

LuminAR: uma Ferramenta com Realidade Aumentada para o Ensino e Aprendizagem de Ciências da Natureza

João V. M. Freitas¹, Luiz F. C. Souza¹; Erica K. A. dos Santos¹, Gabryella R. Rodrigues², Alline B. Oliveira³, Sebastião E. Alves Filho¹⁴, Ceres G. B. Morais¹⁴

¹Departamento de Informática, Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) – Mossoró, RN - Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Belém, PA - Brasil

³Instituto Politécnico de Bragança (IPB) – Bragança - Portugal

⁴Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - UERN e Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) - Mossoró, RN - Brasil

{maiafreitas, luiz20230022276, ericakathlen}@alu.uern.br, gabryella.silva@ifpa.edu.br, alline@ipb.pt, {sebastiaoalves, ceresmorais}@uern.br

Abstract. *Augmented Reality (AR) has emerged as a promising technology for making teaching and learning more interactive and meaningful. This paper presents LuminAR, an AR-based educational tool designed to support Biology education through the interactive visualization of three-dimensional models. Its educational potential was evaluated by Science teachers and pre-service teachers in Basic Education using established pedagogical evaluation and technology acceptance instruments. The results indicate that LuminAR has strong potential as a complementary teaching resource, student engagement and facilitating the understanding of abstract concepts, while also highlighting opportunities for further improvement in school-based educational contexts.*

Resumo. *A Realidade Aumentada (RA) tem se destacado por tornar o ensino mais interativo e significativo. Este trabalho apresenta o LuminAR, uma ferramenta educacional baseada em RA para apoiar o ensino de Ciências Biológicas por meio da visualização de modelos tridimensionais. Seu potencial educacional foi avaliado por professores de Ciências e estagiários da Educação Básica, utilizando instrumentos consolidados de avaliação pedagógica e aceitação tecnológica. Os resultados indicam elevado potencial como recurso didático complementar, favorecendo o engajamento dos estudantes e a compreensão de conceitos abstratos, além de apontar oportunidades de aprimoramento para sua aplicação em contextos escolares.*

1. Introdução

Os processos de ensino e aprendizagem na área de Ciências Biológicas frequentemente envolvem conceitos abstratos, estruturas microscópicas e fenômenos complexos, que geram barreiras cognitivas quando mediados apenas por representações bidimensionais presentes em livros didáticos. Nesse contexto, as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) ampliam as possibilidades de inovação pedagógica, destacando a Realidade Aumentada (RA), que permite sobrepor elementos virtuais tridimensionais ao

ambiente físico, possibilitando a visualização e a manipulação de objetos em tempo real. Essa tecnologia favorece experiências de aprendizagem mais interativas e imersivas, contribuindo para a compreensão de conceitos de difícil visualização e estimulando o protagonismo estudantil. Contudo, embora estudos evidenciam seu potencial educacional, ainda são escassas as pesquisas que avaliam de forma sistemática a adequação pedagógica, a aceitação por professores e a viabilidade de aplicação dessas ferramentas no contexto da Educação Básica.

Essa lacuna reforça a necessidade de investigações que subsidiem o desenvolvimento e a validação de recursos educacionais alinhados às demandas curriculares e às práticas docentes. Sob essa perspectiva, a Teoria da Aprendizagem Multimídia [Mayer 2009] sustenta que a integração entre informações verbais e representações visuais potencializa a construção de significados, reduz a sobrecarga cognitiva e favorece uma aprendizagem mais significativa. No entanto, a inserção de recursos tecnológicos avançados em sala de aula exige uma sólida intencionalidade educativa respaldada pelo planejamento e pela mediação docente. Essa perspectiva alinha-se ao modelo Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) [Mishra e Koehler 2006], que preconiza a articulação indissociável entre o conhecimento tecnológico, o pedagógico e o conteúdo específico. No cenário nacional, essas premissas encontram respaldo nas diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), especialmente na Competência Geral 5, que fomenta o uso crítico das tecnologias, bem como nas habilidades voltadas ao uso de modelos para analisar os níveis de organização dos seres vivos.

