

ECO: SISTEMA DIGITAL DE DENÚNCIAS AMBIENTAIS E CIDADANIA ECOLÓGICA

ECO: A DIGITAL ENVIRONMENTAL COMPLAINTS AND ECOLOGICAL CITIZENSHIP SYSTEM

Luis Ricardo Laranjeira Vieira¹
José Edimilson Nascimento Oliveira Júnior²
Marcos Wyliam Silva Oliveira³
Paulo André Alves de Sousa Conceição⁴
João Gabriel Barros Martins⁵
Edilson Carlos Silva Lima⁶
Patrícia Regia Nicácio Freire⁷

RESUMO: Este artigo apresenta o desenvolvimento e a aplicação do sistema ECO, uma plataforma digital voltada para o registro, acompanhamento e gestão de denúncias ambientais, com o objetivo de promover a cidadania ecológica e fortalecer a governança participativa. A pesquisa foi conduzida por meio de um estudo de caso realizado em um bairro de classe média da cidade de São Luís - MA, envolvendo moradores de classe média, e adotou uma abordagem qualitativa-quantitativa. A metodologia incluiu levantamento de problemas ambientais urbanos, entrevistas estruturadas com a comunidade e análise de requisitos tecnológicos. O sistema foi implementado com front-end em Next.js, back-end em Java com Spring Boot e banco de dados MySQL, além da integração de APIs públicas para geolocalização e notificações. Os resultados evidenciaram que o ECO contribui para reduzir o tempo entre o registro da denúncia e sua organização para encaminhamento, amplia a transparência das informações e fortalece o engajamento popular na proteção ambiental. Conclui-se que o sistema representa uma ferramenta eficaz para apoiar políticas públicas, incentivar a participação social e consolidar práticas de cidadania ecológica mediadas pela tecnologia.

1

Palavras-chave: Cidadania ambiental. Tecnologia sustentável. Denúncias digitais.

ABSTRACT: This article presents the development and application of the ECO system, a digital platform for registering, monitoring, and managing environmental complaints, with the aim of promoting ecological citizenship and strengthening participatory governance. The research was conducted through a case study carried out in neighborhoods in São Luís - MA, involving middle-class residents, and adopted a qualitative approach with descriptive quantitative support. The methodology included a survey of urban environmental problems, structured interviews with the community, and an analysis of technological requirements. The system was implemented with a Next.js front-end, a Java back-end with Spring Boot, and a MySQL database, in addition to the integration of public APIs for geolocation and notifications. The results indicate that ECO contributes to reducing the time between complaint registration and organization for referral, increases the transparency of information, and strengthens popular engagement in environmental protection. It can be concluded that the system represents an effective tool to support public policies, encourage social participation, and consolidate ecological citizenship practices mediated by technology.

Keywords: Environmental citizenship. Sustainable technology. Digital reporting.

¹Discente da Universidade Ceuma.

²Discente da Universidade Ceuma.

³Discente da Universidade Ceuma.

⁴Discente da Universidade Ceuma.

⁵Discente da Universidade Ceuma.

⁶Orientador - Docente da Universidade Ceuma - Mestre em Engenharia de Computação

⁷Coorientador - Docente da Universidade Ceuma - Mestre em Design.

I INTRODUÇÃO

A degradação ambiental urbana tem se tornado um dos principais desafios contemporâneos à sustentabilidade, especialmente em cidades brasileiras onde o crescimento desordenado e a ausência de políticas públicas eficazes comprometem a qualidade de vida da população. Em bairro de classe média da cidade de São Luís (MA), esse cenário se evidencia no descarte irregular de resíduos sólidos, problema agravado pelos baixos índices de saneamento básico e pela carência de mecanismos de comunicação acessíveis entre os cidadãos e os órgãos fiscalizadores, conforme aponta o Instituto Trata Brasil (2022). Essa deficiência estrutural não apenas prejudica a estética e a saúde urbana, mas também evidencia a necessidade de novas formas de engajamento social e tecnológico voltadas à gestão ambiental participativa.

Nesse contexto, é urgente buscar alternativas inovadoras que unam tecnologia e educação ambiental para fortalecer o diálogo entre poder público e sociedade. A criação de plataformas digitais interativas, que facilitem denúncias de descartes irregulares e promovam a conscientização ecológica por meio de recursos educativos, surge como uma estratégia promissora. Tais iniciativas podem contribuir para o fortalecimento da fiscalização ambiental, a melhoria da gestão de resíduos sólidos e o desenvolvimento de uma cultura cidadã de preservação ambiental. Assim, discutir a implementação de ferramentas tecnológicas voltadas à educação e à comunicação ambiental em São Luís representa um passo essencial para a construção de cidades mais sustentáveis e socialmente responsáveis.

Assim, o projeto ECO surge como uma solução tecnológica inovadora, oferecendo uma plataforma digital de denúncias ambientais que visa promover a participação cidadã e a transparência na gestão pública. A proposta busca integrar tecnologia e sustentabilidade para simplificar o processo de registro e acompanhamento de irregularidades ambientais. O problema central que este trabalho aborda é a dificuldade de acesso dos cidadãos aos meios formais de denúncia e a ausência de retorno sobre as ações tomadas pelas autoridades. A iniciativa também responde às demandas de cidades mais inteligentes e sustentáveis, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

2 TRABALHOS RELACIONADOS

A pesquisa sobre soluções tecnológicas voltadas à gestão ambiental tem crescido significativamente nos últimos anos, impulsionada pela necessidade de aproximar a população

dos órgãos fiscalizadores e aumentar a eficiência na resolução de problemas ecológicos. Diversos estudos anteriores exploraram o uso de plataformas digitais, aplicativos móveis e sistemas inteligentes para coleta de dados ambientais e denúncia de irregularidades. Nesta seção, são apresentados três trabalhos que abordam temáticas semelhantes à proposta do projeto ECO, permitindo estabelecer comparações técnicas e conceituais que evidenciam o diferencial desta pesquisa.

2.1 Aplicativo para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

O trabalho de Souza DF e Barcelos GF (2021), intitulado “Aplicativo para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos”, apresenta uma solução tecnológica voltada ao gerenciamento inteligente da coleta de lixo e à promoção da reciclagem. O sistema utiliza sensores de Internet das Coisas (IoT) para monitorar o nível de enchimento de lixeiras em tempo real e otimizar rotas de coleta. A proposta busca reduzir custos operacionais e minimizar impactos ambientais, oferecendo uma interface de gestão para prefeituras e empresas de limpeza urbana.

Entre as vantagens, destacam-se a integração de hardware e software e a eficiência logística proporcionada pelos sensores. No entanto, o sistema apresenta alto custo de implementação, exige infraestrutura tecnológica avançada e não contempla a participação direta do cidadão — limitações que restringem seu alcance social. Os autores apontam como trabalhos futuros o desenvolvimento de uma camada de interação comunitária e integração com sistemas municipais de fiscalização ambiental.

