

Desenvolvimento e Validação de uma Plataforma Web de Realidade Aumentada para Aplicações Educacionais

Ana Clara Vanzuita¹, Ana Fábila Coelho dos Santos¹, Jaqueline Mondini¹, Luis Felipe Küster¹, Renan Guilherme Klettenberg¹, Adilson Vahldick¹, Thalia Lichtenfels da Luz²

¹ Centro de Educação Superior do Alto Vale do Itajaí – Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – Ibirama – SC – Brasil

² Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional (PROFBIO) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis – SC – Brasil

{ac.vanzuita, afcd.santos44, jaqueline.mondini, luis.kuster0794, renan.klettenberg}@edu.udesc.br, adilson.vahldick@udesc.br, thalia.luz@posgrad.ufsc.br

Abstract. *EducaAR is a web-based Augmented Reality (AR) platform that uses textbooks as markers to display 3D models, allowing students to answer quizzes via mobile devices while teachers monitor their performance and access. The platform was tested by 31 high school students in Biology, with 3D models developed by Software Engineering undergraduates. Teachers rated its usability as excellent, and students reported high engagement and increased curiosity about the content. Tutorials were suggested for less tech-savvy teachers, and developers emphasized the need for training in simplified tools. Students showed lower confidence in complex concepts, indicating the need for complementary teaching strategies.*

Resumo. *EducaAR é uma plataforma web de Realidade Aumentada (RA) que utiliza livros didáticos como marcadores para exibir modelos 3D, permitindo que alunos respondam a questionários via dispositivos móveis, enquanto professores monitoram o seu desempenho e acesso. A plataforma foi testada por 31 alunos do Ensino Médio em Biologia, com modelos 3D desenvolvidos por alunos do Bacharelado em Engenharia de Software (BES). A usabilidade da plataforma foi avaliada positivamente por professores e os alunos relataram alto envolvimento e aumento na curiosidade sobre os conteúdos. Foram sugeridas a criação de tutoriais para docentes menos familiarizados com tecnologia, e os desenvolvedores destacaram a necessidade de treinamento em ferramentas simplificadas. Os alunos demonstraram menor confiança em conceitos complexos, indicando a necessidade de estratégias didáticas complementares.*

1. Introdução

Ambientes em RA misturam cenas reais e virtuais e não simplesmente substituem o mundo real pelo virtual, como acontece em cenas de Realidade Virtual (RV). Assim, o usuário consegue visualizar o mundo real, com elementos virtuais como vídeos, imagens e objetos tridimensionais (3D) na câmera do dispositivo [Chiu et al. 2018].

Em um contexto educacional, a RA pode auxiliar na captura da atenção dos alunos, fazendo com que se sintam motivados a participar das aulas e explorarem os conteúdos com mais atenção, contribuindo assim para a sua aprendizagem [Tutkun 2024]. Pela dificuldade inerente de alguns assuntos, com alto nível de exigência de abstração, como em química, matemática ou física, a visualização de modelos 3D auxilia o aluno na compreensão desses assuntos [Cardoso et al. 2014]. Com a difusão e o barateamento dos celulares, essa tecnologia pode ser popularizada para a promoção de uma educação de qualidade, visando mitigar a exclusão digital [Silva 2018b].

Apesar desses benefícios, há desafios na implantação da RA em sala de aula. [Patil et al. 2024] explicam que a RA necessita de software complexo e conexões de redes estáveis para proporcionar uma boa experiência. Além disso, eles salientam a necessidade de treinamento para professores, para que aprendam a lidar com a ferramenta e usá-la nas aulas. Assim, a falta de recursos tecnológicos e financeiros torna a implantação da RA nas escolas algo distante da realidade [Patil et al. 2024].

Embora exista uma ampla variedade de ferramentas para desenvolvimento de aplicações em RA [Dengel et al. 2022], apenas cinco são classificadas para professores sem conhecimentos de programação. Todas são baseadas em plataformas web e, conforme descrito no artigo, apenas uma oferece funcionalidades para criação de *quizzes* com rastreamento de respostas e acesso dos usuários. No entanto, ao tentar acessar essa ferramenta, verificou-se que o serviço foi descontinuado em 2024, tornando-a indisponível para uso. Logo, pode-se observar que existe uma grande lacuna na disponibilidade de ferramentas que possam dar suporte a professores com pouca ou nenhuma habilidade de programação.

Com base nessas questões apontadas, está sendo desenvolvida a EducaAR, uma plataforma de RA que reconhece imagens de livros pela câmera do celular ou *tablet* e exibe conteúdos 3D sobrepostos à imagem capturada. Essa abordagem no uso de RA é chamada de livro aumentado. O livro aumentado é um sistema que aumenta os elementos multimídia em um livro para trazer efeitos educacionais adicionais ou diversão [Yang et al. 2009]. Estes livros possuem vários marcadores, normalmente baseados em imagens, e quando o aluno aponta a câmera do dispositivo para uma imagem marcadora, uma cena é gerada e aparece na tela dele [Ivanova et al. 2014]. Uma cena é definida como a exibição do objeto virtual na tela após o sistema identificar a imagem marcadora [Vahldick et al. 2022].

