



Identificando Tecnologias Educacionais para o Ensino de Monitoramento Ambiental a partir dos Resultados de um Mapeamento Sistemático da Literatura

Luis Rivero, PPGCC, DCCMAPI, UFMA,
luis.rivero@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0001-6008-6537>
Alex Oliveira Barradas Filho, UFMA,
alex.barradas@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0002-4134-7129>
Mikele Candida S. de Sant'Anna, UFMA,
mikele.candida@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0002-9023-0154>
Davi Viana, PPGCC, DCCMAPI, UFMA,
davi.viana@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0003-0470-549X>
Nubia Fernanda Marinho Rodrigues, UFMA,
nubia.fernanda@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0003-3739-1597>
Adilson Matheus Borges Machado, UFMA,
adilson.borges@ufma.br, <http://orcid.org/0000-0002-4838-6913>
Marina de Miranda Martins, UFMA,
marina.martins@ufma.br, <https://orcid.org/0009-0005-8459-951X>
Marize Barros Rocha Aranha, UFMA,
aranha.marize@ufma.br, <http://orcid.org/0000-0002-6907-4636>

Resumo: Emergências, como incêndios ou desastres naturais, tornam o monitoramento ambiental uma ferramenta para minimizar danos e proteger vidas. Conscientizar os jovens sobre o meio ambiente e seu monitoramento é fundamental em direção à conquista de um planeta sustentável. Nesse contexto, o projeto Cientistas de Alcântara é uma iniciativa para inspirar a próxima geração em temas ambientais e disseminar o conhecimento sobre a metodologia científica. Nesse contexto, tecnologias educacionais digitais e não digitais devem ser aplicadas, de maneira a maximizar o interesse e motivação dos participantes. Este artigo apresenta um mapeamento sistemático da literatura visando identificar tecnologias que podem ser aplicadas no contexto do projeto Cientistas de Alcântara para apoiar o ensino de monitoramento ambiental. Ao todo, 14 tecnologias foram identificadas, indicando sua possibilidade de aplicação prática no contexto educacional.

Palavras-chave: Tecnologias Educacionais, Monitoramento Ambiental, Mapeamento Sistemático da Literatura.

Identifying Learning Technologies for Teaching Environmental Monitoring through the Results of a Systematic Mapping Study

Abstract: Emergencies, such as fires or natural disasters, make environmental monitoring a tool to minimize damages and protect lives. Raising awareness among young people about the environment and its monitoring is crucial towards achieving a sustainable planet. In this context, the Scientists of Alcântara project is an initiative to inspire the next generation on environmental issues and disseminate knowledge about the scientific methodology. In this scenario, digital and non-digital educational technologies should be implemented to maximize participants' interest and motivation. This article presents a systematic literature review aiming to identify technologies that can be applied in the context of the Scientists of Alcântara project to support environmental monitoring education. In total, 14 technologies were identified, suggesting their practical application possibility in an educational setting.

Keywords: Learning Technologies, Environmental Monitoring, Systematic Mapping Study.



1. Introdução

O monitoramento do meio ambiente desempenha um papel fundamental para promover a necessidade de preservar e proteger o planeta (Tziortzioti *et al.*, 2018; Scherrer *et al.*, 2008; Alò *et al.*, 2020). Ao observar as mudanças climáticas é possível coletar e fornecer dados objetivos sobre o estado atual do meio ambiente, além de estimular indivíduos e comunidades a adotar comportamentos mais sustentáveis e responsáveis (Collier *et al.*, 2015). Nesse contexto, o monitoramento ambiental desempenha um papel crucial na educação e sensibilização das gerações futuras (Khalaf *et al.*, 2022). Através do entendimento das consequências de ações da sociedade, podem-se moldar futuros comportamentos e atitudes que promovam a sustentabilidade (Chang *et al.*, 2012).

O projeto Cientistas de Alcântara foi proposto como uma iniciativa do Governo Brasileiro para apoiar a capacitação da comunidade local em termos científicos e tecnológicos, além da conscientização em temas de monitoramento ambiental. Entre os objetivos do projeto, destaca-se o desenvolvimento de projetos de iniciação científica pela abordagem STEAM (do inglês, Science – Technology – Engineering – Art – Mathematics), com o direcionamento em tecnologias espaciais e suas aplicações, em busca de promoção da sustentabilidade ambiental e de arranjos produtivos no território de Alcântara.