2.2 Plataforma Colaborativa de Monitoramento Ambiental

O estudo de Porto RT, Almeida G e Castro J (2021), denominado “Plataforma Colaborativa de Monitoramento Ambiental”, propõe o uso do crowdsourcing para mapeamento de áreas degradadas. A ferramenta permite que usuários enviem fotos, descrições e coordenadas geográficas de locais com indícios de poluição ou desmatamento. As informações são armazenadas em um banco de dados georreferenciado e disponibilizadas para pesquisadores e órgãos públicos. A iniciativa destaca-se pela proposta de engajamento social e pela coleta massiva de dados ambientais em tempo real.

Como pontos fortes, o projeto estimula a participação popular e cria uma base colaborativa de informações ambientais. Contudo, enfrenta desafios relacionados à verificação da veracidade das denúncias e à falta de integração com autoridades competentes, o que limita a efetividade prática das informações coletadas. Os autores sugerem, como trabalhos futuros,

o desenvolvimento de um módulo de validação automatizada por meio de inteligência artificial e parcerias com instituições governamentais.

2.3 Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental com Machine Learning

O trabalho de Baptista BR (2019), “Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental com Machine Learning”, apresenta uma plataforma que aplica algoritmos de aprendizado de máquina para prever e mensurar impactos de atividades humanas sobre o meio ambiente. O sistema analisa dados históricos e variáveis ambientais, oferecendo relatórios preditivos que auxiliam empresas e órgãos públicos na tomada de decisão. A pesquisa representa um avanço na aplicação de inteligência artificial para a sustentabilidade, com foco técnico e analítico.

As principais vantagens são a precisão dos modelos preditivos e a capacidade de análise automatizada de grandes volumes de dados. Entretanto, o sistema requer especialização técnica para operação, além de não ser voltado ao público geral, o que reduz seu potencial de impacto social direto. Na conclusão, o autor propõe a criação de interfaces mais acessíveis e de versões adaptadas para uso comunitário, o que ainda não foi implementado.

2.4 Diferencial do ECO

O projeto distingue-se dos trabalhos analisados ao integrar acessibilidade, engajamento cidadão e capacidade de retorno automatizado e rastreabilidade interna, preparando o sistema para integração institucional futura em uma única solução digital. Enquanto Souza e Barcelos (2021) concentram-se na automação logística e Porto et al. (2021) priorizam a colaboração comunitária sem validação estruturada, a proposta aqui apresentada consolida um ecossistema completo de denúncias ambientais, preparando o sistema para integração futura com órgãos fiscalizadores e oferecendo feedback automatizado com rastreabilidade integral do processo.

Outro diferencial marcante é a incorporação de recursos que superam limitações identificadas em estudos anteriores, como validação das denúncias por geolocalização, envio de evidências fotográficas e integração com bases públicas de dados ambientais. Essa arquitetura favorece maior transparência e fortalece a confiabilidade das informações, aumentando o potencial de que cada denúncia resulte em ações efetivas.

Ao contrário de Baptista (2019), que trabalha com dados complexos e requer público especializado, o sistema adota interface intuitiva, linguagem clara e abordagem inclusiva, permitindo que qualquer cidadão participe ativamente da proteção ambiental.

Em síntese, seu diferencial estratégico está na combinação entre usabilidade social e interoperabilidade técnica. A plataforma une o engajamento comunitário característico de iniciativas de crowdsourcing com a robustez típica de sistemas corporativos, promovendo uma gestão ambiental participativa, transparente e alinhada às demandas contemporâneas, complementando e avançando em relação aos modelos já existentes.

3 MÉTODOS

Este capítulo apresenta as abordagens metodológicas adotadas para o desenvolvimento e avaliação do sistema, estruturadas em duas frentes complementares: o estudo de caso, aplicado à construção da solução tecnológica, e a pesquisa qualitativa-quantitativo, voltada à análise da percepção dos usuários. O estudo de caso contempla as etapas de concepção, implementação e testes da plataforma digital, desenvolvida com foco em usabilidade, escalabilidade e confiabilidade. A pesquisa adotou abordagem qualitativa-quantitativo, fundamentada no estudo de caso e na aplicação de questionários estruturados junto aos usuários do sistema ECO. A análise quantitativa restringiu-se à estatística descritiva simples, expressa por meio de percentuais e frequência relativa das respostas.

3.1 Estudo de caso

5

O estudo de caso corresponde à etapa prática da pesquisa, dedicada à concepção, implementação e validação da plataforma desenvolvida para modernizar o processo de denúncias ambientais, ampliar a participação cidadã e fortalecer a transparência na gestão pública. A adoção dessa abordagem se justifica pela necessidade de analisar a solução em um cenário real de uso, permitindo observar não apenas seus resultados técnicos, mas também seu impacto social. Em um contexto marcado pela dificuldade de acesso aos meios formais de denúncia e pela falta de retorno institucional, a plataforma surge como uma alternativa concreta para aproximar a população dos órgãos fiscalizadores e promover um ecossistema mais colaborativo de proteção ambiental.

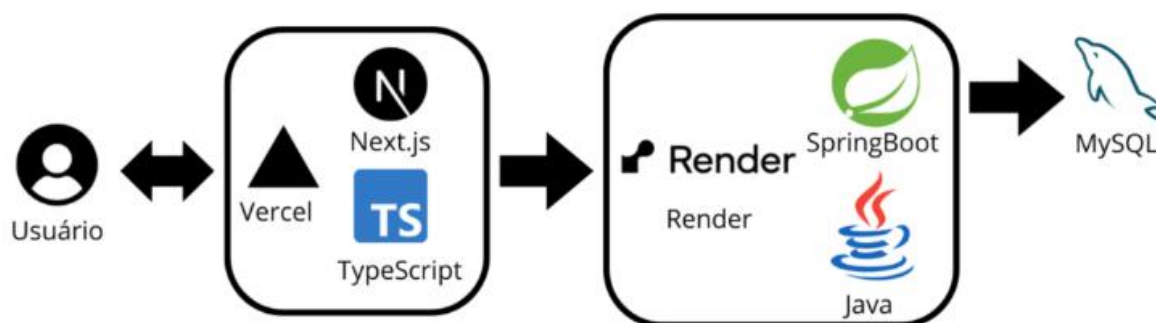
O processo de desenvolvimento envolveu o planejamento detalhado da arquitetura, a escolha criteriosa das tecnologias e a implementação das funcionalidades essenciais ao registro, acompanhamento e análise das ocorrências. Esse ciclo foi orientado por princípios de usabilidade, segurança da informação e eficiência operacional, garantindo que o sistema atendesse às necessidades dos usuários e às exigências legais relacionadas à gestão ambiental. A interface, projetada para ser intuitiva e acessível, possibilitou que cidadãos de diferentes

perfis registrassem irregularidades de forma rápida, anexando evidências como fotos, vídeos, localização geográfica e descrições detalhadas com apenas alguns cliques.

