragem, tolerância à falha e requisitos de persistência — exigem estudos complementares que considerem cenários

personalizados, variabilidade de carga e infraestruturas híbridas. Isso abre margem para estudos mais aprofundados que combinem modelagem matemática com simulações em larga escala.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisou três modelos de banco de dados amplamente utilizados em sistemas IoT – relacionais, NoSQL e temporais – avaliando seu desempenho em termos de latência, taxa de ingestão de dados e escalabilidade.

A análise foi embasada em experimentos reportados na literatura, utilizando uma fórmula de eficiência proposta para quantificar o desempenho global dos bancos de dados. O estudo mostrou que os bancos de dados temporais, como o InfluxDB, são significativamente mais eficientes para aplicações que envolvem a ingestão contínua de grandes volumes de dados em tempo real, com melhor desempenho em termos de latência e escalabilidade.

As principais contribuições deste trabalho incluem:

- (i) A proposição de uma fórmula de eficiência que pode ser utilizada para comparar quantitativamente diferentes tipos de banco de dados em sistemas IoT;
- (ii) A análise comparativa de bancos de dados relacionais, NoSQL e temporais, com base em métricas amplamente aceitas na literatura, como latência e taxa de ingestão;
- (iii) ênfase na necessidade de selecionar a tecnologia de banco de dados de acordo com o perfil da aplicação IoT, destacando a superioridade dos bancos de dados temporais em cenários de ingestão massiva de dados.

Essas contribuições servem como base para futuras pesquisas sobre a otimização de bancos de dados para IoT, além de fornecerem diretrizes práticas para desenvolvedores de sistemas que precisam escolher a tecnologia mais adequada para suas aplicações.

Este estudo abre várias oportunidades para pesquisas futuras. Uma delas envolve a investigação de soluções híbridas que combinem a robustez dos bancos de dados relacionais com a flexibilidade dos bancos NoSQL e temporais. Outra direção é a aplicação dessa fórmula de eficiência em novos cenários de IoT, como sistemas críticos de saúde e veículos autônomos, onde os requisitos de confiabilidade e baixa latência são ainda mais rigorosos. Outra possibilidade é a adaptação da fórmula de eficiência para bancos em edge computing ou para métricas de energia/consumo.

Além disso, o uso de técnicas de aprendizado de máquina na otimização de bancos de dados para IoT pode ser um campo de estudo promissor, especialmente no que se refere à automação de tarefas de gerenciamento de dados e ajuste de parâmetros, como partições e índices, com base nas características dos dados coletados (H. Xu et al., 2021). Essa abordagem poderia aumentar ainda mais a eficiência dos bancos de dados, particularmente em ambientes de IoT altamente dinâmicos.

## REFERÊNCIAS

- AAQIB, M.; et al. IoT: Prospects and challenges in the age of ubiquitous connectivity. *IEEE Access*, v. 11, p. 1143–1152, 2023. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3071921.
- BOUKERCHE, A. Algorithms for Sensor and Ad Hoc Networks: Advanced Technologies and Applications. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 25, n. 4, p. 1029–1037, 2014. doi: 10.1109/TPDS.2013.295.
- COSTA, B.; et al. Efficient Data Management in IoT Systems. *Journal of Systems and Software*, v. 120, p. 55–67, 2016. doi: 10.1016/j.jss.2016.03.003.
- HECHT, R.; et al. Optimizing Data Ingestion for IoT Applications: A Comparative Study of Relational, NoSQL, and Temporal Databases. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v. 31, n. 12, p. 2301–2313, 2019. doi: 10.1109/TKDE.2019.2916841.
- JIMENEZ, R.; et al. Real-time IoT analytics using edge computing and temporal databases. *IEEE Access*, v. 9, p. 35891–35905, 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3063992.
- KIRAN, R.; GOEL, D. Integrating time-series databases in IoT systems: An empirical study. *Internet Technology Letters*, v. 3, n. 2, p. 122–131, 2020. doi: 10.1002/itl2.1045.
- KITCHENHAM, B. *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Keele, UK: Keele University, 2004.
- LACERDA, F.; et al. Analyzing IoT systems: Challenges in scalability and security. *IEEE Communications Magazine*, v. 55, n. 10, p. 48–54, 2015. doi: 10.1109/MCOM.2015.7321983.
- LESKOVEC, J.; RAJARAMAN, A.; ULLMAN, J. D. *Mining of Massive Datasets*. 3. ed. Cambridge University Press, 2020. doi: 10.1017/9781108644589.
- LI, Z.; et al. Exploring the performance of NoSQL databases in IoT environments. *Future Generation Computer Systems*, v. 92, p. 475–490, 2019. doi: 10.1016/j.future.2018.10.014.
- MÉDINI, L.; et al. Challenges in IoT: Data quality and security. *Sensors*, v. 17, n. 4, p. 674–691, 2017. doi: 10.3390/s17040674.
- NOORZADEH, A.; et al. Scalability challenges in IoT systems: A systematic review. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 7, n. 12, p. 11324–11334, 2024. doi: 10.1109/JIOT.2024.3111398.
- ORDONEZ, C. Data Warehousing and Big Data Analytics for IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 6, n. 1, p. 297–306, 2019. doi: 10.1109/JIOT.2018.2879950.
- PLAGERAS, A. P.; et al. Efficient big data management in cloud environments. *Big Data Research*, v. 12, p. 44–58, 2018. doi: 10.1016/j.bdr.2018.05.003.
- RAY, P. P. A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, v. 30, n. 3, p. 291–319, 2018. doi: 10.1016/j.jksuci.2016.10.003.

STONEBRAKER, M.; et al. The Case for Time-Series Databases in IoT. ACM SIGMOD Record, v. 44, n. 2, p. 12–19, 2015. doi: 10.1145/2822932.2822937.

TANENBAUM, A. S.; BOS, H. Modern Operating Systems. 4. ed. Pearson, 2014.

VENKATESH, D.; et al. Temporal and Spatial Data in IoT Systems. IEEE Transactions on Big Data, v. 7, n. 4, p. 788–798, 2021. doi: 10.1109/TBDATA.2021.3090874.

VERMESAN, P.; FRIESS, O. Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems. River Publishers, 2014. doi: 10.13052/rp-9788792982717.

XU, H.; et al. Machine learning for database optimization in IoT. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, v. 33, n. 5, p. 2044–2056, 2021. doi: 10.1109/TKDE.2020.2985725.

ZHANG, S.; et al. NoSQL databases for IoT applications: A comparative analysis. IEEE Transactions on Cloud Computing, v. 9, n. 3, p. 652–665, 2021. doi: 10.1109/TCC.2020.3041863.

**DESAFIOS E PROPOSTAS PARA UMA ACESSIBILIDADE REAL NO MOODLE PARA PESSOAS COM  
DEFICIÊNCIA VISUAL: DA TEORIA À PRÁTICA**

Carlos Alberto Carvalho dos Santos  
e-mail: carvalho.gfreitas30@gmail.com  
Universidade Cruzeiro do Sul – UCSUL

Me. Deiverson Iamute Mendonça  
e-mail: dimmed05@gmail.com  
Universidade Cruzeiro do Sul – UCSUL

Prof. Dr. Gernei Goes dos Santos  
e-mail: gerneisantos@gmail.com  
Instituto Federal do Amazonas – IFAM

Prof. Dr. Juliano Schimiguel  
e-mail: schimiguel@gmail.com  
Coordenador -Universidade Cruzeiro do Sul – UCSUL

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vera Maria Jarcovis Fernandes  
e-mail: vera.fernandes@cruzeirosul.edu.br  
Universidade Cruzeiro do Sul - UCSUL

**RESUMO**

A acessibilidade no Moodle para pessoas com deficiência visual representa um desafio crucial na educação digital contemporânea. Apesar de ser a principal plataforma de EaD, o Moodle apresenta limitações que comprometem a inclusão efetiva, como navegação por teclado incompleta e falta de descrição de imagens. Este estudo busca analisar os entraves à acessibilidade real na plataforma e propor soluções para garantir equidade no processo educacional. Por meio de revisão sistemática da literatura, foram analisados artigos, relatórios técnicos e estudos de caso que abordam a experiência de usuários com deficiência visual e as políticas institucionais relacionadas ao Moodle. Identificaram-se três desafios principais: técnicos, como

a incompatibilidade com alguns leitores de tela e atividades não adaptadas; pedagógicos, como a falta de capacitação docente para criação de materiais acessíveis e institucionais, como núcleos de acessibilidade com recursos insuficientes. Concluiu-se que, para garantir participação efetiva, as instituições devem implementar configurações acessíveis no Moodle (como descrição automática de imagens e navegação intuitiva), oferecer formação continuada em acessibilidade digital e DUA (Desenho Universal para Aprendizagem) aos professores e criar políticas institucionais com metas claras, orçamento específico e participação ativa de usuários com deficiência visual em todas as etapas, que vão desde o desenvolvimento até a avaliação das ferramentas. Essa abordagem integrada transformaria os recursos técnicos em práticas pedagógicas verdadeiramente equitativas, assegurando que a acessibilidade seja um processo contínuo e não apenas uma conformidade superficial.

**Palavras-chave:** Acessibilidade no Moodle; Deficiência visual; Inclusão digital; Tecnologias assistivas; Equidade educacional.

## ABSTRACT

Accessibility in Moodle for visually impaired individuals represents a crucial challenge in contemporary digital education. Despite being the leading e-learning platform, Moodle presents limitations that compromise effective inclusion, such as incomplete keyboard navigation and a lack of image descriptions. This study aims to analyze the obstacles to real accessibility on the platform and propose solutions to ensure equity in the educational process. Through a systematic literature review, articles, technical reports, and case studies addressing the experience of visually impaired users and institutional policies related to Moodle were analyzed. Three main challenges were identified: technical, i.e., incompatibility with some screen readers and unadapted activities; pedagogical, such as a lack of teacher training for creating accessible materials; and institutional, such as accessibility centers with insufficient resources. It was concluded that to ensure effective participation, institutions must implement accessible settings in Moodle (such as automatic image description and intuitive navigation), offer ongoing training in digital accessibility and UDL (Universal Design for Learning) to teachers, and create institutional policies with clear goals, a specific budget, and active participation of visually impaired users in all stages, from development to evaluation of the tools. This integrated approach would transform technical resources into truly equitable pedagogical practices, ensuring that accessibility is a continuous process and not just superficial compliance.

**Keywords:** Accessibility in Moodle; Visual impairment; Digital inclusion; Assistive technologies; Educational equity.

## INTRODUÇÃO

A inclusão digital de pessoas com deficiência visual configura-se como um desafio fundamental no cenário educacional contemporâneo, especialmente diante do crescimento exponencial da Educação a Distância (EaD) e da consolidação dos Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem (AVA), como o Moodle. No entanto, a centralidade dessa plataforma revela uma contradição: sua hegemonia não garante acessibilidade universal e sua adoção massiva pode, paradoxalmente, limitar a inovação em tecnologias assistivas alternativas que atendam a necessidades específicas não contempladas pelo modelo atual.

O Brasil, segundo o Censo 2022 do IBGE (Brasil, 2023), possui 14,4 milhões de pessoas com deficiência (7,3% da população com 2 anos ou mais), das quais 7,9 milhões apresentam dificuldade de enxergar, incluindo cerca de 500 mil pessoas cegas e aproximadamente 6 milhões com baixa visão. Isso evidencia a urgência de políticas públicas e adaptações tecnológicas. Porém, esses números podem ser subestimados, pois critérios rígidos de diagnóstico muitas vezes inviabilizam desafios enfrentados por pessoas com baixa visão – grupo que, embora não se enquadre na categoria de "cegueira total", enfrenta barreiras complexas em ambientes digitais, como contrastes inadequados ou fontes não redimensionáveis.

Embora o Moodle ofereça recursos voltados à acessibilidade, como compatibilidade com leitores de tela (NVDA, JAWS e VoiceOver), a implementação prática pelas instituições de ensino ainda é irregular. Esse cenário expõe uma contradição, pois a existência de ferramentas não assegura sua eficácia. Pesquisas, como a de Melo (2021), apontam que muitos dos professores em EaD desconhecem funcionalidades básicas de acessibilidade da plataforma, o que sugere que a inclusão digital depende não apenas de tecnologia, mas de formação docente continuada e de uma mudança cultural nas instituições.

Diante desse cenário, este estudo busca responder: Como as instituições de ensino podem transformar os recursos de acessibilidade do Moodle em práticas pedagógicas equitativas, garantindo participação efetiva de pessoas com deficiência visual? Para responder a essa indagação, foi realizada uma revisão sistemática de literatura e a análise crítica, conforme detalhado na metodologia.

A educação digital tornou-se um pilar para a democratização do conhecimento, mas sua efetividade exige acessibilidade plena. Estudos como o de Carvalho *et al.* (2018) demonstram que a simples adequação técnica não garante a inclusão efetiva, pois leitores de tela ainda apresentam rupturas de comunicabilidade, como ícones sem descrição. Essa crítica ressoa a teoria da "acessibilidade como processo" (Goggin; Newell, 2003), que defende que normas como as WCAG devem ser complementadas por avaliações contínuas de usuários reais, já que a experiência prática, frequentemente, revela lacunas invisíveis em testes padronizados.



O objetivo deste estudo é analisar como as instituições podem aplicar os recursos do Moodle para promover equidade e levantar uma questão crucial: acessibilidade não se resume à inclusão. Enquanto a inclusão garante acesso, a equidade exige adaptações diferenciadas, como tempo adicional para atividades ou formatos alternativos de avaliação. Será que o Moodle, em seu modelo atual, está preparado para essa nuance? Além disso, soluções emergentes, como IA generativa para descrição automática de imagens, ainda são pouco exploradas nos AVAs, apesar de seu potencial para reduzir barreiras de forma escalável. Ou seja, discutir a acessibilidade no Moodle é essencial, mas é preciso evitar que ela seja tratada como um "moduleto" adicional, e não como parte estrutural do *design* educacional. Frameworks, como o Universal Design for Learning (UDL), oferecem caminhos ao integrar acessibilidade desde a concepção pedagógica; mas sua adoção requer vontade política e investimento.

A verdadeira inclusão digital só será alcançada quando as vozes dos usuários com deficiência visual forem centrais no desenvolvimento tecnológico e não meros receptores de soluções pré-formatadas. Para compreender essa lacuna entre o potencial e a realidade, é necessário analisar criticamente os fundamentos que embasam a inclusão digital, os limites das tecnologias assistivas e os desafios específicos do Moodle com os temas explorados a seguir.

## **INCLUSÃO DIGITAL PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL: DESAFIOS E PERSPECTIVAS**

A inclusão digital é um dos principais fatores de transformação social para pessoas com deficiência visual, pois possibilita acesso à informação, comunicação e educação em ambientes digitais. Nesse contexto, as tecnologias assistivas, como leitores de tela e impressoras Braille, têm ampliado significativamente a autonomia e a participação desse público na sociedade digital. Kazmierczak *et al.* (2025) apontam que leitores de tela, como NVDA, JAWS e VoiceOver, aumentam significativamente a autonomia digital dos usuários com deficiência visual, refletindo principalmente contextos de laboratório, não necessariamente a complexidade do uso cotidiano, ao passo que impressoras Braille modernas ampliam, de forma considerável, o acesso a materiais educacionais impressos, mas ainda não resolve o desafio qualitativo da atualização constante desses materiais.

A inclusão digital de pessoas com deficiência visual representa um desafio central para a construção de uma sociedade mais justa e equitativa. Segundo Souza *et al.* (s.d.), essas tecnologias assistivas desempenham papel fundamental nesse processo (visão que, embora válida, tende a superestimar a neutralidade tecnológica), pois oferecem recursos que possibilitam a autonomia e o acesso à informação, promovendo igualdade de oportunidades. Ferramentas como JAWS, NVDA, VoiceOver e TalkBack são

amplamente utilizadas para navegação e leitura de conteúdos digitais, o que, paradoxalmente, cria uma dependência de poucas soluções dominantes no mercado.