A partir desse panorama, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação do LuminAR, uma ferramenta educacional baseada em modelos tridimensionais interativos e RA. Para averiguar sua adequação pedagógica, o LuminAR foi avaliado por professores de Ciências por meio de um instrumento adaptado de constructos consolidados como o Learning Object Review Instrument (LORI) e o Technology Acceptance Model (TAM). Para melhor apresentar os resultados obtidos na pesquisa, o artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 traz o Referencial Teórico; a Seção 3 detalha a Ferramenta LuminAR; a Seção 4 apresenta a Metodologia; a Seção 5 debate os Resultados e Discussão; e a Seção 6 expõe as Considerações Finais.

2. Referencial Teórico

A Realidade Aumentada caracteriza-se pela sobreposição de elementos digitais ao mundo físico [Azuma 1997], possibilitando, no contexto educacional, a visualização, manipulação e exploração de objetos de estudo, especialmente quando se trata de conteúdos abstratos, microscópicos ou de difícil observação direta. Com o avanço dos dispositivos móveis, a RA passou a apresentar maior potencial de inserção em diferentes contextos escolares, ainda que sua adoção dependa de condições técnicas, como disponibilidade de aparelhos compatíveis, conexão à internet e familiaridade docente com recursos digitais [Faria e Miranda 2023]. No ensino de Ciências e Biologia, esse potencial torna-se particularmente relevante. Temas como citologia, genética e anatomia humana envolvem estruturas e processos que, muitas vezes, não podem ser observados diretamente pelos estudantes. Por isso, o uso de modelos tridimensionais interativos e de experiências em RA pode contribuir para tornar mais concreta a compreensão desses conteúdos, favorecendo a observação espacial, a comparação entre estruturas e a relação entre forma e função [Stanič e Špernjak 2025].

Entretanto, a presença da tecnologia, por si só, não garante aprendizagem. Para que recursos como a RA e os modelos 3D tenham função pedagógica efetiva, é necessário que estejam vinculados a objetivos didáticos claros, linguagem adequada, mediação docente e planejamento pedagógico [Freitas *et al.* 2025]. Experiências com RA no ensino de Ciências exigem intencionalidade pedagógica e atuação ativa do professor na condução das atividades [Carvalho, Sousa e Fraiha-Martins 2022]. Essa perspectiva aproxima-se do modelo TPACK [Mishra e Koehler 2006], segundo o qual a integração efetiva das tecnologias ao ensino depende da articulação entre conhecimento tecnológico, pedagógico e de conteúdo. É nesse cenário que se insere o LuminAR, uma ferramenta educacional que integra modelos 3D interativos e recursos de RA acessíveis por dispositivos móveis, que permite que o usuário visualize, manipule e projete modelos tridimensionais no ambiente físico por meio da câmera do celular, sem a necessidade de instalação de aplicativo nativo. Com isso, busca aproximar os estudantes de estruturas biológicas de difícil visualização, como células, vírus, bactérias e órgãos, promovendo experiências mais visuais, interativas e contextualizadas.

A Teoria da Aprendizagem Multimídia [Mayer 2009] sustenta que a aprendizagem é favorecida quando palavras, imagens e elementos visuais são combinados de forma coerente, reduzindo a sobrecarga cognitiva e apoiando a construção de significados. No caso do LuminAR, essa fundamentação é especialmente importante, pois os modelos tridimensionais e a RA precisam estar integrados a explicações claras e adequadas ao nível dos estudantes, evitando que a experiência visual se restrinja a um elemento meramente atrativo. Do ponto de vista curricular, a proposta dialoga com a BNCC, especialmente com as habilidades EF06CI05 e EF06CI06, relacionadas, respectivamente, à compreensão da célula como unidade estrutural e funcional dos seres vivos e ao uso de modelos físicos ou digitais para analisar os níveis de organização biológica [BRASIL 2018]. O uso de tecnologias digitais também se articula à Competência Geral 5 da BNCC, que prevê a utilização crítica, significativa e reflexiva desses recursos para produzir conhecimentos e resolver problemas.