3.1.1 Ferramentas utilizadas

O desenvolvimento do sistema foi estruturado a partir de tecnologias contemporâneas capazes de assegurar alto desempenho, capacidade de crescimento e uma experiência de uso consistente. A arquitetura proposta integra soluções amplamente reconhecidas no ambiente de desenvolvimento web, distribuindo responsabilidades entre as camadas de front-end e back-end, como representado na figura 1. Essa composição tecnológica permite que a comunicação entre a interface, o tratamento das informações e os mecanismos de armazenamento e autenticação ocorra de maneira harmoniosa e eficiente.

Figura 1 – Arquitetura Tecnológica do Sistema



Fonte: Autoral, 2025.

Após a apresentação da arquitetura tecnológica, observa-se que o sistema ECO foi estruturado sob uma organização em camadas, o que garante maior controle sobre processos, segurança da informação e facilidade de manutenção evolutiva. Essa abordagem modular permite que cada componente desempenhe sua função de forma independente e otimiza o desempenho geral da aplicação.

A separação entre front-end, back-end e banco de dados assegura não apenas melhor escalabilidade, mas também facilita futuras integrações com sistemas externos, como plataformas de órgãos ambientais, APIs públicas e painéis administrativos governamentais. Essa arquitetura cria um ambiente tecnológico sólido, preparado para suportar crescimento no número de usuários e no volume de dados sem comprometer a estabilidade operacional.

Desenvolvimento do Front-end

O front-end foi construído utilizando Next.js e TypeScript, tecnologias selecionadas por sua robustez, organização e forte presença no ecossistema moderno de desenvolvimento web. Essa camada concentra a interação direta com o usuário, oferecendo uma interface visual clara e responsiva que facilita o acesso às funcionalidades da plataforma de maneira ágil e consistente.

Next.js: O Next.js é um framework baseado em React, criado pela Vercel em 2016, reconhecido por facilitar o desenvolvimento de aplicações web rápidas e escaláveis. Seu destaque está no suporte à renderização híbrida, SSR, SSG e ISR, permitindo que cada página utilize a estratégia mais eficiente para melhorar o desempenho e a experiência do usuário. Também oferece recursos como roteamento automático, APIs internas e integração com TypeScript, tornando o fluxo de desenvolvimento mais organizado. Assim, esses elementos foram essenciais para garantir agilidade, estabilidade e segurança na disponibilização das informações das denúncias ambientais.

TypeScript: O TypeScript é um superset do JavaScript desenvolvido pela Microsoft em 2012, introduzindo tipagem estática para aumentar a previsibilidade e reduzir erros no código. Com suporte a interfaces, classes e modularização, a linguagem favorece projetos escaláveis e de fácil manutenção. Portanto, seu uso fortaleceu a confiabilidade do front-end, assegurando maior consistência no tratamento de dados e melhor segurança nas funcionalidades da plataforma.

Vercel: Criada em 2015, a Vercel é uma plataforma de hospedagem voltada especialmente para aplicações front-end modernas, oferecendo uma infraestrutura otimizada para frameworks como Next.js, React e outros baseados em JavaScript e TypeScript (VERCEL, 2022). Seu principal diferencial está no modelo de deploy contínuo e automatizado, que integra diretamente com repositórios Git, permitindo publicações rápidas, controle de versões e ambientes prévios para validação. Além disso, a plataforma oferece CDN distribuída globalmente, escalonamento automático, otimização de assets e certificação SSL nativa, garantindo alta performance e baixa latência no carregamento das páginas. No ECO, a Vercel foi utilizada para hospedar a camada de front-end, assegurando velocidade na entrega das interfaces, estabilidade no acesso dos usuários e eficiência no consumo dos serviços fornecidos pelo back-end.

Desenvolvimento do Back-end

O back-end foi desenvolvido utilizando Java em conjunto com o framework Spring Boot, que oferece uma estrutura robusta e padronizada para criação de APIs escaláveis e seguras. Essa combinação proporciona alto desempenho, organização modular e integração simplificada com serviços externos e bancos de dados. O Spring Boot facilita a implementação de recursos essenciais, como controle de rotas, tratamento de exceções, autenticação e gerenciamento de dependências, reduzindo a complexidade do desenvolvimento. No contexto do ECO, essas tecnologias foram fundamentais para estruturar a lógica de negócio, processar denúncias ambientais, garantir segurança nas requisições e manter uma comunicação eficiente entre as camadas da plataforma.

Java: Criado pela Sun Microsystems em 1995, o Java é uma linguagem de programação orientada a objetos amplamente utilizada para o desenvolvimento de aplicações corporativas devido à sua robustez, segurança e independência de plataforma, viabilizada pelo uso da Java Virtual Machine (JVM) (ARNOLD; GOSLING; HOLMES, 2005). Uma de suas principais vantagens é a capacidade de lidar com aplicações de grande porte, mantendo desempenho estável e alta confiabilidade mesmo em ambientes com alto volume de processamento. Além disso, seu ecossistema consolidado, composto por inúmeras bibliotecas e frameworks, facilita a implementação de soluções escaláveis e bem estruturadas. No ECO, o Java foi empregado na construção da lógica de negócio, no tratamento das denúncias ambientais e na integração com os módulos do sistema, assegurando segurança, consistência e eficiência nas operações realizadas pelo back-end.

Spring Boot: Lançado em 2014 pela Spring Foundation, o Spring Boot é um framework que simplifica o desenvolvimento de aplicações Java ao oferecer configurações automáticas, servidor embutido e um ecossistema modular capaz de acelerar significativamente o processo de criação de APIs e serviços web (JOHNSON; LONG; WEBB, 2016). Seu principal diferencial está na capacidade de reduzir a complexidade das configurações tradicionais do Spring Framework, permitindo que o desenvolvedor foque diretamente na lógica de negócio. Além disso, o Spring Boot fornece suporte nativo para segurança, persistência de dados, injeção de dependências e monitoramento, mantendo alto desempenho mesmo em sistemas de grande porte. No ECO, o Spring Boot foi essencial para estruturar o back-end, gerenciar as regras de negócio, organizar o fluxo das requisições e garantir a estabilidade e escalabilidade da plataforma de denúncias ambientais.

MySQL: Desenvolvido inicialmente pela MySQL AB em 1995, o MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional amplamente utilizado devido ao seu desempenho, estabilidade e aderência ao padrão SQL (DUARTE; SILBERSCHATZ; KORTH, 2019). Sua arquitetura baseada em tabelas relacionadas permite organizar, consultar e manipular grandes volumes de dados de forma estruturada e eficiente. Além disso, o MySQL oferece mecanismos robustos de segurança, indexação e controle de integridade, tornando-se uma solução confiável para aplicações que exigem consistência e rapidez no acesso às informações. No sistema, o MySQL foi utilizado para armazenar e gerenciar os registros de denúncias ambientais, garantindo acesso ágil, segurança dos dados e suporte a consultas complexas necessárias para o acompanhamento e análise das ocorrências.