Contudo, a inclusão digital de pessoas com deficiência visual enfrenta obstáculos significativos que precisam ser superados para garantir igualdade de acesso. Entre as principais barreiras, destacam-se: a falta de descrição adequada em imagens e vídeos (Silva, 2010), problema crônico que revela o abismo entre teoria e prática no *design* inclusivo, revelando como a acessibilidade muitas vezes é tratada como complemento *rather than* parte integrante do *design* digital; e a dependência quase exclusiva do teclado para navegação (Vanderheiden, 1992) que se mostra limitante em ambientes cada vez mais baseados em gestos, o que, ironicamente, nos leva a refletir que a evolução tecnológica tem criado novas formas de exclusão.

Além dos ganhos técnicos, a inclusão digital também deve ser compreendida em sua dimensão política e cidadã. Para Calado e Souza (2020, p. 4), o acesso às tecnologias assistivas constitui uma "reconfiguração das relações de poder"; conceito potente, mas que ignora as assimetrias na produção dessas tecnologias ao posicionar os sujeitos com deficiência visual em espaços antes inacessíveis. No entanto, interfaces digitais frequentemente se mostram confusas e pouco intuitivas (Oliveira, 2005), que se mostra um sintoma claro da lacuna entre os *testers* com deficiência e os desenvolvedores, evidenciando a ausência de pessoas com deficiência visual nos times de desenvolvimento.

O acesso pleno às tecnologias assistivas ainda é limitado por diversos fatores. Oliveira e Acioly (2024) destacam que o aumento do uso de ambientes virtuais de aprendizagem, durante e após a pandemia, ampliou a demanda por soluções acessíveis, contexto que expôs cruelmente a fragilidade dos sistemas educacionais digitais.

As Tecnologias Assistivas (TA), embora fundamentais, têm eficácia relativa, pois os leitores de tela enfrentam dificuldades com conteúdo dinâmicos, o que leva a perceber um contraditório tecnológico que seria quanto mais "inteligente" o sistema, menos acessível se torna, criando um ciclo de adaptação permanente. Como questionam Cook e Hussey (1995), autonomia para que, se os ambientes digitais continuam cheios de barreiras? Essa provocação mantém a atualidade assustadora após décadas.

A inclusão digital, como direito fundamental, constitui pilar central da educação inclusiva contemporânea. No contexto das TIC, garantir acesso significa repensar estruturas: enquanto as WCAG (World Wide Web Consortium, 2018) oferecem diretrizes valiosas, porém, frequentemente, são reduzidas a meros exercícios de *compliance*; sua aplicação muitas vezes se limita ao "mínimo exigido". Lazar, Stein e Slatin (2015) destacam a compatibilidade com tecnologias assistivas numa abordagem necessária, mas insuficiente sem mudança de mentalidade, podendo se considerar o seguinte questionamento: mas será que não estamos focando demais na adaptação do indivíduo ao sistema?

O desafio vai além da técnica, exigindo transformação cultural. Como aponta Mantoan (2003), a verdadeira inclusão pressupõe ruptura com modelos padronizados, conceito revolucionário que ainda enfrenta resistência institucional.

A Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura, 2017) enfatiza a equidade, discurso nobre que frequentemente não se traduz em políticas concretas, mas como alcançá-la quando muitos educadores ainda veem a acessibilidade como responsabilidade exclusiva de especialistas? Diante disso, a inclusão digital exige um esforço conjunto entre políticas públicas, instituições educacionais e desenvolvimento tecnológico sensível às demandas específicas, triangulação essencial, porém raramente implementada de forma equilibrada, superando a lógica do "*design* único para todos" em prol de soluções verdadeiramente inclusivas, utopia necessária num mundo de orçamentos limitados e prioridades concorrentes

A promoção da acessibilidade no ambiente educacional para estudantes com deficiência visual tem nos leitores de tela NVDA, JAWS e VoiceOver seus principais aliados, como evidenciam estudos recentes. Contudo, essa discussão revela-se incompleta sem uma análise crítica dos Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem (AVEA) que hospedam os conteúdos educacionais. O Moodle, consolidado como um dos AVEA mais difundidos globalmente (Dougiamas, 1999), o que reforça sua relevância no cenário educacional, torna-se um caso emblemático dessa problemática: enquanto tecnologias assistivas como leitores de tela avançam, a plataforma ainda apresenta falhas significativas em sua arquitetura de acessibilidade (Carvalho *et al.*, 2018), o que evidencia que a inclusão ainda é tratada como um aspecto complementar e não como princípio estrutural do *design* digital, conforme já alertava Nicácio (2010).

Os mesmos leitores de tela cuja eficácia tem sido documentada por autores como Silva *et al.* (2022), revelando seu papel crucial na mediação da aprendizagem para pessoas com deficiência visual, enfrentam obstáculos concretos ao interagir com plataformas como o Moodle. Em estudo anterior, Silva *et al.* (2020) demonstram que tais barreiras estão relacionadas à ausência de estrutura semântica nas páginas e à carência de descrições adequadas de elementos multimídia, comprometendo a navegabilidade. Tais limitações não decorrem apenas de falhas técnicas, mas também da falta de preparo docente na produção de conteúdos acessíveis, o que amplia os efeitos dessas barreiras.

A consequência é o chamado "efeito cansaço" (Carvalho *et al.*, 2018), que descreve o desgaste cognitivo e emocional vivenciado por estudantes diante de interações excludentes, especialmente quando soluções como JAWS e VoiceOver impõem restrições por custos ou por dependência de ecossistemas proprietários.

A distância entre as diretrizes técnicas de acessibilidade, como as WCAG 2.1 e a ARIA, e sua aplicação prática, já identificada por Conforto e Santarosa (2002), persiste tanto no desenvolvimento de leitores de tela quanto na construção dos AVEA. Tal lacuna reforça a tese de que acessibilidade não é uma questão meramente normativa, mas exige transformação cultural e institucional. Oliveira e Santos (2023) vão além ao destacar que a participação ativa dos usuários com deficiência nos processos de desenvolvimento é fundamental, assim como a capacitação docente deve abarcar não apenas o uso técnico das ferramentas, mas os princípios do Design Universal para Aprendizagem (DUA), promovendo uma atuação pedagógica mais inclusiva e reflexiva. Nesse mesmo sentido, Dalcin (2015) sustenta que a acessibilidade deve ser compreendida de forma integrada técnica, pedagógica e institucionalmente, pois somente assim é possível superar as barreiras sistêmicas que ainda limitam o acesso pleno à educação.

A contradição destacada por Carvalho *et al.* (2018), ao apontar que o Moodle, apesar de ser um *software* de código aberto, carece de uma governança efetiva voltada à acessibilidade, revela o quanto a abertura tecnológica não garante, por si só, práticas inclusivas. Da mesma forma que o NVDA depende da formação adequada dos docentes para ser plenamente eficaz, o Moodle requer uma gestão institucional comprometida com a acessibilidade como valor central (Oliveira; Santos, 2023), reforçando a crítica feita por Nicácio (2010) de que não se pode tratar a inclusão como um elemento secundário. A superação desse “gap de implementação”, conforme apontam Silva *et al.* (2020), pressupõe uma convergência de esforços: tecnologias assistivas de qualidade só serão eficazes se integradas a plataformas acessíveis, o que, por sua vez, exige profissionais capacitados e políticas educacionais coerentes.

Portanto, para que se atinja uma inclusão digital efetiva, seja por meio das tecnologias assistivas ou dos AVEA, é imprescindível abandonar abordagens fragmentadas. Conforto e Santarosa (2002) já advertiam que a equivalência nas experiências de aprendizagem não será alcançada enquanto a acessibilidade for tratada como adaptação posterior e não como eixo estruturante dos processos educacionais. Essa mudança, que se faz cada vez mais urgente, representa não apenas um compromisso ético, mas também uma condição para que se concretize o potencial visionário atribuído por Dougiamas (1999) aos AVEA e que ainda hoje orienta o desenvolvimento de ferramentas como NVDA, JAWS e VoiceOver.

### **As Instituições de Ensino e o Uso do Moodle na Inclusão de Deficientes Visuais**

As instituições de ensino têm papel central na promoção da acessibilidade digital, especialmente no que diz respeito ao uso de plataformas como o Moodle. Conforme Oliveira e Acioly (2024), a adoção do Moodle por universidades, durante a pandemia, revelou tanto o potencial quanto as limitações da plataforma frente às demandas de estudantes com deficiência visual. Esse apontamento é relevante porque

evidencia que, mesmo diante de avanços tecnológicos, as barreiras digitais persistem quando não há uma implementação planejada com foco nas necessidades específicas desse público.

Aprofundando essa análise técnica, a implementação acessível do Moodle requer atenção a múltiplos aspectos técnicos e pedagógicos que, quando adequadamente considerados, transformam a plataforma em poderosa ferramenta de inclusão. Estudos recentes demonstram que os recursos nativos de acessibilidade do Moodle, embora robustos, demandam configuração cuidadosa e conhecimento específico para atingirem seu pleno potencial. Conforme detalha Oliveira (2023), a versão 3.11 do Moodle em diante incorporou significativos avanços em acessibilidade, incluindo navegação por teclado completa, alto contraste visual ajustável, compatibilidade aprimorada com leitores de tela e estruturação semântica de conteúdo.

A presença de núcleos de acessibilidade ainda é uma lacuna significativa no processo de inclusão. Essa ideia reforça que a acessibilidade não se resume à oferta de ferramentas, mas requer estratégias contínuas e integradas que garantam a usabilidade plena por todos os estudantes. Essa perspectiva é confirmada por Santos e Almeida (2023, p. 84), que alertam que "a mera atualização para versões recentes não garante acessibilidade, sendo essencial a configuração manual de diversos parâmetros".

Dentre os entraves identificados estão a ausência de dados sistematizados sobre o número de estudantes com deficiência visual nas instituições, a baixa familiaridade de docentes e discentes com os recursos de acessibilidade e a necessidade constante de capacitação. Nesse aspecto técnico, os pesquisadores identificaram três pilares críticos como estrutura de cursos que sigam padrões WCAG 2.1, formatos de arquivos acessíveis (com PDFs de texto real, vídeos legendados e imagens com texto alternativo), e atividades interativas com navegação por teclado. Pereira (2022, p. 59) constatou que "cursos com estrutura inadequada aumentam muito o tempo de acesso para usuários de leitores de tela", o que complementa os achados de Souza *et al.* (2023) sobre as barreiras na adoção de tecnologias assistivas.

Um caso emblemático é a experiência da UFMG, documentada por Oliveira (2023), que demonstra como a combinação de *plugins* específicos com *templates* padronizados pode elevar significativamente os índices de acessibilidade. A universidade alcançou números significativos de conformidade com padrões internacionais após implementar a verificação automática de acessibilidade - resultado que dialoga diretamente com os sucessos observados por Kazmierczak *et al.* (2023) em instituições com programas estruturados de acessibilidade. Contudo, como ressalta Pereira (2022, p.63), "nenhuma solução técnica substitui a capacitação continuada dos professores", reforçando a tese central de Silva (2023) sobre a necessidade da formação docente contínua.

Essa visão sistêmica é corroborada pela experiência da Universidade Aberta do Brasil (UAB), onde Santos (2023) relatou o uso inclusivo do Moodle com recursos multimídia, mostrando que a eficácia depende da articulação entre tecnologia, pedagogia e políticas públicas. Essas estratégias, quando articuladas, configuram um modelo integrado para transformar os recursos do Moodle em práticas pedagógicas

genuinamente inclusivas, articulando infraestrutura tecnológica, capacitação docente, protocolos institucionais claros e participação ativa dos estudantes.

Portanto, para que a inclusão digital seja efetiva, é necessário que as instituições de ensino avancem não apenas na adoção de plataformas acessíveis, mas também na formação de uma cultura institucional comprometida com a acessibilidade e a equidade no acesso ao conhecimento. Como demonstrado, isso exige a implementação técnica qualificada dos recursos do Moodle, a produção de materiais didáticos verdadeiramente acessíveis e o investimento permanente na capacitação docente, formando um ecossistema em que a acessibilidade deixa de ser adaptação para se tornar princípio estruturante.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise crítica desenvolvida neste estudo não apenas expôs as limitações do Moodle enquanto ferramenta de aprendizagem para pessoas com deficiência visual, mas revelou um problema estrutural que transcende a esfera tecnológica. Os resultados demonstram que a atual abordagem de acessibilidade, na educação digital, está fundamentada em três pilares frágeis: uma compreensão reducionista das necessidades reais dos usuários, uma implementação fragmentada de soluções técnicas e uma ausência de compromisso institucional com a equidade. Esses fatores combinados criam um cenário no qual a inclusão se torna performática, satisfazendo critérios mínimos de conformidade sem promover transformações significativas na experiência educacional.

O primeiro e mais urgente desafio diz respeito ao próprio *design* da plataforma Moodle. A análise evidenciou que sua arquitetura continua privilegiando usuários sem deficiência, tratando a acessibilidade como um complemento em vez de um princípio estruturante. Essa lógica se manifesta na forma como recursos essenciais, como descrição de imagens ou navegação intuitiva por teclado, que exigem configurações manuais complexas, tornam-se inacessíveis na prática para a maioria das instituições. Não se trata simplesmente de "melhorar" o Moodle, mas de questionar radicalmente seus paradigmas de desenvolvimento. Plataformas educacionais verdadeiramente inclusivas precisam ser concebidas a partir das epistemologias da deficiência, incorporando as vivências e necessidades desses usuários desde a fase inicial de *design*, não como receptores passivos, mas como criadores ativos da tecnologia.

No campo pedagógico, a formação docente em acessibilidade digital tem se limitado a treinamentos superficiais sobre ferramentas específicas, ignorando a necessidade de uma transformação metodológica mais ampla. Professores são instruídos a "usar o Moodle de forma inclusiva", mas não recebem apoio para repensar seus materiais, metodologias de avaliação ou dinâmicas de aula em um paradigma

verdadeiramente universal. Essa lacuna explica por que tantas iniciativas de capacitação falham em gerar impacto real, pois elas tratam os sintomas como a falta de conhecimento técnico, mas não a doença, que está em um sistema educacional que permanece estruturalmente excludente.

A verdadeira mudança exigirá programas de formação continuada que integrem acessibilidade digital com os princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA), capacitando educadores não apenas a operar ferramentas, mas a reconstruir suas práticas pedagógicas em bases inclusivas. Entretanto, nenhuma inovação técnica ou pedagógica terá efeito duradouro sem uma transformação paralela nas políticas institucionais.

Pode-se perceber, também, que a maioria das universidades trata a acessibilidade como um projeto secundário, alocado em núcleos periféricos com orçamentos mínimos e equipes sobrecarregadas. Essa marginalização reflete uma visão distorcida que enxerga a inclusão como "custo adicional" em vez de investimento essencial. Para romper esse ciclo, é fundamental estabelecer mecanismos concretos de *accountability*, como indicadores obrigatórios de acessibilidade vinculados a avaliações institucionais e financiamento público, participação decisória de usuários com deficiência nos comitês de tecnologia educacional e alocação específica de recursos para pesquisa e desenvolvimento de soluções adaptativas.

As instituições de ensino precisam assumir publicamente que a atuam, pois a situação constitui uma violação de direitos humanos e agir com a urgência que essa realidade demanda, já que os dados estão disponíveis, as ferramentas existem, os caminhos estão mapeados. O que falta agora é coragem institucional para priorizar o que sempre deveria ter sido óbvio, ou seja, a educação só é verdadeiramente digital quando é verdadeiramente para todos.