A EducaAR é desenvolvida com tecnologias web. Dessa forma, é possível acessar o *website* de qualquer dispositivo sem a necessidade de instalar aplicativos, acessando apenas um navegador que suporte o sistema. Assim, considerando que os estudantes possuem diferentes dispositivos, usar uma aplicação web se torna mais apropriado, visto que essa tecnologia permite que uma mesma aplicação seja interoperável entre mais de um sistema operacional nos dispositivos móveis.

O objetivo da pesquisa é desenvolver e testar uma plataforma web de RA educacional, avaliando sua usabilidade, impacto no engajamento e viabilidade de uso em escolas, considerando a capacitação necessária para professores e desenvolvedores (como estudantes). Este estudo busca responder: (1) “Como a plataforma web de RA pode ser implementada de forma viável em escolas públicas?” e (2) “Qual é seu impacto no engajamento e aprendizagem de alunos do Ensino Médio?”.

2. Metodologia

A *Design-Based Research* (DBR) é uma abordagem iterativa e intervencionista focada na criação de artefatos e teorias educacionais práticas e reproduzíveis, aplicáveis em contextos do mundo real [Brown 1992]. Essa metodologia enfatiza a relação entre teoria e prática, em que pesquisadores desenvolvem e testam protótipos, refinando suas ideias até que elas se transformem em teorias bem fundamentadas [Akker et al. 2006]. O aprimoramento gradual dos protótipos e das teorias que os sustentam leva a percepções valiosas sobre ações eficazes para a aprendizagem [Majgaard et al. 2011].

A primeira iteração com o uso da plataforma e o resultado do aperfeiçoamento estão descritos em [Vahldick et al. 2022] e [Vahldick et al. 2023]. O presente trabalho apresenta o resultado da intervenção no seu segundo ciclo. Essa pesquisa foi aplicada na Escola de Educação Básica Gertrud Aichinger, no primeiro ano do Ensino Médio, na disciplina de Biologia, com uma amostra de 31 alunos ($n=31$). Eles foram divididos em duplas, e uma das equipes em trio, onde a cada equipe foi distribuído um *tablet* para uso exclusivo nas aulas de biologia. A disciplina contava com duas professoras: uma conteudista e outra de experimentações laboratoriais.

A metodologia desse ciclo contou com três momentos, conforme ilustrado na Figura 1. Esses três momentos serão explanados na sequência.

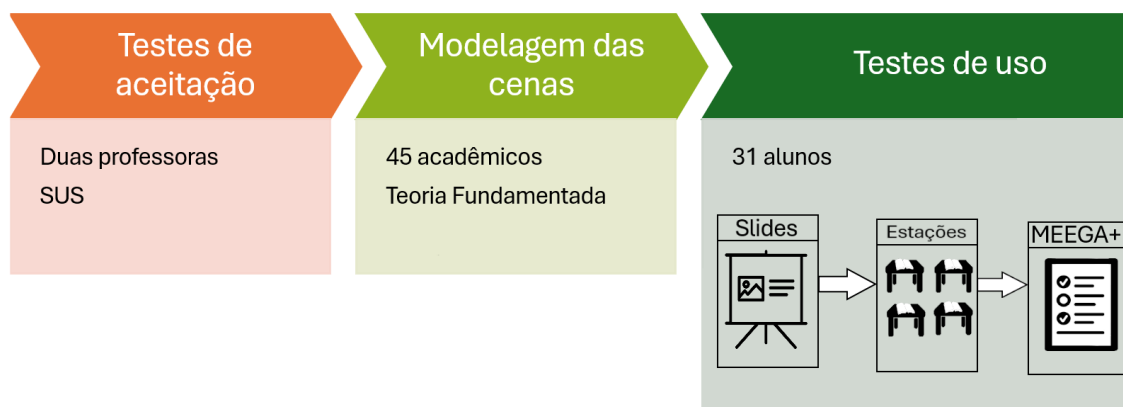


Figura 1. Metodologia adotada.

Uma das motivações desse ciclo foi promover o teste da plataforma pelos alunos, e desafiar as professoras em definirem estratégias pedagógicas para a aplicação da RA nas suas aulas. A primeira estratégia didática usada foi fornecer os livros aos alunos, e enquanto a professora explicava através de *slides*, ela parava a explicação com a imagem a ser encontrada por eles, e rastreada com a EducaAR. Ela continuava após todos terminarem de responder as questões relacionadas. E na outra estratégia didática, foi dividir o material em estações na sala, onde ela organizava as páginas relacionadas ao assunto da estação. Os alunos estavam liberados para usarem os seus próprios dispositivos, andavam e exploravam livremente as estações, onde podiam também rastrear as imagens e responder aos questionários. A EducaAR a ser apresentada nesse artigo já considera os aprimoramentos de acordo com as melhorias apontadas tanto pelos alunos quanto pelas professoras e é considerado o resultado desse segundo ciclo.

