Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais – PPGCTA

VINICIUS SARAIVA SANTOS

DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA WEB COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA E APLICAÇÕES EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL:

UM ESTUDO INTEGRADO

PORTO SEGURO
Fevereiro/2025

VINICIUS SARAIVA SANTOS

DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA WEB COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA E APLICAÇÕES NA EDUCAÇÃO AMBIENTAL: um estudo integrado

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Sul da Bahia e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, com vistas à obtenção do título de mestre em Ciências e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi

PORTO SEGURO
Fevereiro/2025

Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)
Sistema de Bibliotecas (SIBI)

S237d Santos, Vinicius Saraiva, 1982 –
Desenvolvimento de plataforma web com inteligência artificial para monitoramento e análise da qualidade da água e aplicações na educação ambiental: um estudo integrado. / Vinicius Saraiva Santos. – Porto Seguro, 2025.
64 f.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia. Centro de Formação em Ciências Ambientais. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais. Campus Sosígenes Costa.

1. Educação Ambiental. 2. Plataformas Digitais. 3. Ferramentas Pedagógicas. 4. Qualidade da Água. 5. Monitoramento Ambiental. 6. Sustentabilidade. I. Zanchi, Fabrício Berton. II. Título.

CDD – 577.624

Elaborado por Lucas Sousa Carvalho - CRB-5/1883

Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

Aos dezessete dias do mês de fevereiro do ano de 2025, às 08h00, de forma híbrida, com a webconferência, por meio da sala virtual com link de transmissão https://meet.google.com/eqt-dcup-mcr, reuniram-se os/as membros/as da banca examinadora composta pelos/a docentes Dr. Fabrício Berton Zanchi (orientador e presidente da banca), Dra. Andresa Oliva (membra externo ao Programa), Dr. José Eloim Silva de Macedo (membro externo ao Programa) e Dr. Rodrigo Tartari (membro externo ao Programa), a fim de arguirem o mestrando Vinicius Saraiva Santos na defesa de sua dissertação de mestrado, cujo trabalho de pesquisa intitula-se "TIKATU - Desenvolvimento de Plataforma Web Inteligente para Monitoramento e Análise da Qualidade da Água e sua Aplicação na Educação Ambiental: um estudo integrado". Aberta a sessão pelo presidente da mesma, coube ao candidato, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida questionado pelos membros/a da banca examinadora, tendo dado as explicações que foram necessárias. Após reunião em sessão secreta, os/as membros/as da banca consideraram a dissertação:

(x) Aprovada com Louvor ( ) Aprovada ( ) Reprovada

BANCA EXAMINADORA:

gov.br Documento assinado digitalmente
FABRICIO BERTON ZANCHI
Data: 17/02/2025 18:48:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Fabrício Berton Zanchi (IFBA/UFSB/PPGCTA)
Orientador e Presidente da banca

gov.br Documento assinado digitalmente
ANDRESA OLIVA
Data: 18/02/2025 07:29:17-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Andresa Oliva (CFCAm/UFSB)
Membra externa

gov.br Documento assinado digitalmente
JOSE ELOIM SILVA DE MACEDO
Data: 18/02/2025 10:44:32-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. José Eloim Silva de Macedo Oliva
(CFCAm/UFSB) *Membro externo*

gov.br Documento assinado digitalmente
RODRIGO TARTARI
Data: 17/02/2025 20:26:35-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Rodrigo Tartari (UEM)
Membro externo

gov.br Documento assinado digitalmente
VINICIUS SARAIVA SANTOS
Data: 18/02/2025 14:15:46-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Vinicius Saraiva Santos
Nome do discente

Webconferência, 17 de fevereiro de 2025.

Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA

PARECERES DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA:

(exceto presidente)

MEMBRO/A	SIGLA DA INSTITUIÇÃO	NOTA (0,0–10,0)	PARECER
Dra. Andresa Oliva	UFSB	9.7	Aprovado
Dr. José Eloim Silva de Macedo Oliva	UFSB	9.5	Aprovado
Dr. Rodrigo Tartari	UEM	9.3	Aprovado
CONCEITO FINAL		**9.5**	Aprovado

Conforme o Regimento Interno do PPGCTA (2021, p. 26):

> **Art. 86.** Cada membro(a) da banca, exceto a(o) presidenta(e), emitirá parecer por escrito e atribuirá nota entre 0,0 (zero) a 10,0 (dez), correspondente à apresentação e ao trabalho escrito da dissertação.
> § 1º. O conceito final resultará da média aritmética dos valores numéricos concedidos pelos membros da banca examinadora, sendo considerado aprovada(o) a(o) discente que obtiver média final igual ou superior a 7,0 (sete).
> (...)

Em caso de **reprovação**, a banca deve indicar neste espaço as razões que embasaram tal decisão:

Outras **recomendações** da banca examinadora (OPCIONAL):
Adequar o texto e as indicações que os/as membros/a da banca.

gov.br
Documento assinado digitalmente
FABRICIO BERTON ZANCHI
Data: 17/02/2025 18:47:48-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Fabrício Berton Zanchi (UFSB/IFBA / PPGCTA)
Presidente da banca

Aos meus pais e familiares, que sempre me ensinaram que, na união, encontramos a força para atravessar os maiores desafios. Dedico este esforço a vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos Orixás, pela força, sabedoria e proteção que guiaram meus passos, me dando coragem e resistência para enfrentar os desafios ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Nilzete e Cosme, pela constante inspiração e apoio incondicional, que me sustentaram ao longo desta caminhada. Sem vocês, nada disso seria possível.

Ao meu orientador, Fabricio Zanchi, pela orientação, parceria e pelas valiosas contribuições que transformaram este trabalho em algo significativo. Sua sabedoria e comprometimento foram fundamentais para a conclusão deste projeto.

A todos os professores do PPGCTA que compartilharam seus conhecimentos e experiências, tornando o aprendizado ainda mais enriquecedor.

Aos meus colegas de turma, pelo apoio mútuo, pelas trocas de experiências e pela amizade durante todo o curso. Juntos, tornamos essa jornada mais rica e significativa.

Agradeço ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)** pelo financiamento concedido para a realização desta pesquisa.

A todos os profissionais, diretos e indiretos, envolvidos no programa de mestrado, pelo suporte institucional, acadêmico e administrativo, que proporcionaram um ambiente de aprendizado tão enriquecedor e produtivo.

E, por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, com apoio, incentivo e dedicação contínuos. Esta conquista é de todos nós.

Minha jornada é a de todos aqueles que vieram antes de mim;
a sabedoria dos ancestrais vive em cada passo que dou.

SANTOS, Vinicius Saraiva. **Desenvolvimento de Plataforma web com inteligência artificial para monitoramento e análise da qualidade da água e aplicações na educação ambiental:** um estudo integrado. Orientador: Fabrício Berton Zanchi. 2025. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Sul da Bahia; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Porto Seguro - Bahia, 2025.

RESUMO

A crescente preocupação com a qualidade da água devido aos impactos das atividades humanas e mudanças climáticas têm impulsionado o desenvolvimento de soluções tecnológicas para monitoramento ambiental e educação para a sustentabilidade. Este estudo aborda o desenvolvimento e a proposta de aplicação da plataforma web TIKATU, uma ferramenta digital baseada em inteligência artificial (IA), para o monitoramento da qualidade da água com enfoque tanto na gestão ambiental quanto no ensino de educação ambiental (EA). Na primeira etapa do estudo, a plataforma Tikatu foi desenvolvida e validada para a análise em tempo real de parâmetros de qualidade da água e cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA). O desenvolvimento seguiu a metodologia ágil. A interface foi criada com HTML, CSS e Streamlit, enquanto o backend utilizou Python e PostgreSQL. O sistema foi testado com dados do rio Chamagunga (Porto Seguro, Bahia, Brasil), comparando-os com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. A plataforma gerou relatórios automáticos e alertas sobre a qualidade da água, demonstrando seu potencial como ferramenta para fiscalização ambiental e apoio à tomada de decisão. A segunda parte explorou a aplicação pedagógica da plataforma, analisando como suas funcionalidades podem ser utilizadas no ensino da EA. Utilizando uma abordagem exploratória e documental, a pesquisa analisou documentos técnicos da plataforma e revisou a literatura sobre o uso de tecnologias digitais no ensino. Foram investigadas possibilidades de integração da Tikatu em atividades de campo, ciência cidadã e aulas interativas em diferentes disciplinas, promovendo maior engajamento dos estudantes no aprendizado ambiental. Os resultados indicam que a Tikatu pode ser aplicada como recurso pedagógico. A plataforma facilita a integração entre teoria e prática na educação ambiental, incentivando a preservação dos recursos hídricos e a formação de uma consciência ecológica crítica. Além disso, oferece dados acessíveis para apoiar a gestão ambiental, com perspectivas promissoras de expansão.

Palavras-chave: Educação ambiental; Plataformas digitais; Ferramentas pedagógicas; Qualidade da água; Monitoramento Ambiental; Sustentabilidade.

SANTOS, Vinicius Saraiva. **Web platform with artificial intelligence for monitoring and analyzing water quality and its application in environmental education:** an integrated study. Supervisor: Fabricio Berton Zanchi 2024. Dissertation (Master's Degree in Environmental Sciences and Technologies) - Federal University of Southern Bahia; Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia, Porto Seguro, 2024.

ABSTRACT

The growing concern about water quality due to the impacts of human activities and climate change has driven the development of technological solutions for environmental monitoring and sustainability education. This study addresses the development and proposed application of the TIKATU web platform, a digital tool based on artificial intelligence (AI) for water quality monitoring, focusing on both environmental management and environmental education (EE). In the first stage of the study, the Tikatu platform was developed and validated for real-time analysis of Water Quality Index (WQI) parameters. The development followed an agile methodology, with the interface created using HTML, CSS, and Streamlit, while the backend utilized Python and PostgreSQL. The system was tested with data from the Chamagunga River (Porto Seguro, Bahia, Brazil), comparing them with the limits established by Resolution CONAMA No. 357/2005. The platform generated automatic reports and alerts on water quality, demonstrating its potential as a tool for environmental monitoring and decision-making support. The second part of the study explored the platform’s pedagogical application, analyzing how its functionalities can be used in EE teaching. Using an exploratory and documentary approach, the research examined the platform's technical documentation and reviewed literature on the use of digital technologies in education. The study investigated the integration of Tikatu into field activities, citizen science, and interactive lessons across different disciplines, promoting greater student engagement in environmental learning. The results indicate that Tikatu can be applied as a pedagogical resource. The platform facilitates the integration of theory and practice in environmental education, encouraging the preservation of water resources and the development of a critical ecological awareness. Furthermore, it provides accessible data to support environmental management, with promising expansion prospects.

Keywords: Environmental education; Digital platforms; Pedagogical tools; Water quality; Environmental monitoring; Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

Figura 1- Concepção da Criação da Marca "Tikatu".....23

Figura 2 - Fluxograma representando o processo de coleta e transmissão de dados sobre a qualidade da água com suporte da ciência cidadã.....28

Figura 3 - Mapa do rio Chamagunga em Porto Seguro, Bahia, mostrando a localização dos pontos de coleta (Pontos 1 a 6), destacando os segmentos visíveis, vegetados e subterrâneos do rio, bem como as áreas de vegetação, urbanas e de faixa de areia, proporcionando uma visão detalhada da região monitorada.....29

Figura 4 - A imagem apresenta a interface inicial da plataforma Tikatu, destacando as seções: "Por que monitorar a água?" (importância da qualidade da água), "Agenda 2030" (alinhamento com os ODS da ONU 4, 6 e 14) e "Parâmetros monitorados" (indicadores essenciais para a avaliação da qualidade da água e cálculo do IQA)..... 32

Figura 5 - (Interface da plataforma Tikatu para seleção de parâmetros físicos da água, permitindo ao usuário escolher o rio, o parâmetro a ser analisado, os pontos de amostragem e o intervalo de datas.).....33

Figura 6 - Interface de análise da qualidade da água na plataforma Tikatu, contendo: (A) gráfico dos valores dos parâmetros nos pontos de coleta, comparados aos limites do CONAMA; (B) mapa mostrando a localização geográfica dos pontos de amostragem no rio Chamagunga; (C) botões de acesso a informações detalhadas sobre cada parâmetro analisado……..... 34

Figura 7 - Tela da plataforma exibindo a análise gerada por inteligência artificial com base nos dados filtrados pelo usuário, mostrando os valores de pH coletados em cinco pontos ao longo do rio Chamagunga. A interface inclui um botão para converter a análise em um relatório em PDF para download, facilitando a documentação e o compartilhamento dos resultados……..... 35

Figura 8 - Tela de análise do Índice de Qualidade da Água (IQA), destacando quatro áreas principais: (A) filtros para seleção da cidade, rio e pontos de amostragem; (B) gráfico do IQA por ponto de amostragem; (C) tabela exibindo faixas e classificações do IQA; e (D) botão para gerar análise detalhada……..... 36

Figura 9 - Exemplo de alerta de monitoramento enviado pela plataforma Tikatu, notificando o usuário sobre parâmetros no rio Chamagunga que excedem os limites estabelecidos pelo CONAMA. A mensagem detalha os valores encontrados e os limites mínimo e máximo para

cada
parâmetro……..……..37

Figura 10 - Fluxograma ilustrando o funcionamento da plataforma, desde a consulta do usuário até a exibição dos resultados e geração de relatórios, com integração ao banco de dados e inteligência artificial…..... 38

Artigo 2

Figura 1 - Processo de Seleção e Refinamento da Revisão Bibliográfica.....48

Figura 2 - Mapa de coocorrência de palavras-chave em estudos sobre EA e tecnologias digitais.....
……51

Figura 3 - Interface da Tikatu. Valores em tempo real de parâmetros de qualidade da água, como a) pH e b) Condutividade, para os pontos de coleta 1, 2 e 3 do Rio Chamagunga.....54

Figura 4 - Imagem ilustrativa da representação gráfica dos resultados de uma análise preditiva realizada pela IA integrada à Tikatu….....….…55

Figura 5 - Mapa interativo gerado pela plataforma Tikatu, mostrando diferentes pontos de coleta ao longo de um rio.....58

LISTA DE TABELAS

Artigo 2

Tabela 1 – Resumo dos métodos, autores e focos de pesquisa relacionados à utilização de tecnologias digitais na educação ambiental…….....…….50

Tabela 2 – Formas de utilização da plataforma Tikatu no ensino da EA.....52

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL

……....16

ARTIGO 1 - DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA WEB COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO E ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA

RESUMO……...19

ABSTRACT

……..20

1 INTRODUÇÃO

……21

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS…….……..22

2.1. A Plataforma TIKATU ……...22

2.1.1 A Plataforma e a Agenda 2030 ……23

2.2 Planejamento e Desenvolvimento da Plataforma Web…….24

2.3 Frontend…… 24

2.4 Backend…… 25

2.5 Integração com a Inteligência Artificial 26

2.5.1 Treinamento do modelo para a integração à plataforma …….26

2.5.2 Funcionalidades e Aplicações na Plataforma……...……....27

2.6 Revisão e testes…….
27

2.7 Coleta e Transmissão dos Dados
…….28

2.8 Funcionalidade de Alerta Automático
…….30

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES
……31

3.1 Limitações do Estudo ……39

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS
……..40

REFERÊNCIAS
……..41

ARTIGO 2 - APLICAÇÃO DA PLATAFORMA TIKATU PARA O ENSINO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM ESCOLAS PÚBLICAS: UMA ABORDAGEM EXPLORATÓRIA

RESUMO……..44
ABSTRACT……..44

1 INTRODUÇÃO
…….45

2 METODOLOGIA ……..47

2.1 Coleta de Dados ……47

2.2 Análise das Funcionalidades……49

3 UTILIZAÇÃO DA TIKATU COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL ……49

3.1 Atividades de Campo e Projetos de Ciência Cidadã……52

3.2 Aulas interativas sobre qualidade da água nas disciplinas de ciências, biologia e química……..56

3.3 Mapeamento de pontos de coleta para o ensino de geografia ……57

3.4 Desenvolvimento de habilidades analíticas e quantitativas em matemática e estatística
…….59
5 CONCLUSÃO ……..……60
REFERÊNCIAS ……..61

CONCLUSÃO GERAL ……64
REFERÊNCIAS ……66

INTRODUÇÃO GERAL

A degradação dos recursos hídricos é um problema crescente que se intensificou nas últimas décadas como resultado de múltiplos fatores como o aumento das atividades humanas e as mudanças climáticas. Este cenário tem causado preocupação global com a qualidade da água, um recurso indispensável à vida que impacta diretamente tanto a saúde pública quanto a preservação dos ecossistemas aquáticos (Ahmad *et al*., 2020). De acordo com a *World Water Quality Assessment* da UNEP, cerca de 70% da água retirada globalmente é usada na agricultura. A poluição da água pode impactar diretamente a segurança alimentar e a saúde humana, através da contaminação por metais pesados e poluentes emergentes, como microplásticos e produtos químicos industriais (UNEP, 2023).

O Fórum Econômico Mundial classifica a crise da água entre os três principais riscos globais, destacando a necessidade do monitoramento para evitar maiores crises hídricas no futuro (WORLD ECONOMIC FORUM, 2023). Diante do exposto, surge a necessidade de detectar precocemente poluentes, implementar ações corretivas e garantir a gestão sustentável desses recursos naturais, especialmente em face da urbanização acelerada e do uso inadequado dos recursos disponíveis (Tazoe, 2023; Bukhari *et al*., 2023).

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é regulamentada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997, que estabelece a água como um bem público, sujeito a uma governança descentralizada e participativa. No âmbito federal, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) coordena a implementação dessa política, enquanto, na Bahia, essa atribuição cabe ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). Para viabilizar a gestão integrada e sustentável da água no estado, foram instituídas as Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGAs) e os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) (BRASIL, 1997)..

As RPGAs agrupam bacias hidrográficas com características similares, enquanto os CBHs desempenham papel consultivo e deliberativo, articulando o poder público, usuários e sociedade civil na tomada de decisões sobre o uso e conservação dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). Entretanto, devido à extensão territorial da Bahia e à sua vasta malha hidrográfica, o monitoramento contínuo dos corpos hídricos ainda não é uma realidade. As campanhas de coleta de água são realizadas de forma pontual, ocorrendo, em média, três a quatro vezes ao ano, o que limita a detecção de variações temporais nos parâmetros de qualidade da água (INEMA, 2023). Porto Seguro está inserido na RPGA IV, que abrange as bacias dos rios dos Frades, Buranhém e Santo Antônio, sendo atendido pelo Comitê da Bacia

Hidrográfica dos Rios dos Frades, Buranhém e Santo Antônio (CBH-FBSA), responsável pelo planejamento e gestão participativa da água na região. Essa estrutura promove maior eficiência na resolução de conflitos e no estabelecimento de políticas que assegurem a disponibilidade e qualidade hídrica para diferentes usos.