Render: Lançada em 2018, a Render é uma plataforma de cloud hosting que oferece infraestrutura automatizada para implantação e gerenciamento de aplicações web, APIs, bancos de dados e serviços em contêineres (RENDER, 2021). Seu principal diferencial está na abordagem serverless-like, que simplifica o processo de deploy ao eliminar configurações complexas de servidores, permitindo que desenvolvedores realizem publicações contínuas de forma rápida e confiável. A plataforma fornece recursos como escalonamento automático, monitoramento integrado, certificação SSL gratuita e suporte a múltiplas linguagens e frameworks, garantindo alta disponibilidade e estabilidade dos serviços hospedados. No projeto, a Render foi empregada para o deploy do back-end, assegurando um ambiente seguro, escalável e sempre disponível para processar denúncias ambientais e manter o fluxo de comunicação entre as diferentes camadas do sistema.

3.2 Pesquisa Qualitativa-quantitativa

A segunda abordagem metodológica aplicada neste estudo foi a pesquisa qualitativa - quantitativa, direcionada à compreensão das percepções, experiências e expectativas dos usuários em relação ao uso da plataforma ECO. De acordo com Flick (2009), a pesquisa é especialmente adequada para investigar fenômenos sociais que envolvem valores, significados e comportamentos, pois busca interpretar a realidade a partir da perspectiva dos participantes. Dessa forma, essa abordagem vai além da simples mensuração de dados, concentrando-se na compreensão das motivações, interpretações e vivências que influenciam as ações dos indivíduos.

Inferese, portanto, que a pesquisa ofereceu uma visão mais ampla e contextualizada do impacto da ferramenta, revelando dimensões humanas que não seriam captadas por indicadores quantitativos. Por meio das observações e relatos coletados, foi possível identificar sugestões de aprimoramento e compreender como os usuários interagem com uma solução voltada à proteção ambiental. Esses insights constituem elementos fundamentais para o aperfeiçoamento contínuo da plataforma e para o desenvolvimento de tecnologias mais alinhadas às necessidades reais da comunidade e às demandas de gestão pública sustentável.

3.2.1 População e Amostragem

A população-alvo deste estudo foi formada por cidadãos residentes na cidade de São Luís – MA, interessados em questões ambientais e dispostos a participar voluntariamente dos testes de usabilidade da plataforma ECO. A seleção desse público foi intencional, pois representa diretamente o grupo para o qual a ferramenta foi concebida, ou seja, indivíduos que podem atuar ativamente no registro e acompanhamento de denúncias ambientais.

A amostragem utilizada foi não probabilística por conveniência, reunindo 50 participantes. Essa escolha se mostra adequada ao caráter exploratório da pesquisa, que privilegia a coleta de percepções aprofundadas e experiências subjetivas, em vez de buscar representatividade estatística. Durante o processo de avaliação, os participantes interagiram com o sistema em situações que simulavam contextos reais de denúncia, descrevendo suas impressões quanto à usabilidade, clareza das orientações, navegabilidade e senso de segurança ao utilizar a plataforma.

A diversidade presente entre os participantes, incluindo variações de faixa etária, nível de escolaridade e grau de familiaridade com tecnologias digitais ampliou a riqueza dos dados coletados. Esse conjunto heterogêneo de perfis possibilitou uma análise mais completa sobre a acessibilidade, eficácia e potencial de engajamento proporcionados pelo projeto, contribuindo para identificar pontos fortes e oportunidades de melhoria do sistema.

3.2.2 Critérios de Seleção

Para assegurar a relevância e a consistência dos dados coletados, foram definidos critérios de inclusão e exclusão precisos. Integraram a amostra os participantes residentes em São Luís – MA, com perfis culturais e socioeconômicos variados e diferentes níveis de escolaridade, que demonstraram interesse em ações de conscientização ambiental. Além disso,

era necessário que os participantes tivessem disponibilidade para testar o site e responder ao questionário de avaliação.

Foram excluídos do estudo os indivíduos que não concluíram o teste de usabilidade, não preencheram integralmente o questionário ou não aceitaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Esses critérios garantiram a integridade e a validade das informações analisadas, assegurando que todas as percepções avaliadas fossem baseadas em experiências completas e reais de uso da plataforma ECO.

Instrumentos de Coleta

Foram utilizados dois questionários disponibilizados no próprio site do projeto. O primeiro foi aplicado antes da interação do usuário com o sistema, com o objetivo de identificar o nível de conhecimento prévio sobre a problemática abordada, bem como coletar informações pessoais básicas, como nome e faixa etária, conforme apresentado na Tabela 1. Os dados pessoais foram tratados de forma confidencial e utilizados exclusivamente para fins acadêmicos.

Tabela 1 – Estrutura do Formulário de Avaliação Inicial

Questão	Objetivo da Pergunta	Tipo de Resposta
Nome	Identificar o participante	Resposta aberta
Idade	Classificar o participante por faixa etária	Resposta aberta
O que você entende sobre o tema abordado?	Avaliar compreensão inicial sobre a temática	Resposta aberta
Como você descreveria sua experiência prévia com esse tema?	Classificar o nível de contato prévio	Múltipla escolha (escala de nível)
Principais problemas ou desafios relacionados ao tema	Identificar percepções iniciais sobre a problemática	Resposta aberta
Já participou de alguma atividade relacionada ao tema?	Identificar histórico de envolvimento	Múltipla escolha (Sim/Não)
Avalie seu nível de conhecimento atual sobre o tema	Classificar conhecimento prévio	Múltipla escolha (escala de nível)
O que você espera aprender após esta aplicação?	Identificar expectativas	Resposta aberta
Você acredita que este conhecimento poderá ser útil no seu dia a dia?	Analisar percepção de aplicabilidade	Múltipla escolha (Sim/Não/Talvez)
Por que este tema é importante para você?	Compreender relevância pessoal	Resposta aberta
O que te motivou a participar desta atividade?	Identificar motivação inicial	Resposta aberta
Pretende continuar estudando o tema após a atividade?	Avaliar intenção futura	Múltipla escolha (Sim/Não/Talvez)
O que te ajudaria a se sentir mais motivado(a) a aprender mais?	Identificar fatores de engajamento	Resposta aberta

Fonte: Autoral, 2025.

