

v.5, n.1, jul. 2025.

**Instituto Federal de Minas Gerais**

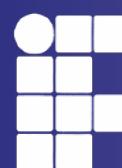
**ANAIS**

**WORKSHOP DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil**



**WSI - WORKSHOP  
SISTEMAS DE  
INFORMAÇÃO**



**INSTITUTO FEDERAL**  
Minas Gerais  
Campus Ouro Branco

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
28 a 30 de Julho de 2025, Ouro Branco, Minas Gerais

**ANAIS DO V WORKSHOP DE SISTEMAS  
DE INFORMAÇÃO**

Organizadores  
**Charles Tim Batista Garrocho**  
**Daniela Costa Terra**

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Branco  
Rua Afonso Sardinha, 90, Minas Talco, CEP: 36494-018

# EDITORIAL

O 5º Workshop de Sistemas de Informação (WSI) realizado nos dias 28 à 30 de julho de 2025, terá como principal objetivo divulgar os trabalhos de conclusão do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do IFMG - Campus Ouro Branco. Mas também contará com oficinas, palestras e exposição de trabalhos de pesquisa e extensão.

Nesta edição, o WSI contará com uma série de palestras e atividades de grande relevância. Destacamos a palestra ‘Tecnologia da Informação aplicada à Automação Industrial’, que proporcionará valiosos conhecimentos sobre a interseção da TI com o setor industrial. Esta apresentação visa expandir os horizontes dos participantes e aprofundar seus saberes na área.

Com o objetivo de estimular e reconhecer a dedicação dos estudantes, o WSI 2025 promoverá o **Prêmio Destaque: Reconhecendo a Excelência Acadêmica**, que contemplará o melhor Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) a ser apresentado durante o evento. A avaliação será conduzida por uma banca composta por professores da área de computação e também pelos coordenadores de pesquisa e extensão do campus Ouro Branco. A banca procederá à avaliação dos trabalhos considerando a originalidade, a complexidade, e a aplicação e impacto do mesmo na sociedade.

Expressamos nossos parabéns e agradecimentos antecipados aos estudantes que apresentarão seus trabalhos de elevada qualidade neste evento, o qual almejamos que se torne uma tradição em nossa comunidade. Espera-se que o WSI inspire diálogos profícuos, estimulando maior engajamento e interesse no desenvolvimento dos trabalhos dos estudantes, e que contribua significativamente para a área de Sistemas de Informação na resolução de problemas reais da comunidade.

Charles Tim Batista Garrocho, e Daniela Costa Terra  
**Coordenadores do V Workshop de Sistemas de Informação 2025**

# PROGRAMAÇÃO

	<b>28/07/2025, segunda-feira</b>
<b>19:00 - 19:10</b>	Abertura
<b>19:10 - 20:20</b>	Palestra: Tecnologia da Informação aplicada à Automação Industrial
<b>20:20 - 20:40</b>	Coffe Break
<b>20:40 - 21:00</b>	TCC: Desafios e benefícios Da transformação digital no Controle Orçamentário da mineração
<b>21:00 - 21:20</b>	TCC: Desenvolvimento de um Sistema Inteligente para Prescrição Personalizada de Treinos de Musculação
<b>21:20 - 21:40</b>	TCC: Detectando Átomos de Confusão em Software Utilizando o GEMINI: Percepções iniciais

	<b>29/07/2025, terça-feira</b>
<b>19:10 - 19:30</b>	TCC: Geração de mapas de combate de RPG modulares com base em input básico do usuário
<b>19:30 - 19:50</b>	TCC: Mais Funcional, Mais Intuitivo: O Reposicionamento Visual de um App Técnico no Setor Agrícola
<b>19:50 - 20:10</b>	TCC: Sistema de Planejamento Financeiro para Pequenas e Médias Empresas: Superando as Limitações das Planilhas
<b>20:10 - 20:30</b>	Intervalo
<b>20:30 - 20:50</b>	TCC: Soluções Digitais na Gestão Ambiental Pública: Estudo de Caso do Sistema SIGA na Cidade de Ouro Branco
<b>20:50 - 21:10</b>	TCC: Urbus: Do Ponto de Ônibus ao APP – Tecnologia para Mobilidade Urbana Inteligente
<b>21:10 - 21:30</b>	TCC: Utilização de Jogos Interativos como Método de Ensino de Programação para Iniciantes Estudante: Igor Guilherme Almeida Rocha
<b>21:30 - 21:45</b>	Análise da Banca
<b>21:45 - 22:00</b>	Premiação

	<b>30/07/2025, quarta-feira</b>
<b>19:15 - 22:00</b>	Oficina: Trabalho em Equipe com a Metodologia LEGO Serious Play
<b>19:30 - 21:00</b>	Oficina: Desenvolvendo um ChatBot
<b>19:15 - 20:45</b>	Oficina: Criando sua Primeira API REST com Django
<b>19:15 - 20:45</b>	Oficina: Modelagem e Impressão 3D
<b>19:15 - 20:45</b>	Oficina: Introdução ao Telehack: Explorando Conceitos de Redes e Hacking Ético em Ambiente Simulado
<b>20:10 - 20:30</b>	Intervalo
<b>20:30 - 22:00</b>	Mostra de Projetos: Internet das Coisas, Projetos de Pesquisa e Projetos de Extensão

# SUMÁRIO

**Desenvolvimento de um Sistema Inteligente baseado em LLM como Ferramenta de Apoio ao Profissional de Educação Física**

João Gabriel Alves Junior  
Orientadora: Suelen Mapa de Paula



**Soluções Digitais na Gestão Ambiental Pública**

Carlos Henrique Cenachi Ferreira  
Orientadores: Márcio Assis Miranda, Ângelo Magno de Jesus



**Geração de Mapas de Combate de RPG Modulares com Base em Esboço Básico do Usuário**

Gabriel Oliveira Gomes  
Orientador: Ângelo Magno de Jesus



**Detectando átomos de confusão  
utilizando o Gemini: percepções iniciais**

Marcus Vinícius Ribeiro Andrade  
Orientador: Janio Rosa da Silva



**Sistema de Planejamento Financeiro  
para Pequenas e Médias Empresas:  
Superando as Limitações das Planilhas**

Otávio Henrique Dias Sena  
Orientador: Charles Tim Batista Garrocho



**Desafios e Benefícios da Transformação  
Digital no Controle Orçamentário da  
Mineração**

Jonathan Lara Souza  
Orientador: Charles Tim Batista Garrocho



**Mais Funcional, Mais Intuitivo: O  
Reposicionamento Visual de um App  
Técnico no Setor Agrícola**

Eduardo Alessandro Santana de Melo  
Orientador: Saulo Henrique Cabral Silva



---

## **Utilização de Jogos Interativos como Método de Ensino de Programação para Iniciantes**

Igor Guilherme Almeida Rocha  
Orientador: Charles Tim Batista Garrocho



## **Max Economy: Uma Metodologia de Cobrança de Água Inteligente e Econômica em Condomínios com Medição Individual**

Rilton Max da Silva Pedrosa  
Orientador: Saulo Henrique Cabral Silva



## **UrBus: Do ponto de ônibus ao app - Tecnologia para mobilidade urbana inteligente**

Isaac Santiago G. Pereira  
Orientador: Saulo H. C. Silva



# Desenvolvimento de um Sistema Inteligente baseado em LLM como Ferramenta de Apoio ao Profissional de Educação Física

João Gabriel Alves Junior<sup>1</sup>, Suelen Mapa de Paula<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)  
Rua Afonso Sardinha, 90 – 36494-018 – Ouro Branco – MG – Brasil

gabrieljunior42566@gmail.com, suelen.mapa@ifmg.edu.br

**Abstract.** The personalization of strength training still faces limitations due to the use of generic prescriptions, which may contribute to the low adherence of the population to regular physical activity. This study presents a web-based assistant powered by a GPT-4o-mini language model, fine-tuned according to the guidelines of ACSM and NSCA, capable of generating evidence-based training plans for physical education professionals. Built with React, Node.js, and MySQL, the system was evaluated by experts who rated the generated programs as safe and relevant, requiring only minor adjustments. The results suggest that a specialized large language model (LLM) can enhance the efficiency of exercise prescription without replacing critical judgment or human interaction.

**Keywords:** Generative Artificial Intelligence; Strength Training; Intelligent System; Chat Assistant; Training Personalization.

**Resumo.** A personalização do treinamento de força ainda enfrenta limitações decorrentes de prescrições genéricas, o que pode contribuir para a baixa adesão da população à prática regular de atividade física. Este trabalho apresenta um assistente web, apoiado em um modelo GPT-4o-mini, ajustado com diretrizes do ACSM e da NSCA, que gera planos de treino baseados em evidências para profissionais de Educação Física. Construído com React, Node.js e MySQL, o sistema foi avaliado por especialistas, que classificaram os programas gerados como seguros e relevantes, exigindo apenas ajustes pontuais. Os resultados indicam que um LLM especializado pode aumentar a eficiência da prescrição, sem substituir o julgamento crítico nem a interação humana.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial Generativa, Treinamento de Força, Sistema inteligente, Chat Assistente, Personalização de Treino.

## 1. Introdução

Programas de treinamento de força deixaram de ser privilégio de atletas de elite para se consolidarem como pilar de saúde pública. Em 2023, o mercado global de academias movimentou US\$ 98,1 bilhões e pode atingir US\$172,9 bilhões até 2028 [mor 2023]. No Brasil, o *Panorama Setorial Fitness Brasil 2024* registrou 25602 academias cadastradas, mas apenas 5% da população as frequenta regularmente [fit 2024]. O contraste entre a oferta crescente e a baixa participação reflete ainda a inobservância das recomendações da Organização Mundial da Saúde: 91,4% dos adultos brasileiros não cumprem os dois dias semanais de exercícios de resistência indicados [Stopa et al. 2023].

Além da baixa adesão, a retenção inicial é crítica. Em um grupo de 5240 novos matriculados em uma rede de academias no Rio de Janeiro, 63% abandonaram o programa antes de 90 dias e 96% não permaneceram após 12 meses [Sperandei et al., 2016]. Estudos atribuem grande parte desse abandono às prescrições genéricas, a chamada “ficha padrão”, que ignoram histórico clínico, preferências e objetivos individuais, aumentando o risco de lesões e diminuindo a motivação [Carben et al., 2022; Liz et al., 2010].

Diante desse cenário, o presente trabalho desenvolveu e avaliou um sistema inteligente baseado em um Modelo de Linguagem de Grande Escala (em inglês, *Large Language Model* – LLM) especializado, capaz de auxiliar profissionais de Educação Física na elaboração de planos de treino personalizados, e alinhados às diretrizes de referência do ACSM (*American College of Sports*<sup>1</sup> – Colégio Americano de Medicina Esportiva) e da NSCA (*National Strength and Conditioning Association*<sup>2</sup> – Associação Nacional de Força e Condicionamento).

A proposta buscou tratar dois problemas específicos deste cenário:

- o tempo limitado dos profissionais frente a grandes carteiras de alunos;
- a necessidade de planos de treinos individualizados, fundamentados em evidências científicas.

Para apresentar de forma clara o desenvolvimento e a análise do sistema proposto, este artigo está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 revisa os trabalhos correlatos na área de aplicação de tecnologia ao treinamento. A Seção 3 detalha a metodologia, incluindo a base de conhecimento científico utilizada, a arquitetura técnica do sistema e o protocolo de validação. A Seção 4 apresenta e discute os resultados obtidos, analisando a eficácia do sistema. Finalmente, a Seção 5 conclui o trabalho, sintetizando as contribuições e delineando direções para pesquisas futuras.

## 2. Revisão da Literatura

Para contextualizar o sistema desenvolvido neste trabalho, esta seção analisa publicações que investigaram a aplicação de sistemas computacionais na personalização do treinamento físico. Foram selecionados trabalhos que ilustram a evolução das abordagens tecnológicas ao longo do tempo, desde os sistemas especialistas clássicos, passando por sistemas de recomendação com aprendizado de máquina, até as mais recentes aplicações de Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs). A análise busca destacar os diferenciais e a lacuna que o presente trabalho visa preencher, dando ênfase em 5 artigos que foram considerados os mais relevantes.

### 2.1. Trabalhos Correlatos

A primeira onda de automação na prescrição de treinos se apoiou em sistemas especialistas tradicionais, que operam com base em um conjunto de regras “se-então”. Um exemplo representativo foi o sistema Ex-Pres, desenvolvido por [Bastos et al., 2007] para prescrever exercícios a indivíduos com hipertensão. Essa metodologia, que consistia em codificar o conhecimento de especialistas em uma base de regras fixas, demonstrou ser funcional para nichos bem definidos. Contudo, sua principal limitação reside na rigidez:

<sup>1</sup>[of Sports Medicine, 2022]

<sup>2</sup>[Strength and Association, 2021]

tais sistemas são incapazes de lidar com perfis de usuários complexos ou com objetivos não previstos em suas regras. Adicionalmente, a manutenção e a escalabilidade se mostraram problemáticas, pois qualquer nova exceção ou conhecimento exigia programação manual.

Com a evolução da Inteligência Artificial, a abordagem seguinte foi marcada pelos sistemas de recomendação que utilizam algoritmos de *Machine Learning*. O trabalho de [Valcarce-Espinosa et al. 2021], por exemplo, propôs um sistema para recomendar atividades físicas com base no perfil do usuário e no comportamento de perfis similares, usando técnicas como a filtragem colaborativa. Embora mais dinâmicos que os sistemas baseados em regras, eles apresentam falhas críticas no contexto da prescrição de treinamento de força. Primeiramente, o problema de “partida a frio” dificulta a geração de recomendações para novos usuários. De forma mais crucial, suas sugestões são baseadas em correlações estatísticas (o que pessoas parecidas fazem) e não em um entendimento profundo de princípios fisiológicos e biomecânicos específicos de um indivíduo. Isso pode levar a recomendações populares, mas que são subótimas ou potencialmente inseguras para o indivíduo.

A mais recente e promissora onda de inovação vem da aplicação de LLMs. Pesquisadores têm explorado esses modelos para criar sistemas de *coaching* mais sofisticados. Um exemplo notável é o “GPTCoach”, de [Matthew Jörke 2025], que buscou superar as limitações de um LLM genérico ao integrá-lo com um programa de saúde baseado em evidências e estratégias de aconselhamento motivacional. Este tipo de trabalho evidencia um movimento importante para especializar os LLMs. Abordagens que utilizam modelos de linguagem de forma genérica, sem um processo de curadoria ou especialização, correm o risco significativo de gerar informações desatualizadas ou desalinhadas com o consenso científico, dada a natureza de seu treinamento em dados vastos e não específicos ao domínio do exercício.

Pesquisas mais recentes reforçam essa tendência. [Lim et al. 2025] apresentaram o *Micha*, um chatbot baseado no GPT-4 que incorpora princípios de Entrevista Motivacional para apoiar mudanças de comportamento em saúde. Em testes com 34 participantes, o agente obteve pontuações de usabilidade (SUS=83,1) superiores ao corte de excelência e aderiu a 92% das boas-práticas de aconselhamento, mas os autores ressaltam a necessidade de maior personalização fisiológica para contextos específicos, como o treinamento de força.

Complementarmente, [Ong et al. 2024] compararam respostas de um LLM genérico e de *health coaches* humanos a 60 perguntas sobre sono e bem-estar. O modelo igualou ou superou os especialistas em empatia e clareza. Porém, mostrou lacunas quando solicitado a propor intervenções concretas baseadas em evidências. O estudo conclui que, embora promissores, os LLMs requerem domínio adaptado (um termo comum da área e conhecido como: *domain-tuning*) para recomendações seguras em cenários clínicos ou de performance física.

Diante do exposto, o sistema desenvolvido neste trabalho se posiciona de forma diferenciada. Como detalhado no quadro 1, ele avança em relação às abordagens anteriores ao combinar a flexibilidade semântica de um LLM com a robustez do conhecimento científico explícito. Diferentemente dos sistemas rígidos baseados em re-

gras [Bastos et al. 2007], interpreta perfis complexos; em contraste com os sistemas de recomendação [Valcarce-Espinosa et al. 2021], fundamenta suas prescrições em princípios fisiológicos, e não em correlações estatísticas. Na comparação com aplicações recentes de LLMs focadas em mudança comportamental, como o *GPTCoach* de [Matthew Jörke 2025], o chatbot *Micha* com Entrevista Motivacional [Lim et al. 2025] e o modelo genérico avaliado por [Ong et al. 2024], o diferencial central do sistema proposto reside na metodologia de ajuste fino (do inglês *fine-tuning*) sobre um conjunto de dados, calibrado a partir das diretrizes do ACSM e da NSCA. Esse processo eleva a confiabilidade e o alinhamento das recomendações com o padrão-ouro da área, suprindo as lacunas de personalização fisiológica apontadas nesses estudos. Por fim, a solução foi concebida desde o início para atuar como um ajudante digital. Isto é, uma ferramenta de apoio que potencializa a capacidade e a eficiência do especialista humano, preenchendo a lacuna de suporte profissional identificada nos trabalhos analisados.

Quadro 1: Análise comparativa das abordagens e o posicionamento do sistema proposto.

Trabalho	Abordagem	Principais Limitações	Diferencial do Sistema Proposto
[Bastos et al. 2007]	Sistema Especialista (Baseado em Regras)	Rigidez, baixa escalabilidade, dificuldade em lidar com perfis complexos.	Flexibilidade semântica para interpretar dados complexos do usuário.
[Valcarce-Espinosa et al. 2021]	Machine Learning (Filtragem Colaborativa)	Baseado em correlação (popularidade), não em fisiologia; problema de <i>cold-start</i> ; risco de sugestões inseguras.	Prescrição fundamentada em conhecimento científico explícito, garantindo segurança e eficácia.
[Matthew Jörke 2025]	LLM com integração de conhecimento externo	Risco de desalinhamento se não for especializado; foco no usuário final, não no profissional.	<i>Fine-tuning</i> com dataset curado de diretrizes científicas para alta confiabilidade; foco no apoio ao profissional.
[Lim et al. 2025]	LLM + Entrevista Motivacional	Foco em mudança comportamental genérica; falta de parâmetros fisiológicos.	Mostra viabilidade de MI em LLM, mas carece de prescrição de força baseada em diretrizes.
[Ong et al. 2024]	LLM genérico vs. health coaches	LLM empático porém impreciso em intervenções específicas.	Evidencia necessidade de <i>domain-tuning</i> para qualidade profissional.

*Continuação do quadro 1 da página anterior*

Trabalho	Abordagem	Principais Limitações	Diferencial do Sistema Proposto
Sistema Desenvolvido	LLM com <i>Fine-Tuning</i>	Dependência da qualidade da informação de entrada (GIGO); natureza “caixa-preta” com explicabilidade limitada; validação restrita a amostra inicial.	Combina flexibilidade semântica, conhecimento explícito e é projetado como um ajudante para o especialista humano.

### 3. Metodologia

Esta seção detalha as três fases cruciais do sistema proposto:

1. Base de Conhecimento: a construção da base de conhecimento científico que fundamenta a inteligência artificial;
2. Arquitetura do Sistema: apresenta a implementação da arquitetura técnica que transforma o conhecimento em uma solução funcional;
3. Protocolo de Validação: trata do delineamento de um protocolo multifacetado para aferir a eficácia e a segurança do sistema.

Elas serão detalhadas na seções que se seguem.

#### 3.1. Base de Conhecimento

A eficácia e a segurança de qualquer sistema inteligente de prescrição dependem da qualidade e profundidade do conhecimento que o alimenta. Portanto, a primeira etapa metodológica consistiu em estabelecer dados científicos (“verdade fundamental”) que servem como alicerce para a inteligência do sistema. Este conhecimento não foi apenas baseado em diretrizes gerais, mas sim extraído e traduzido a partir de uma revisão sistemática de meta-análises e estudos seminais da literatura científica, que definem o estado da arte na ciência do exercício.

A partir deste estudo aprofundado, a base de conhecimento foi estruturada em pilares interdependentes que se tornaram os parâmetros e a lógica operacional do modelo de IA. Estes pilares incluem: a avaliação individual, os princípios cardeais do treinamento (como sobrecarga progressiva e especificidade e, mais importante, a manipulação das variáveis de treino). O Quadro 2 detalha como a evidência científica dos trabalhos foi operacionalizada para calibrar o comportamento do modelo, garantindo que cada prescrição seja segura, eficaz e altamente personalizada.

Quadro 2: Detalhamento da Base de Conhecimento para Calibração do Modelo de IA.

Fonte / Conceito	Conhecimento Científico Extraído	Função e Implementação no Modelo
Tensão Mecânica [Schoenfeld et al., 2010]	A tensão mecânica é o principal motor da hipertrofia. Estresse metabólico e dano muscular são fatores secundários.	Lógica Central: O modelo prioriza exercícios e esquemas de carga que maximizem tensão mecânica em amplitude completa.
Volume de Treino [Baz-Valle et al., 2022]	Faixa de 12–20 séries semanais por grupo muscular otimiza hipertrofia, com variações específicas por músculo.	Cálculo de Volume: Usa essa faixa para definir o volume total e distribui conforme frequência semanal.
Frequência de Treino [Schoenfeld et al., 2019]	Com volume igualado, frequência (1–3+ vezes/semana) não altera muito a hipertrofia.	Ferramenta Logística: Organiza o volume em treinos full-body, ABC, ABCDE etc., conforme agenda do usuário.
Seleção de Cargas [Schoenfeld et al., 2017]	Altas (baixas reps) vs. baixas (altas reps) geram hipertrofia similar próximo à falha; altas são melhores para força.	Flexibilidade de Prescrição: Recomenda zonas de repetições (ex.: 6–10 ou 20–25) adaptadas a preferências ou limitações.
Proximidade da Falha [Grgic et al., 2022a]	Treinar a 1–3 repetições na reserva é tão eficaz quanto falhar, gerando menos fadiga.	Gerenciamento de Fadiga: Por padrão, usa RIR; falha só para perfis avançados ou exercícios de isolamento.
Intervalos de Descanso [Singer et al., 2024]	Descansos maiores que 90s favorecem hipertrofia ao manter maior volume total.	Otimização de Performance: Prescreve 120–180 s em compostos, justificando com manutenção de performance.
Seleção de Exercícios [Grgic et al., 2022b]	Multiarticulares e monoarticulares são equivalentes em hipertrofia com volume equalizado; multiarticulares são mais eficientes.	Estratégia de Exercícios: Base no multiarticular eficiente, com isolations adicionais para simetria e cobertura completa.

## 3.2. Arquitetura do Sistema

A transformação da base de conhecimento científico em um sistema funcional foi realizada através do desenvolvimento de uma aplicação *web full-stack*. Essa abordagem encapsula a inteligência do modelo de IA em uma interface acessível e intuitiva para o profissional de Educação Física, conforme ilustra sua tela inicial na Figura 1.

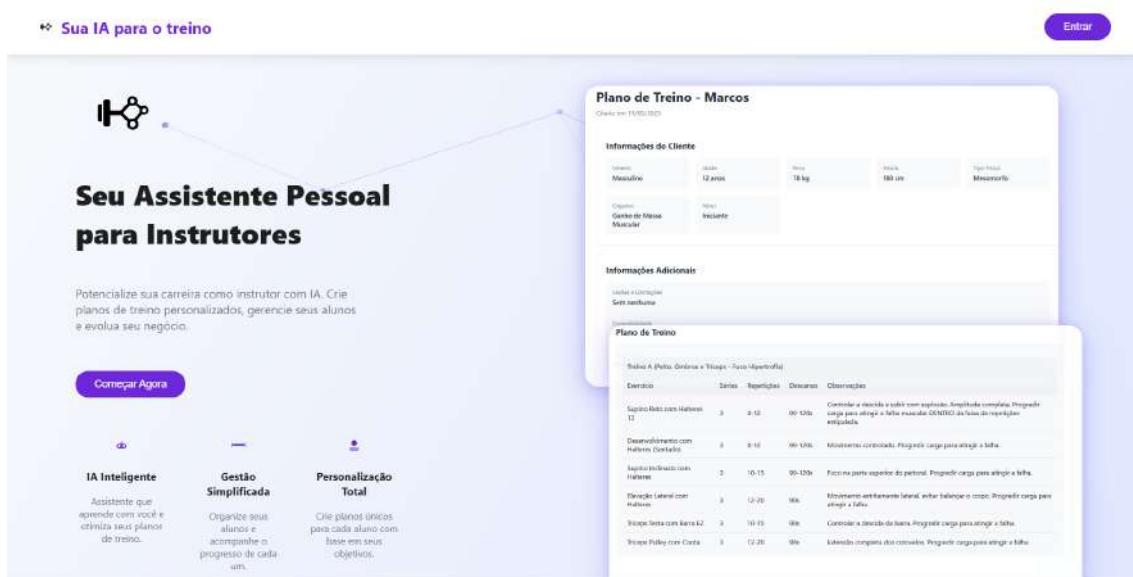


Figura 1. *Landing page* de apresentação do sistema.

A sistema está disponível para demonstração, mediante registro prévio a partir do seguinte link de acesso: [link de acesso ao sistema](https://gym-ai-one.vercel.app/)<sup>3</sup>.

### 3.2.1. Processo de *Fine-Tuning* e Geração de Dados

O processo de *fine-tuning* transforma um modelo de linguagem de propósito geral, como o GPT-4o-mini, em um especialista focado em uma tarefa específica, neste caso, a prescrição de treinamento de força. O objetivo desta etapa foi ensinar ao modelo tanto o formato de saída desejado (tabelas em HTML) quanto, e mais importante, a aderir estreitamente aos princípios científicos e diretrizes de segurança definidos no Quadro 2.

Para isso, foi criado um conjunto de dados (*dataset*) de exemplos de alta qualidade em formato *JSON Lines* (*JSONL*). Cada linha representa um diálogo completo com três papéis: *system*, que define a persona da IA como um “assistente especialista”; *user*, que traz o perfil detalhado do cliente; e *assistant*, que contém a resposta ideal. Tanto os cenários do usuário quanto as respostas foram gerados artificialmente utilizando o *Gemini 2.5 Pro*. Tanto para criar perfis fictícios variados e depois, em uma instância separada e configurada com as mesmas diretrizes científicas, para produzir as prescrições correspondentes<sup>4</sup>. Essa estratégia permitiu controlar a qualidade sem demandar rotula-

<sup>3</sup><https://gym-ai-one.vercel.app/>

<sup>4</sup>Detalhes sobre a geração automática dos diálogos podem ser consultados em [Google DeepMind 2025].

gem manual extensiva, além de garantir aderência às evidências, como priorizar volume para hipertrofia [Schoenfeld et al. 2017] ou repetições baixas para força máxima [Haff and Triplett 2016]. A Figura 3.2.1 ilustra um exemplo de entrada no *dataset*.

O ajuste foi realizado via API da OpenAI, calibrando hiperparâmetros – como número de épocas – para otimizar o aprendizado e evitar *overfitting*, resultando em um modelo customizado e especializado.

```
{
  "messages": [
    {"role": "system", "content": "Você é um assistente especialista..."},
    {"role": "user", "content": "Nome: Gabriel Lima, Gênero: Masculino, Idade: 24, ..., Objetivo: Hipertrofia..., Nível: Intermediário..."},
    {"role": "assistant", "content": "<table>...Treino A...</table>..."}
  ]
}
```

**Figura 2. Exemplo de uma instância no conjunto de dados de fine-tuning (formato JSONL)<sup>6</sup>**

### 3.2.2. Arquitetura Full-Stack e Funcionalidades

O sistema foi implementado com uma arquitetura modular para garantir escalabilidade e manutenibilidade, composta pelos seguintes elementos:

- **Frontend:** Desenvolvido com *React.js*, é responsável por toda a interface com o usuário, incluindo formulários para entrada de dados, a exibição dos planos de treino (Figura 3) e a interface do *chat* interativo (Figura 4).
- **Backend:** Construído com *Node.js* e o ORM Prisma, atua como o cérebro da aplicação. Ele orquestra o fluxo de dados, constrói os *prompts*, comunica-se com a API da OpenAI e persiste as informações.
- **Banco de Dados:** Utilizando *MySQL*, armazena de forma segura os perfis dos clientes, históricos e todos os planos de treino gerados para consulta futura.
- **Inteligência Artificial:** A API da OpenAI é o componente que processa os *prompts* através do modelo previamente *fine-tuned* para gerar as prescrições.

---

<sup>6</sup>O conteúdo foi abreviado para fins de visualização.

### Plano de Treino - Ficha 3

Criado em 06/06/2025

#### Informações do Cliente

Género Masculino	Idade 60 anos	Peso 70 kg	Altura 170 cm	Tipo Físico Ectomorfo
Objetivo Resistência	Nível Iniciante			

#### Informações Adicionais

Lanças e Limitações
Ossos fracos, maior idade
Disponibilidade
3x na semana

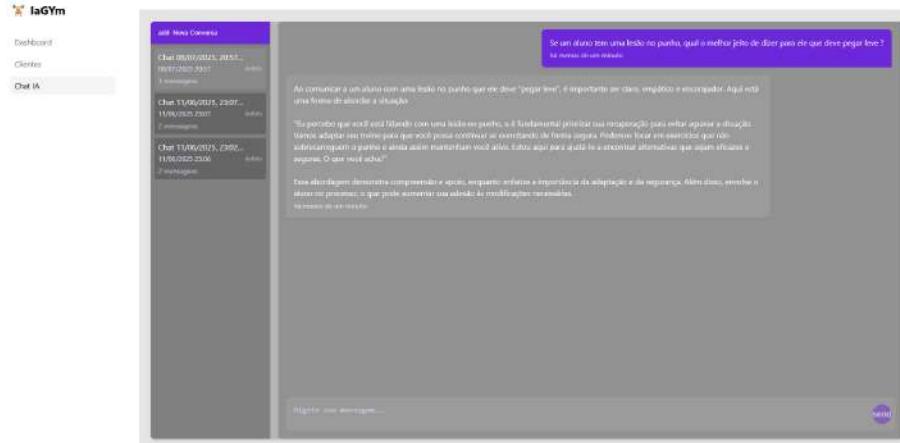
PREFERÊNCIAS

Treinos curtos
----------------

#### Plano de Treino

Treino A (Corpo Inteiro - Foco Endurance)

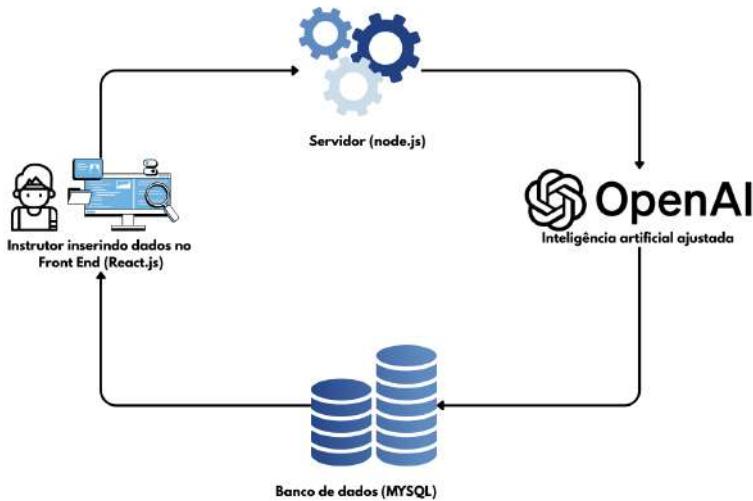
Exercício    Séries    Repetções    Descanso    Observações

**Figura 3.** Exibição de um plano de treino gerado.**Figura 4.** Interface do chat para consulta interativa.

O fluxo de dados do sistema, ilustrado na Figura 5, inicia-se no *frontend*, onde o profissional insere as informações do cliente. O *backend* recebe estes dados, formata-os em um *prompt* estruturado e os envia para a API da OpenAI. A resposta, contendo o plano de treino, é recebida, armazenada no banco de dados MySQL e, finalmente, enviada de volta ao *frontend* para ser exibida ao profissional.

### 3.3. Protocolo de Validação

Para aferir a robustez, eficácia e o alinhamento do sistema, foi delineado um protocolo de validação qualitativa, centrado na avaliação por especialistas de domínio. Foram recrutados dois profissionais de Educação Física certificados, com experiência em prescrição de treinamento de força, para atuarem como avaliadores. A eles, foi solicitado que interagis-



**Figura 5. Ilustração do fluxo de dados da aplicação, desde a entrada do profissional até a exibição do plano de treino gerado pela IA.**

sem com o sistema e avaliasem seus resultados em três cenários distintos, para testar o desempenho sob diferentes condições:

1. **Cenário 1:** Simulação de Operador com Conhecimento Limitado. Os especialistas inseriram *prompts* de usuário genéricos (ex: objetivo “hipertrofia”, sem detalhes sobre lesões). O objetivo era verificar se o sistema geraria um plano de treino seguro e coerente, mesmo com informações de entrada incompletas, simulando um operador menos experiente.
2. **Cenário 2:** Simulação de Operador Especialista. Em seguida, os especialistas forneceram *prompts* ricos em detalhes e contexto, incluindo objetivos específicos, histórico de lesões e preferências, replicando uma avaliação completa. O objetivo era testar a capacidade do sistema de gerar um plano altamente personalizado e otimizado.

Para cada plano de treino gerado nos três cenários, os especialistas forneceram uma avaliação qualitativa detalhada, focando nos critérios de Segurança (ausência de exercícios contraindicados), Eficácia Científica (alinhamento com os princípios do treinamento e evidências recentes) e Aplicabilidade Prática (viabilidade da execução em um ambiente de academia comercial).

#### 4. Resultados e Discussões

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir do protocolo de validação por especialistas e discute suas implicações, conectando os achados com a tese central do trabalho: o sistema de IA como uma ferramenta de aumento de capacidade para o profissional de Educação Física.

Embora a validação tenha sido realizada com um número limitado de profissionais, não possuindo representatividade estatística para generalizações amplas, os resultados apurados foram promissores e corroboraram a hipótese do projeto, revelando uma performance distinta do sistema em cada um dos cenários propostos.

No cenário com prompts genéricos, os especialistas observaram que os planos de treino gerados pelo sistema mantiveram um alto padrão de segurança e coerência com as diretrizes gerais. Os planos foram classificados como “bons” e “seguros”. Contudo, o avaliador destacou que os treinos, embora corretos, “fogem de alguns detalhes que o treinador em si sabe”, como a inclusão de exercícios corretivos específicos ou variações de cadência. Em suma, o sistema atuou como uma “grade de proteção”, fornecendo um sistema básico, porém seguro e de qualidade, mas sem o refinamento que apenas a experiência humana pode prover.

Quando os especialistas forneceram dados de entrada detalhados, a qualidade dos planos gerados foi classificada como “excelente”. Os avaliadores reportaram que seu trabalho subsequente se resumiu a “apenas refinar os detalhes”, como a alteração na ordem de um exercício acessório. Concluiu-se que o sistema automatizou com sucesso entre 90% a 95% do trabalho de estruturação do plano, liberando o profissional para a etapa final de personalização de alto nível.

#### **4.1. Discussão dos Resultados e Validação da Tese**

Os resultados validam a proposta deste trabalho: o sistema de IA atua como um verdadeiro ajudante, e não como um substituto autônomo. A diferença de performance entre os cenários ilustra o princípio fundamental “*Quality In, Quality Out*”, reforçando o papel central e insubstituível do profissional no processo.

Para o profissional menos experiente ou sobrecarregado (Cenário 1), o sistema serve como um apoio de segurança, mas com qualidade. Ele garante que a base da prescrição seja cientificamente sólida, prevenindo erros graves e estabelecendo um padrão de excelência.

Para o profissional experiente (Cenário 2), a ferramenta se transforma em um catalisador de produtividade e eficiência. Ao automatizar a tarefa demorada de estruturar o plano, libera o tempo do especialista para focar onde é mais valioso. Isto é, na interpretação de nuances, na aplicação da experiência prática e na interação humana e motivacional.

Portanto, a validação demonstra que o sistema atinge seu objetivo principal de formalizar e escalar o conhecimento especializado, permitindo que os profissionais entreguem um serviço de maior qualidade e de forma mais eficiente, solidificando o modelo de colaboração Homem e IA.

### **5. Conclusão**

Este trabalho apresentou o desenvolvimento, a arquitetura e a validação de um sistema inteligente projetado para atuar como um assistente especialista para profissionais de Educação Física. Ao integrar conhecimento científico em um Modelo de Linguagem de Grande Escala (LLM) especializado via *fine-tuning*, a solução buscou endereçar as limitações de eficiência e padronização dos métodos de prescrição manuais.

Com isso, as contribuições deste estudo podem ser sintetizadas em três áreas fundamentais.

- Técnica: Foi demonstrada a viabilidade da construção de um sistema inteligente funcional que utiliza um LLM *fine-tuned* para gerar planos de treino comple-

xos, incluindo uma interface de *chat* interativa. A arquitetura *full-stack* (React, Node.js, MySQL) provou ser uma base robusta e escalável.

- Validação Empírica da ideia “IA como ajudante”: Os resultados confirmaram que o sistema aumenta a capacidade profissional em vez de substituí-la. Para o operador com informações limitadas, atuou como um “apoio de segurança”. Para o operador especialista, funcionou como um “catalisador de produtividade”, automatizando o trabalho de base e liberando o profissional para o refinamento de alto nível.
- Metodológica: O projeto oferece um *framework* para o desenvolvimento de ferramentas de IA em domínios da saúde. A abordagem de formar um *dataset* baseado em evidências, realizar o *fine-tuning* e validar com especialistas em cenários de uso real pode servir como um roteiro para futuros trabalhos.

Entretanto, reconhece-se que o sistema possui limitações. A principal é a dependência da qualidade da informação de entrada (*Quality In, Quality Out*). A natureza “caixa-preta” dos LLMs impõe desafios à explicabilidade, e a validação em pequena escala aqui apresentada e necessita de estudos mais abrangentes para generalização dos resultados. Além disso, se faz necessário ampliar o cenário de teste, ouvindo o *feedback* de outros profissionais. Essas limitações, contudo, abrem caminhos promissores para trabalhos futuros:

- Validação em Larga Escala: Conduzir um estudo com um grupo maior de profissionais e clientes para medir o impacto em indicadores de performance, satisfação e aderência ao treinamento a longo prazo.
- Expansão do *Dataset*: Enriquecer o conjunto de dados com perfis de populações diversas (idosos, gestantes, com comorbidades) para mitigar vieses e ampliar a aplicabilidade.
- Implementação de Ciclo Fechado (*Closed-Loop*): Permitir que o praticante insira *feedback* (ex: Percepção Subjetiva de Esforço - RPE) para que o sistema ajuste dinamicamente os planos futuros, individualizando a sobrecarga progressiva.
- Aprimoramento da Explicabilidade: Focar em técnicas que permitam ao sistema justificar suas escolhas, fortalecendo seu papel como ferramenta de aprendizado.

Sendo assim, conclui-se que este trabalho reforça o potencial da inteligência artificial como uma aliada valiosa e responsável na promoção da saúde, evidenciando um caminho promissor para ampliar a expertise humana e aprimorar a qualidade da prescrição de exercícios.

## Referências

- (2023). Health and fitness club market — growth, trends, and forecasts (2024–2028). Acesso em julho 2025.
- (2024). Panorama setorial fitness brasil 2024. Acesso em julho 2025.
- Bastos, W. G., Pimenta, M. B., and Pithon, A. J. (2007). Ex-pres: an expert system for exercise prescription for hypertensive individuals. In *2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pages 2693–2698. IEEE.
- Baz-Valle, E., Balsalobre-Fernández, C., Alix-Fages, C., and Santos-Concejero, J. (2022). A systematic review of the effects of different resistance training volumes on muscle hypertrophy. *Journal of Human Kinetics*, 81(1):199–210.

- Carben, J. T., Eannucci, J. F., Zourdos, M. C., Bittenbender, T. M., Ormsbee, M. J., Gabor, K. A., and White, J. A. (2022). The efficacy of a 'one-size-fits-all' exercise program on anthropometric and physical fitness variables among law enforcement officers. *Work*, 72(1):113–122.
- Google DeepMind (2025). Gemini 2.5 pro technical overview. <https://deepmind.google/models/gemini/pro/>; acesso em julho 2025.
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., et al. (2022a). Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy. *Journal of Sport and Health Science*, 11(2):175–184.
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., et al. (2022b). Hypertrophic effects of single-versus multi-joint exercise of the limb muscles: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 52(3):683–700.
- Haff, G. G. and Triplett, N. T. (2016). *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Human Kinetics, 4th edition.
- Lim, S.-M., Lee, K., and Chen, V. (2025). Llm-based conversational agents for behaviour change support: The "micha" chatbot. In *Proceedings of the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Avalia um chatbot GPT-4 com Entrevista Motivacional para promover atividade física.
- Liz, C. M., Crocetta, T. B., Viana, M. d. S., Brandt, R., and Andrade, A. (2010). Aderência à prática de exercícios físicos em academias de ginástica. *Motriz. Revista de Educação Física*, 16(1):181–188.
- Matthew Jörke, Shardul Sapkota, L. W. N. V. P. S. E. B. J. A. L. (2025). GPTCoach: Towards LLM-Based Physical Activity Coaching.
- of Sports Medicine, A. C. (2022). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Wolters Kluwer, 11 edition.
- Ong, Q. C., Ang, C.-S., and Chee, D. Z. Y. e. a. (2024). Advancing health coaching: a comparative study of large language model and health coaches. *Artificial Intelligence in Medicine*, 157:103004.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10):2857–2872.
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., and Krieger, J. (2019). How many times per week should a muscle be trained to maximize muscle hypertrophy? *Journal of Sports Sciences*, 37(11):1286–1291.
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., and Krieger, J. W. (2017). Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12):3508–3523.
- Singer, A., Wolf, M., Generoso, L., and ... Schoenfeld, B. J. (2024). Give it a rest: a systematic review with Bayesian meta-analysis on the effect of inter-set rest interval duration on muscle hypertrophy. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6:1429789.
- Sperandei, S., Vieira, M. C., and Reis, A. C. (2016). Adherence to physical activity in an unsupervised setting: explanatory variables for high attrition rates among fitness center members. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(11):916–920.
- Stopa, S. R., Szwarcwald, C. L., Oliveira, M. M., Gouvêa, E. C. D. P., Vieira, M. L. F. P., Freitas, M. P. S., and et al. (2023). Perfil de atividade física no tempo livre e comportamento sedentário em adultos no brasil: pesquisa nacional, 2019. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 32(2):e2021309.

Strength, N. and Association, C. (2021). *NSCA's Essentials of Personal Training*. Human Kinetics, 3 edition.

Valcarce-Espinosa, D., Llauradó, O., and Pardàs, F. (2021). A hybrid recommender system for physical activity and health. *IEEE Access*, 9:116900–116918.

## Soluções Digitais na Gestão Ambiental Pública

### Estudo de Caso do Sistema SIGA na Cidade de Ouro Branco, MG

Carlos H. C. Ferreira<sup>1</sup>, Márcio A. Miranda<sup>1</sup>, Ângelo M. de Jesus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)  
Rua Afonso Sardinha, 90, Bairro Minas Talco - Ouro Branco/MG - CEP: 36494-018

carloscenachi@protonmail.com , {marcio.assis, angelo.jesus}@ifmg.edu.br

**Abstract.** *The growing complexity of municipal environmental management in Brazil demands digital solutions that provide efficiency, transparency, and adaptation to local realities. Many city halls face challenges with standardized systems that do not fully meet their strategic needs. This paper presents a case study of the Intermunicipal Environmental Management System (SIGA), a platform developed in-house by the city of Ouro Branco-MG, as a solution to these challenges. The study describes the system's technological architecture, explores its unique functionalities (such as the "IPTU Verde" and "Empresa Amiga da Natureza" programs), and details the usability evaluation methodology applied with its end-users. The objective is to analyze the effectiveness of the in-house development model as a strategy for modernizing public environmental management.*

**Resumo.** *A crescente complexidade da gestão ambiental municipal no Brasil demanda soluções digitais que ofereçam eficiência, transparência e adaptação à realidade local. Muitas prefeituras enfrentam desafios com sistemas padronizados que não atendem plenamente às suas necessidades estratégicas. Este trabalho apresenta um estudo de caso do Sistema Intermunicipal de Gestão Ambiental (SIGA), uma plataforma desenvolvida internamente pela prefeitura de Ouro Branco, MG, como solução para estes desafios. O estudo descreve a arquitetura tecnológica do sistema, explora suas funcionalidades exclusivas (como os programas "IPTU Verde" e "Empresa Amiga da Natureza") e detalha a metodologia de avaliação de usabilidade aplicada junto aos seus usuários finais. O objetivo é analisar a eficácia do modelo de desenvolvimento interno como uma estratégia para a modernização da gestão pública ambiental.*

### 1. Introdução

A gestão ambiental no cenário público municipal enfrenta desafios complexos e crescentes. Estes desafios vão desde a gestão de um grande volume de processos de licenciamento e fiscalização, passando pela dificuldade em garantir a rastreabilidade e transparência dos atos, até a necessidade de acompanhar uma legislação em constante mudança e gerenciar de forma segura um vasto acervo de dados documentais e geoespaciais. Um marco fundamental nessa evolução foi a promulgação da Lei Complementar nº 140/2011 [Brasil 2011], que redefiniu as competências federativas, atribuindo aos municípios um papel central e, muitas vezes, inédito, no licenciamento de atividades consideradas de impacto local. Essa nova responsabilidade exigiu das prefeituras um salto qualitativo em

suas estruturas, tornando a adoção de sistemas informatizados, não apenas uma modernização, mas uma necessidade estratégica para garantir processos mais eficientes, transparentes e ágeis.

Nesse contexto de descentralização e busca por maior autonomia e capacidade técnica, o município de Ouro Branco, em Minas Gerais, destaca-se como um exemplo relevante. Segundo dados do Sistema Municipal de Meio Ambiente (SIMMA-MG) da [Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) 2024], divulgados em março de 2024, Ouro Branco figura entre os 19 municípios mineiros que receberam a atribuição de exercer competências estaduais de licenciamento, controle e fiscalização ambiental. Essa delegação reforça a urgência e a importância de ferramentas que possam apoiar, técnica e operacionalmente, os entes municipais, permitindo-lhes cumprir suas novas atribuições com a devida competência e segurança jurídica [Minas Gerais (Estado) 2023].

É precisamente neste cenário que emerge o Sistema Intermunicipal de Gestão Ambiental (SIGA). Desenvolvido com base na experiência do Sistema de Licenciamento Ambiental Municipal (SILAM), o SIGA foi concebido com o propósito de atender às particularidades e demandas regionais, promovendo uma gestão ambiental mais integrada e colaborativa. Este sistema representa um esforço significativo para otimizar o fluxo de trabalho, desde a solicitação de licenças até a fiscalização e o monitoramento ambiental.

Este estudo de caso se propõe a aprofundar a análise do SIGA investigando suas funcionalidades e o contexto específico de sua implementação em Ouro Branco, MG. Nosso propósito é compreender os benefícios concretos e os desafios enfrentados por esse sistema na prática da gestão ambiental municipal. Diante dessa proposta, surgem questões cruciais que nortearão nossa investigação:

- Quais ganhos práticos a adoção do SIGA trouxe para a gestão ambiental municipal de Ouro Branco, MG?
- Em que medida o sistema atendeu às necessidades dos técnicos e usuários envolvidos nos processos ?
- Houveram melhorias perceptíveis em termos de eficiência, rastreabilidade e acompanhamento dos processos ambientais após a implementação do SIGA?

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso do SIGA, analisando suas funcionalidades, o contexto de sua implementação, as vantagens percebidas e os desafios enfrentados. Para isso, será realizada uma avaliação, com base em métodos de usabilidade, coleta de dados com usuários e comparação com o cenário anterior à digitalização dos processos ambientais.

## 2. Trabalhos Relacionados

Esta seção analisa trabalhos e estudos de caso sobre a gestão ambiental pública e a implementação de sistemas de informação no setor. O objetivo é contextualizar os desafios recorrentes e posicionar o modelo de desenvolvimento e gestão do SIGA como uma abordagem estratégica e própria.

### 2.1. Gestão Ambiental Pública e a Necessidade de Soluções Digitais

A municipalização da gestão ambiental, impulsionada pela Lei Complementar nº 140/2011, transferiu aos municípios uma responsabilidade crescente pelo licenciamento e fiscalização de atividades de impacto local. Este novo cenário exige uma capacidade técnica

e administrativa que muitas prefeituras lutam para desenvolver. Como resposta a essa demanda, a informatização dos processos ambientais tem sido apontada como uma solução estratégica. A implementação de sistemas de informação em órgãos ambientais visa modernizar procedimentos internos e garantir maior eficiência e eficácia na prestação de serviços. Estudos de caso em órgãos estaduais demonstram os benefícios concretos dessa abordagem.

Um exemplo notável é a experiência do estado de Sergipe, que implementou o sistema Cerberus, desenvolvido pelo Centro de Recursos Ambientais (CRA), para a Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). A implantação da plataforma gerou um aumento significativo na confiabilidade e segurança das licenças emitidas. O sistema alcançou esse resultado ao impor uma nova regra processual: um processo de licenciamento só pode ser formalmente iniciado após a apresentação de toda a documentação exigida e a quitação das taxas, garantindo que a análise técnica seja sempre realizada com base em informações completas. Adicionalmente, a ferramenta garantiu rastreabilidade total ao registrar um histórico detalhado de cada processo, informando o usuário responsável, as datas de tramitação e o status atual, o que permitiu aos gestores acompanhar o andamento de cada solicitação em tempo real [Xavier et al. 2012].

Da mesma forma, a análise da informatização no estado da Bahia, realizada por [da Silva Costa and das Graças Vasconcelos 2009] no CRA, destaca a mesma preocupação. O órgão investiu no desenvolvimento de um conjunto articulado de sistemas, denominado Tecnologia de Gestão Ambiental (TG-CRA), para controlar suas ações de licenciamento e fiscalização. Essa abordagem é fundamental para apoiar os tomadores de decisão, pois unifica os dados em um cadastro estadual de empreendimentos, permitindo a formulação de estratégias de fiscalização mais apuradas, e oferece aos gestores a visualização de todos os processos em tempo real. Tais exemplos validam a busca por soluções digitais como um caminho para o fortalecimento da gestão ambiental.