Além dos desafios técnicos, a gestão sustentável dos recursos hídricos exige educação e conscientização ambiental. Dada a importância de preparar as novas gerações para enfrentar os desafios ambientais, é necessário incorporar métodos educativos que incluam o monitoramento da qualidade da água às práticas educacionais aos conteúdos nas escolas. No entanto, muitos estabelecimentos de ensino ainda enfrentam dificuldades devido à falta de recursos específicos e à formação insuficiente de professores para abordar temas ambientais de forma crítica e aprofundada (Carvalho; Frizzo, 2016).

Segundo Godoy e Avelino (2009), a educação ambiental (EA) tem o propósito de formar o "cidadão planetário", um indivíduo capacitado a agir como agente transformador na defesa do meio ambiente e influenciar práticas e comportamentos coletivos. A EA busca, portanto, estimular a participação ativa da sociedade em ações colaborativas, promovendo o engajamento comunitário em prol da sustentabilidade. Nesse contexto, o uso de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial (IA), tem se mostrado uma alternativa para otimizar a coleta, armazenamento, análise e disseminação de informações ambientais (Hlatshwayo, 2023).

A questão central da pesquisa é: "Como a plataforma Tikatu, utilizando inteligência artificial, pode contribuir para uma gestão ambiental mais eficiente dos recursos hídricos e, simultaneamente, para a educação ambiental em contextos escolares?" A hipótese que norteia o estudo é que a Tikatu, por meio de sua capacidade de monitoramento em tempo real e análise interativa de dados, pode promover uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos. Além disso, a implementação de programas de EA que envolvem a prática direta de monitoramento da qualidade da água pode ajudar a criar uma consciência mais crítica e participativa sobre a preservação dos recursos naturais, ampliando o impacto das políticas de sustentabilidade.

Diante desse cenário, esta dissertação aborda o desenvolvimento e a aplicação da plataforma Tikatu, uma ferramenta baseada em IA para monitoramento da qualidade da água e seu potencial como recurso pedagógico para a EA. O estudo está estruturado em dois capítulos complementares na abordagem da utilização da tecnologia digital para a gestão ambiental e para a educação. O primeiro capítulo analisa a criação e a validação da plataforma Tikatu como uma solução tecnológica para o monitoramento da qualidade da água. A

plataforma foi desenvolvida para coletar e analisar dados de diferentes parâmetros da qualidade da água. A plataforma foi implementada utilizando metodologia ágil, com múltiplas iterações de desenvolvimento (*Sprints*) que permitiram ajustes constantes no seu código. Ela coleta dados por meio de sensores, e utiliza técnicas de visualização e análise de dados, como redes neurais e modelos de linguagem de larga escala (LLM) da *OpenAI*.

O segundo capítulo investiga a aplicação da Tikatu como uma ferramenta tecnológica educacional em diferentes níveis de ensino, explorando como suas funcionalidades podem ser integradas ao currículo escolar para fomentar práticas educativas voltadas à conscientização e preservação dos recursos hídricos. A pesquisa segue uma abordagem exploratória e documental, examinando documentos técnicos da plataforma e estudos existentes sobre o uso de tecnologias digitais no ensino de EA.

Ao longo desta dissertação, são discutidas as funcionalidades da plataforma, sua contribuição para o monitoramento da qualidade da água e as possibilidades de aplicação pedagógica na EA. O desenvolvimento de soluções para o monitoramento e gestão da água está alinhado à área de concentração do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais, contribuindo para a pesquisa ao integrar ciência, tecnologia e educação. A proposta pode ser expandida para diferentes contextos, fortalecendo a sustentabilidade e a preservação dos recursos naturais.

ARTIGO 1 - DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA WEB COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO E ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA

RESUMO

Este estudo desenvolveu e validou a plataforma web "Tikatu", que utiliza inteligência artificial (IA) para monitorar e analisar a qualidade da água. A ferramenta integra múltiplos parâmetros para determinação do Índice de Qualidade da Água (IQA), permitindo uma análise detalhada e em tempo real das condições dos corpos d'água. Testes e revisões confirmaram a precisão e a funcionalidade do sistema, demonstrando sua eficiência na análise desses parâmetros. A plataforma foi testada com dados do rio Chamagunga, localizado em Porto Seguro, Bahia, Brasil. Os dados coletados foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para o índice de qualidade da água, avaliando os parâmetros pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, temperatura, salinidade, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes e fósforo total. A plataforma foi treinada para identificar valores de parâmetros que ultrapassam os limites estabelecidos para a qualidade da água. O sistema analisa os dados e gera relatórios automáticos, além de enviar alertas por e-mail sempre que os parâmetros excedem os valores críticos, facilitando a gestão dos recursos hídricos e permitindo tomadas de decisão rápidas. Além disso, a flexibilidade do sistema possibilita o monitoramento simultâneo de múltiplos corpos d'água em tempo real, proporcionando uma solução adaptável para diferentes cenários ambientais. O Tikatu se destaca por sua API (Application Programming Interface), permitindo integração com diversas fontes de dados, tornando-o escalável e aplicável em diferentes contextos geográficos. Essa funcionalidade incentiva a participação cidadã, pois as informações geradas são acessíveis e de fácil compreensão para todos. Essas capacidades posicionam o Tikatu como uma ferramenta para aprimorar a fiscalização ambiental, capacitar comunidades e apoiar respostas informadas e oportunas a problemas de qualidade da água.

Palavras-chave: Qualidade da água, , Monitoramento ambiental, Sustentabilidade, Tecnologia ambiental, TIKATU.

DEVELOPMENT OF A WEB PLATFORM WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR WATER QUALITY MONITORING AND ANALYSIS

ABSTRACT

This study developed and validated the web platform "Tikatu", which uses artificial intelligence (AI) to monitor and analyze water quality. The tool integrates multiple parameters from the Water Quality Index (WQI), enabling a detailed and real-time analysis of water bodies' conditions. Tests and reviews confirmed the system's accuracy and functionality, demonstrating its efficiency in analyzing these parameters. The platform was tested with data from the Chamagunga River, located in Porto Seguro, Bahia, Brazil. The collected data were compared with the limits established by CONAMA Resolution No. 357/2005 for the water quality index, evaluating parameters such as pH, electrical conductivity (EC), turbidity, temperature, salinity, biochemical oxygen demand (BOD), dissolved oxygen (DO), thermotolerant coliforms, and total phosphorus. The platform was trained to identify parameter values that exceed the established limits for water quality. The system analyzes the data and generates automatic reports, as well as sending email alerts whenever parameters exceed critical values. This feature facilitates water resource management and allows for quick decision-making. Additionally, the system's flexibility enables the simultaneous monitoring of multiple water bodies in real time, providing an adaptable solution for different environmental scenarios. Tikatu stands out for its API, allowing integration with various data sources, making it scalable and applicable in different geographical contexts. This functionality encourages citizen participation, as the generated information is accessible and easy to understand for everyone. These capabilities position Tikatu as a tool for enhancing environmental monitoring, empowering communities, and supporting informed and timely responses to water quality issues.

Keywords: Water quality, Environmental monitoring, Sustainability, Environmental technology., TIKATU.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água é uma preocupação global crescente, impulsionada pelos impactos adversos das atividades antrópicas associadas às alterações da paisagem, do uso e ocupação das bacias hidrográficas e as mudanças climáticas, que afetam diretamente os recursos hídricos (Ahmad *et al*., 2020). Essa questão não se restringe à preservação dos ecossistemas aquáticos, estando diretamente ligada à proteção e segurança da saúde pública. O monitoramento contínuo da qualidade da água permite a detecção precoce de poluentes e de fontes pontuais e difusas a implementação de ações corretivas, proporcionando evitar danos significativos aos ecossistemas, aos usos múltiplos e à saúde humana. Além disso, um acompanhamento eficiente contribui para a gestão sustentável dos recursos hídricos, essencial diante dos desafios impostos pelo crescimento urbano e pelo uso inadequado dos recursos naturais e pelo aumento na demanda por água em termos de qualidade e quantidade (Tazoe, 2023; Bukhair *et al*., 2023).

A integração de tecnologias avançadas, como a inteligência artificial (IA), tem se mostrado eficaz na otimização da coleta e análise de dados ambientais, melhorando a precisão e a eficiência dessas operações. As aplicações de IA no monitoramento ambiental utilizam dados coletados por sensores em campo e algoritmos de aprendizado de máquina para processar dados em tempo real, tornando a gestão ambiental mais ágil e informatizada (Hlatshwayo, 2023). Tradicionalmente, esse monitoramento pode ser realizado por métodos manuais, como a coleta de amostras e análises laboratoriais, o que pode limitar a frequência e a cobertura espacial dos dados (FILIZOLA; GOMES; SOUZA, 2006). Em comparação, às técnicas baseadas em IA, possibilitam a identificação de padrões complexos em curtos intervalos de tempo, permitindo a antecipação de eventos críticos e a adoção de medidas preventivas e ou corretivas (Rastegar *et al*., 2022).

Estudos recentes demonstram o uso da IA no aprimoramento do monitoramento ambiental. Por exemplo, Erbs *et al*. (2023) aplicaram a IA para automatizar a análise do comportamento de golfinhos nas planícies alagáveis da Amazônia. Rastegar *et al*. (2022) adotaram redes neurais artificiais para prever a qualidade da água em rios, baseando-se em dados históricos e meteorológicos. No mesmo contexto, diversos estudos têm demonstrado o potencial da inteligência artificial (IA) na análise de poluentes em efluentes industriais, utilizando algoritmos como redes neurais artificiais e máquinas de vetor de suporte para aprimorar a precisão dos processos de remoção (COSTA et al., 2020). Além disso, técnicas de visualização da informação têm sido utilizadas para tornar os dados ambientais mais

acessíveis e compreensíveis, facilitando a análise e a tomada de decisão (SOUSA; SILVA; LIMA, 2020).

A utilização de IA de sistemas de automação para o monitoramento da qualidade da água representa um avanço na gestão ambiental do recursos hídrico, pois permite respostas rápidas às variações dos parâmetros monitorados, além de gerar alertas precoces para autoridades e população em geral (Teixeira Brasil et a., 2022). Tais ferramentas são fundamentais para enfrentar os desafios impostos pelas diversificadas mudanças climáticas e pelas atividades humanas, garantindo oportunidade para busca da sustentabilidade e segurança hídrica para as atuais e para as futuras gerações.

Um dos desafios frequentemente mencionados na literatura diz respeito à coleta e documentação de dados ambientais, como registros fotográficos para monitoramento, que demandam tempo e recursos consideráveis. Isso pode limitar a capacidade de cientistas e agências ambientais na disseminação dessas informações ao público (Albers *et al*., 2017). A falta de fiscalização e a escassez de dados disponíveis agravam esse problema. Como solução, sistemas de monitoramento participativo, que utilizam dispositivos móveis para a coleta de dados pela própria população, vêm sendo propostos para preencher essa lacuna (Rosa, 2014).

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo desenvolver e validar uma plataforma web denominada Tikatu, que utiliza automação e inteligência artificial para monitoramento e análise da qualidade da água. A ferramenta foi projetada para integrar múltiplos parâmetros do Índice de Qualidade da Água (IQA), permitindo análises detalhadas e instantâneas das condições dos corpos hídricos. Além disso, a plataforma busca oferecer uma solução acessível e escalável para auxiliar a gestão e a preservação dos recursos hídricos, promovendo a sustentabilidade e ampliando a conscientização sobre a importância da qualidade da água para garantir a saúde e a preservação do meio ambiente.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1. A plataforma TIKATU

O nome Tikatu (https://tikatu.com.br) foi escolhido para a plataforma devido à sua conexão com a cultura indígena brasileira e à importância da preservação ambiental. Originária do Tupi Antigo, a palavra carrega um significado simbólico, refletindo a identidade histórica e cultural do Brasil. O Tupi Antigo, conhecido como "língua geral" pelos portugueses, foi amplamente utilizado por jesuítas, colonizadores e exploradores,

evidenciando sua influência nas primeiras interações e na formação da identidade cultural do país (Modelli, 2022). Essa escolha simboliza o reconhecimento do rico patrimônio linguístico e sua conexão com as origens e diversidade do Brasil, alinhando-se aos objetivos e funcionalidades da plataforma.

O termo Tikatu deriva da junção de Ty (rio) e ka.tu (bom ou saudável), podendo ser traduzido como rio bom ou rio saudável. A plataforma representa uma inovação no monitoramento ambiental e na gestão dos recursos hídricos. A Figura 1 ilustra a concepção do nome Tikatu e o logotipo da plataforma, incorporando elementos visuais que simbolizam sustentabilidade e respeito à cultura indígena brasileira.

Figura 1- Concepção da Criação da Marca "Tikatu".

Fonte: Elaboração própria.

2.1.1 A plataforma e a Agenda 2030

O projeto está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, um plano global adotado em 2015, composto por 17 ODS e 169 metas voltadas à erradicação da pobreza, proteção ambiental e promoção do desenvolvimento sustentável. Esses objetivos buscam integrar crescimento econômico, inclusão social e preservação ambiental, e a iniciativa contribui especialmente para os seguintes:

- **ODS 4 (Educação de Qualidade):** disponibiliza uma interface interativa e recursos educacionais para conscientização sobre os parâmetros de qualidade da água.
- **ODS 6 (Água Potável e Saneamento):** permite o monitoramento da qualidade da água, facilitando a identificação de problemas e a adoção de medidas corretivas.

- **ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis):** contribui para a melhoria da qualidade ambiental em áreas urbanas ao fornecer dados que auxiliam na gestão da água e na mitigação da poluição.
- **ODS 14 (Vida na Água):** auxilia na conservação dos ecossistemas aquáticos ao detectar poluentes e identificar fontes de contaminação.
- **ODS 15 (Vida Terrestre):** apoia a preservação dos ecossistemas terrestres, evitando a degradação ambiental causada pela contaminação da água.

2.2 Planejamento e desenvolvimento da plataforma web

A primeira etapa do desenvolvimento foi a definição das principais funcionalidades da plataforma, que deveria ser acessível, informativa e de fácil utilização, oferecendo recursos específicos, como a geração de gráficos, mapas de pontos de coleta e relatórios analíticos. Para o desenvolvimento da plataforma web, adotou-se a metodologia ágil (Ambler, 2002), que se baseia na entrega contínua e incremental de valor, permitindo respostas rápidas a mudanças e ajustes conforme desafios surgem (Beck et al., 2001). A metodologia ágil foi implementada por meio de *sprints*, ciclos iterativos de desenvolvimento com duração predefinida. Essa abordagem favorece a flexibilidade e a rápida adaptação a desafios emergentes no projeto (Beck et al., 2001). Segundo Ciancarini et al. (2023), metodologias ágeis são amplamente aplicáveis não apenas ao desenvolvimento de software, mas também em outras áreas criativas, como a produção musical, demonstrando sua eficácia na colaboração entre equipes e demais partes interessadas.

2.3 *Frontend*

No desenvolvimento da interface do usuário (*frontend*), priorizou-se a criação de uma aplicação responsiva e intuitiva, com o objetivo de otimizar a experiência do usuário. Em sistemas web, o *frontend* corresponde à interface gráfica com a qual os usuários interagem diretamente, enquanto o *backend* é responsável pelo processamento dos dados e pela lógica operacional da aplicação. Para garantir a eficiência desta interação, a implementação seguiu diretrizes consolidadas que integram design e desenvolvimento, assegurando a coerência dos elementos visuais e interativos e aprimorando a usabilidade e acessibilidade do sistema (Chauhan, 2022; Nieters *et al*., 2012).

Para a construção da interface e a integração com o *backend*, utilizou-se a biblioteca *Streamlit*, uma solução *open-source* desenvolvida em *Python* que possibilita a criação ágil de aplicações web interativas. Essa biblioteca viabiliza o desenvolvimento de interfaces sofisticadas e funcionais com um número reduzido de linhas de código, favorecendo a prototipagem e a iteração rápida no desenvolvimento da plataforma (Streamlit, 2024).

A personalização e estilização da interface foram realizadas por meio de *HyperText Markup Language* (HTML) e *Cascading Style Sheets* (CSS), tecnologias essenciais no desenvolvimento web. A aplicação dessas ferramentas permitiu a adaptação da interface para diferentes dispositivos, garantindo uma apresentação visual coerente e uma experiência de navegação intuitiva.

Para a visualização de dados, adotou-se a biblioteca *Plotly,* amplamente utilizada na geração de gráficos interativos, dashboards e representações visuais de dados complexos (Python Software Foundation, 2021). A combinação de HTML, CSS e *Plotly* possibilitou o desenvolvimento de uma interface dinâmica e responsiva, conforme descrito por Allen *et al*. (2019). Além disso, a biblioteca *Folium* foi empregada para a visualização geoespacial dos pontos de coleta de amostras de água. Baseada na biblioteca *JavaScript Leaflet*, essa ferramenta permite a criação de mapas interativos, proporcionando uma representação espacial detalhada dos rios monitorados e facilitando a interpretação dos dados ambientais (Sharma, 2022).

2.4 *Backend*

O planejamento das iterações destinadas ao backend envolveu a definição das funcionalidades e tarefas associadas à lógica da aplicação, ao gerenciamento dos dados e à integração com a inteligência artificial (IA). A lógica da aplicação, responsável por processar e executar as ações demandadas pelos usuários por meio da interface, foi implementada em linguagem Python. O armazenamento dos dados coletados foi estruturado em um banco de dados na nuvem, utilizando uma plataforma open-source que oferece recursos integrados de autenticação, persistência de dados e gerenciamento em tempo real, com suporte nativo ao sistema gerenciador de banco de dados PostgreSQL (Ayezabu, 2023).

2.5 Integração com a Inteligência Artificial

A plataforma foi integrada à arquitetura GPT, um modelo avançado de linguagem desenvolvido pela OpenAI, classificado como um Large Language Model (LLM) e fundamentado em técnicas de Processamento de Linguagem Natural (NLP) (OpenAI, 2024). Treinado com extensos volumes de dados textuais, esse modelo possui alta capacidade de análise semântica, permitindo interpretar e gerar conteúdos em diversos domínios, incluindo a avaliação da qualidade da água (Li *et al*., 2021; Minaee *et al.*, 2024).

2.5.1 Treinamento do modelo para a integração à plataforma

Para especializar a inteligência artificial na análise da qualidade da água, foi implementado um processo de fine-tuning (ajuste fino), essencial para adaptar grandes modelos de linguagem a domínios específicos. O treinamento seguiu três etapas principais:

(a) Coleta e Curadoria de Dados – Foram reunidos documentos normativos, diretrizes técnicas e artigos científicos sobre qualidade da água, incluindo a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), além de manuais técnicos sobre parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Esse material foi estruturado para garantir que o modelo assimilasse informações relevantes e confiáveis, reduzindo o risco de respostas imprecisas.

(b) Ajuste e Refinamento do Modelo – Com base nos dados coletados, foi realizado o fine-tuning do GPT utilizando técnicas de aprendizado supervisionado, incorporando exemplos de análises ambientais como referência para melhorar a coerência e precisão das respostas. Esse processo envolveu a reconfiguração dos pesos do modelo para aumentar sua acurácia na identificação de padrões e variações nos parâmetros de qualidade da água (Brown *et al*., 2020).