Os modelos 3D usados nas cenas foram desenvolvidos pelos alunos da disciplina Fundamentos em Engenharia de Software (FES) do primeiro semestre do BES da Uni-

versidade do Estado de Santa Catarina, como tarefas para cumprirem os créditos de extensão¹. Os acadêmicos do BES foram organizados em 15 equipes. O professor de FES contou com o auxílio das professoras que forneceram o livro didático (Biologia Hoje v. 1 de Sérgio Linhares) e estipularam os assuntos que cada equipe devia explorar (Unidade 3: Células). Além da modelagem das cenas, as equipes ficaram responsáveis pela elaboração das questões avaliativas de cada cena. As professoras foram entrevistadas para elucidar eventuais dúvidas das equipes, assim como acompanharam e avaliaram a evolução de cada equipe durante o desenvolvimento. Antes da utilização pelos alunos do Ensino Médio, todo o material foi revisado pelas professoras de Biologia e pelo professor da disciplina. Após as entregas finais, cada equipe respondeu a um questionário com quatro questões abertas (Tabela 1) relatando a sua experiência com essa tarefa.

Tabela 1. Questões de desenvolvimento

Questões	Itens
Q1	Enumere as ferramentas que a equipe utilizou para desenvolver o trabalho.
Q2	Comentem sobre o esforço dispendido no desenvolvimento do trabalho (os membros já tinham conhecimento das ferramentas? realizaram uma pesquisa das ferramentas ou usaram aquilo que o professor listou?) e as dificuldades.
Q3	Enumerem os passos (relacionando as ferramentas usadas) para modelar as cenas.
Q4	Justifiquem a resposta de vocês em relação à validade da tarefa. Valeu a pena esse trabalho? Os membros da equipe aprenderam alguma coisa de novo? Vocês acham que podemos continuar com esse tipo de trabalho para o próximo semestre?

Os questionários foram avaliados utilizando as técnicas da Teoria Fundamentada [Charmaz 2009], que é uma metodologia de pesquisa qualitativa que gera teorias a partir de dados sistematicamente coletados, codificados e analisados do mundo real. A pergunta de pesquisa que orientou essa análise com a Teoria Fundamentada foi: “Como as equipes de desenvolvimento descrevem sua experiência na criação de modelos 3D e questões para a plataforma EducaAR, considerando as ferramentas utilizadas, os desafios enfrentados e os impactos no aprendizado?”

Antes de realizar o segundo ciclo, foram realizados Testes de Aceitação da plataforma para avaliar a usabilidade na visão das duas professoras da disciplina de biologia. Esse teste consiste em realizar verificações com o objetivo de garantir que o sistema a ser entregue esteja alinhado com as expectativas do usuário e os requisitos do sistema [Nadiyah e Faaizah 2015]. Dessa forma, o teste realizado com as professoras consistiu em acessar a EducaAR e realizar algumas tarefas da plataforma. Então, através de um formulário, elas responderam 10 afirmações (Tabela 2) com base na escala SUS que procura entender a visão do usuário sobre aspectos de usabilidade [Brooke 1995]. Os 10 itens seguem a escala *Likert*, com cinco níveis de concordância, que vão de “discordo totalmente” até “concordo totalmente”. Os resultados são avaliados através de uma classificação utilizando adjetivos [Ismail et al. 2021]. Dessa forma, a avaliação da usabilidade da EducaAR através do ponto de vista do usuário é facilitada.

Ao final da experiência, os estudantes responderam 12 itens selecionados do instrumento MAREEA [Herpich et al. 2019], com cinco níveis de concordância na escala

¹ A Lei nº 13.005 [Brasil 2014] prevê a existência de, no mínimo, 10% dos créditos curriculares totais pertencentes em programas e projetos de extensão. A extensão universitária visa uma troca de conhecimento entre a universidade e a comunidade, disseminando os saberes adquiridos na universidade para a comunidade.

Tabela 2. Itens do SUS

Questões	Itens do SUS
Q1	Eu acho que gostaria de utilizar essa funcionalidade com frequência.
Q2	Eu acho que esta funcionalidade é mais complexa do que deveria ser.
Q3	Eu achei a funcionalidade fácil de usar.
Q4	Eu acho que precisaria de uma pessoa com conhecimentos técnicos para utilizar a funcionalidade.
Q5	Eu acho que as várias opções da funcionalidade estão muito bem claras.
Q6	Eu acho que a funcionalidade apresenta muitas inconsistências.
Q7	Eu imagino que as pessoas aprenderão a utilizar essa funcionalidade rapidamente.
Q8	Eu usei a funcionalidade atrapalhada de usar.
Q9	Eu me senti confiante ao usar a funcionalidade.
Q10	Precisei aprender vários conceitos novos antes de utilizar a funcionalidade.