Considerando a necessidade de transferência eficaz de conhecimento, tecnologias educacionais no ensino oferecem uma série de vantagens. Esses recursos são projetados para enriquecer a experiência educacional, proporcionando aos alunos acesso a diferentes formas de conteúdo, como textos, vídeos, simulações e interações (Fernandes *et al.*, 2023; Alò *et al.*, 2020). Tecnologias educacionais (como jogos, objetos de aprendizagem, metodologias guiadas por tecnologia, entre outras) podem atender às diversas necessidades e estilos de aprendizagem dos alunos, promovendo maior engajamento e compreensão (Semaan *et al.*, 2021). Ao integrar tecnologias educacionais em ambientes de ensino, os educadores podem criar experiências de aprendizagem mais dinâmicas e envolventes, capacitando os alunos a explorar conceitos de maneira mais profunda e significativa.

Este artigo apresenta um mapeamento sistemático da literatura sobre tecnologias educacionais voltadas para o ensino de monitoramento ambiental, com o intuito de fazer um levantamento de quais são aplicáveis ao contexto do projeto Cientistas de Alcântara e, assim, auxiliar pesquisas futuras. Na Seção 2 são apresentados alguns trabalhos relacionados. Por sua vez, na Seção 3 é apresentado o planejamento do mapeamento sistemático. A Seção 4 apresenta uma síntese dos trabalhos analisados e sua aplicabilidade considerando as questões de pesquisa definidas para este mapeamento. Por fim, a Seção 5 apresentada as considerações deste trabalho e suas implicações para o ensino no contexto do projeto.

2. Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos, têm sido realizados estudos secundários para reunir características e evidências sobre o ensino de monitoramento ambiental. Essas pesquisas exploraram diversos aspectos, como (Ardoin; Bowers e Gaillard, 2020): o impacto comportamental nos discentes que participaram dos processo de ensino-aprendizagem; os locais onde há políticas de ensino de monitoramento ambiental; e a análise dos tipos de projetos realizados para impactar comunidades locais na conservação ambiental. Por exemplo, Brooks *et al.* (2013) fizeram uma análise sobre os fatores de sucesso em projetos de conservação ambiental, identificando a necessidade de planejar os projetos



cuidadosamente para serem eficazes, e que as características das comunidades locais podem facilitar o sucesso. Além disso, os autores identificaram que investir em educação ambiental nas comunidades locais pode facilitar a obtenção de resultados positivos ao reduzir os custos associados ao desenvolvimento e à aplicação de regras locais sobre o uso de recursos, fortalecendo a capacidade dos membros da comunidade de coordenar e cooperar em ações ambientais.

Por sua vez, Varela-Losada et al. (2016) realizaram uma revisão sistemática para analisar as propostas educacionais em contextos formais que foram publicadas nos principais periódicos de pesquisa em educação ambiental. Os autores analisaram as contribuições destas propostas educacionais, focando em pesquisas: baseadas na participação dos estudantes, que promoveram a reflexão sobre problemas ambientais complexos, que facilitaram o pensamento crítico, que encorajaram a autonomia, e que envolveram a comunidade local. Ao coletar informações sobre as propostas educacionais, os autores desse trabalho apresentaram pontos que requerem atenção, como a necessidade de focar em problemas ambientais complexos, a necessidade de permitir o pensamento crítico, a importância de realização de ações baseadas em tomadas de decisão independente, e a necessidade de que as propostas sejam baseadas no diálogo com a comunidade local.

Finalmente, o trabalho de Ardoin et al. (2020) analisou 105 estudos de educação ambiental focados na conservação do meio ambiente. Os resultados sugeriram que a educação ambiental pode ser eficaz ao abordar uma variedade de resultados de conservação e qualidade ambiental. Este resultado sugere que ações ambientais são impactadas pela criação de condições facilitadoras através do desenvolvimento da capacidade da comunidade; pelo apoio a mudanças reais nos comportamentos; e pelo envolvimento de indivíduos e comunidades em ações diretas relacionadas aos desafios e questões de qualidade ambiental. Os resultados permitem apoiar educadores na definição do papel educacional para desenvolver, apoiar e manter as ações individuais e coletivas no contexto ambiental.

Ao analisar os trabalhos de revisões da literatura no ensino de monitoramento ambiental, observa-se uma preocupação em caracterizar o estado atual de projetos de ensino, ações ambientais, programas educacionais e propostas educacionais. Os autores citados identificaram fatores de sucesso para estas propostas e atributos que podem perpetuar os impactos das ações ambientais e ações educacionais em conjunto com a sociedade. No entanto, tecnologias educacionais e sua aplicabilidade no contexto educacional não foram identificadas nas revisões. É necessário fornecer meios tecnológicos de apoiar o ensino de monitoramento e ações ambientais para que profissionais da educação possuam ferramentas educacionais que permitam alcançar de maneira mais eficaz e eficiente os objetivos educacionais no contexto ambiental. Neste sentido, a seção a seguir apresenta a metodologia adotada para a execução do mapeamento sistemático visando fazer o levantamento e categorização destas tecnologias.