## **2.2. Análise de Sistemas Existentes e Desafios de Implementação no Setor Público**

Embora a implementação de sistemas digitais possa trazer benefícios claros, como maior rastreabilidade e segurança nos processos, a jornada de modernização no setor público é marcada por desafios institucionais, operacionais e culturais. A análise de casos práticos revela que a simples adoção de tecnologia não é, por si só, garantia de sucesso.

Um dos principais obstáculos é a fragilidade institucional dos próprios municípios. O estudo de [Amaral et al. 2018] em Ilha Solteira-SP, ilustra um cenário recorrente: o órgão ambiental municipal não é uma secretaria exclusiva, o que dilui o foco da pauta ambiental; a equipe técnica carece de uma visão multidisciplinar; e instrumentos financeiros como o Fundo Municipal de Meio Ambiente permanecem inativos por uma aparente incapacidade ou desconhecimento do município em exercer seu poder de polícia, como fiscalizar e aplicar multas.

Mesmo em instituições com maior capacidade, a implementação de sistemas de informação enfrenta barreiras significativas. O trabalho de [Teixeira et al. 2023] que analisa a introdução do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) na Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) descreve o processo como "traumático", onde o principal desafio foi a resistência cultural dos colaboradores e o medo da nova ferramenta. Além disso, o estudo aponta queixas de usabilidade, com usuários considerando

a interface do sistema "pouco intuitiva" e não responsiva. Isso reforça a tese de que, para além da tecnologia, o sucesso de um sistema depende criticamente do engajamento e da capacitação de seus usuários [da Silva and Martins 2017]. Para contextualizar a análise comparativa que se segue, é fundamental detalhar as plataformas de referência utilizadas neste estudo.

O SILAM possui um papel fundamental neste estudo, pois foi a plataforma que serviu como código-base para o desenvolvimento do SIGA. Originalmente um sistema de escopo estadual, sua implementação atual ocorre no âmbito do município de Congonhas, em Minas Gerais. Sua arquitetura é mais simples e focada, oferecendo ao usuário comum, essencialmente, as funcionalidades para iniciar solicitações de Licenciamento e de Intervenção Ambiental.

Em âmbito estadual, o Sistema de Licenciamento Ambiental (SISLAM) representa a solução oficial e de uso obrigatório do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM). Embora robusto, seu escopo é direcionado principalmente ao licenciamento, não abrangendo, por exemplo, módulos para a gestão de Intervenção Ambiental e outras autorizações específicas, conforme detalhado na Tabela 1.

Por fim, o EcoSistemas de Minas Gerais representa um modelo de portal integrador. Ele serve como a porta de entrada digital para todos os serviços do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA), sendo, em escopo de serviços oferecidos, a plataforma mais abrangente da análise. Contudo, sua principal característica é também a fonte de sua complexidade para o usuário final: sua estrutura é inherentemente descentralizada, o que pode dificultar a navegação e a localização de processos. Essa fragmentação representa um desafio para usuários que não possuem familiaridade com a complexa estrutura organizacional do estado.

A análise dessas plataformas, sintetizada na Tabela 1, evidencia que persistem lacunas importantes no modelo tradicional de adoção de tecnologia no setor público, especialmente no que tange à autonomia, flexibilidade e adaptação às necessidades do usuário final.

**Tabela 1. Comparativo entre as funcionalidades do SIGA e plataformas similares.**

Funcionalidades	SIGA	SILAM	SISLAM	EcoSistemas
Cadastro Empreendedor	✓	✓	✓	✓
Cadastro Empreendimento	✓	✓	✓	✓
Licenciamento Ambiental	✓	✓	✓	✓
Intervenção Ambiental	✓	✓	✗	✓
Manual do Usuário	✓	✗	✓	✓
Perfil do Usuário	✓	✓	✗	✓
Legislação	✓	✗	✓	✓
Empresa Amiga da Natureza	✓	✗	✗	✗
IPTU Verde	✓	✗	✗	✗
Autorização	✓	✗	✗	✗
Fale Conosco	✓	✗	✗	✓

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O quadro comparativo detalha as lacunas entre as plataformas, mostrando que o SIGA se posiciona como uma solução mais completa e integrada. Notadamente, funcionalidades diretamente ligadas a políticas públicas próprias do município, como os programas de certificação "IPTU Verde" e "Empresa Amiga da Natureza", são exclusivas do sistema, demonstrando uma capacidade de customização e alinhamento estratégico que sistemas padronizados não possuem. Essa adaptabilidade, que permite unificar diversas demandas em uma única plataforma, é o principal diferencial da ferramenta. Tal vantagem é resultado direto do modelo de desenvolvimento próprio, que alinha a evolução do sistema às estratégias do município.

### **2.3. O Modelo SIGA: Uma Abordagem Estratégica para a Gestão Municipal**

Para superar os desafios institucionais e as dificuldades na implementação de novas tecnologias, o modelo de gestão adotado pela Prefeitura Municipal de Ouro Branco, MG apresenta-se como uma solução estratégica. O SIGA diferencia-se por uma característica fundamental: seu desenvolvimento e manutenção são realizados internamente pelo Núcleo de Inteligência Ambiental (NIA), uma subdivisão da própria gerência de meio ambiente.

Esta abordagem de desenvolvimento interno representa uma resposta direta aos problemas documentados. Em contraste com o cenário de fragilidade de Ilha Solteira, o NIA representa um foco de especialização técnica capaz de operacionalizar o poder de fiscalização através de uma ferramenta construída para esse fim. Diferentemente dos desafios de implementação do SEI, o modelo em estudo, ao ter a equipe de desenvolvimento próxima aos usuários, promove um ciclo de melhoria contínua e centrado nas necessidades reais de quem opera o sistema. A autonomia tecnológica total, o controle sobre o código-fonte e a consequente flexibilidade para adaptações garantem que o SIGA possa evoluir de acordo com as necessidades do município de Ouro Branco, MG. Um exemplo concreto dessa vantagem é a capacidade de integrar funcionalidades exclusivas e próprias do município, como os programas de certificação anteriormente citados, algo inviável em sistemas padronizados ou de terceiros.

Dessa forma, esta abordagem propõe uma solução baseada na autonomia tecnológica, na flexibilidade para adaptações e na redução de custos. Este paradigma justifica um estudo de caso aprofundado para avaliar, na prática, os ganhos em eficiência, rastreabilidade e satisfação do usuário.

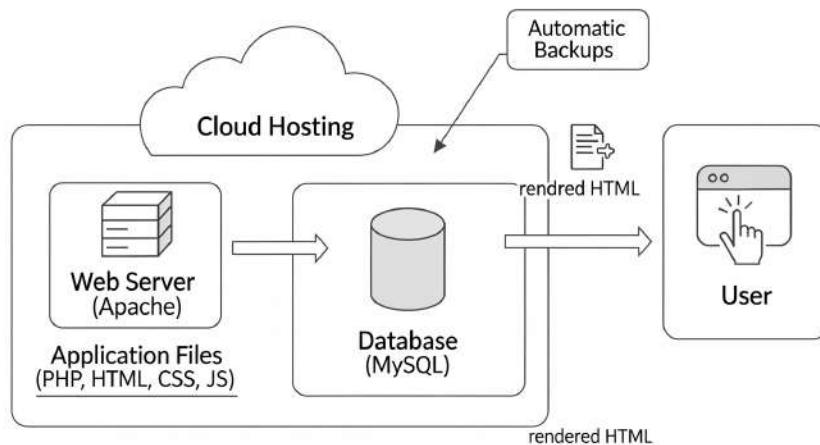
## **3. Metodologia**

A análise de uma solução digital como o SIGA, inserida na complexa rotina da gestão ambiental pública, requer uma abordagem metodológica bem definida. Os procedimentos, descritos a seguir, incluem a caracterização técnica do sistema e a aplicação de instrumentos para aferir sua usabilidade e eficácia a partir da percepção de seus usuários finais.

### **3.1. O objetivo de Estudo: O Sistema SIGA**

O objeto central deste estudo é o SIGA, o sistema utilizado pelo Núcleo de Inteligência Ambiental da Prefeitura Municipal de Ouro Branco, MG para a gestão de processos de licenciamento, intervenção ambiental e fiscalização. Do ponto de vista técnico, a arquitetura do SIGA segue um modelo web cliente-servidor, conforme ilustrado na Figura

1. O sistema opera em um ambiente de servidor Apache com suporte à versão 7.2 da linguagem PHP e utiliza o MySQL como seu sistema de gerenciamento de banco de dados. Atualmente, toda essa estrutura opera em um ambiente de hospedagem em nuvem, uma migração realizada para otimizar a gestão de backups e garantir maior segurança e disponibilidade dos dados.



**Figura 1. Arquitetura simplificada do sistema SIGA.**

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A opção por manter a linguagem PHP para o desenvolvimento do SIGA foi uma decisão estratégica, que visou aproveitar o código-base já existente em seu sistema anterior, o SILAM. Com uma longa e consolidada trajetória, o PHP demonstra uma notável resiliência e prevalência, sendo a tecnologia de lado do servidor utilizada por mais de 70% de todos os sites da web cujo ecossistema é conhecido [W3Techs 2024]. Seu sucesso duradouro pode ser atribuído a vantagens significativas, como o fato de ser uma tecnologia de código aberto, possuir uma comunidade global ativa, documentação oficial abrangente e ampla compatibilidade com os principais servidores web.

Para o projeto, a manutenção da linguagem em questão foi fundamental, pois a decisão permitiu o reaproveitamento da lógica de negócio e da estrutura do sistema anterior, o que otimizou drasticamente o tempo e os recursos de desenvolvimento. Aliado a isso, o acesso à abrangente documentação oficial da linguagem foi um fator-chave para a autonomia da equipe interna. Essa combinação de fatores facilitou a resolução de desafios técnicos e simplificou a manutenção da infraestrutura, garantindo a sustentabilidade e a evolução do projeto a longo prazo.

### 3.2. Coleta e Análise de Dados

A avaliação da usabilidade do sistema SIGA foi conduzida por meio de um levantamento (*survey*), cujo principal instrumento quantitativo foi o *System Usability Scale* (SUS). Criada por John Brooke, em 1986, a escala foi originalmente concebida como uma medida de usabilidade "rápida e suja" (*quick and dirty*), mas que se provou altamente confiável em diversos estudos. O método consiste em um questionário com 10 afirmativas, onde os

usuários indicam seu nível de concordância em uma escala *Likert* de cinco pontos, com alternância entre afirmativas de conotação positiva e negativa para minimizar respostas automáticas.

Para este estudo, a aplicação do SUS ocorreu de forma retrospectiva, onde os usuários foram convidados a avaliar o sistema com base na totalidade de sua experiência de uso, em vez de realizarem uma tarefa específica e controlada. Essa abordagem "sem tarefas" (*task-less*) é validada por [Grier et al. 2013] como uma forma eficiente para capturar a percepção global do usuário sobre um produto.

A aplicação da pesquisa ocorreu por meio de dois questionários distintos, elaborados na plataforma Google Forms, cada um direcionado a um perfil específico de usuário. O primeiro foi destinado a um grupo de três colaboradores com experiência tanto no processo anterior, baseado em papel, quanto com a utilização do SIGA, visando avaliar a percepção de melhoria. O segundo questionário foi direcionado a um grupo de oito funcionários com experiência apenas na plataforma digital, focando na avaliação da usabilidade do sistema em seu estado atual. Para reforçar a análise do SUS, ambos os formulários continham, além das 10 afirmativas da escala, um conjunto de perguntas específicas destinadas a aprofundar a percepção dos usuários sobre pontos-chave de usabilidade do sistema.

O tratamento e a análise dos dados coletados seguirá uma abordagem mista (quali-quant). Para a parte quantitativa, os resultados da escala SUS foram processados conforme seu cálculo padrão para gerar um score final de usabilidade (0-100) para cada grupo de usuários. Para dar um significado prático ao score bruto, a pontuação obtida foi contextualizada utilizando-se de escalas de classificação adjetiva e por notas, uma prática validada na literatura para interpretar os resultados do SUS [Grier et al. 2013]. Conforme essa abordagem, um score médio de 68 é considerado aceitável (nota 'C'), scores acima de 80.3 indicam excelente usabilidade (nota 'A') e valores abaixo de 51 apontam para falhas críticas (nota 'F'), sinalizando a necessidade de melhorias prioritárias.

Para complementar a análise quantitativa, as respostas das perguntas abertas passaram por uma análise de conteúdo. Neste processo, os comentários e sugestões foram categorizados por temas recorrentes, permitindo identificar os pontos fortes e as oportunidades de melhoria mais citados pelos participantes.

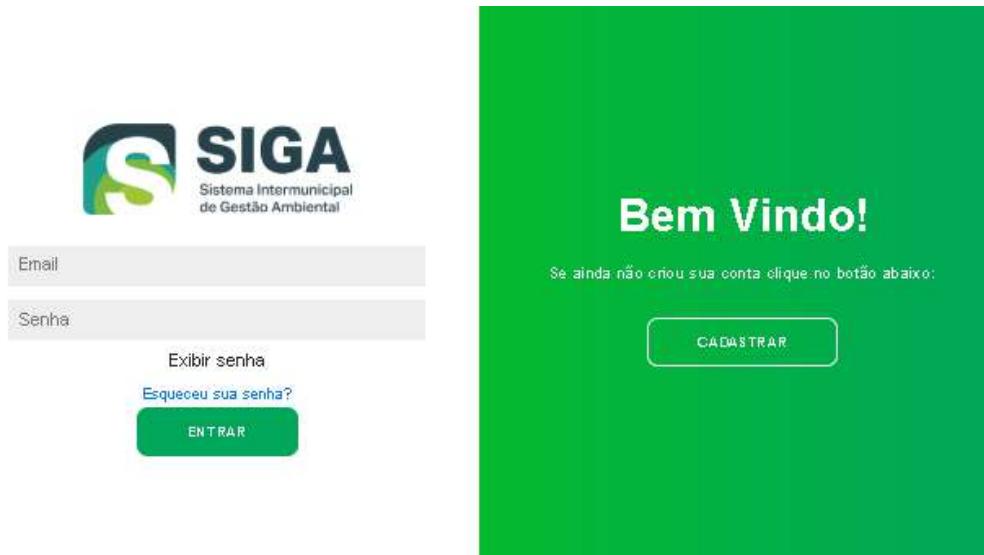
## **4. Resultados e Discussão**

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos neste estudo. Inicialmente, são demonstradas as principais interfaces do sistema SIGA, e breve descrição de suas funcionalidades. Em seguida, são expostos os dados quantitativos e qualitativos coletados na avaliação de usabilidade. O foco é a apresentação dos scores obtidos com a aplicação do questionário *System Usability Scale* (SUS), bem como a análise de conteúdo das percepções dos usuários. A discussão e interpretação aprofundada desses achados serão realizadas na sequência, conectando os resultados práticos aos objetivos propostos por este estudo.

### **4.1. Apresentação do Sistema Desenvolvido**

O primeiro contato do usuário com o sistema ocorre por meio da tela de autenticação (Figura 2). Esta interface serve como portal de entrada para usuários já cadastrados, que

acessam a plataforma informando seu e-mail e senha. A tela também oferece opções para a recuperação de senha e direciona novos usuários para o formulário de cadastro, garantindo o acesso inicial à plataforma.



**Figura 2. Tela de autenticação do sistema SIGA.**

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

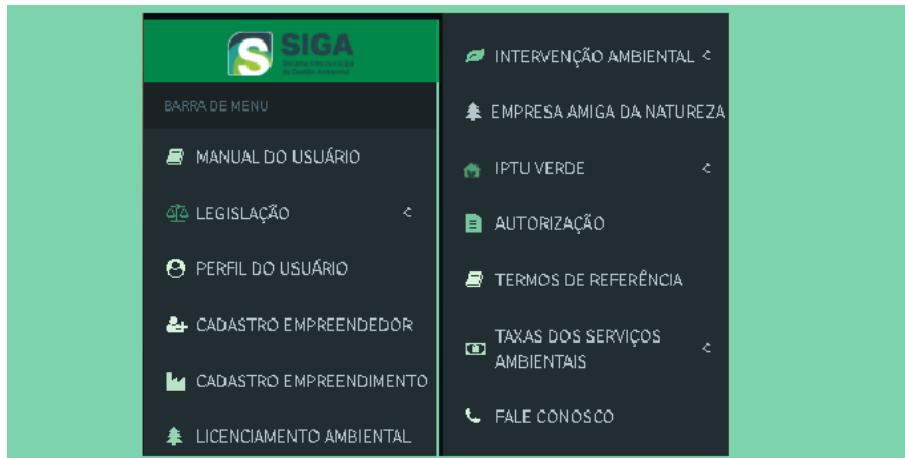
Ao optar por se cadastrar, o usuário é direcionado ao formulário de criação de conta (Figura 3). O processo de registro exige o preenchimento de dados pessoais e o envio de documentos comprobatórios, como documento de identificação e comprovante de residência.

The image shows a registration form titled 'Cadastro de usuário'. It contains several input fields: Nome, CPF, Email, Cidade, Celular, Senha, and Repita sua senha. There are also sections for 'Documento de identificação' (with a 'Escolher arquivo' button) and 'Comprovante de residência' (with a 'Escolher arquivo' button). At the bottom, there is a checkbox labeled 'Ao se cadastrar você concorda com todos os Termos e Condições de Uso.' and a large green 'Cadastrar' button.

**Figura 3. Formulário de cadastro de novos usuários na plataforma.**

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após a autenticação, o usuário é direcionado ao painel principal do sistema, que serve como a central de navegação para todas as funcionalidades disponíveis. A Figura 4 exibe a um usuário convencional, como um município ou consultor ambiental, o elemento central da navegação é o menu lateral, que agrupa o acesso às funcionalidades voltadas para a solicitação de serviços, como "Licenciamento Ambiental", "Intervenção Ambiental" e os programas de certificação "IPTU Verde" e "Empresa Amiga da Natureza".



**Figura 4. Recorte da interface do sistema, com foco no menu de funcionalidades para melhor visualização dos módulos.**

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

É importante ressaltar que a arquitetura de informação do SIGA implementa um controle de acesso baseado em perfis. Embora não ilustrado na figura, perfis com permissões elevadas, como o de administrador (utilizado pelo corpo técnico do NIA), possuem acesso a um conjunto de módulos adicionais de gestão. Essas funcionalidades exclusivas incluem ferramentas para "Fiscalização", "Cadastro Geral" e "Relatórios", garantindo que as operações de gerenciamento do sistema sejam restritas aos usuários autorizados.

Além das funcionalidades de gestão processual, o SIGA se destaca por incorporar módulos diretamente ligados a políticas públicas de incentivo ambiental do município de Ouro Branco, conforme já apontado na Tabela 1. Essas ferramentas demonstram a capacidade de customização da plataforma, um diferencial em relação a sistemas padronizados.

Um desses módulos é o programa "IPTU Verde" (Figura 5). Por meio do sistema, o cidadão pode solicitar um desconto progressivo no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) ao comprovar a adoção de práticas sustentáveis em sua residência. O programa concede um abatimento de 2% para cada prática validada, podendo acumular até cinco práticas e totalizando um desconto máximo de 10%.

The screenshot shows the 'CERTIFICAÇÃO IPTU VERDE' application. It includes sections for 'Identificação do Requerente' (Requester Identification) with fields for name, CPF, and email; 'Identificação do Interessado' (Applicant Identification) with fields for name, CPF, and email; and 'Endereço do Interessado' (Applicant Address) with fields for address, telephone, and email. A 'Certificação - IPTU VERDE' section contains a checklist of environmental practices. The 'Anexação de documentos' (Attachment of documents) section shows three rows for attaching files, each with a file type dropdown (e.g., PDF, DOCX), a 'Selecionar' (Select) button, and a 'Remover' (Remove) button.

**Figura 5. Interface para solicitação de adesão ao programa IPTU Verde.**

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De forma análoga, o sistema oferece o programa "Empresa Amiga da Natureza", uma certificação municipal destinada a empresas que demonstram compromisso com a responsabilidade ambiental em suas operações. A plataforma permite que as organizações submetam suas práticas sustentáveis para avaliação e, caso aprovadas, recebam o selo de reconhecimento (Figura 6).

The screenshot shows the 'CERTIFICAÇÃO SIMPLES: EMPRESA AMIGA DA NATUREZA' application. It includes sections for 'Identificação' (Identification) with fields for name, CPF, and email; 'Endereço' (Address) with fields for address, telephone, and email; 'Contato' (Contact) with fields for fax, email, and telephone; and 'Atividades' (Activities) with a dropdown menu for activity type. A 'Certificação Simples' (Simple Certification) section contains a checkbox for accepting the terms and conditions. At the bottom, there is a note about accepting the terms and conditions, and buttons for 'Cancelar' (Cancel) and 'Continuar' (Continue).

**Figura 6. Tela do programa de certificação Empresa Amiga da Natureza.**

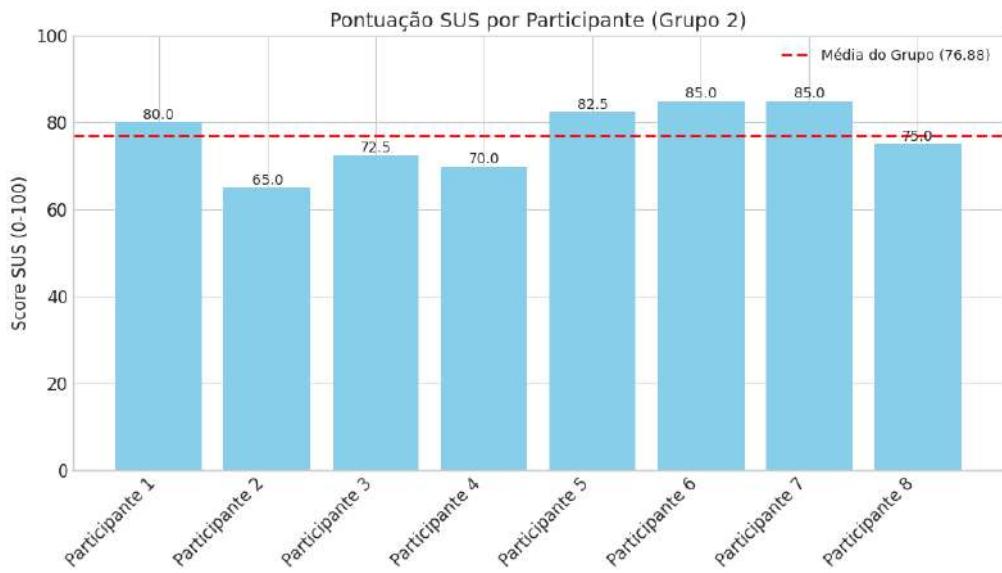
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A presença dessas duas funcionalidades exclusivas no SIGA materializa a principal vantagem de seu modelo de desenvolvimento interno: a capacidade de adaptar a ferramenta tecnológica às demandas e estratégias específicas da gestão pública local, conforme discutido na seção 2.3.

#### 4.2. Apresentação dos Resultados da Avaliação de Usabilidade

Nesta seção, são detalhados os resultados da avaliação de usabilidade do sistema SIGA, conduzida com base na metodologia descrita na seção 3.2. A análise quantitativa foi realizada a partir da aplicação do questionário SUS a dois grupos distintos de usuários, totalizando 11 participantes. Os resultados são apresentados a seguir, tanto de forma segmentada por grupo quanto de maneira consolidada.

O estudo iniciou-se pelo Grupo 2, formado por 8 funcionários com experiência de uso restrita à plataforma digital, representando o perfil de usuário convencional do sistema. Este grupo atribuiu ao SIGA uma pontuação média de usabilidade de 76,88. De acordo com as escalas de referência da área, um score neste patamar é classificado como "Bom" e corresponde a uma nota "B", indicando uma usabilidade acima da média de mercado (68 pontos). A Figura 7 detalha as pontuações individuais deste grupo.

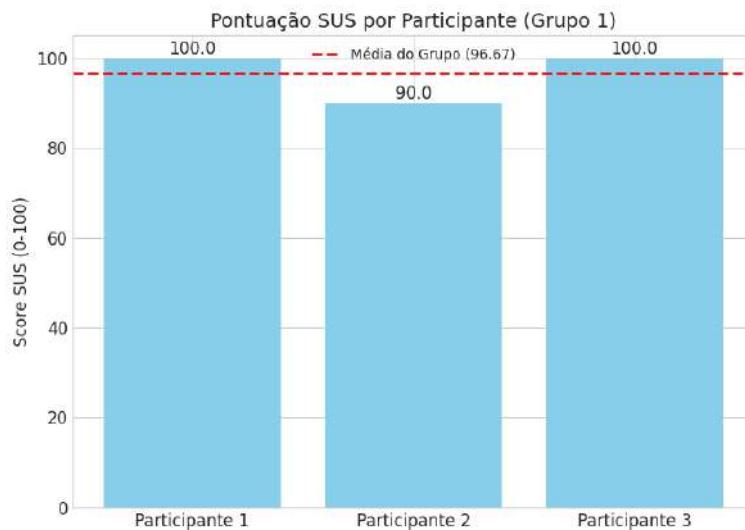


**Figura 7. Pontuação SUS individual por participante (Grupo 2).**

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme o gráfico, houve uma consistência nos resultados, com a maioria (7 de 8) dos participantes atribuindo scores acima do limiar de 68 pontos. As pontuações variaram de um mínimo de 65,0 a um máximo de 85,0, o que sugere uma experiência de uso majoritariamente positiva, mas com algumas variações individuais.

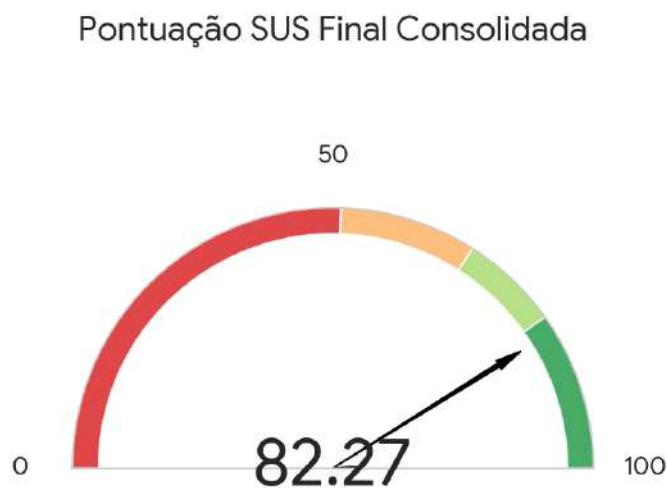
Em seguida, foi avaliado o Grupo 1, composto por 3 colaboradores que possuíam experiência tanto com o processo anterior, baseado em papel, quanto com a utilização do SIGA. A percepção deste grupo, que pôde comparar diretamente os dois cenários, foi ainda mais positiva, resultando em uma pontuação média de 96,67. Este resultado é classificado como "Excelente", recebendo a nota máxima "A+" e indicando que a implementação do SIGA representou uma melhoria drástica para estes usuários. A Figura 8 ilustra os resultados deste grupo.

**Figura 8. Pontuação SUS individual por participante (Grupo 1).**

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O score excepcional deste grupo é um forte indicativo de que a implementação do SIGA representou uma melhoria drástica e muito bem-recebida em termos de usabilidade para aqueles que vivenciaram a rotina de trabalho anterior.

Finalmente, ao consolidar os dados de todos os 11 participantes, o sistema SIGA alcança uma pontuação média geral de usabilidade de 82,27. Este resultado final, visualizado no gráfico de medidor da Figura 9, reforça a avaliação do sistema como "Excelente"(nota A), demonstrando um alto grau de satisfação e facilidade de uso percebido pelo conjunto de seus usuários e validando quantitativamente o sucesso da implementação do sistema.

**Figura 9. Pontuação SUS final consolidada.**

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

### 4.3. Análise Qualitativa

A análise das respostas abertas dos participantes revelou os seguintes pontos-chave que complementam os resultados quantitativos:

- Pontos Positivos: A agilidade, facilidade de uso e a praticidade do sistema foram os aspectos positivos mais elogiados de forma geral. Para os usuários com experiência no processo manual anterior, a melhora na organização, rastreabilidade e acesso à informação foram os diferenciais mais impactantes.
  - *“Maior agilidade, confiabilidade dos dados fornecidos, organização dos documentos, melhorou a comunicação com o requerente.”*
- Sugestões de Melhoria: As sugestões foram focadas em ampliar as funcionalidades de gestão, com destaque para a implementação de uma ferramenta de busca mais robusta, um painel de relatórios gerenciais mais detalhado e um módulo para emissão automática de boletos para o pagamento das taxas de serviço.
  - *“Emitir boletos, melhor organização dos dados em tabelas, tratar melhor as exceções”*

## 5. Conclusão

Este trabalho se propôs a analisar o Sistema Intermunicipal de Gestão Ambiental (SIGA), buscando responder a questões centrais sobre seus ganhos práticos, o atendimento às necessidades dos usuários e as melhorias processuais na gestão ambiental de Ouro Branco, MG.

Os resultados obtidos permitem responder afirmativamente a todas as questões. Em relação aos ganhos práticos e às melhorias em eficiência e rastreabilidade, o estudo demonstrou um impacto altamente positivo. A evidência mais forte foi a nota de usabilidade (96,67) atribuída pelos usuários com experiência no processo anterior, validando o SIGA como uma evolução drástica. A análise qualitativa complementou este dado, com relatos destacando a agilidade, organização e o melhor acesso à informação como benefícios diretos.

Quanto à medida em que o sistema atendeu às necessidades dos técnicos e usuários, a avaliação quantitativa consolidada resultou em uma pontuação SUS de 82,27, classificando o sistema como "Excelente". Este score indica um alto grau de satisfação e uma forte adequação da ferramenta às tarefas e fluxos de trabalho do dia a dia.

Conclui-se, portanto, que o modelo de desenvolvimento interno do SIGA se provou uma estratégia de sucesso, resultando em uma ferramenta com alta aceitação e alinhada às necessidades específicas da gestão pública local.

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação das melhorias apontadas e a expansão do estudo para outros municípios. Em suma, o caso SIGA demonstra o potencial de soluções tecnológicas próprias para fortalecer e modernizar a gestão pública municipal.

## 6. Referências

- Amaral, T. P. C., Pizápio, A. L., and Pizella, D. G. (2018). Sistema de gestão ambiental municipal: Estudo de caso do município de ilha solteira-sp. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7(3):551–571.
- Brasil (2011). Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lcp/lcp140.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm). Dispõe sobre a competência da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios em matéria ambiental.
- da Silva, M. and Martins, D. P. (2017). A educação ambiental e a sua importância para a implementação de um sistema de gestão ambiental. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, (44):40–57.
- da Silva Costa, F. and das Graças Vasconcelos, M. (2009). Análise da informatização do licenciamento ambiental no governo do estado da bahia. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, 2(1).
- Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) (2024). Sistema Municipal de Meio Ambiente – Simma-MG. <https://feam.br/sistema-municipal-de-meio-ambiente-simmamg>. Página com dados sobre a delegação de competências ambientais a municípios mineiros, incluindo Ouro Branco.
- Grier, R. A., Bangor, A., Kortum, P., and Peres, S. C. (2013). The System Usability Scale: Beyond standard usability testing. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 57, pages 187–191. SAGE Publications.
- Minas Gerais (Estado) (2023). Termo de Convênio n.º 02/2023. [https://liferay.meioambiente.mg.gov.br/documents/51853/7611849/TERMO\\_DE\\_CONVÊNIO\\_E\\_PUBLICAÇÃO\\_OURO\\_BRANCO\\_-\\_2023/93d91821-fba5-965f-e2a7-2cbf0d14717c](https://liferay.meioambiente.mg.gov.br/documents/51853/7611849/TERMO_DE_CONVÊNIO_E_PUBLICAÇÃO_OURO_BRANCO_-_2023/93d91821-fba5-965f-e2a7-2cbf0d14717c). Delegação de competências para o licenciamento e a fiscalização ambiental ao município de Ouro Branco.
- Teixeira, E. P. S. et al. (2023). Desafios para a governança eletrônica no brasil: uma análise do sistema eletrônico de informação na fundação de amparo à pesquisa do estado de alagoas.
- W3Techs (2024). Usage statistics of server-side programming languages for websites. [https://w3techs.com/technologies/overview/programming\\_language](https://w3techs.com/technologies/overview/programming_language). Página com estatísticas de uso de linguagens de programação server-side em websites.
- Xavier, U. R., de Melo, J. D., and da Silva, C. M. A. (2012). Informatização do licenciamento ambiental na adema: Consequências da implantação do sistema cerberus. In *VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*.

### A. Questionário Direcionado aos Usuários

- <https://forms.gle/ExeXKAGZworxVSzi6>
- <https://forms.gle/2eJ2RQKRzpjXkA7m6>

# Geração de Mapas de Combate de RPG Modulares com Base em Esboço Básico do Usuário

Gabriel O. Gomes<sup>1</sup>, Ângelo Magno de Jesus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)  
Campus Ouro Branco – Ouro Branco, MG – Brasil

gabrielo.gomes@outlook.com.br, angelo.jesus@ifmg.edu.br

**Abstract.** A Role-Playing Game (RPG) is a collaborative storytelling game that utilizes various elements to build its narrative. One of these elements is the battle map, and its creation can be a time-consuming process, especially when aiming for visual quality and narrative alignment. This article presents a tool developed in Java to automatically generate these maps from user-drawn sketches. By employing a deterministic recursive Flood Fill algorithm, color classification, and the application of textures and objects, the solution aims to streamline the creation of custom maps. Research conducted with players confirmed the demand for such tools, and the results indicate that the proposed solution can significantly optimize the preparation time for Game Masters.

**Resumo.** O RPG(Role Playing Game) é um jogo de interpretação entre pessoas que faz uso de vários elementos para narração. Um desses elementos são os mapas de combate, e sua criação é um processo demorado, especialmente quando se busca qualidade visual e alinhamento com a narrativa. Este artigo apresenta uma ferramenta desenvolvida em Java para gerar mapas automaticamente a partir de esboços desenhados pelo usuário. Utilizando preenchimento determinístico (Flood Fill Recursivo), classificação por cores e aplicação de texturas e objetos, a solução visa facilitar a criação de mapas personalizados. A pesquisa com jogadores confirmou a demanda por tais ferramentas, e os resultados indicam que a proposta pode otimizar o tempo dos Mestres de Jogo.

## 1. Introdução

O RPG(Role Playing Game) de mesa é um gênero de jogo caracterizado pela interação entre jogadores e um narrador, o Mestre (DM), que conduz a história. Segundo [de Abreu Coelho et al. 2017] e [Spinelli 2018], o RPG é não só um jogo, mas também um meio de desenvolvimento de habilidades sociais e culturais, capaz de auxiliar no desenvolvimento individual e comunitário dos jogadores.

Elementos visuais como mapas de combate — ou *battlemaps* — são fundamentais para facilitar a imersão dos jogadores e a aplicação precisa das regras do jogo.

Contudo, a criação desses mapas demanda tempo e dedicação. Diante disso, foi desenvolvida uma ferramenta com o objetivo de simplificar e acelerar a produção desses mapas, aplicando elementos essenciais como obstáculos, zonas definidas e detalhes visuais sobre um esboço fornecido pelo próprio usuário.

Para entender a necessidade de uma ferramenta deste tipo, foi conduzida uma pesquisa sobre preparação de sessões de RPG utilizando a plataforma *Google Forms*, e o

formulário foi disponibilizado em comunidades voltadas ao tema de *Role Playing Games* nos sites *Discord* e *Reddit*. A pesquisa contou com 51 respostas e os resultados obtidos na pesquisa serão apresentados na seção 4.1.

O objetivo desse artigo é avaliar a efetividade de uma ferramenta de desenvolvimento de mapas de combate de *RPG* que auxilie a preparação de mapas de combate para sessões de *RPG*. Para isso, foi desenvolvida a ferramenta *RPG BattleMap Generator*, que permite que o usuário selecione um tipo de pacote de texturas e, com base em um simples esboço, consiga gerar mapas de combate em instantes, facilitando uma das etapas consideradas de maior dificuldade e consumo de tempo na preparação de uma sessão de *RPG*.

## **2. Fundamentação Teórica**

### **2.1. Role-Playing Games e mapas de batalha**

O *RPG* é um jogo de interpretação no qual os jogadores assumem personagens fictícios. Desde seu surgimento com *Dungeons & Dragons* (D&D), o gênero utiliza ferramentas auxiliares como fichas de personagens, dados, *tokens* e mapas ilustrativos.

Os mapas ilustrativos utilizados em jogos de *RPG* podem ser agrupados em duas categorias principais: mapas de região e mapas de batalha. Os primeiros representam grandes áreas, como cidades, países ou continentes, apresentando menor nível de detalhe e precisão espacial. Sua principal função é situar os jogadores no mundo de jogo, oferecendo uma visão geral do cenário. Já os mapas de batalha retratam áreas menores com alto grau de detalhamento, sendo utilizados para representar o ambiente imediato onde os personagens se encontram durante os combates, incluindo obstáculos e limitações físicas relevantes para a aplicação das regras do jogo.

Este trabalho teve como foco o desenvolvimento de uma aplicação e avaliação de resultados obtidos utilizando a mesma para criação de mapas de batalha.

### **2.2. Avaliação de Mapas**

Segundo [Liapis et al. 2013], mapas podem ser avaliados com base em padrões estruturais, como conectividade, posicionamento de obstáculos e distribuição de espaços. Essas métricas servem como base para o design automático de mapas平衡ados e imersivos. Embora tais métricas tenham sido propostas inicialmente para jogos digitais, sua aplicação também se mostra relevante no contexto de jogos de mesa, uma vez que o mapa influencia diretamente a jogabilidade e a imersão dos jogadores.

Levando em consideração tais métricas definidas por funções, tomou-se como base os quesitos de conectividade e distribuição de obstáculos para o preenchimento das zonas do mapa e posicionamento dos objetos no mesmo. As métricas utilizadas para avaliação e geração dos mapas serão explicadas de forma mais aprofundada na seção 4.2.

## **3. Proposta de ferramenta**

Foi desenvolvida uma aplicação em Java com interface gráfica, que permite ao usuário criar um esboço do mapa, usando cores para indicar diferentes tipos de zonas (ex: água, floresta, estrada). A partir disso, o programa aplica algoritmos de preenchimento e texturização, inserindo objetos (props) com base em um banco de dados modular.

Inicialmente foi considerado o uso de algoritmos genéticos, similar ao descrito por [Abio et al. 2021], porém a abordagem foi abandonada em escolha do uso de algoritmos *Flood Fill*. Essa mudança permitiu um controle granular sobre o processo de geração, garantindo que os mapas produzidos sigam regras de design predefinidas e permitindo uma customização mais intuitiva e direta.

A arquitetura da aplicação seguiu o padrão MVC, dividindo modelos de zonas e *props*, e aplicando texturas com base em parâmetros de variação definidos pelo usuário e algoritmos de *FloodFill*, além de controlar a disposição de objetos através de mapas de altura locais de cada zona.

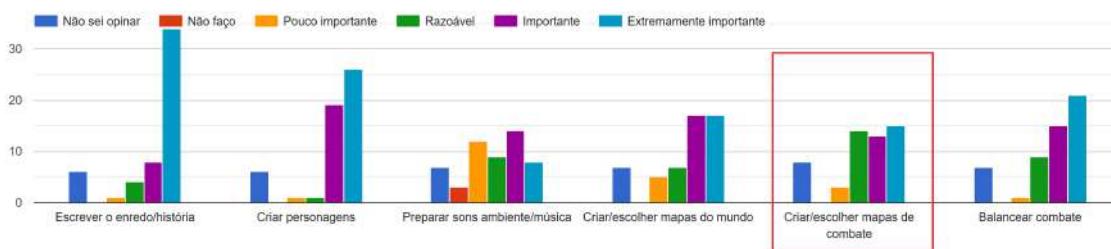
## 4. Metodologia

A metodologia foi dividida em 3 partes principais: A validação da necessidade da ferramenta proposta, o desenvolvimento técnico, e a avaliação prática.

### 4.1. Necessidade da ferramenta

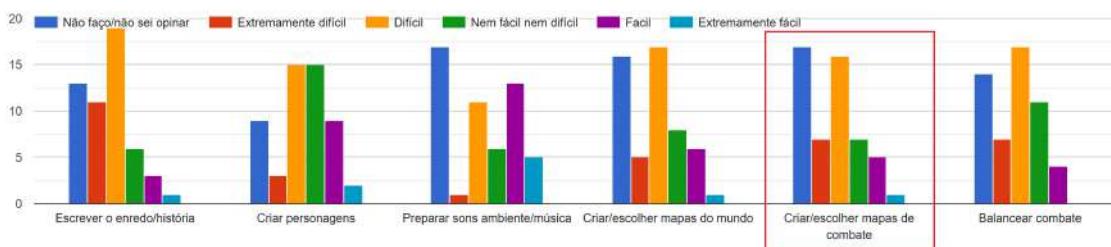
A maioria dos participantes da pesquisa realizada no *Google Forms* considera a criação ou escolha de mapas de batalha uma etapa fundamental na preparação de sessões, embora também a classifique como uma tarefa difícil — conforme demonstrado nas Figuras 1 e 2, demonstrando a oportunidade de desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar nesse aspecto de produção.

6. IMPORTÂNCIA das etapas na preparação da sessão



**Figura 1. Importância na escolha e produção de um mapa de Batalha**

8. DIFICULDADE/COMPLEXIDADE em achar ou criar conteúdo na preparação da sessão

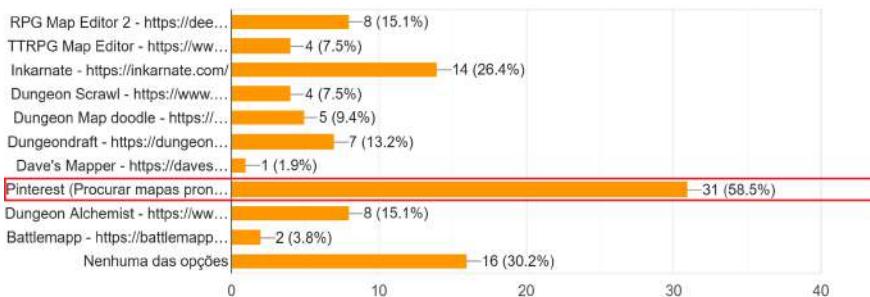


**Figura 2. Dificuldade na escolha e produção de um mapa de batalha**

Ainda analisando a pesquisa realizada, a maioria dos entrevistados revelou utilizar a plataforma *Pinterest* para obter mapas prontos para utilizar em suas sessões de RPG, ao invés de utilizar ferramentas de produção de mapas. Porém, a mesma pesquisa apontou que achar um mapa de combate que condiz com a história narrada é uma tarefa que a maioria considera difícil, conforme representado pelas Figuras 3 e 4.

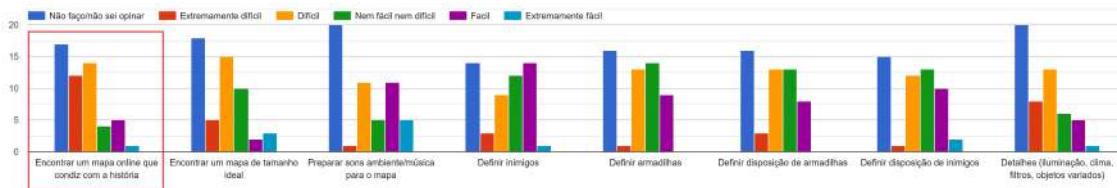
9. Quais sites com mapas prontos ou ferramentas para edição de mapas você já usou ou ouviu falar

53 responses



**Figura 3. Ferramentas e sites de mapas conhecidos**

12. DIFICULDADE/COMPLEXIDADE ao criar/escolher um mapa de combate para sessão



**Figura 4. Dificuldade em encontrar mapa que condiz com a narrativa**

Apesar da ampla disponibilidade de mapas já prontos em plataformas como *Pinterest*, e da existência de diversas ferramentas que oferecem opções avançadas de customização de mapas, muitos entrevistados ainda relatam dificuldades em criar mapas que se alinhem de forma prática e rápida às necessidades específicas de suas campanhas. A proposta deste trabalho se destaca por oferecer uma solução de uso simples e direto, com foco na rapidez, modularidade e flexibilidade, permitindo que o usuário monte mapas personalizados a partir de esboços básicos, com o mínimo de configuração técnica e consumo de tempo.

#### 4.2. Desenvolvimento técnico

Nesta etapa, foi criado um layout de entrada para o usuário e definidos os parâmetros de customização com base na análise de mapas já existentes. Após a análise dos mapas, foram definidos 3 pontos principais para o desenvolvimento do algoritmo.

#### 4.2.1. Preenchimento de área

Um ponto visível sobre os mapas de combate de RPG é a presença de áreas bem delimitadas, isso serve tanto a um fim artístico, quanto mecânico. Nos jogos de *RPG*, cada tipo de terreno diferente representado em um mapa de combate pode implicar mecânicas diferentes para os jogadores e monstros, como, por exemplo, distância máxima de deslocamento a cada turno de jogo. Logo, áreas bem delimitadas servem ao propósito de não deixar ambiguidade na interpretação das regras.

Devido a isso, optou-se por um algoritmo que não interpolasse tais áreas, tendo cada área de um tipo diferente seu próprio espaço e características, como textura e objetos presentes. Esse conjunto de área e características foi denominado como uma zona.

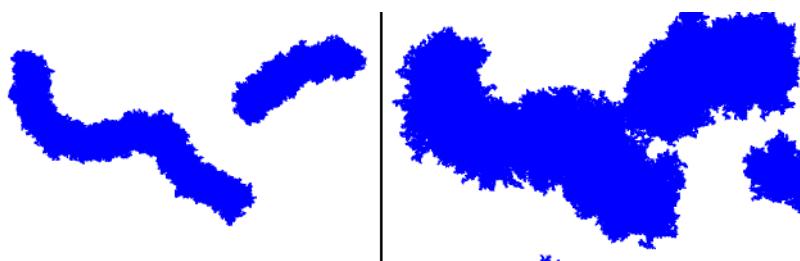
A delimitação de cada zona definida é dada através de um algoritmo de *Flood Fill* com um alcance máximo definido, o meio utilizado para dar mais identidade a cada tipo de terreno é influenciado pela distância máxima definida pelo usuário e também pela chance de mutação, podendo prolongar ou diminuir a expansão de certo tipo de terreno, conforme mostrado na Figura 5

```
if (rand > spread) {
    //Water mutation should start at least 80, so if mutation is lower than 0.8, it must be set to it
    if ((Math.random() < 0.8+ (mutationChance*0.2)-0.01 ) && spreadLimit == 1) spreadLimit++;

    spreadLimit--;
    spread+=(spread/16);
}
```

**Figura 5. Taxa de preenchimento de zonas representando água.**

Devido à definição de parada recursiva de cada tipo de zona ser diferente, o comportamento de uma mesma entrada de usuário pode apresentar grande variação de acordo com os parâmetros definidos pelo mesmo, como exemplificado pela Figura 6, que demonstra o resultado do preenchimento de uma mesma entrada, mas com diferentes valores de chance de mutação.



**Figura 6. Baixa chance de mutação à esquerda e alta chance de mutação a direita.**

A cada iteração do algoritmo de preenchimento de zonas, é realizada uma atualização da zona inicial de desenho, tomando a zona resultante como novo ponto de partida para reiterar, até que toda a tela esteja preenchida, ou as zonas atinjam o limite definido pelo usuário. Após o final do preenchimento, as zonas desenhadas são guardadas para a aplicação de textura e objetos.

#### 4.2.2. Aplicação de textura

A aplicação de texturas é baseada em um banco customizável que armazena imagens em alta resolução. Cada pacote pode conter múltiplas variações de textura para um mesmo tipo de zona, permitindo diversidade visual. Durante o processo, uma dessas texturas é selecionada aleatoriamente e carregada pelo programa, iniciando a etapa de mapeamento visual da zona correspondente.

É então definido um ponto aleatório inicial de onde a textura será copiada para a zona em análise e medido se daquele ponto inicial é possível realizar a aplicação da textura. Caso seja possível a aplicação a partir desse ponto, se dá início ao processo de cópia da imagem para a zona desejada. Caso não seja possível, o algoritmo usará então um ponto mínimo dentro da imagem de textura que comporte o tamanho da zona e começará a fazer a aplicação da textura selecionada.

#### 4.2.3. Adição de objetos

Embora a aplicação não utilize funções baseadas em recompensas ou número de inimigos por mapa — como proposto por [Liapis et al. 2013] na classificação de níveis —, o conceito de um bom *level* foi considerado no posicionamento dos objetos. O usuário tem liberdade para escolher quantos objetos adicionar e qual o pacote de objetos utilizar, mas o sistema orienta o posicionamento de modo a preservar áreas livres, garantindo espaço para a movimentação e interação dos personagens. Esse comportamento foi alcançado por meio da utilização de um mapa de altura associado a cada zona.

A aplicação de objetos é baseada em um banco customizável, estruturado de forma semelhante ao banco de texturas. Cada objeto é representado por uma imagem, cuja nomenclatura define suas características e influencia diretamente na forma e no local em que será inserido no mapa.

Durante a inserção, as imagens dos objetos são carregadas no sistema como instâncias da classe *Prop*. A nomenclatura dos arquivos define atributos importantes, como o tamanho ocupado em *pixels* e a altura do objeto, informação que determina se ele pode ser sobreposto por outros objetos com maior valor de altura. Após o carregamento dos *props* no programa, ele irá selecionar para cada zona uma quantidade de *props* definida pelo usuário.

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0
0	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-1	0
0	-1	-2	3	3	3	-2	-1	0
0	-1	-2	3	3	3	-2	-1	0
0	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-1	0
0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 7. Comportamento do mapa de altura de zona após aplicação de um objeto que ocupa 4 pixels com altura definida como 3**

Para a primeira aplicação, é selecionado um ponto aleatório dentro da zona e o valor do atributo *populated* da zona é alterado para verdadeiro. O mapa de altura da zona receberá a altura do *prop* nas posições onde ele for aplicado, e valores negativos que tendem a zero em sua volta, conforme mostra a Figura 7.

Após a primeira aplicação, o programa selecionará outros pontos aleatórios dentro da zona, mas como já existem *props* presentes na imagem, a preferência é de que o ponto de inserção seja próximo de outros *props*. Para isso, o algoritmo testa o valor do ponto selecionado no mapa de altura da zona. Caso este seja 0, existe uma chance do programa irá selecionar outro ponto aleatório na zona. Caso positivo, aumenta a chance do *prop* ser adicionado no ponto. Caso negativo, o programa irá adicionar o *prop* à imagem no ponto.