A avaliação de uma ferramenta como o LuminAR exige, portanto, referenciais que contemplem tanto sua qualidade como objeto educacional digital quanto sua aceitação pelos participantes. Nesse sentido, o LORI [Nesbit, Belfer e Leacock 2003; Leacock e Nesbit 2007], contribui para analisar dimensões como qualidade do conteúdo, alinhamento aos objetivos de aprendizagem, motivação, design de apresentação, usabilidade, acessibilidade e reusabilidade. De forma complementar, o TAM [Davis 1989], permite compreender a aceitação da tecnologia a partir da utilidade percebida e da facilidade de uso percebida. A literatura indica que professores reconhecem o potencial da RA para aumentar a motivação e o engajamento dos estudantes, mas também apontam barreiras concretas para sua adoção, como limitações de infraestrutura, falta de formação específica e dificuldades de integração ao currículo [Nurwendah *et al.* 2025]. No contexto brasileiro, estudos com docentes também evidenciam percepções positivas sobre o uso da RA como recurso pedagógico, embora a escassez de dispositivos móveis e as condições de acesso ainda sejam limitações recorrentes [Borborema e Maurício 2024]. Assim, investigar como participantes vinculados ao ensino de Ciências percebem, aceitam e avaliam uma ferramenta autoral como o LuminAR contribui para compreender suas potencialidades e seus limites antes de sua aplicação direta com estudantes.

Diante disso, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação do LuminAR, uma ferramenta baseada em modelos tridimensionais interativos e RA, voltada

ao apoio do ensino de Ciências. Sua concepção baseou-se em um estudo realizado [omitido para revisão anônima], em que foram identificadas lacunas do uso da RA no ensino e aprendizagem na área de Ciências. Este estudo busca analisar seu potencial pedagógico, sua adequação ao 6º ano do Ensino Fundamental, sua articulação com a BNCC e as condições necessárias para sua utilização em contexto escolar.

3. Ferramenta LuminAR

Com base nos conceitos de RA aplicados ao contexto educacional, foi desenvolvido o LuminAR, cuja finalidade é complementar o processo de ensino-aprendizagem por meio da visualização tridimensional interativa de conteúdos científicos. A ferramenta foi projetada para auxiliar na compreensão espacial de estruturas abstratas presentes em áreas como citologia, genética e anatomia, promovendo experiências imersivas que potencializam a assimilação conceitual e o engajamento do aluno.

A modelagem tridimensional dos artefatos educacionais foi realizada com a ferramenta Blender, além do emprego de modelos gratuitos da plataforma Sketchfab e da criação de esboços na plataforma Tripo AI Studio. Após ajustes e otimizações, os objetos foram exportados no formato GLB, permitindo carregamento eficiente e renderização em tempo real em dispositivos móveis Android e iOS.