Likert (“discordo totalmente” até “concordo totalmente”). Esse modelo consiste em avaliar a percepção deles das contribuições da RA nas experiências em sala de aula baseados em quatro fatores: usabilidade, engajamento, motivação e aprendizagem ativa.

Tabela 3. Itens do MAREEA

Questões	Itens do MAREEA
Q1	Aprender a usar este aplicativo de realidade aumentada foi fácil.
Q2	A interface deste aplicativo de realidade aumentada é atraente.
Q3	O conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada vale a pena.
Q4	Eu me senti envolvido nas tarefas deste aplicativo de realidade aumentada.
Q5	O conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada despertou minha curiosidade.
Q6	Está claro para mim como o conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada está relacionado com as coisas que conheço.
Q7	Completar com sucesso as atividades com este aplicativo de realidade aumentada foi importante pra mim.
Q8	Estou confiante de que aprendi o conteúdo educacional mais complexo usando este aplicativo de realidade aumentada.
Q9	Eu realmente gostei de estudar com este aplicativo de realidade aumentada.
Q10	Os elementos deste aplicativo de realidade aumentada são úteis para o meu aprendizado.
Q11	Este aplicativo de realidade aumentada me permite interagir com simulações que dificilmente realizaria no mundo real.
Q12	As simulações neste aplicativo de realidade aumentada são úteis para praticar os casos de vida real antes de realizá-las no laboratório real.

3. Fundamentação teórica

Com a adoção da RA em sala de aula, o aluno se torna sujeito ativo do seu aprendizado, pois através da sua ação, com o uso do celular e interagindo com o material instrucional, obtém algum resultado da tecnologia, ou seja, a exibição dos objetos virtuais [Pedrosa e Zappala-Guimarães 2019]. Essa promoção da concentração leva a uma educação intensa e focada.

Um sistema de RA basicamente desempenha duas tarefas: registro com rastreamento e renderização [Carmigniani e Furht 2011]. No rastreamento, o sistema interpreta a posição e/ou as imagens da câmera, ou seja, técnicas sem marcadores e baseadas em marcadores [Syed et al. 2023]. A técnica sem marcadores realiza o rastreamento por meio da captura direta de características do ambiente físico, sem a necessidade de padrões ou códigos de referência pré-definidos. Essa categoria possui duas subdivisões: rastreamento

baseado em sensor e rastreamento baseado em visão. O rastreamento baseado em sensor utiliza diversos sensores que captam movimentos e posições para o funcionamento da RA [Silva 2018a], também conhecido como rastreamento baseado em localização. Já o rastreamento baseado em visão se refere ao rastreamento que possui métodos que calculam a posição da câmera em relação aos objetos reais [Zhou et al. 2008], em busca de planos horizontais e/ou verticais.

O rastreamento baseado em marcadores também pode ser dividido em dois: marcadores fiduciários e imagens. Esse tipo de rastreamento consiste em guardar o marcador no banco de dados e, então, ao aparecer a imagem associada àquele marcador, o sistema detecta a localização do marcador e, então, apresenta o objeto virtual [K B et al. 2020]. Dessa forma, a diferença entre ambos é que o rastreamento baseado em imagens consiste em identificar características de qualquer imagem [Febrihartanti et al. 2024]. Por outro lado, o marcador fiduciário é uma imagem de cor preta e branca contendo formas geométricas específicas (quadrados, círculos, letras e números) para reconhecimento rápido [Febrihartanti et al. 2024].

4. Trabalhos relacionados

Conforme já mencionado, [Dengel et al. 2022] realizaram um levantamento de ferramentas, plataformas e ambientes para produção e gestão de RA, e citaram cinco desses que estariam disponíveis para professores sem conhecimento de programação como um ambiente completo. Analisando os cinco: dois são comerciais (Vuforia Studio e BlippAR) e os outros três não estão mais disponíveis. Logo, procurou-se buscar outros trabalhos que foram citados ou citaram [Dengel et al. 2022]. Como resultado, foram analisados três ambientes: FI-AR [Coma-Tatay et al. 2019], WebART [Liu et al. 2022] e MIXAP [Ez-Zaouia et al. 2023].

FI-AR é uma plataforma que empacota os exercícios seguindo o padrão *Sharable Content Object Reference Model* (SCORM), permitindo *Learning Management System* (LMS) compatíveis que possam executar o pacote. As lições contêm uma sequência de atividades, cada uma composta por uma cena de RA (modelo 3D ou vídeo) e uma questão que pode ser do tipo verdadeiro/falso, múltipla escolha ou de apontar para um objeto ou parte dele. O rastreamento é realizado pelo reconhecimento de marcadores fiduciários.