Esse comportamento pode ser influenciado conforme se altera o peso dos arredores (*surroundingWeight*). Com valores mais baixos, o programa permite a inserção de *props* em pontos do mapa de altura com valor 0, onde ainda não há nada adicionado. Com o valor do *surroundingWeight* mais elevado, o programa tende a posicionar *props* em áreas onde já existam outros *props* onde o mapa de altura exibe valores diferentes de 0.

## 5. Resultados obtidos

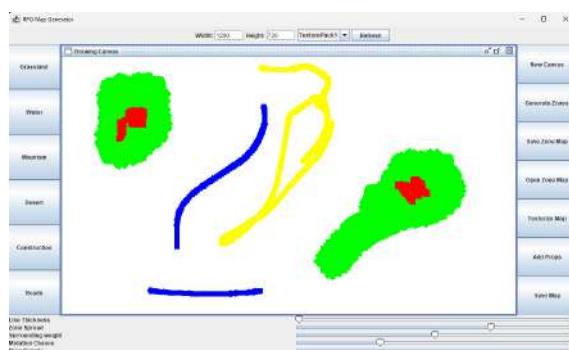
Nesta seção, serão abordados os resultados obtidos através do uso da ferramenta e as avaliações dos usuários sobre: O uso da ferramenta, melhorias no processo de criação de sessões de *RPG* e o resultado final obtido pelos mesmos com uso da aplicação.

### 5.1. Geração de mapa de combate

Nas próximas subseções, como forma de demonstração da aplicação em funcionamento, serão apresentadas as etapas de criação de um mapa de combate utilizando a mesma. Foi realizado um teste próprio com um esboço feito à mão livre como entrada.

#### 5.1.1. Desenho das áreas iniciais

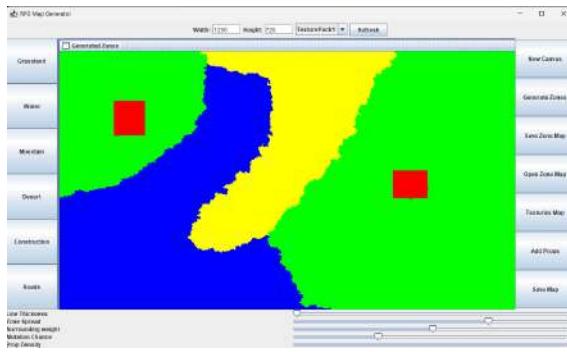
Na Figura 8, foram utilizados os botões laterais para seleção dos tipos de elementos na tela, e então com o cursor, foram desenhadas as áreas verdes representando grama (*Grassland*), amarelas representando desertos (*Desert*), azuis representando corpos de água (*Water*) e vermelhas representando construções (*Construction*). Além dos botões de seleção de cor, foi utilizado o *slider* de *Line Thickness* para ajustar a espessura da linha desenhada.



**Figura 8. Esboço para geração de zonas pelo aplicativo.**

### 5.1.2. Geração das zonas de terreno

Na próxima etapa, retratada pela Figura 9, a aplicação toma como base a entrada desenhada pelo usuário, e cada zona sofre uma deformação de acordo com o seu tipo declarado, que é classificado através das cores desenhadas. Nesta etapa, a aplicação é influenciada pelos *sliders* de *Zone Spread*(Espalhamento de zona) e *Mutation Chance*(Chance de mutação), que definem o quanto longe a área desenhada irá alcançar, e de que forma ela irá ser aplicada e se haverão novas áreas diferentes daquilo que foi desenhado.

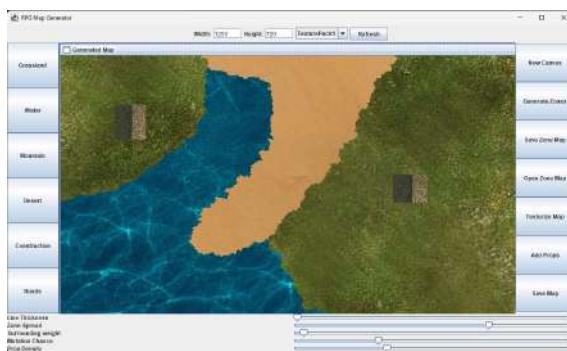


**Figura 9. Zonas desenhadas espalhadas pela cena.**

### 5.1.3. Aplicação de texturas

Nesta etapa, com as zonas já definidas pelo usuário, se dá início à aplicação das texturas em cada zona respectiva. O processo começa identificando o tipo de zona, e a partir da identificação, é acessado o diretório definido pelo menu *Drop-down* no centro da tela, que contém tanto as texturas que serão aplicadas, como também os *props* condizentes com o pacote de texturas.

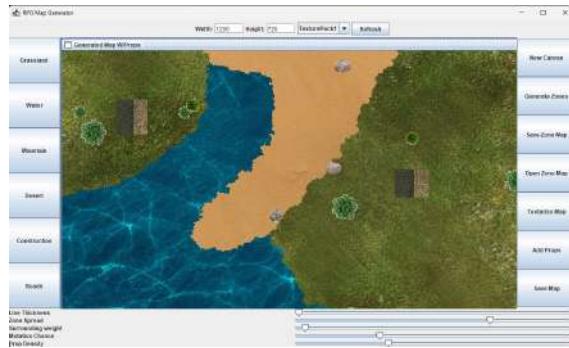
A aplicação das texturas foi descrita mais profundamente na seção 4.2.2, e o resultado do processo é ilustrado pela Figura 10.



**Figura 10. Zonas com texturas aplicadas de acordo com o tipo de terreno.**

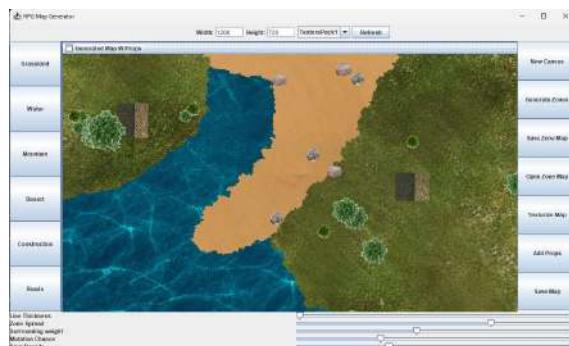
### 5.1.4. Aplicação de Objetos

A aplicação de objetos ou *props* na imagem só é possível após a aplicação de texturas ter sido realizada. O método de posicionamento é descrito de forma detalhada na seção 4.2.3, e os resultados obtidos são apresentados pelas Figuras 11 e 12.



**Figura 11. Primeira aplicação de objetos.**

Na primeira aplicação de *props* na cena, ilustrada pela Figura 11, foi selecionada uma densidade de *props* (*Prop density*) com valor 4. Nessa etapa, o parâmetro de peso dos arredores(*Surrounding Weight*) estava baixo, logo, nota-se uma dispersão maior de *props* dentro de cada zona em relação a seu posicionamento.



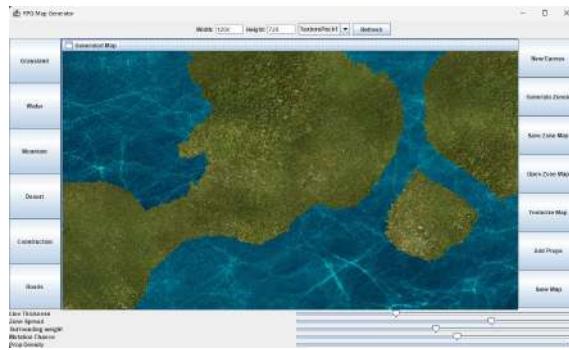
**Figura 12. Segunda aplicação de objetos**

Na próxima aplicação de *props* representada pela Figura 12, manteve-se a mesma densidade de *props* da cena, mas o valor de peso dos arredores(*Surrounding Weight*) foi aumentado consideravelmente, resultando em *props* posicionados mais próximos entre si.

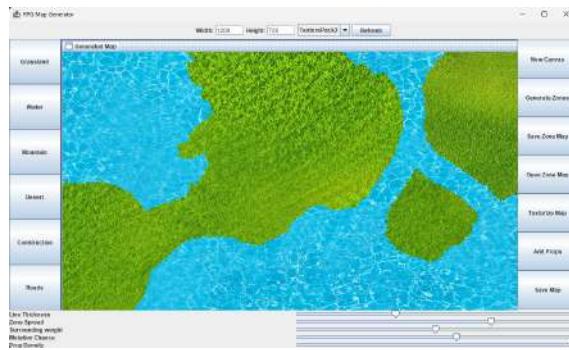
### 5.1.5. Modularização

A modularização dos mapas gerados se deve à separação dos mesmos como zonas e à aplicação de texturas e *props* após todo o processo de geração de uma ou mais zonas.

As Figuras 13 e 14 demonstram um mesmo mapa de zonas gerado, com mesmos parâmetros de entrada de geração textural, mas com resultados diferentes devido estarem utilizando de pacotes de texturas diferentes, escolhidos a partir do menu *drop-down* de seleção de texturas.



**Figura 13. Mapa com Pacote de textura 1 *TexturePack1***



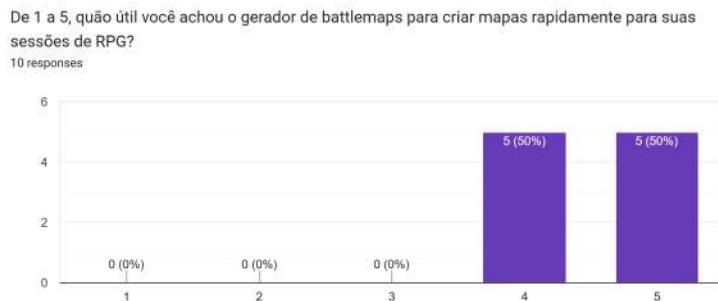
**Figura 14. Mapa com Pacote de textura 2 *TexturePack2***

Como as informações de localização de cada zona são salvas a parte em objetos da classe Zona, e a textura não é implementada diretamente no mapa colorido de zonas, é possível facilmente trocar as texturas e *props* aplicados em uma imagem de forma rápida ao selecionar outro pacote de texturas. Essa função pode ser de grande ajuda para mestres que querem representar um lugar em momentos diferentes, como por exemplo uma vila, e em um momento futuro uma vila que foi saqueada, com rastros de cavalo no chão, telhados quebrados e outras características diferentes em um mesmo mapa.

## 5.2. Avaliação prática

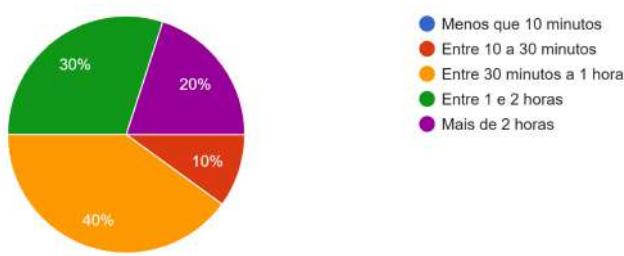
A avaliação prática se deu por meio de preenchimento de um formulário através do *Google Forms*, onde pessoas que utilizaram a ferramenta puderam responder questões sobre o uso da mesma. No total 10 pessoas responderam ao formulário após o uso da ferramenta.

De acordo com os entrevistados, a ferramenta demonstra ser útil na criação de mapas de batalha, conforme aponta a Figura 15 e 90% dos entrevistados consideram que o processo de produção de um mapa teve uma redução de gasto de tempo de pelo menos 30 minutos, enquanto metade dos entrevistados estima ter economizado, no mínimo, 1 hora de trabalho na produção de um mapa, conforme demonstrado pela Figura 16.



**Figura 15. Classificação quanto utilidade do *RPG BattleMap Generator* para produção de *battlemaps***

Quanto tempo você estima ter economizado ao utilizar essa ferramenta ao invés de realizar procura de mapas prontos ou utilizar outras ferramentas com a mesma finalidade ?  
10 responses

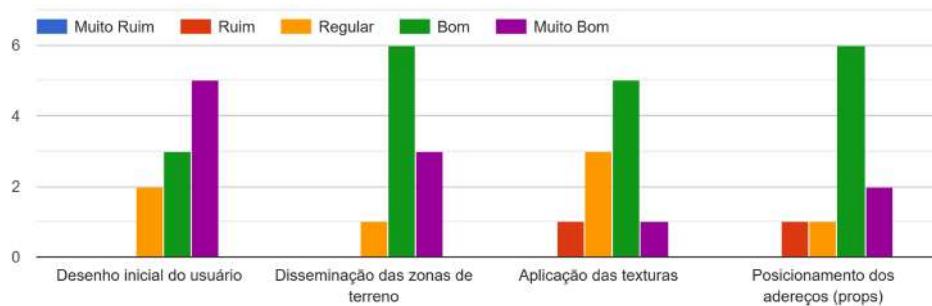


**Figura 16. Estimativa de tempo economizado na criação de um mapa de batalha usando o *RPG BattleMap Generator***

Em relação à facilidade de uso da ferramenta, alguns usuários tiveram certa dificuldade em utilizá-la para obter o resultado desejado. Tal fato foi influenciado por uma falta de explicação do que cada parâmetro faz na criação do mapa, pelo algoritmo de posicionamento de *props* necessitar de refinamento e também pela presença de *bugs* como janelas que não se fechavam, conforme indicado na seção de relatos de *bugs* e sugestões da pesquisa.

A próxima pergunta do questionário foi feita sobre a qualidade do programa em cada etapa específica da geração de mapas, tendo respostas que apontam que algumas etapas necessitam de mais melhorias, conforme aponta a Figura 17.

Por favor, avalie a qualidade de cada etapa do processo de geração do battlemap:

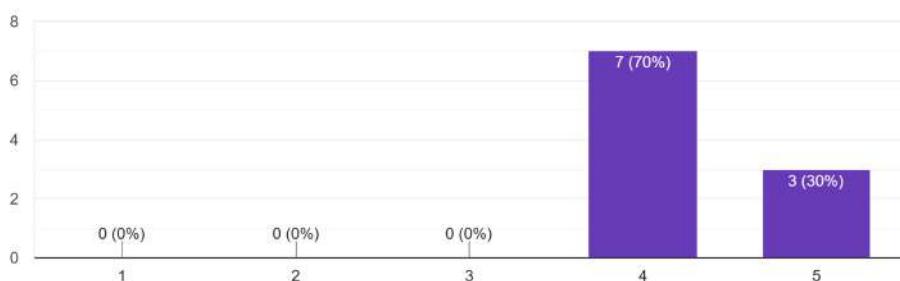


**Figura 17. Avaliação de qualidade de cada etapa da geração de mapas**

De acordo com os usuários entrevistados, as etapas de aplicação de texturas e de posicionamento de *props* são as que necessitam de maiores melhorias. Um dos motivos para notas baixas em relação às texturas é a quantidade de texturas disponíveis para aplicação, ponto que foi levantado em alguns *feedbacks* de usuários na seção de sugestões e implementações futuras.

A Figura 18 mostra a percepção dos entrevistados sobre os mapas gerados e se suas características atendem aos requisitos para usá-los em campanhas reais de *RPG*.

De 1 a 5, quão úteis foram os resultados finais (os mapas gerados) para as suas necessidades de jogo?  
10 responses



**Figura 18. Utilidade dos mapas em relação a necessidade de jogo**

## 6. Conclusão

O desenvolvimento da ferramenta *RPG BattleMap Generator* demonstrou ser uma solução eficiente para otimizar o processo de criação de mapas de combate em sessões de RPG de mesa. Ao permitir que usuários criem mapas personalizados a partir de esboços simples, aplicando algoritmos de preenchimento, texturização e posicionamento de objetos de forma automatizada, a ferramenta reduz significativamente o tempo necessário para essa etapa da preparação, sem comprometer a qualidade visual ou funcional dos mapas.

A validação por meio de questionários com jogadores evidenciou a demanda por soluções práticas como a proposta, além de destacar pontos fortes e aspectos a serem aprimorados, como a explicação de parâmetros e o refinamento do sistema de aplicação de objetos. Ainda assim, a maioria dos participantes considerou os mapas gerados suficientemente adequados para uso em campanhas reais, o que reforça a aplicabilidade prática da ferramenta.

Dessa forma, este trabalho contribui para o avanço de ferramentas acessíveis e modulares voltadas à comunidade de jogadores e Mestres de *RPG* de mesa, abrindo caminho para futuras melhorias que podem incluir algoritmos de geração mais complexos, integração com sistemas de regras e expansões na base de texturas e objetos.

## Referências

- Abio, M. B. et al. (2021). Aplicação de algoritmo genético para criação de mapas de rpg de mesa.
- de Abreu Coelho, I. M. et al. (2017). O uso do role playing game (rpg) como ferramenta didática no ensino de ciências.
- Liapis, A., Yannakakis, G., and Togelius, J. (2013). Towards a generic method of evaluating game levels. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, volume 9, pages 30–36.
- Spinelli, L. (2018). Tabletop role-playing games and social skills in young adults.

# Detectando átomos de confusão utilizando o Gemini: percepções iniciais

Marcus Vinícius Ribeiro Andrade<sup>1</sup>, Janio Rosa da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bacharelado em Sistemas de Informação – Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG)

<sup>2</sup>Departamento de Informática – Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG)

Campus Ouro Branco – Rua Afonso Sardinha, 90 – 36494-018 – Ouro Branco – MG – Brasil

marcus-v@outlook.com, janio.silva@ifmg.edu.br

**Resumo.** O presente trabalho tem como objetivo descrever os primeiros insights acerca da eficácia de uma popular inteligência artificial gerativa, o Gemini, para a identificação de atoms of confusion (átomos de confusão). Para tanto, serão analisados dois prompts distintos, a saber: i) Um prompt genérico, a fim de verificar se ambos os sistemas supracitados conseguem identificar os átomos de confusão; ii) Um prompt mais específico, com as possibilidades atômicas devidamente enumeradas no extenso dataset utilizado. À luz desses fatores, espera-se estabelecer métricas precisas para a avaliação da proficiência dessa ferramenta na identificação dos meandros que potencialmente tornam um software menos compreensível e de menor qualidade.

**Palavras-chave:** Átomos de Confusão, Gemini, Engenharia de Prompt, Qualidade de Software, Análise de Código.

**Abstract.** This study aims to describe initial insights regarding the effectiveness of a popular generative artificial intelligence, Gemini, in identifying atoms of confusion. To this end, two distinct prompts will be analyzed, namely: (i) a generic prompt, intended to assess whether both aforementioned systems are capable of identifying atoms of confusion; and (ii) a more specific prompt, in which the atomic possibilities are explicitly enumerated based on the extensive dataset employed. Therefore, in light of these factors, it is expected that precise metrics can be established to evaluate the proficiency of this tool in identifying the intricacies that potentially reduce software comprehensibility and overall quality.

**Keywords:** Atoms of Confusion, Gemini, Prompt Engineering, Software Quality, Code Analysis.

## 1. Introdução

Hodiernamente, os Large Language Models (LLMs), como o Gemini, por exemplo, são amplamente utilizados para automatizar tarefas nos mais diversos domínios, com destaque para a engenharia de software [ALSHAHWAN et al. 2024]. Sua capacidade de compreender, gerar e analisar código-fonte abre novas possibilidades para atividades como manutenção, teste, refatoração e detecção de padrões.

Nesse aspecto, é clarividente para desenvolvedores o fato de que diferentes linguagens de programação, bem como diferentes estilos dentro de uma mesma linguagem, podem oferecer múltiplas formas de resolver um mesmo problema. Um exemplo dessa diversidade pode ser observado nas respostas à pergunta “Como converter um valor booleano para inteiro em Java?”, publicada no StackOverflow. Na Figura 1, os autores apresentam oito soluções distintas ordenadas pelo número de votos, revelando uma variação considerável em termos de lógica, legibilidade e compreensibilidade. A opção que utiliza o operador ternário (opção 1) foi a mais votada e considerada a mais legível pelos comentaristas, sendo, portanto, a solução mais aceita pela comunidade. Contudo, tal preferência entra em contraste com as evidências apresentadas em [Gopstein et al. 2017], que indicam que o uso do operador condicional pode ser significativamente confuso. Ainda mais curioso é o fato de que a oitava resposta inicia com a frase “Se você quer ofuscar, use isto:”, sugerindo explicitamente que sua intenção não é promover legibilidade, mas sim oferecer uma alternativa pouco usual para resolver o problema [Langhout e Aniche 2021].

Nesse contexto, foi observado em [Langhout e Aniche 2021] que muitos erros em software não decorrem de algoritmos complexos, mas sim de trechos pequenos e sutis de código que são mal compreendidos por desenvolvedores. Esses trechos são chamados de átomos de confusão, pequenas porções de código que induzem a interpretações equivocadas. Castor, por sua vez, ampliou esse conceito ao estabelecer que tais átomos devem ser identificáveis, propensos à confusão, substituíveis por alternativas mais claras e funcionalmente indivisíveis.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo investigar a eficácia do Gemini na identificação de átomos de confusão em códigos Java, utilizando para tal um conjunto de dados específico: o Atoms of Confusion Dataset in Java Programs (2022), que contém exemplos anotados de diversos padrões confusos recorrentes em código. A análise será conduzida com base em dois prompts distintos: um genérico e outro específico, formulado a partir das boas práticas de prompt engineering, com o intuito de explorar diferentes abordagens de interação com o modelo.

O dataset utilizado apresenta exemplos de 14 tipos distintos de átomos de confusão, tais como: Precedência de Operadores Infixos, Pós- e Pré-Incremento/Decremento, Variáveis Constantes, Remoção de Identação, Operador Condicional, Aritmética como Lógica, Lógica como Fluxo de Controle, Reutilização de Variáveis, Código Morto ou Repetido, Mudanças na Codificação Literal, Colchetes Omitidos, Conversão de Tipo e problemas relacionados à Identação. Esses elementos serão fundamentais para a avaliação da proficiência do modelo na detecção de padrões que afetam negativamente a legibilidade e a manutenibilidade do código.

Com isso, busca-se responder às seguintes perguntas de pesquisa, adaptadas do trabalho [Silva et al. 2024], considerando o Gemini como objeto de análise:

- **Q.1:** O Gemini é capaz de identificar átomos de confusão com um prompt específico, baseado em engenharia de prompting?
- **Q.2:** O Gemini consegue identificar átomos de confusão utilizando um prompt genérico?
- **Q.3:** Há diferença na eficácia do Gemini entre o uso de prompt genérico e específico?

- **Q.4 (exploratória):** A frequência de ocorrência de determinados átomos de confusão influencia as métricas de precision e recall na classificação realizada pelo Gemini?

```

1. i = b ? 1 : 0;
2. i = (Boolean b).compareTo(false);
3. i = Boolean.compare(b, false);
4. i = -("false".indexOf("")+b));
5. i = 5 - b.toString().length;
6. import org.apache.commons.lang3.
   BooleanUtils;
   i = BooleanUtils.toInteger(b);
7. if(b) {
   i = 1;
} else{
   i = 0;
}
8. i = 1 & Boolean.hashCode( b ) >> 1;

```

**Figure 1.** Respostas à pergunta “Como converter booleano para int em Java?” no StackOverflow. Fonte: Adaptado de [Langhout e Aniche 2021].

## 2. Metodologia

### 2.1. Dataset

Para este trabalho, foi utilizado os dados presentes em um dataset (Atoms of Confusion Dataset in Java Programs, 2022) que contém informações como a classificação do átomo de confusão presente, o link para o código java no github, o snippet do código e a linha onde está localizado, precisamente, a partícula em questão. Assim, todos os 14 átomos enumerados por Gopstein et al estão presentes em algum nível nos códigos enumerados neste dataset.

A saber, os átomos de código presentes no dataset são:

- **Precedência de Operadores Infixos:** Exemplos que demonstram como a precedência dos operadores pode afetar o resultado das operações aritméticas.
- **Pós-Incremento/Decremento:** Casos que mostram o uso dos operadores de incremento e decremento após a variável, e as implicações no valor da variável.
- **Pré-Incremento/Decremento:** Exemplos que ilustram o uso dos operadores de incremento e decremento antes da variável, e como isso altera o valor da variável antes da expressão ser avaliada.

- **Variáveis Constantes:** Casos que demonstram a utilização de variáveis constantes e as diferenças entre a atribuição direta e a alteração de valores constantes.
- **Remoção de Identação:** Exemplos que ilustram a remoção de identação e o impacto na clareza do código.
- **Operador Condicional:** Demonstração do uso do operador condicional ternário e sua equivalência com uma estrutura condicional mais explícita.
- **Aritmética como Lógica:** Casos que mostram a utilização de operações aritméticas como substituto para expressões lógicas e sua interpretação.
- **Lógica como Fluxo de Controle:** Exemplos que mostram a utilização de expressões lógicas para controle de fluxo e as possíveis confusões que podem surgir.
- **Variáveis Reutilizadas:** Exemplos que demonstram o uso de variáveis em loops e como a reutilização pode afetar a legibilidade e o comportamento do código.
- **Código Morto, Inalcançável, Repetido:** Casos que ilustram código que não é executado ou é repetido de maneira desnecessária, e como isso pode ser removido para melhorar a eficiência.
- **Mudança na Codificação Literal:** Exemplos que mostram como a mudança na representação literal de valores pode impactar o código.
- **Colchetes Omitidos:** Casos onde os colchetes são omitidos em estruturas condicionais e o impacto na execução do código.
- **Conversão de Tipo:** Exemplos que ilustram a conversão de tipos de dados e como diferentes métodos de conversão podem ser aplicados.
- **Identação:** Casos que mostram como a identação correta ou incorreta pode impactar a legibilidade e a execução do código.

## 2.2. Justificativa da Escolha do Modelo

A escolha pelo uso do modelo Gemini, da Google, fundamenta-se em critérios técnicos e funcionais alinhados às demandas do presente estudo. Inicialmente, observou-se que as classes do dataset utilizado apresentam, no máximo, 31.360 caracteres, volume compatível com os limites de entrada da versão gratuita do Gemini, que se mostram superiores aos da versão gratuita do ChatGPT, permitindo, assim, a análise completa dos dados sem a necessidade de truncamento ou segmentação. Além disso, conforme discutido em [Rane et al. 2024], o ChatGPT é um modelo voltado principalmente à geração imaginativa de texto, o que o torna mais indicado para aplicações conversacionais. O Gemini, por outro lado, apresenta maior integração com a infraestrutura do Google, o que favorece uma maior precisão factual e o posiciona como uma ferramenta mais robusta para fins de análise de conhecimento e extração de informações. Tais características foram decisivas para a adoção do Gemini como modelo de linguagem base nesta pesquisa.

## 2.3. Prompts para o Gemini

Para a realização da pesquisa, foram elaborados dois prompts: um genérico e um específico, seguindo os padrões de prompt engineering. O segundo é feito de forma livre, menos elaborado e não induz a um direcionamento mais consciente da resposta esperada. Já o primeiro prompt, apresenta algumas técnicas de engenharia de prompt como [Prompting Guide 2023]:

- **Estrutura P.R.O.M.P.T:** o prompt foi elaborado com clareza de persona, roteiro, objetivo, modelo de resposta e panorama, o que orienta o modelo sobre como responder e com qual finalidade.

- **Fornecimento de Exemplos:** foram incluídos exemplos e referências de respostas esperadas, ajudando o modelo a produzir resultados mais alinhados ao desejado.
- **Estímulos Direcionais:** o prompt foi escrito com instruções específicas e palavras-chave, guiando a resposta para atender melhor aos objetivos da tarefa.

### Prompt 1: Específico

*Act as a software engineering expert, and based on the code that has been analyzed, indicate whether you found any atoms of confusion. You must classify them strictly using only the names listed below – do not invent or use any other terms.*

*Also, do not describe the atoms – just identify them by name. Follow the example to understand the expected response format:*

- *Infix Operator Precedence: 2 - 4 / 2*
- *Post-Increment/Decrement: V1 = V2++*
- *Pre-Increment/Decrement: V1 = ++V2*
- ... (demais exemplos)

*After analyzing and identifying, respond as below, as it is a good way to answer: Yes. Conditional Operator, Pre-Increment. Or: No.*

### Prompt 2: Genérico

*Based on this, tell me if you found any atom of confusion, that is, parts of the code that cause confusion, and list them, but without describing them. Example of the response I want: Yes. Conditional Operator, Pre-Increment. Or: No.*

Ademais, é relevante salientar que, inicialmente, foi inserido o código a ser analisado e, em seguida, apresentadas as questões propostas no prompt. Essa estrutura favorece uma análise mais eficiente por parte do modelo, resultando em respostas mais precisas e contextualizadas.

No entanto, dos 489 trechos de código presentes no dataset — os quais pertencem a bibliotecas Java amplamente reconhecidas e utilizadas em aplicações industriais, como a classe `Arrays` da biblioteca `fastutil` — apenas 319 encontram-se atualmente disponíveis. Isso se deve ao fato de que os códigos estão hospedados no GitHub e, em virtude de atualizações, reestruturações ou remoções, parte deles se tornou indisponível. Consequentemente, ao executar o processo de scraping por meio de um script escrito em linguagem Go, utilizando os links fornecidos no dataset, 170 desses códigos resultaram em erro de status 404.

Outrossim, é imprescindível mencionar que, considerando a classificação de átomos supracitada e levando em conta apenas os arquivos efetivamente acessíveis por meio dos links ainda ativos, a proporção observada é apresentada na Tabela 1.

#### 2.4. Resposta do Gemini

Foram utilizados os parâmetros padrão de temperatura igual a 1, o que representa um equilíbrio entre a geração determinística e criativa de respostas por parte do modelo. Com

**Table 1. Proporção de átomos presentes no dataset por classificação.**

Átomo	Quantidade	Frequência Relativa
Change of Literal Encoding	9	2.8%
Logic as Control Flow	98	30.7%
Pre Increment Decrement	11	3.0%
Conditional Operator	80	25.0%
Omitted Curly Braces	1	0.3%
Post Increment Decrement	32	10.0%
Type Conversion	40	12.6%
Arithmetic as Logic	4	1.3%
Infix Operator Precedence	44	13.8%

isso, as respostas tenderam a manter-se próximas do assunto principal, mas com certa variabilidade na forma de apresentação. Na maioria dos casos, as respostas seguiram o formato solicitado, como, por exemplo: “Yes. Indentation, Omitted Curly Braces, Repurposed Variables.”

Para garantir a extração adequada dos elementos relevantes nas respostas — como os nomes dos code smells — foi empregada a técnica de expressões regulares (regex), a fim de filtrar e padronizar os termos retornados pelo modelo com maior precisão.

### 3. Justificativas Para As Métricas Utilizadas

Para avaliar o desempenho do sistema proposto, foram utilizadas métricas amplamente adotadas nas áreas de Recuperação da Informação e Aprendizado de Máquina, conforme abordagem similar à apresentada em [Silva et al. 2024] no estudo sobre detecção de code smells com auxílio do ChatGPT. As métricas escolhidas foram:

- **Precisão (Precision):** mede a proporção de verdadeiros positivos entre todos os casos identificados como positivos pelo sistema. Ou seja, quantifica o quanto as detecções feitas são realmente corretas.
- **Revocação (Recall):** avalia a capacidade do sistema em identificar corretamente os casos positivos existentes no conjunto de dados, isto é, quantos dos casos relevantes foram efetivamente detectados.
- **F1-Score (F-measure):** é a média harmônica entre precisão e revocação, proporcionando um equilíbrio entre essas duas métricas e permitindo uma avaliação mais abrangente do desempenho.

Essas métricas são aplicadas aos resultados obtidos com o intuito de medir a efetividade da abordagem adotada e permitir comparações consistentes com estudos relacionados.

## 4. Resultados

### 4.1. O Gemini consegue identificar átomos de confusão utilizando um prompt genérico?

Para responder a essa pergunta, foi necessário utilizar uma matriz de confusão, que permite visualizar o desempenho do modelo na identificação dos átomos. Essa matriz resume

as previsões corretas e incorretas em comparação com os valores reais, fornecendo uma visão clara da acurácia do modelo.

Nesse contexto, considerando os cálculos realizados a partir do primeiro prompt — que é mais específico e segue os princípios da engenharia de prompt — observou-se um desempenho superior em relação ao segundo prompt, de natureza mais genérica, que apresentou uma quantidade ínfima de acertos. Diante disso, a Tabela 2 apresenta a seguinte relação:

**Table 2. Resultados do primeiro prompt, o específico.**

Átomo	Quantidade Esperada	Quantidade Encontrada	Precision	Recall	F-measure
Change of Literal Encoding	9	0	0.0	0.0	0.0
Logic as Control Flow	98	1	0.25	0.0102	0.0098
Pre Increment Decrement	11	0	0.0	0.0	0.0
Conditional Operator	80	17	0.4473	0.2125	0.1441
Omitted Curly Braces	1	0	0.0	0.0	0.0
Post Increment Decrement Type	32	0	0.0	0.0	0.0
Conversion Arithmetic as Logic	40	20	0.1739	0.5	0.1290
Infix Operator Precedence	44	5	0.2631	0.1136	0.0793

Portanto, para se alcançar esses resultados, os cálculos foram realizados com base nas seguintes fórmulas, considerando os casos de verdadeiro positivo, falso negativo e falso positivo:

$$\text{Recall} = \frac{VP}{VP + FN}$$

$$\text{Precision} = \frac{VP}{VP + FP}$$

$$F_{measure} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

Vale salientar que os valores quantitativos de falsos positivos foram obtidos a partir da quantidade de vezes em que o Gemini identificou incorretamente um átomo, atribuindo-o a outro.

#### 4.2. Há diferença na eficácia do Gemini entre o uso de prompt genérico e específico?

Há uma diferença significativa na eficácia do modelo Gemini ao se comparar o uso de prompts específicos com prompts genéricos.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 2, quando o modelo foi orientado por um prompt específico — elaborado com base em princípios de engenharia de prompt e com foco claro nas categorias de átomos de confusão —, seu desempenho foi visivelmente superior. Foram observados casos com recall considerável (até 0,5 para Type Conversion e Arithmetic as Logic), além de uma maior variedade de átomos corretamente identificados, indicando uma compreensão mais adequada do modelo diante de instruções claras e direcionadas.

Em contraste, os resultados obtidos com o prompt genérico (Tabela 3) mostram uma queda acentuada nas métricas de desempenho, com a maioria dos átomos não sendo reconhecida, e com valores nulos ou muito baixos nas principais métricas de avaliação.

**Table 3. Resultados do segundo prompt, o genérico.**

Átomo	Quantidade Esperada	Quantidade Encontrada	Precision	Recall	F-measure
Change of Literal Encoding	9	0	0.0	0.0	0.0
Logic as Control Flow	98	0	0.0	0.0	0.0
Pre Increment					
Decrement	11	0	0.0	0.0	0.0
Conditional Operator	80	4	0.8	0.05	0.094
Omitted Curly Braces	1	0	0.0	0.0	0.0
Post Increment					
Decrement	32	0	0.0	0.0	0.0
Type					
Conversion	40	1	1.0	0.025	0.049
Arithmetic as Logic	4	0	0.0	0.0	0.0
Infix Operator Precedence	44	0	0.0	0.0	0.0

Assim, pode-se afirmar que a eficácia do Gemini na identificação de átomos de confusão está diretamente relacionada à qualidade e especificidade do prompt fornecido. O uso de prompts genéricos limita severamente a performance do modelo, ao passo que prompts bem estruturados e orientados potencializam significativamente sua capacidade de análise, assim, possivelmente, torna-se indispensável o uso de cadeias de pensamentos e few-shots.

#### **4.3. A frequência de ocorrência de determinados átomos de confusão influencia as métricas de precision e recall na classificação realizada pelo Gemini?**

A frequência com que diferentes classes ou categorias ocorrem em um conjunto de dados é um fator reconhecidamente capaz de influenciar o desempenho de modelos de classificação, impactando diretamente métricas como Precisão (Precision) e Revocação (Recall). Modelos podem, por exemplo, apresentar viés em direção a classes majoritárias ou ter dificuldade em aprender as características distintivas de classes minoritárias.

Para esta análise, em questão, recorreu-se primariamente aos resultados obtidos com o prompt específico (Tabela 2), uma vez que esta abordagem resultou em um maior

número de detecções em diversas categorias, permitindo uma observação mais detalhada de possíveis correlações.

Quanto a Tabela 2:

- O átomo "Logic as Control Flow", com a maior frequência esperada (QE=98), apresentou um Recall (0.0102) e Precisão (0.25) notadamente baixos. Isso indica que, mesmo sendo uma categoria abundante, o modelo demonstrou grande dificuldade em identificá-la corretamente.
- "Conditional Operator", o segundo átomo mais frequente (QE=80), obteve um Recall de 0.2125 e Precisão de 0.4473. Embora superiores aos de "Logic as Control Flow", esses valores ainda são modestos, sugerindo que a alta frequência, por si só, não garantiu uma detecção robusta.
- Em contraste, "Type Conversion" (QE=40) e "Arithmetic as Logic" (QE=4), com frequências média e baixa respectivamente, apresentaram o mesmo valor de Recall (0.5) com o prompt específico. Este foi o maior Recall observado entre os átomos que tiveram múltiplas ocorrências reais e alguma detecção, superando o Recall de átomos mais frequentes. No entanto, suas Precisões (0.1739 para Type Conversion e 0.2857 para Arithmetic as Logic) foram baixas, indicando um número considerável de falsos positivos em relação aos verdadeiros positivos.
- "Infix Operator Precedence" (QE=44), com frequência média, também apresentou baixos valores de Recall (0.1136) e Precisão (0.2631).
- Para os átomos com frequência muito baixa (e.g., "Omitted Curly Braces" com QE=1) que não foram detectados, a análise da influência da frequência no acerto é inviabilizada.

No contexto do prompt genérico (Tabela 3), a maioria dos átomos não foi detectada, tornando a análise da influência da frequência ainda mais restrita. Para os dois átomos que tiveram alguma detecção:

- "Conditional Operator" (QE=80) apresentou Recall extremamente baixo (0.05), mas uma Precisão elevada (0.8).
- "Type Conversion" (QE=40) também teve Recall muito baixo (0.025), mas Precisão perfeita (1.0). Nestes casos, a alta Precisão concomitante a um baixo Recall, em átomos com frequência considerável, pode sugerir que o modelo atuou de forma excessivamente conservadora, classificando um átomo como positivo apenas em cenários de alta confiança, mas falhando em generalizar para a maioria das ocorrências.

Logo, os dados apresentados não revelaram uma correlação direta e inequívoca entre a frequência de ocorrência dos "átomos de confusão" e o desempenho do modelo Gemini, medido por Precisão e Recall. Contudo, observou-se que átomos de alta frequência, como "Logic as Control Flow", puderam apresentar desempenho inferior (especialmente em Recall) quando comparados a átomos de frequência média ou baixa, como "Type Conversion" e "Arithmetic as Logic" (particularmente com o prompt específico).

Este panorama sugere que outros fatores, para além da simples frequência, exerceram um impacto mais determinante na capacidade de identificação do modelo. Entre esses fatores, destacam-se:

1. A complexidade intrínseca e a sutileza das características definidoras de cada "átomo de confusão": Alguns padrões podem ser inherentemente mais difíceis para o modelo aprender e detectar, independentemente de sua frequência.

2. A adequação e especificidade do prompt: Conforme discutido na seção anterior (4.2), a engenharia do prompt demonstrou ser um fator crucial, com o prompt específico resultando em uma maior capacidade de detecção geral.
3. A capacidade de generalização do modelo Gemini: A habilidade do modelo em generalizar a partir dos exemplos implícitos em sua base de treinamento para os padrões específicos dos átomos de confusão investigados.

Assim, é importante ressaltar que o número total de "átomos encontrados" foi relativamente baixo em diversas categorias, especialmente com o prompt genérico. Esta escassez de detecções positivas limita a possibilidade de se estabelecerem conclusões estatisticamente robustas acerca do impacto isolado da frequência de ocorrência nas métricas de desempenho.

Ademais, embora a frequência das classes seja um aspecto classicamente relevante na avaliação de modelos de classificação, no presente estudo sobre a identificação de "átomos de confusão" em códigos Java pelo modelo Gemini, ela não se manifestou como o principal modulador do desempenho em termos de Precisão e Recall. Fatores relacionados à natureza dos próprios átomos e, fundamentalmente, à formulação do prompt, apareceram ter desempenhado um papel mais proeminente.

## 5. Discussão

Nesta seção, são discutidas as implicações práticas e teóricas dos resultados apresentados, bem como as potenciais ameaças à validade que podem ter influenciado as conclusões deste estudo.

### 5.1. Implicações dos Resultados

Os resultados obtidos, embora indiquem um desempenho insatisfatório do Gemini na tarefa, oferecem percepções valiosas para diferentes públicos:

- **Para Desenvolvedores:** A principal implicação é que não se deve confiar em LLMs de prateleira, como o Gemini, com prompts genéricos para a detecção de padrões de código sutis como os átomos de confusão. A eficácia da ferramenta está diretamente ligada à habilidade de construir prompts específicos e bem-estruturados, fornecendo contexto, exemplos e uma persona clara para o modelo. Mesmo assim, os resultados devem ser revisados com cautela.
- **Para Pesquisadores:** O estudo demonstra que, apesar da capacidade avançada dos LLMs, a detecção de "confusão" no código-fonte, que depende de um profundo entendimento semântico, continua sendo um desafio. A falta de correlação direta entre a frequência de um átomo e a performance do modelo sugere que futuras pesquisas devem focar menos na distribuição estatística e mais na complexidade intrínseca de cada padrão de código.
- **Para Criadores de Ferramentas de IA:** Os resultados servem como um benchmark inicial, indicando que modelos de propósito geral ainda não estão otimizados para tarefas de nicho na engenharia de software. Há uma clara oportunidade para o desenvolvimento de modelos especializados ou o ajuste fino (*fine-tuning*) de modelos existentes com datasets de qualidade de código para criar ferramentas de análise mais precisas e confiáveis.

## 5.2. Ameaças à Validade

É fundamental reconhecer as limitações deste estudo que podem influenciar a interpretação dos resultados:

- **Ameaças à Validade Externa (Generalização):**
  - *Seleção do Modelo:* O estudo foi limitado ao uso do Gemini. Os resultados podem não ser generalizáveis para outros LLMs, como o GPT-4 ou Claude, que podem apresentar desempenhos distintos.
  - *Linguagem e Dataset:* A análise foi restrita à linguagem Java e a um único dataset. Os "átomos de confusão" podem se manifestar de formas diferentes em outras linguagens, e os resultados podem não se aplicar a outros tipos de projetos de software.
- **Ameaças à Validade Interna (Fatores do Estudo):**
  - *Disponibilidade dos Dados:* Como explicitamente mencionado, 170 dos 489 trechos de código do dataset original não estavam mais disponíveis. Essa perda de dados, que representa mais de 34% do total, é a principal ameaça interna, pois a distribuição de átomos nos códigos perdidos é desconhecida e poderia alterar os resultados de precisão e revocação.
  - *Desbalanceamento das Classes:* A frequência dos átomos no dataset é altamente desbalanceada, com "Logic as Control Flow" correspondendo a 30.7% dos casos, enquanto "Omitted Curly Braces" representa apenas 0,3%. Isso pode ter enviesado o modelo, dificultando o aprendizado das características de classes minoritárias.
- **Ameaças à Validade de Confiabilidade (Replicação):**
  - *Natureza do LLM:* Os LLMs são modelos em constante evolução. A versão do Gemini utilizada neste trabalho pode ser atualizada, e execuções futuras com os mesmos prompts podem gerar resultados diferentes. Além disso, o uso de temperatura=1 introduz uma variabilidade inerente nas respostas, embora a extração com Regex busque padronizar os resultados.

## 6. Trabalhos Relacionados

O presente trabalho fundamenta-se em investigações prévias relacionadas à compreensão e interpretação de código-fonte, com ênfase na identificação de padrões que tendem a gerar confusão durante a leitura e análise do código. Especificamente, este estudo baseia-se na pesquisa conduzida por Chris Langhout e Maurício Aniche, da Universidade de Delft [Langhout e Aniche 2021], a qual, por sua vez, tem como referência o estudo seminal realizado por Gopstein et al. Esta pesquisa inicial investigou os chamados átomos de confusão no contexto da linguagem C, evidenciando como tais padrões podem contribuir significativamente para o aumento na incidência de erros de programação.

Inspirado por essas descobertas, o presente trabalho propõe a replicação do estudo no contexto da linguagem Java, com o intuito de verificar a aplicabilidade dos mesmos princípios e analisar de que forma esses padrões afetam a precisão e a legibilidade do código, especialmente entre programadores iniciantes. Dessa forma, busca-se aprofundar o entendimento acerca do impacto dos átomos de confusão na prática da programação e oferecer subsídios relevantes para aprimorar a clareza e a compreensão do código-fonte.

## 7. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo central investigar a eficácia do modelo de linguagem Gemini na detecção de "átomos de confusão" em código-fonte Java, uma tarefa sutil que impacta diretamente a qualidade e manutenibilidade de software. Para tal, foi conduzido um estudo empírico utilizando um dataset público e duas abordagens de interação distintas: um prompt genérico e um prompt específico, construído com base em técnicas de engenharia de prompt.

Os resultados indicam que o desempenho geral do Gemini para esta tarefa, mesmo com uma abordagem sofisticada, mostrou-se insatisfatório para aplicação prática imediata, com uma acurácia geral abaixo de 50%. Contudo, a pesquisa revelou uma diferença de eficácia significativa e inequívoca entre os prompts. O prompt específico, claro e direcionado, obteve um desempenho visivelmente superior ao do prompt genérico, que se mostrou praticamente ineficaz na identificação da maioria das categorias de átomos. Esta constatação reforça a premissa de que a qualidade e a especificidade do prompt são fatores determinantes para o sucesso na utilização de LLMs em tarefas complexas de análise de código.

Adicionalmente, a análise não encontrou uma correlação direta entre a frequência de um átomo de confusão no dataset e a capacidade do modelo em detectá-lo. Átomos de alta frequência, como "Logic as Control Flow", apresentaram desempenho inferior a átomos de frequência média ou baixa, como "Type Conversion". Isso sugere que a complexidade intrínseca de cada padrão exerce um impacto mais proeminente no desempenho do modelo do que a simples frequência de ocorrência.

Como limitações, este estudo se concentrou em um único modelo (Gemini) e em um dataset que, conforme reportado, apresentou indisponibilidade em parte de seus dados, o que pode ter impactado as métricas de classes com menor representatividade.

Para trabalhos futuros, sugere-se a expansão desta pesquisa em múltiplas frentes:

- i) a replicação do estudo com outros modelos de linguagem de ponta, como o GPT-4 e o Claude;
- ii) a aplicação de técnicas de prompt mais avançadas, como a Cadeia de Pensamentos (*Chain-of-Thought*) e o fornecimento de múltiplos exemplos (*few-shot learning*);
- iii) a investigação do impacto do ajuste fino (*fine-tuning*) de modelos especificamente para a tarefa de detecção de átomos de confusão.

Conclui-se, portanto, que a detecção de padrões sutis como os átomos de confusão permanece um desafio para os LLMs atuais em uma abordagem de *zero-shot*. Embora promissora, a aplicação dessas ferramentas no dia a dia do desenvolvedor para essa finalidade específica ainda depende de avanços significativos, seja na sofisticação da interação com o modelo ou no treinamento especializado dos mesmos.

## References

- ALSHAHWAN, Nadia et al. (2024). Automated unit test improvement using large language models: an exploratory study. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Software and System Processes*.

- ATOMS OF CONFUSION DATASET IN JAVA PROGRAMS (2022). Zenodo. Disponível em: <https://zenodo.org/record/7065842>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- AVIDAN, E.; FEITELSON, D. G. (2017). Effects of variable names on comprehension: an empirical study. In: *IEEE/ACM International Conference on Program Comprehension (ICPC)*, 25., Buenos Aires. Anais... [S.l.]: IEEE, p. 55-65. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICPC.2017.27>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- GOPSTEIN, D. et al. (2017). Understanding Misunderstandings in Source Code. In: *Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*, 11., Paderborn. Proceedings... [S.l.]: ACM.
- LANGHOUT, Chris; ANICHE, Maurício (2021). Atoms of confusion in Java. *Preprint*. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2103.05424>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- MARTIN, Robert C. (2018). *Arquitetura Limpa: o guia do artesão para estrutura e design de software*. Rio de Janeiro: Alta Books.
- PROMPTING GUIDE (2023). Prompt Engineering Guide. Disponível em: <https://www.promptingguide.ai/pt>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- RANE, Nitin Liladhar; CHOUDHARY, Saurabh P.; RANE, Jayesh (2024). Gemini versus ChatGPT: applications, performance, architecture, capabilities, and implementation. *Journal of Applied Artificial Intelligence*, Mumbai, v. 5, n. 1, p. 69-93. Disponível em: <https://doi.org/10.48185/jaai.v5i1.1052>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- SILVA, Luciana Lourdes et al. (2024). Detecting Code Smells using ChatGPT: Initial Insights. *Preprint*. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36634.04802>. Acesso em: 12 jul. 2024.

# Sistema de Planejamento Financeiro para Pequenas e Médias Empresas: Superando as Limitações das Planilhas

Otávio Henrique Dias Sena<sup>1</sup>, Charles Tim Batista Garrocho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais,  
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

otaviohenriqueerm@gmail.com, charles.garrocho@ifmg.edu.br

**Abstract.** This paper presents the development of a web-based financial planning system for small and medium-sized businesses, aiming to replace the electronic spreadsheet traditionally used by accounting professionals. The solution seeks to mitigate limitations such as susceptibility to errors, low flexibility, and difficulty in data analysis. Implemented with the Next.js framework, the system offers features such as company registration, transaction recording, income statement generation, and strategic indicator visualization. The solution was evaluated based on feedback from a real user, demonstrating gains in usability, efficiency, and organization of financial information.

**Resumo.** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema web para planejamento financeiro de pequenas e médias empresas, com o intuito de substituir uma planilha eletrônica tradicionalmente utilizada por um profissional da área contábil. A solução busca mitigar limitações como suscetibilidade a erros, baixa flexibilidade e dificuldade de análise de dados. Implementado com o framework Next.js, o sistema oferece funcionalidades como cadastro de empresas, registro de lançamentos, geração da DRE e visualização de indicadores estratégicos. A avaliação da solução foi realizada com base no feedback de uma usuária real, evidenciando ganhos em usabilidade, eficiência e organização das informações financeiras.