A inclusão digital não é um módulo adicional do Moodle, é a base sobre a qual a educação deve ser construída. Os dados estão disponíveis, as ferramentas existem. Agora, é tempo de ação.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo Demográfico 2022: Pessoas com deficiência por tipo e grau de dificuldade** – Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 jun. 2025

CARVALHO, R. A. de *et al.* Acessibilidade em Ambientes Virtuais de Aprendizagem: Estudo de caso com usuários de leitores de tela. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 1-20, 2018. Disponível em: <https://www.br-ie.org/pub/index.php/rbie/article/view/825>. Acesso em: 13 jun. 2025.

CALADO, A.; SOUZA, F. Tecnologias assistivas e reconfiguração de poder: uma análise crítica. **Educação & Sociedade**, [s. l.], v. 41, p. 1-15, 2020.

- COOK, A. M.; HUSSEY, S. M. **Assistive Technologies: Principles and Practice**. St. Louis: Mosby, 1995.
- DALCIN, E. **Interfaces acessíveis no Moodle baseadas no padrão WCAG 2.0 para alunos cegos**. 2015. 156 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Educacionais em Rede) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- DOUGIAMAS, M. **Moodle: um sistema de gerenciamento de cursos**. 1999. Disponível em: <https://moodle.org/>. Acesso em: 10 jun. 2025
- GOGGIN, G.; NEWELL, C. **Digital Disability: The Social Construction of Disability in New Media**. Lanham: Rowman & Littlefield, 2003.
- KAZMIERCZAK, K. *et al.* Leitores de tela e autonomia digital: avanços e limitações. **Revista de Tecnologia Assistiva**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 12-30, 2025
- LAZAR, J.; STEIN, M. A.; SLATIN, A. **Ensuring Digital Accessibility through Process and Policy**. Amsterdam: Elsevier, 2015.
- MANTOAN, M. T. E. **Inclusão escolar: o que é? Por quê? Como fazer?** São Paulo: Moderna, 2003.
- MELO, A. M. Formação docente em acessibilidade digital: lacunas e desafios. **Educação em Revista**, [s. l.], v. 37, p. 1-20, 2021.
- NICÁCIO, J. R. Acessibilidade como princípio estrutural no *design* digital. **Revista de Design Inclusivo**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 55-70, 2010
- OLIVEIRA, E. S.; ACIOLY, L. M. Moodle pós-pandemia: barreiras e oportunidades para deficientes visuais. **Revista Brasileira de Educação a Distância**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 1-18, 2024.
- OLIVEIRA, R. Interfaces digitais e deficiência visual: uma análise crítica. **Revista de Acessibilidade Digital**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 30-45, 2005.
- OLIVEIRA, R.; SANTOS, L. Moodle 3.11 e além: avanços em acessibilidade. **Revista Tecnologias Educacionais**, [s. l.], v. 15, p. 88-102, 2023.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA - Unesco. **Education for All: Inclusive Education and Equity**. Paris: Unesco, 2017. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000248254>. Acesso em: 08 jun. 2025.
- PEREIRA, M. Estrutura de cursos no Moodle e tempo de acesso para leitores de tela. **Revista Inclusão Digital**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 58-72, 2022.
- SANTOS, P.; ALMEIDA, T. Configuração manual de acessibilidade no Moodle: um estudo de caso. **Revista de Educação Inclusiva**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 80-95, 2023.
- SILVA, A. Descrição de imagens e vídeos: o abismo entre teoria e prática. **Revista de Design Aplicado**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 22-35, 2010.
- SILVA, L. *et al.* Barreiras no Moodle para usuários de leitores de tela. **Revista Brasileira de Tecnologia Educacional**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 112-130, 2020.
- SOUZA, M. *et al.* Tecnologias assistivas e neutralidade tecnológica: uma crítica. **Revista Educação e Tecnologia**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 50-65, s.d.



VANDERHEIDEN, G. Navegação por teclado em ambientes digitais. **Journal of Accessibility and Design**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 15-28, 1992.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM - W3C. **Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0**. 2008. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

**Sistema de Gestão Interna (SGI) para uma Livraria, Integrado à Gestão do Conhecimento (GC)**

Internal Management System (IMS) for a Bookstore, Integrated with Knowledge Management (KM)

Guilherme LANGE DALLORA

[guilherme.ld1@puccampinas.edu.br](mailto:guilherme.ld1@puccampinas.edu.br)

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – Engenharia de Software

Cecilia SOSA ARIAS PEIXOTO

[cecilia.sosa@puc-campinas.edu.br](mailto:cecilia.sosa@puc-campinas.edu.br)

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

**Resumo**

O presente artigo apresenta a aplicação do Gerenciamento de Conhecimento como parte do Gerenciamento da Integração no desenvolvimento do Projeto Integrador VI do curso de Engenharia de Software. O projeto consistiu no desenvolvimento de um sistema para a gestão de vendas e estoque da livraria da Paróquia IECLB do Centro de São Paulo. Utilizando o framework ágil Scrum, a equipe organizou o trabalho em sprints, promovendo registro constante de decisões, compartilhamento de informações e integração entre equipe e usuária final. A conversão de conhecimento tácito em explícito permitiu maior eficiência e evolução contínua do sistema. O projeto demonstrou a importância do gerenciamento do conhecimento para a melhoria dos processos e para a geração de valor para futuras iniciativas.

**Palavras-Chave:**

Gerenciamento de Conhecimento; Integração; Scrum; Engenharia de Software; Projetos Ágeis.

**Abstract**

This paper presents the application of Knowledge Management as part of Integration Management in the development of the Integrative Project VI of the Software Engineering program. The project consisted of developing a system for managing sales and inventory for the bookstore of the IECLB Parish in downtown São Paulo. Using the Scrum agile framework, the team organized the work in sprints, promoting constant recording of decisions, information sharing, and integration between the team and the end user. The conversion of tacit knowledge into explicit knowledge enabled greater efficiency and continuous evolution of the system. The project demonstrated the importance of knowledge management for process improvement and for generating value for future initiatives.

**Keywords**

Knowledge Management; Integration; Scrum; Software Engineering; Agile Projects.

## INTRODUÇÃO

O gerenciamento de conhecimento é um dos processos mais estratégicos do gerenciamento da integração de projetos, conforme definido pelo Project Management Institute (PMI) no Guia PMBOK – 6ª edição (2017). Ele tem como finalidade principal utilizar o conhecimento existente e gerar novos conhecimentos ao longo do ciclo de vida de um projeto, de forma que a equipe possa alcançar os objetivos planejados de maneira mais eficiente e eficaz. Esse processo está diretamente relacionado à capacidade de as organizações aprenderem com experiências anteriores e aplicarem essas lições em novos contextos, fortalecendo assim a maturidade e a consistência na gestão de projetos.

De acordo com o PMBOK (2017), o gerenciamento de conhecimento busca dois resultados centrais: (1) garantir que o conhecimento já existente seja utilizado de forma apropriada, e (2) que o novo conhecimento criado durante o projeto seja registrado e disponibilizado para projetos futuros. Isso envolve tanto o conhecimento explícito, que pode ser documentado e compartilhado por meio de relatórios, registros e bases de dados, quanto o conhecimento tácito, que é pessoal e baseado em experiências individuais, exigindo estratégias de compartilhamento como interações diretas, mentorias, reuniões e feedbacks. Essa combinação entre o conhecimento explícito e o tácito cria uma base sólida para a tomada de decisões e para a melhoria contínua dentro da organização.

No contexto do gerenciamento da integração, o gerenciamento de conhecimento atua como uma ponte entre as diversas áreas de especialização do projeto (GONZALEZ; MARTINS, 2017). Ao reunir informações de escopo, cronograma, custos, qualidade, riscos e recursos humanos, o gerente de projetos deve ser capaz de consolidar esses dados em um corpo coerente de conhecimento que permita o controle e a adaptação contínua das atividades. Segundo o PMBOK (2017), o papel do gerente de projetos vai além da coordenação técnica: ele deve também atuar como um facilitador do aprendizado coletivo, promovendo o compartilhamento de informações entre todos os envolvidos, sejam eles membros da equipe, patrocinadores ou partes interessadas.

O discurso sobre o gerenciamento de conhecimento tem se tornado cada vez mais evidente na literatura de engenharia de software, uma vez que a atividade de desenvolvimento de software é, em essência, intensiva em conhecimento humano (BASRI; O'CONNOR, 2011). O produto de software se distingue de outros tipos de engenharia porque é intangível, seu progresso não é explícito, e os membros da equipe dependem da documentação de terceiros para revisar o avanço. Além disso, autores destacam que o desenvolvimento de software pode ser compreendido como o estudo do conhecimento (knowledge study), sendo a expertise o recurso mais crucial da equipe (BASRI; O'CONNOR, 2011).

Outro aspecto relevante destacado no Guia PMBOK – 6ª edição (2017) é a importância das lições aprendidas. O documento ressalta que a gestão do conhecimento não deve ocorrer apenas ao final do projeto, mas de forma contínua desde o início. Assim, cada fase representa uma oportunidade de registrar aprendizados, boas práticas e problemas enfrentados, contribuindo para um acervo organizacional que apoia decisões futuras. Esse processo é formalizado por meio do registro de lições aprendidas, que passa a compor o repositório de conhecimento da empresa ou instituição. A atualização constante desse repositório é fundamental para evitar a repetição de erros e promover a disseminação de práticas bem-sucedidas.

Trabalhos sobre a Gestão do Conhecimento (GC) em empresas de software muito pequenas (BASRI; O'CONNOR, 2011); (LAVANHOLI; PEIXOTO, 2022) (CHAVES; PEIXOTO, 2021) indicam que a GC fornece insights sobre as práticas do processo de desenvolvimento de software e destaca fatores importantes a serem considerados para preservar o conhecimento e a qualidade do produto. Além disso, uma gestão bem

organizada do conhecimento pode ajudar as equipes a se tornarem mais inovadoras e eficientes, considerando que os projetos envolvem esforço coletivo e trocas intensivas de conhecimento. Esses estudos apontam fatores essenciais, como: comunicação, aprendizagem e compartilhamento, documentação e o compromisso com o processo de gerenciamento de conhecimento. Esses fatores não apenas fortalecem o gerenciamento do conhecimento, como também evidenciam sua relação com a integração dos processos, já que coordenar informações entre áreas distintas do projeto é fundamental para transformá-las em valor estratégico. Em ambientes educacionais e de pesquisa, como os Projetos Integradores realizados em cursos de Engenharia de Software, esse gerenciamento se manifesta na troca contínua de aprendizados entre estudantes e professores, na documentação das decisões técnicas e na adaptação de métodos conforme o avanço das atividades. Dessa forma, o gerenciamento de conhecimento favorece a coerência entre o planejamento e a execução, além de garantir que o aprendizado produzido em um projeto sirva de base para os próximos.

Inserido nesse contexto, este trabalho apresenta a aplicação do gerenciamento do conhecimento no processo de desenvolvimento do Projeto Integrador VI, realizado com o framework Scrum. São descritos os procedimentos adotados pela equipe, as etapas de execução distribuídas em sprints e os registros produzidos ao longo do desenvolvimento, permitindo compreender como o gerenciamento da integração ocorreu na prática em um ambiente acadêmico de engenharia de software.

## MÉTODOS

O desenvolvimento do presente trabalho baseou-se na análise das práticas de gerenciamento de conhecimento aplicadas ao Projeto Integrador VI, que teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de Gestão Interna (SGI) para uma livraria da Paróquia Centro de São Paulo (IECLB).

O sistema foi concebido para modernizar a gestão de vendas e estoque, digitalizando registros físicos e garantindo acessibilidade para os voluntários responsáveis pelo atendimento. A metodologia adotada foi o framework ágil Scrum (SUTHERLAND, 2016), que possibilitou uma divisão do trabalho em sprints e uma constante troca de informações e aprendizados entre os membros da equipe e a comunidade envolvida.

O processo de gerenciamento do conhecimento foi planejado desde as etapas iniciais do projeto. Na primeira sprint (07/09 – 14/09), se utilizaram entrevistas com a voluntária da livraria para o levantamento de requisitos e o entendimento do contexto de uso. Essa etapa caracterizou-se pela coleta de conhecimento tácito, ou seja, o conhecimento prático e experiencial da usuária, que foi documentado em atas e relatórios. A partir daí, iniciou-se o processo de conversão em conhecimento explícito, por meio da sistematização dessas informações em protótipos visuais.

Durante a segunda e terceira sprints, o grupo aplicou práticas de compartilhamento de conhecimento interno, com reuniões semanais para discutir o progresso e revisar o aprendizado das etapas anteriores. Foram produzidos protótipos de interface e modelos de banco de dados, todos armazenados em repositórios acessíveis a toda a equipe.

Nas sprints seguintes, que envolveram a implementação do aplicativo, controle de estoque e integração do leitor de código de barras, o conhecimento adquirido em fases anteriores foi continuamente reutilizado e aprimorado. O grupo também aplicou lições aprendidas de dificuldades enfrentadas — como ajustes de acessibilidade e limitações de hardware —, documentando essas soluções em relatórios internos.

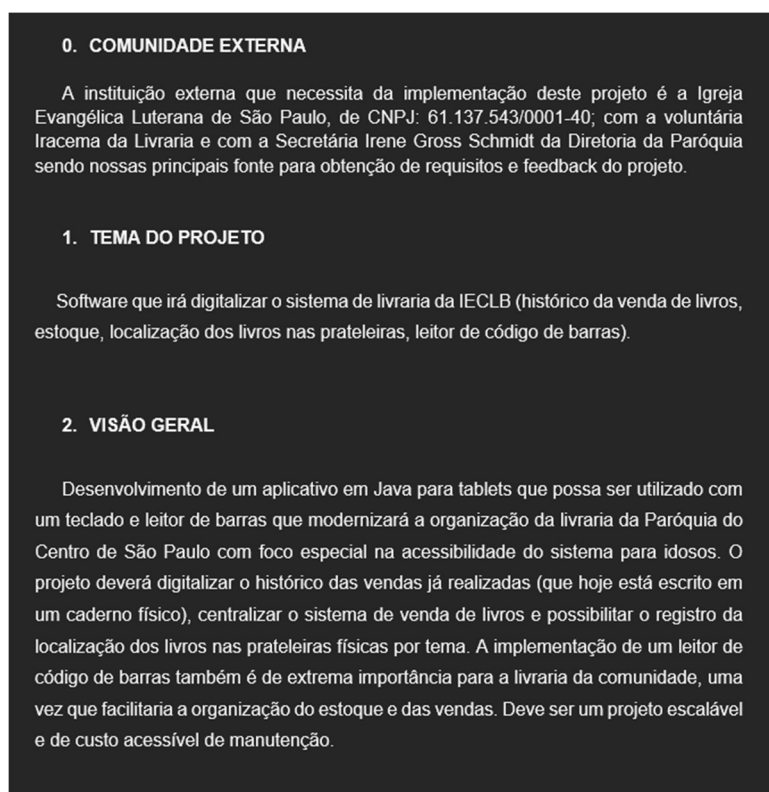
## RESULTADOS

Nas duas primeiras sprints (07/09 – 28/09), o grupo concentrou-se no levantamento de requisitos e na criação da base conceitual do sistema. Nesse período, foram realizadas entrevistas exploratórias e conversas estruturadas com a voluntária responsável pela livraria da Paróquia IECLB, buscando compreender rotinas, dificuldades, demandas e expectativas relacionadas à gestão de vendas e de estoque. Esse contato direto permitiu identificar as necessidades reais do usuário, bem como mapear práticas informais que sustentavam a operação cotidiana da livraria.