O rastreamento do WebART também é feito através de marcadores fiduciários. Existem dois modos: o rastreamento de um marcador e o de dois marcadores. Esse último modo permite configurar que um modelo 3D seja exibido quando dois marcadores específicos estiverem visíveis na câmera.

O rastreamento do MIXAP é por imagens. Para as cenas de RA são suportadas imagens, vídeos, áudios, modelos 3D e menus interativos. Possui uma atividade de verificação se a imagem capturada corresponde ao marcador esperado. Outra atividade permite o rastreamento de múltiplos marcadores.

Os trabalhos não forneceram informações sobre como acessá-los. O WebART e o MIXAP foram testados por professores e o FI-AR por usuários selecionados. Nenhum dos artigos citou os ambientes sendo testados pelos estudantes.

5. Projeto e desenvolvimento da plataforma

A EducaAR utilizou uma biblioteca de RA para web chamada MindAR² que suporta rastreamento de imagens e faces. O código da MindAR é desenvolvido na linguagem de programação JavaScript.

O processo de reconhecimento da imagem como marcador começa com a sua compilação. Esse processo tem como objetivo identificar pontos em uma imagem que posteriormente serão reconhecidos quando a câmera apontar para aquela imagem [Vahldick et al. 2023]. Dessa forma, o sistema não precisa reconhecer a imagem completa, reduzindo o tempo de rastreamento.

Existe uma estrutura de como o conhecimento está organizado na EducaAR. Um conteúdo é composto por um conjunto de atividades, que por sua vez, pode estar relacionado a um conjunto de questões. Um conteúdo deve ser entendido como um conjunto de atividades relacionadas. A granularidade do conteúdo depende da programação do professor em relação às suas aulas. Um conteúdo pode ser um capítulo ou uma seção do livro. Ele pode também corresponder a um painel feito de cartolina exposto no mural ou até ser um livro completo de leitura. Cada atividade corresponde a uma cena de RA. A cena de RA vem para estimular a curiosidade do aluno, pois ele não sabe antemão quais imagens podem ser detectadas. O aluno movimenta o celular sobre as páginas, até a renderização de uma cena de RA. As questões são visualizadas sobre uma atividade. Quando o aluno visualiza uma cena de RA, podem ser apresentadas questões de múltipla escolha em relação àquela cena. É a oportunidade do professor estimular o aluno a encontrar alguma informação na página ao redor da imagem, e com isso o aluno interpretar a pergunta e raciocinar sobre a informação encontrada.

A EducaAR possui visualizações diferentes conforme o tipo de usuário conectado. Se o usuário for professor, o sistema apresenta funcionalidades para a manutenção (criação e alteração) da estrutura de conhecimento e acompanhamento do progresso dos alunos. Nesse perfil, o sistema deve ser acessado pelo navegador de um computador. Para o usuário do tipo aluno, o sistema foi desenvolvido para ser acessado de um dispositivo móvel (celular ou *tablet*). Esse usuário acessa as cenas em RA e responde as questões de múltipla-escolha. Além dos tipos de usuários professor e aluno, ainda existem outros dois tipos: administrador e desenvolvedor. Ao usuário administrador cabem tarefas em relação à estrutura da escola: turmas, alunos, professores e disciplinas. Ao usuário desenvolvedor é permitido criar as atividades e os questionários. Os conteúdos são exclusivamente criados pelos professores. A proposta para aplicação na escola é que os professores definam os conteúdos e os alunos, no papel de desenvolvedores, criem os modelos 3D. Dessa forma, os estudantes tornam-se protagonistas na construção do conhecimento, em vez de apenas consumirem passivamente as cenas de RA.

A Figura 2 apresenta a listagem de conteúdos. A partir dessa figura, pode-se ter uma noção da interface da aplicação. Os menus na lateral esquerda demonstram as tarefas do professor: manter cadastro de conteúdos, manter o cadastro de atividades, listar a situação quanto à quantidade total de questões respondidas ou pendentes por aluno, listar em detalhes as respostas dos alunos e apresentar em gráfico a frequência de acessos ao sistema. Além disso, na listagem pode-se constatar a interface geral do sistema. Em cada

²<https://hiukim.github.io/mind-ar-js-doc/>

linha, estão apresentados o nome do conteúdo, a disciplina, a série e mais os botões de manutenção do cadastro de conteúdos.