(c) Validação e Testes – Após o treinamento, o modelo foi submetido a testes comparativos, nos quais suas respostas foram analisadas em relação a avaliações de especialistas. Para garantir confiabilidade, foram aplicadas métricas como perplexidade, que mede a previsibilidade das respostas, e BLEU Score, utilizado para avaliar a similaridade semântica entre as análises geradas e referências humanas (Radford *et al*., 2019). Esse processo assegurou que as previsões estivessem alinhadas aos critérios técnicos do monitoramento ambiental.

2.5.2 Funcionalidades e Aplicações na Plataforma

A inteligência artificial foi integrada para aprimorar a análise e interpretação de dados ambientais. Suas principais aplicações incluem:

(a) Análise de dados ambientais: identificação de padrões, variações e tendências nos parâmetros monitorados, permitindo avaliações mais precisas e preditivas sobre a qualidade da água.
(b) Interação dinâmica com o usuário: geração de respostas contextualizadas e adaptativas, aprimorando a experiência na consulta e interpretação dos dados.
(c) Adequação regulatória: conformidade com normativas ambientais vigentes, assegurando que as análises geradas estejam alinhadas aos padrões técnicos exigidos para o monitoramento da qualidade da água.

A implementação da inteligência artificial na plataforma amplia a eficiência do monitoramento ambiental, proporcionando análises automatizadas e acessíveis a diferentes públicos, desde pesquisadores até gestores públicos e comunidades locais. A aplicação do fine-tuning, associada a rigorosos processos de validação, reforça a confiabilidade da ferramenta, garantindo que suas respostas estejam em conformidade com as diretrizes técnicas e regulamentações ambientais.

2.6 Revisão e testes

Durante a fase de revisão e testes, foram realizadas análises de código e testes automatizados para garantir o funcionamento adequado do *backend* e *frontend*, assegurando que a plataforma atendesse aos requisitos estabelecidos. Os testes abrangeram a verificação de funcionalidades, garantindo que cada recurso operasse conforme planejado; a avaliação da experiência do usuário, para assegurar uma interface intuitiva e acessível; e a análise de desempenho, examinando a eficiência da plataforma na manipulação e visualização de grandes volumes de dados. A implementação desses testes mostrou-se essencial para otimizar o desenvolvimento do software, permitindo uma avaliação eficaz e econômica da qualidade da aplicação (Ali *et al*., 2024). Além disso, para facilitar o acesso dos usuários à plataforma e à utilização de suas funcionalidades analíticas, foi incorporado um manual do usuário em https://manual.tikatu.com.br, que fornece instruções detalhadas sobre o uso da ferramenta.

2.7 Coleta e Transmissão dos Dados

Para facilitar a integração dos dados à plataforma, foi disponibilizada uma API (Application Programming Interface), acessível em "https://manual.tikatu.com.br/api", permitindo que diferentes fontes possam transmitir informações diretamente ao banco de dados da Tikatu na nuvem. Os parâmetros monitorados incluem oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos dissolvidos totais. A Figura 2 apresenta o fluxo de coleta e transmissão dos dados quando realizado por pesquisadores ou voluntários da sociedade civil. Ressalta-se que, nos casos em que são utilizadas sondas multiparâmetros calibradas e equipadas com conexão direta com a internet para transmissão dos dados, esse processo é otimizado, com envio automático e em tempo real para a plataforma, eliminando etapas intermediárias previstas no fluxo tradicional.

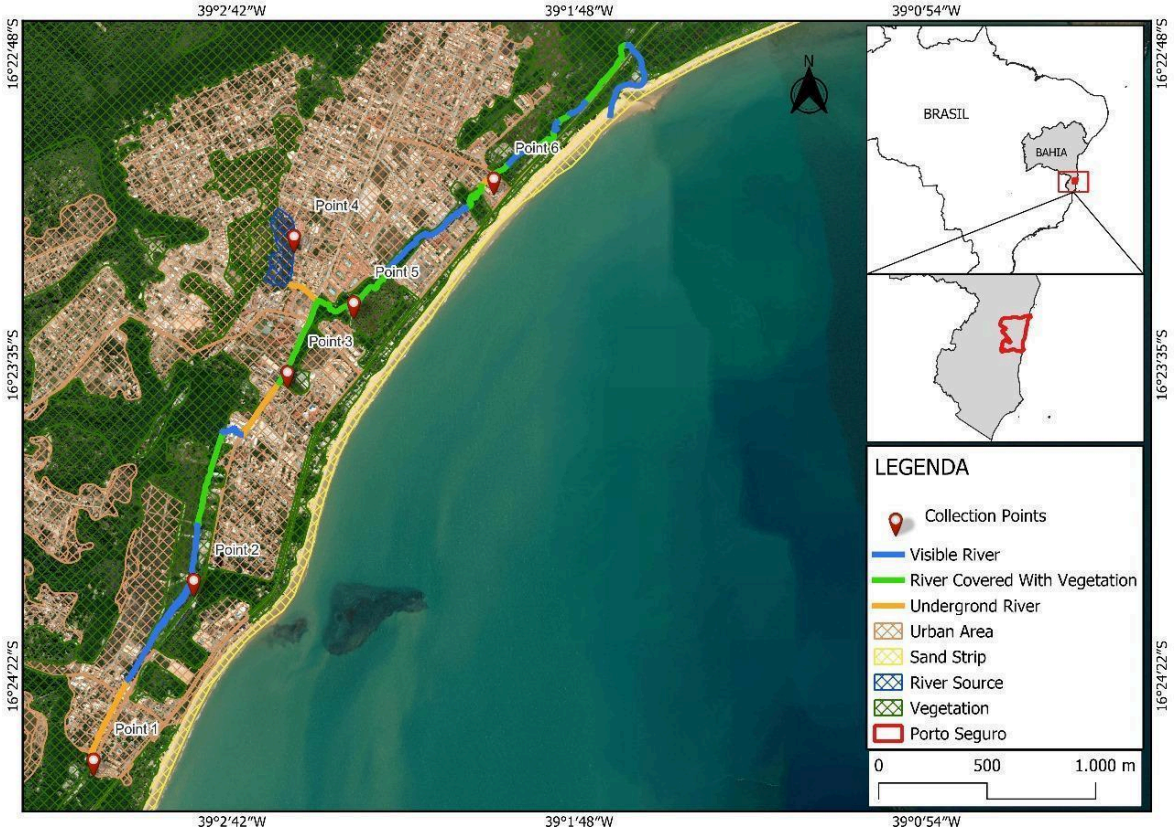
Figura 2 - Fluxograma representando o processo de coleta e transmissão de dados sobre a qualidade da água com suporte da ciência cidadã.

Fonte: Elaboração própria.

Para testar as funcionalidades da plataforma Tikatu, os dados foram coletados manualmente e inseridos diretamente no banco de dados online. As amostras de água foram coletadas a 30 cm abaixo da superfície da coluna d'água, seguindo diretrizes padronizadas de amostragem descritas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, que recomenda essa profundidade para evitar contaminantes superficiais e assegurar uma representação

precisa da qualidade da água (CETESB, 2012). As coletas ocorreram em seis pontos distintos ao longo do rio Chamagunga, em Porto Seguro, Bahia, Brasil (Figura 3), utilizando uma haste com um balde acoplado em uma das extremidades.

Figura 3 - Mapa do rio Chamagunga em Porto Seguro, Bahia, mostrando a localização dos pontos de coleta (Pontos 1 a 6), destacando os segmentos visíveis, vegetados e subterrâneos do rio, bem como as áreas de vegetação, urbanas e de faixa de areia, proporcionando uma visão detalhada da região monitorada.



Fonte: Elaboração própria.

Para as análises *in situ*, foi utilizada uma sonda multiparamétrica pré-calibrada e um turbidímetro 2100AN (HACH), equipamentos amplamente reconhecidos por fornecerem medições precisas e confiáveis em estudos de qualidade da água (Apha, 2017). Os parâmetros medidos em campo incluíram turbidez, condutividade elétrica, pH, temperatura, sólidos totais, salinidade e oxigênio dissolvidos. Enquanto alguns parâmetros foram determinados diretamente no local da coleta, outros exigiram análise laboratorial para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA). A plataforma foi configurada para calcular o IQA apenas quando todos os nove parâmetros essenciais estiverem disponíveis, pois cada parâmetro é indispensável para um cálculo preciso. Os nove parâmetros utilizados no cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) e seus respectivos pesos são: Oxigênio Dissolvido (OD) com 17%, Coliformes Termotolerantes com 15%, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) com 10%,

Nitrogênio Total com 10%, Fósforo Total com 10%, Turbidez com 8%, Sólidos Totais Dissolvidos (STD ou TDS) com 8%, pH com 12% e Temperatura da Água com 10%.

O cálculo do IQA segue a fórmula estabelecida pela CETESB (2022), e é calculada pela seguinte equação:

$$IQA = \left(\prod_{i=1}^{n} q_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}}$$

Onde:

qi = qualidade relativa de cada parâmetro, em uma escala de 0 a 100;
wi = peso associado a cada parâmetro, determinado com base na importância para a qualidade da água;
n = número total de parâmetros utilizados no cálculo.

2.8 Funcionalidade de Alerta Automático

A plataforma desenvolvida incorpora um sistema de alertas automáticos, configurado para enviar notificações por e-mail aos usuários cadastrados sempre que os valores de um ou mais parâmetros de qualidade da água ultrapassarem os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. As mensagens geradas incluem informações específicas, como o nome do corpo hídrico, o ponto de coleta e os parâmetros que excederam os valores de referência. O sistema opera de forma contínua e integrada ao banco de dados da plataforma, realizando verificações automatizadas a cada nova inserção de dados. A lógica condicional responsável pela ativação dos alertas foi implementada em Python, utilizando bibliotecas voltadas à automação de processos e ao envio de mensagens eletrônicas. As preferências de notificação podem ser definidas no momento do cadastro do usuário, permitindo a personalização dos parâmetros monitorados e da frequência de recebimento dos alertas. Todas as ocorrências são registradas em histórico próprio, assegurando rastreabilidade e controle.

A implementação desse tipo de sistema alinha-se às diretrizes descritas na literatura especializada, que ressalta a relevância de mecanismos de alerta precoce centrados nos usuários, com foco na disseminação acessível, tempestiva e estruturada de informações ambientais, constituindo um dos pilares da resiliência socioambiental (Hlatshwayo, 2023; Bonney, 2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

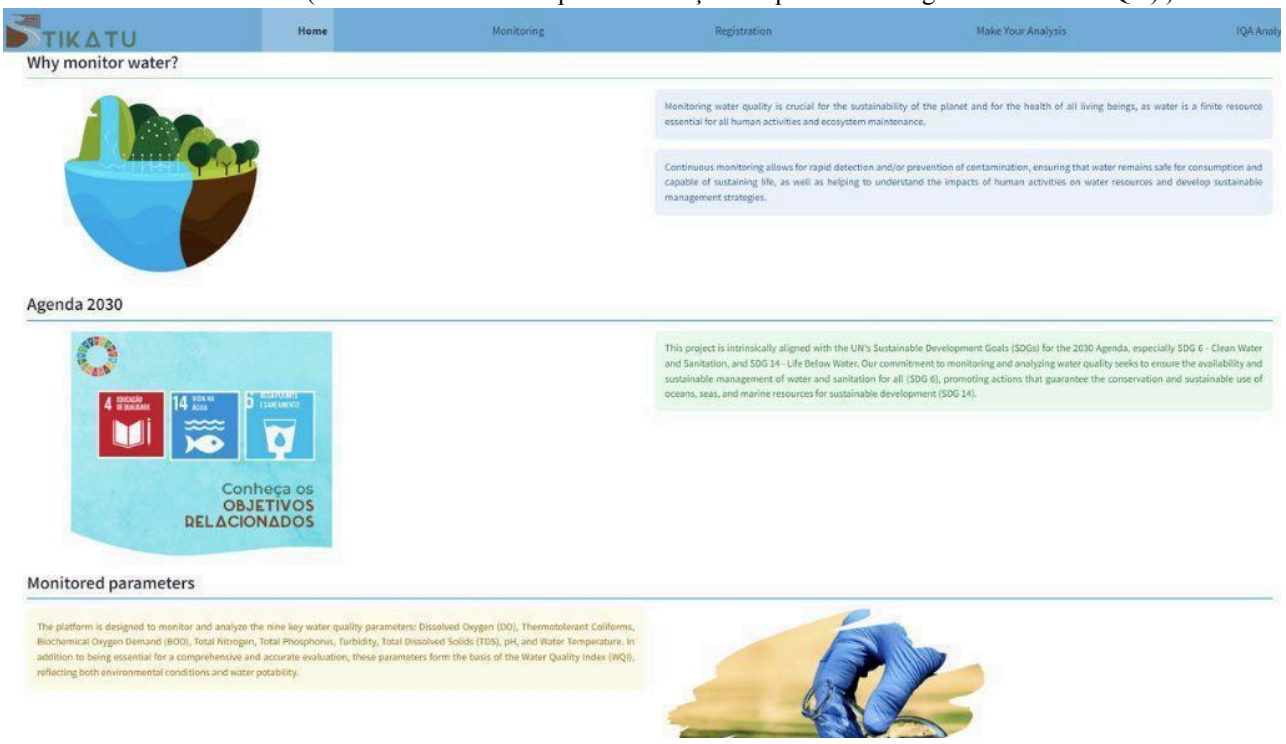
A implementação da plataforma Tikatu viabilizou o monitoramento contínuo e em tempo real da qualidade da água em pontos estratégicos do rio Chamagunga, permitindo uma análise detalhada dos parâmetros ambientais. Por meio da coleta e análise contínua de dados, a plataforma acompanhou variáveis essenciais, como pH, turbidez e oxigênio dissolvido, assegurando conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Essa abordagem permitiu a rápida identificação de anomalias nos parâmetros monitorados, possibilitando ações corretivas ágeis e uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

A interface desenvolvida foi projetada para maximizar a acessibilidade e a usabilidade, facilitando a interpretação dos dados por diferentes públicos, desde gestores ambientais até pesquisadores e comunidades locais. O design intuitivo e a capacidade de visualização gráfica dos parâmetros monitorados garantem que as informações sejam apresentadas de forma clara, permitindo comparações diretas com os limites normativos. Além disso, a flexibilidade do sistema possibilita a adaptação a diferentes contextos ambientais, ampliando seu potencial de aplicação.

A incorporação de inteligência artificial à plataforma mostrou-se essencial para o processamento eficiente de grandes volumes de dados, permitindo a identificação de padrões e variações nos parâmetros monitorados, aspectos que seriam de difícil detecção por métodos tradicionais. Conforme observado por Erbs *et al*. (2023), ferramentas baseadas em IA vêm sendo cada vez mais reconhecidas por sua capacidade de processar dados ambientais complexos em tempo real, resultando em uma tomada de decisão mais informada e oportuna na gestão de recursos hídricos. Essa funcionalidade da Tikatu reforça sua aplicabilidade para fiscalização ambiental e geração de alerta precoce, permitindo respostas imediatas a alterações críticas na qualidade da água.

A plataforma demonstrou viabilidade e facilidade de aplicação, atuando tanto como ferramenta de gestão ambiental dos recursos hídricos quanto como um recurso educacional acessível. Além de auxiliar no monitoramento e na análise dos parâmetros ambientais, a plataforma desempenha um papel relevante na disseminação do conhecimento sobre qualidade da água, promovendo a educação ambiental e incentivando a participação da sociedade na preservação dos recursos hídricos.

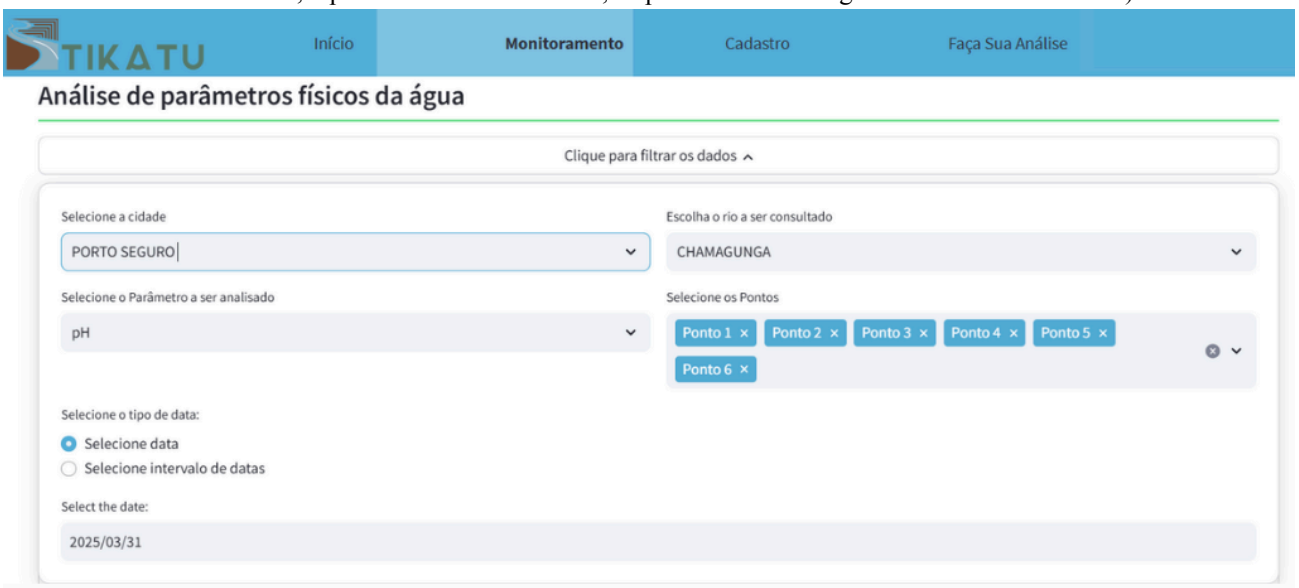
Figura 4 - A imagem apresenta a interface inicial da plataforma Tikatu, destacando as seções: "Por que monitorar a água?" (importância da qualidade da água), "Agenda 2030" (alinhamento com os ODS da ONU 4, 6 e 14) e "Parâmetros monitorados" (indicadores essenciais para a avaliação da qualidade da água e cálculo do IQA).).



Fonte: Tikatu (2025).