O segundo questionário foi aplicado após a utilização do sistema, visando avaliar sua eficácia e qualidade sob diferentes aspectos: facilidade de uso, adequação à problemática tratada, clareza das informações apresentadas, simplicidade no processo de envio de denúncias, potencial de aprendizagem proporcionado pelos jogos disponibilizados no site, além de registrar eventuais bugs, falhas ou sugestões de melhoria apontadas pelos usuários, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2 – Estrutura do Formulário de Avaliação Pós-Aplicação

Questão	Objetivo da Pergunta	Tipo de Resposta
Como você avalia a facilidade de navegação no sistema?	Medir a percepção de usabilidade geral	Múltipla escolha (escala de nível)
O design e a organização do site facilitaram o uso?	Verificar se a interface contribuiu para a experiência	Múltipla escolha (Sim/Não/Parcialmente)
Você encontrou dificuldade para localizar funcionalidades importantes?	Identificar problemas de arquitetura da informação	Múltipla escolha (Sim/Não)
Como você avalia a simplicidade para registrar uma denúncia?	Avaliar clareza e fluidez do processo de denúncia	Múltipla escolha (escala de nível)
As etapas foram claras e objetivas?	Identificar clareza no fluxo de denúncias	Múltipla escolha (Sim/Parcialmente/Não)
Você enfrentou algum problema técnico durante o envio?	Detectar falhas técnicas	Múltipla escolha (Sim/Não)
As informações do site estavam claras e compreensíveis?	Avaliar clareza geral do conteúdo	Múltipla escolha (Sim/Parcialmente/Não)
Como você avalia o potencial educativo dos jogos disponíveis?	Medir impacto pedagógico dos jogos	Múltipla escolha (escala de nível)
Os jogos ajudaram a reforçar seu entendimento ambiental?	Avaliar eficácia educativa	Múltipla escolha (Sim/Parcialmente/Não)
Qual jogo ou atividade foi mais útil?	Identificar o recurso mais relevante	Resposta aberta
Você identificou algum bug ou erro no site?	Mapear problemas técnicos	Múltipla escolha (Sim/Não)
Há alguma funcionalidade que você sugere melhorar ou adicionar?	Coletar sugestões de melhoria	Resposta aberta
Como você avalia a estabilidade geral do sistema?	Avaliar estabilidade técnica	Múltipla escolha (Péssimo a Excelente)
Qual é sua satisfação geral com o ECO?	Medir satisfação global	Múltipla escolha (Insatisfeito a Satisfeito)
O sistema atendeu suas expectativas quanto ao tema ambiental?	Verificar correspondência entre expectativa e entrega	Múltipla escolha (Sim/Parcialmente/Não)
Você recomendaria o ECO para outras pessoas?	Medir NPS básico (intenção de recomendação)	Múltipla escolha (Sim/Não/Talvez)
Impressões finais sobre a experiência de uso	Receber comentários e percepções gerais	Resposta aberta

Fonte: Autoral, 2025.

Os resultados demonstraram que o sistema foi bem aceito pelos usuários, destacando-se a facilidade de uso, a organização visual e a simplicidade no envio das denúncias como pontos

fortes da plataforma. A maioria dos participantes avaliou positivamente a experiência geral e reconheceu utilidade prática na solução proposta.

Assim, os dados confirmam que a plataforma atendeu às expectativas iniciais, apresentando viabilidade técnica e potencial de impacto social, além de evidenciar oportunidades de aprimoramento contínuo para ampliação de funcionalidades e integração institucional futura.

4 RESULTADOS

Os resultados da implementação do sistema ECO foram analisados com base na fase de testes e validação funcional, realizada com 50 usuários voluntários, uma vez que o projeto não contou com integração a órgãos ambientais durante o desenvolvimento. Para simular situações reais, foram registradas denúncias ambientais fictícias, permitindo avaliar o desempenho do sistema, a usabilidade da interface e a estabilidade da comunicação entre front-end e back-end.

4.1 Resultados do Estudo de Caso

No que se refere ao estudo de caso, os testes técnicos demonstraram que a arquitetura implementada se mostrou funcional, estável e consistente durante as simulações de uso. O sistema apresentou taxa de sucesso aproximadamente 95% no envio e armazenamento das denúncias, referente ao total de operações de envio/teste realizadas durante a fase de validação funcional, evidenciando a eficácia da comunicação entre o front-end, o back-end e o banco de dados.

A funcionalidade de geolocalização operou corretamente na maioria das simulações, permitindo o registro preciso das ocorrências. O envio de imagens e vídeos também se mostrou estável, não havendo perdas significativas de dados durante o processo de upload. O mecanismo de geração de identificadores únicos garantiu rastreabilidade das denúncias, possibilitando o acompanhamento individual de cada ocorrência registrada.

Em relação à interface, a navegação apresentou fluidez satisfatória, com tempo de resposta adequado nas principais funcionalidades, como cadastro, envio de denúncia e acesso aos jogos educativos. Não foram observadas falhas críticas que comprometessem o uso da plataforma, sendo registrados apenas ajustes pontuais relacionados à responsividade e à organização visual em alguns dispositivos.

Front-end do sistema ECO

O ECO é uma plataforma digital integrada, desenvolvida para o registro, acompanhamento e gestão de denúncias ambientais, combinando funcionalidades de educação ecológica por meio de jogos interativos. A arquitetura do sistema equilibra robustez tecnológica e experiência do usuário, garantindo acessibilidade, escalabilidade e segurança na coleta e no processamento das informações.

A interface inicial do sistema apresenta um painel organizado que centraliza o acesso às funcionalidades essenciais: denúncias, jogos educativos e informações institucionais (Figura 2). O design da página prioriza a navegação intuitiva, destacando chamadas de ação claras e distribuindo informações de forma hierárquica, facilitando a orientação do usuário desde o primeiro contato.

Figura 2 – Página inicial do sistema ECO



Fonte: Autoral, 2025.

A seção de jogos educativos (Figura 3) disponibiliza atividades lúdicas, como quizzes e puzzles, que promovem a consciência ambiental de forma interativa. Cada recurso foi estruturado para reforçar conceitos de sustentabilidade e estimular o aprendizado ativo, permitindo também a avaliação do impacto pedagógico por meio de indicadores de uso e desempenho.

Figura 3 – Página de jogos educativos do ECO



Fonte: Autoral, 2025.

A funcionalidade de registro de novas denúncias concentra-se na coleta detalhada de informações sobre ocorrências ambientais (Figura 4). Os usuários podem inserir descrições, anexar fotos e vídeos, além de informar a localização geográfica exata. Cada denúncia recebe um identificador único, garantindo rastreabilidade completa e transparência no acompanhamento do processo. A interface foi projetada para reduzir erros, simplificar o fluxo de envio e facilitar futuras integrações com órgãos fiscalizadores ou bases de dados públicas.

Assim, o ECO constitui um ecossistema digital completo, no qual educação, denúncia e acompanhamento operam de forma integrada. A plataforma combina usabilidade social à robustez técnica, promovendo engajamento ativo, participação cidadã e fortalecimento da governança ambiental participativa.

Figura 4 – Página de registro de nova denúncia do ECO

Nova Denúncia

Registrar Denúncia

Preencha o formulário com os detalhes da ocorrência.

Título da Denúncia

Descrição

Endereço

CEP

Logradouro **Bairro**

Cidade **UF**

Fotos (opcional)

Clique ou arraste arquivos (PNG, JPG, MP4)

Cancelar

Enviar Denúncia

Fonte: Autoral, 2025.