A partir dessas interações, o conhecimento tácito — baseado na experiência acumulada da voluntária, em suas decisões práticas e no modo como ela executava manualmente cada atividade — foi gradualmente convertido em conhecimento explícito. Esse processo se deu por meio do registro sistemático das informações em atas, documentos de requisitos, relatórios e mapas de processo, possibilitando que todos os membros da equipe acessassem, compreendessem e compartilhassem o mesmo entendimento sobre o funcionamento da livraria.

Além disso, as informações obtidas nessa fase orientaram a definição das funcionalidades iniciais, dos fluxos de navegação e da estrutura preliminar do banco de dados, estabelecendo as bases para as etapas seguintes de modelagem e implementação. Essa etapa inicial foi fundamental não apenas para consolidar o entendimento coletivo do problema, mas também para iniciar a formação do repositório de conhecimento do projeto, que evoluiria continuamente ao longo das sprints (Figura 1).

**Figura 1.** Relatório inicial desenvolvido na primeira sprint.

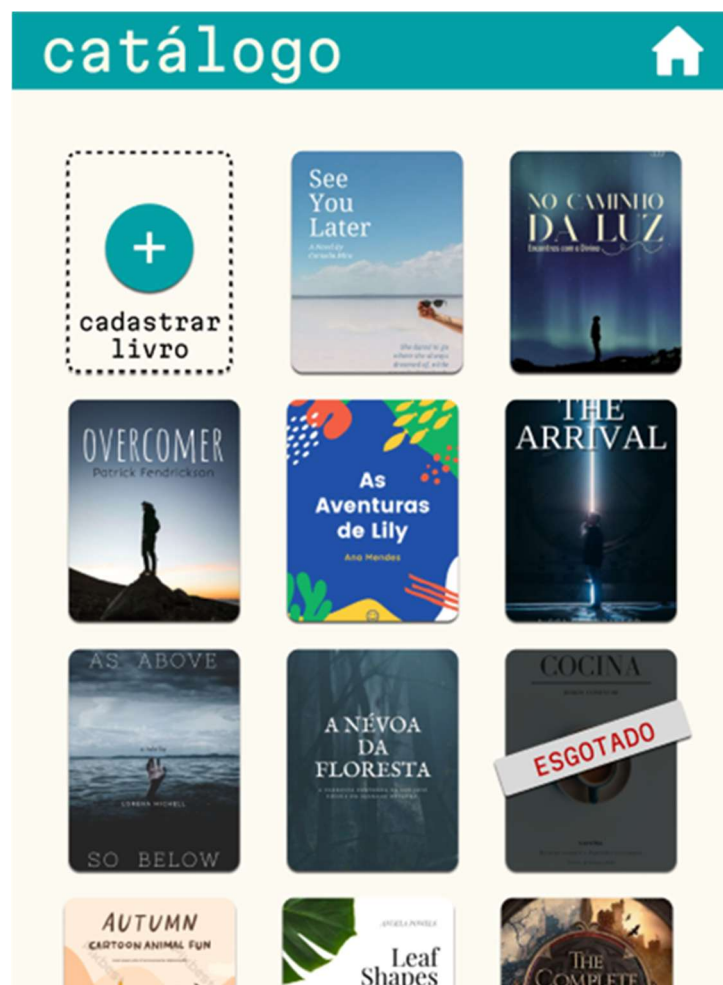


A segunda sprint teve como foco a construção dos primeiros protótipos funcionais do aplicativo. A Figura 2 apresenta a tela inicial, que reúne os principais acessos do sistema. Em seguida, a Figura 3 mostra o protótipo da tela *Catálogo*, responsável pela visualização dos produtos disponíveis.

**Figura 2.** Protótipo da tela inicial do aplicativo desenvolvido na segunda sprint.



**Figura 3.** Protótipo da tela Catálogo do aplicativo desenvolvido na segunda sprint.



A Figura 4 corresponde à tela *Pedidos*, onde ocorre o gerenciamento das solicitações. Por fim, a Figura 5 exibe o protótipo da tela *Relatórios*, desenvolvida para apoiar a tomada de decisão por meio da análise de dados.

**Figura 4.** Protótipo da tela Pedidos do aplicativo desenvolvido na segunda sprint.



**Figura 5.** Protótipo da tela Relatórios do aplicativo desenvolvido na segunda sprint.



Durante a terceira e quarta sprints (29/09 – 12/10), o time avançou de forma significativa na modelagem do banco de dados (Figura 6) e na implementação do aplicativo em Java. Além da definição das entidades, relacionamentos e regras de integridade, a equipe dedicou-se à padronização e migração dos dados registrados historicamente no caderno físico da livraria, garantindo consistência e preparando a base para o funcionamento do sistema.

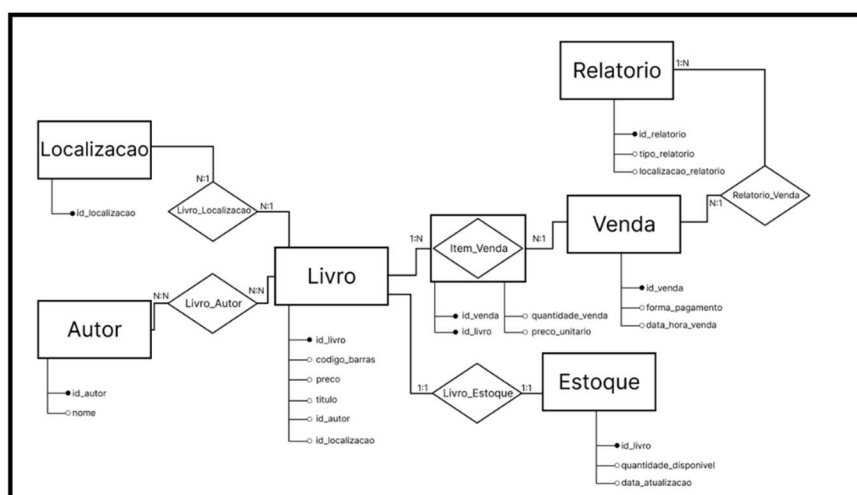
Nesse período, também foram desenvolvidas as primeiras funcionalidades centrais do aplicativo, como o cadastro, a edição e a listagem de livros, permitindo validar a estrutura do banco e iniciar testes

funcionais. Essa etapa tornou visível a passagem do planejamento conceitual para a construção dos primeiros componentes técnicos concretos, consolidando o alinhamento entre design, requisitos e arquitetura.

Do ponto de vista do gerenciamento do conhecimento, as sprints fortaleceram o uso de práticas colaborativas, como o registro contínuo no repositório de código, o versionamento das alterações e a documentação das decisões tomadas durante a modelagem. Esses mecanismos facilitaram o compartilhamento de aprendizado entre os membros da equipe, reduziram retrabalho e criaram um histórico claro de evolução do sistema.

Como resultado, o aprendizado coletivo e a integração entre os artefatos do projeto contribuíram para maior coerência entre a estrutura do banco de dados e as funcionalidades implementadas, preparando o ambiente para as fases posteriores de desenvolvimento e testes.

**Figura 6.** Modelagem do banco de dados desenvolvido na terceira sprint.



Na quinta e sexta sprints (13/10 – 26/10), a equipe ampliou as funcionalidades do sistema, implementando o controle de estoque, a busca por código de barras e o registro de vendas com atualização automática. O trabalho conjunto permitiu integrar diferentes partes do sistema e aplicar o conhecimento adquirido nas sprints anteriores. A equipe documentou as regras de negócio, validou o comportamento do estoque e registrou as lições aprendidas sobre integração e automação, garantindo que as práticas bem-sucedidas fossem preservadas para as fases seguintes.

Durante a sétima e oitava sprints (27/10 – 09/11), o foco voltou-se à geração de relatórios e à segurança do sistema. Foram criadas telas para exibir relatórios em PDF, além da implementação de login e rotinas de backup automático. Essa etapa representou o amadurecimento do projeto, demonstrando como o gerenciamento de conhecimento favoreceu a evolução técnica e a confiabilidade das entregas. O time aplicou aprendizados acumulados em codificação, design e controle de dados, reforçando o uso de boas práticas e documentação colaborativa.

Por fim, nas duas últimas sprints (10/11 – 20/11), a equipe concentrou-se na melhoria da usabilidade e na finalização do projeto. Foram realizados testes com a voluntária para validar a acessibilidade das telas,



ajustes visuais (Figuras 7 a 11) e inclusão de mensagens de ajuda. Após as validações, o grupo promoveu o treinamento da usuária e preparou a apresentação final do sistema.

A Figura 7 apresenta a versão final da tela inicial, projetada para facilitar a navegação e oferecer acesso direto às funcionalidades essenciais do sistema.

**Figura 7.** Versão final da tela inicial do aplicativo finalizada na nona sprint.

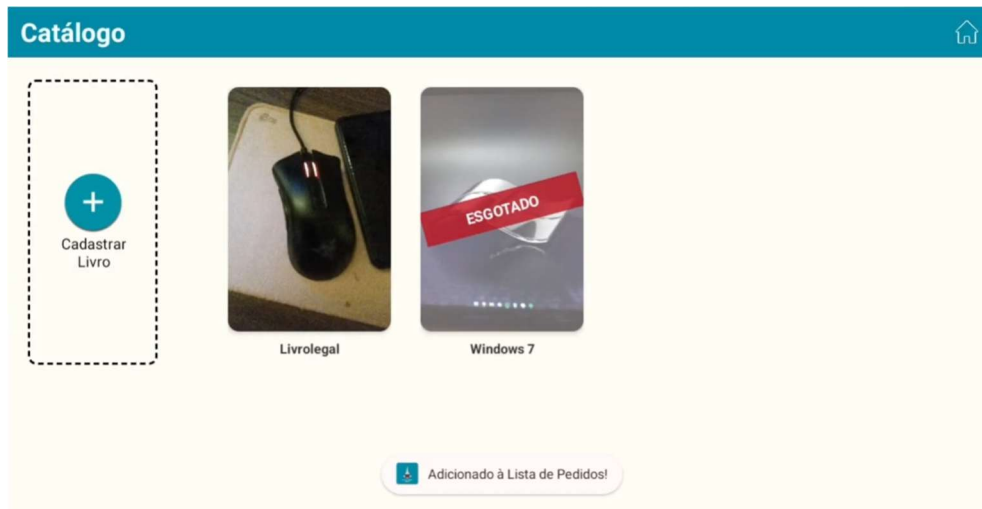


Em seguida, a Figura 8 mostra a tela de *Cadastrar Livro*, aprimorada para permitir o registro rápido e organizado das informações dos produtos. A estrutura foi refinada com base nos feedbacks da usuária e nas necessidades identificadas durante o processo de migração de dados.

**Figura 8.** Versão final da tela cadastrar livro do aplicativo finalizada na nona sprint.

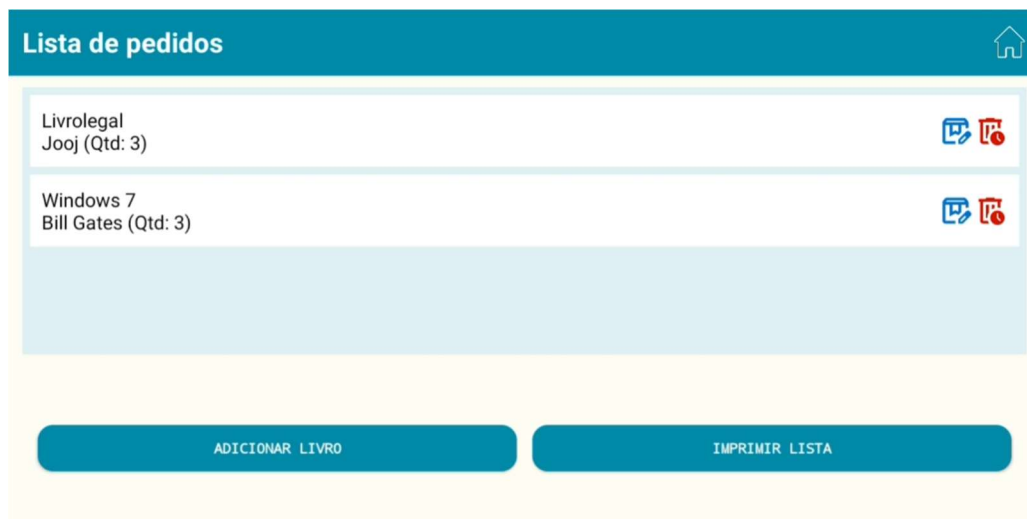
A **Figura 9** exibe a versão final da tela de *Catálogo*, que reúne os livros cadastrados e organiza a visualização por meio de uma interface clara e funcional. Essa tela tornou possível testar o fluxo completo de consulta e atualização das informações.

**Figura 9.** Versão final da tela de catálogo do aplicativo finalizada na nona sprint.



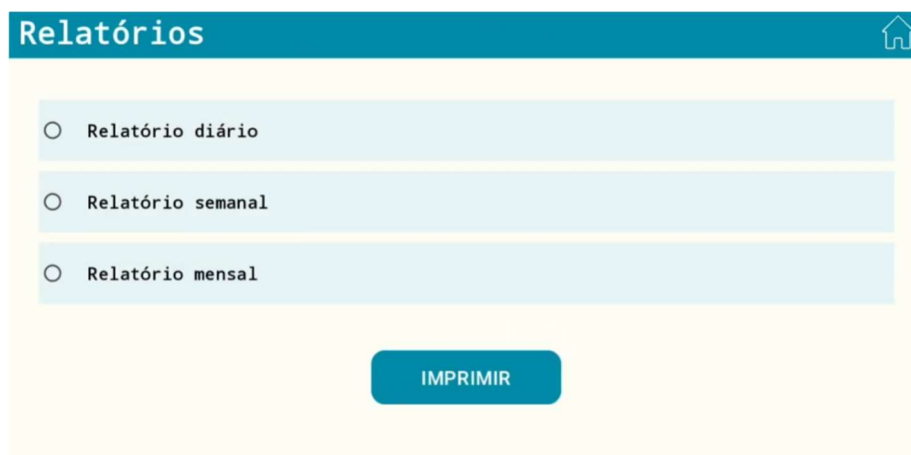
Na **Figura 10**, encontra-se a tela de *Pedidos*, responsável por acompanhar solicitações e registrar movimentações de venda. O design final buscou simplificar o controle das operações diárias da livraria e reduzir erros no registro manual.

**Figura 10.** Versão final da tela de pedidos do aplicativo finalizada na nona sprint.



Por fim, a **Figura 11** apresenta a tela de *Relatórios*, desenvolvida para permitir análise de dados e apoiar a tomada de decisões. Essa interface integra as informações do banco de dados, oferecendo uma visão consolidada do desempenho das vendas e do estoque.

**Figura 11.** Versão final da tela de relatórios do aplicativo finalizada na nona sprint.



Nas últimas sprints, consolidou-se o ciclo de conhecimento iniciado na primeira sprint, reunindo todos os registros, códigos e aprendizados em um repositório final. Esse processo resultou em um sistema funcional e acessível, desenvolvido a partir de uma dinâmica contínua de aprendizagem e de integração entre equipe e cliente.

## TESTE DE USABILIDADE

Durante o desenvolvimento do Projeto Integrador VI, foi conduzido um teste preliminar de usabilidade com a usuária do grupo etário 60+ — voluntária responsável pela operação da livraria comunitária. O objetivo dessa atividade foi avaliar a clareza da navegação e a compreensão das funcionalidades apresentadas no protótipo das telas do sistema, antes da implementação completa do aplicativo.