3. Planejamento e Condução do Mapeamento Sistemático

A pesquisa foi realizada seguindo a metodologia de execução de mapeamentos sistemáticos considerando as orientações para condução de estudos secundários apresentadas por Kitchenham e Charters (2007). O procedimento de seleção e análise dos estudos compreendeu quatro etapas: (1) Formulação das questões de pesquisa e identificação dos termos-chave; (2) Busca nas bases de dados e definição e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão; (3) Análise completa dos estudos primários selecionados na etapa anterior; e (4) Reporte dos Resultados. As etapas 1 e 2 serão detalhadas nas



próximas subseções. Por sua vez, as etapas 3 e 4 serão descritas na Seção 4.

3.1. Questões de Pesquisa

No início da pesquisa, foram estabelecidas as questões de pesquisa e a partir delas foram derivadas as palavras-chave. A questão de pesquisa deste mapeamento foi:

"Quais tecnologias educacionais existem para o apoio ao ensino do monitoramento ambiental e como estas tecnologias têm sido aplicadas?"

Com o intuito de obter uma visão abrangente sobre a utilização das tecnologias identificadas no ensino de monitoramento ambiental, foram formuladas cinco sub-questões de pesquisa:

1. Que tecnologia foi proposta?
2. Qual é o público alvo da tecnologia?
3. Em que contexto metodológico de ensino a tecnologia foi aplicada?
4. Qual é o elemento ambiental monitorado?
5. Quais instrumentos foram necessários para a aplicação da tecnologia?

Com base na questão de pesquisa e trabalhos correlatos na área de tecnologias educacionais e/ou monitoramento ambiental (Oresotu; Beder e Otsuka, 2023; Carneiro e Silveira, 2012; Melo; Pessoa e Paschoal, 2022; Ardoin; Bowers e Gaillard, 2020) foram identificadas as palavras chave para conduzir a busca nas bases de dados selecionadas. As strings de busca utilizadas neste mapeamento sistemático foram:

1. ("differentiated instruction"OR "lecture-based learning"OR "technology-based learning"OR "group learning") AND ("monitoring"OR "observe") AND ("environmental"OR "ecosystem"OR "natural disaster");
2. ("individual learning"OR "inquiry-based learning"OR "game-based learning"OR "expeditionary learning") AND ("monitoring"OR "observe") AND ("environmental"OR "ecosystem"OR "natural disaster");
3. ("project-based learning") AND ("monitoring"OR "observe") AND ("environmental"OR "ecosystem"OR "natural disaster").

3.2. Busca por Estudos Primários e Aplicação de Critérios de Inclusão e Exclusão

Após a definição das Strings de busca, foram definidas as bases onde seriam buscados os trabalhos que descrevem tecnologias educacionais para o ensino de monitoramento ambiental. Nesse contexto, foram selecionadas as bibliotecas digitais internacionais, como IEEE eXplore, ACM, Ei Compendex, Science Direct e Scopus. Estas bibliotecas foram selecionadas pois permitem o uso de expressões lógicas para buscas precisas, apresentam um desempenho eficiente em suas ferramentas de busca e abrangem uma ampla gama de áreas de conhecimento em suas bases de dados (Petersen; Vakkalanka e Kuzniarz, 2015).

Após a aplicação das Strings de busca, um conjunto de publicações foi obtido a partir de bases digitais selecionadas. Para evitar que artigos não relacionados com o objetivo do estudo secundário fossem selecionados, foi necessário estabelecer critérios claros para a inclusão ou exclusão de uma publicação. Estes critérios não só garantem um processo de seleção objetivo, mas também proporcionam uma justificativa documentada para cada decisão, associando um ou mais critérios específicos a cada publicação considerada (Kitchenham; Charters *et al.*, 2007). Nesse contexto, os critérios de inclusão foram: (I1) O artigo deve apresentar uma proposta de metodologia de ensino; e (I2) O artigo deve descrever um caso de ensino na área de monitoramento ambiental. Por sua vez, os critérios de exclusão foram: (E1) O artigo não está disponível integralmente; e (E2) O artigo não está em inglês ou português. Para selecionar as publicações que foram utilizadas para abordar a questão de pesquisa, os pesquisadores aplicaram os critérios de



inclusão e exclusão em duas etapas distintas. Na primeira etapa, ocorreu o primeiro filtro, no qual os títulos e resumos dos artigos foram revisados para determinar se atendiam a algum dos critérios de inclusão. Se após a análise de um artigo, este foi considerado potencialmente relevante, ele avançou para a segunda etapa, na qual ocorreu a leitura completa da publicação para verificar se realmente atendia aos critérios de inclusão estabelecidos. A Tabela 1 apresenta o quantitativo de artigos identificados e selecionados em cada uma das etapas para cada uma das bibliotecas digitais consideradas.