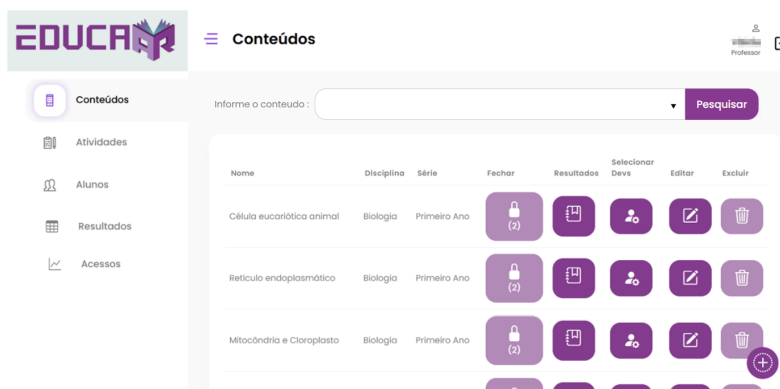


Figura 2. Listagem de conteúdos.

A Figura 3 apresenta a página acessível a partir de **Resultados** no menu lateral. Ela apresenta a visão geral das respostas de todos os alunos de todas as questões dos conteúdos. Com isso, o professor consegue ter acesso aos erros (ícone vermelho), acertos (ícone verde) e questões não respondidas (ícone amarelo) de cada aluno. Quando o professor deixa o mouse repousado sobre um ícone, é apresentada a pergunta e a alternativa respondida pelo aluno. A partir disso, o professor consegue perceber quais são os assuntos menos compreendidos pelos estudantes, podendo assim focar nesses conteúdos.

Quando o aluno se autentica, são listadas as disciplinas em que ele está matriculado. Após selecionar a disciplina, são listados todos os seus conteúdos como botões. Ao pressionar em um desses botões, o sistema carrega a página com o componente de escaneamento (Figura 4a) com todas as atividades daquele conteúdo. No momento em que é rastreado o marcador, então é renderizado o modelo 3D (Figura 4b). Na mesma página é possível observar que na parte inferior são exibidos três botões: o primeiro para retornar à página com a listagem de conteúdos, o segundo para acessar o questionário e outro para “congelar” o modelo, ou seja, dar a liberdade para o aluno manipular (rotacionar e aumentar ou diminuir a visualização) o modelo 3D sem precisar estar fixo sobre o marcador. Isso facilita manejar o modelo, pois se o celular sair do rastreamento do marcador, a cena é perdida e retorna para a página de escaneamento. Ao pressionar no botão para acessar o questionário, são exibidas as questões da atividade. Toda vez que essa página é acessada, tanto a ordem das questões quanto a das alternativas de cada questão são reordenadas.

6. Resultados e Discussão

As seguintes conclusões foram alcançadas para atender a questão de pesquisa com a Teoria Fundamentada, “Como as equipes de desenvolvimento descrevem sua experiência na criação de modelos 3D e questões para a plataforma EducaAR, considerando as ferramentas utilizadas, os desafios enfrentados e os impactos no aprendizado?” usando as respostas das 15 equipes:

- **Ferramentas usadas:** predominaram o Vectary (n=10) e o Blender (n=7), com uso complementar de um repositório de modelos 3D (SketchFab) e uso de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) (Meshy) para modelos iniciais simples usados como base para serem aprimorados;

Figura 3. Respostas dos alunos da turma.



- **Desafios técnicos enfrentados:** 14 equipes responderam que nenhum dos integrantes tinha conhecimento prévio das ferramentas, exigindo muitas horas de estudos em tutoriais;
- **Impactos no aprendizado:** foram citadas aquisição de habilidades técnicas, trabalho em equipe e resiliência frente a falhas técnicas oriundas do aprendizado.

- Necessidade de treinamentos focados em ferramentas simplificadas (p.e. Vectary). Apesar de não ser mais necessário conhecimentos de programação para usar a RA, ainda se faz necessário conhecimentos técnicos de modelagem;
- Organizar as tarefas para que os modelos iniciais, estejam disponíveis no repositório SketchFab e/ou gerados por ferramenta de IA. Os possíveis trabalhos desenvolvidos pelos alunos da escola básica deveriam ser gradualmente complexos.

Em relação aos testes de aceitação, todas as funcionalidades (criação de conteúdo, atividades, questionários) foram classificadas como “Excelente” (escores 91,3–97,5). As professoras testaram as funcionalidades sem nenhuma instrução prévia. De acordo com elas, todas as funcionalidades eram intuitivas e de rápida assimilação, o que corrobora a classificação do SUS. Contudo, elas sugeriram a disponibilização de tutoriais em vídeo, e até uma capacitação inicial, pois afirmaram que há professores que têm dificuldades com novas tecnologias. O objetivo principal deste teste inicial não foi obter uma medida populacional definitiva da usabilidade, mas sim realizar um teste de aceitação exploratório. As professoras atuaram como especialistas no domínio (conteúdo de Biologia) e no contexto de uso pretendido (sala de aula), fornecendo *feedback* profundamente contextualizado e *insights* valiosos sobre a adequação da plataforma ao fluxo de trabalho.