## 1. Introdução

O planejamento financeiro é uma atividade de suma importância para qualquer tipo de empresa, sendo um dos principais fatores para a ascensão ou fracasso das organizações [Lima and Tomé 2018]. Segundo os autores, a ausência de um planejamento eficaz está entre as principais causas de falência no ambiente corporativo. Complementando, Zulian et al. (2013) ressaltam que, independentemente do porte da empresa, o gerenciamento adequado das informações financeiras é essencial para apoiar a tomada de decisões e alavancar o crescimento da organização.

Apesar da relevância do planejamento financeiro, cerca de 60% das micros e médias empresas brasileiras utilizam planilhas eletrônicas para o gerenciamento financeiro de suas atividades [Pequenas Empresas & Grandes Negócios 2019]. No entanto, conforme relatado pela Oracle (2023), esse tipo de ferramenta é suscetível a erros humanos, limitações no controle de acesso e falta de transparência nos dados. Tais fatores impactam diretamente a produtividade e a qualidade das informações geradas.

Estudos como o de Schappo and Martins (2022) demonstram que o uso da tecnologia na contabilidade traz melhorias para o ramo, como agilidade, padronização e segurança, entre outras vantagens. Ao desfrutar da tecnologia, é possível otimizar e elevar o nível de qualidade dos serviços prestados.

Diante do atual panorama, que demonstra a continuidade do uso de ferramentas limitadas e detecta as dificuldades enfrentadas pelas pequenas e médias empresas na gestão financeira, torna-se imprescindível buscar por soluções mais robustas. Neste contexto, este trabalho propõe investigar os impactos da substituição de uma planilha eletrônica por um sistema de informação no processo de controle financeiro empresarial.

Para isso, propõe-se o desenvolvimento de um sistema web voltado ao planejamento financeiro, com foco na substituição de uma planilha eletrônica atualmente utilizada por uma profissional da área contábil no controle financeiro de pequenas e médias empresas. Os objetivos incluem: identificar as limitações do uso de planilhas, implementar uma solução informatizada, conceituar os termos contábeis utilizados e avaliar os ganhos obtidos com a substituição.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os principais termos contábeis e financeiros utilizados, além de discutir os trabalhos relacionados ao tema. A Seção 3 descreve a arquitetura e o funcionamento do sistema. A Seção 4 demonstra as funcionalidades implementadas, as tecnologias empregadas e os resultados obtidos por meio da avaliação do sistema. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões do estudo, bem como sugestões para trabalhos futuros.

## **2. Background**

Esta seção apresenta os conceitos principais para o desenvolvimento do sistema, conceituando termos relacionados a finanças. Por fim, é apresentada e discutida uma revisão dos principais trabalhos relacionados ao sistema no contexto de tecnologia.

### **2.1. Planejamento Financeiro**

O planejamento financeiro constitui uma atividade vital da organização, pois fornece a base para implementar os planos estratégicos de curto e longo prazo e traçar o caminho das ações da empresa em direção ao cumprimento das metas orçamentárias anteriormente definidas [Lucion 2005]. De forma mais direta, tal procedimento torna possível antever as demandas por recursos a longo prazo, adequar despesas e direcionar a administração das decisões da melhor forma.

Dentro do planejamento financeiro, destaca-se a importância do fluxo de caixa. Gitman (2010) caracteriza o fluxo de caixa como “o sangue que corre pelas veias da empresa”, em virtude da sua importância para a situação financeira. Em termos técnicos, fluxo de caixa é o controle e registro, em um determinado período de tempo, do movimento financeiro realizado pela organização, isto é, entrada (receitas) e saída (despesas) de dinheiro. Por meio deste acompanhamento, é obtido o retrato do estado financeiro da empresa, contribuindo para decisões eficazes [Pivetta 2004].

Segundo Iudícibus (2010), entende-se por receita a entrada de elementos para o ativo, sob forma de dinheiro ou direitos a receber, correspondentes, normalmente, à venda de mercadorias, de produtos ou à prestação de serviços. Além disso, uma receita também

pode derivar de juros sobre depósitos bancários, aplicações financeiras ou outros ganhos eventuais.

As despesas, por sua vez, representam a utilização ou o consumo de bens e serviços no processo de produzir receitas. De acordo Iudícibus (2010), as despesas podem estar associadas a gastos realizados no passado, no presente ou até mesmo planejados para o futuro. O grande fato gerador é o esforço contínuo para gerar receita, pois a despesa é, ao mesmo tempo, consequência e facilitadora da geração de valor.

Além do fluxo de caixa, a Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) é uma ferramenta essencial nos pressupostos da contabilidade gerencial. Trata-se de um relatório contábil que apresenta a relação entre receitas e despesas durante um determinado exercício fiscal, possibilitando reconhecer a eficiência econômica da empresa [Marion 2009]. Para Santos Lins e Filho (2011), a DRE mostra se a companhia obteve lucro ou prejuízo. Já Iudícibus (2004) reafirma que esse lucro é obtido mediante a diferença entre o total de receitas e o total de despesas, expondo de forma objetiva o resultado final do exercício.

A análise da DRE ainda possibilita a extração de indicadores financeiros estratégicos, como a margem de contribuição, que corresponde ao valor restante da receita proveniente das vendas após a dedução dos custos e despesas variáveis [de Oliveira and Jr 2005], sendo de suma importância para a cobertura dos custos fixos e para a formação do lucro. Segundo Dias (1967), a margem de contribuição pode ser interpretada como a "contribuição para o lucro", dado o seu impacto direto sobre o resultado final da empresa.

Outro conceito que se fundamenta na margem de contribuição é o ponto de equilíbrio, que expressa o volume mínimo de vendas necessário para que a empresa não apresente lucro e nem prejuízo. De acordo com Padoveze (2004), o ponto de equilíbrio corresponde ao montante que a organização necessita para produzir e vender, de forma que suas receitas se igualem a seus custos e despesas totais. Complementando essa ideia, Crepaldi (1999) explica que a empresa atinge o ponto de equilíbrio quando se encontra em uma zona de neutralidade econômica.

Além dos indicadores já mencionados, vale destacar a margem de lucro bruto. Segundo o Sebrae (2025), trata-se do excedente obtido após a dedução dos custos e das despesas da receita total, sendo um indicador relevante para medir a eficiência financeira da empresa. Para Gitman (2010), "a margem de lucro bruto mede a porcentagem de cada unidade monetária de vendas que permanece após a empresa deduzir o valor dos bens vendidos", evidenciando a relação entre lucratividade e controle de custos.

## **2.2. Trabalhos Relacionados**

Diversos estudos têm explorado a substituição de planilhas eletrônicas por sistemas de informação com o intuito de melhorar o controle financeiro e a confiabilidade dos dados. Essa tendência abrange desde o ambiente empresarial até setores públicos, pessoais e específicos, como o rural. A seguir, são apresentados trabalhos relacionados que dialogam com o propósito deste estudo, agrupados conforme a similaridade temática.

O trabalho de Oliveira et al. (2018) apresentou o desenvolvimento do SiORC, um sistema web voltado à gestão orçamentária do Instituto Federal de Alagoas, proposto

como alternativa às planilhas eletrônicas utilizadas pela instituição. A motivação do projeto está centrada em problemas recorrentes como inconsistência de dados, fragilidade no controle de acesso e limitações na evolução funcional das planilhas. Embora voltado ao setor público, o estudo guarda forte relação com a presente proposta ao evidenciar os benefícios da adoção de um sistema web em substituição a processos manuais na gestão financeira institucional.

De forma semelhante, Leão e de Melo (2021) propõem a substituição de planilhas eletrônicas no ambiente acadêmico por sistemas baseados em banco de dados, com o objetivo de mitigar problemas como ausência de padronização, dificuldades no compartilhamento de dados e baixa escalabilidade. A solução consiste na adoção de um banco relacional com interface amigável para manipular dados. Apesar de seu foco estar na pesquisa científica, os desafios enfrentados são análogos aos verificados no contexto empresarial, o que reforça a relevância de sistemas estruturados em diferentes domínios de aplicação.

O estudo de Oliveira (2016) introduz um protótipo de sistema web para gerenciamento de agências lotéricas, utilizando o paradigma de Programação Funcional Reativa (FRP). O sistema busca substituir o uso de planilhas e processos manuais, automatizando o controle de operações financeiras e o cálculo de saldos diários dos terminais. Com o uso de *streams* e *properties*, a aplicação simula o comportamento de planilhas de forma dinâmica e reativa. Embora o foco esteja em agências lotéricas, o projeto dialoga com o presente trabalho por propor uma solução tecnológica para a centralização, confiabilidade e agilidade no controle financeiro.

Em outra vertente, mas com propósitos similares, GOIS et al. (2024) desenvolveram o sistema Finanças Fáceis, uma aplicação web gratuita destinada ao público geral. O sistema permite o registro de receitas e despesas, com apresentação de gráficos que facilitam a análise das finanças pessoais. Ainda que o cerne esteja no usuário individual e não em empresas, a proposta converge com o presente estudo na medida em que ambos vislumbram utilizar ferramentas tecnológicas para promover maior autonomia na gestão financeira.

Seguindo essa mesma linha, Oliveira (2023) propõe um Sistema para Controle Financeiro Pessoal, cuja finalidade é auxiliar na organização das finanças individuais por meio de uma aplicação web. A plataforma possibilita o cadastro de receitas e despesas, além da geração de relatórios financeiros para acompanhamento. Assim como no trabalho anterior, o enfoque é pessoal, mas a intenção de substituir ferramentas manuais por uma aplicação centralizada e segura aproxima a proposta do presente estudo.

Por fim, Lizzoni et al. (2018) apresentam o PLAFIR, um sistema de informação web desenvolvido para apoiar o planejamento financeiro de agricultores familiares. A ferramenta permite simulações financeiras com base em dados de insumos e modelos técnicos previamente cadastrados. A pesquisa destaca a carência de soluções tecnológicas adequadas ao meio rural, e embora o domínio de aplicação seja distinto, o objetivo de estruturar o processo de tomada de decisão por meio de sistemas de informação vai de encontro à proposta deste trabalho.

### 3. Abordagem Proposta

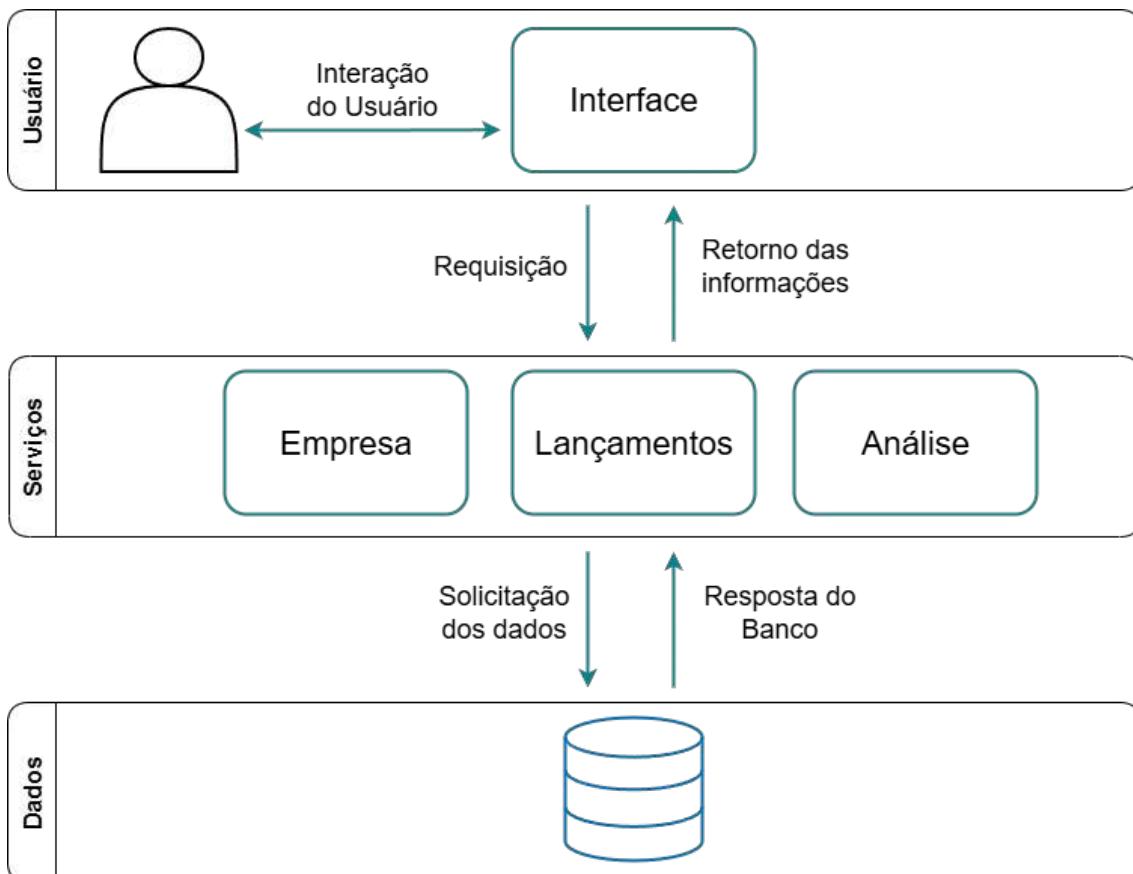
A abordagem proposta foi projetada e desenvolvida com o objetivo de substituir planilhas tradicionais utilizadas no controle do planejamento financeiro empresarial por uma solução de sistema moderno, seguro, escalável, padronizado e de fácil uso e manutenções futuras.

#### 3.1. Arquitetura

A Figura 1 apresenta uma visão geral da arquitetura do sistema, segregada em três camadas principais que se integram para viabilizar o funcionamento do sistema.

A camada do usuário é representada pela interface gráfica da aplicação, sendo responsável pela interação com o usuário final. Por meio dela, é possível realizar o cadastro de dados, navegação pelas funcionalidades e visualização das informações analíticas, como gráficos e indicadores financeiros. As ações realizadas nessa camada geram requisições HTTP, que são enviadas ao servidor para processamento.

Já a camada de serviços corresponde à lógica de negócios do sistema. É composta pelas rotas de API, responsáveis por processar as requisições oriundas da interface. Nessa etapa, são aplicadas as validações dos dados, o gerenciamento das regras de negócio e a coordenação das operações com o banco de dados. Essa separação permite maior modularidade, reutilização de código e organização das funcionalidades do sistema.



**Figura 1. Arquitetura de sistema da abordagem proposta.**

Por fim, a camada de dados é responsável pela persistência das informações. Todos os dados cadastrados são armazenados no banco de dados por meio de um mecanismo de mapeamento objeto-relacional (ORM - Object-Relational Mapping), o qual abstrai as operações de leitura, gravação, atualização e exclusão, promovendo segurança e consistência nas interações com o banco de dados.

A camada de serviços do sistema foi organizada em três conjuntos de funcionalidades principais: Empresa, Lançamentos e Análise. Cada conjunto representa um agrupamento lógico de operações relacionadas ao processamento dos dados da aplicação.

Responsável pelo gerenciamento das informações cadastrais das organizações, o conjunto de funcionalidades relacionado à Empresa abrange o cadastro de novas organizações no sistema e a persistência dos dados no banco de dados, além da consulta e edição das informações previamente registradas.

O conjunto de funcionalidades referente aos Lançamentos agrupa as operações ligadas ao registro, organização e manutenção das movimentações financeiras. Dentre essas atividades, destacam-se a inserção de lançamentos devidamente categorizados, a consulta dos dados, a edição e exclusão das transações registradas.

Destinado à interpretação dos dados financeiros, o conjunto de funcionalidades de Análise é composto por processos que transformam os registros brutos em informações estratégicas. Inclui-se, nesse escopo, o cálculo de indicadores financeiros, a geração dinâmica da DRE simplificada, bem como a criação de representações gráficas que apoiam o processo de tomada de decisão.

### **3.2. Funcionamento**

O funcionamento da aplicação está representado de forma visual na Figura 2, por meio de um diagrama de sequência que ilustra a integração entre os principais módulos do sistema. Esse fluxo baseia-se em uma interação sequencial das etapas, proporcionando uma experiência fluida e orientada às atividades empresariais.

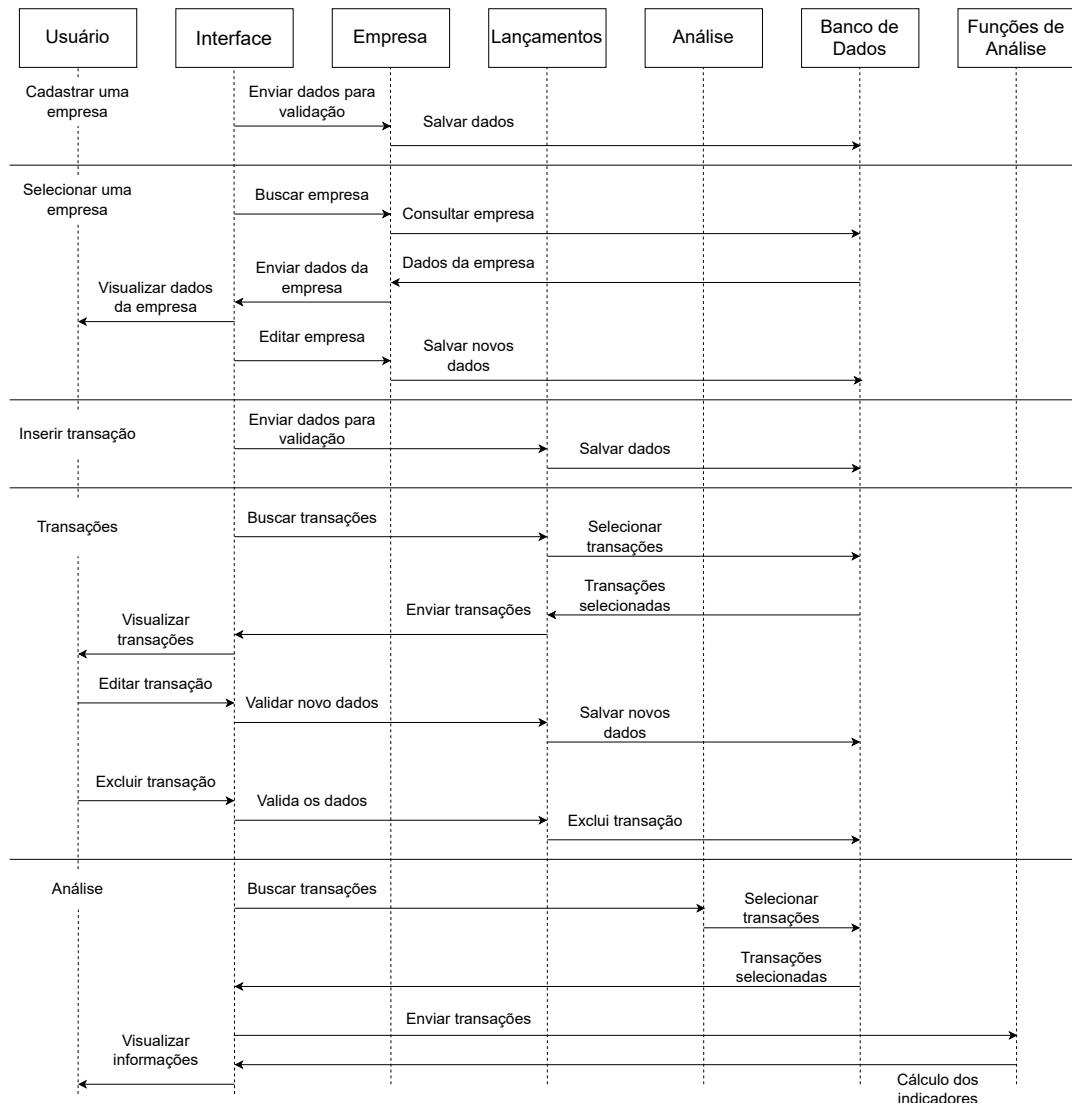
O fluxo de uso inicia-se com o cadastro de uma empresa, etapa essencial para o funcionamento do sistema, uma vez que todas as transações financeiras subsequentes são vinculadas a uma organização previamente registrada. Esse processo é realizado por meio de uma rota de API, que valida os dados fornecidos na interface e os armazena no banco de dados.

Uma vez cadastradas, as empresas podem ser consultadas por meio de uma requisição à API específica. Os dados retornados são exibidos na interface para seleção da organização cadastrada. Ao selecionar uma empresa, os dados correspondentes são carregados e exibidos na tela de dados da empresa, a qual permite a atualização das informações, também por meio de chamadas à API.

Em seguida, o usuário pode acessar o módulo de inserção de transações, que permite o lançamento de receitas e despesas. Essas informações são submetidas à API, validadas e persistidas no banco de dados. Os dados registrados alimentam diretamente o módulo de lançamentos, o qual realiza uma consulta na rota responsável por recuperar todas as transações vinculadas à empresa escolhida. As informações são organizadas dinamicamente, apresentando uma visão consolidada das movimentações ao longo dos meses do ano, divididas por categoria e subcategoria.

A partir das transações registradas, o módulo de análise realiza o cálculo de indicadores financeiros, a geração de gráficos analíticos e a elaboração da DRE simplificada. Diferentemente dos demais módulos, o processo de cálculo é executado por funções específicas que consomem os dados obtidos por meio da API e os processam diretamente na aplicação. Essa separação entre extração e processamento garante maior flexibilidade e modularidade, permitindo ajustes nos critérios de análise sem a necessidade de alterações diretas na base de dados.

O módulo de edição dos lançamentos permite a visualização, filtragem, modificação e exclusão de transações financeiras. A partir de uma requisição à API, os dados vinculados à empresa ativa são listados na interface, podendo ser filtrados por categoria e subcategoria. Ao editar um lançamento, os novos dados são validados e atualizados no banco por meio de uma chamada à API. De forma similar, a exclusão de registros é realizada por meio de requisições à API, garantindo a remoção segura dos dados.



**Figura 2. Diagrama de sequência de sistema da abordagem proposta.**

## 4. Prova de Conceito

A prova de conceito teve como objetivo validar a viabilidade e a efetividade do sistema desenvolvido. O sistema foi criado tendo como referência uma planilha utilizada por uma profissional da área contábil para o controle financeiro e elaboração da Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) de pequenas e médias empresas. Com base nessa planilha e nos relatos das dificuldades enfrentadas pela profissional, foram identificados pontos críticos como alta suscetibilidade a erros de digitação, dificuldade na manipulação e organização dos dados, falta de dinamismo nas fórmulas e limitações na visualização e análise das informações.

Desse modo, a solução proposta buscou demonstrar que não apenas reproduz, mas aprimora os processos originalmente realizados manualmente na planilha, oferecendo maior segurança, praticidade e eficiência na gestão financeira das empresas analisadas.

### 4.1. Integração e Funcionalidades Implementadas

Durante o desenvolvimento, todas as funcionalidades essenciais, além das identificadas na planilha de exemplo, foram implementadas e testadas, sendo:

- Cadastro, seleção e edição de empresas;
- Inserção, edição e exclusão de lançamentos financeiros;
- Padronização de receitas e despesas por categoria e subcategoria;
- Geração automática de Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) simplificada;
- Visualização de indicadores financeiros e gráficos gerenciais;
- Comunicação entre interface, servidor e banco de dados por meio de uma API REST.

As funcionalidades foram testadas em ambiente simulado com dados fictícios, representando cenários reais de uso, e os resultados indicaram conformidade com os requisitos propostos. A seguir, são apresentadas algumas telas da interface do sistema, que ilustram o funcionamento das funcionalidades implementadas:

### 4.2. Telas 1 e 2 – Cadastro de Empresa, e Inserção de Lançamentos

As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, a tela de cadastro de empresas e a tela de inserção de lançamentos financeiros no sistema. Na primeira, o usuário pode registrar uma nova organização informando dados como nome, CNPJ e representante responsável. Já na segunda, é possível adicionar receitas e despesas, selecionar categorias e subcategorias, inserir os valores e indicar a data da transação. Ambas as interfaces foram projetadas para garantir uma experiência simples e direta, facilitando o registro inicial e o controle contínuo das operações financeiras.

### Planejamento Financeiro

#### Cadastro de Empresa

Nome

CNPJ

Representante

**Enviar**

### Planejamento Financeiro Dados da Empresa

#### Inserir Transação

Tipo

Valor

Data

**Enviar**

**Figura 3.** Tela de Cadastro de Empresa.**Figura 4.** Tela de Inserir Transação.

### 4.3. Tela 3 – Compilado dos Lançamentos

A Figura 5 apresenta a tela de compilação dos lançamentos financeiros cadastrados no sistema. Nessa visualização, os lançamentos são exibidos de forma separada, organizados por categorias e subcategorias. Os valores são distribuídos ao longo dos meses do ano, permitindo uma análise detalhada da evolução financeira mensal e anual da empresa. As receitas são destacadas em verde, enquanto os custos variáveis e fixos são em vermelho, facilitando uma rápida identificação visual dos resultados financeiros.

Planejamento Financeiro												Dados da Empresa	Inserir Dados	Lançamentos	Análise Financeira	<b>Exportar</b>															
Receita												Custo Variável																			
SubCategoria	janeiro de 2025	fevereiro de 2025	março de 2025	abril de 2025	maio de 2025	junho de 2025	julho de 2025	agosto de 2025	setembro de 2025		outubro de 2025	novembro de 2025	dezembro de 2025	Total Anual	SubCategoria	janeiro de 2025	fevereiro de 2025	março de 2025	abril de 2025	maio de 2025	junho de 2025	julho de 2025	agosto de 2025	setembro de 2025	outubro de 2025	novembro de 2025	dezembro de 2025	Total Anual			
Comissão	R\$ 15.623,54	R\$ 15.000,00	R\$ 15.800,74	R\$ 15.411,63	R\$ 14.979,01	R\$ 15.628,12	R\$ 15.848,16	R\$ 15.210,10	R\$ 15.787,00		R\$ 15.259,72	R\$ 15.671,42	R\$ 15.944,01,71		Despesa com Comissões	R\$ 145.716,01	R\$ 150.000,00	R\$ 148.500,00	R\$ 146.000,00	R\$ 143.500,00	R\$ 141.000,00	R\$ 138.500,00	R\$ 136.000,00	R\$ 133.500,00	R\$ 131.000,00	R\$ 128.500,00	R\$ 126.000,00	R\$ 123.500,00	R\$ 121.000,00		
Crédito	R\$ 124.173,13	R\$ 120.300,00	R\$ 140.157,24	R\$ 130.103,09	R\$ 143.450,58	R\$ 140.070,05	R\$ 143.170,18	R\$ 120.424,21	R\$ 147.017,49		R\$ 120.935,76	R\$ 120.426,64	R\$ 126.467,51	R\$ 125.150,00,66	Imposto - Imposto Nacional	R\$ 110.000,00	R\$ 112.000,00	R\$ 114.000,00	R\$ 116.000,00	R\$ 118.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 122.000,00	R\$ 124.000,00	R\$ 126.000,00	R\$ 128.000,00	R\$ 130.000,00	R\$ 132.000,00	R\$ 134.000,00	R\$ 136.000,00		
Débito	R\$ 15.705,27	R\$ 15.299,18	R\$ 15.003,53	R\$ 15.531,72	R\$ 14.973,27	R\$ 15.848,09	R\$ 15.036,52	R\$ 14.646,72	R\$ 15.000,00		R\$ 15.100,00	R\$ 15.259,72	R\$ 15.409,10,38		Despesa com Impostos	R\$ 110.000,00	R\$ 112.000,00	R\$ 114.000,00	R\$ 116.000,00	R\$ 118.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 122.000,00	R\$ 124.000,00	R\$ 126.000,00	R\$ 128.000,00	R\$ 130.000,00	R\$ 132.000,00	R\$ 134.000,00	R\$ 136.000,00		
Crédito	R\$ 111.698,48	R\$ 99.594,05	R\$ 100.270,25	R\$ 92.726,82	R\$ 103.326,69	R\$ 122.414,61	R\$ 121.355,85	R\$ 122.446,71	R\$ 116.001,09		R\$ 118.323,88	R\$ 104.454,50	R\$ 101.000,00	R\$ 103.500,00,56	Despesa com Salários	R\$ 100.000,00	R\$ 102.000,00	R\$ 104.000,00	R\$ 106.000,00	R\$ 108.000,00	R\$ 110.000,00	R\$ 112.000,00	R\$ 114.000,00	R\$ 116.000,00	R\$ 118.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 122.000,00	R\$ 124.000,00	R\$ 126.000,00		
Fixo	R\$ 64.605,65	R\$ 63.977,05	R\$ 51.715,25	R\$ 74.296,73	R\$ 54.137,41	R\$ 67.010,00	R\$ 51.510,00	R\$ 62.455,44	R\$ 71.091,41		R\$ 70.206,69	R\$ 70.503,27	R\$ 70.503,27	R\$ 66.500,00,35	Despesa com Aluguel	R\$ 60.000,00	R\$ 62.000,00	R\$ 64.000,00	R\$ 66.000,00	R\$ 68.000,00	R\$ 70.000,00	R\$ 72.000,00	R\$ 74.000,00	R\$ 76.000,00	R\$ 78.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 82.000,00	R\$ 84.000,00	R\$ 86.000,00	R\$ 88.000,00	
Checkout	R\$ 500,00	R\$ 801,49	R\$ 797,09	R\$ 254,85	R\$ 744,40	R\$ 1.305,00	R\$ 1.250,00	R\$ 1.379,40	R\$ 5.531,00		-	R\$ 1.399,00	R\$ 1.399,00	R\$ 1.399,00,00	Despesa com Impostos	R\$ 100.000,00	R\$ 102.000,00	R\$ 104.000,00	R\$ 106.000,00	R\$ 108.000,00	R\$ 110.000,00	R\$ 112.000,00	R\$ 114.000,00	R\$ 116.000,00	R\$ 118.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 122.000,00	R\$ 124.000,00	R\$ 126.000,00	R\$ 128.000,00	R\$ 130.000,00
Total de Categorias	R\$ 419.260,52	R\$ 326.003,51	R\$ 204.529,64	R\$ 295.640,04	R\$ 446.637,72	R\$ 468.505,06	R\$ 493.657,13	R\$ 499.096,62	R\$ 426.311,79		R\$ 426.325,52	R\$ 280.570,40	R\$ 320.810,50	R\$ 5.116.10,99																	

**Figura 5.** Tela de Lançamentos.

#### 4.4. Tela 4 – Análise Financeira

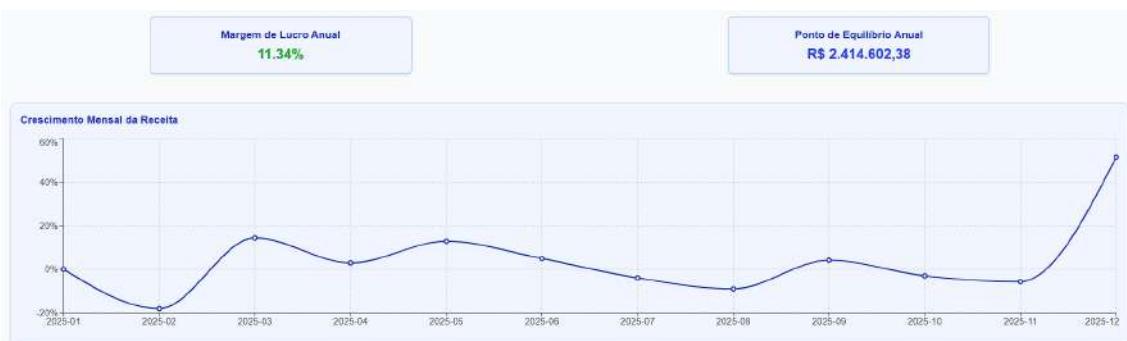
As Figuras 6, 7 e 8 apresentam a tela de análise financeira gerada automaticamente pelo sistema com base nos lançamentos financeiros cadastrados anteriormente.

Na Figura 6, observa-se a Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) simplificada, mostrando de forma clara as receitas, custos variáveis, margem de contribuição, custos fixos e o resultado operacional para cada mês do ano, facilitando a análise de desempenho da empresa. Essa seção inclui também um gráfico comparativo entre a receita total e o resultado operacional ao longo do período analisado, permitindo avaliar visualmente a evolução dos resultados da empresa.



**Figura 6. Tela de DRE simplificada e gráfico comparativo de receita e resultado operacional.**

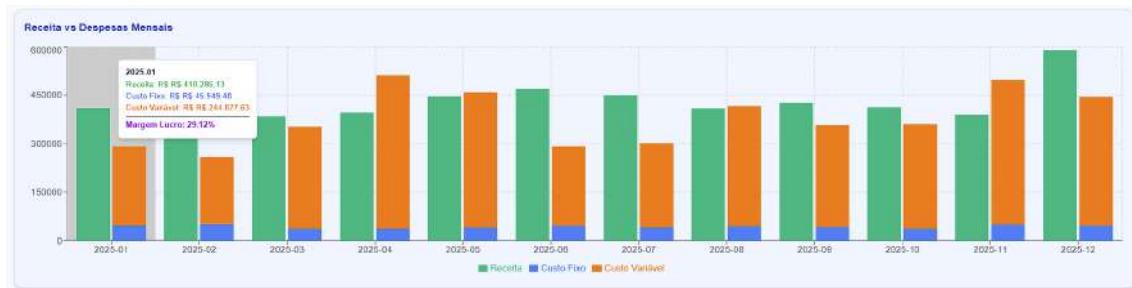
A Figura 7 exibe os indicadores-chave da gestão financeira, como Margem de Lucro Anual e o valor do Ponto de Equilíbrio Anual, seguidos por um gráfico que demonstra claramente o Crescimento Mensal da Receita, permitindo entender o desempenho financeiro ao longo do ano em relação ao mês anterior.



**Figura 7. Indicadores financeiros e gráfico do crescimento mensal da receita.**

Por fim, na Figura 8 é possível visualizar um gráfico detalhado de Receita vs Despesas Mensais, onde são representados visualmente os custos fixos, custos variáveis e

as receitas, destacando claramente a margem de lucro mensal. Essa visualização facilita a rápida compreensão dos períodos de maior ou menor lucratividade.



**Figura 8. Gráfico mensal comparativo de receitas e despesas.**

#### 4.5. Tecnologias

A escolha das tecnologias e ferramentas utilizadas foi baseada em critérios como simplicidade, escalabilidade, qualidade da documentação disponível e, também, pelo interesse do autor em explorar novas soluções e adquirir experiência prática com ferramentas modernas de desenvolvimento web.

O framework Next.js foi adotado por oferecer uma estrutura robusta para aplicações React, integrando recursos como renderização tanto do lado do servidor (SSR), geração estática de sites (SSG), roteamento baseado em arquivos e a criação facilitada de API integrada. Essa facilita a separação entre a lógica de negócio (backend) e a camada de visualização (frontend).

Um diferencial relevante ao adotar o Next.js é a capacidade de utilizar rotas de API diretamente no projeto, dispensando a necessidade de infraestrutura adicional para o backend. Isso possibilitou a criação de um servidor leve e coeso dentro da própria estrutura da aplicação, simplificando o desenvolvimento e a manutenção. Além disso, a vasta comunidade e a qualidade da documentação foram fatores levados em consideração ao escolher o framework.

A interface do sistema foi construída através do Next.js com React e Tailwind CSS. O React, uma biblioteca JavaScript amplamente consolidada, proporciona uma construção eficiente e reativa de interfaces, permitindo que o sistema ofereça uma experiência fluida ao usuário. Já o Tailwind CSS é um framework CSS responsável por estilizar o sistema, sendo altamente utilizado por proporcionar agilidade na criação de layouts, liberdade em criar designs únicos e por manter o código limpo e de fácil manutenção.

A comunicação entre o frontend e o backend é otimizada pela arquitetura de rotas de API fornecida pelo Next.js. Isso permite que as requisições sejam tratadas diretamente pelas funções específicas da estrutura do projeto, simplificando o desenvolvimento e a manutenção. Cada operação, como a adição de uma transação financeira, é enviada para uma rota RESTful específica, que processa a solicitação e retorna o status da operação. Isso garante uma aplicação reativa, modular e escalável, sem a necessidade de servidores externos adicionais.

#### **4.6. Avaliação e Feedback do Usuário**

Com o intuito de avaliar a eficácia, usabilidade e adequação da solução proposta às necessidades práticas, foi realizada uma etapa de coleta de feedback diretamente com uma das principais usuárias do sistema, a contadora responsável pela planilha base que inspirou o desenvolvimento da aplicação. Essa avaliação ocorreu por meio de um formulário online criado no Google Forms, composto pelas seguintes seções:

- **Seção 1: Usabilidade (System Usability Scale – SUS):** avaliou a facilidade de uso do sistema com base em aspectos como complexidade, integração das funcionalidades, necessidade de suporte e curva de aprendizado, por meio de escala Likert de 1 a 5.
- **Seção 2: Satisfação Geral (Net Promoter Score – NPS):** mediu a probabilidade de recomendação do sistema para outros profissionais da área, utilizando a escala de 0 a 10 do NPS.
- **Seção 3: Avaliação do Valor do Sistema:** investigou a utilidade prática dos relatórios, a substituição das planilhas e a economia de tempo proporcionada pelo sistema.
- **Seção 4: Perguntas Abertas:** coletou percepções qualitativas sobre os pontos positivos, melhorias e funcionalidades desejadas.

As respostas fornecidas indicam uma percepção extremamente positiva quanto à usabilidade, utilidade e eficiência da aplicação proposta.

Na Escala SUS, composta por 10 afirmações avaliadas de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente), a usuária atribuiu notas máximas (5) para os itens relacionados à frequência de uso, facilidade de uso, integração das funcionalidades e confiança ao utilizar o sistema. Para os itens de complexidade, inconsistência, confusão e necessidade de suporte técnico, foram atribuídas notas baixas (1 ou 2), o que reforça a percepção de que o sistema é intuitivo e bem estruturado.

No quesito Satisfação Geral (NPS), a usuária atribuiu nota 10, indicando alta probabilidade de recomendação do sistema a outros profissionais da área contábil ou financeira.

Na avaliação do valor do sistema, todas as perguntas receberam nota 5, o que demonstra que o sistema:

- Apresenta relatórios e indicadores úteis para análise financeira;
- Substitui de forma satisfatória as planilhas anteriormente utilizadas;
- Contribui para economia de tempo na execução das atividades financeiras.

Na seção aberta, a usuária destacou como pontos positivos:

“A integração das informações e a distribuição dos resultados em gráficos e a facilidade na confecção do Demonstrativo de Fluxo de Caixa.”

Não foram apontadas críticas nem sugestões de melhoria, o que indica que, no momento da avaliação, a usuária considerou o sistema plenamente adequado às suas necessidades. Também não foram mencionadas funcionalidades ausentes, sugerindo que as ferramentas disponíveis atendem de forma satisfatória às demandas do seu cotidiano profissional. Essa ausência de observações negativas reforça a percepção de completude, eficiência e usabilidade da solução adotada.

## 5. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e implementação de um sistema web para planejamento financeiro, visando substituir uma planilha eletrônica tradicionalmente utilizada por uma profissional da área contábil na elaboração e controle do planejamento financeiro de pequenas e médias empresas.

A partir das dificuldades relatadas pela usuária da planilha original, identificaram-se limitações como alta suscetibilidade a erros, dificuldades na manipulação e organização dos dados, falta de dinamismo nas fórmulas utilizadas no cálculo de indicadores, além da pouca flexibilidade na visualização e análise dos resultados financeiros.

Os testes realizados demonstraram que a aplicação não apenas reproduz as funções da planilha, mas também agrega valor ao promover maior segurança, padronização e eficiência no gerenciamento das finanças empresariais. A integração entre as telas e a experiência de uso fluida reforçam o caráter prático e acessível da solução.

A avaliação qualitativa realizada com a contadora usuária do sistema confirmou a eficácia da proposta, destacando aspectos como a usabilidade da interface, a clareza dos relatórios gerados e a economia de tempo nas tarefas rotineiras. O feedback positivo, tanto nas métricas SUS e NPS quanto nas respostas abertas, valida a aderência do sistema às necessidades reais de profissionais da área contábil.

Apesar dos resultados positivos, reconhece-se que o sistema pode ser expandido em versões futuras. Como proposta de trabalhos futuros, propõe-se melhorias, como a implementação de filtro por ano, possibilitando o registro e a análise de lançamentos financeiros referentes a diferentes exercícios, exportação de relatórios em formatos como PDF ou Excel e a evolução para uso em dispositivos móveis.

Dessa forma, conclui-se que o sistema desenvolvido representa uma alternativa viável, eficaz e escalável para o controle financeiro de pequenas e médias empresas, contribuindo diretamente para a profissionalização da gestão financeira e para a tomada de decisões mais assertivas no ambiente empresarial.

## Referências

- Crepaldi, S. A. (1999). *Curso básico de contabilidade de custos*. Atlas, São Paulo.
- de Iudíibus, S. (2004). *Teoria da Contabilidade*. Atlas, São Paulo, 7 edition.
- de Iudíibus, S. (2010). *Teoria da Contabilidade*. Atlas, São Paulo, 10 edition.
- de Oliveira, J. V. M. (2016). Desenvolvimento de protótipo de sistema web para gerenciamento de agência lotérica utilizando programação funcional reativa. *Florianópolis, SC*, page 23.
- de Oliveira, L. M. and Jr, J. H. P. (2005). *Contabilidade de custos para não contadores*. Atlas, São Paulo.
- Dias, I. P. (1967). Algumas observações sobre a margem de contribuição. *Revista de Administração de Empresas*, 7:79–101.
- dos Santos Lins, L. and Filho, J. F. (2011). *Fundamentos e Análise das Demonstrações Contábeis: Uma Abordagem Interativa*. Atlas, São Paulo, 1 edition.

- Gitman, L. J. (2010). *Princípios de administração financeira*. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 12 edition.
- GOIS, G. F. d., GOIS, L. F. N. d., SILVA, R. A. d., et al. (2024). Finanças fáceis-software para planejamento financeiro.
- Leão, L. L. and de Melo, F. R. (2021). Banco de dados em processos de pesquisa com redes neurais artificiais: uma alternativa às planilhas eletrônicas. *Anais da Semana de Iniciação Científica do Curso de Sistemas de Informação (ISSN 2966-1528)*, 13:28–39.
- Lima, V. R. and Tomé, A. S. (2018). A importância da adoção de um planejamento financeiro para a gestão e crescimento das pequenas empresas. *Revista Eletrônica Gestão e Serviços*, 9(1):2190–2206.
- Lizzoni, L., Feiden, A., and Feiden, A. (2018). PLAFIR: aplicativo web para planejamento financeiro rural. *Biblios*, pages 91 – 104.
- Lucion, C. E. R. (2005). Planejamento financeiro. *Revista eletrônica de contabilidade*, 2(1):160–160.
- Marion, J. C. (2009). *Análise das Demonstrações Contábeis: Contabilidade Empresarial*. Atlas, São Paulo, 5 edition.
- Oliveira, C. P. d. (2023). Sistema web para controle financeiro pessoal. B.S. thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Oliveira, F., Neto, J. L., Ferreira, G., and Cavalcante, D. (2018). Desenvolvimento de um software de planejamento e gestão orçamentária para as instituições públicas. In *Anais do XVIII Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe*, pages 123–128, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Oracle (2023). 10 riscos e soluções comuns da planilha para as empresas. Acesso em: 19 jun. 2025.
- Padoveze, C. L. (2004). *Contabilidade Gerencial: Um enfoque no sistema de informação contábil*. Atlas, São Paulo, 4 edition.
- Pequenas Empresas & Grandes Negócios (2019). Exclusivo: seis a cada dez pmes brasileiras ainda usam esta ferramenta para suas contas. Acesso em: 19 jun. 2025.
- Pivetta, G. (2004). A utilização do fluxo de caixa nas empresas: um modelo para a pequena empresa. *Revista eletrônica de contabilidade*, 1(2):14–14.
- Schappo, B. H. and Martins, Z. B. (2022). A utilização de tecnologia na contabilidade: Uma percepção de profissionais contábeis do estado de santa catarina. *ConTexto-Contabilidade em Texto*, 22(50):2–15.
- SEBRAE (2025). O que é e como calcular margem de lucro? Acesso em: 19 jun. 2025.
- Zulian, M., de SOUZA, B. J., and Miranda, R. G. (2013). Excel/vba para gerenciamento de micro e pequenas empresas. *Revista Científica da FHO— Uniararas*, 1(2):7–21.

# Desafios e Benefícios da Transformação Digital no Controle Orçamentário da Mineração

Jonathan Lara Souza<sup>1</sup>, Charles Tim Batista Garrocho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)  
Campus Ouro Branco, MG - Brasil

jonathansouzal@live.com, charles.garrocho@ifmg.edu.br

**Abstract.** This article investigates the challenges and benefits associated with the digitalization of budget control processes at CSN Mineração, focusing on OPEX and CAPEX management. The research analyzes the contribution of digital transformation to efficiency, accuracy, and systems integration, using a case study at the company. The methodology includes data collection with professionals in the field and a literature review, allowing the identification of barriers and providing improvements. The results point to the need for training, systemic integration, and digital culture as essential conditions for the success of digital transformation.

**Resumo.** Este artigo investiga os desafios e benefícios associados a digitalização de processos de controle orçamentário na empresa CSN mineração, com foco na gestão de OPEX e CAPEX. A pesquisa analisa a contribuição da transformação digital para a eficiência, precisão e integração de sistemas, utilizando estudo de caso na empresa. A metodologia inclui a coleta de dados com profissionais da área e revisão de literatura, permitindo identificar barreiras e propor melhorias. Os resultados apontam para a necessidade de capacitação, integração sistêmica e cultura digital como condições essenciais para o sucesso da transformação digital.

## 1. Introdução

A transformação digital tem gerado impactos significativos nos processos empresariais, especialmente no setor de mineração, ao promover ganhos de produtividade, sustentabilidade e segurança por meio de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), sensores inteligentes e automação — pilares da Indústria 4.0 (SCHWAB, 2016; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

No campo orçamentário, a adoção de soluções digitais é estratégica, pois amplia a automação de tarefas, reduz erros manuais e direciona o trabalho para análises mais qualificadas. Segundo estudo da PwC Brasil, empresas digitalizadas podem economizar até 30% do tempo antes gasto com processos manuais (PwC Brasil, 2023). Essa economia representa uma oportunidade de liberar profissionais de tarefas repetitivas, permitindo maior foco na análise de indicadores, previsão de custos e apoio à tomada de decisão (TURBAN et al., 2018).

Apesar desse potencial, muitas organizações ainda enfrentam desafios para atingir esse nível de eficiência, principalmente devido à integração limitada entre sistemas (como

SAP, BI e planilhas), à resistência interna à mudança cultural e à carência de capacitação adequada (REVIEW, 2025). Além disso, a digitalização exige fortalecer a integração entre departamentos e aprimorar a análise de dados em tempo real, pontos que nem sempre estão plenamente estruturados no controle orçamentário das mineradoras (SAP, 2025).

Diante desse cenário, este trabalho discute esses obstáculos, identifica oportunidades de melhoria e propõe soluções práticas para apoiar a evolução da governança orçamentária no setor mineral.

- A falta de integração entre sistemas, como o SAP (Aplicações e Produtos de Sistema em Processamento de Dados), utilizado para controle financeiro e planejamento de recursos, e ferramentas de Business Intelligence como Qlik Sense e Power BI;
- A dependência de planilhas manuais, que aumenta o risco de erros na consolidação de dados e compromete a confiabilidade das informações;
- A resistência dos colaboradores à adoção de novas tecnologias, muitas vezes por falta de capacitação adequada;
- A ausência de uma estratégia clara de transformação digital nas organizações.

A não superação dessas barreiras limita o avanço do controle orçamentário para modelos mais ágeis e inteligentes (TURBAN et al., 2018). Assim, este trabalho propõe-se a investigar os principais desafios enfrentados e apresentar soluções práticas, com base na experiência do autor na área de custos de uma grande mineradora. A pesquisa busca responder: como a automação e a integração de sistemas como SAP, BI e planilhas podem reduzir o tempo de análise, minimizar erros e facilitar a visualização no controle orçamentário da mineração?

## **2. Background**

A transformação digital vem promovendo mudanças profundas nos processos produtivos e administrativos em diversos setores, inclusive no setor mineral, onde a busca por maior eficiência, segurança, controle de custos e sustentabilidade impulsiona o uso de ERP, BI, automação e IoT (SCHOOL, 2025). Segundo a PwC Brasil, essa jornada contínua integra tecnologias digitais aos negócios para atender prioridades estratégicas, explorar novos mercados, aumentar eficiência e testar novos modelos (PwC Brasil, 2023).

Embora seja comum associá-la a dispositivos e aplicativos atuais, a transformação digital começou na década de 1990 com a expansão da internet e a democratização do acesso, tornando tecnologias antes restritas a grandes empresas disponíveis à sociedade em geral (SCHWAB, 2016; PEIXOTO, 2021). Essa evolução transformou hábitos, eliminou mercados tradicionais e criou novas oportunidades (PEIXOTO, 2021).

A intensa troca de informações impulsionou o surgimento da Indústria 4.0 — a Quarta Revolução Industrial — marcada pela comunicação inteligente entre máquinas, dados e processos (SCHWAB, 2016).

No entanto, a transformação digital não se limita à adoção de tecnologias, mas envolve uma mudança cultural que exige o engajamento de gestores, colaboradores e stakeholders (SCHWAB, 2016). O desafio é identificar processos a otimizar e, a partir disso, definir as tecnologias adequadas, entendendo que a transformação é uma necessidade estratégica para empresas de todos os portes e segmentos (SCHWAB, 2016).

## 2.1. Os Pilares da Transformação Digital

De acordo com o CESAR, a transformação digital é compreendida por oito dimensões que indicam o nível de maturidade digital das organizações (CESAR, 2024):

1. **Cultura e pessoas:** Refere-se à percepção e ao papel das pessoas diante das mudanças digitais, reconhecendo o ser humano como agente e instrumento dessas transformações na sociedade e nos negócios.
2. **Consumidores:** Destaca a transformação na relação com clientes, que exigem produtos customizáveis, disponíveis sob demanda e sempre conectados.
3. **Concorrência:** A tecnologia torna o cenário competitivo mais dinâmico e imprevisível, com concorrentes ágeis capazes de provocar rápidas mudanças no mercado.
4. **Inovação:** Fundamental para o sucesso, a inovação digital promove a cocriação e experimentação contínua, substituindo a criação isolada de produtos e serviços.
5. **Processos:** Os processos internos focam no usuário, possibilitando a otimização, automação e transformação organizacional por meio da tecnologia.
6. **Modelos de negócios:** Novas tecnologias impulsionam a criação e adaptação de modelos de negócio, essenciais para a sobrevivência e crescimento das empresas.
7. **Dados e ambientes regulatórios:** Os dados são cruciais para estratégias e decisões, exigindo atenção à privacidade, segurança e direitos intelectuais.
8. **Tecnologias habilitadoras:** Tecnologias como IoT, Inteligência Artificial e Big Data são a base da transformação digital, acelerando processos e conferindo vantagens competitivas.