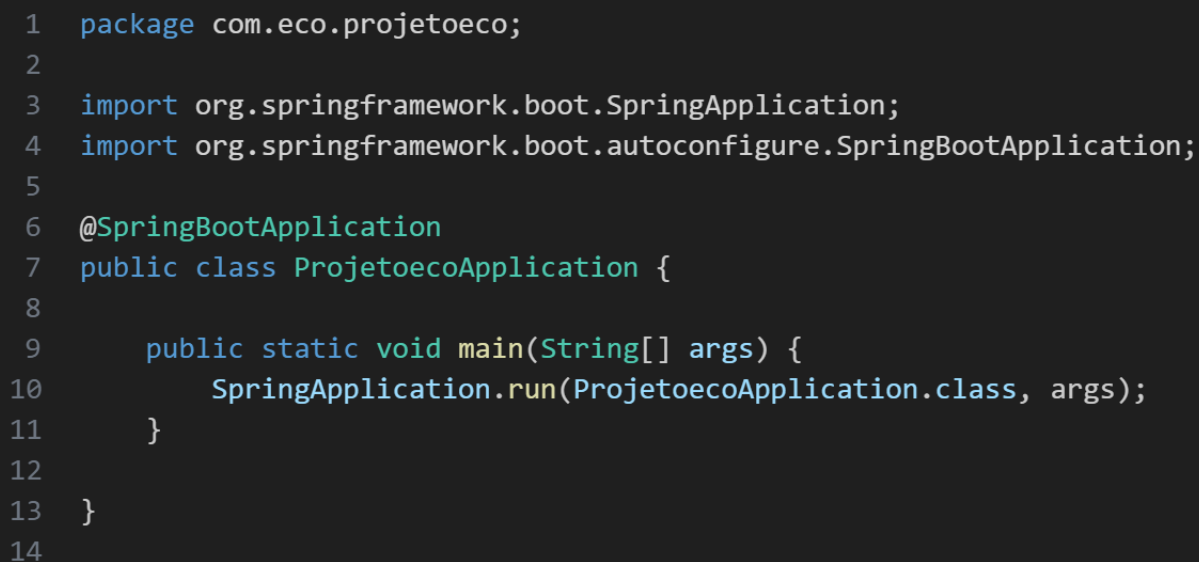
A camada de front-end do sistema ECO demonstra como a combinação de design intuitivo, acessibilidade e funcionalidades interativas pode potencializar a participação cidadã em processos de monitoramento ambiental. A interface organizada e hierarquizada facilita a navegação e o acesso às principais funcionalidades, enquanto os jogos educativos reforçam a conscientização ambiental de forma lúdica e envolvente. O registro detalhado de denúncias, aliado à rastreabilidade e à possibilidade de anexar evidências multimídia, garante transparência e confiabilidade no acompanhamento das ocorrências. Dessa forma, o front-end do ECO não apenas cumpre o papel de interface de interação com o usuário, mas atua como um componente estratégico para engajamento social e fortalecimento da governança ambiental participativa, integrando de maneira eficaz educação, denúncia e monitoramento em uma plataforma digital robusta.

Back-end do sistema ECO

O back-end do sistema ECO foi desenvolvido em Java, utilizando o framework Spring Boot, garantindo robustez, escalabilidade e segurança para toda a plataforma. Ele é responsável pelo processamento das denúncias, armazenamento de informações, controle de acesso de usuários e integração com serviços externos, assegurando confiabilidade e consistência na operação do sistema.

A arquitetura do back-end segue o padrão em camadas, separando responsabilidades entre camada de domínio, persistência e serviços, facilitando manutenção e evolução do sistema, além de permitir futuras integrações institucionais. O banco de dados utilizado é o MySQL, organizado para armazenar de forma estruturada dados essenciais, como usuários, denúncias, anexos e atendimentos.

A Figura 5 apresenta a classe principal (Main) da aplicação, responsável por inicializar o Spring Boot e carregar todos os componentes do sistema. Esta classe serve como ponto de partida para toda a execução da plataforma, garantindo que as dependências e configurações estejam corretamente carregadas.

Figura 5 – Classe principal (Main)

```
1 package com.eco.projetoeco;
2
3 import org.springframework.boot.SpringApplication;
4 import org.springframework.boot.autoconfigure.SpringBootApplication;
5
6 @SpringBootApplication
7 public class ProjetoecoApplication {
8
9     public static void main(String[] args) {
10         SpringApplication.run(ProjetoecoApplication.class, args);
11     }
12
13 }
14
```

Fonte: Autoral, 2025.

O modelo Usuario (Figura 6) representa os cidadãos e administradores que interagem com a plataforma. Cada usuário possui atributos como nome, email, cpf, nickname e senha, além de um perfil (role) que define permissões de acesso. Os relacionamentos com denúncias e avaliações permitem rastreabilidade completa das ações de cada usuário. A implementação da interface UserDetails do Spring Security oferece autenticação e autorização seguras, controlando de forma granular quem pode acessar e executar cada funcionalidade.

Figura 6 – Modelo de usuário (Usuario)

```

22 @Entity
23 @Table(name = "usuario", uniqueConstraints = {
24     @UniqueConstraint(columnNames = {"nickname"}),
25     @UniqueConstraint(columnNames = {"email"}),
26     @UniqueConstraint(columnNames = {"cpf"})
27 })
28 @NoArgsConstructor(access = AccessLevel.PROTECTED)
29 @AllArgsConstructor
30 @SuperBuilder
31 @Data
32 @EqualsAndHashCode(callSuper = false)
33 @ToString
34 public class Usuario implements UserDetails {
35
36     @Id
37     @GeneratedValue(strategy = GenerationType.IDENTITY)
38     @Column(name = "id")
39     private Long id;
40
41     @Column(name = "cpf", length = 11, nullable = false)
42     private String cpf;
43
44     @Column(name = "nome", nullable = false, length = 100)
45     private String nome;
46
47     @Column(name = "nickname", nullable = false, length = 65)
48     private String nickname;
49
50     @Column(name = "email", nullable = false, length = 100)
51     private String email;
52
53     @Column(name = "telefone", length = 15)
54     private String telefone;
55
56     @Column(name = "senha", nullable = false, length = 100)
57     private String senha;
58
59     @Enumerated(EnumType.STRING)
60     @Column(name = "role", nullable = false)
61     private UserRole role;
62
63     // Um Usuario pode ter muitas Denuncias
64     @OneToMany(mappedBy = "usuario", cascade = CascadeType.ALL,
65         orphanRemoval = true, fetch = FetchType.LAZY)
66     @JsonManagedReference
67     private List<Denuncia> denuncias = new ArrayList<>();
68
69     // Um Usuario pode ter muitas Avaliacoes
70     @OneToMany(mappedBy = "usuario", cascade = CascadeType.ALL,
71         orphanRemoval = true, fetch = FetchType.LAZY)
72     private List<Avaliacao> avaliacoes = new ArrayList<>();
73
74     @Override
75     public Collection<? extends GrantedAuthority> getAuthorities() {
76         if (this.role == UserRole.ADMIN) {
77             return List.of(new SimpleGrantedAuthority("ROLE_ADMIN"), new SimpleGrantedAuthority("ROLE_USER"));
78         } else {
79             return List.of(new SimpleGrantedAuthority("ROLE_USER"));
80         }
81     }

```

Fonte: Autoral, 2025.