A tela inicial da plataforma (Figura 4), que também corresponde à primeira visualização do usuário ao acessar o sistema, apresenta um design simples, responsivo e orientado à usabilidade. A página "Início" oferece uma visão geral do processo de monitoramento da qualidade da água, destacando sua relevância e fornecendo informações introdutórias sobre os parâmetros físico-químicos analisados. A funcionalidade "Monitoramento" (Figura 5) permite ao usuário aplicar filtros conforme critérios específicos, como parâmetros físico-químicos (por exemplo, pH ou temperatura), rio de interesse, pontos de coleta e intervalos de tempo. Essa flexibilidade na navegação e consulta dos dados contribui para análises mais precisas e direcionadas, otimizando a capacidade de avaliação de múltiplas variáveis em diferentes contextos espaciais e temporais. A interface foi desenvolvida com foco em comunicação fluida entre os componentes do sistema, o que é fundamental para aplicações complexas que exigem desempenho e escalabilidade. O uso de uma arquitetura modular possibilita a divisão da aplicação em componentes independentes, facilitando tanto a manutenção quanto a expansão de suas funcionalidades, conforme a demanda evolui (Yang, 2022; Scalacode, 2023). A possibilidade de selecionar datas e pontos de coleta específicos viabiliza análises personalizadas, adaptadas às necessidades dos usuários e aos objetivos de cada investigação.

Figura 5 – (Interface da plataforma Tikatu para seleção de parâmetros físicos da água, permitindo ao usuário escolher o rio, o parâmetro a ser analisado, os pontos de amostragem e o intervalo de datas.)



Fonte: Tikatu (2025).

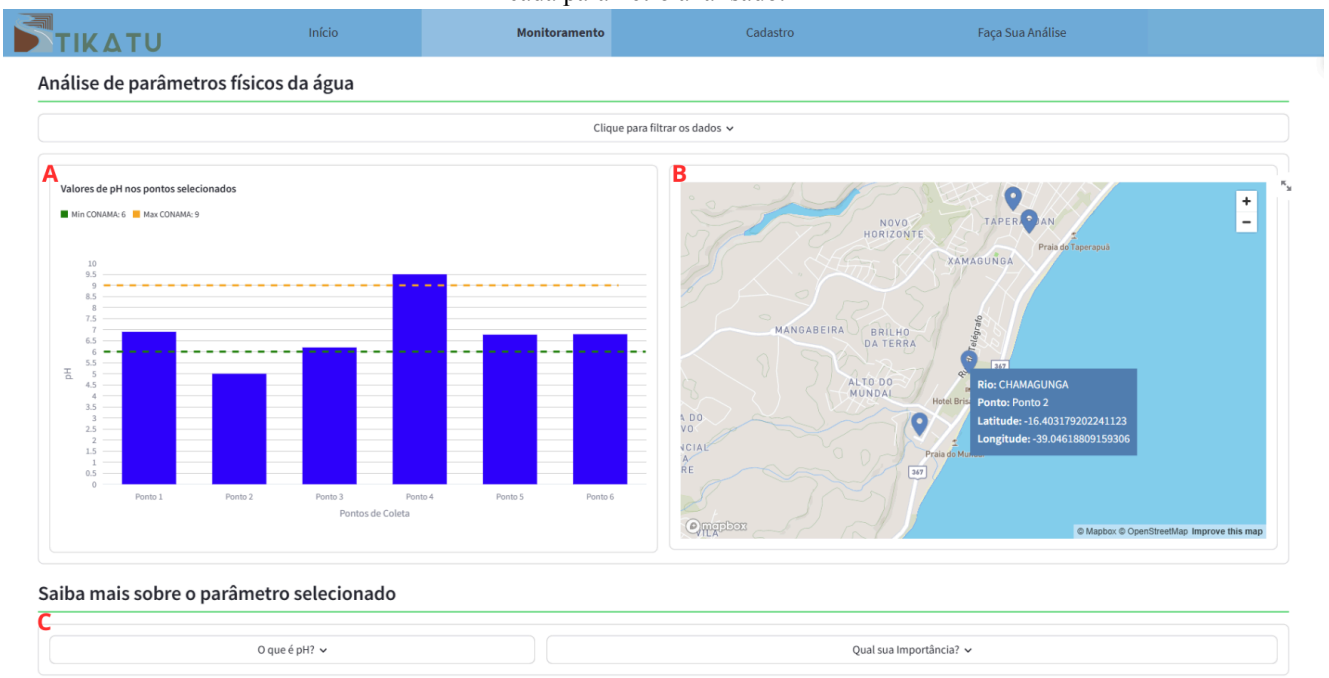
A longo prazo, a aplicabilidade da plataforma pode ser expandida além das fronteiras regionais inicialmente previstas, adaptando-se a diversos contextos geográficos e necessidades de monitoramento ambiental por meio da geração dinâmica de mapas baseada na localização dos rios e pontos de coleta monitorados. Isso pode ser observado na Figura 6B, onde os pontos geograficamente indicados são exibidos. Segundo Johnson *et al*. (2021), o uso de plataformas digitais para monitoramento pode servir como um modelo replicável e escalável para outras regiões que enfrentam desafios semelhantes na gestão de recursos naturais. Além disso, a flexibilidade e adaptabilidade da plataforma permitem sua evolução contínua, incorporando avanços tecnológicos e feedback dos usuários para aprimorar sua funcionalidade em novos locais e para análises sob demanda.

Assim, na tela representada na Figura 6A, os dados previamente filtrados foram exibidos na plataforma em formato de gráfico de barras. Para essa análise, foi selecionado o parâmetro pH (potencial hidrogeniônico) nos pontos de coleta 1, 2, 4, 5 e 6. A figura também apresenta uma linha pontilhada amarela indicando o índice máximo e uma linha pontilhada verde representando o índice mínimo permitido pelo CONAMA, conforme a Resolução 357/2005, que estabelece os parâmetros de qualidade da água para rios de Classe 2 (Brasil, 2005), proporcionando uma referência visual clara para a análise dos dados de qualidade da água. A interface interativa da plataforma oferece uma oportunidade de aprendizado e engajamento, permitindo que usuários, incluindo educadores, estudantes e membros da comunidade, explorem e compreendam a dinâmica da qualidade da água. De acordo com

Johnson *et al*. (2021), plataformas digitais têm se consolidado como ferramentas essenciais para o monitoramento ambiental e como meios educativos para envolver diferentes grupos comunitários na compreensão de questões ambientais e na conscientização coletiva. Esse aspecto é ainda reforçado por Wiek *et al*. (2011), que discutem a importância de abordagens educacionais que integrem conhecimento, habilidades e valores para promover a sustentabilidade.

Dois botões foram disponibilizados para que o usuário pudesse obter mais informações sobre o parâmetro selecionado e sua relevância para a qualidade da água do rio (Figura 6C). Ao clicar em cada botão, uma janela pop-up é aberta com essas informações, proporcionando uma compreensão aprofundada e contextualizada dos dados apresentados.

Figura 6 - Interface de análise da qualidade da água na plataforma Tikatu, contendo: (A) gráfico dos valores dos parâmetros nos pontos de coleta, comparados aos limites do CONAMA; (B) mapa mostrando a localização geográfica dos pontos de amostragem no rio Chamagunga; (C) botões de acesso a informações detalhadas sobre cada parâmetro analisado.

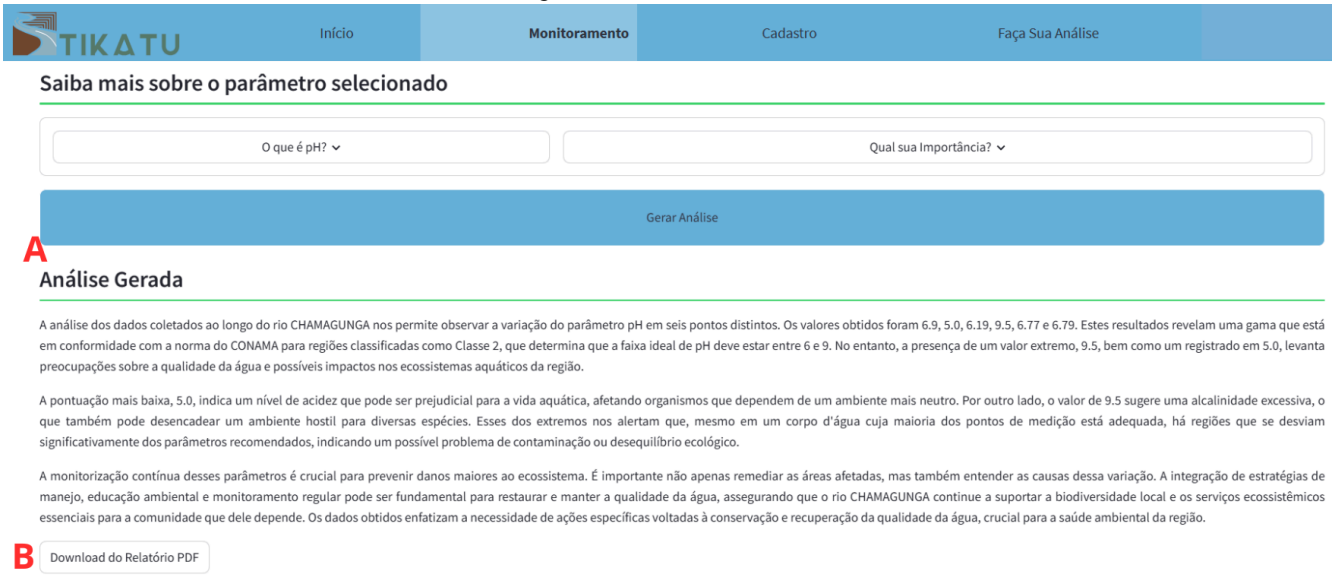


Fonte: Tikatu (2025).

A análise elucidativa inclui a definição do parâmetro selecionado, sua importância e uma avaliação detalhada dos pontos de coleta ou do período escolhido pelo usuário. Por exemplo, nesta figura, a plataforma apresenta os valores de pH coletados nos cinco pontos do rio Chamagunga, comparando-os com os índices estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA para rios de Classe 2 (Brasil, 2005). Esse processo facilita a compreensão dos dados e destaca áreas que requerem atenção ou medidas corretivas. A Figura 7A ilustra como

a inteligência artificial integrada à plataforma interpreta os resultados de forma clara para o usuário, utilizando uma linguagem acessível a pessoas com diferentes níveis de escolaridade.

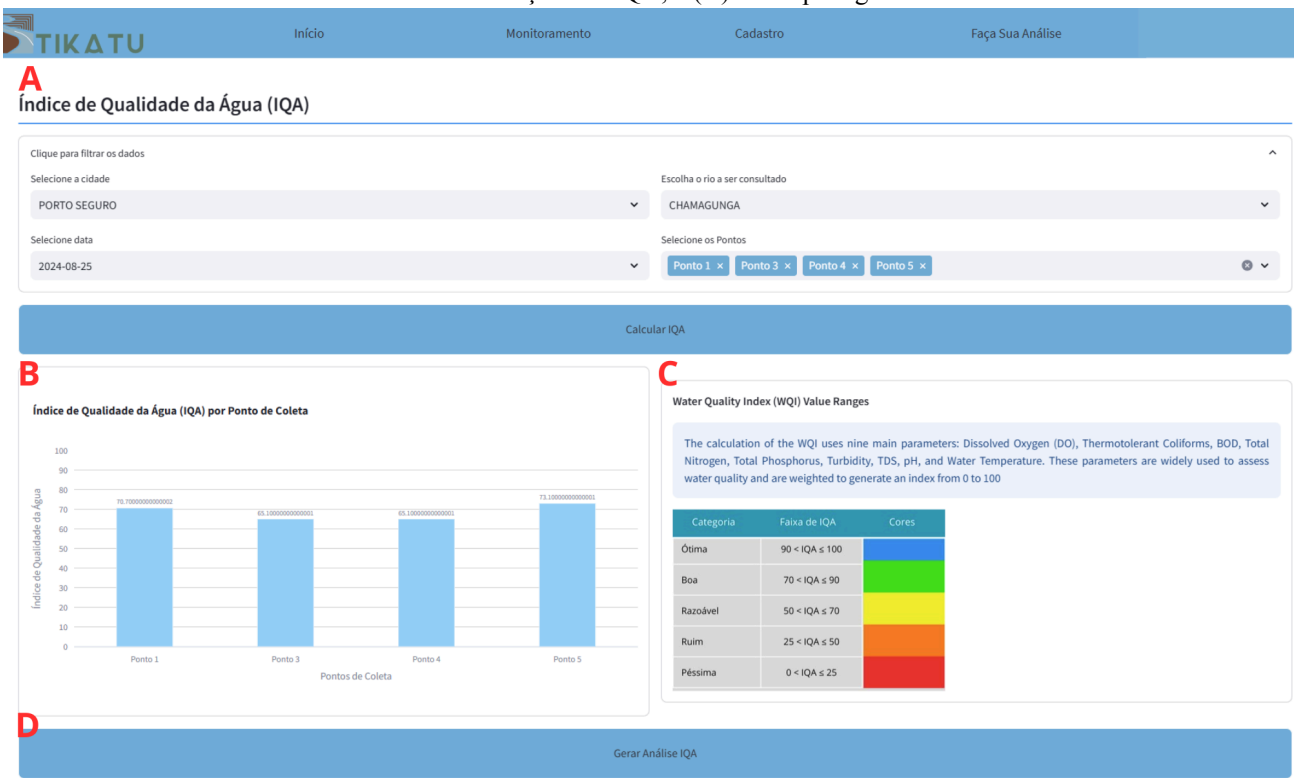
Figura 7 - Tela da plataforma exibindo a análise gerada por inteligência artificial com base nos dados filtrados pelo usuário, mostrando os valores de pH coletados em cinco pontos ao longo do rio Chamagunga. A interface inclui um botão para converter a análise em um relatório em PDF para download, facilitando a documentação e o compartilhamento dos resultados.



Fonte: Tikatu (2025).

O relatório gerado pela análise é exibido e pode ser baixado por meio do botão (B) na Figura 7. Ele contém o nome da plataforma, um gráfico dos parâmetros selecionados e uma análise textual detalhada gerada por inteligência artificial. Essa funcionalidade é essencial para a documentação e o compartilhamento dos resultados, oferecendo uma forma prática e acessível de disseminar informações sobre a qualidade da água para um público mais amplo.

Figura 8 -Tela de análise do Índice de Qualidade da Água (IQA), destacando quatro áreas principais: (A) filtros para seleção da cidade, rio e pontos de amostragem; (B) gráfico do IQA por ponto de amostragem; (C) tabela exibindo faixas e classificações do IQA; e (D) botão para gerar análise detalhada.



Fonte: Tikatu (2025).

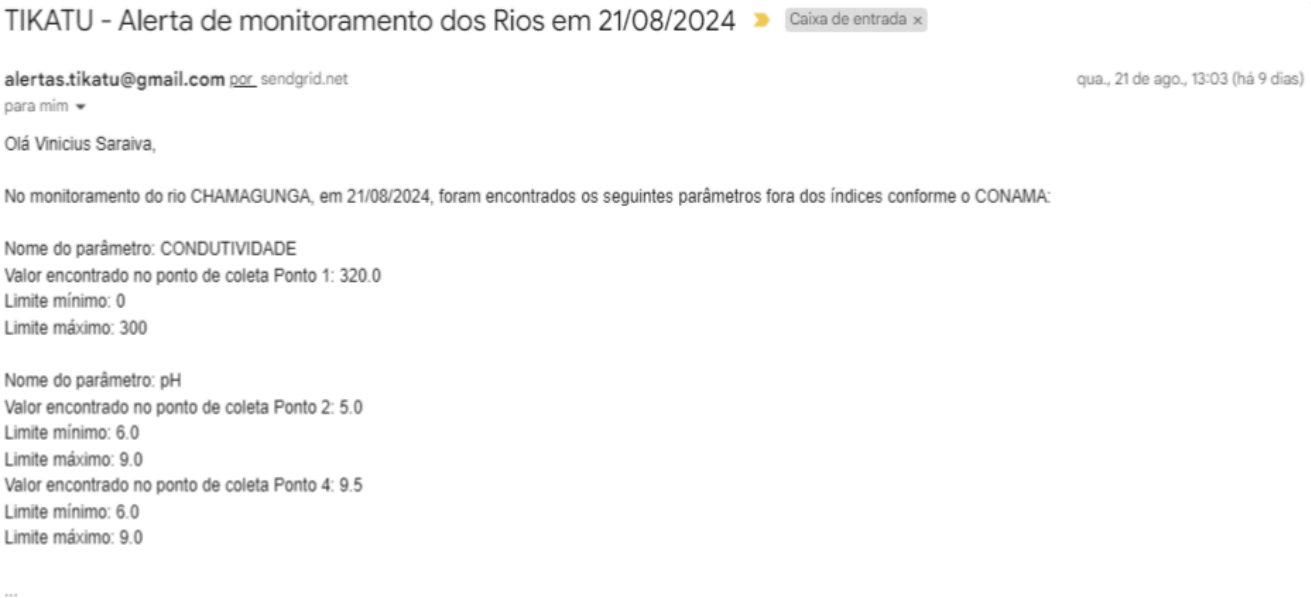
Conforme ilustrado na Figura 8, a interface da plataforma apresenta o módulo de cálculo e visualização do Índice de Qualidade da Água (IQA) dividido em quatro componentes principais. Na seção (A), observou-se que os usuários podem aplicar filtros personalizados, como cidade, rio e pontos de coleta, permitindo a seleção precisa dos dados a serem processados. Na seção (B), os resultados do IQA são apresentados em formato gráfico, facilitando a comparação entre os valores obtidos em diferentes pontos de monitoramento. A seção (C) exibe uma tabela com as faixas e respectivas classificações do IQA, permitindo a associação direta dos resultados aos níveis de qualidade da água definidos em norma. Já a seção (D) disponibiliza uma funcionalidade para geração automática de relatórios em formato PDF, consolidando os dados processados e possibilitando seu armazenamento e compartilhamento.

A interface demonstrou aderência às diretrizes descritas por Smith et al. (2020), que destacam a relevância de estruturas visuais organizadas para a compreensão dos dados em sistemas de monitoramento ambiental. Além disso, a utilização do IQA como métrica agregada reflete sua importância consolidada no contexto da avaliação da qualidade da água,

conforme apontado por Torres, Batista e Medeiros (2000), integrando parâmetros físicos, químicos e biológicos em uma única representação.

O sistema de alertas implementado na plataforma (Figura 9) mostrou-se eficaz na comunicação automatizada com os usuários sempre que algum dos parâmetros monitorados ultrapassava os limites definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005). Ao se cadastrar, o usuário passa a receber, por e-mail, notificações detalhadas contendo o nome do rio, o ponto de coleta e os valores dos parâmetros que se encontram fora dos padrões. Essa funcionalidade deve contribuir significativamente para uma resposta rápida a possíveis riscos ambientais, permitindo a adoção de medidas corretivas de forma ágil e informada. Além de reforçar o caráter preventivo da plataforma, o sistema amplia o acesso à informação, aproximando gestores, pesquisadores e comunidades dos dados sobre a qualidade da água monitorados em tempo real.

Figura 9 – Exemplo de alerta de monitoramento enviado pela plataforma Tikatu, notificando o usuário sobre parâmetros no rio Chamagunga que excedem os limites estabelecidos pelo CONAMA. A mensagem detalha os valores encontrados e os limites mínimo e máximo para cada parâmetro.