## 2.2. O que é a industria 4.0?

A Primeira Revolução Industrial, no final do século XVIII, iniciou a transição da produção artesanal para processos mecanizados, elevando a produtividade e mudando a economia e o cotidiano (SCHWAB, 2016). Desde então, o avanço das Tecnologias da Informação e sua integração à indústria trouxeram ganhos em produtividade, qualidade e custo-benefício (SCHWAB, 2016).

Nesse contexto surge a Indústria 4.0 — a Quarta Revolução Industrial — apresentada na Feira de Hannover em 2013 pela iniciativa alemã “Industrie 4.0” (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). O conceito baseia-se nos Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS), que integram máquinas, armazenamento e produção por meio da Internet das Coisas (IoT), permitindo comunicação autônoma, ajustes em tempo real e processos mais ágeis (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A mineração também incorpora essas tecnologias: sensores inteligentes coletem dados estratégicos, enquanto geomodelagem, manutenção preditiva e agendamento dinâmico otimizam decisões operacionais (JAZIDA, 2023). Veículos autônomos, drones e varredura a laser aprimoram a segurança, reduzem custos e aumentam a previsibilidade na gestão de recursos minerais (JAZIDA, 2023).

## 2.3. A região em estudo: O Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero, localizado na região central de Minas Gerais, é uma das mais importantes províncias minerais do Brasil e do mundo, sendo responsável por uma expressiva parcela da produção nacional de minério de ferro (Wikipedia, 2024). Abriga

grandes operações de mineração, como a Mina Fábrica e a Mina Viga, da Vale; a Mina Casa de Pedra, da CSN Mineração; e o Complexo de Miguel Burnier e Alto Paraopeba, operado pela Gerdau Mineração. Essa região destaca-se não apenas pela abundância de recursos minerais, mas também pelo protagonismo na adoção de tecnologias da Indústria 4.0. A Figura 1 apresenta a localização do Quadrilátero Ferrífero no estado de Minas Gerais, englobando as cidades onde se situam as empresas citadas neste trabalho.



**Figure 1. Localização do Quadrilátero Ferrífero**

As empresas instaladas no Quadrilátero Ferrífero têm investido fortemente em automação, inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT), manutenção preditiva e sistemas de gestão integrados, com o objetivo de aumentar a eficiência operacional, garantir maior segurança aos trabalhadores e reduzir impactos ambientais.

Esses investimentos refletem uma tendência global de modernização do setor mineral, mas, no caso brasileiro, também respondem a pressões locais por maior controle de riscos e sustentabilidade após eventos críticos envolvendo barragens (FRANCISCO, 2019). Assim, o cenário atual revela uma mineração cada vez mais digitalizada, orientada por dados e comprometida com a responsabilidade socioambiental (FRANCISCO, 2019).

#### 2.4. Transformação Digital no Controle Orçamentário

Segundo estudo da Universidade Federal da Paraíba, em cenários competitivos, decisões entre investir em ativos imobilizados (CAPEX) ou contratar serviços e locar equipamentos (OPEX) são frequentes (CAVALCANTE, 2017). O CAPEX corresponde a investimentos em bens de capital, como máquinas e infraestrutura, enquanto o OPEX refere-se às despesas operacionais para manutenção das atividades, como serviços e manutenções (XP, 2025).

No setor de mineração, a digitalização do controle orçamentário traz diversos benefícios importantes (SANKHYA, 2025):

- 1. Eficiência operacional:** Automação e integração reduzem tarefas manuais, aumentando produtividade e reduzindo custos.

2. **Tomada de decisão baseada em dados:** Análises avançadas permitem previsões orçamentárias mais precisas e decisões estratégicas fundamentadas.
3. **Maior precisão e redução de erros:** Processos automatizados diminuem erros humanos, garantindo relatórios financeiros confiáveis.
4. **Visibilidade e transparência:** Ferramentas de BI e sistemas integrados fornecem dados em tempo real, facilitando auditorias e controle.

Entretanto, desafios persistem na digitalização do controle orçamentário (SANKHYA, 2025):

1. Integração de sistemas diversos, que pode gerar dados desconexos e dificultar a gestão.
2. Resistência cultural à adoção de novas tecnologias, demandando capacitação e engajamento.
3. Elevado investimento inicial para implementação de sistemas ERP e ferramentas de BI.
4. Segurança e privacidade dos dados, exigindo investimentos em proteção contra ameaças cibernéticas.

Para aprimorar a gestão financeira, a transformação digital utiliza ferramentas específicas (RME Consulting, 2024; SAP, 2025; TURBAN et al., 2018):

- **Sistemas ERP:** Integram departamentos como finanças, compras e produção, possibilitando gestão eficiente de OPEX e CAPEX, além de relatórios orçamentários em tempo real. Na empresa em análise, utiliza-se o SAP (SAP, 2025).
- **Business Intelligence (BI):** Ferramentas como QlikSense, Power BI e Tableau analisam grandes volumes de dados financeiros, gerando dashboards interativos que facilitam decisões embasadas. O QlikSense é adotado na referida empresa (SALESFORCE, 2025).

Essas tecnologias melhoram a precisão, velocidade, flexibilidade e integração entre setores, promovendo colaboração e transparência no controle orçamentário.

### 3. Trabalhos Relacionados

Diversos estudos discutem os impactos da transformação digital em diferentes setores industriais. Esta seção destaca pesquisas que embasam a análise deste trabalho e ajudam a identificar lacunas na literatura.

Um estudo da UFOP mostra como a digitalização impacta o setor de suprimentos, considerado estratégico em grandes indústrias. Em um estudo de caso no setor de alumínio e mineração, o autor evidenciou ganhos como maior eficiência, redução de tarefas operacionais e apoio à tomada de decisão com dados. Ressaltou ainda o uso de ferramentas como e-Procurement, BI, RPA e ERP, além das competências 4.0, como análise de dados e decisões estratégicas (LEMOS, 2020).

Outro artigo, da revista RPD Produção e Desenvolvimento, discute desafios para a Indústria 4.0, como a mudança de mentalidade e a desconfiança frente a inovações, destacando a importância da colaboração entre academia, governo e profissionais da indústria para o sucesso da digitalização (SANTOS, 2018).

No setor público, estudo publicado na revista do TCU aponta que a transformação digital demanda capacitação e mudança de cultura, enfatizando a comunicação como fator essencial (MONTEIRO, 2017).

Na mineração, pesquisa da Universidade Federal de Uberlândia analisa riscos da digitalização, como segurança da informação, uso de dados e dependência de tecnologias desenvolvidas por fornecedores externos, o que pode afetar o retorno financeiro de longo prazo (NETO, 2020).

Diferente desses estudos, este trabalho foca nas oportunidades de melhoria da gestão orçamentária na CSN, propondo soluções práticas para fortalecer a governança, a eficiência e a confiabilidade das informações internas.

#### 4. A CSN e a Transformação Digital

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), uma das maiores mineradoras do Brasil — com uma produção de 42,010 milhões de toneladas de minério de ferro e lucro líquido de R\$ 4,5 bilhões em 2024 — tem demonstrado um compromisso crescente com a transformação digital e a adoção das práticas da Indústria 4.0. Conforme a linha do tempo apresentada na Figura 2, desde 2018 a empresa vem trilhando um caminho rumo à transformação digital (CSN, 2024).



**Figure 2. Linha do Tempo CSN**

Em 2018, a CSN criou a plataforma CSN Inova para se posicionar estratégicamente no ecossistema nacional de inovação, com foco em governança ambiental, social e corporativa (ESG) (CSN, 2024).

Por meio da CSN Inova Ventures, a companhia investe em startups voltadas à digitalização, automação e sustentabilidade, além de incentivar colaboradores a propor soluções alinhadas aos desafios da indústria (CSN, 2024). Seus pilares estratégicos incluem descarbonização, ciência de dados, economia circular e uso de tecnologias como sensoriamento remoto, automação e análise avançada (CSN, 2024).

Apesar desses avanços, ainda há desafios, principalmente relacionados à cultura organizacional e à capacitação digital — pontos em que concorrentes como a Vale demonstram maior maturidade (CSN, 2024).

A Vale, maior produtora de minério de ferro do mundo, iniciou sua transformação digital em 2016, estruturada em quatro pilares: Analytics, sistemas integrados,

robotização e equipamentos autônomos. Adota tecnologias como IoT, IA, Machine Learning, Advanced Analytics e apps móveis (JAZIDA, 2023).

Desde 2018, opera equipamentos autônomos em minas como Brucutu (MG), somando 72 unidades, entre caminhões, perfuratrizes e máquinas de pátio, o que garante mais eficiência, segurança e sustentabilidade (JAZIDA, 2023).

Já a Gerdau, siderúrgica centenária com atuação em sete países, avança na transformação digital desde 2014, com forte investimento em automação, inovação e digitalização de processos (LAUTERJUNG, 2025). Sua arquitetura tecnológica é baseada em soluções SAP, que integra recrutamento, onboarding, desempenho e movimentações internas, eliminando tarefas manuais e aumentando agilidade e transparência (LAUTERJUNG, 2025).

Assim, as três empresas figuram entre as maiores da região, mas em estágios diferentes: a Vale lidera com foco operacional consolidado; a CSN aposta na inovação aberta, mas enfrenta desafios internos; enquanto a Gerdau se destaca pela maturidade digital em processos organizacionais e de gestão.

#### **4.1. Integração Vertical dos Sistemas na CSN**

Na CSN, a transformação digital avança de forma vertical, conectando níveis operacionais, técnicos e estratégicos por meio de uma pirâmide de sistemas que promove eficiência, padronização e inteligência na gestão.

Na base, ferramentas operacionais como o Microsoft Excel apoiam a compilação e análise de dados, mas têm limitações de escalabilidade e integração em ambientes complexos (LAUDON; LAUDON, 2021). No nível intermediário, plataformas de Business Intelligence, como Qlik Sense e PI Vision, transformam grandes volumes de dados em informações visuais para decisões mais ágeis (TURBAN et al., 2018).

No topo, sistemas ERP como o SAP — com módulos de manutenção (PM), materiais (MM) e finanças (FI) — formam o núcleo corporativo, automatizando processos críticos e garantindo rastreabilidade e decisões baseadas em dados confiáveis (SAP, 2025).

Este trabalho contribui para fortalecer essa integração vertical ao mapear desconexões e propor melhorias para integrar dados de OPEX e CAPEX, alinhado ao conceito da Indústria 4.0 de conectar sensores, sistemas e pessoas em uma arquitetura digital unificada (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Assim, as melhorias propostas apoiam a redução de erros manuais, mitigam re-trabalhos e aumentam a assertividade das análises, reforçando a governança corporativa, a eficiência operacional e a sustentabilidade digital — princípios fundamentais para a competitividade e inovação no setor mineral (SCHWAB, 2016).

#### **4.2. Coleta de Dados**

Este trabalho é uma pesquisa aplicada, de natureza exploratória, com abordagem qualitativa e quantitativa, voltada a compreender as implicações da digitalização no controle orçamentário na mineração.

A pesquisa aplicada busca aplicar conceitos teóricos a problemas práticos, enquanto o caráter exploratório investiga um tema ainda pouco discutido, ampliando o en-

tendimento sobre como as empresas do setor utilizam tecnologias para otimizar processos financeiros.

A combinação de métodos qualitativo e quantitativo, conforme recomendado por Gil (GIL, 2019), possibilitou uma análise abrangente das percepções, experiências e desafios de profissionais do controle orçamentário. A coleta de dados envolveu pesquisa bibliográfica, entrevistas e questionários, permitindo levantar fatores que influenciam a adoção da transformação digital na área.

- Pesquisa Bibliográfica: A revisão da literatura foi realizada com o intuito de embasar teoricamente o estudo, buscando compreender os conceitos e as melhores práticas sobre transformação digital, ERP, automação, Business Intelligence (BI), RPA e o impacto dessas tecnologias no controle orçamentário. A pesquisa bibliográfica foi essencial para fornecer um contexto teórico e histórico sobre o tema e suas aplicações no setor de mineração.
- Pesquisa de Campo: A pesquisa de campo envolveu a aplicação de questionários e entrevistas com profissionais da área de controle orçamentário em empresas do setor de mineração. O objetivo foi coletar dados sobre as experiências desses profissionais com a digitalização, suas percepções sobre as ferramentas utilizadas, os principais desafios enfrentados e os benefícios percebidos. Os questionários foram enviados a um grupo seletivo de analistas financeiros e gestores de orçamento, com a finalidade de obter um panorama abrangente da situação atual.

Os questionários aplicados continham perguntas fechadas e abertas, possibilitando a coleta de dados quantitativos e qualitativos. As entrevistas semiestruturadas permitiram que os participantes detalhassem suas opiniões e experiências.

Os temas abordados enfocaram o papel dos colaboradores no controle orçamentário, as ferramentas e sistemas utilizados para gerenciar OPEX e CAPEX, frequência de uso, dificuldades enfrentadas, processos passíveis de automação, impactos da falta de integração entre setores, prioridades para melhorias nos sistemas, necessidades de acesso a informações e relatórios, percepção sobre a adoção de novas tecnologias, desafios na adaptação aos sistemas digitais, além de sugestões para capacitação e funcionalidades desejadas. O formulário completo com as questões aplicadas está disponível em: [⟨https://forms.cloud.microsoft/r/bvKi6ExSZz⟩](https://forms.cloud.microsoft/r/bvKi6ExSZz).

#### **4.3. Análise**

A análise dos dados foi realizada com base em dois enfoques: quantitativo e qualitativo.

1. Análise Quantitativa: Os dados quantitativos coletados por meio dos questionários serão analisados utilizando técnicas estatísticas básicas, como a análise de frequência e a distribuição de respostas. A ideia é identificar padrões e tendências nas respostas dos participantes, possibilitando uma visão geral dos desafios e das soluções adotadas pelas empresas do setor de mineração.
2. Análise Qualitativa: Para os dados qualitativos, provenientes das respostas abertas dos questionários e das entrevistas, será utilizada a técnica de análise de conteúdo. Esta abordagem permite categorizar e interpretar as informações de forma a identificar os principais temas relacionados à transformação digital no controle orçamentário, como as barreiras à implementação das tecnologias, as

vantagens percebidas pelos profissionais e as melhorias esperadas. A análise de conteúdo será realizada por meio da codificação das respostas, agrupando-as em categorias e temas centrais.

3. A combinação dessas abordagens permitirá uma compreensão mais rica e abrangente do impacto da transformação digital no controle orçamentário, além de possibilitar uma avaliação crítica das práticas atuais e das oportunidades de melhoria no setor.

#### **4.4. Discussão dos Resultados**

A análise dos dados coletados junto aos colaboradores evidenciou pontos críticos no controle orçamentário, além de percepções sobre as ferramentas e sugestões de melhoria.

Os resultados indicam que a transformação digital na CSN está em estágio intermediário: há ferramentas implementadas, mas persistem gargalos, principalmente na integração de sistemas e na capacitação das equipes. Superar essas barreiras pode consolidar uma gestão orçamentária mais estratégica, automatizada e orientada por dados.

Entre as principais dificuldades destacadas está a falta de integração entre sistemas como SAP, Excel e Qlik Sense, apontada pela maioria dos participantes. Essa desconexão dificulta uma visão consolidada das informações, aumenta o tempo de geração de relatórios e favorece inconsistências.

Além disso, foram relatados erros frequentes nos dados e processos, especialmente por analistas de OPEX e CAPEX, que lidam com altos volumes de informações e baixa padronização entre sistemas. A falta de integração entre setores também contribui para divergências nos dados financeiros, impactando a qualidade das análises e exigindo retrabalhos.

#### **4.5. Percepção dos colaboradores sobre as ferramentas utilizadas**

Com relação às ferramentas atualmente utilizadas pelos colaboradores, houve uma divisão nas percepções. Algumas das principais observações incluem:

- Benefícios percebidos: Muitos colaboradores destacaram que o uso de ferramentas como Qlik Sense e SAP facilita a análise e consolidação de dados, especialmente quando há integração entre os sistemas. A possibilidade de visualizar informações em dashboards foi apontada como um recurso positivo, com a capacidade de gerar relatórios mais rápidos e de fácil leitura.
- Dificuldades de uso: Apesar dos benefícios, muitos colaboradores mencionaram a complexidade da interface de algumas ferramentas, como o Qlik Sense, que exige conhecimentos específicos em lógica de programação, além da falta de treinamentos adequados. O uso de planilhas despadronizadas também foi mencionado como um ponto negativo, especialmente para quem lida com grandes volumes de dados que necessitam de uma análise mais detalhada. Necessidade de mais funcionalidades: Várias respostas indicaram que seria benéfico ter mais funcionalidades de automação no processo de controle orçamentário.

#### **4.6. Oportunidade de Melhorias**

Com base nas dificuldades e percepções dos colaboradores, foram identificadas cinco oportunidades principais de melhoria para o controle orçamentário.

Primeiro, é essencial investir em soluções que integrem melhor plataformas como SAP, Qlik Sense e Excel, reduzindo erros, otimizando relatórios e consolidando dados de forma mais precisa. Em segundo lugar, ampliar a automação de processos pode diminuir o tempo gasto com tarefas repetitivas e manuais, aumentando a agilidade e a precisão das análises.

Outro ponto crítico é oferecer capacitação contínua, com treinamentos práticos voltados ao uso eficiente das ferramentas, especialmente de Business Intelligence, como o Qlik Sense, fortalecendo a confiança dos colaboradores.

Também se destaca a necessidade de desenvolver dashboards mais claros e intuitivos, facilitando a interpretação das informações financeiras e incentivando o uso das ferramentas digitais. Por fim, padronizar os dados financeiros e orçamentários, por meio de processos e templates uniformes, pode melhorar a consistência e confiabilidade das informações.

## **5. Prova de conceito: Integração entre SAP e Qlik Sense na Gestão de Estoques**

Como forma de validar os conceitos discutidos ao longo deste trabalho, foi realizada uma prova de conceito com base em um painel desenvolvido no Qlik Sense, voltado para a gestão de estoques de materiais sob demanda e itens de reposição regular.

O painel é alimentado por dados extraídos automaticamente do sistema SAP, promovendo um fluxo contínuo de informações entre as áreas de planejamento, manutenção, suprimentos e custos. A integração entre o SAP e o Qlik Sense foi viabilizada com o apoio de um consultor especializado em SAP ABAP, que mapeou os campos e transações relevantes no ERP.

A partir desse levantamento, foi criada uma tabela com os nomes técnicos das colunas, posteriormente repassada à equipe de TI responsável por realizar a extração automatizada dos dados.

A atualização ocorre por meio de uma ferramenta interna denominada “No Informática”, que executa cargas diárias para alimentar a tabela denominada “wvcargamateriais”, que contém os dados do estoque extraídos do SAP e acessada no Qlik por meio de scripts. Embora o tipo exato de conector utilizado não tenha sido identificado, presume-se o uso de ferramentas de ETL ou conectores intermediários compatíveis com SAP.

A atualização dos dados ocorre diariamente às 2h da manhã, garantindo que os usuários tenham acesso às informações mais recentes logo no início da jornada de trabalho. No ambiente Qlik, o script de carga realiza filtros por centro de custo, planejadores e estratégias de MRP, de forma a organizar os dados para análise por área ou perfil de usuário.

Conforme apresentado na Figura 3. O painel apresenta indicadores-chave como valor total dos itens em estoque (canto superior esquerdo), status do MRP (primeiro gráfico à esquerda), identificador do planejador e área responsável (gráfico central). Essas informações são fundamentais para a identificação de itens críticos, estoques acima do necessário (overstock) e para apoiar a decisão de reposição ou replanejamento de compras.

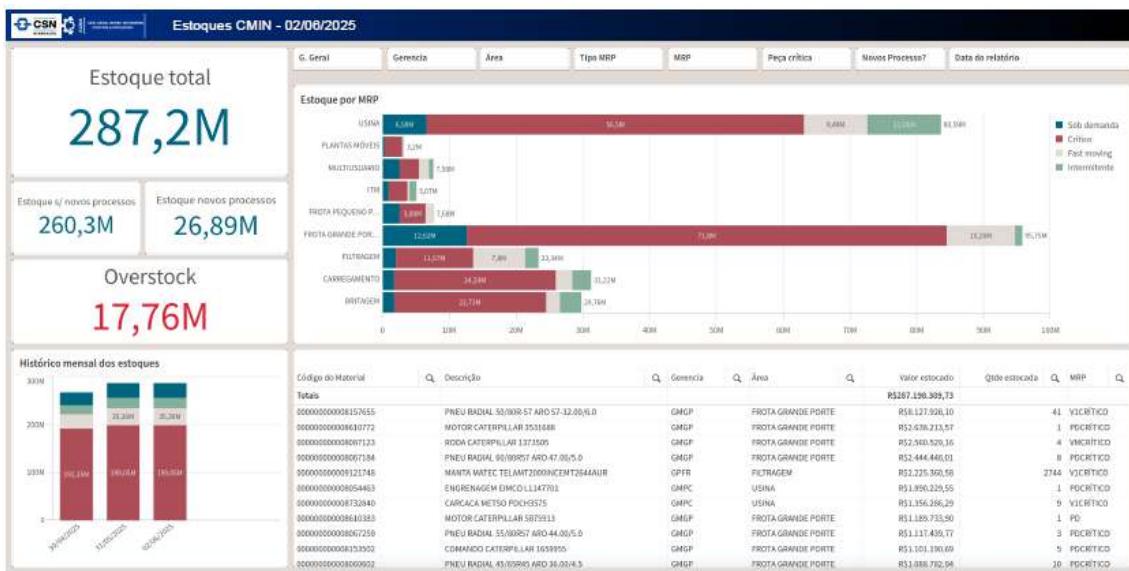


Figure 3. Painel de estoques críticos no QlikSense

Antes da implantação do painel, o processo era consideravelmente mais manual e sujeito a falhas. Os dados precisavam ser extraídos do SAP, sendo posteriormente enviados por e-mail às áreas interessadas. Esse fluxo implicava risco elevado de inconsistências, duplicidade de informações e baixo nível de visualização, além de sobrecarregar os usuários com grande volume de dados não filtrados, como pode-se observar na Figura 4.

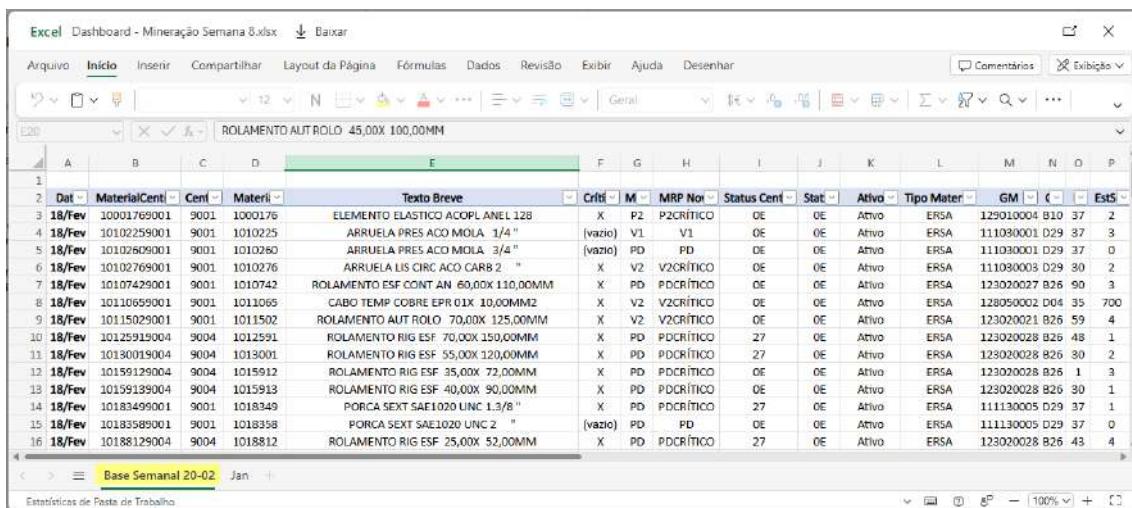


Figure 4. Dados não filtrados em Excel e grande quantidade de informações

Segundo a engenheira de planejamento Kesia Vieira, “a principal melhoria observada com o painel foi a agilidade na análise de itens, possibilitando melhor visibilidade dos estoques críticos e overstock, o que favorece a redução de custos e a tomada de decisão proativa”. Já Cesar Leal, responsável pela ideia e estruturação da automação, destaca que o maior ganho foi a redução do tempo de extração de dados e a melhoria significativa na visualização, tornando o processo mais confiável e acessível.

Os principais usuários do painel são coordenadores de planejamento e manutenção, engenheiros, técnicos de materiais, analistas de custos e gerentes. A ferramenta tem sido utilizada tanto em decisões operacionais diárias quanto em análises estratégicas, especialmente relacionadas à redução de estoques e desempenho das áreas.

Em termos de escalabilidade, o projeto já prevê a ampliação para outros setores. Segundo a coordenação de controle integrado que realiza a consolidação estratégica de dados do Beneficiamento de minério, há 15 novas transações SAP mapeadas, e o próximo passo será a integração do relatório de custos da área, com foco na análise de custos por tonelada produzida (R\$ /t) e gastos sem depreciação.

Esse tipo de análise permitirá maior transparência e controle do orçamento operacional (OPEX) da área produtiva. Também há planos para evoluir o painel com gatilhos automáticos de alertas, como o envio de e-mails para responsáveis quando um item atinge condição de overstock ou apresenta risco de falta crítica no processo.

No entanto, a principal limitação atual está na dependência da equipe de TI para criação das conexões com o SAP, o que torna o processo lento e dependente da priorização institucional. Segundo Leal, “a falta de acesso da equipe de planejamento às ferramentas de integração impede avanços mais ágeis na digitalização. Uma solução possível seria criar uma equipe dedicada à excelência operacional ou à integração de dados, capaz de desenvolver novos relatórios com agilidade”.

Essas observações se conectam diretamente com as oportunidades de melhoria apontadas anteriormente neste trabalho, entre elas: a necessidade de reduzir a dependência de setores específicos da TI, promover capacitação técnica dos usuários finais em ferramentas de BI e scripts, além de ampliar a integração sistêmica entre SAP, Qlik e demais fontes de dados. A prova de conceito comprova que a transformação digital no controle orçamentário é viável, traz resultados concretos e pode ser expandida para gerar ainda mais valor à organização.

## 6. Conclusão

Este estudo evidencia que a falta de integração entre sistemas e a ausência de processos automatizados ainda comprometem a eficiência do controle orçamentário na mineração. A pesquisa demonstrou que, embora a transformação digital ofereça soluções para esses gargalos, sua adoção enfrenta barreiras relevantes, como resistência à mudança organizacional, baixa capacitação técnica e a fragmentação de sistemas legados.

Entre os principais ganhos identificados estão a redução de tarefas manuais, a melhoria na qualidade dos dados financeiros, o aumento da assertividade na tomada de decisão e o fortalecimento da governança da informação, trazendo mais agilidade e transparência aos processos de controle de OPEX e CAPEX.

Contudo, superar os desafios exige uma abordagem estruturada: recomenda-se iniciar por ações de capacitação e conscientização dos colaboradores no curto prazo, seguidas de investimentos graduais em integração de sistemas e automação inteligente no médio e longo prazos. A digitalização deve ser tratada não apenas como um projeto de tecnologia, mas como uma estratégia corporativa e cultural, exigindo o alinhamento entre liderança, equipes operacionais e áreas de tecnologia.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se aprofundar análises com-

parativas entre diferentes empresas do setor mineral para mapear boas práticas de transformação digital, além de explorar o potencial de tecnologias emergentes — como Inteligência Artificial, Machine Learning e Big Data Analytics — para previsão orçamentária, análise de custos e otimização de estoques. Também é relevante investigar modelos de capacitação contínua e estratégias de gestão de mudança para ampliar a aderência cultural e garantir a sustentabilidade digital em toda a cadeia de valor.

Quando corretamente implementada e absorvida pela cultura organizacional, a transformação digital deixa de ser apenas uma iniciativa de TI para se consolidar como um diferencial competitivo fundamental na gestão financeira de empresas mineradoras.

## Referências

- CAVALCANTE, N. G. L. *Processo de rotina de acompanhamento de projetos CAPEX em um hospital particular da Paraíba*. [S.1.]: Repositório UFOP, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13422/1/NGLC05122017.pdf>>.
- CESAR. *Transformação Digital: O que é e como impacta o mundo atual*. 2024. Disponível em: <<https://www.cesar.org.br/w/transformacao-digital-o-que-e-e-como-impacta-o-mundo-atual>>.
- CSN. *Inovação e Transformação Digital na CSN*. 2024. Disponível em: <<https://esg.csn.com.br/inovacao/>>.
- FRANCISCO, W. d. C. *Quadrilátero Ferrífero*. 2019. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/geografia/quadrilatero-ferrifero.htm/>>.
- GIL, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*). [S.1.]: Editora Atlas, 2019. Disponível em: <<https://ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9nicas-de-pesquisa-social.pdf>>.
- JAZIDA, B. *Indústria 4.0: A Transformação Digital Na Mineração*. 2023. Disponível em: <<https://blog.jazida.com/industria-4-0-a-transformacao-digital-na-mineracao-2/>>.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. 2013. Disponível em: <<https://www.din.org/en/innovation-and-research/industrie-40>>.
- LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. *Sistemas de Informação Gerenciais*. 16. ed. [S.1.]: Pearson, 2021. Disponível em: <[https://www.academia.edu/44235191/Sistemas\\_de\\_Informa%C3%A7%C3%A3o\\_Gerenciais\\_11a\\_Edi%C3%A7%C3%A3o\\_Kenneth\\_Jane\\_Laudon\\_1](https://www.academia.edu/44235191/Sistemas_de_Informa%C3%A7%C3%A3o_Gerenciais_11a_Edi%C3%A7%C3%A3o_Kenneth_Jane_Laudon_1)>.
- LAUTERJUNG, B. *Gerdau detalha sua jornada de transformação digital e uso de IA na indústria do aço*. 2025. Disponível em: <<https://tiinside.com.br/10/04/2025/gerdau-detalha-sua-jornada-de-transformacao-digital-e-uso-de-ia-na-industria-do-acos>>.
- LEMOS, D. A. M. *A Transformação Digital no setor de suprimentos: Um estudo de caso da indústria de alumínio e mineração*. [S.1.]: Repositório UFOP, 2020. Disponível em: <[https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4664/1/MONOGRAFIA\\_Transforma%C3%A7%C3%A3oDigitalSetor.pdf](https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4664/1/MONOGRAFIA_Transforma%C3%A7%C3%A3oDigitalSetor.pdf)>.

- MONTEIRO, L. F. *Desafios para a transformação digital no setor público brasileiro*. [S.I.]: REVISTA DO TCU, Brasília - DF, 2017. Disponível em: <<https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/1662/1810>>.
- NETO, E. D. C. *Os impactos da Indústria 4.0 na mineração Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas)*. [S.I.]: Universidade Federal de Uberlândia, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28296>>.
- PEIXOTO, E. *Transformação Digital – uma jornada possível*. [S.I.]: Jandaira, 2021. Amostra disponível em: <https://pt.everand.com/read/521919272/Transformacao-Digital-Uma-jornada-possivel/>.
- PwC Brasil. *Índice de Transformação Digital Brasil*. 2023. Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/estudos/servicos/consultoria-negocios/indice-transformacao-digital-brasil/2023/Indice-Trasformacao-Digital-Brasil-2023.pdf>>.
- REVIEW, M. S. *Sem mexer na cultura, não há transformação digital*. 2025. Disponível em: <<https://mitsloanreview.com.br/sem-mexer-na-cultura-nao-ha-transformacao-digital/>>.
- RME Consulting. *Impacto da transformação digital na gestão financeira*. 2024. Disponível em: <<https://rmeconsulting.com.br/geral/impacto-transformacao-digital-gestao-financeira-empresarial/>>.
- SALESFORCE, T. *O que é Business Intelligence? E por que ele é importante?* 2025. Disponível em: <<https://www.tableau.com/pt-br/learn/articles/business-intelligence>>.
- SANKHYA. *Quais os benefícios da Digitalização de processos?* 2025. Disponível em: <<https://www.sankhya.com.br/blog/digitalizacao-de-processos/>>.
- SANTOS, B. *Industria 4.0: Desafios e oportunidades*. [S.I.]: Revista Produção e Desenvolvimento, 2018. Disponível em: <[http://researchgate.net/publication/325060590\\_INDUSTRIA\\_40\\_DESAFIOS\\_E\\_OPORTUNIDADES](http://researchgate.net/publication/325060590_INDUSTRIA_40_DESAFIOS_E_OPORTUNIDADES)>.
- SAP. *O que é ERP?* 2025. Disponível em: <<https://www.sap.com/brazil/products/erp/what-is-erp.html#:~:text=Um%20sistema%20ERP%20consiste%20em,que%20eles%20falem%20entre%20si.>>
- SCHOOL, F. B. *Transformação digital: o que é e importância para a atualidade*. 2025. Disponível em: <<https://fia.com.br/blog/transformacao-digital/>>.
- SCHWAB, K. *A Quarta Revolução Industrial*. [S.I.]: Edipro, 2016. Disponível em: <<https://ria.ufrn.br/jspui/handle/123456789/1826>>.
- TURBAN, E. et al. *Business Intelligence: A Managerial Perspective on Analytics*. 4. ed. [S.I.]: Pearson, 2018. Disponível em: <<https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>>.
- Wikipedia. *Quadrilátero Ferrífero*. 2024. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Quadril%C3%A1tero\\_Ferr%C3%ADfero](https://pt.wikipedia.org/wiki/Quadril%C3%A1tero_Ferr%C3%ADfero)>.
- XP, B. *O que é CAPEX e OPEX?* 2025. Disponível em: <<https://conteudos.xpi.com.br/aprenda-a-investir/relatorios/opex-e-capex/>>.

# Mais Funcional, Mais Intuitivo: O Repositionamento Visual de um App Técnico no Setor Agrícola

Eduardo Alessandro Santana de Melo<sup>1</sup>, Saulo Henrique Cabral Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) - Campus Ouro Branco  
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

0064099@academico.ifmg.edu.br, saulo.cabral@ifmg.edu.br

**Resumo.** Este trabalho propõe melhorias na interface de um aplicativo de cálculos psicrométricos, utilizado no monitoramento das condições ambientais ideais em atividades do agronegócio e processos industriais. Com o objetivo de tornar o aplicativo mais intuitivo e funcional, adotou-se uma abordagem quantitativa, aplicando o questionário System Usability Scale (SUS) aos usuários antes e depois das modificações. As respostas obtidas serviram de base para orientar as intervenções no aplicativo. Os resultados da avaliação SUS evidenciaram uma significativa melhoria na usabilidade do aplicativo, com aumento de 17,36 pontos (de 72,28 para 89,64). A interface redesenhada alcançou classificação "excelente" comparada ao nível "aceitável" da versão anterior.

**Palavras-chave:** Agronegócio, Aplicativos Móveis, Armazenamento de Grãos, Cálculos Psicrométricos, Usabilidade

**Abstract.** This study proposes improvements to the interface of a psychrometric calculations application used to monitor ideal environmental conditions in agribusiness activities and industrial processes. Aiming to make the application more intuitive and functional, a quantitative approach was adopted by applying the System Usability Scale (SUS) questionnaire to users before and after the modifications. The responses collected served as the basis for guiding the interventions in the application. The SUS evaluation results showed a significant improvement in the application's usability, with an increase of 17.36 points (from 72.28 to 89.64). The redesigned interface achieved an "excellent" rating compared to the "acceptable" level of the previous version.

**Keywords:** Agribusiness, Grain Storage, Mobile Applications, Psychrometric Calculations, Usability

## 1. Introdução

O agronegócio tem desempenhado um papel crucial no crescimento e desenvolvimento do Brasil nos últimos anos, sendo fundamental para manter o saldo positivo da balança comercial do país. Entre os produtos agrícolas, os grãos se destacam, com a soja, o milho e o café liderando a produção [CNA 2024]. Para a safra **2024/25**, a Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB 2025], estima uma produção de **330,3 milhões** de toneladas, o que representa um acréscimo de **32,6 milhões** de toneladas em relação ao ciclo anterior, configurando o **recorde histórico** da série. Com esse crescimento expressivo, destaca-se a necessidade de instalações de armazenagem mais eficientes, capazes de preservar a qualidade dos grãos e reduzir perdas pós-colheita.

Segundo Smiderle et al. [2009], o armazenamento adequado dos grãos é fundamental para preservar a qualidade do material colhido, especialmente considerando que as sementes, mesmo após a colheita, continuam respirando. Esse processo respiratório consome reservas de energia, e fatores como impacto físico, temperatura e umidade podem intensificá-lo, comprometendo a qualidade do produto. O cuidado técnico no beneficiamento e controle de qualidade é perdido se o armazenamento não é realizado de forma criteriosa. Assim, garantir condições ideais de armazenamento é essencial para minimizar a respiração das sementes, preservando seu potencial produtivo e valor comercial.

Nesse contexto, Lopes et al. [2008] enfatizam a importância de conhecer as condições de umidade do ar para diversas atividades humanas, como a secagem, o armazenamento e o processamento de grãos. Esse conhecimento é essencial para evitar perdas no armazenamento, pois a alta umidade dos grãos acelera a autodecomposição, favorece microrganismos e pragas, além de desencadear reações químicas, como a oxidação de lipídios e a degradação de proteínas, comprometendo sua qualidade, valor nutritivo e reduzindo seu valor comercial. A conservação adequada por meio do controle da umidade preserva a integridade dos grãos, garantindo sua viabilidade para consumo e comercialização [Elias 2003].

De acordo com Melo et al. [2004], determinar as propriedades psicrométricas do ar é uma atividade comum para muitos profissionais da área agrícola, especialmente aqueles envolvidos em processos como secagem e armazenagem de produtos agrícolas ou em tarefas que exigem o monitoramento e controle das condições ambientais. Geralmente, o engenheiro dispõe da temperatura de bulbo seco (Tbs) junto com outro parâmetro psicrométrico do ar, que pode ser a temperatura de bulbo molhado (Tbm), umidade relativa (UR) ou temperatura de ponto de orvalho (Tpo). Com esses dados, é possível calcular outras propriedades do ar, como entalpia, razão de mistura, grau de saturação, volume específico e pressão de vapor d'água.

Dado que a determinação dessas propriedades envolve cálculos complexos, torna-se necessário o uso de um programa computacional que automatize os cálculos e agilize a análise [Melo et al. 2004]. No entanto, para que essa automação seja eficaz, é fundamental que o software desenvolvido apresente uma boa usabilidade, visto que essa integra um conjunto de atributos que reflete tanto o esforço necessário para utilizar o programa quanto a percepção individual dos usuários sobre essa experiência [Sperandio 2017]. Se o sistema apresenta baixa usabilidade e dificulta o alcance de objetivos, há uma tendência de que ele seja rapidamente substituído por uma alternativa mais amigável assim que o público-alvo tomar conhecimento de sua existência [Mendes et al. 2006].

Dessa forma, o presente trabalho propõe a implementação de melhorias em um aplicativo de cálculo psicrométrico já existente, intitulado GRAPSIDROID, que atualmente contabiliza mais de 10 mil downloads na loja de aplicativos móveis Google Play. As melhorias visam modernizar sua interface, tornando a interação mais intuitiva e eficiente para os usuários. Além de atualizar o design, busca-se otimizar a usabilidade e a acessibilidade da ferramenta, garantindo uma experiência mais satisfatória. Nas próximas seções, serão detalhados o processo de reescrita do aplicativo, as escolhas metodológicas adotadas e os resultados de usabilidade alcançados com a nova versão da aplicação.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1. Armazenamento de grãos

O armazenamento de grãos representa a etapa conclusiva da cadeia produtiva agrícola e é essencial para garantir a conservação da qualidade dos produtos desde a colheita até sua comercialização. Durante esse processo, condições ambientais inadequadas, como altas temperaturas, umidade relativa do ar acima dos padrões recomendados e presença de insetos-praga, podem criar um ambiente propício para o surgimento de fungos e a consequente produção de micotoxinas, elevando o risco de perdas qualitativas e quantitativas [Embrapa Milho e Sorgo 2014]. De acordo com estimativas, perdas de até 15% do volume total colhido podem ocorrer quando a armazenagem não segue os parâmetros adequados, especialmente devido à ação conjunta de pragas, fungos e contaminações por toxinas [Embrapa Milho e Sorgo 2015].

Os grãos, mesmo após colhidos, mantêm características de organismos vivos em dormência, o que exige condições adequadas de armazenagem para preservar sua viabilidade. Por serem higroscópicos e apresentarem baixa condutividade térmica, estão sujeitos a trocas constantes de calor e umidade com o ar do ambiente onde são armazenados. A manutenção de baixos teores de água é crucial para dificultar o desenvolvimento de pragas e microrganismos, sendo que a elevação da temperatura interna dos grãos pode acelerar a deterioração, tornando o monitoramento desses fatores indispensável [SENAR 2018].

O metabolismo dos grãos armazenados é influenciado diretamente pela umidade em equilíbrio higroscópico e pela temperatura do ambiente. Em condições desfavoráveis, o aumento da atividade respiratória pode favorecer o crescimento microbiano e o aparecimento de insetos, acelerando o processo de degradação da massa armazenada. Por isso, o controle rigoroso desses parâmetros é uma das principais estratégias para assegurar a qualidade da produção estocada [Elias 2003].

### 2.2. Psicrometria

O ar atmosférico é uma mistura complexa composta por gases permanentes, vapor de água e diversos contaminantes. Segundo Britto [2010], essa composição apresenta relativa estabilidade, sendo constituída por aproximadamente 78,1% de nitrogênio ( $N_2$ ), 20,9% de oxigênio ( $O_2$ ), 0,9% de argônio (Ar) e pequenas concentrações de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e outros componentes (cerca de 0,001%), podendo variar ligeiramente conforme a altitude e a localização geográfica. Quando o vapor de água e os contaminantes são removidos dessa mistura, obtém-se o chamado ar seco [Lopes et al. 2008].

A combinação entre ar seco e vapor de água é o foco da psicrometria, campo de estudo dedicado à análise das propriedades termodinâmicas do ar úmido [Simões-Moreira and Neto 2019]. Essa disciplina é fundamental em aplicações como sistemas de climatização, processos de secagem, armazenamento de produtos agrícolas, controle de conforto térmico e avaliação de condensação em superfícies frias.

### 2.3. Usabilidade em aplicações móveis

A usabilidade define-se como o grau de eficácia, eficiência e satisfação com que usuários específicos podem atingir objetivos específicos em um ambiente particular [ISO 2018]. [Nielsen 1994] estabeleceu cinco atributos fundamentais: facilidade de aprendizado, eficiência de uso, facilidade de memorização, baixa taxa de erros e satisfação subjetiva.

O crescimento exponencial do uso de dispositivos móveis impôs novos desafios à aplicação direta de heurísticas tradicionais. [Salvador and Araújo 2023] evidenciam que as avaliações de usabilidade em aplicações móveis estão sendo realizadas através da associação de diretrizes distintas, originando conjuntos de heurísticas mais específicos para o contexto móvel. Aspectos como telas reduzidas, interação por toque, mobilidade e ambientes dinâmicos exigem adaptações metodológicas [Alroobaea 2018].

Estudos recentes na área de desenvolvimento de aplicativos para agricultura demonstram que a inclusão do usuário final no processo de construção resulta em maior compreensão do domínio pelos desenvolvedores e identificação mais eficiente de problemas de usabilidade [Embrapa 2020]. Esta abordagem participativa é especialmente relevante para aplicações técnicas, onde o conhecimento específico do domínio é crucial para o sucesso da interface.

A diversidade de perfis de usuários exige interfaces centradas no usuário, considerando suas necessidades, limitações e objetivos específicos. Aplicações com boa usabilidade geram melhor retorno a médio e longo prazo, tanto na fidelização quanto na redução de custos com suporte técnico [Nielsen 1994].

## **2.4. System Usability Scale (SUS)**

O *System Usability Scale* (SUS) é um instrumento padronizado para avaliar a usabilidade de forma rápida e confiável, consistindo em um questionário de 10 itens com escala Likert de 5 pontos [Brooke 1996]. Sua estrutura, que alterna itens positivos e negativos para mitigar vieses, gera uma pontuação final de 0 a 100 [Brooke 2013]. O SUS destaca-se pela simplicidade, rapidez e independência tecnológica, sendo amplamente aplicável a diversas interfaces, incluindo aplicativos móveis [Tullis and Albert 2008].

A alta confiabilidade do método é demonstrada por estudos com alfa de Cronbach superior a 0,90, e sua eficácia em aplicativos móveis foi validada recentemente [Bangor et al. 2008, Joyce et al. 2016]. A interpretação dos resultados utiliza *benchmarks* que classificam as pontuações em faixas como "aceitável"(50-70) e "excelente"(acima de 85) [Bangor et al. 2008]. Recomenda-se complementar a análise quantitativa do SUS com feedback qualitativo para uma compreensão mais aprofundada da experiência do usuário [Tullis and Albert 2008].

## **2.5. Trabalhos relacionados**

### **2.5.1. GRAPSI**

O artigo “GRAPSI – Programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar” apresenta um software desenvolvido para facilitar a determinação dessas propriedades, essenciais na engenharia agrícola. Criado em Delphi, o GRAPSI combina cálculos complexos com uma interface gráfica simples, sendo compatível com computadores de baixo desempenho e acessível a um público mais amplo [Melo et al. 2004].

Entre suas principais funcionalidades, destacam-se a simulação de processos como aquecimento, resfriamento, umidificação adiabática e mistura de fluxos de ar, operações fundamentais para o controle ambiental em sistemas de secagem e armazenamento. O programa utiliza equações válidas para temperaturas entre -20°C e 110°C,

apresentando precisão satisfatória ao ser comparado com dados tabulados, especialmente em condições de saturação ao nível do mar [Melo et al. 2004].

### **2.5.2. PsyCalculator**

No contexto de cálculos psicrométricos automatizados, Silva et al. [2020], pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa (UFV), desenvolveram o software PsyCalculator, que se destaca pela capacidade de integrar a aquisição automática de dados de sensores com o cálculo em tempo real das propriedades psicrométricas do ar. O sistema utiliza sensores para medir diretamente a temperatura de bulbo seco e uma variável adicional, que pode ser temperatura de bulbo úmido, umidade relativa ou temperatura do ponto de orvalho, com transmissões via microcontrolador para o software, eliminando a necessidade de entrada manual de dados [Silva et al. 2020].

### **2.5.3. Análise Comparativa e Justificativa da Proposta**

A análise dos softwares GRAPSI [Melo et al. 2004] e PsyCalculator [Silva et al. 2020] revela uma clara lacuna de portabilidade, devido à restrição ao desktop e à dependência de hardware específico. Embora uma solução móvel supra essa necessidade de acesso, sua eficácia real está condicionada à usabilidade, pois sistemas pouco intuitivos são rapidamente abandonados [Mendes et al. 2006]. Portanto, este trabalho se justifica ao unir portabilidade a uma usabilidade otimizada para o contexto móvel [Salvador and Araújo 2023], garantindo uma solução que seja não apenas acessível, mas, acima de tudo, intuitiva e funcional.

## **2.6. Caracterização da Aplicação e Base de Usuários**

O aplicativo GRAPSIDROID, desenvolvido por Saulo Cabral, professor do IFMG – Campus Ouro Branco, constitui uma ferramenta especializada para cálculos psicométricos que acumula mais de 10 mil downloads na Google Play Store<sup>1</sup>. A aplicação permite o cálculo de propriedades termodinâmicas do ar, incluindo temperaturas de bulbo seco e úmido, entalpia, razão de mistura, umidade relativa, volume específico, ponto de orvalho e pressão de vapor, a partir de parâmetros de altitude e temperatura de bulbo seco.

A versão atual, incorpora funcionalidades avançadas de simulação de processos psicométricos, abrangendo aquecimento, resfriamento, umidificação adiabática e mistura de fluxos de ar. Funcionalidades importantes, especialmente para a indústria de armazenamento de grãos [Embrapa Milho e Sorgo 2015] e para a avicultura [Silva et al. 2020].

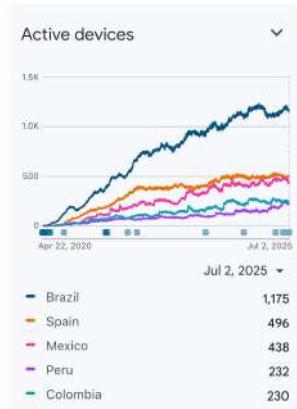
### **2.6.1. Representatividade e Validação Externa**

A análise dos dados da Google Play Console revela a sólida representatividade do aplicativo, que demonstra uma base de usuários crescente e internacional (Figura 1). A ferramenta conta com aproximadamente 3.600 usuários ativos, com destaque para o Brasil (1.175), seguido por Espanha (496), México (438), Peru (232) e Colômbia (230), evidenciando sua relevância para as comunidades de engenharia agrícola lusófona e hispanófona. Essa aceitação é corroborada pela avaliação pública na loja de aplicativos

---

<sup>1</sup>[https://play.google.com/store/apps/details?id=ifmg.grapsidroid&pcampaignid=web\\_share](https://play.google.com/store/apps/details?id=ifmg.grapsidroid&pcampaignid=web_share)

(Figura 2), que apresentou uma tendência ascendente ao longo de 2025, constituindo uma validação externa da qualidade percebida pelos usuários.