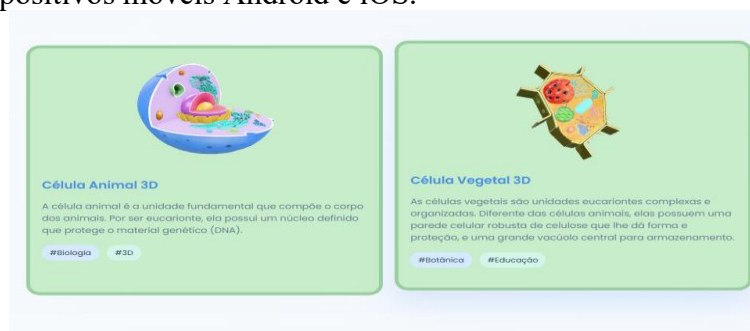


Figura 1. Exemplos de dois cards da trilha de Citologia do LuminAR

O desenvolvimento foi realizado integralmente com tecnologias web nativas, utilizando HTML5, CSS3, e JavaScript puro, sem dependência de frameworks mais robustos. Essa escolha foi motivada pela necessidade de maximizar desempenho, reduzir latência e garantir compatibilidade com diferentes dispositivos móveis. Um exemplo visual de dois artefatos tridimensionais que compõem uma das trilhas de aprendizagem do LuminAR é apresentado na Figura 1. Esses artefatos permitem a visualização de modelos tridimensionais em RA, utilizando modelos disponibilizados sob licença Creative Commons CC BY 4.0.

A integração com o ARCore, por meio da especificação WebXR, permitiu implementar rastreamento espacial markerless, possibilitando reconhecimento de superfícies e posicionamento tridimensional livre no ambiente físico, sem a necessidade de marcadores (cards), utilizando apenas um celular compatível. A ferramenta foi concebida para execução direta em navegadores compatíveis com tecnologias WebXR, dispensando a instalação de aplicativos nativos e facilitando sua adoção em ambientes educacionais. Para sua utilização, são necessários dispositivos com câmera integrada, sensores inerciais compatíveis e suporte à aceleração gráfica, e uma superfície plana para projetar um objeto 3D imersivo, como apresenta a Figura 2.



Figura 2. Imagem de uma célula animal 3D. Fonte do arquivo tridimensional: "Animal Cell 229 Team 9" por bioanicell, disponível sob licença CC BY 4.0.

No caso da trilha de citologia, por exemplo, ao clicar sobre o card “Célula Animal 3D”, o sistema exibe não apenas o modelo manipulável em três dimensões, mas também uma interface informativa complementar contendo explicações detalhadas sobre sua organização celular, composição estrutural e funções biológicas essenciais, como demonstrado na Figura 3. Essa integração entre exploração espacial e suporte textual fortalece a assimilação conceitual, pois possibilita ao estudante observar e compreender simultaneamente cada elemento representado, promovendo uma aprendizagem mais dinâmica, contextualizada e significativa. Sua aplicação pedagógica foi idealizada tanto para utilização em sala de aula, como instrumento de mediação conduzido pelo professor, quanto para atividades extraclasse, funcionando como recurso complementar de revisão e fixação de conteúdo. Ao permitir que o estudante visualize, manipule e explore estruturas tridimensionais, o LuminAR favorece o reforço cognitivo, amplia a retenção conceitual e estimula processos de aprendizagem ativa.



Figura 3. Conteúdo explicativo do objeto de estudo

4. Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa, com caráter exploratório e descritivo. O estudo teve como objetivo apresentar e avaliar o potencial pedagógico do aplicativo LuminAR, desenvolvido para apoiar o ensino de Ciências por meio de modelos tridimensionais interativos e recursos de RA. A avaliação concentrou-se na Trilha de Citologia, composta por conteúdos relacionados à célula animal, célula vegetal, vírus e bactéria, considerando sua possível utilização com estudantes do 6º ano do Ensino Fundamental. Participaram da avaliação 24 voluntários vinculados à área de Ciências e/ou Biologia, incluindo 22 estudantes de Licenciatura, um professor licenciado e bacharel em Biologia e um professor doutor em Biologia. Além disso, em relação ao contexto em que ensinam Ciências Biológicas na Educação Básica, todos atuam em escola pública e um deles atua tanto em escola pública como em uma instituição de ensino privado. No tocante à experiência, dois dos respondentes são docentes há mais de 20 anos; 14 são estagiários entre um e dois anos; e oito cumprem estágio de docência há menos de

um ano, o que mostra a heterogeneidade dos respondentes, o que pôde trazer diferentes visões e aspectos em relação ao LuminAR.