TIKATU - Alerta de monitoramento dos Rios em 21/08/2024 Caixa de entrada ×

alertas.tikatu@gmail.com por sendgrid.net qua., 21 de ago., 13:03 (há 9 dias)
para mim

Olá Vinicius Saraiva,

No monitoramento do rio CHAMAGUNGA, em 21/08/2024, foram encontrados os seguintes parâmetros fora dos índices conforme o CONAMA:

Nome do parâmetro: CONDUTIVIDADE
Valor encontrado no ponto de coleta Ponto 1: 320.0
Limite mínimo: 0
Limite máximo: 300

Nome do parâmetro: pH
Valor encontrado no ponto de coleta Ponto 2: 5.0
Limite mínimo: 6.0
Limite máximo: 9.0
Valor encontrado no ponto de coleta Ponto 4: 9.5
Limite mínimo: 6.0
Limite máximo: 9.0

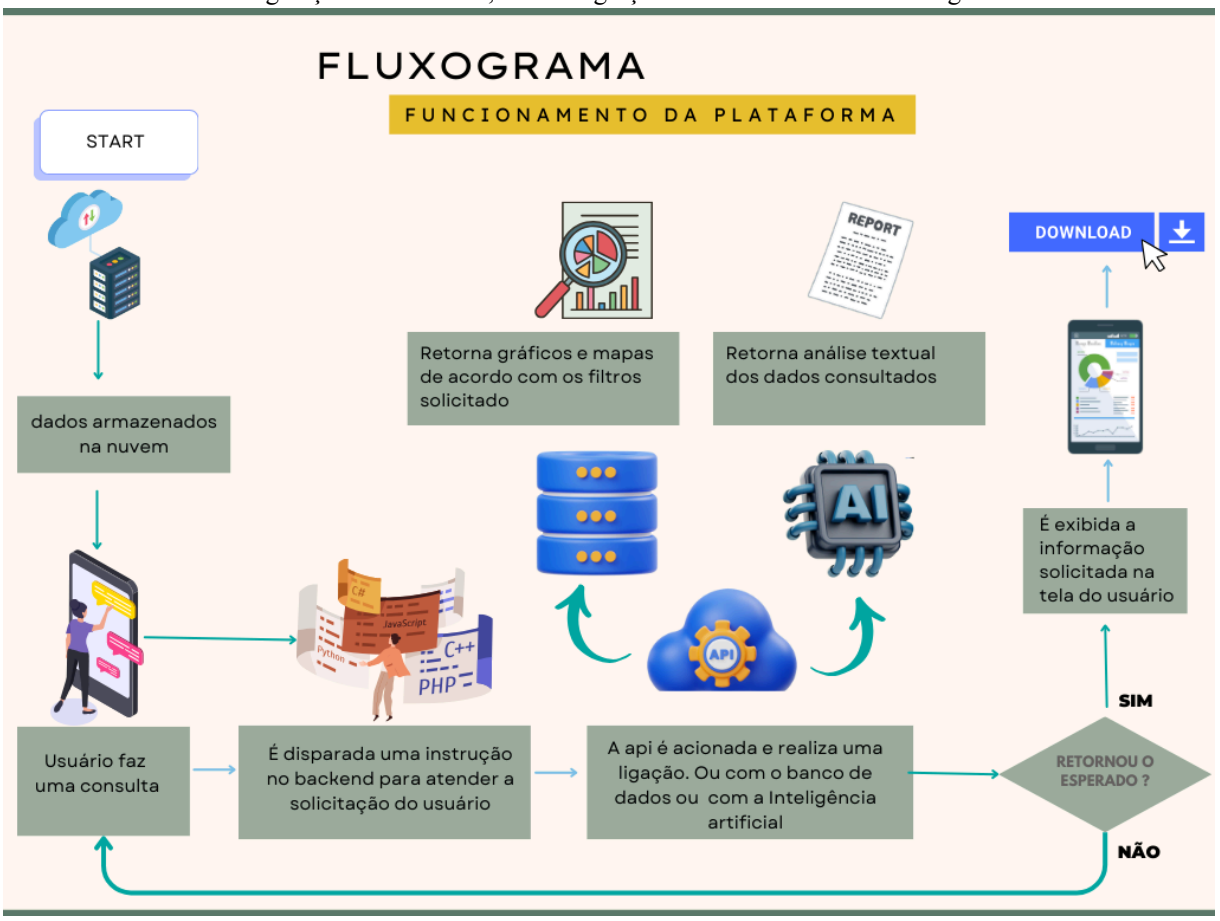
...

Fonte: Alertas. Tikatu (2025).

As notificações por e-mail, detalhando o nome do rio, o ponto de coleta e os parâmetros fora da faixa aceitável, permitiram que os usuários adotassem ações corretivas de forma rápida e informada. Os sistemas de alerta precoce são amplamente reconhecidos por sua capacidade de salvar vidas e proteger meios de subsistência, especialmente quando são centrados nas pessoas e integram componentes essenciais, como o monitoramento contínuo e

a disseminação eficaz de informações relevantes (Global Survey of Early Warning Systems, 2006).

Figura 10 – Fluxograma ilustrando o funcionamento da plataforma, desde a consulta do usuário até a exibição dos resultados e geração de relatórios, com integração ao banco de dados e inteligência artificial.



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos por meio da plataforma Tikatu representam um avanço significativo na análise da qualidade da água e estão em consonância com outros estudos que integraram inteligência artificial ao monitoramento ambiental. Em um estudo recente, Choi *et al*. (2018) apresentaram um sistema integrado de monitoramento da qualidade do ar e da água, que correlacionou dados ambientais e identificou padrões de poluição, demonstrando assim a importância da integração de múltiplas fontes de dados para uma visão abrangente da saúde ambiental. Liu *et al*. (2019) desenvolveram um modelo de deep learning para prever concentrações de contaminantes em reservatórios, utilizando grandes conjuntos de dados históricos e técnicas avançadas de processamento. A implementação de uma plataforma de monitoramento em tempo real também foi influenciada pelo estudo de Singh e Kumar (2020), que demonstrou a eficácia de sistemas baseados em IA para a análise simultânea de múltiplos

parâmetros de qualidade da água, fornecendo alertas em tempo real e facilitando a tomada de decisão imediata. Assim como Choi *et al*. (2018), que utilizaram IA para correlacionar dados ambientais de diferentes fontes, a plataforma Tikatu adotou uma abordagem multidimensional para monitorar diversos parâmetros de qualidade da água, incluindo pH, turbidez e concentrações de contaminantes. Essa integração permite uma análise mais detalhada dos recursos hídricos, possibilitando a identificação de padrões e correlações que poderiam passar despercebidos.

A plataforma facilita a tomada de decisões informadas ao apresentar os dados de monitoramento da qualidade da água de maneira acessível e compreensível. Essa funcionalidade foi projetada para auxiliar na rápida identificação de problemas e na implementação de soluções eficazes.

3.1 Limitações do Estudo

A aplicação da plataforma Tikatu apresentou algumas limitações que podem afetar seu desempenho e alcance. Os dispositivos de coleta de dados dependem de uma conexão estável com a internet para a transmissão das informações, o que pode ser comprometido em áreas remotas com conectividade limitada. Estudos indicam que a conectividade reduzida representa um desafio significativo para sistemas de monitoramento ambiental em regiões isoladas, onde a transmissão de dados em tempo real depende de uma infraestrutura de rede robusta, muitas vezes indisponível (Fekete *et al*., 2015). O monitoramento de múltiplos parâmetros em diversas localidades gera volumes substanciais de dados, exigindo uma infraestrutura robusta para garantir a escalabilidade da plataforma. Embora seja possível analisar parâmetros individuais mesmo na presença de dados ausentes, o cálculo completo do Índice de Qualidade da Água (IQA) requer a disponibilidade de todos os parâmetros essenciais. Além disso, embora o modelo analítico seja amplamente aplicável, podem ser necessários ajustes na integração com métodos e dispositivos locais de coleta de dados para garantir a precisão da coleta e transmissão das informações. Por fim, o engajamento comunitário pode ser limitado pela falta de capacitação técnica; disponibilização de equipamentos precisos, portanto, recomenda-se a implementação de programas de treinamento e parcerias com agências governamentais como de fiscalização e ONGs para maximizar o impacto social e fortalecer a participação da comunidade. Essas limitações destacam áreas estratégicas para aprimoramento, visando aumentar a eficácia da plataforma Tikatu em diferentes contextos.

Esses desafios evidenciam oportunidades de melhoria, especialmente na adaptação a cenários offline e na ampliação de parcerias institucionais e comunitárias para otimizar a efetividade da Tikatu.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo atingiu seus objetivos ao desenvolver e validar a plataforma Tikatu, demonstrando a eficácia da inteligência artificial (IA) no monitoramento e análise da qualidade da água. A plataforma mostrou-se eficiente na avaliação dos parâmetros do Índice de Qualidade da Água (IQA), como pH, turbidez e oxigênio dissolvido, proporcionando uma análise detalhada. A integração com bancos de dados em nuvem e algoritmos de IA permitiu a geração automática de relatórios e alertas em tempo real, facilitando a gestão dos recursos hídricos e promovendo respostas rápidas a riscos ambientais.

A Tikatu se destaca pela precisão no monitoramento, além de seu potencial para engajamento educacional e comunitário, oferecendo uma interface acessível que democratiza o acesso às informações ambientais. A função de alerta automático possibilita respostas ágeis tanto por parte da comunidade quanto das autoridades diante de variações nos parâmetros de qualidade da água. Em termos de escalabilidade, a plataforma demonstrou adaptabilidade a diferentes contextos geográficos e conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005. No entanto, algumas limitações do estudo, como a dependência de conectividade e a necessidade de dados completos para o cálculo do IQA, indicam áreas para aprimoramento futuro, incluindo o desenvolvimento de módulos offline para regiões remotas.

Além disso, a manutenção da plataforma exige um fluxo constante de dados atualizados para garantir a precisão nas análises, o que implica na necessidade de parcerias com fornecedores de dados ambientais e investimentos em infraestrutura de coleta e processamento de dados. Por fim, a plataforma requer manutenção contínua de servidores, atualização dos algoritmos de IA e treinamento dos sistemas para novos parâmetros e dados. Isso implica em custos operacionais e de infraestrutura. A viabilidade financeira a longo prazo pode ser assegurada com a implementação de modelos de monetização, como parcerias com entidades governamentais e organizações ambientais, ou a oferta de funcionalidades premium para gerar receita que cubra os custos operacionais.

Em síntese, a plataforma Tikatu é considerada uma abordagem para o monitoramento da qualidade da água, promovendo a gestão ambiental. A utilidade prática, aliada ao foco na sustentabilidade e na educação ambiental, posiciona a Tikatu como uma ferramenta essencial

para a preservação e gestão dos recursos hídricos, contribuindo diretamente para a proteção dos ecossistemas aquáticos e a saúde das comunidades.

REFERÊNCIAS

AHMAD, I. *et al*. Water quality monitoring using wireless sensor networks. *AIP Conference Proceedings*, v. 2291, n. 1, p. 020001, 2 nov. 2020. https://doi.org/10.1063/5.0025040.

ALBERS, B., DE LANGE, N., and XU, S.: Augmented citizen science for environmental monitoring and education. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII-2/W7, p. 1–4, 2017.

ALLEN, J. *et al*. *Web Development with HTML, CSS, JavaScript and jQuery Set*. Wiley, 2019.

AMBLER, S. W. *Agile Modeling: Effective Practices for Extreme Programming and the Unified Process*. John Wiley & Sons, 2002.

BECK, K. *et al*. *Manifesto for Agile Software Development.* Agile Alliance, 2001. Disponível em: https://agilemanifesto.org/. Acesso em: 11 de jun. 2024.

BLANCO RAMÍREZ, S. *et al.* A visual approach for water quality monitoring within the CrowdWater project. In: *EGU General Assembly 2022*, Viena, Áustria, 23–27 mai. 2022. EGU22-523. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-523

BONNEY, M. AI in water management: Six ways artificial intelligence can help solve problems across the water sector. *Environmental Finance Center Network,* 2023.

BROWN, T. B. *et al*. Language Models are Few-Shot Learners. In: LAROCHELLE, H.; RANZATO, M.; HADSELL, R.; BALCAN, M. F.; LIN, H. (Ed.). *Advances in Neural Information Processing Systems.* v. 33, p. 1877-1901. Curran Associates, Inc., 2020. https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165.

BUKHAIR, M. S. *et al*. Development of cloud-based water quality monitoring system. *Journal of Artificial Intelligence and Computing*, v. 1, n. 1, p. 23–29, 2023. https://doi.org/10.57041/c8385f16

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Apêndice D – Metodologia de Cálculo dos Índices de Qualidade das Águas*. São Paulo: CETESB, 2022.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos*. São Paulo: CETESB, 2012.

CHAUHAN, V. *Frontend Versus Backend Web Development*. UXmatters, 2022. Disponível em: https://www.uxmatters.com/mt/archives/2022/05/frontend-versus-backend-web-development.php. Acesso em: 12 de jun. 2024.

CIANCARINI, P. *et al.* Agile methodologies between software development and music production: an empirical study. *Frontiers in Computer Science,* v. 5, 2023. https://doi.org/10.3389/fcomp.2023.1181041.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2005.

COSTA, L. A. M. da et al. *Inteligência Artificial aplicada na remoção de poluentes orgânicos de efluentes*. ResearchGate, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350072469_Inteligencia_Artificial_aplicada_na_remocao_de_poluentes_organicos_de_efluentes. Acesso em: 5 fev. 2025.

ERBS, F., GAONA, M., VAN DER SCHAAR, M. *et al*. Towards automated long-term acoustic monitoring of endangered river dolphins: a case study in the Brazilian Amazon floodplains. *Scientific Reports*, v. 13, p. 10801, 2023. https://doi.org/10.1038/s41598-023-36518-1

FEKETE, A.; SANDHOLZ, S.; GREIVING, S. Assessing the vulnerability of critical infrastructure: comparing indicators and geographic scales. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 12, p. 25–36, 2015.

BECK, K. et al. *Manifesto for Agile Software Development*. 2001. Disponível em: https://agilemanifesto.org/. Acesso em: 10 fev. 2025.

GUEDES, H. A. S. *et al*. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering,* v. 16, n. 5, p. 558–563, 2012. https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500012.

HLATSHWAYO, M. Leveraging artificial intelligence for monitoring and managing environmental resources. *Artificial Intelligence*, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/376984535_LEVERAGING_ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_FOR_MONITORING_AND_MANAGING_ENVIRONMENTAL_RESOURCES. Acesso em: 01 mar. 2025.

JOHNSON, Noor *et al.* The Use of Digital Platforms for Community-Based Monitoring. *BioScience,* [*s. l.*], v. 71, n. 5, p. 452–466, 2021. https://doi.org/10.1093/biosci/biaa162

LI, J. *et al.* Pre-Trained Language Models for Text Generation: A Survey. *ACM Computing Surveys,* v. 56, n. 9, art. 230, set. 2024. https://doi.org/10.1145/3649449

LIU, J.; WANG, S.; ZHANG, X. Deep learning approaches for prediction of water quality in reservoirs. *Water Research*, v. 172, p. 115471, 2019.

MINAEE, S. *et al*. Large Language Models: A Survey. *ArXiv,* abs/2402.06196, 2024. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2402.06196. Acesso em: 09 jul. 2024.

MODELLI, L. *Herança do Tupi presente no português falado no Brasil*. DW, 2022. Disponível em:

https://www.dw.com/pt-br/curitiba-ubatuba-pipoca-chorar-as-pitangas-o-tupi-presente-no-portugu%C3%AAs-falado-no-brasil/a-60874458. Acesso em: 05 jul. 2024.

NIETERS, J.; PANDE, A.; SHANKAR, U. Great user experiences require great front-end development. *UXmatters*, 2012.

OKE, A. O., AWOKOLA, J. A., & AMUSAN, E. A. Development of a GSM-based environmental monitoring system. *International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering*, v. 4, n. 1, 2017. http://dx.doi.org/10.20431/2349-4859.0401002

OPENAI. *About OpenAI*. Disponível em: https://openai.com/about. Acesso em: 13 jul. 2024.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Python 3.9.7 documentation. 2021. Disponível em: https://docs.python.org/3/. Acesso em: 5 jul. 2024.

RASTEGAR, A.; SURESH, K. R.; GUPTA, P. Predicting river water quality using artificial neural networks. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, p. 3510–3520, 2022.

SCALACODE. *Full Stack Python Development Tips for Integration of Frontend and Backend*. 2023. Disponível em: https://www.scalacode.com. Acesso em: 29 ago. 2024.

SHARMA, H. *Hands-on tutorial on Folium, Python library for geographical data visualization*. Analytics India Magazine, 2022. Disponível em: https://analyticsindiamag.com/deep-tech/hands-on-tutorial-on-folium-python-library-for-geographical-data-visualization/. Acesso em: 10 jan. 2025.

SINGH, A.; KUMAR, Y. Real-time water quality monitoring using smart sensors and machine learning. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 192, n. 3, p. 121, 2020.

SMITH, A., JOHNSON, B., & LEE, C. Interfaces in environmental monitoring: Enhancing data interpretation and decision-making. *Journal of Environmental Technology*, 45(2), 123–134, 2020.

SOUSA, W. R. de; SILVA, E. A. da; LIMA, E. de S. *Visualização de dados aplicada à saúde: uma revisão da literatura*. ResearchGate, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344367942_Visualizacao_de_Dados_Aplicada_a_Saude. Acesso em: 5 fev. 2025.

STREAMLIT. *Streamlit: The fastest way to build and share data apps.* Disponível em: https://streamlit.io/. Acesso em: 13 jul. 2024.

TAZOE, H. Water quality monitoring. *Analytical Sciences*, v. 39, p. 1-3, 2023.

TORRES, L. A. F.; BATISTA, R. A. N.; MEDEIROS, Y. *Índices de qualidade das águas na gestão de recursos hídricos*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2000. Anais [...]. Porto Alegre: ABRH, 2000.

WIEK, A.; WITHYCOMBE, L.; REDMAN, C. L. Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability Science,* v. 6, p. 203-218, 2011. https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6

YANG, Y. Research and Implementation of Web Front End Development System Based on Microservice. In: JANSEN, B.; LIANG, H.; YE, J. (eds) *International Conference on Cognitive based Information Processing and Applications (CIPA 2021)*. Singapore: Springer, 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5857-0_133

ARTIGO 2 - APLICAÇÃO DA PLATAFORMA TIKATU PARA O ENSINO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM EXPLORATÓRIA

RESUMO

A crescente necessidade de preservação ambiental e educação para a sustentabilidade, desafia diferentes níveis de ensino a incorporarem tecnologias digitais que promovam contato direto com objetivo da conscientização para ambientes saudáveis. No entanto, sua implementação enfrenta desafios, como a falta de formação docente e de materiais didáticos adequados. Diante disso, este artigo investiga a aplicação da plataforma Tikatu, uma ferramenta digital baseada em inteligência artificial (IA) para o monitoramento da qualidade da água, como recurso pedagógico no ensino de educação ambiental (EA) em diferentes níveis de ensino. A pesquisa adotou uma abordagem exploratória e documental, analisando relatórios técnicos, tutoriais e dados gerados pela plataforma, além de realizar uma revisão bibliográfica sistemática em bases científicas. Foram investigadas as funcionalidades da Tikatu, como monitoramento da qualidade da água em tempo real, mapeamento geoespacial de pontos de coleta e análise interativa de parâmetros ambientais. Os resultados indicam que a plataforma pode ser utilizada em atividades de campo e projetos de ciência cidadã, aulas interativas em ciências, biologia, química, geografia, matemática e estatística, estimulando a participação dos estudantes na análise ambiental e criação de senso crítico. A interface intuitiva e os recursos interativos favorecem o engajamento e o aprendizado ativo. Conclui-se que a Tikatu pode contribuir significativamente para a EA, conectando teoria e prática e incentivando o desenvolvimento de uma consciência ecológica crítica entre os alunos incentivando a conservação dos ecossistemas.