O teste consistiu na interação direta da usuária com o protótipo navegável, confeccionado com base no levantamento de requisitos e nas primeiras validações com a equipe. Foram avaliadas as seguintes telas: inicial, catálogo de livros, cadastrar livro, tela de pedidos e relatórios. Durante a execução das tarefas propostas (cenário), a usuária demonstrou conseguir navegar entre as telas com facilidade, identificando corretamente a função de cada botão e o fluxo esperado dentro do sistema.

Além disso, a usuária relatou sentir confiança e conforto na interação, afirmando que o aplicativo contribuirá significativamente para a organização das vendas e do acervo. Destacou também que ficou muito animada para ver a versão final do sistema em funcionamento, reforçando a aderência do protótipo às necessidades reais da livraria.

Esse teste preliminar permitiu validar os primeiros elementos de usabilidade e acessibilidade do sistema, confirmando que as decisões de interface adotadas até o momento estão alinhadas ao perfil e às expectativas da usuária. Os feedbacks coletados servirão como referência para ajustes finos na versão final do aplicativo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do Projeto Integrador VI evidenciou que o Gerenciamento do Conhecimento foi um fator determinante para o sucesso das dez sprints realizadas. Desde o levantamento de requisitos até a entrega final do sistema, o registro sistemático das informações, o compartilhamento de ideias e a documentação das decisões técnicas possibilitaram uma execução mais integrada, coerente e eficiente. O conhecimento tácito, obtido nas interações com a voluntária responsável pela livreria, foi essencial para que o sistema fosse construído de forma aderente às reais necessidades do usuário e da comunidade atendida.

Ao longo do ciclo de desenvolvimento, a equipe aplicou práticas de conversão do conhecimento tácito em explícito, transformando experiências, observações e feedbacks em relatórios e repositórios compartilhados. O conhecimento adquirido em fases anteriores foi sucessivamente reutilizado e aprimorado nas sprints seguintes, contribuindo para solucionar limitações encontradas e otimizar a implementação das funcionalidades. Esse registro contínuo das lições aprendidas atuou como mecanismo de prevenção de erros e melhoria organizacional, reforçando a importância da gestão integrada do conhecimento na tomada de decisões e no planejamento das próximas etapas.

A adoção do framework ágil Scrum mostrou-se altamente compatível com a gestão do conhecimento, uma vez que suas iterações curtas e revisões frequentes promoveram a disseminação de saberes dentro da equipe. As retrospectivas e validações realizadas ao fim de cada sprint estimularam a reflexão sobre acertos e falhas, reforçando a ideia de que o conhecimento deve ser constantemente revisado, atualizado e compartilhado para gerar inovação. Assim, a gestão do conhecimento atuou como elo entre o planejamento, a execução e a melhoria contínua do sistema desenvolvido.

Além dos ganhos técnicos, o projeto também trouxe impactos humanos e sociais relevantes. A participação da usuária pertencente ao público sênior, o registro dos feedbacks e o esforço em garantir acessibilidade reforçaram o compromisso da equipe com a inclusão e com o uso responsável da tecnologia. O teste preliminar de usabilidade realizado com o protótipo do sistema confirmou que as decisões de interface estavam coerentes com o perfil da usuária e contribuíram para sua autonomia, fortalecendo ainda mais o alinhamento entre o software e o contexto comunitário no qual será utilizado.

Em síntese, o Projeto Integrador VI consolidou-se como uma experiência prática de aplicação dos princípios de Gerenciamento do Conhecimento dentro do Gerenciamento da Integração de Projetos. O trabalho demonstrou que documentar, compartilhar e aplicar o conhecimento ao longo de todas as fases do projeto não apenas melhora a qualidade das entregas, como também fortalece a maturidade e o aprendizado da equipe. Assim, investir em gestão de conhecimento é investir em projetos mais sustentáveis, colaborativos e duradouros, nos quais o saber produzido se torna um patrimônio coletivo para futuras iniciativas acadêmicas e profissionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BASRI, S.; O'CONNOR, R. V.** A Study of Knowledge Management Process Practices in Very Small Software Companies. *International Journal of Knowledge Management*, v. 10, n. 4, p. 1-20, 2014. Disponível em: [https://doras.dcu.ie/16861/1/A\\_Study\\_of\\_Knowledge\\_Management\\_Process\\_Practices\\_in\\_Very\\_Small\\_Software\\_Companies.pdf](https://doras.dcu.ie/16861/1/A_Study_of_Knowledge_Management_Process_Practices_in_Very_Small_Software_Companies.pdf). Acesso em: 25 nov. 2025.

**CHAVES, R. M.; PEIXOTO, C. S. A.** Os benefícios da implantação de um sistema de gestão de conhecimento em uma empresa de equipamentos médicos. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Gestão de Projetos) – MBA USP ESALQ. 2021.

**GONZALEZ, R. V.; MARTINS, M. F.** O Processo de Gestão do Conhecimento: uma pesquisa teórico-conceitual. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 24, n. 2, p. 248-265, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/cbfhzLCBfB6gnzrqPtyby8S/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 nov. 2025.

**LAVANHOLI, P.; PEIXOTO, C. S. A.** Elaboração e uso de Base case para Gestão de conhecimento em projetos preditivos. (Aperfeiçoamento/Especialização em Gestão de Projetos) – MBA USP ESALQ. 2022.

**PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI).** *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®)*. 6. ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2017.

**ROSSETTI, A.; MORALES, A. B.** O papel da tecnologia da informação na gestão do conhecimento. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 36, n. 1, p. 124-135, jan./abr. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ci/a/FzcdzsLpNJ43cXj5RcRWg5v/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 6 nov. 2025.

**RUBIN, J.** *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design and Conduct Effective Tests*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.

**SUTHERLAND, J.** *Scrum: a arte de fazer o dobro do trabalho na metade do tempo*. Tradução: Afonso Celso da Cunha Serra. 1. ed. Rio de Janeiro: LeYa, 2016.

**ANÁLISE ESTÁTICA DE ALGORITMOS COM GERAÇÃO DE COMPLEXIDADE ASSINTÓTICA***STATIC ANALYSIS OF ALGORITHMS WITH ASYMPTOTIC COMPLEXITY GENERATION*

Felipe Destro Munhos SILVA

[felipedestro8@gmail.com](mailto:felipedestro8@gmail.com)

Ciência da Computação, Unianchieta

Giovanni Fernandes VICENTIN

[giovannifvicentin@gmail.com](mailto:giovannifvicentin@gmail.com)

Ciência da Computação, Unianchieta

Clayton Augusto VALDO

[clayton.valdo@anchieta.br](mailto:clayton.valdo@anchieta.br)

Ciência da Computação, Unianchieta

**Resumo**

Este estudo teve como meta validar e evidenciar, na prática, a aplicação da complexidade assintótica por meio da análise estática de algoritmos. Para isso, foi desenvolvida uma ferramenta web interativa que possibilita a geração e visualização da complexidade de diversos algoritmos, tornando esses conceitos teóricos, frequentemente considerados abstratos, mais acessíveis, concretos e passíveis de verificação em um contexto prático. A pesquisa abordou desde os fundamentos da teoria da complexidade algorítmica, passando pela aplicação de heurísticas de identificação de estruturas de controle, até a construção de representações estruturais como Árvores Sintáticas Abstratas (AST) e Grafos de Fluxo de Controle (CFG), que serviram de base para a inferência da complexidade. A partir dessa fundamentação, foi desenvolvido o sistema Big O Analyzer, utilizando tecnologias modernas como Next.js e Monaco Editor, o que permitiu integrar uma interface interativa a um pipeline de análise eficiente e modular. O sistema processa trechos de código escritos em linguagens como JavaScript, Python e Java, identifica padrões como loops, recursões e divisões de problema e retorna a classe de complexidade correspondente, acompanhada de explicações textuais e sugestões de otimização. Os resultados mostraram que a aplicação foi capaz de reconhecer corretamente diferentes classes de complexidade de  $O(1)$  a  $O(n!)$  demonstrando consistência com os fundamentos teóricos e confirmando a validade da proposta. Além de sua utilidade prática, o projeto apresenta relevância acadêmica ao oferecer uma nova abordagem de ensino para o estudo de algoritmos, unindo interatividade, visualização e formalismo teórico.

## Palavras-Chave

Análise estática; complexidade assintótica; notação Big O; AST; CFG; Next.js; algoritmos.

## Abstract

This study aimed to validate and demonstrate, in practice, the application of asymptotic complexity through the static analysis of algorithms. To achieve this, an interactive web tool was developed that enables the generation and visualization of the complexity of various algorithms, making these theoretical concepts often considered abstract more accessible, concrete, and verifiable in a practical context. The research covered topics ranging from the fundamentals of algorithmic complexity theory, the application of heuristics for identifying control structures, to the construction of structural representations such as Abstract Syntax Trees (AST) and Control Flow Graphs (CFG), which served as the foundation for complexity inference. Based on this groundwork, the Big O Analyzer system was developed using modern technologies such as Next.js and Monaco Editor, allowing the integration of an interactive interface with an efficient and modular analysis pipeline. The system processes code snippets written in languages such as JavaScript, Python, and Java, identifies patterns such as loops, recursion, and problem division, and returns the corresponding complexity class, accompanied by textual explanations and optimization suggestions. The results showed that the application was able to correctly recognize different complexity classes, from  $O(1)$  to  $O(n!)$ , demonstrating consistency with theoretical foundations and confirming the validity of the proposal. In addition to its practical usefulness, the project holds academic relevance by offering a new teaching approach for the study of algorithms combining interactivity, visualization, and theoretical formalism.

## Keywords

Static analysis; asymptotic complexity; Big O notation; AST; CFG; Next.js; algorithms.

## INTRODUÇÃO

Entre as décadas de 1960 e 1970, a discussão sobre eficiência de algoritmos ganhou estatuto formal com a publicação de *The Art of Computer Programming*, de Donald Knuth, que sistematizou fundamentos e ajudou a popularizar a notação assintótica (Big O) como linguagem padrão para comparar ordens de crescimento, independentemente de plataforma ou linguagem. Ao mesmo tempo, Knuth (1997), enfatizou a utilidade de raciocínios aproximados para fins de comparação: “We often want to know a quantity approximately, instead of exactly, in order to compare it to another.”. Esse princípio reforça que a notação assintótica privilegia ordens de crescimento sobre constantes e detalhes de implementação. Desde então, a notação assintótica firmou-se como padrão de fato para medir e comunicar o desempenho de algoritmos na computação moderna.

Na prática, consolidou-se o uso de microbenchmarks e profiling pós-implementação para comparar algoritmos; são úteis, mas sujeitos a vieses de hardware, compilador/JIT e distribuição das entradas, o que frequentemente gera leituras parciais. Como lembra Dijkstra (1970), “Program testing can be used to show the presence of bugs, but never to show their absence!”, uma advertência que, por analogia, vale para desempenho: testes revelam gargalos, não provam a classe de complexidade.

Por isso, ganhou força a aproximação da análise assintótica ao próprio código via análise estática, produzindo estimativas fundamentadas e reproduzíveis que complementam, em vez de substituir, a experimentação. Nesse cenário, a análise estática consolidou técnicas e ferramentas que extraem propriedades sem executar o programa de AST/CFG a interpretação abstrata e análise de fluxo de dados formando uma base sólida para inferência automática de custos assintóticos e explicações reproduzíveis. Assim, aproximar a complexidade do próprio código deixa de ser apenas uma conveniência didática e torna-se um caminho concreto para padronizar comparações e reduzir vieses de medição. Conforme sintetiza a JETBRAINS (2025), a análise estática examina o código sem execução, detecta precocemente defeitos e vulnerabilidades e, quando integrada ao CI/CD, atua de forma complementar à análise dinâmica.

A proposta deste artigo é investigar técnicas de análise estática de código para estimar a complexidade assintótica de algoritmos. A proposta envolve a construção de um sistema que, a partir de trechos de código, gera árvores sintáticas abstratas (AST) e grafos de fluxo de controle (CFG), aplicando regras heurísticas para identificar estruturas críticas como recursão, loops aninhados e algoritmos de ordenação, fornecendo justificativas detalhadas da classificação obtida. Do ponto de vista prático, um sistema desse tipo tem duas aplicações centrais: ensino de algoritmos, ao tornar visível a ligação entre estruturas de controle e ordens de crescimento com justificativas locais e gráficos; e ecossistema de compiladores e revisão de código, ao fornecer alertas precoces sobre potencial degradação assintótica e pistas de otimização ainda na fase de desenvolvimento, sem dependência de cargas de teste específicas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com base nos conceitos apresentados, se originou a ideia de criar um sistema web para análise estática de algoritmos. A ideia é utilizar ferramentas modernas e confiáveis, que auxiliem tanto na aprendizagem de algoritmos quanto na prática, servindo como um recurso valioso para compiladores. Para tanto, foi realizada uma pesquisa minuciosa a fim de se compreender melhor a fundamentação teórica e o funcionamento de como se faz a análise de algoritmos em função do crescimento assintótico.

### Teoria da Complexidade Algorítmica

Podemos nos deparar em algumas ocasiões com problemas e/ou dificuldades de aplicabilidade quando trabalhamos com algoritmos, isso é relacionado ao seu tamanho de entrada ou complexidade, é de extrema importância compreender a complexidade do algoritmo com o qual estamos lidando. Segundo (Cormen et al, 2009): “Algoritmos diferentes criados para resolver o mesmo problema muitas vezes são muito diferentes em termos de eficiência. Essas diferenças podem ser muito mais significativas que as diferenças relativas a hardware e software.”. Essa ideia demonstra como a análise de complexidade é essencial, pois ajuda a deixar de lado detalhes específicos de hardware e implementação. Com base nisso, podemos comparar diferentes soluções para o mesmo problema de forma clara.

Nessas circunstâncias, a notação assintótica consolidou-se como princípio de referência para descrever o comportamento de algoritmos, do tempo de execução e do consumo de memória à medida que o tamanho da entrada cresce. Como citado por Sipser (2013), “The theories of computability and complexity are closely related. In complexity theory, the objective is to classify problems as easy ones and hard ones; Whereas in computability theory, the classification of problems is by those that are solvable and those that are not. Computability theory introduces several of the concepts used in complexity theory”, ela também destaca que classificar problemas e algoritmos de acordo com diferentes níveis de crescimento é importante para entender o quão difícil eles são por natureza.



Além disso, é importante considerar que a análise de complexidade se divide em dois principais eixos: tempo e espaço. A complexidade de tempo mede a quantidade de operações necessárias para concluir a execução de um algoritmo, enquanto a complexidade de espaço mede a quantidade de memória utilizada durante o processo. Muitas vezes, existe um equilíbrio entre tempo e espaço, conhecido como trade-off, em que o aumento da eficiência temporal pode implicar maior consumo de memória, e vice-versa. Essa relação é descrita por (Knuth, 1997) como um dos aspectos centrais da eficiência algorítmica, pois qualquer otimização deve considerar ambos os fatores para alcançar o melhor desempenho possível.

Cormen et al. (2009) ressaltam que as principais classes de complexidade podem ser organizadas em categorias específicas, conforme mostrado na Tabela 1. Essa tabela apresenta as ordens de crescimento mais comuns, bem como exemplos significativos de algoritmos relacionados. Essa classificação ajuda a comparar desempenho e prever escalabilidade à medida que o tamanho da entrada cresce.