Tabela 1. Resumo quantitativo de artigos selecionados por biblioteca digital após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Base	Total Retornado	Total Selecionado Filtro 1	Total Selecionado Filtro 2
IEEE Digital Library	26	1	1
ACM Digital Library	669	1	0
Ei Compendex	53	1	0
ScienceDirect	4907	12	4
Scopus	2796	24	9
Total	8451	39	14

4. Resultados Obtidos

Ao todo, 14 trabalhos foram identificados durante o mapeamento sistemático da literatura. Estes trabalhos descrevem tecnologias educacionais para o ensino de monitoramento ambiental, e foram analisados considerando a sub-questões de pesquisa propostas durante o planejamento do estudo secundário. A Tabela 2 apresenta um resumo dos trabalhos identificados, descrevendo para cada trabalho: o tipo de objeto de aprendizagem proposto; o Público Alvo (PA), podendo ser Alunos do Ensino Fundamental (EA), Alunos do Ensino Médio (EM) e/ou Adultos (A); e o conteúdo educacional apresentado. A seguir, estes trabalhos são descritos, explicando resumidamente a tecnologia proposta e a resposta às sub-questões de pesquisa definidas na Seção 3.1. A ordem de apresentação dos trabalhos se baseia na data de publicação (do mais recente ao mais antigo), seguido da ordem alfabética do nome do primeiro autor.

Fernandes et al. (2023) propuseram o uso de um jogo educacional em realidade aumentada (AR) e interação com sensores para engajar crianças de 7 a 11 anos no monitoramento da qualidade do ar. O jogo proposto permite às crianças interagirem com o ambiente virtual e sensorialmente monitorarem a qualidade do ar. Foram aplicadas as metodologias de aprendizado baseado em realidade aumentada e o experimento de Wizard of Oz, proporcionando uma experiência imersiva e interativa. A proposta incorporou aspectos de STEAM, incluindo conceitos de computação e ciências da educação.

Khalaf et al. (2022) propuseram a implementação de uma mini estação de monitoramento da qualidade do ar nos microambientes escolares do ensino fundamental, devido aos efeitos nocivos da má condição do ar, especialmente para as crianças. Na proposta, foi desenvolvido o Clean Air Outreach Project utilizando aprendizagem baseada em multimídia e internet, conectando pesquisas sobre a qualidade do ar com atividades em sala de aula. Foram realizadas apresentações utilizando recursos educacionais e a plataforma Kahoot para testar o conhecimento dos alunos. O projeto incorporou aspectos de STEAM, oferecendo aos alunos conhecimentos sobre ciências ambientais e química.

Puleo e Malladi (2022) propuseram tecnologias para o estudo da oceanografia entre alunos do ensino médio nos Estados Unidos, através do uso de um dispositivo de simulação de ondas chamado Wave Flume. O Wave Flume é uma calha de 2,44 metros equipada com um motor DC que produz ondas. Um lado da calha contém água e o outro



Tabela 2. Trabalhos identificados que apresentam tecnologias educacionais para o ensino de monitoramento ambiental.

Trabalho	Objeto de Aprendizagem	PA	Conteúdo Ensinado
(Fernandes <i>et al.</i> , 2023)	Jogo educacional baseado em Realidade Aumentada	EF / EM	Ar (Qualidade)
(Khalaf <i>et al.</i> , 2022)	Multimídia e Internet Clean Air Outreach Project	EF	Ar (Qualidade)
(Puleo e Malladi, 2022)	Dispositivo Wave Flume	EM	Água (Oceanografia)
(Alò <i>et al.</i> , 2020)	Estação de monitoramento ambiental utilizando Arduino	EF	Ar (Qualidade), Clima (Mudança climática), Acústica (Poluição)
(Tziortzioti <i>et al.</i> , 2019)	Um sistema de sensores projetado e desenvolvido por EM	EM	Água (Qualidade)
(Abdullah <i>et al.</i> , 2018)	Antena e pré amplificadores caseiros	EM	Monitoramento de Erupções solares
(Tangworakitthaworn <i>et al.</i> , 2018)	Aplicativo (serious game) para smartphone (utiliza AR)	EF / EM / A	Árvores
(Tziortzioti <i>et al.</i> , 2018)	Aplicativo (serious game) para smartphone	EF / EM	Água (Corpos hídricos)
(Guimarães; Rodrigues e Malafaia, 2017)	Workshop de Monitoramento Ambiental	EF	Água (Rios)
(Collier <i>et al.</i> , 2015)	U-Pod (equipamento de monitoramento)	EM	Ar (Qualidade)
(Hotaling e Stolkin, 2015)	Sistema de monitoramento da água por sensores	EF / EM	Água (Qualidade)
(Favier e Schee, 2014)	Aplicativo The Water Manager e Web Atlas EduGIS	EM	Água (Corpos hídricos)
(Chang <i>et al.</i> , 2012)	Aplicativo simulador 3D	EM	Água (Corpos
(Scherrer <i>et al.</i> , 2008)	Sensores de monitoramento de clima espacial	EM	Ar (Ionosfera)

possui uma quantidade de areia simulando uma praia. O objeto de aprendizagem também possui sensores que captam o movimento das ondas geradas. Utilizando aprendizagem baseada em investigação, os alunos foram estimulados a explorar conceitos científicos envolvendo aspectos de STEAM. A proposta pode permitir entender melhor os fenômenos relacionados às ondas e à interação entre o oceano e a costa.