Palavras-chave: Educação; Plataformas digitais; Ferramentas pedagógicas; Tikatu; Ensino escolar., desenvolvimento sustentável.

APPLICATION OF THE TIKATU PLATFORM FOR ENVIRONMENTAL EDUCATION: AN EXPLORATORY APPROACH

ABSTRACT

The growing need for environmental preservation and sustainability education challenges different levels of education to incorporate digital technologies that promote awareness of healthy environments. However, its implementation faces obstacles such as the lack of teacher training and appropriate educational materials. In this context, this article investigates the application of the Tikatu platform, a digital tool based on artificial intelligence (AI) for water quality monitoring, as a pedagogical resource in environmental education (EE) at various educational levels. The research adopted an exploratory and documentary approach, analyzing technical reports, tutorials, and data generated by the platform, along with a systematic literature review in scientific databases. The study examined Tikatu's functionalities, including real-time water quality monitoring, geospatial mapping of collection points, and interactive analysis of environmental parameters. The findings indicate that the platform can be applied in field activities and citizen science projects, as well as interactive lessons in sciences, biology, chemistry, geography, mathematics, and statistics, encouraging student participation in environmental analysis. Its intuitive interface and interactive features enhance engagement and active learning. It is concluded that Tikatu can significantly contribute to EE by connecting theory and practice, fostering a critical ecological awareness among students.

Keywords: Sustainable education; Digital platforms; Pedagogical tools; Tikatu; School teaching; Sustainable development.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação do uso e ocupação do solo, resultante do desmatamento, poluição e exploração dos recursos naturais, tem causado impactos negativos no equilíbrio dos ecossistemas e na saúde humana (Oliveira *et al*, 2024). Segundo Spricigo (2024), o esgotamento de recursos naturais, a ocupação desordenada e uso da terra e a necessidade de alinhar o desenvolvimento tecnológico a práticas sustentáveis evidenciam a urgência de novas abordagens para garantir a sustentabilidade e a sobrevivência das atuais e das próximas gerações.

Nesse contexto, a Educação Ambiental (EA) se insere como ferramenta para promover a conscientização e a participação ativa da sociedade na conservação do meio ambiente

(Carvalho, 2008; Damiano *et al*., 2020). O conceito de EA evoluiu desde a Conferência de Estocolmo, em 1972, ampliando seu foco da conservação dos recursos naturais para incluir também dimensões sociais, culturais e políticas (González-Gaudiano; Arias-Ortega, 2017; Unesco, 1977). De acordo com Godoy e Avelino (2009, p. 341), a EA é uma intervenção prática destinada a promover a formação do "cidadão planetário", capacitado para agir como um agente de transformação ambiental e influenciar práticas e comportamentos sociais.

No entanto, a implementação da EA nas escolas enfrenta diversas barreiras. Uma delas é a falta de formação adequada dos professores, que, em sua maioria, não recebem preparo específico em EA durante a graduação, exceto em cursos que abordem tais conteúdos (Marques; Rios; Alves, 2022). Soma-se a isso a carência de materiais didáticos que contemplem a realidade local, agravada pela escassez de recursos financeiros para sua aquisição (Nunes; Lehn, 2022). Para Marques, Rios e Alves (2022) e Nunes e Lehn (2022) o envolvimento insuficiente das comunidades escolares também constitui um obstáculo; fatores como a falta de interesse, tempo e conhecimento sobre a relevância da temática, comunicação limitada entre escolas e comunidades e à ausência de espaços para diálogo e participação, dificultam essa integração. Por fim, conforme Roos e Becker (2012), a resistência de setores sociais que se beneficiam de modelos de desenvolvimento insustentáveis representa um entrave adicional. A abordagem crítica e transformadora da EA pode causar desconforto e oposição nesses grupos, que frequentemente resistem às mudanças necessárias (Roos; Becker, 2012).

Consequentemente, a EA é um tema transversal no currículo e muitas vezes é tratada de forma superficial, sem promover a conscientização crítica e a mudança de comportamentos necessários para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos (Carvalho; Frizzo, 2016; Setti; Azeiteiro, 2016). Com o intuito de superar essas dificuldades, as plataformas digitais podem ser consideradas boas ferramentas para a disseminação de conhecimento e promoção de padrões sustentáveis. Muir e Herrington (2015, p.112), afirma que "as tecnologias digitais podem facilitar a compreensão de conceitos ambientais complexos através de simulações e visualizações interativas".

Existem plataformas digitais que combinam funcionalidades de inteligência artificial (IA) e EA, apoiadas pela colaboração de comunidades globais de cientistas e entusiastas (Aslanova; Kozubenko; Alikhadzhiev, 2024). Essas ferramentas demonstram como é possível promover atividades educativas, envolvendo os participantes diretamente no processo de descoberta e aprendizado sobre a biodiversidade. Além disso, oferecem experiências práticas que estimulam a curiosidade e reforçam a conexão dos indivíduos com o ambiente.

Nesse contexto, destaca-se a plataforma Tikatu, que integra inteligência artificial (IA) para monitorar e analisar, em tempo real, parâmetros relacionados à qualidade da água. A plataforma coleta dados por meio de uma rede de sensores distribuídos em diversos rios. Alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, a Tikatu busca ampliar o acesso ao conhecimento sobre os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e seus impactos na qualidade da água. Para isso, é utilizado uma interface interativa e intuitiva que promove a conscientização e a EA por meio de informes e representações gráficas dinâmicas com atualizações constantes.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é explorar e analisar o potencial da plataforma Tikatu como ferramenta pedagógica para o ensino da EA em diversos níveis de escolaridade, investigando como suas funcionalidades interativas podem ser integradas ao currículo escolar para promover a conscientização sobre a preservação e os usos múltiplos dos recursos hídricos. A utilização desta ferramenta educativa pode oferecer aos alunos uma compreensão prática das questões ambientais, preparando-os para se tornarem cidadãos mais conscientes e responsáveis no contexto das mudanças climáticas globais, das diferentes formas de poluição e dos métodos de redução dos impactos ambientais.

Ao longo deste artigo, detalha-se a metodologia adotada para investigar a aplicação da plataforma Tikatu no ensino da EA. São apresentados os critérios de análise e as fontes utilizadas, além de discutidas as funcionalidades da plataforma. Por fim, a seção 4 apresenta os resultados e discussões, destacando o potencial da plataforma como ferramenta pedagógica. O enfoque recai sobre sua capacidade de fomentar a conscientização ambiental e estimular o engajamento dos alunos em projetos práticos, promovendo a integração entre teoria e prática.

2 METODOLOGIA

O presente artigo adota uma metodologia exploratória e documental, fundamentada na necessidade de investigar e compreender como as funcionalidades da plataforma Tikatu podem ser aplicadas como ferramenta pedagógica no ensino da EA. De acordo com, Lösch, Rambo e Ferreira (2023), a pesquisa exploratória é apropriada para compreender fenômenos complexos e gerar hipóteses para investigações futuras no campo da educação, permitindo integrar diferentes métodos (Lösch; Rambo; Ferreira, 2023).

Esta pesquisa envolve a análise de documentos existentes, bem como estudos anteriores que abordam outras ferramentas ou plataformas educacionais voltadas para a EA ou

ciência cidadã. No contexto desta pesquisa, isso inclui a documentação de funcionamento da plataforma Tikatu, tutorial de uso e relatórios analíticos gerados pela própria plataforma.

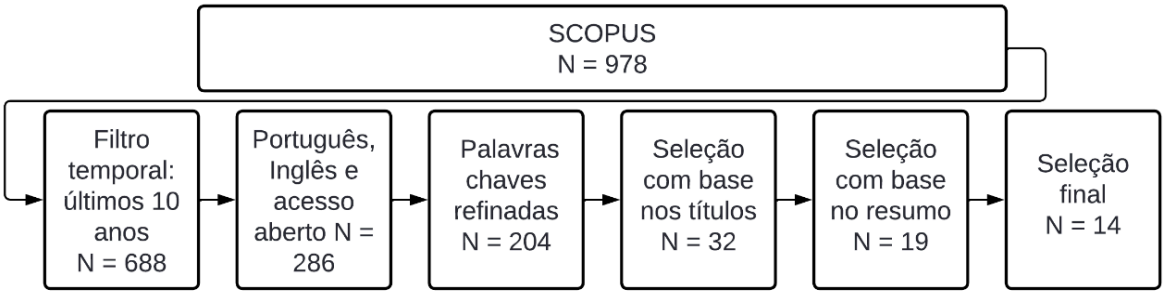
2.1 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada através de uma análise detalhada do manual da plataforma Tikatu e de documentos que abordam o desenvolvimento detalhado do sistema. Ambos os documentos incluem descrições técnicas das funcionalidades e tutoriais de uso. Além disso, realizou-se observações considerando ambientes de ensino. Essas observações permitiram verificar como os professores poderiam integrar a Tikatu em suas aulas de EA, utilizando as funcionalidades para envolver os alunos em atividades práticas. Essa observação foi complementada pela análise da página "*Home*" do sistema, que apresenta explicações objetivas sobre temas relacionados aos parâmetros de qualidade da água e sua importância para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e o alinhamento do projeto com os ODS da Agenda 2030.

Igualmente, incluiu-se a análise de relatórios gerados pela plataforma na página "*Monitoring*", que fornecem uma visão detalhada da qualidade da água em diferentes locais e permitem uma compreensão mais ampla das condições ambientais locais. Também foi analisada a página "*Make Your Analysis*", que possibilita a inserção manual de dados coletados para posterior análise.

A revisão bibliográfica foi realizada com o auxílio do banco de dados Scopus utilizando as seguintes strings: ("*digital platforms*" OR "*digital technologies*" OR "*digital tools*" OR "*educational apps*" OR "*application*" OR "*educational technology*" OR "*mobile applications*") AND ("*environmental education*"), pesquisando entre título, resumo e palavras-chave. As buscas foram feitas de maneira sistemática usando filtros, visando identificar documentos que apresentassem evidências empíricas ou teóricas sobre o uso de ferramentas digitais semelhantes à plataforma Tikatu. A sequência de filtros aplicados está detalhada no fluxograma abaixo, desde a busca inicial até a seleção final dos artigos utilizados na pesquisa.

Figura 1. Processo de Seleção e Refinamento da Revisão Bibliográfica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após avaliação baseada na relevância para o tema, abrangência teórica e qualidade metodológica, foram selecionados 14 estudos considerados mais relevantes e alinhados ao contexto da pesquisa.

Para identificar as conexões temáticas entre os trabalhos, utilizou-se o software *VOSviewer*, que permitiu a análise de ocorrência de palavras-chave nos textos. Essa análise gerou um gráfico de rede com as principais áreas de interseção entre os temas abordados nos 14 estudos. A unidade de análise escolhida foi *All Keywords*, que incluiu palavras fornecidas pelos autores e termos relevantes do texto, e *Full Counting*, considerando todas as ocorrências igualmente. Um limiar mínimo de 1 ocorrência foi adotado para ampliar o escopo da análise.

2.2 Análise das Funcionalidades

A análise das funcionalidades da plataforma Tikatu foi conduzida utilizando uma abordagem qualitativa e revisão detalhada, com foco na identificação e interpretação das aplicações pedagógicas de cada funcionalidade. Para conduzir essa análise, foram estabelecidos critérios específicos que orientaram a seleção das funcionalidades mais relevantes para o ensino, considerando a viabilidade técnica, pedagógica e financeira. Os principais critérios considerados incluíram:

(a) Interatividade: as funcionalidades que permitissem aos alunos interagirem diretamente com os dados de maneira ativa, foram consideradas de alto valor pedagógico.

(b) Acessibilidade para alunos de diferentes níveis de ensino: avaliou a facilidade com que as funcionalidades poderiam ser utilizadas por professores e alunos com diferentes níveis de formação e familiaridade com tecnologias. Funcionalidades que ofereciam interfaces intuitivas foram priorizadas.

(c) Capacidade de Engajar os Estudantes em Atividades Práticas e Reflexivas: foram considerados funcionalidades que incentivassem os alunos a analisarem os dados de

maneira crítica, questionando as possíveis causas dos resultados observados e discutindo as implicações ambientais que esses dados representam.

3 UTILIZAÇÃO DA TIKATU COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Com ênfase na análise da literatura sobre o uso de tecnologias digitais como ferramentas pedagógicas na EA, podemos notar as conexões entre os temas abordados nos artigos revisados e destacar as principais contribuições de cada estudo. Na Tabela 1, temos um resumo dos métodos aplicados, dos autores e anos de publicação, bem como, os focos das pesquisas. Essa tabela evidencia como esses estudos fundamentam a utilização de plataformas similares a Tikatu no ensino de EA.

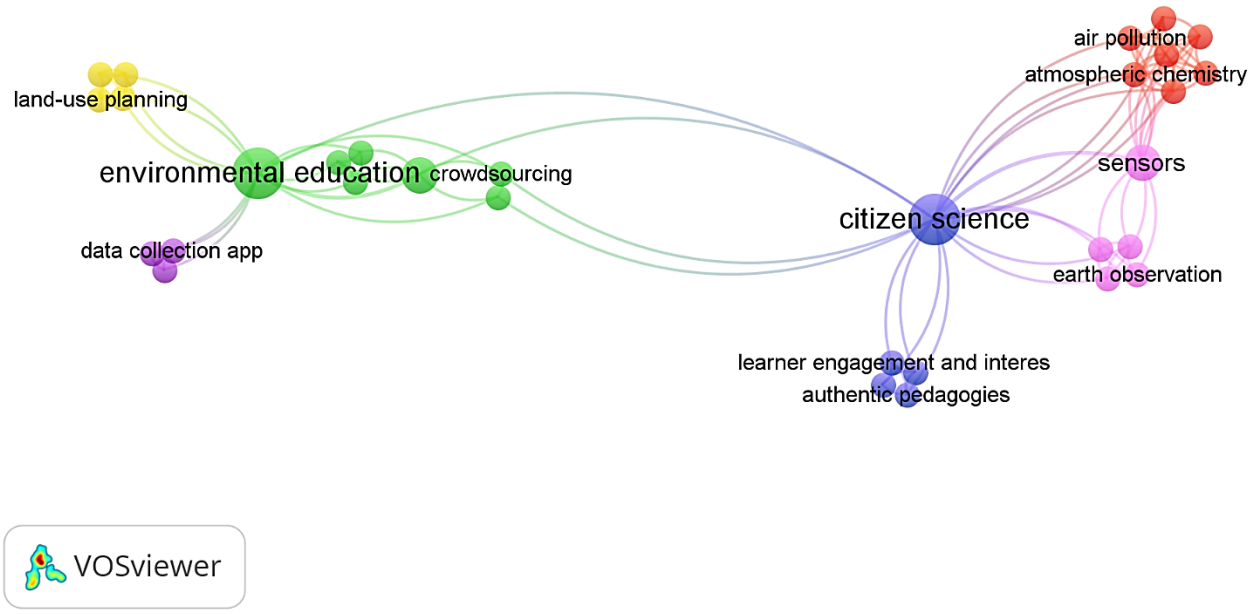
Tabela 1. Resumo dos métodos, autores e focos de pesquisa relacionados à utilização de tecnologias digitais na educação ambiental.

Método aplicado	(Autor, ano)	Foco da pesquisa
Estudo de caso	(Barbosa, 2023)	Ferramenta de geoprocessamento, *Google Earth*, como recurso didático no ensino de EA.
	(Silva; Carvalho; Aquino, 2021)	Aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre "Água e Poluição" em uma escola pública.
	(Ellenburg *et al.*, 2019)	Programas *GO3 Project* e *AQTreks* que permitem que estudantes e cientistas cidadãos monitorem poluentes atmosféricos.
	(Pereira Júnior*et al.*, 2023)	Investiga, com dados estatísticos e qualitativos, tecnologias geoespaciais na EA que visam monitorar e conservar a qualidade da água.
	(Norton *et al.*, 2019a)	Aplicativo personalizado de coleta de dados geoespaciais (*Collector for ArcGIS*) e impacto no engajamento estudantil na EA.
	(Albers; De Lange; Xu, 2017)	Realidade Aumentada (RA) em ciência cidadã, que guiam usuários via smartphone para fotografar fenômenos ambientais e promover a EA pública.
Análise comparativa e estatística de plataformas	(Balabanova *et al.*, 2021)	Plataformas digitais (*IoT*, de mapeamento interativo, entre outros) para gestão ambiental.
Desenvolvimento de nova ferramenta/ plataforma	(Razo-Zapata; Piovan; Penny, 2016)	*WaterGram*, plataforma para capacitar cidadãos e autoridades no monitoramento e compartilhamento da qualidade da água.
	(Ruis *et al.*, 2024)	*iPlan*, plataforma online gratuita para simulações de uso da terra no ensino médio.
	(Bratic *et al.*, 2022)	Ferramentas desenvolvidas pelo projeto SIMILE (Sistema Informativo para o Monitoramento Integrado de Lagos Insubricos e seus Ecossistemas) para monitorar a qualidade da água de lagos.
	(Zapata-Paulini *et al.*, 2023)	*Hatun Chullunku*: Recurso de RA com o objetivo de educar sobre o recuo glacial nos Andes peruanos e incentivar a conservação ambiental.
	(Wang *et al.*, 2016)	*EPPAL*: Plataforma educacional utilizando *IoT* e Redes de Sensores Sem Fio (WSN) para conscientização sobre a proteção ambiental dos lagos.
	(Chai-Arayalert; Puttinaovarat, 2020a)	Protótipo de aplicativo móvel com lições interativas sobre manguezais, focado no autoaprendizado e na conscientização ambiental de jovens.
	(Rosa, 2014)	*Ambcare:* ferramenta móvel para monitoramento ambiental e reporte de incidentes por cidadãos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise bibliométrica realizada com os 14 estudos selecionados para esta pesquisa denota conexões relevantes entre as áreas de EA e tecnologias digitais. A partir do processamento dos dados no *VOSviewer*, foi gerada uma visualização em clusters, que permitiu categorizar e entender melhor os temas centrais e suas inter-relações. A Figura 2 apresenta a análise de co-ocorrência de palavras-chave, destacando seis clusters principais.