**Tabela 1.** Classes de Complexidade Assintótica (Bigocheatsheet, 2013)

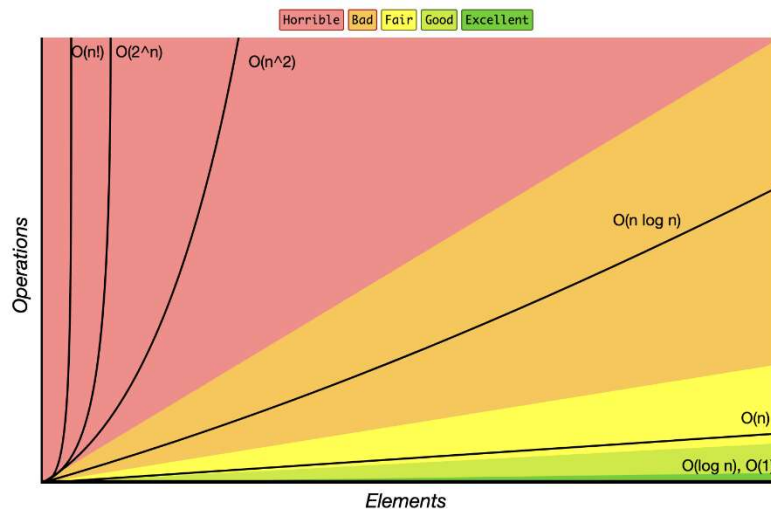
Classe	Crescimento	Exemplo clássico
$O(1)$	Constante	Acesso direto em vetor
$O(\log n)$	Logarítmico	Busca binária
$O(n)$	Linear	Percorrer lista
$O(n \log n)$	Linearítmico	Merge Sort
$O(n^2)$	Quadrático	Bubble Sort
$O(2^n)$	Exponencial	Backtracking
$O(n!)$	Fatorial	Permutações completas

Além disso, a teoria da complexidade engloba a categorização dos problemas computacionais em classes amplas e teoricamente fundamentadas, como P, NP e NP-completo, de acordo com Sipser (2013). Os problemas que pertencem à classe P podem ser solucionados em tempo polinomial. Em contrapartida, os problemas da classe NP permitem soluções que podem ser verificadas em tempo polinomial, mas ainda não se sabe se todos esses problemas podem ser resolvidos diretamente nesse mesmo intervalo de tempo. Essa distinção é fundamental para compreender o que é eficiente ou intratável na computação atual, sendo um dos alicerces da análise teórica de algoritmos.

Assim, a análise assintótica consolida-se permitindo decisões mais racionais sobre qual abordagem adotar em diferentes contextos. Como afirmam (Cormen et al., 2009): “Analisar um algoritmo significa prever os recursos de que o algoritmo necessita. Ocasionalmente, recursos como memória, largura de banda de comunicação ou hardware de computador são a principal preocupação, porém mais frequentemente é o tempo de computação que desejamos medir. Em geral, pela análise de vários algoritmos candidatos para um problema, pode-se identificar facilmente um que seja o mais eficiente. Essa análise pode indicar mais de um candidato viável, porém, em geral, podemos descartar vários algoritmos de qualidade inferior no processo.” Essa abordagem mostra que a teoria da complexidade algorítmica não é só uma ideia vaga, mas também um guia útil para distinguir entre soluções mais eficazes e aquelas que são menos eficientes.

Tal estrutura pode ser observada na Figura 1, que ilustra graficamente as diferentes ordens de crescimento em função do tamanho da entrada.

**Figura 1.** Gráfico de Complexidade Big-O (Bigocheatsheet, 2013)



### Heurísticas de Classificação de Estruturas de Controle

A análise da complexidade assintótica pode ser realizada por meio de heurísticas que conectam estruturas de controle no código a padrões de crescimento computacional. Essas heurísticas funcionam como normas aplicadas que permitem estimar a ordem de complexidade apenas pela sintaxe do programa, eliminando a necessidade de fazer cálculos matemáticos tradicionais em muitos casos. Conforme a figura 2, essa estratégia é essencial não apenas no ensino de algoritmos, pois torna-se mais fácil academicamente de se entender, mas também nas ferramentas de análise estática de código, que empregam árvores sintáticas e grafos de fluxo de controle para detectar laços, recursões e ramificações que afetam o desempenho (Aho et al., 2008).

Em um modo geral, loops simples representam o primeiro nível de classificação. Estruturas de repetição, como `for` ou `while`, ao percorrerem a entrada de uma forma linear exibem uma complexidade igual  $O(n)$ , pois cada iteração processa um pedaço que é proporcional ao tamanho da entrada (Cormen et al., 2009). A heurística fundamental é: um laço  $\rightarrow O(n)$ , indicando um crescimento linear.

No próximo nível, loops aninhados indicam a composição multiplicativa do espaço de iterações. Por exemplo, dois laços `for` aninhados até  $n$  levam a  $O(n^2)$ , já que cada elemento da entrada é tratado em combinação com todos os demais. Essa conexão pode ser estruturada em tabelas hierárquicas, nas quais cada nível de aninhamento representa uma nova potência de  $n$  (Sedgewick e Wayne, 2011).

Um padrão importante é também a estrutura recursiva. A recursão simples, como no exemplo do fatorial, resulta em  $O(n)$ . Já a recursão do tipo *Divide and Conquer*, como no MergeSort ou QuickSort, segue a relação de recorrência  $T(n) = 2T(n/2) + O(n)$ , cuja solução resulta em  $O(n \log n)$  (Cormen et al., 2009), onde tal resultado é apresentado na figura 3. Isso serve para ilustrar a importância das árvores de recursão, que podem ser representadas graficamente para mostrar como o problema é dividido de forma sucessiva.

Além das estruturas iterativas e recursivas, heurísticas também podem ser aplicadas a estruturas condicionais e blocos dependentes, que interferem o custo total de execução conforme o número de caminhos possíveis. Estruturas condicionais, embora não representem repetição explícita, assim como

impactam a complexidade ao definir caminhos alternativos de execução. A heurística clássica assume o pior caso (o caminho mais custoso) como representativo da ordem de crescimento.

Em CFGs, esse comportamento é refletido por múltiplos caminhos de controle, da qual união determina o limite superior assintótico. Assim, a análise estática tende a aproximar o custo total pela soma ou máximo dos fluxos de controle, conforme o modelo de execução adotado. Esse tipo de inferência é singularmente relevante em códigos com múltiplas dependências condicionais ou com funções que possuem comportamento variável em tempo de execução (LLVM PROJECT, 2018).

A interpretação das heurísticas também muda dependendo do paradigma de programação. Em linguagens imperativas, o controle de fluxo explícito possibilita estimativas diretas tanto de iteração quanto de recursão. No caso de linguagens orientadas a objetos, a análise deve levar em conta o custo das chamadas dinâmicas e o encadeamento de métodos que são herdados. Em vez de loops, encontramos recursões puras e composições de funções em linguagens funcionais, o que exige heurísticas para reconhecer padrões como map, reduce ou fold no lugar de loops explícitos. Essas variações ressaltam a necessidade de alinhar o modelo heurístico com o paradigma em questão, a fim de obter maior precisão e compatibilidade entre diversos estilos de programação (Kosinski et al., 2024).

Por fim, heurísticas mais detalhadas se concentram em padrões clássicos, como a busca binária  $O(\log n)$ , loops duplos dependentes  $O(n * m)$  ou algoritmos de tempo exponencial  $O(2^n)$ , que normalmente envolvem uma combinação exaustiva. A ordenação desses modelos é um passo importante tanto no ensino de algoritmos quanto na prática profissional, pois ajuda a achar rápido o crescimento pela estrutura do código. Desse modo, Sipser (2013) resalta que a análise do tempo de execução e o reconhecimento de problemas intratáveis são fundamentais para compreender os limites da computação e situar algoritmos dentro de diferentes níveis de complexidade.

**Figura 2.** Operações Comuns de Estruturas de Dados (Bigocheatsheet, 2013)

Data Structure	Time Complexity								Space Complexity
	Average				Worst				Worst
	Access	Search	Insertion	Deletion	Access	Search	Insertion	Deletion	
Array	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$
Stack	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$
Queue	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$
Singly-Linked List	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$
Doubly-Linked List	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(n)$
Skip List	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n \log n)$
Hash Table	N/A	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	$\Theta(1)$	N/A	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$
Binary Search Tree	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$
Cartesian Tree	N/A	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	N/A	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$
B-Tree	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(n)$
Red-Black Tree	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(n)$
Splay Tree	N/A	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	N/A	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(n)$
AVL Tree	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(n)$
KD Tree	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(\log n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$

**Figura 3.** Algoritmos de Ordenação de Arrays (Bigocheatsheet, 2013)

Algorithm	Time Complexity			Space Complexity
	Best	Average	Worst	Worst
Quicksort	$\Omega(n \log(n))$	$\Theta(n \log(n))$	$O(n^2)$	$O(\log(n))$
Mergesort	$\Omega(n \log(n))$	$\Theta(n \log(n))$	$O(n \log(n))$	$O(n)$
Timsort	$\Omega(n)$	$\Theta(n \log(n))$	$O(n \log(n))$	$O(n)$
Heapsort	$\Omega(n \log(n))$	$\Theta(n \log(n))$	$O(n \log(n))$	$O(1)$
Bubble Sort	$\Omega(n)$	$\Theta(n^2)$	$O(n^2)$	$O(1)$
Insertion Sort	$\Omega(n)$	$\Theta(n^2)$	$O(n^2)$	$O(1)$
Selection Sort	$\Omega(n^2)$	$\Theta(n^2)$	$O(n^2)$	$O(1)$
Tree Sort	$\Omega(n \log(n))$	$\Theta(n \log(n))$	$O(n^2)$	$O(n)$
Shell Sort	$\Omega(n \log(n))$	$\Theta(n(\log(n))^2)$	$O(n(\log(n))^2)$	$O(1)$
Bucket Sort	$\Omega(n+k)$	$\Theta(n+k)$	$O(n^2)$	$O(n)$
Radix Sort	$\Omega(nk)$	$\Theta(nk)$	$O(nk)$	$O(n+k)$
Counting Sort	$\Omega(n+k)$	$\Theta(n+k)$	$O(n+k)$	$O(k)$
Cubesort	$\Omega(n)$	$\Theta(n \log(n))$	$O(n \log(n))$	$O(n)$

### Análise Estática de Código (AST/CFG)

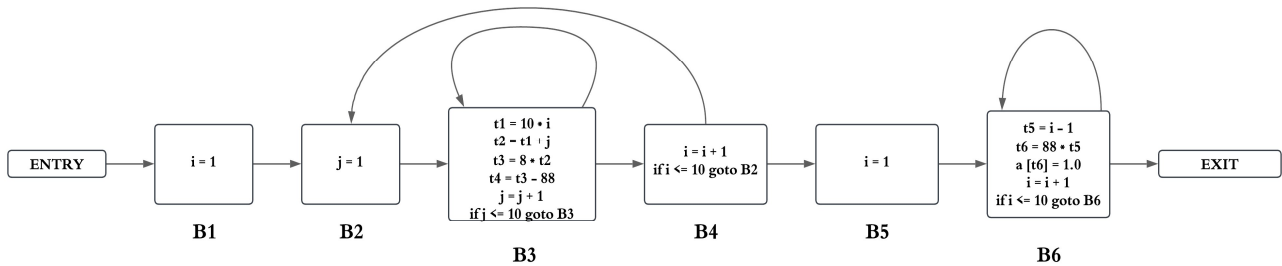
A análise estática investiga propriedades do programa sem executá-lo, traduzindo o código-fonte em representações que tornam explícitas a estrutura e o fluxo lógico. Duas peças centrais são a Árvore Sintática Abstrata (AST), que preserva o conteúdo semanticamente relevante do programa, e o Grafo de Fluxo de Controle (CFG), que mapeia os caminhos possíveis de execução entre blocos básicos, de que modo é exibido na figura 4. Em termos simples, a AST descreve o que o programa é, enquanto o CFG mostra como ele pode ser percorrido. Sobre CFG, a documentação do GCC define: “The CFG is a directed graph where the vertices represent basic blocks and edges represent possible transfer of control flow from one basic block to another.” Esse par de estruturas, consolidado na literatura de compiladores e análise de programas, sustenta estimativas assintóticas por evidenciar padrões estruturais que influenciam diretamente o custo (GCC., 2025).

A partir dessas representações, a ferramenta identifica hierarquias de aninhamento, recursões e composições frequentes na AST, enquanto o CFG explicita ciclos e caminhos mutuamente exclusivos em condicionais. Essas informações são essenciais para raciocinar sobre limites de iteração e composição de custos. Para refinar as inferências sem executar o programa, aplicam-se análises de fluxo de dados e a interpretação abstrata, que propagam invariantes, como avançar um índice até  $n$  ou uma recursão que divide o problema por 2, e permitem construir limites superiores de forma sistemática. Na camada estrutural, a forma Static Single Assignment (SSA) e o grafo de dependência de controle simplificam o encadeamento de definições e usos e a relação de dominação entre blocos, vale lembrar que “LLVM is a Static Single Assignment (SSA) based representation” (LLVM PROJECT, 2018).

No sistema proposto, o pipeline conceitual segue parsing, construção da AST, derivação do CFG, análises de dados e controle, aplicação de regras de complexidade e emissão de justificativas. A saída é explicável e reproduzível: a classe Big-O, os pontos críticos que a sustentam e as hipóteses adotadas sobre o que é  $n$  e sobre pior caso. Em implementações modernas de IR em SSA, limitações práticas, como custos não visíveis de bibliotecas, polimorfismo e reflexão, ou limites dependentes de dados de entrada podem ser tratadas com resumos de custo conhecidos e, quando necessário, com intervalos ou anotações do usuário.

Na literatura recente, “Static program analysis, or static analysis, aims to discover semantic properties of programs without running them.” (RIVAL; YI, 2020). Além disso, há propostas contemporâneas que certificam limites superiores de custo para reforçar a reprodutibilidade dos resultados (ALBERT et al., 2025).

**Figura 4.** Exemplo de Grafo de Fluxo de Controle (Aho et al., 2008)



A análise estática de código é um campo consolidado na engenharia de software e na teoria da computação, fundamentado em métodos formais que examinam o comportamento potencial de um programa a partir de sua estrutura sintática. Diferentemente da análise dinâmica, que depende da execução e das condições de entrada, a análise estática utiliza modelos abstratos para deduzir propriedades determinísticas e reprodutíveis, como alcance de variáveis, dependências de controle e limites de iteração (Nielson et al., 1998).

Entre as técnicas mais recorrentes estão a interpretação abstrata e a análise de fluxo de dados, que permitem inferir estados possíveis do programa por meio da propagação de informações entre blocos básicos. A interpretação abstrata, proposta por Cousot (1977), oferece uma estrutura matemática para representar o comportamento do código em domínios simplificados como intervalos, sinais ou contadores de iteração garantindo que as conclusões obtidas sejam seguras, ainda que aproximadas. Isso a torna ideal para inferir limites assintóticos de laços e recursões, já que o objetivo não é calcular um resultado exato, mas determinar o crescimento relativo das operações em função do tamanho da entrada.

O uso combinado de AST e CFG constitui a base prática dessas análises. A AST fornece a estrutura. No ciclo de vida moderno, a análise estática é frequentemente automatizada em CI/CD, executando em cada commit para manter qualidade, segurança e desempenho com feedback rápido à equipe, ferramentas como o Qodana (JetBrains) documentam essa integração e seus benefícios (inspeções consistentes, configuração de severidades, relatórios centralizados), reforçando o papel da análise estática (JETBRAINS, 2025).

## Plataformas Web Interativas

Desde o fim dos anos 1980, quando Tim Berners-Lee propôs no CERN um sistema de hipertexto distribuído para organizar e compartilhar informações científicas, “It discusses the problems of loss of information about complex evolving systems and derives a solution based on a distributed hypertext system.”. A Web passou de páginas estáticas acessadas por navegadores simples a um ecossistema padronizado e amplamente interoperável, como demonstra na figura 5, porém, só em 2014 o HTML5 se consolidou como recomendação do W3C, unificando funcionalidades essenciais como multimídia, gráficos e

APIs, estabelecendo a base para aplicações ricas no navegador. Nesse contexto histórico-técnico, torna-se natural evoluir para plataformas web interativas que integram front-end e back-end com renderização híbrida e ferramentas de edição em tempo real. (BERNERS-LEE, 1989; W3C, 2014).