Ao final da experiência, os alunos responderam a um instrumento adaptado do MAREEA (Tabela 3) [Herpich et al. 2019]. A Figura 5 apresenta a média de cada item dessa avaliação. Pode-se observar que todos os itens foram bem avaliados, ou seja, as médias foram acima de 3 (com cinco níveis de concordância na escala *Likert*). O item Q8 foi com a menor média ($\mu = 3,4$). Esse valor pode ser interpretado em conjunto com (1) as médias dos itens Q4 e Q5, ambos com $\mu = 3,8$, e (2) com as observações das professoras, em que os alunos, quando podiam usar seus próprios dispositivos, acabavam por usar em atividades não relacionadas à aula (p.e., acessar redes sociais), aumentando a possibilidade de dispersão durante as atividades.

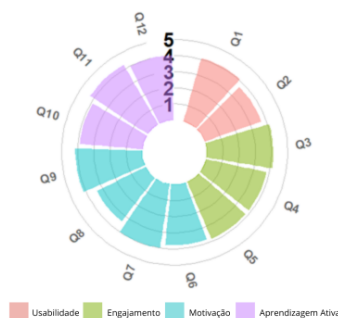


Figura 5. Resultados da avaliação MAREEA

Os resultados do MAREEA demonstram que, embora a tecnologia tenha se mostrado funcional, sua implementação em sala de aula exige estratégias didáticas cuidadosamente estruturadas para evitar a dispersão e maximizar a aprendizagem. Como diretrizes práticas, recomenda-se, (1) para evitar o uso passivo da ferramenta e manter o foco, sugere-se definir um tempo limite de uma tarefa para anotar no caderno a interpretação de uma cena, e (2) aplicar atividades de reforço após as aulas, por exemplo, com avaliações interativas por meio de um *quiz*.

7. Conclusões e trabalhos futuros

Este estudo buscou responder a duas questões principais: (1) Como a plataforma web de RA pode ser implementada de forma viável em escolas públicas? e (2) Qual é seu impacto no engajamento e aprendizagem de alunos do Ensino Médio?. Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que o EducaAR demonstra viabilidade para implementação em escolas públicas, principalmente devido à sua natureza baseada na web, que elimina a necessidade de instalação de aplicativos e reduz custos operacionais. Além disso, a

plataforma foi avaliada positivamente por professores e alunos, destacando-se pela usabilidade e pelo potencial de engajamento dos estudantes. As professoras perceberam que é mais fácil, devido à interatividade, ensinar assuntos com estruturas microscópicas. No entanto, a adoção efetiva requer o desenvolvimento de estratégias didáticas que integrem a tecnologia ao ensino tradicional, evitando a dispersão dos alunos.

Em comparação com trabalhos correlatos, como FI-AR, WebART e MIXAP, o EducaAR se destaca por sua acessibilidade e flexibilidade. Enquanto outras plataformas dependem de marcadores fiduciários ou têm disponibilidade limitada, o EducaAR utiliza tecnologias web e marcadores baseados em imagens, tornando-o mais adaptável a diferentes contextos educacionais. A plataforma foi usada por 31 alunos com seus celulares ou tablets, e nos seus computadores foram 15 equipes de desenvolvimento e 2 professoras. Além disso, a inclusão de funcionalidades como questionários interativos e acompanhamento do desempenho dos alunos oferece vantagens adicionais em relação às soluções existentes.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Incluir recursos multimídia adicionais, como vídeos, imagens e som, assim como conteúdo interativo;
- Incluir outros tipos de atividades avaliativas, como a seleção da alternativa diretamente na cena, ou usar recursos de captura para responder a questão;
- Desenvolver tutoriais e programas de treinamento para professores, especialmente aqueles menos familiarizados com tecnologias digitais;
- Desenvolver tutoriais e programas de treinamento para modelagem 3D com ferramentas de simplificadas.

A plataforma está disponível em <https://educaar.ceavi.udesc.br> porém os dados para autenticação devem ser solicitados aos autores.

8. Agradecimentos

Esse trabalho foi financiado pelo Programa FAPESC Jovens Projetos – SC pelo Termo de Outorga nº 2021TR001873. Também agradecem o apoio financeiro na infraestrutura do Grupo de Pesquisa Engenharia e Desenvolvimento de Tecnologia da Informação através do Termo de Outorga nº 2023TR000246.

Referências

- Akker, J. v. d., Gravemeijer, K., McKenney, S., e Nieveen, N. (2006). *Introducing Educational Design Research*, pages 3–7. Routledge.
- Brasil (2014). Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014. aprova o plano nacional de educação - pne e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*.
- Brooke, J. (1995). Sus: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.*, 189.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The journal of the learning sciences*, 2:141–178.
- Cardoso, R. G. S., Pereira, S. T., Cruz, J. H., e Almeida, W. R. M. (2014). Uso da realidade aumentada em auxílio à educação. *Computer on the Beach*.