Figura 2. Mapa de coocorrência de palavras-chave em estudos sobre EA e tecnologias digitais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Cluster 1 (vermelho) aborda o uso de tecnologias para coleta de dados ambientais e destaca o envolvimento da ciência comunitária na coleta desses dados. O Cluster 2 (verde), central na análise, foca na integração de educação ambiental com tecnologias digitais. O Cluster 3 (azul) destaca o engajamento estudantil por meio da ciência cidadã, notamos aqui o papel ativo dos alunos na coleta e análise de dados. O Cluster 4 (rosa) agrupa estudos que utilizam ferramentas tecnológicas e sensores para monitoramento ambiental, com foco especial na qualidade da água. O Cluster 5 (amarelo) explora a relação entre o planejamento do uso do solo e abordagens educacionais focadas no aprendizado em contexto real. Por fim, o Cluster 6 (roxo) destaca aplicativos móveis e ferramentas geoespaciais no engajamento estudantil.

Os clusters conectados por linhas no gráfico indicam temas que já possuem interdependências reconhecidas na literatura. A Tikatu utiliza tecnologias de monitoramento com sensores, que se enquadram em tecnologias para coleta de dados, ferramentas geoespaciais e propõe a integração com EA. Assim, este trabalho se diferencia dos demais ao criar um vínculo direto entre os clusters vermelho, verde, rosa e roxo.

A análise dos estudos revisados identificou que a plataforma Tikatu pode oferecer a integração de práticas de EA em diversos níveis de ensino. Dessa forma, foram destacadas cinco principais abordagens para a aplicação pedagógica da plataforma, apresentadas na tabela 2 e serão explicadas nas seções seguintes.

Tabela 2. Formas de utilização da plataforma Tikatu no ensino da EA

Formas de Utilização	Descrição
Atividades de campo e projetos de ciência cidadã	Envolver os alunos na coleta de dados ambientais e na participação em projetos de monitoramento.
Aulas interativas sobre qualidade da água nas disciplinas de ciências, biologia e química	Ensinar sobre ciclo da água, propriedades físico-químicas da água, poluição hídrica, impactos ambientais, ecotoxicologia e organismos bioindicadores
Mapeamento de pontos de coleta para o ensino de geografia	Utilizar a visualização geoespacial de dados ambientais para facilitar o entendimento de padrões espaciais.
Desenvolvimento de habilidades analíticas e quantitativas em matemática e estatística	Incentivar a análise de dados ambientais por meio da construção de gráficos, tabelas e estatísticas, promovendo a pesquisa quantitativa e a interpretação de tendências.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 Atividades de Campo e Projetos de Ciência Cidadã

Atividades de campo e projetos de ciência cidadã são abordagens pedagógicas eficazes que promovem a participação ativa dos alunos na coleta e análise de dados ambientais, incentivando a conscientização e a construção do conhecimento científico (Albers; De Lange; Xu, 2017; Balabanova *et al.*, 2021; Pereira Júnior *et al*., 2023). Nesse contexto, a plataforma Tikatu se apresenta como uma ferramenta que possibilita a aplicação prática desses conceitos, permitindo que os estudantes atuem diretamente como pesquisadores ou voluntários no monitoramento da qualidade da água.

De acordo com a plataforma Tikatu, a coleta de amostras de água deve ser realizada em pontos definidos, como rios e lagos próximos. Os estudantes devem utilizar sondas multiparâmetro para medir variáveis diretamente no local. Após a medição, os dados devem ser transmitidos via Bluetooth ou Wi-Fi para um smartphone, utilizando um aplicativo específico para registro e envio das informações para a nuvem. No sistema online, os dados serão armazenados, verificados e disponibilizados para análise, permitindo a geração de gráficos e relatórios com suporte de IA.

Para aprofundar a conexão entre teoria e prática, os professores podem organizar excursões a corpos d'água locais permitindo que os alunos realizem coletas em diferentes ecossistemas aquáticos. A coleta pode ser feita como descrita anteriormente. Os dados também podem ser inseridos manualmente na plataforma Tikatu por meio da página "*Make Your Analysis*". A partir disso, a plataforma gera uma análise detalhada.

Além da coleta em campo, uma alternativa para promover a EA é a medição direta dos parâmetros da água no ambiente escolar. Para isso, a instituição pode utilizar uma sonda multiparâmetro de baixo custo, conforme documentação da Tikatu. Os professores podem organizar atividades em que os alunos coletem amostras de água do próprio ambiente de ensino e utilizem a sonda para obter os dados. Em seguida, os dados devem ser inseridos na plataforma Tikatu, onde a análise gerada possibilita que os alunos interpretem os resultados, discutam suas implicações e avaliem a qualidade da água presente em seu ambiente de convívio.

Outra abordagem consiste na análise comparativa de diferentes ecossistemas aquáticos. Para isso, podem ser selecionados ao menos três ambientes distintos, como rios urbanos, lagos naturais, reservatórios artificiais, águas subterrâneas considerando fatores como grau de urbanização, cobertura vegetal e proximidade de fontes de poluição. A coleta de amostras de água deve seguir um protocolo padronizado para viabilizar a comparação entre os ambientes. Durante esse processo, os estudantes devem registrar variáveis como horário, temperatura ambiente e condições climáticas. A partir desses dados, é possível analisar os impactos ambientais observados, elaborar hipóteses e sugerir estratégias de mitigação e conservação para cada ecossistema avaliado.

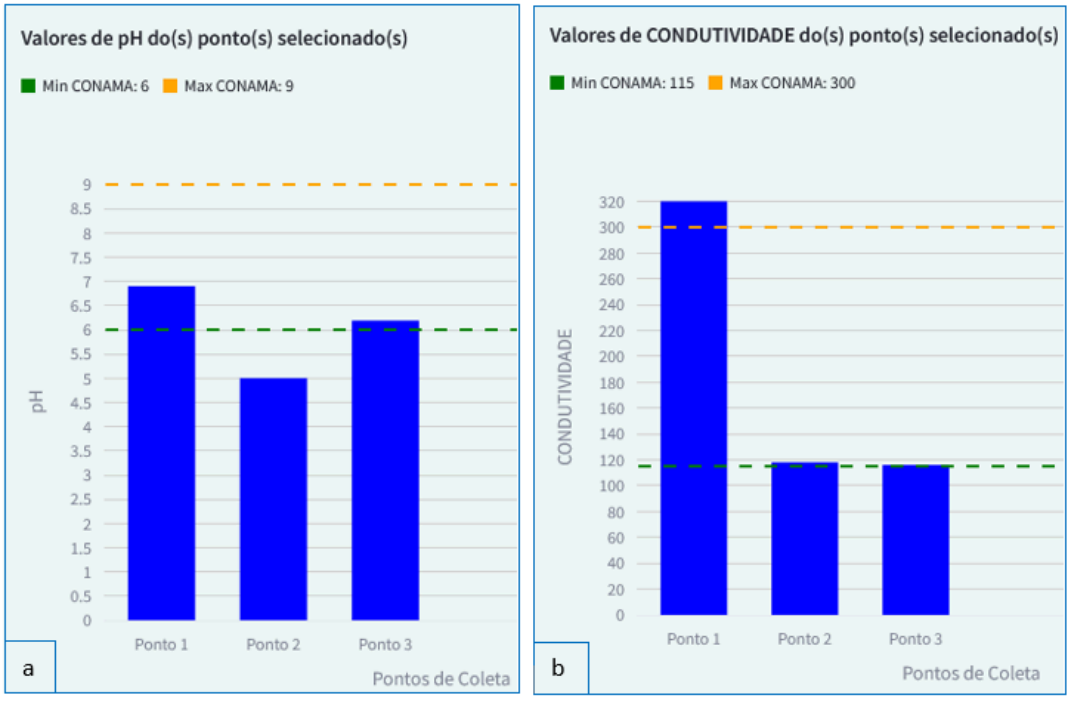
O Global Ozone (GO3) Project e o AQTreks, descritos por Ellenburg *et al.* (2019), exemplificam o impacto positivo da integração entre monitoramento ambiental e educação científica. Nessas iniciativas, os alunos utilizaram tecnologias móveis e plataformas digitais para monitorar a qualidade do ar, aprofundando o entendimento sobre poluição atmosférica, formação do ozônio e seus impactos ambientais. Além disso, incentivaram ações ambientais e contribuíram para pesquisas científicas (Ellenburg *et al.*, 2019). De forma semelhante, o aplicativo *Ambcare*, desenvolvido por Rosa (2014), permite que cidadãos registrem informações sobre eventos como descarte inadequado de lixo, queimadas e vazamentos de óleo. Esses dados são integrados a uma base compartilhada que facilita a tomada de decisões por gestores ambientais (Rosa, 2014).

Observamos que tanto os projetos de Ellenburg *et al*. (2019) quanto o aplicativo de Rosa (2014) demonstram o potencial de ferramentas tecnológicas para fomentar a ciência cidadã como estratégia para promover a EA. A Tikatu se insere nesse contexto ao permitir que estudantes participem ativamente, coletando e registrando dados ambientais que podem ser utilizados para análises científicas e tomada de decisões.

Além de possibilitar a coleta de dados, a Tikatu se destaca por sua capacidade de visualização em tempo real, permitindo o monitoramento contínuo da qualidade da água. Essa

visualização permite que os usuários detectem rapidamente a qualidade ou qualquer anomalia no ponto de coleta instalado. Na Figura 3, podemos perceber como a plataforma conduz a análise de parâmetros. Note que os valores dos parâmetros como pH e condutividade são mostrados em três pontos de coleta no Rio Chamagunga. As linhas pontilhadas verdes representam o valor mínimo permitido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), enquanto as linhas pontilhadas amarelas indicam o valor máximo permitido.

Figura 3. Interface da Tikatu. Valores em tempo real de parâmetros de qualidade da água, como a) pH e b) Condutividade, para os pontos de coleta 1, 2 e 3 do Rio Chamagunga.



Fonte: Tikatu (2025).

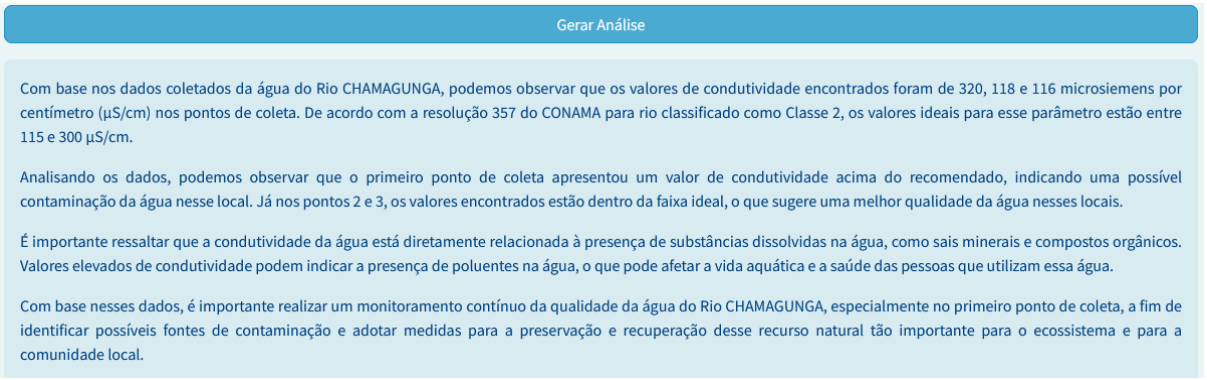
Segundo Silva, Carvalho e Aquino (2021), ao integrar a análise físico-química da água coletada, os estudantes ancoram novos conhecimentos e desenvolvem uma compreensão crítica das questões ambientais que afetam seus ambientes de convivência.

A plataforma também integra algoritmos de IA, permitindo a identificação de padrões de poluição e a previsão de riscos ambientais com base em dados históricos. Além disso, os valores obtidos nos pontos de coleta são analisados e comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução nº 357 do CONAMA para rios de Classe 2. Esses corpos d'água apresentam qualidade que viabiliza seu uso para abastecimento humano após tratamento convencional, proteção da vida aquática, recreação de contato primário, irrigação de

hortaliças e frutíferas consumidas cruas, além de atividades de pesca e aquicultura (BRASIL, 2005).

Notamos por meio da Figura 4 a integração da IA à plataforma Tikatu, interpretando os dados de qualidade da água do Rio Chamagunga e gerando análises que auxiliam no conhecimento e na tomada de decisões.

Figura 4. Imagem ilustrativa da representação gráfica dos resultados de uma análise preditiva realizada pela IA integrada à Tikatu.



Fonte: Tikatu (2025).

Norton *et al*. (2019) demonstram a relevância dessa abordagem prática na aprendizagem, indicando que 84% dos alunos participantes de sua pesquisa relataram que a observação em campo facilitou a assimilação dos conceitos estudados. A promoção de uma aprendizagem ativa e investigativa contribui para a construção do conhecimento científico pelos próprios estudantes. Além disso, a participação em projetos de ciência cidadã pode fortalecer o senso de pertencimento e engajamento, incentivando-os a atuar como agentes de transformação em suas comunidades (Silva, Carvalho e Aquino, 2021).

3.2 Aulas interativas sobre qualidade da água nas disciplinas de ciências, biologia e química

A utilização da plataforma Tikatu como ferramenta pedagógica em aulas interativas que envolvam o tema qualidade da água oferece uma conduta prática e visual para ensinar conceitos ambientais. A plataforma disponibiliza, na aba "*Monitoring*", a visualização de parâmetros da qualidade da água, como turbidez, condutividade, pH, temperatura, nitrogênio, fosforo e salinidade, além de fornecer explicações sobre o significado e a importância de cada um desses indicadores. Além disso, a plataforma permite a comparação dos resultados entre

diferentes pontos de coleta referente a condições distintas, possibilitando análises por bacia hidrográfica, cidade ou período, o que amplia a compreensão sobre variações espaciais e temporais de qualidade da água. Os relatórios que são gerados automaticamente pela Tikatu podem ser personalizados para incluir gráficos e análises textuais que facilitam a interpretação dos dados. Além disso, os relatórios podem ser exportados em formatos como PDF, o que permite seu compartilhamento com outros stakeholders.

No ensino de Ciências, a Tikatu pode ser utilizada para abordar os ciclos da água, demonstrando os processos de evaporação, condensação, precipitação e infiltração. Por meio da plataforma, os alunos podem observar a variação da temperatura da água em diferentes períodos e analisar sua relação com a evaporação, por exemplo. Essas análises permitem compreender que o ciclo da água não ocorre de forma isolada. Lu *et al*. (2023) destacam que esse ciclo é influenciado por fatores ambientais naturais e tambem por mudanças climáticas, e por atividades antrópicas, incluindo urbanização e irrigação, entre outros usos múltiplos da água.

A Tikatu também possibilita a análise de dados em tempo real. Segundo Wang *et al*. (2016), o mapeamento contínuo torna visíveis os processos de poluição. Assim, o professor pode incentivar a comparação entre diferentes locais ou períodos para discutir os impactos do despejo de esgoto não tratado, do uso excessivo de fertilizantes agrícolas e do descarte inadequado de resíduos sólidos, relacionando essas variáveis aos parâmetros que determinam a qualidade da água. Além de permitir a identificação dos efeitos da poluição por meio da análise da variação dos parâmetros ao longo do tempo, a plataforma pode ser utilizada para discutir os impactos ambientais decorrentes de mudanças climáticas, expansão urbana e industrialização, desmatamento e erosão do solo.

A plataforma desenvolvida por Wang *et al*. (2016) demonstra como a coleta de dados sobre a concentração de amônia e nitrogênio total pode educar o público sobre os impactos da poluição em lagos. Os autores destacam a importância da conscientização ambiental baseada na observação direta dos dados. De forma semelhante, a plataforma iPlan, descrita por Ruis *et al.* (2024), simula o uso do solo, auxiliando os alunos a compreender como as decisões sobre a terra afetam o meio ambiente e a sociedade. Da mesma forma, a Tikatu oferece gráficos e dados em tempo real, permitindo que os estudantes analisem as variações na qualidade da água.

No ensino de Química, os parâmetros fornecidos pela plataforma Tikatu podem ser utilizados para auxiliar em estudo das propriedades físico-químicas da água, possibilitando a

correlação de fenômenos como dissociação iônica, equilíbrio ácido-base, condutividade eletrolítica, precipitação e cinética química com dados ambientais reais.

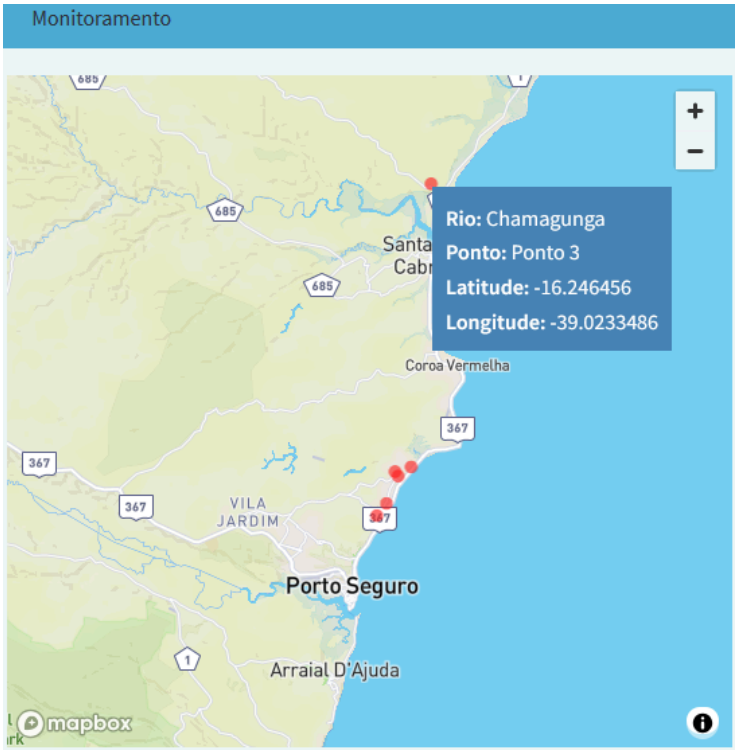
Em Biologia, a Tikatu pode ser aplicada em estudos de ecotoxicologia e organismos bioindicadores. Na ecotoxicologia, permite a análise de variações nos parâmetros ambientais que indicam a presença de poluentes, contribuindo para a avaliação dos efeitos de substâncias tóxicas nos ecossistemas aquáticos. No estudo de organismos bioindicadores, a plataforma auxilia na correlação entre a presença ou ausência de determinadas espécies e a qualidade da água. Macroinvertebrados aquáticos, como larvas de insetos e moluscos, são utilizados no biomonitoramento, pois algumas espécies são sensíveis a variações no pH e à contaminação por poluentes, tornando-se indicadoras da qualidade da água (Anamika *et al*., 2024). A interpretação dos dados registrados na Tikatu permite que os alunos analisem a relação entre parâmetros ambientais e a ocorrência de determinados grupos biológicos, favorecendo a identificação de possíveis impactos ambientais.