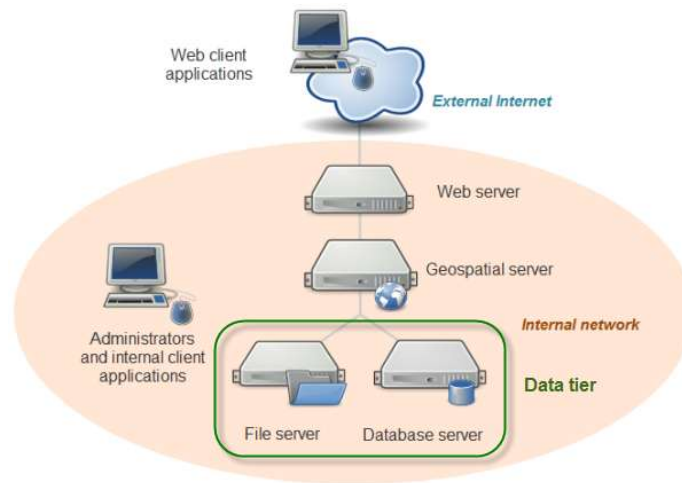
Ao longo dos anos, o desenvolvimento web tem sofrido diversas mudanças e otimizações, e nesse processo surgiram frameworks e bibliotecas mais performáticas, com foco em desempenho e manutenibilidade. Inserido nesse contexto, a proposta materializa-se em uma plataforma web construída com Next.js, framework full-stack sobre Node, React, integra frontend e backend na mesma aplicação, com roteamento por arquivos, rotas de API e renderização híbrida. O editor embutido utiliza o Monaco Editor, que, segundo a documentação oficial, é "the code editor that powers VS Code". Esse arranjo permite ao usuário escrever e editar um código, enviar para análise e visualizar imediatamente a classe de complexidade com gráficos e explicações, sem sair da página (Microsoft/Monaco, 2025).

O fluxo da aplicação é objetivo, a página envia o código e metadados, por exemplo, qual coleção define  $n$  ao serviço de análise por um Route Handler, "Route Handlers allow you to create custom request handlers for a given route using the Web Request and Response APIs." O backend constrói a AST e o CFG, aplica as regras e retorna a classe Big-O com uma prova textual e artefatos para visualização. Para não bloquear a interface, o front usa streaming com Server Components, "Streaming: Server Components allow you to split the rendering work into chunks and stream them to the client as they become ready." A UI exibe gráficos de crescimento e destaca, em linguagem simples, porque determinado laço ou recursão implica a ordem reportada. Por segurança e reprodutibilidade, o sistema não executa o código submetido; toda a inferência decorre de parsing e análise estática fornecida pelo usuário (Next.js, 2025).

Do ponto de vista técnico, o front-end atua como uma camada de interação, responsável por capturar o código digitado pelo usuário e renderizar visualmente os resultados, como árvores, grafos e explicações textuais. Já o back-end executa o núcleo da análise estática, aplicando algoritmos de parsing, derivação sintática e inferência de complexidade. O resultado é uma aplicação modular, na qual a camada de exibição é independente da lógica analítica, garantindo portabilidade e reuso em diferentes contextos de ensino e pesquisa (Adamkó, 2014).

Outro aspecto relevante é a reprodutibilidade dos resultados. Por não executar o código analisado, mas apenas inspecionar sua estrutura sintática e lógica, o sistema garante que o comportamento observado seja independente do ambiente e dos dados de entrada, mantendo a coerência entre diferentes execuções. Essa propriedade é essencial em pesquisas e comparações de algoritmos, pois assegura que a análise de complexidade dependa exclusivamente da estrutura do código e não de fatores externos como compilador, hardware ou tempo de execução (RIVAL; YI, 2020). Em síntese, o uso de uma plataforma web interativa para análise estática de código une teoria, prática e acessibilidade. O sistema permite que qualquer usuário explore o comportamento estrutural de algoritmos, visualize os padrões de complexidade e compreenda as justificativas da classificação Big-O de forma intuitiva. Essa combinação entre parsing automatizado, interpretação formal e interface visual define um novo modelo de aprendizado e pesquisa aplicado à ciência da computação moderna.

**Figura 5.** Arquitetura de multicamadas de Aplicações Web (PennState, 2022)



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante aos resultados alcançados, o projeto prático se deu por meio da utilização de componentes que desempenharam para que a análise estática de algoritmos com geração de complexidade assintótica fosse gerada com sucesso. O projeto final consistiu na implementação de uma ferramenta web interativa, denominada Big O Analyzer, que permite ao usuário inserir um código-fonte em diferentes linguagens de programação e, conforme o código fornecido pelo usuário, consegue obter uma estimativa da sua complexidade algorítmica no pior caso, acompanhada de uma explicação textual e sugestões de otimização.

De maneira geral, o sistema foi desenvolvido utilizando o framework Next.js, que possibilitou a construção de uma interface moderna, responsiva e dinâmica. Essa interface, integrada ao editor de código Monaco, permite que o usuário digite, cole ou modifique um trecho de código em linguagens como JavaScript, Python e Java, e visualize os resultados em tempo real. A escolha do Monaco como editor base se justifica por sua capacidade de fornecer recursos avançados, como realce de sintaxe (syntax highlighting), numeração de linhas e detecção automática de erros básicos, características que contribuem significativamente para a experiência do usuário durante a inserção e modificação do código-fonte. O funcionamento da aplicação segue um fluxo de dados modular, em que cada parte do código-fonte é analisada por etapas independentes até a obtenção do resultado.

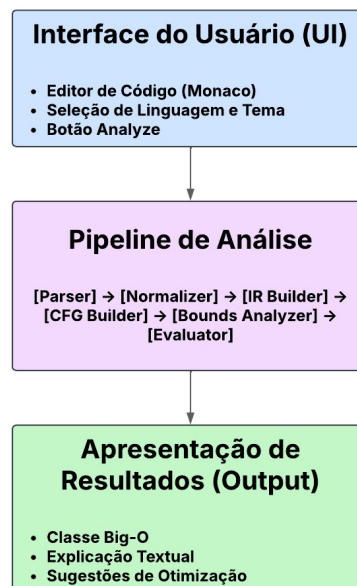
A arquitetura geral do sistema pode ser representada por um modelo conceitual, conforme representada na Figura 6. Nessa arquitetura, o processo inicia-se na interface do usuário (UI), onde o código é inserido e a linguagem é selecionada. Em seguida, os dados são encaminhados para o pipeline de análise, que executa uma sequência de módulos: AST Parser, Normalizer, IR builder, CFG Builder, Bounds Analyzer e Evaluator. O resultado dessa cadeia de etapas é então devolvido para a interface, que o apresenta em formato de texto, com ícones, cores e dicas visuais de complexidade. O tempo de resposta do sistema foi otimizado para executar em poucos segundos na maioria dos casos de uso testados, garantindo uma experiência fluida e responsiva.



## Interface do Usuário

A interface do usuário foi desenvolvida para tornar essa experiência intuitiva e visualmente clara. Ao clicar em Analisar, o sistema exibe um pequeno indicador de carregamento enquanto o pipeline processa as informações. Assim que o resultado é retornado, o usuário visualiza uma janela indicando a classe de complexidade de pior caso, acompanhada da explicação textual e de uma lista de sugestões. As cores dos ícones seguem uma escala intuitiva, onde, verde para  $O(1)$ , azul para  $O(\log n)$ , amarelo para  $O(n)$ , laranja para  $O(n \log n)$  e vermelho para  $O(n^2)$  ou de maiores complexidades, auxiliando na rápida identificação da eficiência do código.

**Figura 6.** Arquitetura geral do sistema Big O Analyzer.



## Pipeline de Análise

O pipeline de análise é o núcleo lógico da aplicação. Ele tem como principal função transformar o código-fonte digitado em um conjunto de informações estruturadas que possam ser interpretadas e classificadas. Para isso, o processo ocorre em seis etapas principais, observados na Figura 7, cada uma dessas etapas foi cuidadosamente projetada para operar de forma eficiente e independente, permitindo que o sistema escale adequadamente mesmo com códigos mais complexos ou extensos.

Na primeira etapa, chamada parser, o sistema converte o texto digitado em uma árvore sintática abstrata (AST). Essa árvore é uma representação hierárquica das estruturas do código, como funções, laços e condicionais. O parser foi projetado de forma simples e rápida, priorizando portabilidade entre linguagens. Por exemplo, ele é capaz de identificar um laço for ou while sem precisar compreender todos os detalhes da sintaxe da linguagem. Esse formato permite que o sistema seja facilmente adaptado para outras linguagens de programação no futuro, mantendo o desempenho em tempo real.



A implementação do parser utiliza técnicas de análise léxica baseadas em tokens, onde cada palavra-chave, operador ou identificador é reconhecido e classificado antes da construção da árvore. Essa abordagem, embora simplificada em comparação com parsers completos de compiladores, mostrou-se suficiente para os propósitos educacionais e exploratórios do projeto, mantendo um equilíbrio entre precisão e desempenho.

Após essa conversão inicial, a etapa de normalização transforma os elementos específicos de cada linguagem em um formato padronizado, chamado IR. Essa camada funciona como um “idioma comum” entre diferentes linguagens, garantindo que uma função em Python e uma função equivalente em JavaScript sejam tratadas da mesma forma nas etapas seguintes. A normalização gera uma lista de nós com informações básicas, como o nome da função, tipo de laço e nível de aninhamento.

Durante o processo de normalização, também são eliminadas construções sintáticas irrelevantes para a análise de complexidade, como comentários, strings literais e formatação específica de cada linguagem, focando exclusivamente nas estruturas de controle de fluxo que impactam o desempenho algorítmico. Essa etapa é fundamental para garantir a consistência dos resultados independentemente da linguagem de programação utilizada.

Em seguida, entra em ação o módulo de construção de grafo IR, que organiza esses nós em uma estrutura gráfica composta por pontos de entrada e saída. Essa estrutura, chamada Control Flow Graph (CFG), modela o caminho lógico percorrido pela execução do algoritmo. Por exemplo, cada condição if ou else representa uma bifurcação, e cada laço adiciona uma ligação de retorno, simulando a repetição das instruções, tal trecho é representado nas imagens 8 e 9 respectivamente.

Após o grafo ser montado, o módulo bounds analyzer realiza uma varredura sobre o código-fonte bruto para identificar laços, chamadas recursivas e padrões de divisão de problemas, como ocorre em algoritmos de busca binária ou de ordenação por mesclagem (merge sort). Essa etapa utiliza expressões regulares e heurísticas simples para determinar quantas vezes um bloco de instruções pode ser repetido ou dividido, gerando dados sobre a profundidade de aninhamento e sobre a presença de recursividade.

**Figura 7.** Representação do fluxo da Pipeline no código.

```

export class AnalysisPipeline {
  private normalizer = new ASTNormalizer();
  private irBuilder = new IRBuilder();
  private cfgBuilder = new CFGBuilder();
  private boundsAnalyzer = new BoundsAnalyzer();
  private evaluator = new ComplexityEvaluator();

  async analyze(code: string, language: Language): Promise<Analysis> {
    await new Promise((resolve) => setTimeout(resolve, 500));
    try {
      // step 1: Parse code into AST
      const ast = ParserFactory.parse(code, language);
      // step 2: Normalize AST into unified IR nodes
      const irNodes = this.normalizer.normalize(ast);
      // step 3: Build Intermediate Representation
      const ir = this.irBuilder.build(irNodes);
      // step 4: Construct Control Flow Graph
      const cfg = this.cfgBuilder.buildCFG(ir);
      // step 5: Analyze bounds (loops and recursion)
      const bounds = this.boundsAnalyzer.analyze(code, language);
      // step 6: Evaluate complexity
      const complexity = this.evaluator.evaluate(code, bounds, language);

      const explanation = COMPLEXITY_EXPLANATIONS[complexity];
      const suggestions = OPTIMIZATION_SUGGESTIONS[complexity];

      return {
        complexity,
        explanation,
        suggestions,
      };
    } catch (error) {
      console.error("[Pipeline] Analysis failed:", error);

      return {
        complexity: "O(n)",
        explanation:
          "Unable to complete analysis. Please check your code syntax.",
        suggestions: ["Ensure your code is syntactically correct."],
      };
    }
  }
}

```

Com base nessas informações, o evaluator (avaliador) combina os resultados das análises anteriores para determinar a classe de complexidade Big O. Ele utiliza regras pré-definidas e um conjunto de constantes armazenadas em uma biblioteca interna (lib/constants). Por exemplo, se o código apresenta um único laço simples, o sistema interpreta a complexidade como  $O(n)$ . Se há dois laços aninhados, ela é classificada como  $O(n^2)$ . Se o padrão detectado corresponde a uma divisão recursiva do problema, como em uma busca binária, o resultado é  $O(\log n)$  ou  $O(n \log n)$ .

O resultado dessa avaliação é retornado para a interface na forma de um objeto contendo três campos principais: complexity, explanation e suggestions. O primeiro campo traz a classe Big-O propriamente dita (como  $O(1)$ ,  $O(n)$ ,  $O(n \log n)$ ,  $O(n^2)$  etc.); o segundo apresenta uma explicação em linguagem natural, descrevendo o comportamento do algoritmo; e o terceiro oferece sugestões de melhoria, como reduzir laços aninhados ou utilizar métodos nativos mais eficientes.

**Figura 8.** Código representativo em Java para a construção do CFG.

```

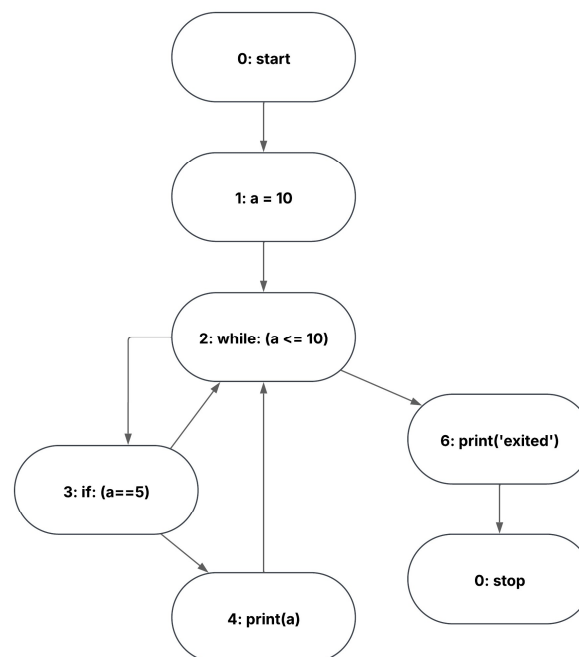
public class Main {
    public static void main(String[] args) {
        int a = 10;

        while (a <= 0) {
            if (a == 5) {
                System.out.println(a);
            }
            a += 1;
        }

        System.out.println("exited");
    }
}

```

**Figura 9.** Fluxograma do CFG em Java.



## Apresentação de Resultados

Como exemplo de funcionamento, foi testado um trecho clássico de código em Python com base na tabela 2, referente ao algoritmo de ordenação por bolha (Bubble Sort), reproduzido na figura 10. O sistema analisou corretamente a presença de dois laços aninhados, identificando que o número de comparações cresce proporcionalmente ao quadrado do tamanho da entrada. Dessa forma, classificou o algoritmo como pertencente à classe  $O(n^2)$ . Além disso, apresentou uma explicação descritiva e uma sugestão de otimização, ressaltando que, embora o código seja funcional, sua eficiência é limitada para grandes volumes de dados,

podendo ser substituído por métodos mais eficientes, como Merge Sort ou Quick Sort, representada na figura 11.