**Figura 1. Usuários por país**



**Figura 2. Avaliação Play Store**

### 3. Metodologia

#### 3.1. Desenho de Pesquisa

Este estudo utilizou uma abordagem de método misto, combinando análises quantitativas e qualitativas. A abordagem quantitativa aplicou o *System Usability Scale* (SUS) [Brooke 1996], instrumento padronizado que gera pontuações numéricas de usabilidade. A abordagem qualitativa foi implementada através de uma pergunta aberta no questionário: “Se você tiver alguma ideia, comentário ou sugestão sobre como podemos melhorar nosso aplicativo, por favor, compartilhe conosco”. Esta abordagem híbrida permitiu complementar os dados quantitativos com insights qualitativos sobre a experiência de uso, enriquecendo a análise dos resultados [Tullis and Albert 2008].

#### 3.2. Procedimentos de Coleta de Dados, População e Amostra

A população-alvo foi composta por usuários ativos do aplicativo, selecionados por amostragem de conveniência. O tamanho amostral atendeu às recomendações de [Brooke 1996] para aplicação do *System Usability Scale* (SUS), que estabelece pelo menos 8-12 respondentes para resultados confiáveis.

A coleta de dados foi realizada através de modal integrado ao aplicativo, seguindo abordagem *in-app* que garante maior taxa de resposta e representatividade [UserGuiding 2023]. O modal era apresentado automaticamente no primeiro acesso ou voluntariamente através do botão “Participe da nossa pesquisa”, oferecendo três opções: “Responder agora”, “Lembrar mais tarde” ou “Não mostrar novamente”. Esta abordagem respeitou a autonomia dos usuários e minimizou interferências na experiência normal de uso.

**Fase pré-intervenção:** Entre maio e julho de 2025, foram coletadas 23 respostas, abrangendo perfis variados de usuários da aplicação.

**Fase pós-intervenção:** Em julho de 2025, após a implementação das melhorias de interface, foram obtidas 14 respostas. A redução se deve ao curto período de coleta e à necessidade de atualização do aplicativo pelos usuários.

O instrumento utilizado foi o SUS [Brooke 1996], questionário padronizado de 10 afirmações avaliadas em escala Likert de 5 pontos (1 = discordo totalmente; 5 = concordo totalmente). Este instrumento foi selecionado por sua simplicidade, rapidez de aplicação e independência tecnológica, sendo aplicável desde interfaces web até aplicativos móveis.

### 3.3. Análise de Dados

O cálculo da pontuação SUS seguiu rigorosamente o método estabelecido por [Brooke 1996]: para itens ímpares (questões 1, 3, 5, 7, 9), subtrai-se 1 da resposta; para itens pares (questões 2, 4, 6, 8, 10), subtrai-se a resposta de 5. A soma total é então multiplicada por 2,5, resultando em uma pontuação final entre 0 e 100 pontos.

Foram analisadas exclusivamente as pontuações do questionário *System Usability Scale* (SUS) e os comentários qualitativos, sem coleta de dados demográficos identificáveis, preservando rigorosamente o anonimato dos participantes, conforme diretrizes éticas para pesquisa com usuários [CNS 2016]. A base de dados resultante foi composta pelas respostas obtidas nas duas fases do estudo.

Para análise quantitativa, foram calculadas as seguintes métricas estatísticas:

- **Medidas de tendência central:** média aritmética e mediana para caracterização do comportamento central das distribuições;
- **Medidas de dispersão:** desvio padrão e amplitude (mínimo e máximo) para avaliação da variabilidade das respostas;

A interpretação das pontuações SUS seguiu os *benchmarks* empíricos estabelecidos na literatura especializada, que classificam os resultados como: “Inaceitável” (abaixo de 50), “Pobre” (50-67), “Aceitável” (68-79), “Bom” (80-84) e “Excelente” (85 ou superior). Esta classificação, validada por [Bangor et al. 2008] através da análise de mais de 400 estudos, permite contextualizar os resultados obtidos em relação a padrões de usabilidade consolidados na indústria.

Os comentários qualitativos foram submetidos à análise de conteúdo temática, conforme proposta de [Bardin 2011]. O processo envolveu: (1) leitura inicial para familiarização com os dados (pré-análise); (2) identificação de padrões e temas recorrentes; (3) categorização das sugestões por tipo de melhoria solicitada (exploração do material); e (4) síntese dos insights que fundamentaram as modificações de interface implementadas entre as fases da pesquisa (tratamento dos resultados e interpretação).

A comparação entre as fases pré e pós-intervenção foi realizada através de análise descritiva comparativa, calculando-se as diferenças absolutas e percentuais entre as métricas obtidas em cada fase. Esta abordagem permitiu avaliar quantitativamente o impacto das modificações na interface sobre a percepção de usabilidade dos usuários, fornecendo evidências empíricas da eficácia das melhorias implementadas.

### 3.4. Resultados

Os resultados comparativos da aplicação do questionário SUS, antes e após as modificações na interface, estão consolidados na Tabela 1. A análise dos dados valida a eficácia das intervenções realizadas, demonstrando uma evolução significativa na usabilidade do aplicativo.

**Tabela 1. Resultados comparativos do SUS (Fases Pré e Pós-intervenção)**

Métrica	Pré-intervenção	Pós-intervenção	Diferença <sup>a</sup>	Variação
Respostas Obtidas	23	14	-9	-
Média	72,28	89,64	+17,36	+24,0%
Mediana	72,50	95,63	+23,13	+31,9%
Desvio Padrão	24,95	13,62	-11,33	-45,4%
Mínimo	12,50	50,00	+37,50	-
Máximo	100,00	100,00	0,00	-
Usuários $\geq$ 68 pontos	15 (65,2%)	13 (92,9%)	+27,7 p.p.	-
Usuários < 68 pontos	8 (34,8%)	1 (7,1%)	-27,7 p.p.	-
Usuários $\geq$ 85 pontos	7 (30,4%)	11 (78,6%)	+48,2 p.p.	-
Classificação	Aceitável	Excelente	-	-

<sup>a</sup> p.p. = pontos percentuais, representa a diferença aritmética entre duas porcentagens.

Na fase pré-intervenção, o aplicativo obteve uma pontuação média de 72,28, classificada como “Aceitável” [Bangor et al. 2008]. Essa pontuação também o posiciona acima do *benchmark* de aceitabilidade estabelecido por [Sauro 2011], que define 68 como o ponto de corte para sistemas com usabilidade satisfatória. No entanto, a análise revelou uma alta variabilidade nas respostas ( $DP = 24,95$ ), sugerindo uma experiência de uso inconsistente. Essa heterogeneidade é confirmada pela distribuição das pontuações: enquanto 30,4% dos usuários classificavam a usabilidade como “Excelente” (pontuação  $\geq 85$ ), um segmento expressivo de 34,8% apontava dificuldades significativas (pontuação < 68). Essa polarização indicava que a interface, embora funcional para alguns, representava uma barreira para outros, o que corroborou a necessidade do redesenho.

Após as modificações, a pontuação média saltou 17,36 pontos, alcançando 89,64 e elevando a classificação para “Excelente”. A redução do desvio padrão para 13,62 demonstra que a nova versão resolveu a inconsistência anteriormente observada, proporcionando uma experiência mais homogênea. O impacto na experiência do usuário é reforçado pela nova distribuição de notas: a proporção de avaliações “Excelentes” aumentou para 78,6%, enquanto o grupo com dificuldades foi drasticamente reduzido para 7,1%. Isso demonstra que as melhorias foram eficazes em resolver as barreiras de usabilidade que afetavam uma parcela significativa dos usuários.

#### 4. Análise e Redesenho da Interface

Nesta seção, é realizada uma análise comparativa entre a interface original do GRAPSI-DROID e a nova versão proposta. A abordagem segue a metodologia de avaliação de usabilidade, descrevendo primeiro o design anterior e, em seguida, detalhando as melhorias implementadas, com as devidas justificativas.

A versão original do aplicativo, embora funcional, apresentava uma série de desafios de usabilidade que motivaram o redesenho. As seções a seguir descrevem as principais telas e suas características antes da intervenção.

A tela principal original (Figura 3) possuía um layout estritamente linear e vertical. As funcionalidades eram apresentadas como uma lista de botões de texto simples, sem qualquer hierarquia visual ou agrupamento lógico. Além disso, os campos para inserção

de parâmetros globais, como altitude e pressão, estavam expostos diretamente na tela inicial, o que poderia gerar uma sobrecarga de informação desnecessária para o primeiro acesso do usuário.

De forma geral, as telas de cálculo na versão anterior (Figuras 5, 7, 9 e 11) seguiam o mesmo padrão de design: uma longa lista vertical de campos de entrada e saída de dados. Não havia uma separação visual clara entre as informações que o usuário precisava inserir e os resultados gerados pelo aplicativo. Essa falta de distinção podia levar à confusão e dificultar a interpretação dos dados. Os botões de ação, como “Calcular” e “Limpar Dados”, ficavam posicionados ao final da rolagem, o que exigia um esforço extra do usuário para executar as operações principais.

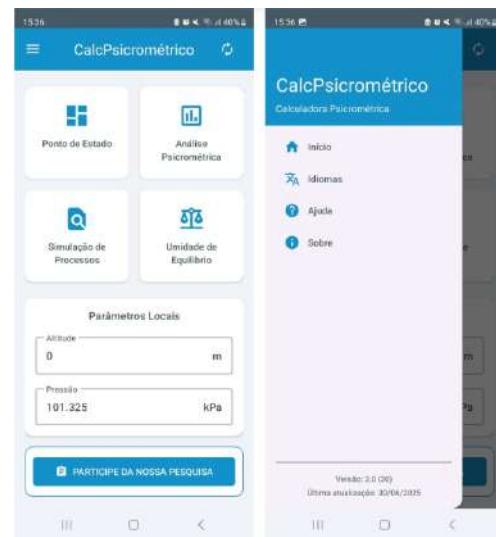
A nova versão do aplicativo foi concebida com foco na modernização da interface e na otimização da experiência do usuário. As melhorias foram guiadas pelas heurísticas de usabilidade de [Nielsen 1994] e por princípios consolidados de design de interação [Norman 2013].

#### 4.1. A Tela Principal: Navegação e Arquitetura da Informação

A nova tela principal (Figura 4), que substitui o layout linear da versão anterior (Figura 3), utiliza um sistema de cards organizados em um *grid* (2x2). Essa mudança não apenas otimiza o uso do espaço em telas de dispositivos móveis, mas também estabelece uma hierarquia visual clara, permitindo que o usuário identifique rapidamente as funcionalidades principais. Essa abordagem cria uma metáfora visual de *dashboard*, que se alinha à heurística de “Correspondência entre o sistema e o mundo real” [Nielsen and Molich 1990], tornando a interface mais familiar e intuitiva. Para aprimorar a arquitetura da informação, foi introduzido um *Navigation Drawer* (menu lateral), que abriga funcionalidades secundárias e opções como “Ajuda” e “Sobre”, liberando a tela principal de elementos que não são de uso constante. Essa reorganização segue os princípios do design centrado no usuário [Norman 2013] e as diretrizes de usabilidade móvel [Budiu 2021], resultando em uma navegação mais eficiente e uma interface mais limpa, em conformidade com a heurística de “Estética e design minimalista” [Nielsen 1994].



**Figura 3. Interface original**



**Figura 4. Nova interface**

## 4.2. Análise de Condições Psicrométricas: Clareza e Prevenção de Erros

Na tela de “Análise Psicrométrica” (Figuras 5 e 6), a interface foi completamente reestruturada para melhorar a clareza e a organização dos dados. A separação lógica entre os “Parâmetros de Secagem” (entrada) e os “Resultados” (saída) foi implementada utilizando *Material Cards*. Essa segregação visual é fundamental para a heurística de “Prevenção de erros” [Nielsen 1994], pois reduz a carga cognitiva do usuário e minimiza a possibilidade de confusão entre os dados inseridos e os calculados. Adicionalmente, os resultados, que antes eram exibidos em um único bloco, agora são organizados em abas (“Ambiente”, “Secagem”, “Exaustão”). Essa abordagem utiliza o princípio de *progressive disclosure* [Lidwell et al. 2010], que consiste em apresentar a informação em etapas, evitando sobrecarregar o usuário. A inclusão de um diagrama visual do “Fluxo do Processo” também reforça a heurística de “Visibilidade do status do sistema” [Nielsen 1994], oferecendo um feedback imediato e comprehensível sobre a operação que está sendo realizada.

**Figura 5. Interface original**

**Figura 6. Nova interface**

## 4.3. Ponto de Estado: Flexibilidade e Controle do Usuário

A tela de “Ponto de Estado” (Figuras 7 e 8) foi redesenhada para oferecer maior controle e eficiência. A segregação entre “Dados de Entrada” e “Resultados” em *cards* distintos melhora a “Visibilidade do status do sistema” [Nielsen 1994], deixando claro para o usuário onde inserir dados e onde consultar as saídas. A principal melhoria de usabilidade, contudo, foi a implementação de *radio buttons* para a seleção do segundo parâmetro de entrada. Essa mudança oferece ao usuário uma visão clara de todas as opções disponíveis e permite a alternância rápida entre elas, o que exemplifica a heurística de “Flexibilidade e eficiência de uso” [Nielsen 1994]. A nova interface segue padrões de design consolidados para dispositivos móveis [Wroblewski 2011], tornando a interação mais rápida e menos propensa a erros.

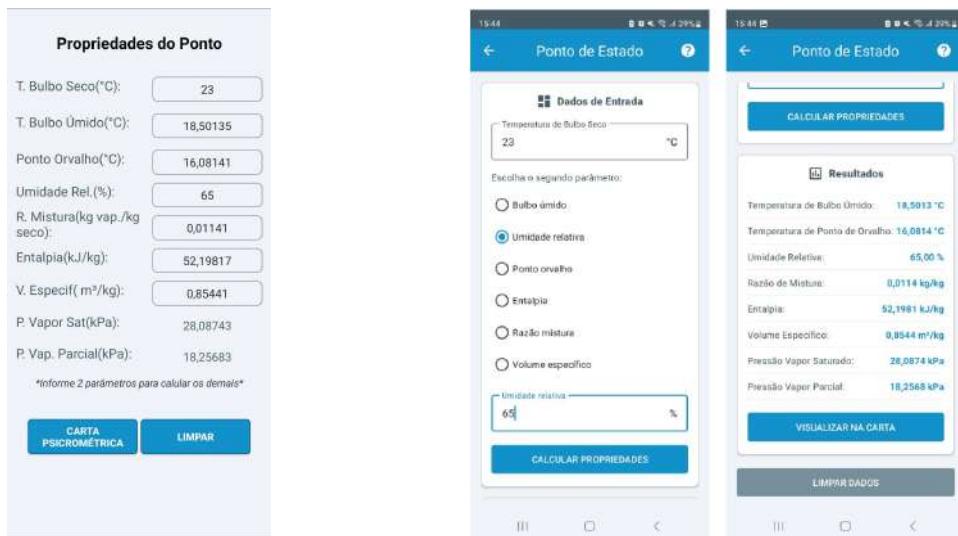


Figura 7. Interface original

Figura 8. Nova interface

#### 4.4. Umidade de Equilíbrio e Simulação de Processos: Consistência e Padrões

Na tela de “Umidade de Equilíbrio” (Figuras 9 e 10), a interface foi redesenhada para melhorar a organização e o acesso aos dados. A interação do usuário agora se baseia em um sistema de abas, que reforça a “Consistência e padrões” do aplicativo [Nielsen 1994]. Após selecionar um produto, o usuário pode alternar fluidamente entre duas visualizações: a aba “Ponto” permite um cálculo direcionado com valores específicos de temperatura e umidade, enquanto a aba “Tabela” oferece uma visão completa dos dados para consulta. Essa estrutura, que substitui um design anterior baseado em botões, aplica a heurística de “Reconhecimento em vez de memorização” [Nielsen 1994] ao manter as opções sempre visíveis. Adicionalmente, o design responsivo da tabela, com rolagem horizontal, garante a usabilidade em diferentes tamanhos de tela, alinhando-se ao princípio de mobile-first [Marcotte 2011].

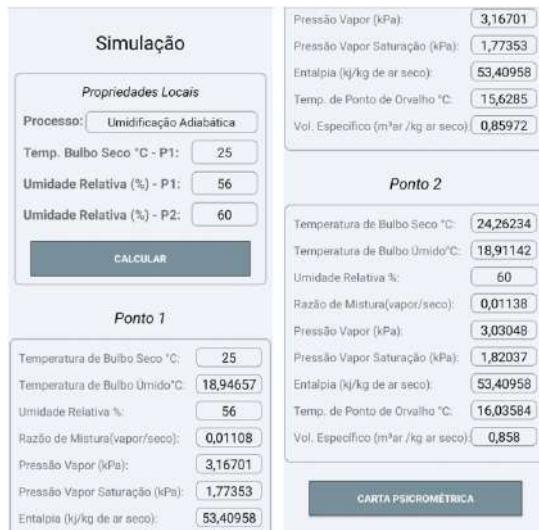
The image shows two side-by-side screenshots of mobile applications. On the left, 'Figura 9. Interface original' shows a table of equilibrium moisture content values for various temperatures and relative humidities. On the right, 'Figura 10. Nova interface' shows a redesigned interface with tabs for 'PONTO' (Point) and 'TABELA' (Table), allowing users to switch between specific calculations and full tables.

	Tabela de Umidade de Equilíbrio (Ue)							
	50%	52%	54%	56%	58%	60%	62%	64%
10°C	8,79	8,97	9,15	9,34	9,52	9,71	9,90	10,09
11°C	8,70	8,88	9,06	9,24	9,42	9,61	9,80	9,99
12°C	8,61	8,79	8,97	9,15	9,33	9,51	9,70	9,89
13°C	8,62	8,70	8,88	9,06	9,24	9,42	9,60	9,79
14°C	8,44	8,52	8,70	8,87	9,05	9,23	9,41	9,59
15°C	8,36	8,43	8,71	8,88	9,06	9,24	9,42	9,61
16°C	8,28	8,45	8,63	8,80	8,98	9,15	9,33	9,52
17°C	8,20	8,38	8,55	8,72	8,90	9,07	9,25	9,43
18°C	8,13	8,30	8,47	8,65	8,82	8,99	9,17	9,35
19°C	8,06	8,23	8,40	8,57	8,74	8,92	9,09	9,27
20°C	7,99	8,16	8,33	8,50	8,67	8,84	9,02	9,19
21°C	7,93	8,09	8,26	8,43	8,60	8,77	8,94	9,12
22°C	7,86	8,03	8,20	8,36	8,53	8,70	8,87	9,05
23°C	7,80	7,97	8,13	8,30	8,46	8,63	8,80	8,98
24°C	7,74	7,90	8,07	8,23	8,40	8,57	8,73	8,91
25°C	7,68	7,85	8,01	8,17	8,33	8,50	8,67	8,84
26°C	7,63	7,79	7,95	8,11	8,27	8,44	8,61	8,78
27°C	7,57	7,73	7,89	8,05	8,21	8,38	8,54	8,71
28°C	7,52	7,68	7,83	7,99	8,16	8,32	8,48	8,65
29°C	7,46	7,62	7,78	7,94	8,10	8,26	8,42	8,59
30°C	7,41	7,57	7,73	7,88	8,04	8,20	8,37	8,53
31°C	7,36	7,52	7,67	7,83	7,99	8,15	8,31	8,48
32°C	7,31	7,47	7,62	7,78	7,94	8,10	8,26	8,42
33°C	7,27	7,42	7,57	7,73	7,88	8,04	8,20	8,37

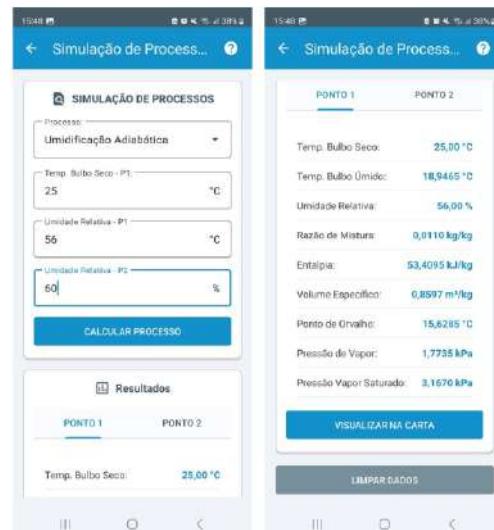
Figura 9. Interface original

Figura 10. Nova interface

Na tela de “Simulação de Processos” (Figuras 11 e 12), as melhorias também visaram reforçar a “Consistência e padrões” [Nielsen 1994] do aplicativo. Assim como na tela anterior, foi adotado um sistema de abas para organizar o conteúdo. Nesse caso, as abas de “Ponto” separam os resultados dos diferentes estágios do processo simulado. Essa organização confere ao usuário maior “Controle e liberdade” [Nielsen 1994], permitindo uma navegação clara e intuitiva entre os conjuntos de resultados, sem sobrecarga de informação e mantendo a interface limpa e de fácil compreensão.



**Figura 11. Interface original**



**Figura 12. Nova interface**

Adicionalmente, para complementar a experiência do usuário, foram implementadas telas de suporte, como “Ajuda”, “Sobre” e “Seleção de Idiomas”, atendendo à heurística de “Ajuda e documentação” [Nielsen 1994]. A tela de Ajuda, com sua estrutura hierárquica e seções expansíveis, permite que os usuários encontrem respostas de forma rápida e contextualizada. Essas melhorias, alinhadas às diretrizes de acessibilidade e internacionalização [W3C 2021], oferecem maior autonomia ao usuário e tornam o aplicativo mais completo e robusto, sem a necessidade de recorrer a fontes externas.

## 5. Considerações Finais

Este estudo se propôs a otimizar a interface e a experiência de uso de um aplicativo de cálculos psicrométricos, ferramenta de relevância para o setor agrícola. A pesquisa partiu da premissa de que a usabilidade é um fator crítico para a eficácia de aplicações técnicas, buscando validar o impacto de um redesenho visual e funcional por meio de uma abordagem de método misto.

Os resultados quantitativos, obtidos pela aplicação do questionário *System Usability Scale* (SUS), demonstraram um avanço expressivo na percepção de usabilidade. A pontuação média do aplicativo saltou de 72,28, um patamar “aceitável”, para 89,64, classificado como “excelente”. Esse aumento de 17,36 pontos, aliado à redução do desvio padrão, indica que a nova interface não só foi melhor avaliada, mas também proporcionou uma experiência de uso mais consistente e homogênea entre os usuários. O expressivo crescimento no percentual de avaliações excelentes (de 30,4% para 78,6%) corrobora a eficácia das intervenções realizadas.

As melhorias, fundamentadas em heurísticas de usabilidade consolidadas, responderam diretamente ao problema de pesquisa, transformando uma interface funcional, porém pouco intuitiva, em um sistema com maior clareza, eficiência e organização visual. A reestruturação da arquitetura da informação, a separação clara entre dados de entrada e resultados, e a adoção de componentes de navegação modernos foram cruciais para resolver as barreiras de usabilidade identificadas na versão original.

Este trabalho reforça a relevância de aplicar metodologias de design centrado no usuário no desenvolvimento de ferramentas técnicas para o agronegócio. A otimização da usabilidade em aplicativos especializados pode ampliar sua adoção, reduzir a curva de aprendizado e minimizar erros operacionais, contribuindo para a eficiência de processos críticos como o armazenamento de grãos e o controle de ambiência animal.

## 6. Referências

- Alroobaea, R. (2018). Developing specific usability heuristics for evaluating the android applications. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 425:139–147.
- Bangor, A., Kortum, P., and Miller, J. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6):574–594.
- Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo*. Edições 70, São Paulo.
- Britto, J. F. B. (2010). Considerações sobre psicometria. *Revista SBCC*, 45:35–41.
- Brooke, J. (1996). Sus - a "quick and dirty"usability scale. In Jordan, P. W., Thomas, B., Weiber, B., and McClelland, I. L., editors, *Usability Evaluation in Industry*, pages 189–194. Taylor & Francis, London.
- Brooke, J. (2013). Sus: a retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2):29–40.
- Budiu, R. (2021). *Mobile user experience: limitations and strengths*. Nielsen Norman Group, Fremont, 2nd edition.
- CNA (2024). Balanço e perspectivas 2024: Projetos e programas.
- CNS (2016). Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em ciências humanas e sociais. Acesso em: 06 jul. 2025.
- CONAB (2025). Produção de grãos é estimada em 330,3 milhões de toneladas na safra 2024/25.
- Elias, M. C. (2003). *Secagem e armazenamento de grãos de milho e de sorgo na propriedade rural*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2nd edition.
- Embrapa (2020). Desenvolvimento de aplicativos para agricultura: diretrizes e boas práticas.
- Embrapa Milho e Sorgo (2014). Armazenamento de grãos: aspectos importantes.
- Embrapa Milho e Sorgo (2015). Tecnologia pós-colheita: armazenagem de grãos.
- ISO (2018). Iso 9241-11: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - part 11: Guidance on usability.
- Joyce, G. et al. (2016). Mobile application usability: Heuristic evaluation and evaluation of heuristics. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 492:77–86.

- Lidwell, W., Holden, K., and Butler, J. (2010). *Universal principles of design: 125 ways to enhance usability, influence perception, increase appeal, make better design decisions, and teach through design*. Rockport Publishers, Beverly, 2nd edition.
- Lopes, R. P., Silva, J. S., and Rezende, R. C. (2008). Princípios básicos de psicometria. pages 37–62.
- Marcotte, E. (2011). *Responsive web design*. A Book Apart, New York.
- Melo, E. C., Lopes, D. C., and Corrêa, P. C. (2004). Grapsi - programa computacional para o cálculo das propriedades psicométricas do ar. *Engenharia na Agricultura*, 12(2):154–162.
- Mendes, E., Mosley, N., and Counsell, S. (2006). The need for web engineering: An introduction.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Academic Press, Boston.
- Nielsen, J. and Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 249–256, New York. ACM.
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things: revised and expanded edition*. Basic Books, New York.
- Salvador, L. M. and Araújo, T. M. U. (2023). Técnicas para avaliação de usabilidade em aplicações de dispositivos móveis: uma revisão sistemática qualitativa da literatura. *Revista GEMInIS*, 14(1):71–84.
- Sauro, J. (2011). *A practical guide to the System Usability Scale: background, benchmarks & best practices*. Measuring Usability LLC, Denver.
- SENAR (2018). Grãos: armazenamento de milho, soja, feijão e café.
- Silva, L. C. C., Filho, D. O., Pinto, A. C. V., and Araújo, M. L. D. (2020). Sistema automático para realização de cálculos psicométricos. *Revista Engenharia na Agricultura*, 28:129–139.
- Simões-Moreira, J. R. and Neto, A. H. (2019). *Fundamentos e aplicações da psicometria*. RPA, São Paulo, 2nd edition.
- Smiderle, O. J., Marinho, J. T. S., Gonçalves, J. R. P., and Júnior, J. R. V. (2009). Colheita e armazenamento de grãos e sementes. *A cultura do feijão-caupi na Amazônia brasileira*, pages 327–356.
- Sperandio, M. R. C. (2017). *Ensino de ciências por investigação para professores da educação básica: dificuldades e experiências de sucesso em oficinas pedagógicas*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.
- Tullis, T. and Albert, B. (2008). *Measuring the user experience: collecting, analyzing, and presenting usability metrics*. Morgan Kaufmann, Amsterdam.
- UserGuiding (2023). Pesquisas no aplicativo: o que são e como usá-las. Acesso em: 12 jun. 2025.
- W3C (2021). Web content accessibility guidelines (wcag) 2.1.
- Wroblewski, L. (2011). *Mobile first*. A Book Apart, New York.

# Utilização de Jogos Interativos como Método de Ensino de Programação para Iniciantes

Igor Guilherme Almeida Rocha<sup>1</sup>, Charles Tim Batista Garrocho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)  
Campus Ouro Branco – Ouro Branco, MG – Brasil

igorguilhermedev@gmail.com, charles.garrocho@ifmg.edu.br

**Abstract.** *With technological advancements, learning to program has become essential but also challenging. Many students drop out due to initial difficulties. This study investigates the use of games as a didactic tool to facilitate this learning process. The game Script Hero was developed with a focus on programming logic and mechanics that stimulate student engagement. Its effectiveness was assessed through a questionnaire based on the MEEGA+ framework. The results obtained from the questionnaire were positive. It is expected that these findings will help shift educators' perspectives on the use of games as educational tools and, consequently, reduce dropout rates in related courses.*

**Resumo.** *Com o avanço tecnológico, aprender programação se tornou essencial, mas também desafiador. Muitos alunos desistem por dificuldades iniciais. Este trabalho investigou o uso de jogos como ferramenta didática para facilitar esse aprendizado. Foi desenvolvido o jogo Script Hero, um jogo com foco na lógica de programação e mecânicas que estimulam o engajamento. A eficácia do jogo foi avaliada por meio de um questionário feito com base no framework MEEGA+. Os resultados obtidos por meio da aplicação do questionário foram positivos. Espera-se que esses resultados ajudem a mudar a forma como educadores enxergam o uso de jogos como ferramenta educacional e, consequentemente, reduzam a taxa de abandono nos cursos da área.*

**Palavras-chave:** Gamificação; Jogo Sério; Octalasys; MEEGA+; Ensino.

## 1. Introdução

A programação é a prática de criar instruções detalhadas e precisas que permitem que um computador execute tarefas específicas, trata-se, basicamente, do ato de transformar uma linguagem compreendida pelos humanos em uma linguagem que pode ser entendida por um computador [McCracken 1957 apud Blackwell 2002]. Essa habilidade é fundamental atualmente para o desenvolvimento de aplicativos, jogos, sites, sistemas embarcados e muitas outras aplicações tecnológicas que fazem parte do cotidiano de todas as pessoas. A programação requer o conhecimento de conceitos lógicos, estruturas de dados e algoritmos, além da capacidade de transformar ideias abstratas em algo funcional.

No entanto, um aspecto que está despertando a atenção dos pesquisadores é a elevada taxa de abandono dos alunos nos cursos de tecnologia e disciplinas relacionadas à programação. Segundo Hoed (2016), as áreas relacionadas à matemática, física e computação possuem uma taxa de evasão maior do que a taxa média dos cursos superiores

no geral, com a computação possuindo uma porcentagem superior em cinco anos consecutivos em relação à média nacional. Silva et al. (2024) identificaram, ao analisar a taxa de evasão nos cursos de Computação da Universidade Federal do Amapá, que disciplinas como Programação I e II estão entre aquelas com maior taxa de insucesso, contribuindo significativamente para a evasão dos estudantes. Um questionário de natureza quantitativa aplicado por Fukao et al. (2023), revelou uma variedade de fatores que contribuem para as dificuldades enfrentadas pelos estudantes. Entre os principais motivos apontados destacam-se: a didática adotada pelos professores, a falta de motivação pessoal dos alunos e a elevada exigência e complexidade das disciplinas do curso. Esses resultados também vão ao encontro com a pesquisa feita por Silva et al. (2024), que lista os principais motivos de evasão ordenados por relevância, sendo o 4º motivo mais relevante a deficiência didática dos professores.

Diante dessa situação, é crucial considerar soluções que possam aprimorar o processo de aprendizagem em programação, como a adoção de abordagens inovadoras de ensino. Existem hoje várias técnicas educacionais que vêm sendo aplicadas em escolas e universidades, entre elas a gamificação e o aprendizado baseado em jogos [Pho and Dinscore 2015].

A abordagem da gamificação busca utilizar elementos inspirados em jogos, como recompensas, desafios e competição, a fim de motivar e engajar os alunos durante o processo de aprendizagem. Por meio da implementação de sistemas de pontuação, níveis e conquistas, os estudantes são estimulados a progredir, superar obstáculos e alcançar metas estabelecidas, tornando o aprendizado mais atrativo. Essa abordagem proporciona um ambiente dinâmico e interativo, onde os alunos podem experimentar um senso de conquista e satisfação ao atingirem marcos significativos, transformando a aprendizagem em uma experiência envolvente e recompensadora [Busarello 2016].

O aprendizado baseado em jogos difere da gamificação, pois, em vez de utilizar apenas elementos de jogos no processo de ensino, ele incorpora um jogo real como parte integrante da experiência de aprendizagem. Os autores de [Netto et al. 2017] criaram um jogo chamado *Game Logic*, um jogo focado no auxílio da aprendizagem de lógica de programação. Um questionário foi aplicado em 10 alunos que participaram da experiência: 70% dos participantes atribuíram nota 8 (de 10) para o jogo, enquanto os outros 30% deram notas entre 4 e 7. No geral, foram obtidos resultados positivos quanto à aplicabilidade de um jogo sério nesse contexto.

Contudo, o objetivo deste artigo foi analisar a eficácia de jogos no auxílio à aprendizagem de programação. Para isso, foi desenvolvido o jogo *Script Hero*, construído com base em princípios do framework *Octalysis*. O jogo dá ênfase ao aprendizado de conceitos básicos de programação, como variáveis, estruturas condicionais, estruturas de repetição e funções. Atualmente, o jogo está disponível para computadores e foi avaliado com base no questionário *MEEGA+*.

Este artigo está dividido em seis seções. A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica do trabalho e está subdividida em duas partes: base conceitual e trabalhos relacionados. A Seção 3 trata da proposta do trabalho e da metodologia empregada no desenvolvimento do jogo. A Seção 4 corresponde à análise da eficácia, abordando a coleta e a análise dos resultados obtidos com a aplicação do jogo. A Seção 5 discute as limitações

da pesquisa. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões do estudo.

## **2. Fundamentação Teórica**

Nesta seção, o objetivo primordial é construir uma base sólida de conhecimento sobre o tema central desta pesquisa. Com isso em mente, busca-se fornecer informações detalhadas que sirvam de *background* e fundamentem as seções subsequentes do trabalho.

### **2.1. Base Conceitual**

Nesta seção, são apresentados os principais conceitos utilizados ao longo deste artigo, com a explicação de seus significados e a indicação de como são aplicados tanto em contextos acadêmicos e, em alguns casos, profissionais. O objetivo é oferecer uma base teórica clara para a compreensão do trabalho, facilitando a conexão entre a fundamentação e a proposta desenvolvida.

#### **2.1.1. Gamificação e Jogo Sério**

A gamificação é uma técnica que tem ganhado destaque nos últimos anos. Segundo KAPP (2012), a gamificação é o ato de colocar elementos característicos de jogos, como recompensas, níveis e medalhas, em contextos diferentes de jogos. Esses elementos ajudam no engajamento e satisfação do usuário, muitas vezes fazendo com que ele se sinta mais disposto a continuar utilizando a ferramenta. Atualmente, há diversas aplicações de gamificação em áreas como saúde, educação e esportes. Alguns exemplos são *Duolingo*, *Waze* e *Nike Run Club*.

Jogo sério é um termo utilizado para jogos tipicamente *non-entertainment*, ou seja, são jogos onde o foco principal não está no entretenimento [Silva et al. 2012]. No contexto educacional, esses jogos têm como objetivo o aprendizado acima do entretenimento. Por meio de jogos sérios, os educadores têm uma poderosa ferramenta capaz de engajar alunos de maneira efetiva, aumentando seu foco e, consequentemente, a retenção de conhecimento.

*CodeCombat* e *Human Resource Machine* são alguns exemplos de jogos sérios na área da programação.

#### **2.1.2. Octalysis**

O *Octalysis* é um modelo criado por Yu-kai Chou para entender o que motiva as pessoas em experiências gamificadas. Ele se baseia em oito motivações principais:

1. Significado Épico;
2. Desenvolvimento e Realização;
3. Empoderamento;
4. Posse;
5. Influência Social;
6. Escassez e Impaciência;
7. Imprevisibilidade e Curiosidade;
8. Perda e Evitação.

A ideia do *framework* é mostrar que, para engajar de forma significativa, um sistema não deve focar apenas em pontos e prêmios, e sim em motivações humanas mais profundas [kai Chou 2014]. A figura 1 mostra mais a fundo os principais tópicos desse modelo.

O Octalysis já está sendo utilizado em diversos projetos, inclusive em iniciativas com cunho educacional. Alguns exemplos são:

1. Aplicativos para ensino de programação, como o desenvolvido por Christopher e Waworuntu (2021), que utilizou o Octalysis para criar um aplicativo de aprendizado da linguagem Java. Dos alunos que avaliaram o aplicativo, 74,27% concordaram que o aplicativo foi útil no processo de aprendizagem;
2. No ensino de línguas, Sulispera e Recard (2020) aplicaram o *framework* Octalysis em aulas de inglês com alunos do ensino fundamental. Ao utilizar elementos como desafios, narrativa e colaboração em grupo, os autores observaram um aumento no engajamento e na participação dos estudantes, o que demonstra que a gamificação pode tornar o aprendizado mais envolvente e eficaz.



**Figura 1. Os 8 Fatores-Motivadores da Gamificação.**  
Disponível em: [Gamificação Brasil 2021]

### 2.1.3. MEEGA+

O *MEEGA+ (Model for the Evaluation of Educational Games)* é um modelo de avaliação criado especificamente para jogos educacionais voltados ao ensino de computação. Ele

surgiu como uma evolução do modelo *MEEGA* original, com o objetivo de oferecer uma forma mais precisa e confiável de medir a qualidade desses jogos. O modelo avalia fatores como a experiência do jogador, usabilidade e percepção de aprendizagem, usando um questionário estruturado com base em validações estatísticas. Isso permite que desenvolvedores, pesquisadores e professores tenham um instrumento sólido para entender como os jogos impactam o aprendizado e o engajamento dos estudantes, orientando melhorias e decisões sobre sua adoção em sala de aula [Petri et al. 2019].

## 2.2. Trabalhos Relacionados

Para identificar os trabalhos relacionados ao presente estudo, foi realizada uma busca exploratória com base em artigos acadêmicos publicados nos últimos anos, com foco em jogos sérios e ambientes gamificados aplicados ao ensino de programação. A pesquisa foi conduzida manualmente por meio da leitura de títulos, resumos e palavras-chave, priorizando artigos que apresentassem ferramentas, aplicativos ou jogos voltados ao ensino de lógica de programação.

O projeto *Game Logic* apresenta um jogo educacional para dispositivos Android, com foco no ensino de lógica de programação por meio de blocos e fluxogramas. A proposta visa facilitar a compreensão de algoritmos de forma lúdica e acessível. Os resultados indicaram boa aceitação pelos estudantes: 70% deles atribuíram uma nota geral entre 8 e 10, enquanto 30% deram notas entre 4 e 7, destacando o potencial do jogo como ferramenta auxiliar no processo de aprendizagem [Netto et al. 2017].

Christopher e Waworuntu (2021) desenvolveram um aplicativo gamificado, baseado no framework Octalysis, para o ensino da linguagem Java. A aplicação incorpora mecânicas como pontos, *rankings* e missões, visando promover engajamento e motivação. Avaliado com base no modelo *UTAUT*, o aplicativo demonstrou bons resultados, obtendo 74,27% de aprovação por parte dos alunos, sendo considerado eficaz para apoiar o ensino de programação.

*Code Dungeon* é um jogo sério voltado ao ensino de programação introdutória e pensamento computacional. Com foco em estruturas condicionais, o jogo foi desenvolvido com base no framework *SGDA* e avaliado pelo modelo *MEEGA+*. Os resultados evidenciaram contribuições positivas para o processo de ensino-aprendizagem, especialmente quanto ao engajamento e à assimilação dos conteúdos.

Conforme Oliveira e Boff (2023), “O jogo demonstrou-se viável como ferramenta de ensino. Na aplicação dos questionários, com duas turmas de Programação de Computadores I, 28 alunos responderam, em grande parte, com um feedback bastante positivo sobre o jogo desenvolvido”.

*ProgramSE* é um jogo educacional voltado ao ensino de lógica de programação para iniciantes no ensino superior. A proposta utiliza programação em blocos e desafios baseados em ações do cotidiano, com foco na fixação de conceitos básicos. O desenvolvimento foi guiado por princípios do *Construtivismo* e da *Taxonomia de Bloom*. A avaliação foi feita com 32 estudantes, utilizando o modelo *MEEGA+*, e os resultados indicaram boa aceitação, sugerindo que o jogo pode ser uma ferramenta útil para apoiar o aprendizado inicial em programação. Segundo Silva et al. (2021), “A percepção dos alunos em relação à forma com que os conceitos de programação foram ensinados foi positiva.”

*Variant Scape* é um jogo digital educacional que se encontra em fase de prototipagem, desenvolvido por Araújo et al. (2023), utilizando a ferramenta *Figma*. O jogo tem como principal objetivo auxiliar o ensino de conceitos introdutórios de lógica de programação e pensamento computacional. Para avaliar sua aceitação e potencial pedagógico, foi realizado um estudo exploratório com cinco discentes do curso de Ciência da Computação da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), sendo um ingressante, um concluinte e três estudantes entre o 5º e o 7º período. A análise dos dados foi conduzida por meio dos instrumentos *Emoti-SAM* e *MEEGA+*, que avaliaram aspectos emocionais, de usabilidade e de experiência do jogador. Os resultados indicaram que quatro dos cinco participantes demonstraram reações positivas durante a interação com o jogo, resultando em um índice de aproveitamento de 80%.

A Tabela 1 apresenta um conjunto de informações relevantes para a realização de um comparativo entre o projeto proposto neste artigo e os trabalhos relacionados. No geral, observou-se que apenas um dos trabalhos analisados disponibilizou um link de acesso direto ao artefato descrito, permitindo sua execução e validação prática. Nos demais casos, não foi possível localizar ou acessar o jogo/aplicativo mencionado, o que limitou a verificação de alguns aspectos.

Dessa forma, os dados apresentados na tabela foram preenchidos com base nas descrições fornecidas pelos próprios artigos, bem como nas imagens, gráficos e demais evidências documentais disponíveis.

Critério	Java App	Game Logic	Code Dungeon	ProgramSE	Variant Scape	Script Hero
<b>Principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento</b>	React Native com Firebase	Não especificado	Unity3D	Construct 3	Figma	JavaFX
<b>Framework de gamificação ou guia de desenvolvimento</b>	Octalysis	Não especificado	SGDA (Serious Game Design Assessment)	Construtivismo + Taxonomia de Bloom	Não especificado	Octalysis
<b>Framework de avaliação</b>	UTAUT	Questionário informal	MEEGA+	MEEGA+	MEEGA+ e Emoti-SAM	MEEGA+
<b>Número de avaliadores</b>	40 alunos	10 alunos	28 alunos	32 alunos	5 alunos	10 alunos
<b>Tópicos abordados</b>	Java em geral	Lógica de programação	Estruturas condicionais e pensamento computacional	Sequência, Seleção, Repetição, Estruturas Condicionais	Repetição, Estruturas Condicionais, Variáveis, Operações Matemáticas	Funções, Métodos, Estruturas Condicionais e Repetição
<b>Integração com IA</b>	Não mencionada	Não mencionada	Não mencionada	Não mencionada	Não mencionada	Possui
<b>Acesso ao aplicativo</b>	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	Indisponível	Disponível
<b>Feedback Geral</b>	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

**Tabela 1. Comparação entre os trabalhos relacionados e o jogo proposto**

A seguir, são descritos os critérios utilizados na Tabela 1, acompanhados de sua respectiva relevância para a análise comparativa:

- 1. Principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento:** Identifica as ferramentas, linguagens e plataformas empregadas na construção do jogo. Esse critério

é importante para avaliar a viabilidade técnica, a compatibilidade com diferentes dispositivos e a complexidade do desenvolvimento;

2. **Framework de gamificação ou guia de desenvolvimento:** Indica se o projeto seguiu alguma abordagem metodológica para promover engajamento, motivação e progressão do usuário. A presença de *frameworks* bem definidos sugere maior atenção à experiência do jogador e ao potencial pedagógico do jogo;
3. **Framework de avaliação:** Refere-se ao modelo utilizado para validar a eficácia do jogo como ferramenta de ensino. Adoção de métodos como MEEGA+ ou UTAUT demonstra preocupação com uma avaliação sistemática e estruturada;
4. **Número de avaliadores:** Aponta o tamanho da amostra envolvida na etapa de validação. Um número maior de avaliadores tende a fornecer resultados mais confiáveis e representativos sobre a aceitação e usabilidade do jogo;
5. **Tópicos abordados:** Descreve os conteúdos pedagógicos contemplados, como estruturas de controle, repetição, funções ou lógica de programação. Esse critério permite avaliar o alinhamento do jogo com os objetivos de aprendizagem;
6. **Integração com IA:** Verifica se o jogo incorpora inteligência artificial para personalização, adaptação de conteúdo ou *feedback* dinâmico. Embora não essencial, essa integração representa um avanço tecnológico relevante;
7. **Acesso ao aplicativo:** Indica se o artefato está disponível publicamente para *download* ou uso. A acessibilidade é fundamental para reproduzibilidade, disseminação do trabalho e impacto educacional;
8. **Feedback Geral:** Resume a percepção dos usuários ou participantes sobre o jogo, com base nas avaliações reportadas. Esse critério serve como indicativo da aceitação e da efetividade da ferramenta no contexto educacional.

### 3. Proposta

O jogo desenvolvido, intitulado *Script Hero*, é um jogo educacional projetado para auxiliar no ensino de lógica de programação por meio da resolução de desafios baseados na movimentação de um personagem sobre um tabuleiro. Ele foi inteiramente implementado na linguagem Java, utilizando o *framework JavaFX*, com o objetivo de garantir compatibilidade com diferentes sistemas operacionais e facilitar sua execução em uma ampla variedade de dispositivos. O Script Hero está disponível para *download*, acessível em: <https://script-hero.vercel.app/>. Caso o site esteja indisponível, é possível acessar as *releases* do projeto pelo *GitHub*: <https://github.com/IgorGuilhermeDev/ReleasesScriptHero>.

#### 3.1. Metodologia

Esta seção apresenta o passo a passo seguido no desenvolvimento do Script Hero, desde a fase inicial de prototipagem até a definição da versão final do sistema.

##### 3.1.1. GDD

A primeira etapa do projeto consistiu na elaboração do *Game Design Document (GDD)*, documento fundamental para guiar a concepção e o escopo inicial do jogo. Nele, foram esboçadas as tecnologias previstas para o desenvolvimento, sendo escolhidas a linguagem Java e a biblioteca gráfica JavaFX.

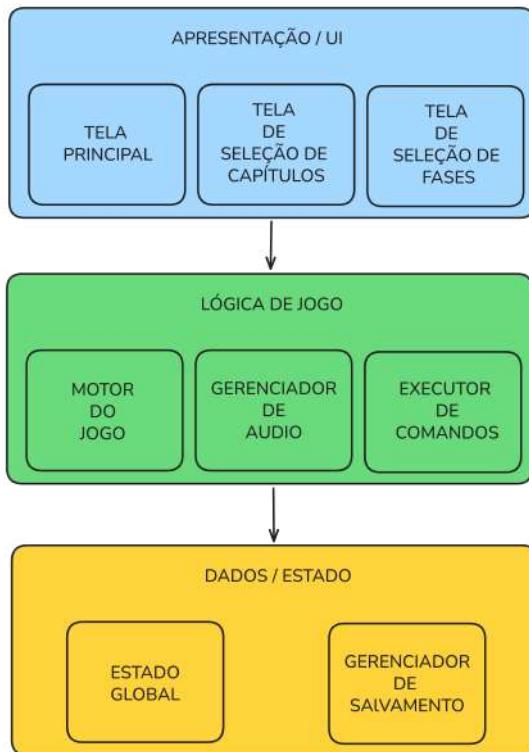
O GDD definiu uma estrutura composta por três capítulos: os dois primeiros contendo três fases cada, e o último com apenas uma. Essas fases estão organizadas de forma a abordar gradativamente conteúdos introdutórios de programação:

- 1º Capítulo: Métodos e variáveis;
- 2º Capítulo: Estruturas condicionais;
- 3º Capítulo: Estruturas de repetição.

Essa estrutura pedagógica foi pensada para promover o aprendizado progressivo, alinhado ao nível de dificuldade de cada etapa.

### 3.1.2. Arquitetura

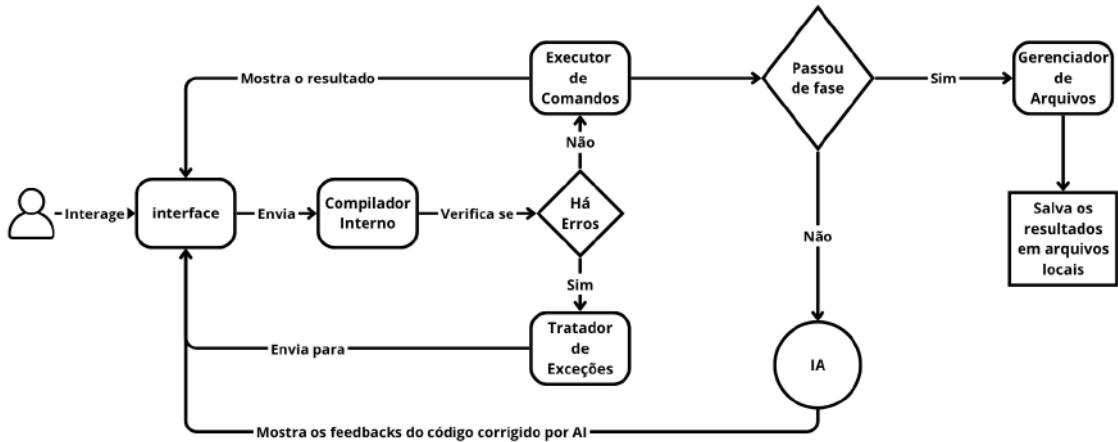
Com base nas definições estabelecidas no GDD, foi elaborado um diagrama de componentes, com o objetivo de abstrair e organizar a arquitetura proposta para o jogo, conforme apresentado na Figura 2.



**Figura 2. Arquitetura proposta para o sistema.**

Neste diagrama, foi adotada uma arquitetura em camadas, composta por três partes principais: *a camada de interface*, responsável pelas telas do jogo, como a de seleção de capítulos, fases e configurações, a *camada de lógica de jogo*, onde estão os componentes responsáveis pela validação e execução do código inserido pelo usuário e a *camada de dados*, encarregada do gerenciamento e recuperação dos dados de progresso e salvamento do jogador.

Além disso, foi elaborado um diagrama de fluxo de dados simplificado, o qual ilustra como o usuário interage com os principais componentes do sistema, conforme apresentado na figura 3.