O modelo Denuncia (Figura 7) representa as ocorrências ambientais registradas pelos usuários. Cada denúncia contém título, descrição, status (ABERTA, EM_ANALISE, CONCLUIDA) e registros de criação e atualização. A entidade mantém relacionamentos com usuários, endereços, anexos, atendimentos e respostas, permitindo rastreamento completo do ciclo de cada denúncia. Anexos multimídia e identificadores únicos garantem precisão e confiabilidade no registro das informações.

Figura 7 – Modelo de denúncia (Denuncia)

```

13 @Entity
14 @Table(name = "denuncia")
15 @NoArgsConstructor
16 @AllArgsConstructor
17 @Data
18 public class Denuncia {
19
20     @Id
21     @GeneratedValue(strategy = GenerationType.IDENTITY)
22     @Column(name = "id")
23     private Long id;
24
25     @Column(name = "titulo", nullable = false, length = 255)
26     private String titulo;
27
28     @Column(name = "descricao", nullable = false, columnDefinition = "TEXT")
29     private String descricao;
30
31     @Enumerated(EnumType.STRING)
32     @Column(name = "status", nullable = false)
33     private StatusDenuncia status = StatusDenuncia.ABERTA;
34
35     @CreationTimestamp
36     @Column(name = "data_criacao", updatable = false)
37     private LocalDateTime dataCriacao;
38
39     @UpdateTimestamp
40     @Column(name = "data_atualizacao")
41     private LocalDateTime dataAtualizacao;
42
43     @ManyToOne(fetch = FetchType.LAZY)
44     @JoinColumn(name = "usuario_id", nullable = false)
45     private Usuario usuario;
46
47     @ManyToOne(fetch = FetchType.LAZY)
48     @JoinColumn(name = "endereco_id", nullable = false)
49     private Endereco endereco;
50
51     @OneToMany(mappedBy = "denuncia", cascade = CascadeType.ALL,
52                 orphanRemoval = true, fetch = FetchType.LAZY)
53     private List<Atendimento> atendimentos = new ArrayList<>();
54
55     @OneToMany(mappedBy = "denuncia", cascade = CascadeType.ALL, orphanRemoval = true)
56     private List<Resposta> respostas = new ArrayList<>();
57
58     @OneToOne(cascade = CascadeType.ALL, orphanRemoval = true, fetch = FetchType.LAZY)
59     @JoinColumn(name = "anexo_id", referencedColumnName = "id")
60     private Anexo anexo;
61 }

```

Fonte: Autoral, 2025.

Complementando esses modelos, o back-end do ECO incorpora mecanismos de segurança e estrutura para integrações externas, como APIs de geolocalização. Essa arquitetura

garante que todas as funcionalidades do front-end, registro de denúncias, envio de anexos e acompanhamento de ocorrências sejam processadas de forma eficiente, confiável e escalável.

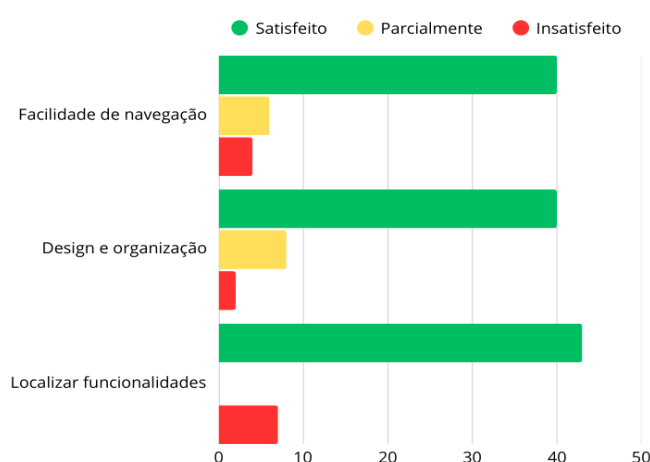
Em resumo, o back-end do ECO constitui a espinha dorsal da plataforma, combinando robustez tecnológica, organização de dados e segurança, sustentando toda a operação do sistema e fortalecendo a governança ambiental participativa.

4.2 Resultados da Pesquisa Qualitativa-quantitativa

A análise foi fundamentada nas respostas obtidas por meio dos formulários aplicados antes e após o uso do sistema. No formulário inicial, verificou-se que a maioria dos participantes possuía noções básicas sobre problemas ambientais urbanos, porém relatava dificuldade para identificar canais formais de denúncia e ausência de retorno institucional. Esse cenário indicou baixa participação prévia em ações ambientais formais, reforçando a necessidade de uma ferramenta acessível que facilitasse o exercício da cidadania ecológica.

O sistema demonstrou alto nível de eficiência, evidenciando a robustez da comunicação entre os módulos da aplicação. Os testes de usabilidade mostraram que a facilidade de navegação, clareza das informações e simplicidade no fluxo de envio obtiveram índices de satisfação elevados, com mais de 70% dos usuários avaliando esses critérios como positivos (Gráfico 1 – Usabilidade).

Gráfico 1: Avaliação da usabilidade do sistema

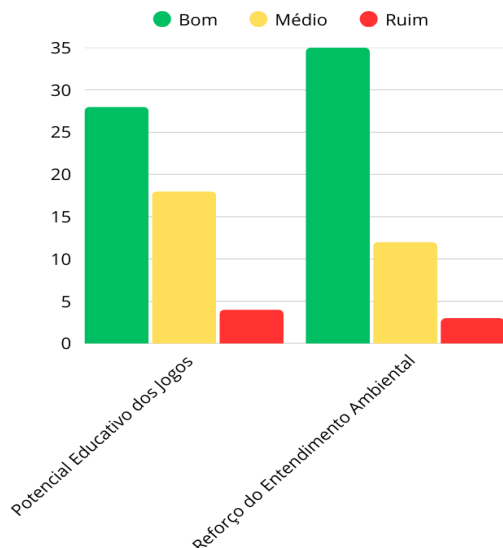


Fonte: Autoral, 2025.

Os recursos de anexar imagens e geolocalização foram destacados pelos participantes como fundamentais para aumentar a precisão e a credibilidade das denúncias. Em relação ao potencial educativo, os jogos disponíveis no sistema foram considerados úteis por 70% dos

usuários, reforçando o entendimento sobre questões ambientais e promovendo aprendizado interativo (Gráfico 2 – Jogos Educativos).