Esse resultado evidencia que o sistema cumpre seu objetivo principal: tornar acessível o entendimento da eficiência de algoritmos de maneira automática e pedagógica. O Big O Analyzer não pretende substituir ferramentas de análise formal de compiladores, mas oferecer uma abordagem educacional simplificada, voltada para estudantes e desenvolvedores que desejam compreender, de forma heurística, o impacto de suas decisões lógicas no desempenho do código.

Durante a implementação, buscou-se equilibrar a velocidade da análise e a precisão dos resultados. O uso de parsers simplificados reduziu a carga de processamento e aumentou a compatibilidade entre linguagens, ainda que isso signifique renunciar a algumas minúcias sintáticas. Na prática, esse compromisso mostrou-se vantajoso: o sistema é capaz de processar trechos de código em milissegundos, mantendo a fluidez da interface, mesmo em navegadores comuns.

Outro ponto relevante foi a utilização de constantes centralizadas, que padronizam palavras-chave, estruturas de controle e métodos nativos de bibliotecas comuns. Essa escolha facilitou a manutenção e ampliou a escalabilidade do projeto. A adição de novas linguagens, por exemplo, exige apenas a criação de um novo parser leve e o registro de suas palavras-chave correspondentes.

**Tabela 2.** Evidências da Complexidade Assintótica dos Algoritmos Testados pelo Big O Analyzer

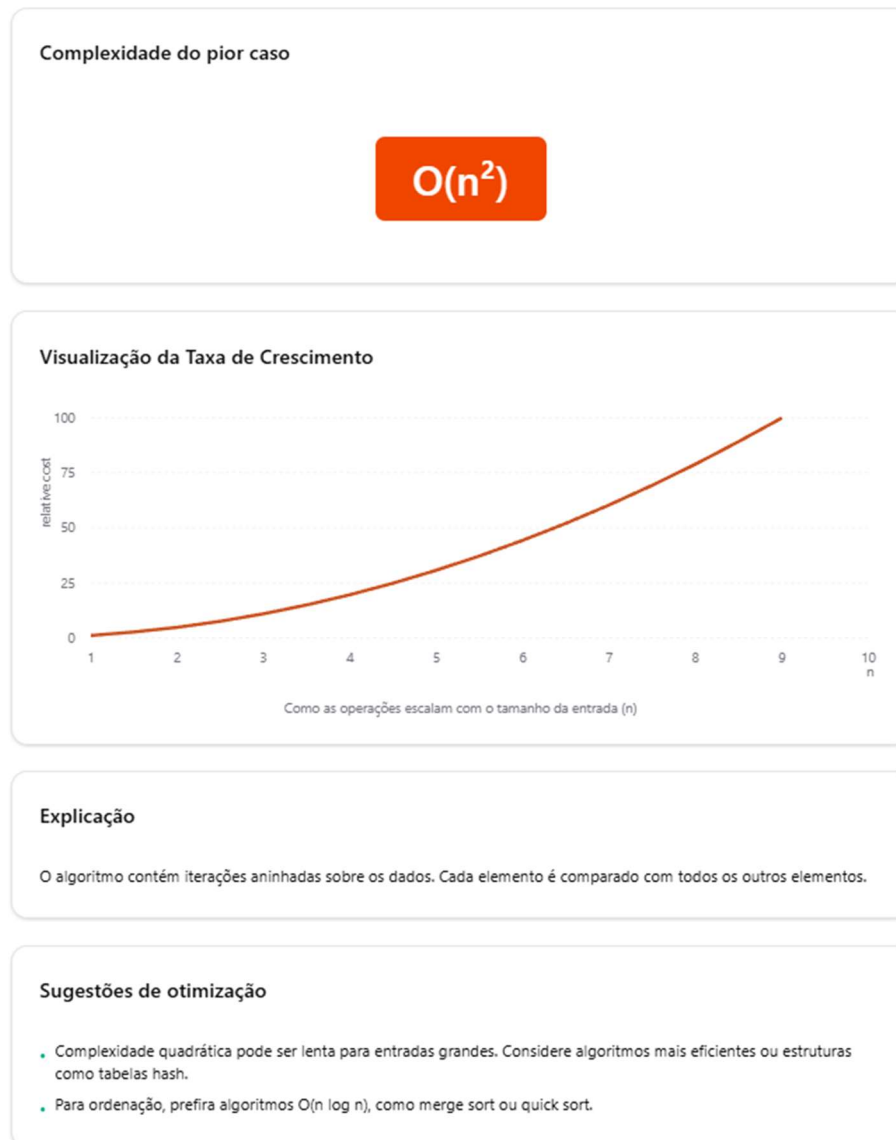
Algoritmo	Linguagem	Complexidade teórica (pior caso)	Complexidade indicada pelo sistema	Resultado	Observações rápidas
Busca linear em vetor	Python	$O(n)$	$O(n)$	Correto	Percorre todos os elementos do vetor uma vez; tempo cresce linearmente com $n$ .
Busca binária em vetor ordenado	Java	$O(\log n)$	$O(\log n)$	Correto	A cada passo o espaço de busca é reduzido pela metade.
Subset Sum (busca exaustiva de subconjuntos)	JavaScript	$O(2^n)$	$O(2^n)$	Correto	Percorre todos os subconjuntos possíveis do conjunto de $n$ elementos.

Ordenação por bolha (Bubble Sort)	Python	$O(n^2)$	$O(n^2)$	Correto	Dois laços aninhados com comparações sucessivas entre pares de elementos.
Ordenação por mesclagem (Merge Sort)	JavaScript	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	Correto	Divide o problema em sublistas recursivamente e faz mesclagem linear em cada nível.

**Figura 10.** Código em Python (Bubble Sort).

```
def bubble_sort(arr):
    n = len(arr)
    for i in range(n):
        for j in range(0, n - i - 1):
            if arr[j] > arr[j + 1]:
                arr[j], arr[j + 1] = arr[j + 1], arr[j]
    return arr
```

**Figura 11.** Resultados demonstrado pelo website após a análise do código em Python.



Entre os desafios enfrentados durante o desenvolvimento, destacam-se as limitações inerentes à análise heurística. Como o sistema não executa o código de fato, ele depende da identificação de padrões estruturais. Isso significa que certos algoritmos que utilizam metaprogramação, geração dinâmica de funções ou bibliotecas externas podem não ter suas complexidades corretamente inferidas. Entretanto, essa limitação não compromete o propósito principal do projeto, que é o uso em contextos educacionais e exploratórios.

Em termos de resultados, o Big O Analyzer demonstrou consistência e clareza na classificação de algoritmos comuns, como busca linear, ordenação por inserção, busca binária e ordenação por mesclagem. A interface amigável e as explicações em linguagem natural tornaram o sistema útil para introduzir estudantes aos conceitos de complexidade assintótica e eficiência de algoritmos, de modo visual e interativo.

Dessa forma, pode-se afirmar que o projeto atendeu integralmente aos objetivos propostos. A integração entre os módulos, a fluidez do pipeline e a simplicidade da interface reforçam o potencial da

aplicação tanto como ferramenta didática quanto como base para evoluções futuras. Caso sejam incorporadas novas linguagens e aprimorados os detectores de recursividade, o sistema poderá oferecer resultados ainda mais completos e precisos.

Em síntese, o desenvolvimento do Big O Analyzer demonstrou que é possível construir uma solução prática, acessível e pedagógica para análise estática de algoritmos, aliando conceitos teóricos de complexidade assintótica a uma experiência interativa e intuitiva.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho demonstrou que é possível realizar a análise estática de algoritmos com geração automática de complexidade assintótica, atendendo plenamente ao objetivo proposto na introdução. A criação do sistema Big O Analyzer validou a hipótese de que heurísticas estruturais baseadas em AST e CFG podem ser aplicadas de forma prática para estimar o comportamento assintótico de diferentes algoritmos sem necessidade de execução do código.

A ferramenta desenvolvida mostrou-se eficaz ao identificar corretamente padrões de loops, recursões e estruturas de controle, classificando-os em classes de complexidade Big-O com explicações claras e acessíveis. O projeto também evidenciou a relevância da integração entre teoria e prática: conceitos tradicionalmente abstratos da análise de algoritmos foram traduzidos em representações visuais e interpretações automáticas que facilitam o aprendizado e a compreensão de estudantes e desenvolvedores.

A abordagem adotada conciliou eficiência técnica e simplicidade pedagógica, permitindo respostas rápidas e uma experiência interativa em ambiente web. Além disso, o uso de tecnologias modernas como Next.js e Monaco Editor proporcionou uma interface responsiva e intuitiva, reforçando o caráter acessível e didático da solução.

Entre as principais contribuições do trabalho estão a demonstração da viabilidade de se realizar inferências assintóticas sem execução do código, a padronização do processo de análise por meio de normalização entre linguagens e a proposta de um modelo visual de apoio à aprendizagem. Embora o sistema apresente limitações em casos que envolvem metaprogramação ou dependência de bibliotecas externas, ele cumpre seu propósito principal de forma satisfatória e abre caminhos para aprimoramentos futuros.

Como próximos passos, propõe-se a expansão do Big O Analyzer em uma frente primordialmente técnica. O sistema pode ser evoluído com parsers mais robustos, capazes de lidar com diferentes estilos de escrita de código, aliado ao suporte a um conjunto mais amplo de linguagens de programação. Além disso, a incorporação de heurísticas mais sofisticadas permitirá tratar com maior precisão cenários complexos, como o uso intensivo de bibliotecas e casos de recursão indireta, ampliando tanto a confiabilidade quanto o alcance prático da ferramenta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMKÓ, Attila. Internet Tools and Services: Layered Architecture for Web Applications. [S. l.], 2014. University of Debrecen. Disponível em: <https://gyires.inf.unideb.hu/GyBITT/08/index.html>. Acesso em: 29 out. 2025.
- ALBERT, Elvira; HÄHNLE, Reiner; MERAYO, Alicia; STEINHÖFEL, Dominic. Certified Cost Bounds for Abstract Programs. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, v. 34, n. 3, p. 67:1–67:33, 2025. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3705298>. Acesso em: 2 out. 2025.
- AHO, Alfred V. *et al.* Compiladores: Princípios, técnicas e ferramentas. 2. ed. [S. l.]: Pearson Education, 2008. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/706174206/Compiladores-2nd#page=348&content=query%3Agrafo+de+fluxo%2CpageNum%3A348%2CindexOnPage%3A3%2CbestMatch%3Afalse>. Acesso em: 19 set. 2025.
- BERNERS-LEE, Tim. *Information Management: A Proposal*. Genebra: CERN, 1989. Disponível em: <https://cds.cern.ch/record/369245/files/dd-89-001.pdf>. Acesso em: 3 out. 2025.
- CORMEN, Thomas H. *et al.* Algoritmos: Teoria e prática. 3. ed. [S. l.]: MIT Press, 2009.
- COUSOT, Patrick; COUSOT, Radhia. Abstract interpretation: a unified lattice model for static analysis of programs by construction or approximation of fixpoints. In: *Proceedings of the 4th ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages (POPL '77)*. New York: ACM, 1977. p. 238–252. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/512950.512973>. Acesso em: 1 out. 2025.
- FREE SOFTWARE FOUNDATION. GNU Compiler Collection (GCC) Internals — Control Flow Graph. Disponível em: <https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gccint/Control-Flow.html>. Acesso em: 2 out. 2025.
- JETBRAINS. Guia de análise estática de código. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.jetbrains.com/pt-br/pages/static-code-analysis-guide/#why-use-static-code-analysis>. Acesso em: 3 out. 2025.
- KOSINSKI, Matthew *et al.* O que é o MapReduce?. In: HOLDSWORTH, Jim *et al.* O que é o MapReduce? [S. l.], 19 nov. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/mapreduce>. Acesso em: 27 out. 2025.
- LLVM PROJECT. LLVM Language Reference Manual. 2018. Disponível em: <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/llvm/latest/llvm.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.
- META OPEN SOURCE. React. Disponível em: <https://react.dev/>. Acesso em: 23 set. 2025.
- META OPEN SOURCE. Rules of React. Disponível em: <https://react.dev/reference/rules>. Acesso em: 23 set. 2025.
- MICROSOFT. Monaco Editor. Disponível em: <https://microsoft.github.io/monaco-editor/>. Acesso em: 24 set. 2025.
- NIELSON, Flemming *et al.* Principles of Program Analysis. [S. l.]: Springer, 1998. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/265352570\\_Principles\\_of\\_Program\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/265352570_Principles_of_Program_Analysis). Acesso em: 28 out. 2025.



ON the reliability of mechanisms. In: DIJKSTRA, Edsger W. NOTES ON STRUCTURED PROGRAMMING. 2. ed. [S. l.]: T.H. - Report 70-WSK-03, 1970. Disponível em: <https://www.cs.utexas.edu/~EWD/transcriptions/EWD02xx/EWD249/EWD249.html>. Acesso em: 6

set. 2025.

SEDGEWICK, Robert; WAYNE, Kevin. Algorithms: FOURTH EDITION. 4. ed. [S. l.]: Addison-Wesley, 2011. Disponível em: <https://mrce.in/ebooks/Algorithms%204th%20Ed.pdf>. Acesso em: 19 set. 2025.

SIPSER, Michael. Introduction to the Theory of Computation. 3. ed. [S. l.]: Cengage Learning, 2013. Disponível em: [https://cs.brown.edu/courses/csci1810/fall-2023/resources/ch2\\_readings/Sipser\\_Introduction.to.the.Theory.of.Computation.3E.pdf](https://cs.brown.edu/courses/csci1810/fall-2023/resources/ch2_readings/Sipser_Introduction.to.the.Theory.of.Computation.3E.pdf). Acesso em: 18 set. 2025.

THE O Notation. In: KNUTH, Donald E. The Art of Computer Programming. 3. ed. [S. l.]: Addison-Wesley Professional, 1997. v. 1, cap. 22, p. 107-110. Disponível em: [https://seriouscomputerist.atariverse.com/media/pdf/book/Art%20of%20Computer%20Programming%20-%20Volume%201%20\(Fundamental%20Algorithms\).pdf](https://seriouscomputerist.atariverse.com/media/pdf/book/Art%20of%20Computer%20Programming%20-%20Volume%201%20(Fundamental%20Algorithms).pdf). Acesso em: 6 set. 2025.

VERCEL. Getting Started: Route Handlers and Middleware. Disponível em: <https://nextjs.org/docs/app/getting-started/route-handlers-and-middleware>. Acesso em: 30 set. 2025.

VERCEL. Next.js App Router (Docs). Disponível em: <https://nextjs.org/docs/app>. Acesso em: 30 set. 2025.

VERCEL. Rendering: Server Components. Disponível em: <https://nextjs.org/docs/14/app/building-your-application/rendering/server-components>. Acesso em: 30 set. 2025.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C). *HTML5: A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML*. W3C Recommendation, 28 out. 2014. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/2014/REC-html5-20141028/>. Acesso em: 3 out. 2025.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de manifestar nossos mais sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste projeto. Em especial, ao nosso orientador e aos professores Prof. Me. Clayton Valdo, Fernando Domeneghetti e Tetsuo Araki, que foram fundamentais para o nosso desenvolvimento ao longo do curso. Agradecemos também às nossas famílias, por sempre nos encorajarem, apoiarem e oferecerem todo o suporte necessário em cada etapa dessa jornada. Por fim, expressamos nossa gratidão aos amigos que fizemos e levaremos conosco, bem como a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a concretização deste trabalho.