- Carmigniani, J. e Furht, B. (2011). Augmented reality: an overview. *Handbook of augmented reality*, pages 3–46.
- Charmaz, K. (2009). *A construção da teoria fundamentada: guia prático para análise qualitativa*. Bookman Editora.
- Chiu, P. H., Tseng, P. H., e Feng, K. T. (2018). Interactive mobile augmented reality system for image and hand motion tracking. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67:9995–10009.
- Coma-Tatay, I., Casas-Yrurzum, S., Casanova-Salas, P., e Fernández-Marín, M. (2019). Fi-ar learning: a web-based platform for augmented reality educational content. *Multimedia Tools and Applications*, 78(5):6093–6118.
- Dengel, A., Iqbal, M. Z., Grafe, S., e Mangina, E. (2022). A review on augmented reality authoring toolkits for education. *Frontiers in Virtual Reality*, 3:798032.
- Ez-Zaouia, M., Marfisi-Schottman, I., e Mercier, C. (2023). Authoring tools: the road to democratizing augmented reality for education. In *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Supported Education*, volume 1, pages 115–127.
- Febrihartanti, V. W., Hantono, B. S., e Nasikun, A. (2024). Analysis of marker factors effect on the detection process of image-based tracking in web augmented reality. In *ICITEE 2024 - Proceedings of the 16th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering 2024*, pages 380–385. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Herpich, F., Nunes, F., Petri, G., Nicolete, P., e Tarouco, L. (2019). Modelo de avaliação de abordagens educacionais em realidade aumentada móvel. *RENOTE*, 17(1):355–364.
- Ismail, I. E., Elisa Nalawati, R., e Putra, A. (2021). System usability scale and net promoter score on donation application of toddlers equipment. In *2021 4th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE)*, pages 170–174. IEEE.
- Ivanova, G., Aliev, Y., e Ivanov, A. (2014). Augmented reality. textbook for future blended education. In *International Conference on e-Learning*, volume 14, pages 130–136.
- K B, A., Patil, P. N., e R, S. (2020). Tracking methods in augmented reality – explore the usage of marker-based tracking. *SSRN Electronic Journal*.
- Liu, E., Cai, S., Liu, Z., e Liu, C. (2022). Webart: Web-based augmented reality learning resources authoring tool and its user experience study among teachers. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(1):53–65.
- Majgaard, G., Misfeldt, M., e Nielsen, J. (2011). How design-based research and action research contribute to the development of a new design for learning. *Designs for Learning*, 4:8–27.
- Nadiyah, R. S. e Faaizah, S. (2015). The development of online project based collaborative learning using addie model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195:1803–1812. World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship.
- Patil, V., Pol, U., Bhosale, J., e Valekar, N. (2024). The Application and Challenges of AR and VR Technologies in the Education Sector. *NAVJYOT, International Interdisciplinary Research Journal, ISSN*, pages 112–115.

- Pedrosa, S. M. P. d. A. e Zappala-Guimarães, M. A. (2019). Realidade virtual e realidade aumentada: refletindo sobre usos e benefícios na educação. *Educação e Cultura Contemporânea*, 16:123–146.
- Silva, C. C. D. (2018a). Design de interação: diretrizes para projetos de realidade aumentada.
- Silva, I. A. d. (2018b). O potencial da realidade aumentada na educação. *CIET:EnPED*.
- Syed, T. A., Siddiqui, M. S., Abdullah, H. B., Jan, S., Namoun, A., Alzahrani, A., Nadeem, A., e Alkhodre, A. B. (2023). In-depth review of augmented reality: Tracking technologies, development tools, ar displays, collaborative ar, and security concerns. *Sensors*, 23(1).
- Tutkun, C. (2024). Teacher views on the use of augmented reality in preschool education. In Ekwueme, C. M., editor, *7th Internacional African Conference on Contemporary Scientific Research*.
- Vahldick, A., de Miranda, R., de Marques, C., Ferreira, M. G., e Schoeffel, P. (2022). Segunda guerra mundial experimentada com realidade aumentada: a caminho de um ambiente de autoria para professores e alunos. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 378–389. SBC.
- Vahldick, A., dos Santos, A. F. C., Kuster, L. F., Ferreira, M. G., e Schoeffel, P. (2023). Tecnologia em evolução: Ampliando horizontes na realidade aumentada para professores através da web e detecção de imagens. In *Workshop em Estratégias Transformadoras e Inovação na Educação (WETIE)*, pages 22–31. SBC.
- Yang, H. S., Cho, K., Soh, J., Jung, J., e Lee, J. (2009). Hybrid visual tracking for augmented books. In *Entertainment Computing-ICEC 2008: 7th International Conference, Pittsburgh, PA, USA, September 25-27, 2008. Proceedings 7*, pages 161–166. Springer.
- Zhou, F., Duh, H. B.-L., e Billinghurst, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ismar. *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*.