Outra proposta para ensinar conceitos ambientais e promover o engajamento dos alunos na solução de problemas ambientais foi desenvolvida por Alo *et al.* (2020). A proposta foi voltada para alunos da 7ª série, em resposta ao contexto atual de mudanças climáticas globais. O objeto de aprendizagem é uma pequena estação de monitoramento ambiental, utilizando tecnologia Arduino de baixo custo. A metodologia empregada foi a aprendizagem baseada em projetos. Os alunos participam de cinco workshops abordando diferentes tópicos, incluindo mudança climática, poluição do ar, aquecimento global, poluição sonora e energias renováveis. Ao final dos workshops, os alunos montaram uma mini estação de monitoramento ambiental, que inclui diversos sensores, como sensor de gás, temperatura, umidade, ruído e umidade do solo, conectados a uma placa Arduino. O projeto incorporou aspectos de STEAM, oferecendo aos alunos uma experiência interdisciplinar e prática.

Em outro trabalho sobre monitoramento da qualidade da água, Tziortzioti *et al.* (2019) conscientizaram a comunidade escolar por meio de atividades educacionais STEM. A proposta foi focada em alunos do ensino médio, com idades entre 16 e 17 anos. Foi desenvolvido um sistema de sensores pelos alunos empregando o aprendizado baseado em design, que permite aos alunos aprenderem ao projetar e desenvolver soluções práticas. Desta forma, obteve-se uma aplicação automatizada e sensores instalados em lagos e rios, que monitoram e registram os parâmetros físico-químicos da água.



Em outro trabalho, foi realizada a construção de antenas e pré-amplificadores caseiros por discentes com idades entre 16 e 17 anos para fomentar o interesse por assuntos espaciais na Malásia (Abdullah *et al.*, 2018). O objeto de aprendizagem foi a própria antena e o componente pré-amplificador, incentivando os alunos a estudarem e inovarem no processo de construção. A metodologia empregada foi a aprendizagem baseada em investigação, estimulando a exploração ativa de conceitos científicos, tecnológicos, de engenharia e matemáticos. A partir do projeto, foi possível realizar o monitoramento de erupções solares, permitindo aos alunos estudarem e compreenderem melhor os fenômenos solares e seu impacto na Terra.

O trabalho de Tangworakithaworn *et al.* (2018) apresenta tecnologias para a conscientização ambiental diante do aumento do desmatamento na Tailândia. A tecnologia educacional proposta envolve o ensino de silvicultura através de metodologias práticas e de gamificação, direcionadas a crianças. O objeto de aprendizagem principal é um aplicativo de jogo sério para smartphones, que utiliza Realidade Aumentada, desafiando os alunos a cuidarem adequadamente de uma planta para avançarem de nível. Além disso, há a opção de um vaso de planta inteligente, equipado com sensores e uma placa controladora Raspberry Pi, para uma experiência física. A metodologia de ensino foi baseada em aprendizagem baseada em projetos e jogos, integrados ao conceito de Internet das Coisas (IoT). Nessa pesquisa, as árvores foram utilizadas como elemento ambiental monitorado, refletindo o compromisso com a preservação florestal.

Em outro trabalho selecionado, Tziortzioti *et al.* (2018) propuseram uma tecnologia educacional voltada para a conscientização e preservação ambiental em crianças e adolescentes, utilizando abordagens práticas e de gamificação para ensinar conceitos relacionados à conservação de corpos hídricos. O principal objeto de aprendizagem é um aplicativo de jogo sério para smartphones, que incentiva os alunos a utilizar dados coletados durante o monitoramento, realizar comparações e análises. Além disso, há a opção de um kit de monitoramento utilizando placa controladora Arduino e sensores, proporcionando uma experiência prática de aprendizado. A metodologia de desenvolvimento se baseou em Aprendizagem Baseada em Jogos, associada ao uso de IoT. Os instrumentos utilizados incluíram uma variedade de sensores, como sensor de pH, sensor de turbidez, sensor de temperatura, além de radio LoRa e módulo GPS, junto com serviços de nuvem para armazenamento de dados. Como no trabalho anterior, a proposta também envolveu aspectos de STEAM, incentivando a aprendizagem prática em ciências da natureza e o uso de tecnologias.