**Figura 3. Diagrama de fluxo de dados.**

O diagrama de fluxo de dados apresentado descreve o funcionamento do sistema a partir da interação do usuário com a interface principal. Ao inserir comandos, esses dados são enviados ao *Compilador Interno*, responsável por verificar a existência de erros no código. Caso erros sejam detectados, as informações são direcionadas ao *Tratador de Exceções*, que por sua vez encaminha o conteúdo para o módulo de *Inteligência Artificial* (*IA*), o qual analisa e retorna sugestões ou correções que são exibidas novamente na interface para o usuário. Se não houver erros, o código é encaminhado ao *Executor de Comandos*, que realiza a execução das instruções e envia os resultados para exibição na interface. Após a execução, o sistema verifica se o usuário atingiu os critérios para avançar de fase. Em caso positivo, o fluxo prossegue para o *Gerenciador de Arquivos*, que salva os resultados localmente. Caso contrário, a *IA* é novamente acionada para oferecer suporte, promovendo uma nova rodada de *feedbacks* e aprendizado. Esse fluxo estabelece um ciclo contínuo de teste, correção e progresso, favorecendo o desenvolvimento iterativo e orientado a *feedback*.

### 3.1.3. Aplicação do Framework Octalysis

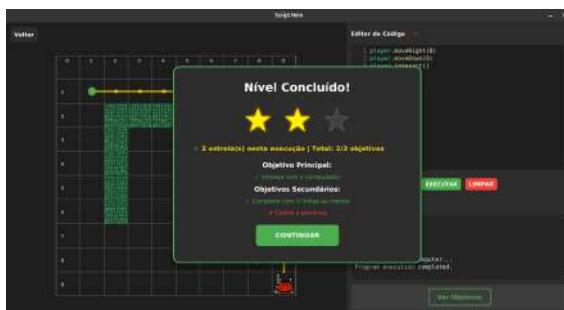
Com a arquitetura e o escopo inicial definidos no GDD, o planejamento do jogo já se encontrava praticamente concluído. No entanto, ainda faltavam elementos de gamificação que incentivassesem o jogador a continuar jogando, promovendo maior envolvimento e uma experiência mais significativa. Para suprir essa lacuna, adotou-se o *framework* Octalysis, conforme apresentado anteriormente na Figura 1. Essa figura ilustra os oito *Core Drives* centrais. Dentre esses oito princípios, foram selecionados três para serem implementados no jogo.

O *Core Drive 1*, conhecido como Significado Épico, é explorado por meio de elementos visuais de *storytelling* que utilizam *assets* temáticos associados ao universo da tecnologia, como computadores, pendrives e inimigos representados por vírus digitais. Esses elementos visuais contribuem para a construção de uma narrativa envolvente, reforçando a imersão do jogador e despertando um senso de propósito elevado, ao fazê-lo sentir-se parte de uma missão significativa dentro do contexto do jogo, conforme apresentado na Figura 4.

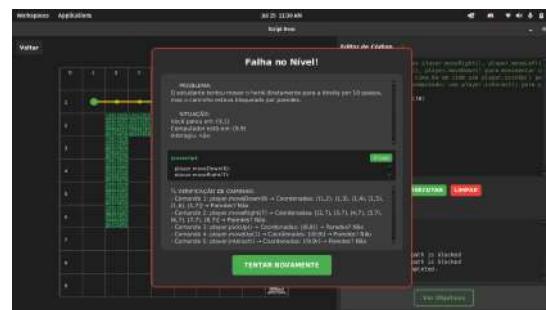


**Figura 4.** Alguns dos assets do Script Hero.

O *Core Drive 2*, Desenvolvimento e Realização, é representado por barras de progresso, uma lista sequencial de fases e um sistema de estrelas obtidas conforme o desempenho do jogador em cada etapa, como pode ser visto na Figura 5. Esses elementos promovem uma clara sensação de progresso e conquista. O *Core Drive 3*, Empoderamento, é aplicado por meio de *feedbacks* dinâmicos ao longo das fases, permitindo ao jogador experimentar diferentes soluções e receber retornos imediatos. A Figura 6 exemplifica esse tipo de *feedback*. Essa mecânica incentiva a exploração, reforça a autonomia e contribui para um processo de aprendizagem ativo e significativo.



**Figura 5.** Exemplificação da aplicação do core 2.



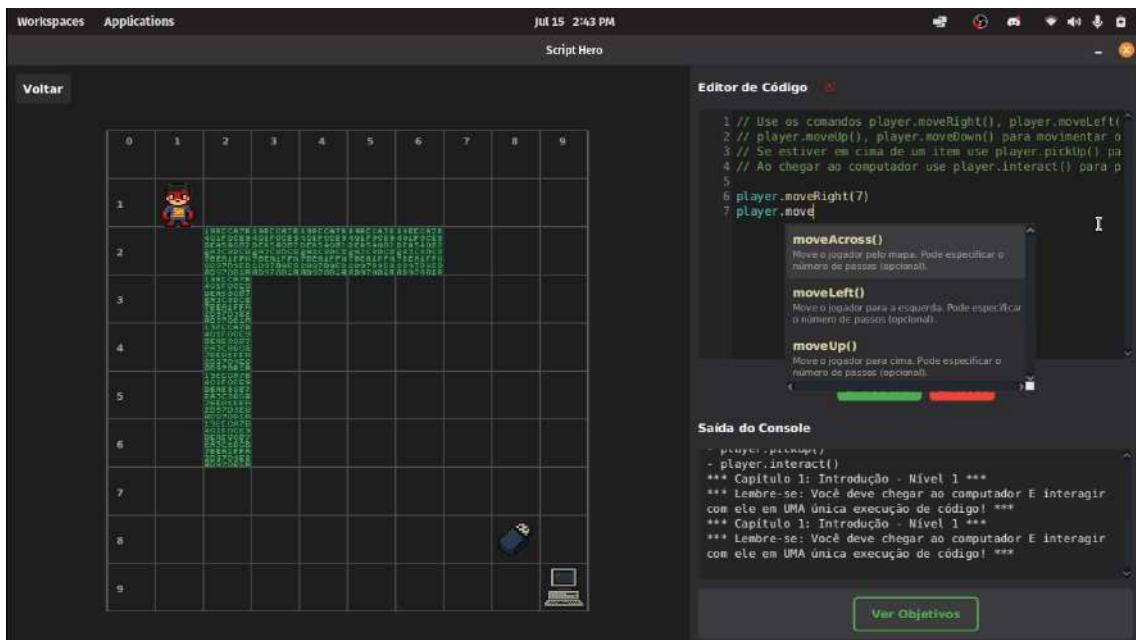
**Figura 6.** Exemplificação da aplicação do core 3.

### 3.1.4. Benchmarking

*Benchmarking* consiste na realização de testes para avaliar o desempenho de um sistema. No contexto de jogos, esse termo está frequentemente associado à medição do consumo de recursos necessários para a execução do software, como memória *RAM*, uso de *CPU* e espaço em disco. Com base nos testes realizados no jogo Script Hero, verificou-se que apenas 1 GB de memória *RAM* e 100 MB de espaço em disco rígido são suficientes para executá-lo adequadamente. Essa leveza é especialmente relevante em contextos educacionais, considerando que muitas escolas e universidades ainda enfrentam condições precárias de infraestrutura computacional, o que reforça a importância de soluções acessíveis e de baixo custo para ampliar o acesso à tecnologia e ao ensino.

### 3.1.5. Funcionamento Geral

Todos os pontos cruciais no desenvolvimento do Script Hero já foram apresentados. A seguir, apresenta-se uma breve descrição do funcionamento geral do jogo. A tela principal contém um tabuleiro com dimensões que variam conforme a fase, além de um editor de código integrado com recursos de autocompletar e documentação dos métodos disponíveis. Cada fase possui três objetivos: um principal, que consiste em interagir com o computador, e dois secundários, geralmente relacionados ao desempenho, como utilizar menos linhas de código ou empregar estruturas específicas. O jogador movimenta o herói utilizando comandos escritos no editor. Na Figura 7, por exemplo, o jogador pode usar os comandos *player.moveRight(8)* e *player.moveDown(8)* para alcançar o computador, seguido do comando *player.interact()* para interagir com ele. Essa dinâmica contribui para a compreensão dos conceitos de orientação a objetos, enquanto os objetivos secundários incentivam a busca por soluções mais eficientes.



**Figura 7. Tela Principal do Script Hero.**

## 4. Coleta e Análise dos Resultados

Nesta seção, descrevemos o processo de aplicação do teste, bem como os procedimentos de coleta e análise dos dados. Como mencionado anteriormente, utilizou-se um questionário baseado no modelo MEEGA+ para avaliar a experiência dos participantes com o jogo Script Hero. O questionário foi disponibilizado por meio de um formulário online (*Google Forms*), acessível diretamente no site do Script Hero.

Foram realizadas pequenas adaptações no formulário original do MEEGA+, restritas a questões demográficas, com o objetivo de preservar a identidade dos participantes. Além disso, no próprio formulário, foi informado que as respostas seriam utilizadas de forma anônima e que nenhum dado sensível, como endereço de e-mail, seria coletado. Essa medida visa assegurar a conformidade da pesquisa com as normas éticas de proteção de dados pessoais, impossibilitando a identificação individual dos respondentes.

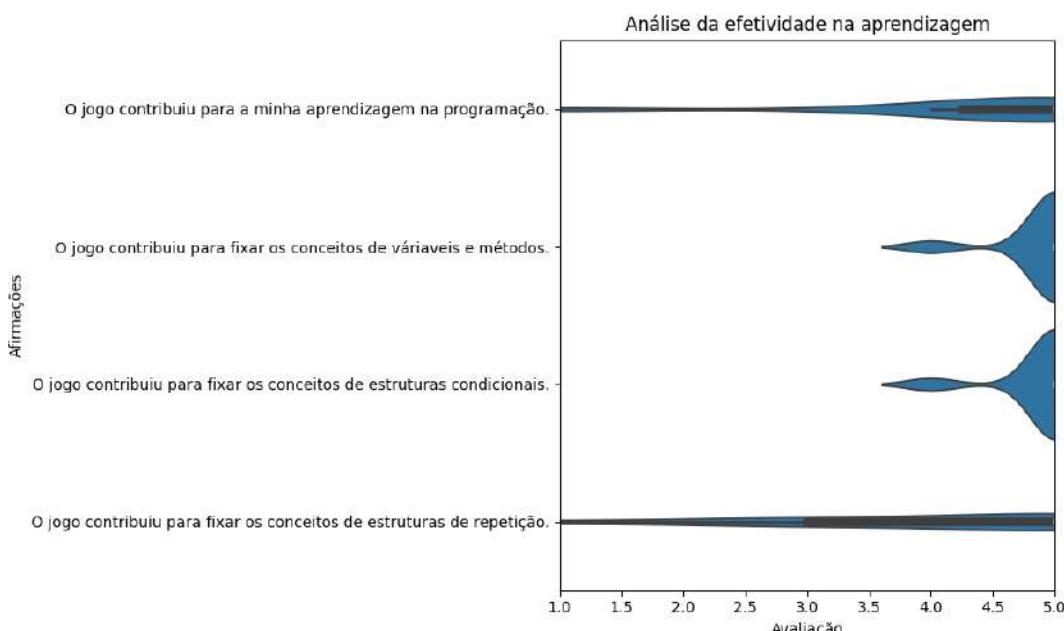
A amostragem incluiu 10 participantes, com diferentes níveis de experiência, abrangendo desde iniciantes, incluindo aqueles não matriculados em cursos superiores e estudantes dos primeiros períodos da graduação, até aqueles com maior familiaridade na área. A participação de alunos iniciantes é especialmente importante, pois eles têm maior potencial para se beneficiar do conteúdo oferecido pelo jogo. Por sua vez, as contribuições dos alunos mais experientes também são valiosas, uma vez que sua vivência e conhecimento acumulado permitem uma avaliação mais crítica e aprofundada da proposta.

Grande parte das sessões de teste foi realizada sob a supervisão dos autores. Como já mencionado, o Script Hero não tem o objetivo de substituir as aulas convencionais de programação, mas sim atuar como uma ferramenta de apoio. Por estar em versões iniciais, a supervisão durante os testes se mostrou fundamental para esclarecer dúvidas e garantir a compreensão dos participantes quanto ao funcionamento do jogo.

Para assegurar a integridade dos dados coletados, o questionário foi configurado para permitir apenas uma resposta por participante e desabilitar a edição após o envio. A análise dos dados foi realizada por meio da ferramenta *Google Colab*, utilizando a linguagem de programação *Python*.

Com relação à usabilidade do jogo, o retorno dos participantes foi unanimemente positivo. Todas as afirmações relacionadas a esse aspecto receberam respostas situadas na faixa superior da escala, composta por cinco níveis: (1) Discordo totalmente, (2) Discordo, (3) Não discordo nem concordo, (4) Concordo e (5) Concordo totalmente. No caso das afirmações sobre usabilidade, todas as respostas se concentraram exclusivamente nos níveis 4 (Concordo) e 5 (Concordo totalmente), evidenciando uma percepção altamente favorável quanto à facilidade de uso, clareza e navegação do sistema.

A Figura 8 apresenta a distribuição das notas atribuídas às principais afirmações relacionadas à efetividade do jogo Script Hero no processo de aprendizagem.



**Figura 8. Análise da efetividade na aprendizagem.**

A análise da efetividade na aprendizagem considerou as questões voltadas à avaliação do impacto do jogo no processo de ensino-aprendizagem. Foram analisadas especificamente as valências cognitivas relacionadas à fixação de conteúdos fundamentais, como estruturas condicionais, estruturas de repetição e variáveis/métodos, com o objetivo de mensurar o ganho percebido de conhecimento.

Conforme ilustrado na Figura 8, todas as afirmações apresentaram distribuições concentradas nas notas 4 (Concordo) e 5 (Concordo totalmente), evidenciando uma percepção amplamente positiva por parte dos participantes. A afirmação "O jogo contribuiu para a minha aprendizagem na programação" foi a que obteve os melhores resultados, com a maioria absoluta das respostas concentradas na nota máxima.

Já as afirmações relacionadas à fixação de conceitos específicos também apresentaram forte aceitação, ainda que com ligeira variação, especialmente no caso de estruturas de repetição. Esses resultados reforçam o potencial pedagógico do Script Hero como ferramenta de apoio ao ensino de programação introdutória.

## 5. Limitações da Pesquisa

Algumas limitações foram identificadas durante o estudo. A principal delas foi a ausência de participação de professores na coleta de dados, o que impediu a aplicação do instrumento avaliativo docente previsto no modelo MEEGA+. Outra limitação relevante foi a impossibilidade de acompanhar uma turma de calouros ao longo de um semestre completo, o que teria permitido uma análise mais aprofundada da evolução do aprendizado. Apesar dessas restrições, os resultados obtidos permanecem válidos e indicam caminhos promissores para investigações futuras com escopo ampliado e diferentes perfis de participantes.

## 6. Conclusão

Este trabalho apresentou o processo de prototipagem, desenvolvimento e análise do Script Hero, um jogo sério educacional voltado ao ensino de programação básica. Desenvolvido em Java, utilizando a biblioteca JavaFX, o jogo incorpora elementos de gamificação baseados no *framework* Octalysis, com o objetivo de promover maior engajamento e aprendizado entre os estudantes.

A avaliação da proposta foi realizada com 10 participantes de diferentes níveis de formação, incluindo iniciantes sem experiência no ensino superior e estudantes em fases distintas da graduação. A análise dos dados foi conduzida com base no modelo MEEGA+, voltado especificamente à validação de jogos educacionais na área de computação.

Os resultados obtidos indicaram uma aceitação *unânime* do Script Hero como ferramenta educacional eficaz, com destaque para sua usabilidade e contribuição no processo de aprendizagem. No entanto, algumas limitações foram identificadas, especialmente no que se refere à ausência de recursos de interação entre jogadores, aspecto que recebeu avaliações negativas de aproximadamente 70% dos participantes.

Esses achados reforçam o potencial do Script Hero como recurso de apoio didático, ao mesmo tempo em que apontam direções para aprimoramentos futuros, como a introdução de dinâmicas colaborativas e a ampliação da validação com diferentes perfis de usuários e contextos educacionais.

## Referências

- Araújo, L., Macena, J., Melo, R., Pessoa, M., and Pires, F. (2023). Variant scape: um jogo para exercitar conceitos de introdução à lógica de programação. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 1789–1800, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Blackwell, A. F. (2002). What is programming? In *PPIG*, page 20. Citeseer.
- Busarello, R. I. (2016). *Gamification: princípios e estratégias*. Pimenta Cultural.
- Christopher, L. and Waworuntu, A. (2021). Java programming language learning application based on octalysis gamification framework. *IJNMT (International Journal of New Media Technology)*, 8(1):65–69.
- Fukao, A., Colanzi, T., Martimiano, L., and Feltrim, V. (2023). Estudo sobre evasão nos cursos de computação da universidade estadual de maringá. In *Anais do III Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, pages 86–96, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Gamificação Brasil (2021). Framework para gamificação (octalysis). Acessado em 2025-07-15.
- Hoed, R. M. (2016). Análise da evasão em cursos superiores: o caso da evasão em cursos superiores da área de computação. Dissertação (mestrado profissional em computação aplicada), Universidade de Brasília, Brasília. xvi, 164, [8] f., il.
- kai Chou, Y. (2014). Octalysis: Complete gamification framework. Acesso em: 01 jul. 2025.
- Netto, D., Medeiros, L. M., de Pontes, D., and de Moraes, E. (2017). Game logic: Um jogo para auxiliar na aprendizagem de lógica de programação. In *Anais do XXV Workshop sobre Educação em Computação*, pages 2297–2306, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Oliveira, G. C. and Boff, E. (2023). Code\_dungeon: um serious game para auxiliar no aprendizado de programação. In *Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, pages 581–590. SBC.
- Petri, G., Von Wangenheim, C. G., and Borgatto, A. F. (2019). Meega+: Um modelo para a avaliação de jogos educacionais para o ensino de computação. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 27(03):52–81.
- Pho, A. and Dinscore, A. (2015). Game-based learning. *Tips and trends*, pages 1–5.
- Silva, M. B. d., Furtado, S. D. d. F., and Furtado, J. C. C. (2024). A evasão dos estudantes em cursos de computação: um estudo sobre a universidade federal do amapá. *Caderno Pedagógico*, 21(9):e7820.
- Silva, R. R., Rivero, L., and Dos Santos, R. P. (2021). Programse: Um jogo para aprendizagem de conceitos de lógica de programação. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 29:301–330.
- Silva, T. G. d. et al. (2012). Jogos sérios em mundos virtuais: uma abordagem para o ensino-aprendizagem de teste de software.

# **Max Economy: Uma Metodologia de Cobrança de Água Inteligente e Econômica em Condomínios com Medição Individual**

**Rilton Max da Silva Pedrosa<sup>1</sup>, Saulo Henrique Cabral Silva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Ouro Branco  
Ouro Branco – MG – Brasil

rlitonmaxsilva@gmail.com, saulo.cabral@ifmg.edu.br

**Resumo.** A Lei nº 13.312/2016 tornou obrigatória a medição individualizada do consumo de água em novos condomínios, promovendo justiça tarifária e o uso consciente dos recursos. Contudo, muitos condomínios ainda utilizam modelos de cobrança que podem gerar distorções, como o valor proporcional por metro cúbico, que aumenta os custos de apartamentos com menor consumo, ou a aplicação direta da tabela da concessionária, que eleva os valores dos apartamentos com maior consumo. Este trabalho apresenta a Max Economy, uma metodologia computacional baseada em um algoritmo heurístico multifásico que considera faixas tarifárias, perfis de consumo e ajustes iterativos para reduzir distorções e evitar arrecadação superior ao necessário. Testes com dados reais indicam que a proposta distribui os valores de forma mais justa, proporcionando economia sem comprometer o total arrecadado e configurando-se como uma alternativa viável e transparente para a gestão tarifária em condomínios.

**Palavras-chave:** Max Economy; Algoritmo heurístico; Medição individualizada de água; Cálculo tarifário; Gestão condominial.

**Abstract.** Law nº 13.312/2016 established mandatory individual water metering in new condominiums, promoting tariff fairness and conscious resource use. However, many condominiums still apply billing models that may cause distortions, such as the proportional cost per cubic meter, which increases costs for apartments with lower consumption, or the direct application of the utility's tariff table, which raises the amounts charged to apartments with higher consumption. This work presents Max Economy, a computational methodology based on a multi-phase heuristic algorithm that considers tariff tiers, consumption profiles, and iterative adjustments to reduce distortions and avoid overbilling. Tests with real data show that the proposed approach distributes costs more fairly, generating savings without compromising total revenue, representing a viable and transparent alternative for tariff management in condominiums.

**Keywords:** Max Economy; Heuristic algorithm; Individualized water metering; Tariff calculation; Condominium management.

## 1. Introdução

Nos últimos anos, a legislação brasileira avançou significativamente em direção à gestão sustentável dos recursos hídricos e à equidade no acesso à água. Um marco relevante nesse contexto foi a promulgação da Lei nº 13.312/2016, que alterou a Lei nº 11.445/2007, tornando obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico em novas edificações condominiais (BRASIL, 2016). Essa medida busca promover o uso racional da água e garantir que os moradores sejam cobrados proporcionalmente ao seu consumo real, incentivando a responsabilidade no uso desse recurso essencial.

Contudo, embora muitos condomínios já contem com sistemas de medição individualizada, a forma como os valores são calculados e cobrados continua apresentando falhas significativas. Modelos tradicionais, como o rateio baseado no valor médio por metro cúbico ou a aplicação direta da tabela progressiva da concessionária (ARSAE, 2023), podem gerar distorções. Isso ocorre, por exemplo, quando apartamentos com baixo consumo acabam pagando proporcionalmente mais ou quando o valor arrecadado pelo condomínio excede o montante da fatura real emitida pela companhia de saneamento (TEIXEIRA, 2017).

A literatura aponta que essas práticas comprometem os princípios de justiça social, transparência e eficiência na gestão condominial (LOPES e RIBEIRO, 2022). Ainda que o uso de hidrômetros individualizados represente um avanço, a ausência de uma metodologia de cálculo justa pode desestimular o consumo consciente e gerar conflitos entre condôminos, especialmente quando unidades com perfis de consumo muito distintos são cobradas de maneira desproporcional.

Diante desse cenário, este trabalho propõe a *Max Economy*, uma metodologia computacional estruturada por um algoritmo heurístico multifásico, desenvolvida com o objetivo de distribuir os custos de forma equitativa, transparente e auditável. O algoritmo considera as faixas tarifárias da concessionária, os perfis de consumo das unidades habitacionais e mecanismos de ajuste fino, permitindo gerar cobranças mais justas, sem aumentar custos desnecessariamente nem ocasionar arrecadação acima do necessário.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são apresentados os trabalhos relacionados e as abordagens tradicionais aplicadas ao contexto da cobrança de água em condomínios. Na Seção 3, é detalhado o algoritmo desenvolvido, e na Seção 4, os testes realizados para sua validação. Por fim, nas Seções 5 e 6, são apresentados os resultados e as conclusões.

## 2. Trabalhos Relacionados

O Projeto de Lei nº 5.020-B (BRASIL, 2013), proposto pelo Senador Antônio Carlos Valadares, visava alterar a Lei nº 11.445/2007, estabelecendo a obrigatoriedade da medição individualizada do consumo de água em novas edificações condominiais. O projeto foi aprovado por comissões relevantes e contou com o apoio do Deputado Nilmário Miranda, que destacou os problemas de má distribuição, desperdício e uso indevido da água no Brasil. Essa proposta resultou na sanção da Lei nº 13.312/2016, que tornou obrigatória a medição individualizada em novas construções condominiais, promovendo padrões de sustentabilidade ambiental. A lei entrou em vigor cinco anos após sua publicação, mar-

cando um avanço significativo na regulamentação do uso justo da água em ambientes coletivos.

O artigo *A Problemática da Individualização da Água em Condomínios Edilícios* (LOPES e RIBEIRO, 2022) discute as mudanças legais trazidas pela Lei nº 13.312/2016 e seus impactos sociais. Os autores enfatizam que, além de uma exigência legal, a individualização do consumo é uma medida de justiça social, já que o modelo de rateio igualitário desconsidera disparidades entre perfis de consumo, como um apartamento com um morador pagar o mesmo valor que outro com cinco. Apesar da regulamentação, muitos condomínios antigos ainda enfrentam dificuldades logísticas e financeiras para adaptar seus sistemas. No Estado de São Paulo, a SABESP, por meio do Programa PROACQUA, oferece soluções técnicas para medição individualizada, exigindo estudo de viabilidade, projeto hidráulico, equipamentos homologados e profissionais certificados. Essa complexidade, somada aos custos de implementação, faz com que alguns condomínios busquem alternativas não homologadas.

Os mesmos autores destacam que existem dois métodos principais de leitura dos hidrômetros: leitura *in loco*, que é mais acessível, porém suscetível a falhas humanas, e telemetria, que possui maior precisão, mas envolve custos de instalação e manutenção. Ambas as abordagens se concentram na coleta, não no tratamento inteligente dos dados.

SCHWARTZ (2017) também reforça a relevância do tema ao destacar que a água representa, em média, 17% das despesas condominiais, tornando sua gestão um elemento crucial na eficiência administrativa. A cobrança igualitária ignora diferenças reais de consumo entre famílias, criando distorções no princípio da justiça tarifária. A individualização por si só já é um avanço, mas seu impacto é reduzido se o modelo de rateio continuar sendo genérico ou baseado em médias que aumentam os custos de apartamentos mais econômicos e conscientes.

Um exemplo de aplicação tecnológica voltada à leitura individualizada foi desenvolvido por ANDRADE (2016), que propôs um aplicativo móvel para *Android* integrado ao *ERP* da empresa Administradora de Condomínios Solução, em Caxias do Sul. A ferramenta permitia a entrada de dados por *OCR* (Reconhecimento Óptico de Caracteres), comando de voz ou digitação. O *OCR* é uma tecnologia que converte textos impressos ou manuscritos em dados digitais, possibilitando, nesse caso, que os números dos hidrômetros fossem lidos automaticamente a partir de imagens, sem necessidade de digitação manual. Essa funcionalidade, aliada aos outros recursos do aplicativo, teve como foco a otimização da coleta de consumo de água e gás, reduzindo erros manuais e tempo de operação. No entanto, mesmo com esses ganhos operacionais, a solução proposta ainda depende da atuação humana para realizar os cálculos tarifários e definir os valores a serem repassados a cada unidade, deixando margem para inconsistências e injustiças no rateio final.

## **2.1. Metodologias de Cálculo**

A individualização da medição de água em condomínios envolve diferentes modelos de cálculo de cobrança. Os dois modelos mais utilizados são o Valor Proporcional e a Tabela da Concessionária (JORNALISMO DIRECIONAL, 2017).

No modelo baseado no valor proporcional, o cálculo inicia-se com a divisão do valor total da fatura do condomínio, emitida pela concessionária, pelo volume total de

água consumido no período. Esse procedimento gera um valor unitário fixo por metro cúbico, que será aplicado de forma uniforme a todas as unidades. Para cada apartamento, multiplica-se o consumo individual registrado pelo hidrômetro pelo valor unitário do metro cúbico, resultando no montante correspondente ao consumo próprio de cada unidade.

Além desse cálculo, todos os moradores devem arcar com uma taxa fixa mínima estabelecida pela concessionária, independentemente de haver consumo no mês. Dessa forma, o total arrecadado pelo condomínio ao final do processo é exatamente igual ao valor da fatura emitida, uma vez que o cálculo se baseia diretamente no rateio proporcional do valor global.

No modelo baseado na aplicação da tabela da concessionária (ARSAE, 2023), o cálculo do valor a ser pago por cada unidade é realizado utilizando-se a tabela de tarifas disponibilizada pela empresa fornecedora. Essa tabela é organizada em faixas progressivas de consumo, nas quais o valor do metro cúbico aumenta conforme o volume consumido — por exemplo, de 0 a 5 m<sup>3</sup>, de 5 a 10 m<sup>3</sup>, de 10 a 15 m<sup>3</sup> e assim por diante. O consumo total de cada unidade é tarifado de forma acumulativa, ou seja, cada faixa é aplicada proporcionalmente ao volume correspondente dentro de seu intervalo. Além disso, todos os moradores devem pagar uma taxa fixa mínima, independentemente de haver ou não consumo no período, conforme estabelecido pela concessionária.

Quando a companhia de saneamento calcula a fatura do condomínio, ela considera o volume total consumido e obtém a média de consumo por unidade, aplicando essa média diretamente na tabela tarifária para determinar o valor global da conta. Por exemplo, em um condomínio com 20 apartamentos e consumo total de 400 m<sup>3</sup>, a média de 20 m<sup>3</sup> por unidade é utilizada como base para a tarifação, resultando no cálculo da fatura com base nesse consumo médio.

Na aplicação individual, entretanto, os valores podem diferir, pois os consumos reais variam entre as unidades. Em um cenário no qual um apartamento consome 10 m<sup>3</sup> e outro 30 m<sup>3</sup>, a média entre eles continua sendo 20m<sup>3</sup>, mas cada unidade será tarifada de acordo com seu consumo próprio, com incidência das faixas tarifárias correspondentes ao volume registrado. Dessa forma, duas unidades com consumos distintos podem ser enquadradas em faixas diferentes, fazendo com que o custo por metro cúbico varie entre elas. Esse comportamento ocorre devido à natureza progressiva da tarifação, que aumenta gradualmente o valor cobrado à medida que o consumo cresce.

Com base nos dois modelos apresentados, observa-se que essas metodologias são utilizadas em diferentes contextos de individualização da cobrança de água em condomínios e servem como referência para o desenvolvimento de novas abordagens. VI-EIRA (2021) destaca que, embora amplamente adotadas, tais metodologias podem apresentar distorções, como a possibilidade de arrecadação superior ao valor real da fatura ou a transferência indireta de custos entre unidades com perfis de consumo distintos. A seguir, é descrita a metodologia proposta neste trabalho, que utiliza um algoritmo heurístico multifásico para o cálculo do rateio, tomando como base os princípios e dados das metodologias tradicionais, mas com uma estrutura voltada para a otimização do processo de distribuição dos valores.

### 3. Metodologia

Os dados foram coletados em um condomínio localizado em Conselheiro Lafaiete, MG, no período de janeiro a dezembro de 2023. O acompanhamento foi realizado em 20 apartamentos, que abrigam famílias compostas por dois a cinco moradores. Durante esse período, todos os apartamentos foram monitorados mensalmente, a fim de identificar padrões reais de consumo. As duas metodologias tradicionais foram analisadas: o cálculo baseado no valor proporcional (preço médio) por metro cúbico e o modelo que utiliza a tabela tarifária da concessionária. Em seguida, foi implementada a metodologia *Max Economy*, desenvolvida para redistribuir os valores de cobrança a partir dos dados de consumo individual, utilizando um algoritmo heurístico multifásico baseado nas faixas tarifárias da concessionária.

O *Max Economy* é um algoritmo heurístico desenvolvido especificamente para otimizar o rateio das faturas de água em condomínios com medição individualizada. Sua proposta central é encontrar um ponto de equilíbrio entre justiça na cobrança, aderência ao valor total da fatura da concessionária e simplicidade na aplicação prática.

A metodologia foi estruturada em fases sequenciais, permitindo que a lógica de redistribuição seja aplicada de forma gradual, com ajustes automáticos que respeitam tanto as faixas tarifárias da concessionária quanto o consumo real de cada unidade. Dessa forma, o algoritmo evita tanto a penalização de quem consome menos quanto a arrecadação excessiva pelo condomínio.

Além de considerar os dados reais de consumo e a tabela tarifária vigente, o *Max Economy* introduz uma etapa de ajuste iterativo inteligente, capaz de recalibrar os valores individualmente até atingir um resultado dentro da margem de tolerância estipulada.

A seguir é apresentado o pseudocódigo do algoritmo *Max Economy*, que detalha passo a passo a lógica empregada na redistribuição dos valores.

```
ALGORITMO MaxEconomy

// --- 1: Informações Iniciais ---
VARIAVEIS
    valorCompanhia      : REAL
    m3Companhia         : REAL
    nAptos              : INTEIRO
    consumoMedioPorApto : REAL

INÍCIO
    LEIA valorCompanhia , m3Companhia , nAptos
    consumoMedioPorApto ← m3Companhia / nAptos
```

**Figura 1. Pseudocódigo da etapa inicial do algoritmo *Max Economy* para coleta dos dados de entrada.**

São exigidos três dados de entrada essenciais: o valor total da conta de água emitida pela concessionária (denotado por *valorCompanhia*), o volume total de consumo de água registrado no período (representado por *m3Companhia*) e a quantidade total de apartamentos que compõem o condomínio (*nAptos*).

Após a leitura desses dados, o algoritmo realiza um cálculo simples, mas crucial: a divisão do consumo total de água (`m3Companhia`) pelo número de apartamentos (`nAptos`), gerando assim o valor de `consumoMedioPorApto`. Essa média serve como um parâmetro de referência técnico, que será utilizado ao longo do algoritmo para moldar a distribuição proporcional do consumo em faixas tarifárias e guiar os ajustes nas etapas posteriores.

```
// --- 2: Cadastro de Tarifas e Faixas ---
TIPO Faixa
    limInf , limSup      : REAL      // limSup = INFINITO para a última faixa
    R$/m3_agua , R$/m3_esg : REAL
FIMTIPO

LEIA taxaFixaAgua , taxaFixaEsgoto
tabela ← LISTA DE Faixa (preenchida externamente ou via interface)
```

**Figura 2. Pseudocódigo da etapa de cadastro das tarifas fixas e faixas tarifárias no algoritmo *Max Economy*.**

Posteriormente, é definido um novo tipo de estrutura de dados chamado *Faixa*, o qual organiza as informações relativas a cada nível da tabela tarifária. Essa estrutura contém os limites inferior (`limInf`) e superior (`limSup`) de consumo em metros cúbicos, além dos valores cobrados por metro cúbico de água (`R$/m3_agua`) e de esgoto (`R$/m3_esg`). Por exemplo, uma faixa pode abranger consumos de 0 a 5 m<sup>3</sup>, representando o primeiro degrau da tarifação. A última faixa, por sua vez, tem limite superior igual a infinito, cobrindo todos os consumos acima de determinado patamar.

Após a definição do tipo *Faixa*, o algoritmo realiza a leitura dos valores das taxas fixas — uma para água (`taxaFixaAgua`) e outra para esgoto (`taxaFixaEsgoto`) — que são cobradas igualmente de todos os moradores, independentemente do consumo. Por fim, é carregada a tabela de faixas, uma lista contendo todos os blocos tarifários definidos pela companhia, com seus respectivos intervalos de consumo e preços.

```
// === 3. DISTRIBUIÇÃO DA MÉDIA NAS FAIXAS (CRIAÇÃO DO MOLDE) =====
TIPO FaixaDistribuida
    limInf , limSup      : REAL
    consumoNaFaixa     : REAL
FIMTIPO

tabelaMediana ← LISTA VAZIA
restante ← consumoMedioPorApto

PARA cada f EM tabela ENQUANTO restante > 0
    q ← MIN(restante , f.limSup - f.limInf OU ∞)
    ADIC tabelaMediana , FaixaDistribuida(f.limInf , f.limSup , q)
    restante ← restante - q
FIMPARA
```

**Figura 3. Pseudocódigo da etapa de construção do molde de consumo médio no algoritmo *Max Economy*.**

Nesta etapa, o algoritmo constrói um perfil de referência, denominado “molde”, que representa como o consumo médio por apartamento seria distribuído dentro da estru-

tura tarifária da concessionária. Esse molde será posteriormente replicado e ajustado para cada unidade individual, conforme suas características reais de consumo.

Para isso, é definido um novo tipo de dado chamado *FaixaDistribuida*, que armazena os limites inferior e superior da faixa, além da quantidade de metros cúbicos que foi atribuída a ela. O algoritmo inicializa a variável restante com o valor do consumo médio por apartamento (*consumoMedioPorApto*) e uma lista vazia chamada *tabelaMediana*, que irá armazenar a distribuição desse consumo médio ao longo das faixas.

Em seguida, utilizando um laço, o algoritmo percorre sequencialmente todas as faixas da tabela tarifária. Em cada iteração, ele verifica qual quantidade de consumo ainda pode ser alocada naquela faixa, calculando o menor valor entre o consumo restante e a capacidade disponível daquela faixa. Esse valor, armazenado em *q*, representa a quantidade que será efetivamente alocada na faixa atual.

O algoritmo então adiciona essa nova faixa distribuída à lista *tabelaMediana* e subtrai *q* do consumo restante. Esse processo se repete até que todo o consumo médio tenha sido distribuído pelas faixas. O resultado dessa etapa é uma tabela modelo (*tabelaMediana*), que descreve exatamente quantos metros cúbicos de um consumo médio são distribuídos em cada faixa de preço. Esse molde servirá como base de cálculo para a distribuição proporcional aplicada aos apartamentos reais, com ajustes posteriores conforme seu consumo individual.

```
// === 4. LEITURA E DISTRIBUIÇÃO INICIAL POR APARTAMENTO =====
TIPO Apartamento
    num          : INTEIRO
    leituraAnt, leituraAtu : REAL
    consumo      : REAL
    distFaixas   : LISTA DE FaixaDistribuida
FIMTIPO

aptos ← LISTA VAZIA

PARA i ← 1 .. nAptos
    LEIA num , leituraAnt , leituraAtu
    consumo ← leituraAtu - leituraAnt
    dist ← COPIA_PROFUNDA(tabelaMediana)

    // Alocação do consumo excedente na penúltima faixa ativa do molde
    excedente ← MAX(0 , consumo - consumoMedioPorApto)
    SE excedente > 0
        penúltima ← ÍNDICE_DA_PENÚLTIMA_FAIXA_ATIVA(dist)
        dist[penúltima].consumoNaFaixa ← dist[penúltima].consumoNaFaixa + excedente
    FIMSE

    ADIC aptos , Apartamento(num , leituraAnt , leituraAtu , consumo , dist)
FIMPARA
```

**Figura 4. Pseudocódigo da etapa de leitura do consumo individual e alocação inicial do excedente no algoritmo *Max Economy*.**

Nesta etapa, o algoritmo processa os dados de consumo individual de cada apartamento. Para isso, utiliza o número do apartamento, a leitura anterior e a leitura atual do hidrômetro, calculando assim o consumo real. Com esse valor em mãos, o algoritmo cria uma cópia do perfil médio de consumo (tabelaMediana), construído na fase anterior. Cada apartamento começa com esse mesmo molde. Se o consumo real for maior que a média, o algoritmo identifica o excedente e aloca esse valor extra na penúltima faixa ativa do molde.

Essa decisão tem um propósito: evitar que o excesso dos m<sup>3</sup> de água consumidos vá direto para as faixas mais caras, como acontece nos modelos tradicionais. Ao colocar esse consumo extra em uma faixa mais barata desde o início, o algoritmo cria uma base mais equilibrada para os ajustes finais, que vêm depois.

```
// === 5. FUNÇÃO DE CUSTO =====
FUNÇÃO ValorConta(a : Apartamento) RET REAL
    total ← taxaFixaAgua + taxaFixaEsgoto
    PARA cada d EM a.distFaixas
        f ← FAIXA_ORIGINAL_CORRESPONDENTE(d , tabela)
        total ← total + d.consumoNaFaixa * (f.R$/m3_agua + f.R$/m3_esg)
    FIMPARA
    RET total
FIMFUNÇÃO

FUNÇÃO Somatorio() RET REAL
    soma ← 0
    PARA cada a EM aptos
        soma ← soma + ValorConta(a)
    FIMPARA
    RET soma
FIMFUNÇÃO
```

**Figura 5. Pseudocódigo das funções *ValorConta* e *Somatorio*, responsáveis pelo cálculo do valor individual de cada unidade e pela soma total das cobranças no algoritmo *Max Economy*, servindo de base para a etapa de ajuste final.**

A quinta etapa do algoritmo introduz duas funções essenciais para o cálculo dos valores monetários: *ValorConta* e *Somatorio*.

A função *ValorConta* é responsável por determinar o valor total a ser pago por um único apartamento, com base na sua distribuição atual de consumo. Para isso, ela inicia somando as taxas fixas de água e esgoto, que são cobradas igualmente para todos os moradores. Em seguida, percorre cada faixa presente na distribuição individual do apartamento, buscando a faixa original correspondente na tabela tarifária da concessionária. A cada faixa, o algoritmo calcula o custo multiplicando a quantidade de metros cúbicos consumidos naquele intervalo pelo somatório dos preços de água e esgoto por m<sup>3</sup>, definidos pela companhia. O resultado acumulado representa o valor completo da conta daquele morador, respeitando a lógica de tarifação oficial.

Já a função *Somatorio* tem como objetivo consolidar os valores individuais e retornar o total arrecadado considerando todos os apartamentos. Para isso, ela percorre a

lista de moradores cadastrados e utiliza a função *ValorConta* para obter o valor de cada unidade. Ao final, soma todos os valores e retorna o montante global, que será utilizado nas etapas seguintes como referência para o processo de ajuste, comparando-o com o valor real da fatura emitida pela concessionária.

```
// === 6. HEURÍSTICA DE RECALIBRAGEM DE CONSUMO -----
limInf ← valorCompanhia * 1.00
limSup ← valorCompanhia * 1.01

ENQUANTO Somatorio() < limInf OU Somatorio() > limSup
    // Ordena para priorizar os apartamentos de maior consumo
    ORDENAR aptos POR consumo DESC

    ajusteFeito ← FALSO
    PARA cada a EM aptos
        SE a.consumo ≤ consumoMedioPorApto
            CONTINUE      // Regra de proteção: não ajusta quem está na média ou abaixo
        FIMSE

        // Procura a primeira faixa que "transbordou" para poder recalibrar
        ENCONTRAR indiceFaixaAjustavel EM a.distFaixas
        SE indiceFaixaAjustavel = NÃO_ENCONTRADO
            CONTINUE
        FIMSE

        // Ação de Recalibragem: transfere 1 m³ da faixa que transbordou
        // para a próxima faixa, que é mais cara, aumentando o custo total.
        a.distFaixas[indiceFaixaAjustavel].consumoNaFaixa     -= 1
        a.distFaixas[indiceFaixaAjustavel+1].consumoNaFaixa   += 1

        ajusteFeito ← VERDADEIRO
        SAIRPARA      // Recalcula o somatório a cada micro-ajuste para revalidar
    FIMPARA

    SE NÃO ajusteFeito
        SAIR_ENQUANTO // Encerra se não houver mais ajustes possíveis
    FIMSE
FIMENQUANTO
```

**Figura 6. Pseudocódigo da heurística de recalibragem de consumo no algoritmo *Max Economy*, responsável por ajustar os valores individuais até atingir a arrecadação total desejada.**

Esta etapa representa o núcleo de inteligência do algoritmo, onde é aplicada a Heurística de Recalibragem de Consumo. O objetivo aqui é otimizar a distribuição de consumo de forma iterativa, ajustando os valores individualmente até que a soma total das contas de água dos apartamentos esteja dentro de uma margem de tolerância aceitável — definida, neste caso, como variando entre 100% e 101% do valor da fatura real da concessionária.

O processo inicia com a definição dos limites inferior e superior de arrecadação. Em seguida, o algoritmo inicia um loop que realizará iterações enquanto o valor total calculado (através da função *Somatorio*) estiver abaixo ou acima dos limites estipulados.

A cada iteração, a lista de apartamentos é ordenada do maior para o menor consumo, priorizando os que apresentam maior impacto financeiro. Esse ordenamento é estratégico, pois maximiza a eficiência dos ajustes ao focar em quem mais consome. Em seguida, é aplicada uma regra de proteção, que impede alterações em apartamentos cujo consumo foi igual ou inferior à média, garantindo que os ajustes afetem apenas os excessivos.

O algoritmo então percorre as faixas de cada apartamento elegível e identifica a primeira faixa que “transbordou”, ou seja, aquela cujo consumo ultrapassa seu limite superior. Quando isso ocorre, o algoritmo executa a ação de recalibragem, que consiste em transferir 1 metro cúbico ( $m^3$ ) dessa faixa para a faixa imediatamente superior — que possui um valor mais alto por  $m^3$ . Após cada ajuste bem-sucedido, o algoritmo interrompe o ciclo interno (SAIRPARA), forçando o recálculo do somatório geral antes de realizar qualquer outro ajuste. Esse comportamento garante controle e estabilidade, evitando alterações em excesso e promovendo uma convergência gradual e segura. Caso nenhuma mudança seja possível em uma rodada (ou seja, nenhum apartamento elegível possui faixas ajustáveis), o algoritmo encerra o processo, assumindo que a melhor distribuição possível já foi alcançada dentro dos limites definidos.

#### 4. Testes

Após o desenvolvimento do algoritmo *Max Economy*, as três metodologias de cobrança (*Max Economy*, Valor Proporcional e Tabela da Concessionária) foram aplicadas a 20 apartamentos, com base no consumo mensal de água de cada unidade durante o período de janeiro a dezembro de 2023. Os valores calculados para cada metodologia foram transferidos para planilhas mensais individualizadas, possibilitando uma comparação detalhada entre os modelos. Além disso, foi realizado o acompanhamento acumulado mês a mês de cada apartamento, permitindo uma análise precisa de quanto cada unidade pagaria utilizando cada uma das três abordagens.

A condução dos testes foi realizada com a autorização formal do condomínio, garantindo que todas as análises respeitassem as normas legais e administrativas vigentes. Para assegurar a privacidade dos moradores, todas as unidades foram anonimizadas antes da inclusão nos testes, e nenhum dado pessoal identificável foi utilizado ou armazenado durante o processo, em conformidade com os princípios de confidencialidade e proteção de dados.

Como parte da análise qualitativa, foram selecionados três apartamentos que representam perfis distintos de consumo, com o objetivo de ilustrar os resultados obtidos a partir da aplicação das três metodologias: o apartamento (a), com consumo inferior à média geral do condomínio; o apartamento (b), com consumo superior à média geral; e o apartamento (c), com consumo próximo à média geral. Esses três perfis foram utilizados para representar os principais cenários possíveis e facilitar a interpretação dos impactos de cada metodologia na prática, destacando como cada abordagem afeta unidades com diferentes comportamentos de consumo.

Para facilitar a interpretação dos resultados, foi criada uma tabela detalhada com os três apartamentos, apresentando mês a mês o consumo de cada unidade e os valores calculados de acordo com as três metodologias aplicadas. Essa tabela permitiu uma análise

precisa das variações mensais e destacou as discrepâncias nos valores pagos, facilitando a comparação direta entre as abordagens. Após isso, todos os dados foram organizados e apresentados em gráficos comparativos, permitindo uma visualização clara e objetiva das diferenças entre as metodologias.

## 5. Resultados

A seguir, são apresentados os resultados de três cenários distintos, considerando perfis diferentes de consumo: o apartamento “A”, com consumo inferior à média geral do condomínio, o apartamento “B”, com consumo superior à média geral; e o apartamento “C”, com consumo próximo à média geral.

APTO A				APTO B				APTO C						
MÊS	CONSUMO	MAXECONOMY	VALOR PROPORCIONAL	TABELA CONCESSIONÁRIA	CONSUMO	MAX ECONOMY	VALOR PROPORCIONAL	TABELA CONCESSIONÁRIA	CONSUMO	MAX ECONOMY	VALOR PROPORCIONAL	TABELA CONCESSIONÁRIA		
JANEIRO	14	R\$ 143,96	R\$ 189,69	R\$ 143,96	34	R\$ 440,57	R\$ 387,29	R\$ 549,71	10	R\$ 94,30	R\$ 139,37	R\$ 94,30		
FEVEREIRO	11	R\$ 106,72	R\$ 135,51	R\$ 106,72	26	R\$ 297,79	R\$ 271,11	R\$ 374,22	20	R\$ 223,29	R\$ 216,87	R\$ 242,61		
MARÇO	16	R\$ 173,63	R\$ 228,55	R\$ 173,63	39	R\$ 617,17	R\$ 505,24	R\$ 659,39	27	R\$ 396,16	R\$ 360,88	R\$ 396,16		
ABRIL	18	R\$ 208,12	R\$ 235,89	R\$ 208,12	34	R\$ 426,09	R\$ 375,73	R\$ 549,71	19	R\$ 225,36	R\$ 224,88	R\$ 225,36		
MAIO	15	R\$ 156,38	R\$ 193,42	R\$ 156,38	33	R\$ 452,30	R\$ 382,24	R\$ 527,77	21	R\$ 259,85	R\$ 256,36	R\$ 264,54		
JUNHO	17	R\$ 190,87	R\$ 215,93	R\$ 190,87	34	R\$ 450,23	R\$ 395,79	R\$ 549,71	22	R\$ 277,10	R\$ 268,83	R\$ 286,48		
JULHO	15	R\$ 156,38	R\$ 191,02	R\$ 156,38	33	R\$ 413,67	R\$ 376,96	R\$ 527,77	20	R\$ 242,61	R\$ 242,67	R\$ 242,61		
AGOSTO	18	R\$ 208,12	R\$ 219,53	R\$ 208,12	34	R\$ 416,43	R\$ 375,05	R\$ 549,71	24	R\$ 287,44	R\$ 275,35	R\$ 330,35		
SETEMBRO	11	R\$ 106,72	R\$ 158,81	R\$ 106,72	36	R\$ 523,22	R\$ 437,11	R\$ 593,58	24	R\$ 311,59	R\$ 303,43	R\$ 330,35		
OUTUBRO	19	R\$ 242,61	R\$ 261,07	R\$ 242,61	38	R\$ 557,71	R\$ 463,57	R\$ 637,45	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
NOVEMBRO	14	R\$ 143,96	R\$ 178,31	R\$ 143,96	37	R\$ 468,16	R\$ 411,99	R\$ 615,52	9	R\$ 86,29	R\$ 127,51	R\$ 86,29		
DEZEMBRO	12	R\$ 119,13	R\$ 157,99	R\$ 119,13	34	R\$ 416,43	R\$ 381,51	R\$ 549,71	14	R\$ 143,96	R\$ 178,31	R\$ 143,96		
TOTAL GERAL		R\$ 1.956,60	R\$ 2.332,52	R\$ 1.956,60	TOTAL GERAL		R\$ 5.479,77	R\$ 4.763,59	R\$ 6.684,25	TOTAL GERAL		R\$ 2.547,95	R\$ 2.595,46	R\$ 2.543,01

**Figura 7. Comparação das três metodologias de cobrança (*Max Economy*, Valor Proporcional e Tabela da Concessionária) aplicadas a três perfis distintos de consumo: (A) apartamento com consumo inferior à média geral; (B) apartamento com consumo superior à média geral; e (C) apartamento com consumo próximo à média geral, considerando o consumo mensal e os valores calculados ao longo do ano.**

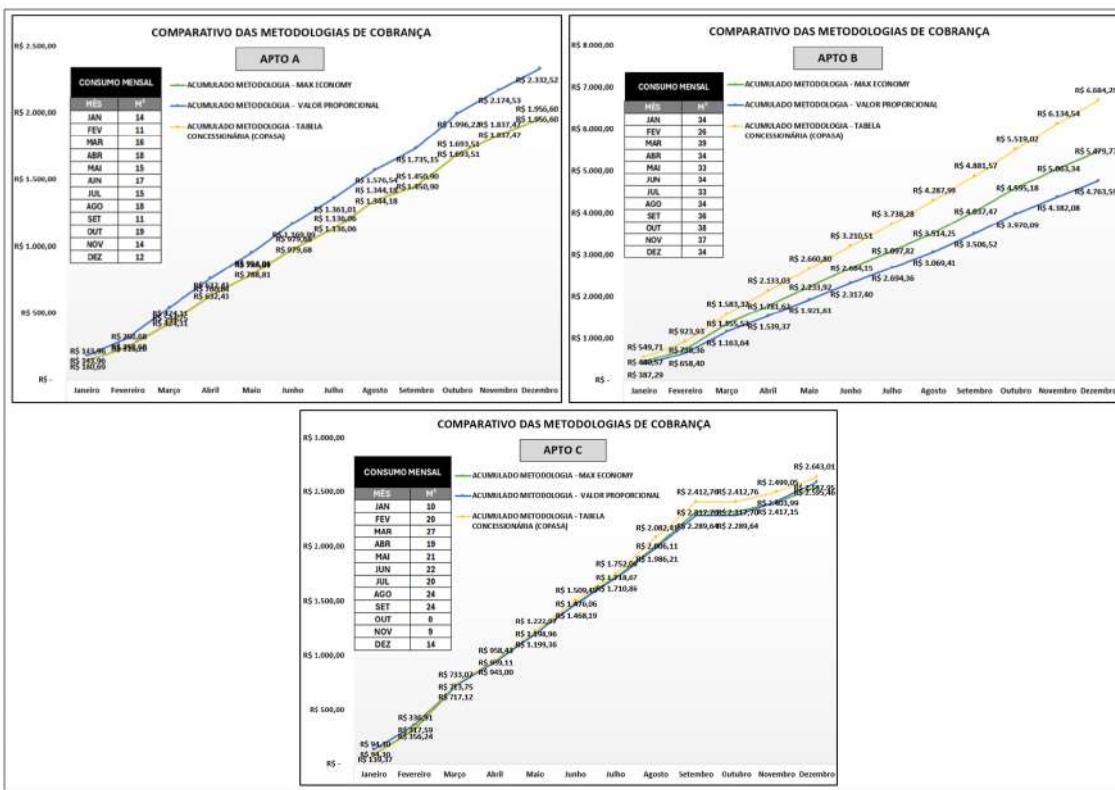
A Figura 9 apresenta a comparação entre as três metodologias de cobrança (*Max Economy*, Valor Proporcional e Tabela da Concessionária) aplicadas a três perfis distintos de consumo. No cenário (A), correspondente ao apartamento com consumo inferior à média geral do condomínio, os valores mensais variaram de forma moderada ao longo do ano; porém, em meses como março, a metodologia do valor proporcional gerou uma cobrança cerca de 30% superior em relação às demais. Essa diferença, embora pontual, repetiu-se em vários meses, resultando em um acúmulo anual aproximadamente 20% maior do que o calculado pelas metodologias *Max Economy* e Tabela da Concessionária, cujos valores finais coincidiram nesse perfil de consumo.