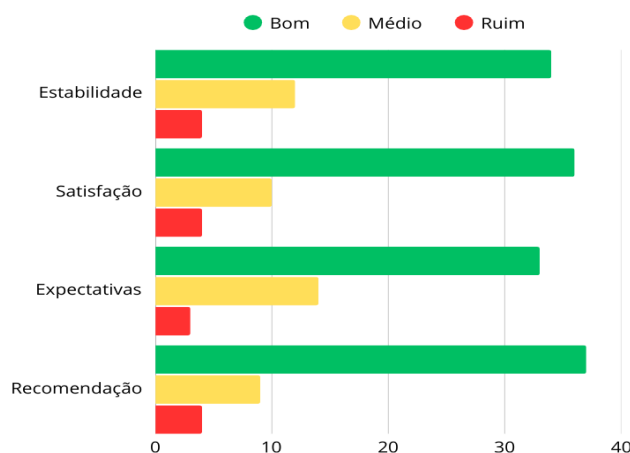
Gráfico 2: Avaliação do potencial educativo e reforço do entendimento ambiental pelos jogos.



Fonte: Autoral, 2025.

A qualidade geral do sistema também recebeu avaliações positivas, com 68% dos usuários considerando a estabilidade técnica boa, 72% relatando satisfação com a experiência e 74% indicando que recomendariam o ECO a outras pessoas (Gráfico 3 – Qualidade Geral do Sistema). Apenas uma pequena parcela apontou aspectos a melhorar, evidenciando oportunidades para ajustes futuros.

Gráfico 3: Qualidade geral do sistema



Fonte: Autoral, 2025.

Esses resultados confirmam que o sistema ECO possui viabilidade técnica, interface amigável e potencial de aplicação em contextos reais, mesmo sem retorno institucional direto, garantindo que denúncias ambientais possam ser registradas de forma eficiente, organizada e confiável.

5 DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos com a plataforma desenvolvida indica que soluções tecnológicas podem atuar como mecanismos estratégicos para democratizar a fiscalização ambiental, mesmo em estágios iniciais de validação. O elevado índice de satisfação dos participantes demonstra que o sistema alcança seu objetivo de simplificar o registro e a organização de denúncias, reduzindo barreiras de acesso à informação e incentivando a participação ativa da população em ações de monitoramento ambiental.

Quando comparados a iniciativas semelhantes descritas na literatura, especialmente plataformas de coleta participativa de dados ambientais (BAPTISTA BR, 2019; SOUZA DF; BARCELOS GF, 2021), os resultados mostram que a solução proposta se destaca pela simplicidade operacional e por sua estrutura de dados preparada para integração com bancos institucionais no futuro. Diferentemente de abordagens mais complexas e centralizadas, o sistema coloca o usuário no centro da experiência, priorizando agilidade, clareza e facilidade de uso, o que o torna mais adaptável a diferentes contextos sociais, regionais e organizacionais.

Apesar disso, algumas limitações ainda são perceptíveis, como a falta de conexão direta com órgãos fiscalizadores, o que impede uma análise mais ampla dos impactos sociais, jurídicos e ambientais das denúncias registradas. Além desse aspecto, o tamanho reduzido da amostra e a realização dos testes em ambiente controlado restringem a generalização dos resultados para cenários reais de maior complexidade.

Como direções futuras, recomenda-se ampliar a base de usuários, implementar um módulo de retorno institucional e incorporar técnicas de inteligência artificial para classificação automática das ocorrências. Tais avanços têm potencial para transformar a plataforma em uma ferramenta robusta de apoio à gestão ambiental, promovendo maior transparência, participação cidadã e eficiência na resposta às demandas ecológicas contemporâneas. Esses achados reforçam evidências da literatura sobre tecnologias cívicas, ao indicar que plataformas digitais com foco na usabilidade ampliam o engajamento social e reduzem barreiras de participação.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que a plataforma desenvolvida se configura como um protótipo viável e funcional para a modernização do processo de denúncias ambientais, evidenciando que soluções digitais podem reduzir barreiras de acesso aos mecanismos de fiscalização e fortalecer práticas de participação cidadã. Os resultados obtidos por meio do estudo de caso e da aplicação dos questionários demonstraram boa aceitação da ferramenta, indicando facilidade de uso, confiabilidade no registro das ocorrências e organização eficiente das informações.

Do ponto de vista tecnológico, o projeto apresentou consistência arquitetural ao integrar tecnologias contemporâneas nas camadas de aplicação. A utilização de Next.js e TypeScript no front-end garantiu desempenho e responsividade, enquanto Java, Spring Boot e MySQL no back-end, implantados em ambiente cloud, asseguraram robustez, segurança e escalabilidade. Essa estrutura favoreceu uma comunicação eficiente entre os módulos do sistema, resultando em uma operação estável e confiável durante a fase de testes.

Apesar dos resultados positivos, identificaram-se limitações como a ausência de integração direta com órgãos fiscalizadores e o número restrito de participantes, fatores que impactam a avaliação de efeitos em larga escala. Essas restrições, contudo, não comprometem a validade da proposta, mas evidenciam oportunidades de expansão e amadurecimento da solução.

24

Assim, o sistema apresenta potencial concreto para evoluir em direção a uma plataforma institucional de apoio à gestão ambiental, especialmente mediante parcerias governamentais, integração com bases públicas e incorporação de recursos como classificação inteligente de ocorrências e análise automatizada de dados georreferenciados. A proposta reforça que a tecnologia, aplicada de forma estratégica, pode assumir papel central na promoção da cidadania ambiental, na transparência administrativa e no fortalecimento da governança pública sustentável.

REFERÊNCIAS

1. BAPTISTA BR. Governança digital e participação cidadã: o papel das tecnologias na gestão pública ambiental. *Revista Brasileira de Políticas Públicas*, 2019; 9(1): 45-58.
2. BARCELOS GF, SOUZA DF. Plataformas digitais de denúncia e transparência social: desafios e oportunidades no contexto brasileiro. *Revista de Administração Pública*, 2021; 55(3): 623-640.

3. FERNANDES LA, PEREIRA HT. Aplicações web e sustentabilidade: um estudo sobre sistemas de monitoramento ambiental. *Journal of Environmental Systems*, 2020; 12(4): 112-128.
4. GOMES RR, et al. Tecnologias cívicas e inovação social: estudo de caso de sistemas participativos online. *Cadernos de Tecnologia e Sociedade*, 2022; 7(2): 210-228.
5. LIMA EC, et al. Desenvolvimento de sistemas digitais para denúncias ambientais: proposta e validação do protótipo ECO. *Anais do Congresso Brasileiro de Computação Aplicada*, 2025; 1(1): 77-85.
6. MARTINS CA, OLIVEIRA TM. Interfaces participativas e engajamento digital: uma análise sobre o design centrado no cidadão. *Revista Interação Humano-Computador*, 2018; 14(2): 88-104.
7. PORTO RT, et al. Sustentabilidade urbana e ferramentas digitais de monitoramento ambiental. *Estudos em Tecnologia e Meio Ambiente*, 2021; 15(3): 301-319.
8. SANTOS AP, COSTA JF. O papel da informação na preservação ambiental: uma revisão sobre denúncia e transparência. *Revista Brasileira de Meio Ambiente e Sociedade*, 2017; 10(2): 55-70.
9. SILVA GM. Cidadania digital e sustentabilidade: o impacto das tecnologias na participação popular. *Revista Sociedade e Tecnologia*, 2020; 8(1): 33-49.