No trabalho de Guimarães *et al.* (2017) foram utilizados protocolos de avaliação rápida de rios como uma maneira de implementar o conhecimento dos alunos do ensino fundamental sobre questões ambientais. A proposta foi focada em alunos do ensino fundamental e foi realizado um Workshop de Monitoramento Ambiental, que visou engajar os alunos no aprendizado prático e significativo. Além disso, foram realizadas atividades ao ar livre para proporcionar aos alunos experiências práticas e imersivas no ambiente natural. O projeto envolveu aspectos de STEAM, permitindo que os alunos compreendam os processos ecológicos e os impactos humanos nos ecossistemas fluviais.

Outra tecnologia educacional em escolas do ensino fundamental e médio para o monitoramento da qualidade do ar foi proposta por Collier *et al.* (2015). A proposta foi desenvolvida considerando o projeto North Fork Valley (NFV) como base. O objeto de aprendizagem é o U-Pod, um equipamento de monitoramento de qualidade do ar open-source, equipado com sensores para medir diversos poluentes atmosféricos, como dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre outros. O elemento ambiental monitorado foi a qualidade do ar, promovendo a conscientização sobre os impactos da



poluição atmosférica. Nessa proposta, a metodologia de desenvolvimento do objeto de aprendizagem envolveu aprendizagem baseada em projetos e o uso de IoT, incorporando aspectos de STEAM ao incentivar os alunos a vivenciarem uma experiência prática no ensino das disciplinas relacionadas.

Em seu trabalho, Hotaling e Stolkin (2015) apresentaram o projeto SENSE IT (Student Enabled Network of Sensors for the Environment using Innovative Technology) em que os alunos aplicaram conceitos STEM para a construção, programação e teste de suas próprias redes de sensores de monitoramento ambiental. Ao todo, participaram do projeto 90 professores e 3000 alunos do ensino fundamental e médio. Ao aplicar conceitos de matemática e eletricidade, os alunos construíram, calibraram e testaram um conjunto de sensores e circuitos para medir uma variedade de parâmetros de qualidade da água (temperatura, condutividade, turbidez e profundidade). Os resultados da avaliação do projeto indicaram que o currículo foi bem recebido pelos professores e alunos e pode ser integrado a várias áreas de disciplinas e tipos de cursos diferentes.

Outro trabalho voltado para o monitoramento dos corpos hídricos é o trabalho de Favier et al. (2014). Os autores propuseram apoiar alunos a entenderem melhor os desafios relacionados à gestão da água e sua importância. A proposta foi aplicada para estudantes do ensino médio na Holanda, com idades entre 14 e 15 anos, focando no desenvolvimento do Pensamento Espacial. O objeto de aprendizagem proposto consiste em uma sequência que inclui o uso do jogo sério "The Water Manager" e do web atlas "EduGIS". O jogo oferece uma experiência imersiva na gestão dos recursos hídricos, enquanto o web atlas proporciona acesso online a informações geográficas. O projeto incorporou aspectos de STEAM aplicando uma metodologia de Aprendizado Baseado em Jogos, integrando conceitos de Ciência e Tecnologia ao aprendizado da Geografia.

O trabalho de Chang et al. (2012) descreve uma tecnologia educacional destinada a incentivar metodologias mais práticas no ensino de ciências da natureza, especialmente para estudantes do ensino médio. O objetivo foi contornar as limitações das abordagens "mão na massa" através da utilização de jogos virtuais que simulem a realidade. O objeto de aprendizagem foi um aplicativo simulador 3D chamado VBEE (Virtual Boat for Environment Education). Este objeto foca no monitoramento dos corpos hídricos, demonstrando o compromisso com a conscientização e preservação ambiental, além do aprendizado de conceitos relacionados à hidrologia. A metodologia de desenvolvimento do objeto de aprendizagem foi baseada em aprendizagem baseada em jogos, utilizando a plataforma Unity 3D para o desenvolvimento do jogo. As atividades do jogo ajudaram os alunos a compreender e praticar conceitos de matemática, engenharia e ciências.

Finalmente, Scherrer et al. (2008) focaram em incentivar o interesse de estudantes do ensino médio nos Estados Unidos pela exploração espacial e da heliosfera. Foram utilizados sensores de monitoramento de clima espacial aplicando a metodologia de aprendizagem baseada em investigação (Inquiry-based learning), que estimula os alunos a explorarem conceitos científicos através da investigação e experimentação. Os instrumentos utilizados incluíam um receptor eletromagnético sensível a frequências muito baixas e extremamente baixas. Essa proposta incorporou os aspectos de STEAM e focou em monitorar a ionosfera, proporcionando aos alunos a oportunidade de entender e estudar os fenômenos que ocorrem na atmosfera terrestre em resposta à atividade solar.