No cenário (B), referente ao apartamento com consumo superior à média geral, as diferenças foram mais expressivas. A aplicação da Tabela da Concessionária resultou em um valor total cerca de 20% acima do calculado pela *Max Economy* e aproximadamente 25% acima do obtido pelo método proporcional, evidenciando que, em perfis de alto consumo, a aplicação individual da tabela tende a gerar uma arrecadação superior ao necessário para cobrir a fatura global do condomínio. O método proporcional apresentou o menor valor entre os três, mas isso ocorreu porque as metodologias foram aplicadas de forma padronizada a todas as unidades, o que implica que, enquanto apartamentos de maior consumo pagam menos proporcionalmente, os de baixo consumo acabam compensando essa diferença, como demonstrado no cenário (A). A *Max Economy*, por sua vez, apresentou um equilíbrio intermediário, ficando cerca de 20% abaixo da Tabela da

Concessionária, sem penalizar excessivamente unidades com maior consumo nem onerar desproporcionalmente as de menor consumo.

Por fim, no cenário (C), relativo ao apartamento com consumo próximo à média geral, as diferenças foram sutis durante todo o período analisado. Ainda assim, a Tabela da Concessionária apresentou um custo acumulado aproximadamente 3% superior em relação às demais metodologias, enquanto o método proporcional ficou entre 1,5% e 1,8% acima da *Max Economy*, que novamente apresentou o menor valor acumulado.

De forma geral, os resultados indicam que a *Max Economy* manteve um desempenho consistente nos três cenários, equilibrando as distorções observadas nos métodos tradicionais e apresentando-se como uma alternativa mais estável em diferentes perfis de consumo.



**Figura 8. Comparação entre as três metodologias de cobrança (*Max Economy*, *Valor Proporcional* e *Tabela da Concessionária*) aplicadas a três perfis distintos de consumo: (A) consumo inferior à média geral; (B) consumo superior à média geral; e (C) consumo próximo à média geral. No eixo X, estão representados os meses do ano, e no eixo Y, os valores acumulados pagos em cada cenário conforme cada metodologia.**

Os gráficos apresentados na Figura 10 mostram visualmente as diferenças entre as três metodologias de cobrança aplicadas aos três perfis de consumo. É possível observar que a *Max Economy* se mantém mais equilibrada ao longo do ano, enquanto a Tabela da Concessionária tende a gerar valores mais altos, especialmente para os apartamentos com consumo superior à média. Por outro lado, a metodologia do *Valor Proporcional* penalizou os apartamentos com consumo inferior à média, resultando em valores mais altos

em comparação às outras metodologias, especialmente nos meses de menor consumo. Embora o Valor Proporcional tenha apresentado valores mais baixos para apartamentos com maior consumo, ele demonstrou distorções no rateio, as quais ficaram evidentes nos gráficos.

## 6. Conclusão

Este trabalho apresentou a metodologia *Max Economy* como uma solução computacional para o rateio de faturas de água em condomínios com medição individualizada. Desenvolvido a partir de um algoritmo heurístico multifásico, o modelo propõe uma redistribuição tarifária que leva em consideração as faixas da tabela da concessionária, o perfil de consumo dos moradores e mecanismos de ajuste fino, com o objetivo de evitar distorções tanto para consumidores com baixo quanto com alto consumo.

A partir da aplicação do algoritmo em dados reais de um condomínio com 20 apartamentos monitorados durante todo o ano de 2023, foi possível validar a eficácia da proposta ao compará-la com duas metodologias tradicionais: o modelo proporcional e a aplicação direta da tabela da concessionária. Os testes demonstraram que, nos cenários extremos de consumo (perfis de baixo e alto consumo), as metodologias tradicionais apresentaram distorções significativas. No perfil de baixo consumo, o método proporcional resultou em cobranças até 30% superiores em determinados meses, enquanto, no perfil de alto consumo, a Tabela da Concessionária apresentou valores acumulados até 20% acima do necessário para cobrir a fatura total do condomínio.

A metodologia proposta (*Max Economy*), por sua vez, manteve uma performance equilibrada em todos os cenários analisados. No caso de consumo superior à média, evitou que unidades com maior consumo fossem excessivamente penalizadas pelas faixas tarifárias mais altas. Já no caso de consumo inferior à média, impediu que moradores com uso reduzido arcassem com valores desproporcionais para compensar o consumo de outros. Mesmo no cenário de consumo próximo à média, onde as diferenças entre as metodologias foram mais sutis, a metodologia proposta apresentou os melhores resultados em termos de equilíbrio e justiça tarifária.

Conclui-se, portanto, que a metodologia proposta é uma alternativa viável e transparente para modernizar a gestão tarifária em condomínios residenciais com medição individualizada. Seu modelo algorítmico permite implementações práticas em sistemas de gestão e oferece uma abordagem mais justa para a divisão de custos coletivos.

Por fim, destaca-se que as soluções existentes no mercado se concentram majoritariamente na infraestrutura de leitura ou no registro automatizado dos dados, deixando em segundo plano a etapa crítica de distribuição justa dos valores com base nas regras tarifárias reais. A revisão da literatura evidenciou que ainda são raros os trabalhos que abordam metodologias computacionais específicas para a redistribuição de tarifas em condomínios com medição individualizada, o que reforça a relevância da *Max Economy* como uma proposta inovadora e alinhada à área de Sistemas de Informação, promovendo justiça tarifária e eficiência financeira.

## Referências

- [1] BRASIL. Projeto de Lei nº 5.020-B, de 2013. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para tornar obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2013. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarIntegra?codteor=1178817&filename=Avulso+-PL+5020/2013](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarIntegra?codteor=1178817&filename=Avulso+-PL+5020/2013).
- [2] BRASIL. Lei nº 13.312, de 12 de julho de 2016. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para dispor sobre a obrigatoriedade da medição individualizada do consumo de água em edificações. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 jul. 2016. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/l13312.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13312.htm).
- [3] SCHWARTZ, Rosely Benevides de O. Revolucionando o condomínio. São Paulo: Editora Saraiva, 2017. ISBN 9788547222291. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788547222291/>.
- [4] VIEIRA, Ronaldo Trevizan. Há justeza nas metodologias de rateios de despesas de consumo em condomínio edilício? Jus Navigandi, Teresina, 6 jul. 2021. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/91748/ha-justeza-nas-metodologias-de-rateios-de-despesas-de-consumo-em-condominio-edilicio>.
- [5] LOPES, Licurgo Teixeira; RIBEIRO, Daniela Torquato Rigby. A problemática da individualização da água em condomínios edilícios. Revista Científica da Faculdade Paulista de Comunicação, v. 5, n. 1, p. 34–41, 2022. Disponível em: [https://uniesp.edu.br/sites/\\_biblioteca/revistas/20220915125609.pdf](https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20220915125609.pdf).
- [6] ARSAE-MG. Tabela de tarifas da Copasa – setembro de 2023. Belo Horizonte: Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Minas Gerais, 2023. Disponível em: [https://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2023/09/Tarifas\\_Copasa.jpeg](https://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2023/09/Tarifas_Copasa.jpeg).
- [7] JORNALISMO DIRECIONAL. Gestão das contas na individualização da medição d’água no condomínio. Revista Direcional Condomínios, 2023. Disponível em: <https://www.direcionalcondominios.com.br/gestao-das-contas-na-individualizacao-da-medicao-dagua-no-condominio/>.
- [8] ANDRADE, Ricardo Pasin. Desenvolvimento de um aplicativo móvel com *OCR* e reconhecimento de voz para leitura de consumo de água e gás em condomínios. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1554/TCC%20Ricardo%20Pasin%20Andrade.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

# UrBus: Do ponto de ônibus ao app - Tecnologia para mobilidade urbana inteligente

Isaac Santiago G. Pereira<sup>1</sup>, Saulo H. C. Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)  
Campus Ouro Branco – Ouro Branco, MG – Brasil

eoisaacc@gmail.com, saulo.cabral@ifmg.edu.br

**Abstract.** *Public transportation, despite playing a crucial role in urban mobility, faces challenges in many municipalities such as overcrowding, delays, and lack of accurate information, factors that negatively impact user's quality of life and sustainable development. This study presents UrBus, a prototype of a bus tracking system developed as a mobile application that uses wireless technologies such as GPS to collect and provide real-time information to users. The system facilitates travel planning and makes public transportation more transparent and reliable. Additional features include displaying bus stops, listing routes, and saving favorite lines. Load testing and field validation demonstrated that UrBus delivers concrete improvements in performance and information quality. The real-time infrastructure maintained average latencies between 14 ms and 130 ms, showing the system's scalability and robustness. Practical validation with users also revealed a collateral benefit: by enabling the registration of bus stop sequences, which were previously missing from the municipal map, the solution fills a data gap and enhances passengers' spatial awareness, thereby strengthening transparency in public transportation.*

**Resumo.** *O transporte público, apesar de desempenhar um papel crucial na mobilidade urbana, tem por característica em grande parte dos municípios, desafios como superlotação, atrasos e falta de informações precisas, impactando a qualidade de vida dos seus usuários, e o desenvolvimento sustentável. Este trabalho propõe o UrBus, um protótipo de sistema de rastreamento de ônibus desenvolvido como um aplicativo móvel, que utiliza tecnologias sem fio, como GPS, para coletar e fornecer informações em tempo real aos usuários, facilitando o planejamento de viagens e tornando o transporte mais transparente e confiável. O sistema inclui funcionalidades adicionais, como exibição de paradas de ônibus, listagem de rotas e salvamento de linhas favoritas. Os testes de carga e a validação da solução em campo evidenciaram que o UrBus oferece ganhos concretos de desempenho e de qualidade de informação. A infraestrutura em tempo real manteve latências médias entre 14 ms e 130 ms, demonstrando o potencial de escalabilidade da solução, e robustez. A validação prática com usuários revelou um benefício colateral: Ao possibilitar o cadastro da sequência de pontos de parada de um veículo, até então ausentes no mapa do município, a solução preenche uma lacuna de dados e amplia a percepção espacial dos passageiros, fortalecendo a transparência do transporte público.*

**Palavras-chave:** mobilidade urbana, transporte público, GPS, mobile

## 1. Introdução

O transporte público desempenha um papel fundamental na conectividade e mobilidade das populações urbanas. Segundo dados do relatório geral da ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos), em 2018, foram realizadas 67 bilhões de viagens nos 533 municípios que integram o SIMOB/ANTP (Sistema de Informações de Mobilidade Urbana da ANTP). Deste total, 28% foram realizadas por transporte público, sendo que 86% foram realizadas por ônibus[ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos 2018]. No entanto, a eficiência desses sistemas é frequentemente comprometida, especialmente durante os horários de pico, devido à superlotação, atrasos e falta de informações precisas para os usuários. Diversas soluções têm sido propostas para lidar com os desafios enfrentados pelo transporte público, desde a expansão da frota de ônibus até a implementação de faixas exclusivas para esse fim. No entanto, essas abordagens tradicionais muitas vezes não conseguem mitigar completamente os problemas em contextos urbanos complexos. Persistem questões significativas, que incorrem em insatisfação por parte dos usuários, como a segurança dos passageiros.

Considerando as soluções atualmente disponíveis para rastreamento em tempo real do transporte público, é importante reconhecer as limitações e restrições que muitas dessas soluções apresentam. Embora algumas ofereçam a capacidade de acompanhar a localização dos veículos em tempo real, muitas vezes isso vem com um custo financeiro para os usuários (pagamento pelo acesso à aplicação; valor cobrado da administração pública para implementação do serviço na cidade). Em diversas situações, a dependência de dispositivos de rastreamento específicos ou a utilização de APIs proprietárias pode criar obstáculos consideráveis, tanto em relação aos custos quanto à funcionalidade. Por exemplo, a limitação surge quando os aplicativos dependem dos dados disponibilizados pelas empresas responsáveis pela gestão das linhas de ônibus. Em algumas dessas empresas, tais informações não estão disponíveis devido à falta de rastreamento ou à indisponibilidade real dos dados. Além disso, muitos desses aplicativos compensam os custos oferecendo versões gratuitas suportadas por anúncios, o que pode interromper a experiência do usuário e reduzir a eficácia do aplicativo.

Nesse contexto, este trabalho propõe um sistema inteligente de rastreamento de ônibus desenvolvido como um aplicativo móvel, que utiliza tecnologias sem fio, como GPS. Este sistema visa coletar e fornecer informações em tempo real aos usuários sobre a disponibilidade e os horários dos ônibus, permitindo que eles planejem seus deslocamentos de forma mais eficiente. Além disso, o sistema oferece funcionalidades adicionais, como exibir as paradas de ônibus, listar as rotas disponíveis e permitir que os usuários salvem suas linhas favoritas para acesso rápido, contribuindo para uma experiência de transporte mais confiável e conveniente para os passageiros.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: inicialmente, será apresentada uma revisão dos trabalhos relacionados, explorando as abordagens existentes para melhorar o transporte público e testando lacunas que nossa proposta pretende preencher. Em seguida, examinaremos as soluções disponíveis no mercado, analisando suas vantagens e limitações. Na sessão subsequente, detalharemos a metodologia de desenvolvimento e a arquitetura da solução proposta, fornecendo uma visão holística de como todos os módulos foram integrados. Posteriormente descreveremos os testes realizados para ava-

liar a eficácia e o desempenho do sistema. Por fim, apresentaremos nossos comentários finais, destacando os principais resultados obtidos e discutindo direções para futuras pesquisas e implementações.

## 2. Revisão da literatura

No intuito de encontrar os trabalhos mais relevantes que contribuem e analisam o tema escolhido neste trabalho, foi realizada uma revisão sistemática acerca dos trabalhos publicados entre os anos de 2017 a 2024, disponíveis na base *Web Of Science*. A seção 2.1 discute os trabalhos relacionados e os pontos de aprendizado de cada um e, por fim, a seção c.d apresenta uma análise crítica em relação às plataformas já existentes no mercado.

Ao todo, 15 trabalhos foram encontrados na busca inicial utilizando as seguintes palavras-chave: *public transportation, app, mobile, real time, tracking, bus*. Após um processo de filtragem 5 trabalhos foram selecionados. Para esta etapa, foram adotados os seguintes critérios de exclusão:

- Estudos não revisados em pares;
- Trabalhos não disponíveis para análise e extração;
- Trabalhos que não abordam soluções ou melhorias computacionais;
- Trabalhos em andamento (*short paper*);
- Trabalhos que não estejam escritos em inglês.

### 2.1. Trabalhos relacionados

Um trabalho desenvolvido por [Chan et al. 2020] tem como objetivo mitigar desafios recorrentes do transporte público como falta de informações e tempo de viagem. Os autores propõem um estudo comparativo antes e depois do uso de um aplicativo de rastreamento GPS em tempo real para melhorar variáveis como acessibilidade, confiabilidade e satisfação do cliente. Uma solução no formato mobile foi disponibilizada em duas versões: uma para usuários de transporte público e outra para operadores do sistema. A solução oferece recursos como rastreamento em tempo real dos veículos, visualização das rotas mais recentes, localização e informações acerca dos pontos de ônibus, além de fornecer horários e alertas em tempo real sobre quebras, atrasos, congestionamentos e mudanças de rota. Por fim, a aplicação oferece recursos para usuários e operadores, permitindo rastreamento em tempo real, alertas e solicitação de ônibus. Os resultados indicam uma melhoria na percepção dos usuários após o uso do aplicativo, mostrando sua eficácia em simplificar o acesso e planejamento do transporte público.

Uma outra proposta de trabalho desenvolvida [Jimoh et al. 2020] enfatiza a notória ineficácia dos sistemas de transporte público em nações em desenvolvimento, com destaque para o contexto da Nigéria, especialmente durante os horários de pico. Buscando uma solução para essa problemática, os autores propõem a implementação de um sistema de rastreamento de veículos. Este sistema, baseado em tecnologias sem fio como GPS e GSM, tem por objetivo fornecer informações em tempo real sobre a localização dos veículos. Para isso, são empregados algoritmos avançados, incluindo o *GPS-based Greedy Forwarding Algorithm*, para calcular a distância da rota, e sensores de radar para aprimorar a precisão. O projeto foi testado no contexto do sistema de transporte universitário, operando entre dois campi acadêmicos. O propósito fundamental desse sistema é

gerenciar a frota de ônibus entre as duas instituições, oferecendo rastreamento em tempo real dos veículos ao longo das rotas designadas e fornecendo aos usuários informações precisas sobre a localização dos veículos e os horários de chegada nos terminais.

No projeto desenvolvido por [Tostado et al. 2017], a falta de precisão nos horários de chegada dos ônibus em Puebla motivou o desenvolvimento de um aplicativo de mobilidade inteligente. O aplicativo oferece funcionalidades como rastreamento em tempo real, exibição das paradas na rota com estimativas de chegada, visualização completa da rota no mapa e cálculo do tempo aproximado para o destino. Para lidar com a imprecisão do GPS, especialmente em paradas próximas, um algoritmo foi desenvolvido para analisar a localização atual do veículo, com relação às paradas anteriores, possibilitando o cálculo do sentido de deslocamento do veículo e determinando assim, a parada correta. Puebla, uma cidade que passou por um crescimento significativo nos últimos anos, enfrentou desafios de tráfego e crescimento urbano, onde o sistema de transporte público não conseguiu acompanhar adequadamente essa demanda crescente. O projeto destaca a importância de considerar as características do contexto local na implementação de soluções de mobilidade inteligente.

Um sistema desenvolvido por [Alves et al. 2019] visou abordar os desafios enfrentados pelo transporte público na cidade de Bagé, Rio Grande do Sul, a solução permite o rastreamento em tempo real dos veículos. O sistema proposto utiliza um módulo GPS integrado ao microcontrolador Arduino Uno R3, conectando-se ao servidor via rede móvel para fornecer atualizações em tempo real sobre a localização dos ônibus. Além disso, uma aplicação Android permite aos usuários visualizarem as paradas, o percurso do veículo e informações sobre os pontos, incluindo a chegada estimada do ônibus. O sistema em questão, já havia sido utilizado para diversos fins, como rastreamento de veículos, anti-furto e gestão inteligente de rastreamento. Para testar a eficácia do sistema, o rastreador foi fixado em um dos ônibus da cidade, enviando informações de rastreamento para o servidor durante 4 dias. Ao final do teste, mais de 50 mil registros foram armazenados, evidenciando a capacidade do sistema.

No estudo conduzido por [Wong et al. 2017], destaca-se uma estratégia emergente para melhorar a percepção dos clientes sobre a confiabilidade dos transportes públicos, enfatizando a importância da combinação de localização de veículos em tempo real e informações estimadas de tempo de chegada. O estudo revisou pesquisas anteriores que analisaram os benefícios das informações em tempo real, evidenciando sua capacidade de reduzir tempos de espera percebidos e reais, aumentar a segurança percebida e a satisfação geral dos usuários. Uma pesquisa realizada com 103 pessoas revelou uma considerável insatisfação com o serviço de ônibus, especialmente devido à falta de conhecimento sobre a localização exata dos ônibus e à má pontualidade. A maioria dos entrevistados expressou um desejo por acesso a informações em tempo real e um aplicativo móvel para facilitar sua experiência de viagem, destacando a preferência por uma plataforma que atenda tanto usuários de *iOS* quanto *Android*.

Com base nos estudos revisados, o transporte público tem sido aprimorado por meio de tecnologias de rastreamento em tempo real, visando fornecer informações precisas e melhorar a experiência do usuário. Estratégias comuns incluem sistemas de GPS e *GSM* combinados com algoritmos avançados para calcular rotas e estimar tempos de chegada. Embora essas soluções tenham demonstrado melhorias na acessibilidade e

satisfação do cliente, desafios persistem, como a precisão do GPS em áreas urbanas densas e a integração de sistemas em contextos locais específicos. Além disso, garantir a disponibilidade e acessibilidade de aplicativos móveis para todos os usuários permanece um desafio. Essas tecnologias oferecem benefícios significativos, como a redução do tempo de espera para os usuários e a melhoria da eficiência operacional para as empresas de transporte, enquanto contribuem para uma melhor gestão do transporte urbano e a redução dos impactos ambientais. Embora avanços tenham sido feitos, ainda há espaço para inovação e aprimoramento, especialmente em termos de precisão, integração localizada e acessibilidade das soluções propostas.

## 2.2. Soluções disponíveis no mercado

Para a seleção das soluções analisadas, foi realizada uma pesquisa através do buscador padrão da *Play Store (Android)*, utilizando a palavra-chave ”ônibus”. Após a exibição dos resultados, cinco aplicativos com funcionalidades semelhantes às que pretendemos desenvolver no projeto foram selecionados. Ademais, critérios adicionais foram considerados, como:

- Disponibilidade para ambas as principais plataformas, Android e iOS;
- Mais de 100 mil *downloads*;
- Avaliação de usuários superior a 3,5 estrelas na Play Store.

Uma exceção foi feita em relação à busca, com a inclusão do aplicativo Conecta Ouro Branco, por uma solução adotada no contexto local, contendo informações sobre as linhas de ônibus e adotada pela administração municipal.

Nome	Anúncios	Funcionalidades							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Conecta Ouro Branco	OPC	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
BHBUS+	OPC	NÃO	SIM						
SIU Mobile BH	NÃO	NÃO	SIM						
Cittamobi	OPC	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Moovit	OPC	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Meu Buse	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

**Tabela 1. Sumarização das funcionalidades/características de cada solução analisada. A - Quadro de horários; B - Quadro de linhas; C - Favoritar linhas; D - Localização em tempo real; E - Exibição das paradas; F - Busca ponto de origem; G - Busca ponto de destino; H - Autenticação; OPC - Opcional.**

Com base na seleção das soluções de mercado, as seguintes características foram avaliadas, considerando as principais funcionalidades encontradas nos aplicativos analisados:

O aplicativo Conecta Ouro Branco<sup>1</sup> disponibiliza serviços voltados à comunidade de Ouro Branco, incluindo a consulta de horários e rotas dos ônibus municipais. Embora

<sup>1</sup>Ver referência [Find Soluções 2024].

o acesso a essas informações não exija autenticação, os usuários são redirecionados ao site da empresa responsável, onde os dados são apresentados em formato textual, o que pode dificultar o acesso rápido. O aplicativo está disponível para iOS, Android e também em versão *web*.

O aplicativo BHBUS+<sup>2</sup> foi desenvolvido pela Transfácil para atender às demandas de transporte da cidade de Belo Horizonte. Proporcionando uma experiência sem publicidades e requerendo autenticação apenas para determinadas funcionalidades, como a recarga do cartão BHBUS+, suas características englobam a visualização da localização dos veículos em tempo real, o cálculo da previsão de chegada no ponto desejado, a sugestão da melhor rota para o destino, a identificação do ponto mais próximo ao usuário e a capacidade de acessar as linhas favoritas. O aplicativo pode ser baixado na Google Play Store e na *App Store*.

O aplicativo SIU Mobile BH<sup>3</sup> oferece uma experiência sem autenticação e publicidades para os usuários. Ele possibilita o acompanhamento em tempo real do deslocamento dos ônibus e fornece previsões de chegada até o ponto desejado. Além disso, os usuários têm a opção de marcar as linhas de ônibus como favoritas para um acesso mais rápido e conveniente. Desenvolvido para atender à população de Belo Horizonte, o aplicativo está disponível para download em dispositivos Android e iOS.

O Cittamobi<sup>4</sup> é um dos principais aplicativos de mobilidade urbana do Brasil, presente em cerca de 300 cidades de 15 estados. Oferece uma versão gratuita com anúncios e planos pagos, exigindo autenticação apenas para funções específicas, como favoritar linhas e paradas. Independentemente da assinatura, os usuários podem acessar rotas, pontos e localização dos ônibus em tempo real, além de definir origem e destino no mapa. O rastreamento é feito com base em dados das operadoras, processados pela Cittamobi. O app está disponível para Android e iOS.

O Moovit<sup>5</sup> está presente em diversas cidades de diferentes estados do Brasil, cobrindo tanto linhas de metrô quanto de ônibus. Ele oferece uma versão gratuita com publicidades e algumas limitações de funcionalidades. Somente na versão paga, disponível mediante assinatura mensal ou anual, é possível visualizar o veículo em movimento em tempo real. A aplicação permite a visualização das paradas no mapa, além de indicar o trajeto da rota e exibir as linhas e horários disponíveis. Está disponível para Android, iOS e *web*.

O aplicativo Meu Buse<sup>6</sup> está disponível para as plataformas Android e iOS, atendendo às cidades mineiras de Ipatinga, Itaúna, Lavras, Timóteo e Varginha. Os usuários podem visualizar as rotas, os pontos de parada, os horários e acompanhar a localização dos ônibus em tempo real. Eles também têm a opção de marcar linhas, pontos e viagens como favoritos. O aplicativo não requer autenticação para acesso e contém publicidades.

---

<sup>2</sup>Ver referência [Transfácil 2024].

<sup>3</sup>Ver referência [Tacom sistemas de bilhetagem inteligente Ltda. 2024].

<sup>4</sup>Ver referência [Cittamobi 2024].

<sup>5</sup>Ver referência [Moovit 2024].

<sup>6</sup>Ver referência [Bus2 2024].

### 3. Metodologia

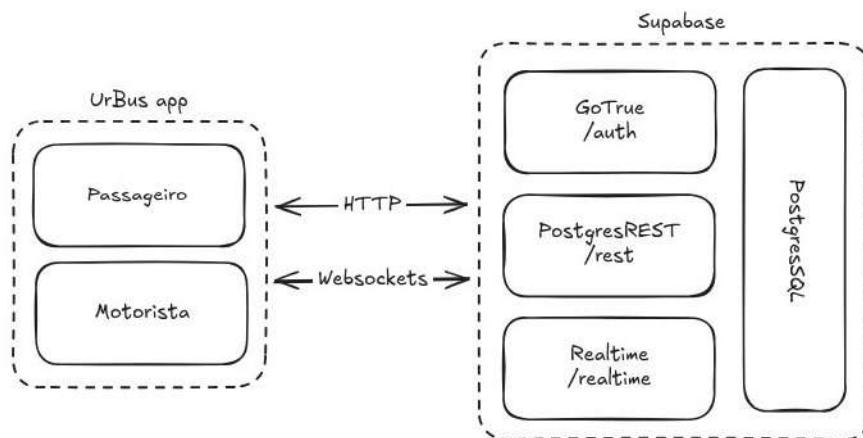
A metodologia deste trabalho está organizada em quatro sub-tópicos principais. Em 3.1 Funcionalidades Essenciais, são descritas as características fundamentais para melhorar a experiência dos usuários de transporte público. 3.2 Arquitetura Proposta, onde é detalhada a estrutura técnica e a organização dos componentes do sistema. Em 3.3 São apresentadas as Tecnologias Utilizadas para o desenvolvimento e os testes do protótipo. Por fim, 3.4 Protótipo MVP detalha o desenvolvimento do protótipo MVP do aplicativo, destacando a integração das tecnologias e arquitetura adotadas, e as principais funcionalidades implementadas.

#### 3.1. Funcionalidades Essenciais

Com base nos artigos estudados, algumas funcionalidades essenciais se destacam no intuito de oferecer uma solução eficaz que minimize os transtornos enfrentados pelos usuários de transporte público. A primeira delas é a visualização detalhada de horários e linhas de ônibus, permitindo aos usuários planejar suas viagens com precisão. A capacidade de favoritar linhas simplifica o acompanhamento das rotas mais utilizadas, enquanto a exibição em tempo real da localização dos veículos reduz a incerteza e o tempo de espera nos pontos de parada.

A integração de mapas interativos, que indicam as rotas completas e os pontos de parada, facilita a identificação das paradas mais próximas e garante que os usuários estejam no local correto para embarque. Essa funcionalidade, em conjunto com as demais, contribui para uma experiência de transporte público mais fluida e eficiente.

#### 3.2. Arquitetura Proposta



**Figura 1. Arquitetura do sistema**

A arquitetura, conforme ilustrado na Figura 1, foi desenvolvida utilizando o *Supabase*, que fornece diversos serviços especializados que trabalham integrados com um banco de dados *PostgreSQL*<sup>7</sup>. O *GoTrue* é responsável pelo controle de autenticação e autorização dos usuários, utilizando tokens *JWT* para proteger acessos e aplicando as regras definidas diretamente no banco via *Row-Level Security*. O *PostgREST* oferece uma

<sup>7</sup>Ver referência [The PostgreSQL Global Development Group ].

interface *RESTful* gerada automaticamente a partir das tabelas e *views* do banco de dados, permitindo que o aplicativo se comunique com a base de dados por meio de chamadas *HTTP* padronizadas e seguras. Já o *Realtime* gerencia conexões *WebSocket* para fornecer atualizações em tempo real. Já o aplicativo disponibiliza uma interface para os motoristas iniciarem rotas e enviarem atualizações de localização em tempo real e um conjunto de telas para os passageiros terem acesso às informações disponíveis.

### 3.3. Tecnologias Utilizadas

Para o desenvolvimento e realização dos testes do *UrBus*, foram empregadas diversas tecnologias que possibilitaram eficiência, escalabilidade e manutenção do sistema. A escolha dessas tecnologias baseou-se na capacidade de atender às necessidades específicas do projeto, além de ferramentas robustas para controle de versão e gerenciamento de dados.

O código das aplicações está em um monorepositório gerenciado pelo *Turborepo*<sup>8</sup>, uma ferramenta que otimiza esse tipo de projeto e automatiza processos, oferecendo funcionalidades como execução paralela e cache de processos. Permitindo o compartilhamento de código entre os projetos, facilitando a consistência entre dependências e simplificando o gerenciamento de versões. A linguagem de programação utilizada é o *TypeScript*, que, baseado em *JavaScript*, implementa tipagem estática, aumentando a robustez e a manutenção do código.

Para o desenvolvimento do aplicativo móvel, optamos por *React Native*<sup>9</sup>, que é baseado no *React*, permitindo a construção de aplicativos nativos para iOS e Android a partir de uma única base de código, o que agiliza o processo de desenvolvimento e manutenção. Para o servidor, foi utilizado Supabase<sup>10</sup>, que é uma plataforma de código aberto que fornece um conjunto completo de ferramentas para o desenvolvimento de aplicações web, incluindo banco de dados, autenticação e armazenamento de arquivos. O Supabase é construído sobre PostgreSQL, garantindo robustez e escalabilidade.

O controle de versão do código-fonte é gerenciado pelo *Git*, em conjunto com o *GitHub* para hospedagem remota do código. Essas ferramentas facilitam a colaboração, revisão de código e integração contínua, além de fornecer ferramentas para gestão de projetos e rastreamento de issues.

### 3.4. Protótipo MVP

O protótipo do aplicativo foi desenvolvido utilizando a tecnologia React Native, permitindo a criação de uma aplicação móvel multiplataforma com uma única base de código, compatível tanto com Android quanto com iOS. No entanto, para o MVP, optou-se por focar exclusivamente na plataforma Android, uma vez que o ambiente de desenvolvimento disponível apresentava limitações técnicas para a geração e testes em dispositivos iOS.

Para a realização dos testes de usabilidade e validação das funcionalidades, a aplicação foi publicada em versão de testes na Google Play Store, possibilitando sua instalação e avaliação em dispositivos Android reais. A versão para iOS permanece viável para etapas futuras do projeto, podendo ser facilmente gerada e implantada com a mesma

---

<sup>8</sup>Ver referência [Vercel ].

<sup>9</sup>Ver referência [Meta Platforms, Inc. ].

<sup>10</sup>Ver referência [Supabase ].

base de código, desde que atendidos os requisitos de infraestrutura e testes específicos da plataforma Apple.

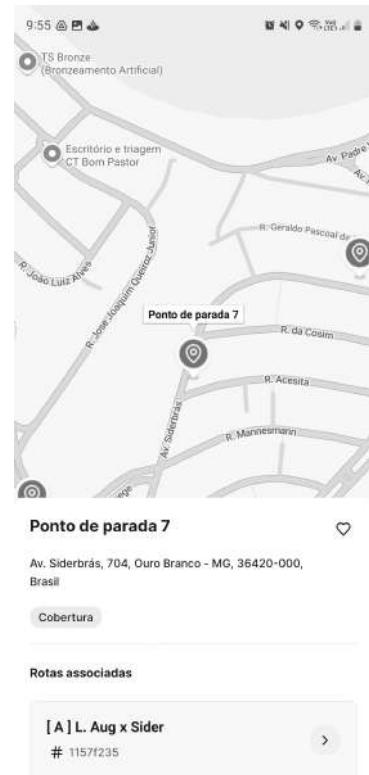
A arquitetura de backend do protótipo utiliza o Supabase, que integra serviços como banco de dados PostgreSQL, autenticação, autorização e atualização em tempo real. A comunicação entre o aplicativo e o *backend* é realizada principalmente por meio do PostgREST, utilizando requisições HTTP com formato de dados *JSON*, seguindo os princípios RESTful. Para as atualizações em tempo real, como o envio e recebimento de localização dos veículos, é utilizado o serviço Realtime, que opera por meio de Web-Sockets, permitindo a sincronização instantânea de dados entre os usuários e o banco de dados.

Além disso, a segurança das informações e o controle de acesso são gerenciados pelo GoTrue, que utiliza *tokens* JWT para autenticação dos usuários. As regras de acesso aos dados são definidas diretamente no banco, utilizando Row-Level Security (RLS), garantindo que cada usuário acesse apenas as informações permitidas para seu perfil.

A interface destinada aos passageiros foi desenvolvida com foco na simplicidade e na clareza das informações, buscando facilitar o acesso aos dados mais relevantes sobre o transporte público da cidade. As telas foram projetadas para apresentar, de forma organizada e intuitiva, as principais funcionalidades da aplicação, como a visualização das linhas disponíveis, os pontos de ônibus cadastrados, as rotas em andamento e a localização em tempo real dos veículos. A seguir, são descritas as principais telas voltadas para a experiência do usuário passageiro.



**Figura 2. Mapa de pontos**



**Figura 3. Detalhes do ponto**

O aplicativo oferece uma série de funcionalidades voltadas à melhoria da experiência dos usuários do transporte público, começando pelo mapa de pontos (Figuras 2 e 3), onde é possível visualizar todos os pontos de ônibus georreferenciados em um mapa interativo da cidade. Cada ponto é representado por um marcador que, ao ser selecionado, revela informações detalhadas sobre aquele local específico. Essa abordagem não apenas amplia a transparência da rede de transporte, como também atende a preocupações de segurança e percepção espacial, como discutido por [Chowdhury and van Wee 2020] sobre a percepção das mulheres no transporte público.



**Figura 4. Linhas**



**Figura 5. Rotas**



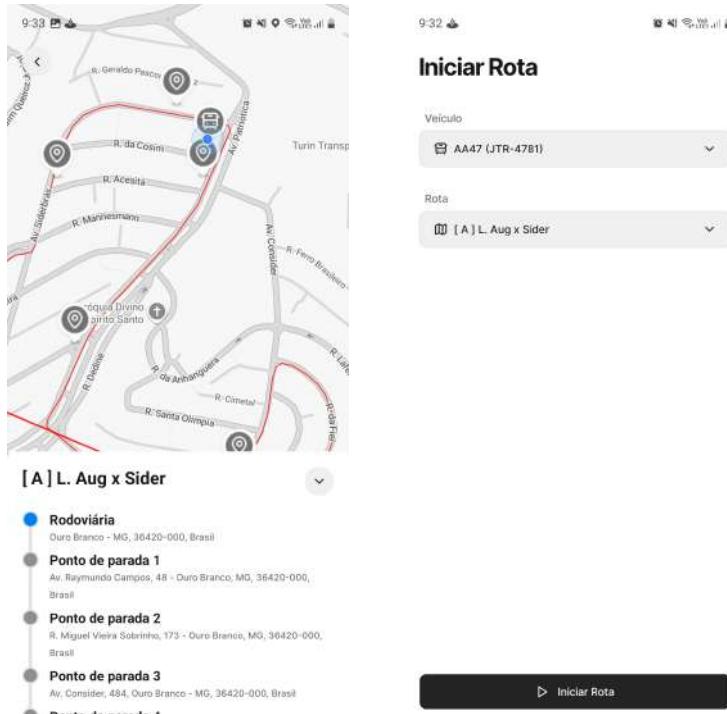
**Figura 6. Favoritos**

A lista de linhas e rotas (Figuras 4 e 5) permite ao usuário consultar de forma organizada todas as linhas disponíveis no sistema. Ao selecionar uma linha, são exibidas as rotas associadas, separadas por sentido ou horário (como ida e volta). Cada rota mostra a sequência lógica dos pontos de parada, espelhando o trajeto real do ônibus. Essa estrutura não se trata apenas de uma função descritiva: ela capacita o usuário a planejar deslocamentos com maior eficiência, otimizando tempo e minimizando incertezas sobre o percurso.

Na tela de favoritos (Figura 6), o passageiro pode salvar linhas, rotas e pontos de ônibus de uso frequente, organizados em três abas distintas. Esse recurso oferece um acesso rápido às informações mais relevantes, promovendo uma experiência mais personalizada e prática, especialmente útil em deslocamentos diários, nos quais agilidade é fundamental.



**Figura 7. Detalhes da rota**



**Figura 8. Rastreamento**

**Figura 9. Motorista**

A funcionalidade de detalhes da rota (Figura 7) apresenta o trajeto de uma rota específica em um mapa, funcionando como um preview visual do caminho percorrido pelo ônibus. Além disso, exibe os horários de saída da rodoviária, separados por dias úteis, sábados, domingos e feriados, facilitando o planejamento conforme o dia da semana e contribuindo para um uso mais consciente do tempo.

Já a tela de acompanhamento de rota (Figura 8) mostra o percurso completo do ônibus em tempo real, incluindo os pontos de parada ao longo da linha. Também está disponível uma lista ordenada dos pontos, permitindo que o usuário acompanhe o progresso do trajeto de forma clara e estruturada.

Por fim, o sistema contempla também os motoristas, com a função de rastreamento de rota (Figura 9). Nessa tela, o condutor seleciona o veículo e a rota que irá operar, iniciando o envio contínuo da localização em tempo real até o fim da viagem. Esse recurso garante o monitoramento eficaz da frota e viabiliza as funcionalidades em tempo real disponíveis aos passageiros.

#### 4. Validação em ambiente real

Para avaliar o protótipo em condições próximas ao uso cotidiano, disponibilizou-se uma versão beta do UrBus na Play Store, restrita a um grupo de usuários previamente selecionado. Definiu-se um itinerário fictício baseado em rota oficial da Turin, responsável pelo transporte coletivo de Ouro Branco (MG), todos os pontos de parada foram mapeados manualmente a partir de informações públicas. Três participantes assumiram papéis específicos: (i) condutor, que permaneceu no veículo durante todo o trajeto e transmitiu continuamente sua posição pelo modo motorista do aplicativo; (ii) passageiro, posicionado

em parada aleatória, que utilizou o aplicativo para monitorar em tempo real a aproximação do ônibus; e (iii) observador externo, responsável por registrar todo o deslocamento a fim de identificar eventuais falhas de sincronização ou perda de conectividade.

Os testes permitiram mensurar o intervalo de atualização da localização, a precisão dos marcadores no mapa e a robustez da comunicação em ambiente real com variação de sinal. A partir dos dados foram identificados ajustes necessários na solução e orientaram melhorias planejadas para versões subsequentes, demonstrando uma abordagem iterativa de desenvolvimento com foco em uma boa usabilidade para o usuário.

Para além da validação das funcionalidades, constatou-se durante o teste a inexistência de cadastro oficial dos pontos de ônibus de Ouro Branco em plataformas, como Google Maps e OpenStreetMap, limitação que compromete a experiência do passageiro. Neste sentido, o UrBus mostrou-se capaz de mitigar esse gap ao disponibilizar, a sequência ordenada de paradas e o itinerário completo dos veículos, aprimorando assim a percepção espacial do usuário.

## 5. Teste de carga

Para avaliar a escalabilidade do serviço backend do UrBus, foi conduzido um teste de carga utilizando as *APIs* de medição de desempenho do *NodeJS*<sup>11</sup> (*performance\_hooks*<sup>12</sup>), simulando um ambiente dinâmico onde usuários virtuais (em quantidades progressivas de 10, 50, 100, 250 e 500) se inscreviam em canais de atualização em tempo real, enquanto veículos virtuais (1, 10, 25 e 40) publicaram simultaneamente atualizações de rota.

Os resultados demonstraram que o sistema manteve uma latência média de atualização entre 14ms e 130ms, mesmo com o aumento escalonado de usuários e veículos. Em cenários com maior carga, como 500 passageiros e 40 veículos simultaneamente, a latência média foi de 91ms, com picos máximos de até 200ms, enquanto em condições mais leves, como 10 passageiros e 40 veículos, observou-se um tempo médio de 63ms. Na maioria dos cenários, os tempos de inserção no banco de dados acompanharam de perto a latência total, indicando que esse é o principal fator limitante de desempenho.

No geral, a latência se manteve estável e previsível mesmo sob cenários de alta concorrência, sugerindo que o backend possui uma arquitetura robusta e eficiente no processamento de atualizações em tempo real, com baixa variabilidade e sem degradação significativa no tempo de resposta. Essa consistência reforça a eficiência do backend em processar atualizações em tempo real, mesmo sob condições de tráfego intenso, além de demonstrar a capacidade do sistema de suportar o crescimento da demanda sem comprometer a experiência do usuário.

O teste foi realizado localmente, utilizando containers *Docker*<sup>13</sup> para simular o ambiente de produção. As configurações dos contêineres foram deliberadamente limitadas para refletir as restrições do plano gratuito oferecido pelo Supabase, que inclui 500MB de armazenamento para o banco de dados, 500MB de memória *RAM*, *CPU* compartilhado e um limite de 5GB de banda. Essa limitação de recursos foi essencial para garantir que os resultados fossem representativos de um cenário realista de operação em ambientes com

---

<sup>11</sup>Ver referência [Node.js Contributors a].

<sup>12</sup>Ver referência [Node.js Contributors b].

<sup>13</sup>Ver referência [Docker, Inc. ].

infraestrutura modesta, permitindo avaliar não apenas o desempenho bruto do backend, mas também sua eficiência sob condições restritivas.

## 6. Considerações finais

Durante o desenvolvimento do protótipo, foi possível identificar a ausência de um cadastro oficial e amplamente acessível dos pontos de ônibus na cidade, uma dificuldade que limita o acesso à informação e dificulta o planejamento e a gestão eficaz do transporte público. Essa carência impacta negativamente a experiência do passageiro, que depende cada vez mais de dados confiáveis e atualizados para se locomover.

Os testes de desempenho realizados demonstraram que o backend do UrBus possui uma arquitetura sólida e escalável, com capacidade comprovada para suportar aumentos consideráveis na demanda sem comprometer a qualidade do serviço. A estabilidade da latência e a previsibilidade no tempo de resposta, mesmo sob cargas elevadas, evidenciam que o sistema está preparado para operar de forma eficiente em ambientes com infraestrutura limitada, característica comum em cidades menores. Essa escalabilidade é um diferencial importante, pois assegura que o UrBus possa crescer e se adaptar conforme o número de usuários e veículos aumenta, sem perder desempenho.

Dessa forma, o UrBus não apenas preenche uma lacuna significativa na oferta de dados do transporte público, mas também apresenta uma solução tecnicamente robusta que apoia a melhoria contínua da mobilidade urbana. Diante disso, o UrBus passa a desempenhar um papel relevante ao mapear e disponibilizar, possivelmente pela primeira vez, a localização desses pontos em um aplicativo. Isso representa uma contribuição valiosa para a organização do sistema de transporte local, facilitando o acesso à informação tanto para os passageiros quanto para os gestores do serviço.

## Referências

- Alves, R., Alves, R., Schafer, A., and De Carvalho, L. (2019). Development and implementation of a public transportations tracking system: study case. *Revista Gestão & Tecnologia*, 15:1–17.
- ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos (2018). *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Relatório Geral 2018*. ANTP, São Paulo.
- Bus2 (2024). MEU Buse. Versão 4.2.53. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.buse>. Acesso em: 6 maio 2024.
- Chan, W. C., Wan Ibrahim, W. H., Lo, M. C., Suaidi, M. K., and Ha, S. T. (2020). Sustainability of public transportation: An examination of user behavior to real-time gps tracking application. *Sustainability*, 12(22).
- Chowdhury, S. and van Wee, B. (2020). Examining women's perception of safety during waiting times at public transport terminals. *Transport Policy*, 94:102–108.
- Cittamobi (2024). CITTAMOBI: Horários de Ônibus. Versão 7.2.24. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.cittabus>. Acesso em: 6 maio 2024.
- Docker, Inc. Docker: O que é o Docker? Disponível em: <https://docs.docker.com/get-started/docker-overview>. Acesso em: 14 julho 2025.

Find Soluções (2024). CONECTA Ouro Branco. Versão 1.6.17 (24). Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.findsolucoes.ourobranco>. Acesso em: 6 maio 2024.

Jimoh, O. D., Ajao, L. A., Adeleke, O. O., and Kolo, S. S. (2020). A vehicle tracking system using greedy forwarding algorithms for public transportation in urban arterial. *IEEE Access*, 8:191706–191725.

Meta Platforms, Inc. REACT NATIVE. Introduction · React Native. Disponível em: <https://reactnative.dev/docs/getting-started>. Acesso em: 14 julho 2025.

Moovit (2024). MOOVIT: Bus & Train Schedules. Versão 5.143.2.1631. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tranzmate>. Acesso em: 6 maio 2024.

Node.js Contributors. Node.js v20.2.0 Documentation. Disponível em: <https://nodejs.org/docs/latest/api/>. Acesso em: 14 julho 2025.

Node.js Contributors. Performance measurement APIs — Node.js v24.0.0 Documentation. Disponível em: [https://nodejs.org/api/perf\\_hooks.html](https://nodejs.org/api/perf_hooks.html). Acesso em: 14 julho 2025.

Supabase. SUPABASE. Supabase Docs. Disponível em: <https://supabase.com/docs>. Acesso em: 14 julho 2025.

Tacom sistemas de bilhetagem inteligente Ltda. (2024). SIU Mobile BH. Versão 1.29.1. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tacom.siumobilebh>. Acesso em: 6 maio 2024.

The PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL: Documentation. Disponível em: <https://www.postgresql.org/docs/>. Acesso em: 14 julho 2025.

Tostado, R., Rovirosa, A., Velázquez, J. L., Castillo, E., and Cervantes, O. (2017). A first experience with a smart bus for improving public transportation. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-4/W3:79–84.

Transfácil (2024). BHBUS+. Versão 3.0.11. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.transfacil>. Acesso em: 6 maio 2024.

Vercel. Introduction — Turborepo. Disponível em: <https://turborepo.com/docs>. Acesso em: 14 julho 2025.

Wong, A. P. T. D. S. Y., Hoy, C., and Chye, K. (2017). A preliminary survey analysis of school shuttle bus system towards smart mobility solutions. *AIP Conference Proceedings*, 1891:020146.