3.3 Mapeamento de pontos de coleta para o ensino de geografia

As plataformas que oferecem a possibilidade para a integração interdisciplinar no ensino de EA ampliam a interdisciplinaridade. Como proposto em Barbosa (2023), a utilização de ferramentas de geoprocessamento no ensino da EA destaca-se pela integração disciplinar com Geografia, História, Biologia, Química e Ciências Ambientais.

A plataforma Tikatu possui uma funcionalidade dedicada à geração de mapas interativos, que exibem os pontos de coleta de amostras de água nos corpos hídricos cadastrados no sistema. Esses pontos são georreferenciados com base em coordenadas geográficas no formato de graus decimais (latitude e longitude), conforme ilustrado na Figura 5. Embora a aplicação esteja configurada para operar com esse sistema de coordenadas, sua arquitetura permite adaptação para o formato UTM (Universal Transverse Mercator), caso necessário. Os registros ficam vinculados à base de dados e são apresentados de forma dinâmica, à medida que o usuário seleciona, de maneira interativa, os locais de interesse. Essa funcionalidade viabiliza uma compreensão espacial imediata da distribuição dos pontos de coleta, contribuindo para a análise da qualidade da água em diferentes localidades monitoradas.

Figura 5. Mapa interativo gerado pela plataforma Tikatu, mostrando diferentes pontos de coleta ao longo de um rio.



Fonte: Tikatu (2025).

Essa funcionalidade pode ser usada para definir áreas de estudo, compreender os elementos importantes no ambiente e relacionar com aspectos sociais da região. É possível analisar também fatores como, relevo e uso do solo e como impactam a qualidade da água.

Barbosa (2023), demonstrou como o uso do *Google Earth* em sala de aula pode estimular o pensamento crítico dos alunos. Igualmente, Razzo-Zapata, Piovan e Penny (2016) afirmam que o mapeamento possibilita a identificação de padrões e tendências e pode empoderar cidadãos ao tornar o conhecimento sobre a qualidade da água mais acessível.Esta prática pode ser diretamente aplicada ao uso da Tikatu para engajar os alunos em discussões interdisciplinares, visto que, ela oferece a oportunidade de visualizar mudanças na qualidade da água e identificar áreas de preocupação ambiental. O uso do geoprocessamento em sala de aula pode promover discussões interdisciplinares, desenvolver a consciência crítica dos alunos sobre questões ecológicas e incentivar a participação ativa em projetos de recuperação ambiental, promovendo a curiosidade e inserção no manuseio de ferramentas computacionais em geotecnologias. (Barbosa, 2023).

3.4 Desenvolvimento de habilidades analíticas e quantitativas em matemática e estatística

A plataforma Tikatu pode ser utilizada no ensino de Matemática e Estatística para desenvolver habilidades analíticas e pensamento crítico, explorando a interpretação e manipulação de dados ambientais reais**.** Na plataforma online, os alunos podem gerar relatórios que incluem gráficos interativos e textos explicativos sobre parâmetros de qualidade da água que são exibidos na página "*Monitoring*". Os parâmetros da qualidade da água disponibilizados, podem ser utilizados para análise estatística, modelagem matemática e representação gráfica.

A Tikatu permite que os alunos acessem dados de diferentes pontos de coleta e períodos, organizando-os em tabelas e planilhas para análises estatísticas. Essas análises podem ser conduzidas por meio de gráficos de linha e dispersão, facilitando a observação de tendências temporais e espaciais. Além disso, histogramas e boxplots auxiliam na visualização da distribuição dos valores medidos, contribuindo para a interpretação dos resultados (Humphreys e Ruxton, 2022).

Os alunos também podem aplicar correlações estatísticas para examinar a relação entre diferentes parâmetros físico-químicos da qualidade da água (Sharma e Pandit, 2022). A regressão linear pode ser utilizada para prever variações na qualidade da água ao longo do tempo (Sharma e Pandit, 2022). Além disso, a teoria das probabilidades pode ser empregada no cálculo da chance de um rio apresentar parâmetros fora dos padrões estabelecidos, assim como na análise da frequência de eventos críticos, como picos de poluição em determinados períodos do ano.

O estudo de Alber, De Lange e Xu (2017), demonstram que a geração de relatórios com gráficos e explicações, dentro de um contexto educativo, além de facilitar o entendimento dos processos ambientais em locais específicos, também aumenta o engajamento dos usuários, especialmente os mais jovens, que são atraídos por novas tecnologias e menos engajados em questões ambientais. A visualização de dados em em forma de gráfico pode aumentar a conscientização ambiental, especialmente quando utilizada em contextos educativos como escolas e museus de ciência (Wang *et al*., 2016).

4 CONCLUSÃO

O presente estudo investigou o potencial da plataforma Tikatu como ferramenta pedagógica para o ensino de EA em diferentes níveis de ensino, para promover práticas

educativas que estimulam o engajamento dos alunos em questões ambientais. O estudo analisou as funcionalidades da Tikatu e demonstrou como ela pode ser aplicada ao ensino da EA. Esta pesquisa se diferencia dos trabalhos encontrados relacionadas com o tema por integrar a plataforma ao ensino de EA, em diferentes disciplinas, conectando monitoramento ambiental, ferramentas geoespaciais e ciência cidadã.

Os resultados mostraram que a Tikatu integra conhecimentos interdisciplinares, possibilitando o engajamento estudantil e reforçando a importância da preservação dos recursos hídricos por meio da experiência prática. A plataforma pode ser utilizada para envolver alunos em aulas de campo, na coleta e análise de dados ambientais, promovendo a ciência cidadã. No ensino de Ciências, facilita a compreensão do ciclo da água e impactos ambientais. Em Biologia, apoia o estudo de ecotoxicologia e bioindicadores, permitindo a correlação entre a qualidade da água e a biodiversidade. Em Química, viabiliza a aplicação de conceitos como equilíbrio químico, condutividade elétrica, ácidos e bases e reações químicas no meio aquático, por meio das propriedades físico-químicas da água.

A funcionalidade de mapeamento possibilita a análise geoespacial da qualidade da água, permitindo que os alunos investiguem a influência do uso do solo, urbanização e mudanças climáticas nos recursos hídricos. Em Matemática e Estatística, os dados gerados são aplicáveis na construção de gráficos, tabelas e análises estatísticas, possibilitando o cálculo de médias, desvios-padrão e correlações entre variáveis ambientais.

Constatou-se que as tecnologias educacionais de baixo custo, interativas e de fácil uso, podem ajudar a superar desafios recorrentes na implementação da EA, como a falta de formação específica dos professores e a escassez de materiais didáticos contextualizados.

Entretanto, surgiram novas questões ao longo da investigação. A necessidade de adaptação dos conteúdos às diferentes realidades escolares continuam sendo desafios. A acessibilidade da ferramenta em regiões com baixa conectividade também pode limitar sua aplicação. Estudos futuros podem aprofundar essas questões, explorando a implementação prática da Tikatu em diferentes escolas e avaliando seu impacto no aprendizado dos estudantes.

REFERÊNCIAS

ALBERS, B.; DE LANGE, N.; XU, S. Augmented citizen science for environmental monitoring and education. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives,* v. XLII-2/W7, p. 1–4, 12 set. 2017. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W7-1-2017

ANAMIKA *et al.* Biotic indices freshwater ecosystems using aquatic entomofauna as a bioindicator. *Journal of Applied Bioscience*, v. 50, n. 1, p. 1–13, 2024.

ASLANOVA, A.; KOZUBENKO, A.; ALIKHADZHIEV, S. Perspectives on the application of IT in education to promote environmental education and sustainable development. *BIO Web of Conferences*, v. 116, art. 07036, 2024. https://doi.org/10.1051/bioconf/202411607036

BALABANOVA, A. *et al*. Using digital platforms for environmental management. *E3S Web of Conferences,* v. 244, art. 07006, 2021. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124407006

BARBOSA, M. Z. *Geoprocessamento aplicado na educação ambiental: uma proposta para o município de Cabo Frio – RJ.* FRIO-RJ. Trabalho de conclusão do curso de Pós-graduação—Arraial do Cabo - RJ: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – IFRJ – Campus Arraial do Cabo, Arraial do Cabo, 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.* Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRATIC, G. *et al*. Lake water quality monitoring tools. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives,* v. XLIII-B4-2022, p. 599–606, 30 mai. 2022. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2022-599-2022

CARVALHO, I. C. de M. *Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico.* 4.ed. São Paulo: Cortez, 2008.

CARVALHO, I. C. de M.; FRIZZO, T. C. E. Environmental Education in Brazil. *In: PETERS, M. (Ed.). Encyclopedia of Educational Philosophy and Theory.* Singapore: Springer Singapore, 2016. p. 1–6.

CHAI-ARAYALERT, S.; PUTTINAOVARAT, S. Designing mangrove ecology self-learning application based on a micro-learning approach. *International Journal of Emerging Technologies in Learning,* [*s. l.*], v. 15, n. 11, p. 29–41, 2020.

DAMIANO, M. *et al.* A preservação do meio ambiente: um desafio social, ético e global na educação. *Educação Ambiental (Brasil)*, [*s. l.*], v. 1, n. 3, p. 010–017, 2020.

ELLENBURG, J. A. *et al.* Global Ozone (GO3) Project and AQTreks: Use of evolving technologies by students and citizen scientists to monitor air pollutants. *Atmospheric Environment:* X, [*s. l.*], v. 4, 2019.

GODOY, A.; AVELINO, N. Educação, meio ambiente e cultura: alquimias do conhecimento na sociedade de controle. *Educação em Revista,* v. 25, n. 3, p. 327–351, dez. 2009.

GODOY, A. S. PESQUISA QUALITATIVA: TIPOS FUNDAMENTAIS. *Revista de Administração de Empresas,* v. 35, n. 3, p. 20–29, 1995.

GONZÁLEZ-GAUDIANO, É. J.; ARIAS-ORTEGA, M. Á. La formación de educadores ambientales en México: avances y perspectivas. *Educar em Revista,* n. 63, p. 53–66, mar. 2017.

HUMPHREYS, R. K.; RUXTON, G.D. Presenting single-sample data: histograms and boxplots. In: *Presenting Scientific Data in R*. Oxford: Oxford University Press. p. 65-86, 2022.

LÖSCH, S.; RAMBO, C. A.; FERREIRA, J. L. A pesquisa exploratória na abordagem qualitativa em educação. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, v. 18, n. 00, p. e023141, 19 dez. 2023.

LU, Z. *et al.* Mechanisms influencing changes in water cycle processes in the changing environment of the Songnen Plain, China. *Science of The Total Environment*, v. 905, p. 166916, 2023.

MARQUES, W. R. A.; RIOS, D. L.; ALVES, K. S. A percepção ambiental na aplicação da educação ambiental em escolas. *Revista brasileira de educação ambiental*, [*s. l.*], v. 17, n. 2, p. 527–545, 2022.

MUIR, T.; HERRINGTON, J. Promoting the effective integration of digital technologies in the classroom: Through the lens of learning design. *Research in Learning Technology*, v. 23, n. 1, p. 110-128, 2015.

NORTON, E. *et al.* Assessing the impact of a geospatial data collection app on student engagement in environmental education. *Education Sciences*, [*s. l.*], v. 9, n. 2, 2019.

NUNES, M. M.; LEHN, C. R. Educação ambiental e preservação da biodiversidade: relato de um estudo de caso em distintas realidades escolares. *Revista brasileira de educação ambiental,* [*s. l.*], v. 17, n. 6, p. 498–511, 2022.

OLIVEIRA, A. G.; COELHO, J. R. de M.; ZANCHI, F. B. Thirty-one years of land use, coverage, and occupation in the municipality of Santa Cruz Cabrália, Bahia. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 41, p. 19-29, 2024.

PEREIRA JÚNIOR, A. *et al*. The use of geotechnology in environmental education and water quality monitoring. *Concilium,* v. 23, n. 6, p. 405–419, 30 abr. 2023.

RAZO-ZAPATA, I. S.; PIOVAN, G.; PENNY, C. WaterGram: A citizen-centric platform to monitor water quality. In: *Proceedings of the 4th International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2016)*. [S.l.]: Atlantis Press, 2016.

ROOS, A.; BECKER, E. L. S. Educação ambiental e sustentabilidade. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental,* [*s. l.*], v. 5, n. 5, p. 857–866, 2012.

ROSA, V. Ambcare: monitoramento ambiental usando dispositivos móveis. *Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia*, v. 1, n. 2, p. 43–49, 2014. https://doi.org/10.18256/2359-3539/reit-imed.v1n2p43-49

RUIS, A. R. *et al.* iPlan: A Platform for Constructing Localized, Reduced-Form Models of Land-Use Impacts. *Multimodal Technologies and Interaction,* [*s. l.*], v. 8, n. 4, 2024.

SETTI, A. F. F.; AZEITEIRO, U. M. Education for sustainable development in Brazil: challenges for inclusive, differentiated and multicultural education. In: CASTRO, P.; AZEITEIRO, U. M.; BACELAR-NICOLAU, W. L.-F.; AZUL, A. M. (Eds.). *Biodiversity and education for sustainable development*. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 237–248.

SHARMA, S.; PANDIT, V.. Correlation study and regression analysis of water quality of Chhoiya River (a tributary of river Ganga) in Bijnor District (UP, India). *International Transactions in Mathematical Sciences and Computer*, v. 15, n. 1, p. 61–78, 2022.

SILVA, C. J. DA; CARVALHO, H.; AQUINO, K. A. DA S. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o estudo da água e poluição na perspectiva da educação

ambiental crítica. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática,* v. 4, n. 2, p. 993–1017, 1 mar. 2021.

SPRICIGO, R. Educação ambiental como fator predominante para a inclusão de práticas sustentáveis e redução de danos ambientais. *Caderno Pedagógico,* v. 21, n. 6, p. e4469, 10 jun. 2024.

UNESCO. *Informe Final: Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental*, Tbilisi (URSS), 14 a 26 out. 1977. Paris: UNESCO, 1977.

WANG, W. *et al*. An Educational Platform for Promoting Awareness of Lake Environmental Protection with Live Monitoring Technology. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Educational Innovation through Technology (EITT 2016)*. [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 1 fev. 2016.

ZAPATA-PAULINI, J. *et al.* Augmented reality for innovation: Education and analysis of the glacial retreat of the Peruvian Andean snow-capped mountains. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity,* [*s. l.*], v. 9, n. 3, 2023.

CONCLUSÃO GERAL

Esta dissertação teve como principal objetivo desenvolver e validar a eficácia da plataforma TIKATU para o monitoramento da qualidade da água, além de explorar sua aplicação como ferramenta pedagógica no ensino de educação ambiental (EA) em diferentes

níveis de ensino, com ênfase em escolas públicas. A hipótese orientadora do trabalho era de que a TIKATU, ao integrar inteligência artificial (IA) e funcionalidades interativas, poderia contribuir tanto para a gestão ambiental eficiente dos recursos hídricos quanto para a conscientização e engajamento dos estudantes em práticas sustentáveis. Os resultados alcançados confirmam essa hipótese, demonstrando que a TIKATU é uma ferramenta inovadora. A plataforma se mostrou eficaz no monitoramento em tempo real de parâmetros críticos da qualidade da água, como pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total e sólidos totais, permitindo uma análise detalhada e instantânea das condições dos corpos hídricos. Além disso, os dados coletados foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, e foi possível calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA) conforme a metodologia da CETESB (2023). Essa funcionalidade facilita a tomada de decisões preventivas e corretivas, amplia o acesso à informação e promove a conscientização ambiental em diferentes setores da sociedade.

Além do impacto no monitoramento ambiental, verificou-se que a TIKATU pode ser incorporada ao currículo escolar como uma ferramenta educacional interativa. A plataforma viabiliza aulas práticas, atividades de campo e projetos de ciência cidadã, incentivando o aprendizado reflexivo e o engajamento estudantil em questões ambientais. Sua funcionalidade de mapeamento geoespacial amplia a compreensão sobre os impactos do uso do solo e da urbanização na qualidade da água, proporcionando uma abordagem interdisciplinar baseada em dados reais.

Entretanto, esta pesquisa apresentou algumas limitações. A validação da TIKATU como ferramenta pedagógica foi baseada em estudos exploratórios e revisão de literatura, sem uma aplicação empírica em larga escala em diferentes contextos educacionais. Além disso, o desenvolvimento da plataforma concentrou-se em parâmetros específicos de qualidade da água, o que pode restringir sua aplicabilidade em ecossistemas que exijam o monitoramento de outras variáveis ambientais. Assim, recomenda-se que estudos futuros realizem avaliações empíricas abrangentes para confirmar a eficácia da TIKATU em contextos educacionais diversos e ampliem seu escopo para incluir uma gama maior de variáveis ambientais.

Por fim, ao combinar tecnologias emergentes com métodos educacionais, a TIKATU contribui para o desenvolvimento de soluções integradas que respondam aos desafios contemporâneos de sustentabilidade. A plataforma reforça a importância da educação ambiental como um pilar fundamental para a transformação social, destacando o papel das tecnologias digitais no engajamento comunitário e na promoção da conscientização ecológica.

Além disso, este trabalho sugere que a integração de ferramentas como a TIKATU em programas de ensino pode fomentar uma nova geração de cidadãos ambientalmente conscientes e ativos, preparados para enfrentar os desafios futuros relacionados à gestão sustentável dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

AHMAD, I. *et al*. Water quality monitoring using wireless sensor networks. *AIP Conference Proceedings*, v. 2291, n. 1, p. 020001, 2 nov. 2020. https://doi.org/10.1063/5.0025040.

BRASIL**.** *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.* Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 29 jan. 2025.

BUKHARI, M. S. *et al*. Development of Cloud-based Water Quality Monitoring System. *Journal of Artificial Intelligence and Computing*, v. 1, n. 1, p. 23-29, 2023.

CARVALHO, I. C. de M.; FRIZZO, T. C. E. Environmental Education in Brazil. In: Encyclopedia of Educational Philosophy and Theory. *Singapore: Springer Singapore*, 2016. p. 1–6.

GODOY, A.; AVELINO, N. Educação, meio ambiente e cultura: alquimias do conhecimento na sociedade de controle. *Educação em Revista*, v. 25, n. 3, p. 327–351, dez. 2009.

HLATSHWAYO, M. Leveraging artificial intelligence for monitoring and managing environmental resources. *Artificial Intelligence*, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/376984535_LEVERAGING_ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_FOR_MONITORING_AND_MANAGING_ENVIRONMENTAL_RESOURCES. Acesso em: 01 mar. 2025.

TAZOE, H. Water quality monitoring. *Analytical Sciences*, v. 39, p. 1-3, 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *World Water Quality Assessment*. 2023. Disponível em: https://www.unep.org. Acesso em: 06 set. 2024.

WORLD ECONOMIC FORUM. *The Global Risks Report 2023*. 2023. Disponível em: https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023. Acesso em: 06 set. 2024.