5. Discussão e Considerações Finais

O mapeamento sistemático da literatura sobre tecnologias educacionais voltadas para o ensino de monitoramento ambiental revelou 14 trabalhos. Nesse contexto, as tecnologias educacionais identificadas podem ser utilizadas para o ensino de



monitoramento ambiental no contexto brasileiro, fazendo adaptações considerando as especificidades ambientais do país e os desafios do sistema educacional. Inicialmente, propostas como a de Fernandes et al. (2023) poderiam ser adaptadas para engajar crianças brasileiras no monitoramento da qualidade do ar através de jogos de realidade aumentada. Este método não apenas cativaria o interesse dos alunos, mas também os educaria sobre a importância da qualidade do ar, crucial especialmente em áreas urbanas onde a poluição é um problema significativo. Por sua vez, o projeto de Khalaf et al. (2022), que envolve a implementação de mini estações de monitoramento da qualidade do ar em escolas, também é altamente pertinente para o Brasil. Considerando as vastas extensões territoriais e a diversidade ambiental, a conscientização sobre a qualidade do ar é crucial não apenas nas grandes cidades, mas também em áreas rurais e semiáridas, onde poluentes específicos podem ter impactos variados. A abordagem baseada em multimídia e internet, aliada a plataformas de aprendizagem interativas como o Kahoot, pode tornar o aprendizado mais envolvente e prático para os alunos brasileiros, incentivando-os a entenderem não apenas os conceitos científicos, mas também os desafios locais e globais relacionados ao meio ambiente.

Levando em consideração o estudo da oceanografia, como proposto por Puleo e Malladi (2022), adaptar tecnologias como o Wave Flume poderia enriquecer o ensino de estudantes do ensino médio no Brasil. Dada a extensa costa marítima e a importância econômica e ambiental dos oceanos para o país, experiências práticas e investigativas poderiam ajudar os alunos a compreender melhor fenômenos como ondas, correntes e interações oceânicas. Além disso, iniciativas como a de Alo et al. (2020), que utilizam tecnologia Arduino para criar estações de monitoramento ambiental de baixo custo, são particularmente relevantes para o contexto brasileiro. Essa abordagem não apenas promove a aprendizagem prática e a aplicação de conhecimentos em áreas como mudanças climáticas e poluição, mas também é acessível, adaptando-se às realidades econômicas e infraestruturais diversas do Brasil.

Vale a pena destacar que várias das tecnologias foram propostas considerando abordagens de ensino STEAM. A aplicação de metodologias STEAM pode ser particularmente eficaz ao integrar conceitos de computação e ciências, alinhando-se com as diretrizes educacionais contemporâneas que promovem uma abordagem interdisciplinar e prática. Além disso, seria possível criar experiências educacionais mais ricas e relevantes, capacitando os alunos a entenderem, monitorarem e contribuírem de forma significativa para a conservação e preservação do meio ambiente no Brasil.

A realização do mapeamento sistemático foi essencial para identificar e analisar as tecnologias educacionais disponíveis e sua aplicabilidade em diferentes contextos educacionais. Essa base de conhecimento é fundamental para orientar futuras pesquisas e práticas educacionais, permitindo o desenvolvimento e aprimoramento contínuo de abordagens eficazes de ensino de monitoramento ambiental. Portanto, este estudo serve como uma base para futuros trabalhos no campo da educação ambiental, não apenas no contexto do projeto Cientistas de Alcântara e sim para futuras pesquisas na área de educação ambiental, fornecendo ideias valiosas sobre as tecnologias educacionais disponíveis e seu potencial no engajamento dos alunos e na promoção da sustentabilidade ambiental. Ao adotar e adaptar essas tecnologias em diferentes contextos educacionais no contexto brasileiro, pretende-se apoiar a formação de cidadãos conscientes e responsáveis, capazes de enfrentar os desafios ambientais presentes e futuros.



Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da Agência Espacial Brasileira, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial - PPGAERO da Universidade Federal do Maranhão. Além disso, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Finalmente, os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- Abdullah, M.; Majid, R.; Bais, B.; Bahri, N.; Asillam, M. Fostering research aptitude among high school students through space weather competition. **Advances in Space Research**, Elsevier, v. 61, n. 1, p. 478–486, 2018.
- Alò, D.; Castillo, A.; Vial, P. M.; Samaniego, H. Low-cost emerging technologies as a tool to support informal environmental education in children from vulnerable public schools of southern chile. **International journal of science education**, Taylor & Francis, v. 42, n. 4, p. 635–655, 2020.
- Ardoin, N. M.; Bowers, A. W.; Gaillard, E. Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. **Biological conservation**, Elsevier, v. 241, p. 108224, 2020.
- Brooks, J.; Waylen, K. A.; Mulder, M. B. Assessing community-based conservation projects: A systematic review and multilevel analysis of attitudinal, behavioral, ecological, and economic outcomes. **Environmental evidence**, Springer, v. 2, p. 1–34, 2013.
- Carneiro, M. L. F.; Silveira, M. S. Objetos de aprendizagem sob o ponto de vista dos alunos: um estudo de caso. **RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**, 2012.
- Chang, T. J. *et al.* A sustainable model for water resources and environmental education. In: **ICSDEC 2012: Developing the Frontier of Sustainable Design, Engineering, and Construction**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 955–974.
- Collier, A. *et al.* On the development and implementation of a project-based learning curriculum for air quality in k-12 schools. In: IEEE. **2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. [S.l.], 2015. p. 1–7.
- Favier, T. T.; Schee, J. A. van der. The effects of geography lessons with geospatial technologies on the development of high school students' relational thinking. **Computers & Education**, Elsevier, v. 76, p. 225–236, 2014.
- Fernandes, J.; Brandão, T.; Almeida, S. M.; Santana, P. An educational game to teach children about air quality using augmented reality and tangible interaction with sensors. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, MDPI, v. 20, n. 5, p. 3814, 2023.
- Guimarães, A.; Rodrigues, A. S. d. L.; Malafaia, G. Rapid assessment protocols of rivers as instruments of environmental education in elementary schools. **Revista Ambiente & Água**, SciELO Brasil, v. 12, p. 801–813, 2017.



Hotaling, L.; Stolkin, R. Sensing the environment: Student-created water quality sensors. **Marine Technology Society Journal**, Marine Technology Society, v. 49, n. 4, p. 140–148, 2015.

Khalaf, Y.; Salama, C.; Kurorwaho, B.; D’eon, J. C.; Al-Abadleh, H. A. The “clean air outreach project”: A paired research and outreach program looking at air quality microenvironments around elementary schools. **Journal of Chemical Education**, ACS Publications, v. 100, n. 2, p. 681–688, 2022.

Kitchenham, B.; Charters, S. *et al.* **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. [S.l.]: UK, 2007.

Melo, S. M.; Pessoa, E. B.; Paschoal, L. N. Uma análise sistemática sobre o uso de chatbots para ensino de computação no Brasil. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 20, n. 2, p. 94–103, 2022.

Oresotu, R. O. P.; Beder, D. M.; Otsuka, J. L. Design de jogos colaborativos que incluam pessoas com transtorno do espectro autista: Uma revisão sistemática da literatura. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 21, n. 2, p. 120–130, 2023.

Petersen, K.; Vakkalanka, S.; Kuzniarz, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. **Information and software technology**, Elsevier, v. 64, p. 1–18, 2015.

Puleo, J. A.; Malladi, H. Making waves in the classroom—engaging students in stem through hands-on coastal oceanography and engineering. **Continental Shelf Research**, Elsevier, v. 245, p. 104793, 2022.

Scherrer, D. *et al.* Distributing space weather monitoring instruments and educational materials worldwide for Ihy 2007: The awesome and sid project. **Advances in Space Research**, Elsevier, v. 42, n. 11, p. 1777–1785, 2008.

Semaan, G. S. *et al.* Objetos de aprendizagem e pensamento computacional: um levantamento acerca do ensino de computabilidade. **Anais da IV Escola Regional de Informática do Rio de Janeiro**, SBC, p. 57–64, 2021.

Tangworakitthaworn, P.; Tengchaisri, V.; Rungsuptaweekoon, K.; Samakit, T. A game-based learning system for plant monitoring based on IoT technology. In: IEEE. **2018 15th international joint conference on computer science and software engineering (JCSSE)**. [S.l.], 2018. p. 1–5.

Tziortzioti, C. *et al.* Raising awareness for water pollution based on game activities using internet of things. In: Springer. **Ambient Intelligence: 14th European Conference, Aml 2018, Larnaca, Cyprus, November 12-14, 2018, Proceedings 14**. [S.l.], 2018. p. 171–187.

Tziortzioti, C.; Mavrommati, I.; Kalkavouras, C.; Dimitriou, E.; Chatzigiannakis, I. Observation and analysis of environmental factors of surface waters: An internet of things educational approach. In: IEEE. **2019 First International Conference on Societal Automation (SA)**. [S.l.], 2019. p. 1–7.

Varela-Losada, M.; Vega-Marcote, P.; Pérez-Rodríguez, U.; Álvarez-Lires, M. Going to action? a literature review on educational proposals in formal environmental education. **Environmental Education Research**, Taylor & Francis, v. 22, n. 3, p. 390–421, 2016.