Também foi considerada a familiaridade dos participantes com recursos digitais em sala de aula. Entre os respondentes, 41,7% declararam utilizar recursos digitais frequentemente, 45,8% afirmaram utilizá-los ocasionalmente e 12,5% indicaram utilizá-los raramente. Nenhum participante declarou não utilizar esse tipo de recurso. Os dados indicam que o grupo avaliador possuía algum grau de contato prévio com tecnologias educacionais, aspecto relevante para a análise de um aplicativo digital interativo.

A coleta de dados foi realizada por meio de formulário online. Antes da participação, os avaliadores foram informados sobre os objetivos da pesquisa, o caráter voluntário da participação, a finalidade acadêmica do estudo e o cumprimento da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, de forma que a pesquisa atende o inciso VII do Parágrafo Único da Resolução 510 de 7 de abril de 2016 [BRASIL 2016]. Em seguida, os participantes realizaram uma atividade prática no LuminAR, explorando os modelos de célula animal, célula vegetal, vírus e bactéria. Durante essa etapa, puderam manipular os modelos tridimensionais na interface do aplicativo e, em dispositivos móveis compatíveis, acionar a experiência em RA, projetando as estruturas no ambiente físico por meio da câmera do celular. A atividade prática foi organizada a partir de uma situação-problema simulada, na qual os participantes deveriam avaliar se o LuminAR oferecia informações suficientes para que alunos do 6º ano pudessem comparar célula animal, célula vegetal, vírus e bactéria; diferenciar células de estruturas acelulares; reconhecer a presença ou ausência de núcleo definido; e identificar estruturas como parede celular, material genético, cloroplastos e vacúolo. A proposta buscou aproximar a avaliação de uma situação real de uso pedagógico, considerando tanto a mediação docente quanto a interação direta dos estudantes com o recurso.

Após a exploração do aplicativo, os participantes responderam ao instrumento avaliativo, composto por questões fechadas em escala de Likert [1932] e questões abertas. O formulário contemplou dimensões relacionadas à qualidade científica do conteúdo, clareza da linguagem, uso pedagógico dos modelos 3D e da RA, adequação à BNCC, viabilidade de uso, limitações, riscos e possibilidades de melhoria. A construção do instrumento foi baseada em referenciais relacionados à avaliação de recursos educacionais digitais, aprendizagem multimídia, currículo e adoção de tecnologias educacionais. O LORI [Nesbit, Belfer e Leacock 2003; Leacock e Nesbit 2007], orientou a definição dos critérios associados à qualidade do conteúdo, alinhamento aos objetivos de aprendizagem, motivação, *design* de apresentação, usabilidade, acessibilidade, reusabilidade e identificação de melhorias.

A análise da qualidade científica do conteúdo apoiou-se na dimensão de qualidade do conteúdo do LORI e nas habilidades EF06CI05 e EF06CI06 da BNCC, relacionadas à organização básica das células e ao uso de modelos físicos ou digitais para compreensão dos níveis de organização dos seres vivos [BRASIL 2018]. Esse bloco buscou verificar a correção conceitual, a profundidade do conteúdo e a adequação das explicações ao 6º ano. Os aspectos relativos à linguagem e à apresentação das informações foram fundamentados na dimensão de design de apresentação do LORI e na Teoria da Aprendizagem Multimídia [Mayer 2009]. Foram considerados aspectos como clareza textual, adequação do vocabulário, tamanho dos textos, uso de termos técnicos e objetividade das explicações.

A avaliação dos modelos 3D considerou o potencial dos recursos digitais para favorecer a visualização de estruturas biológicas, a comparação entre célula animal e célula vegetal e a diferenciação entre células, vírus e bactérias. Essa dimensão foi articulada à BNCC, que prevê o uso de modelos físicos ou digitais no ensino de Ciências, ao LORI, por sua ênfase na usabilidade, motivação e apresentação dos recursos educacionais, e à Teoria da Aprendizagem Multimídia [Mayer 2009], pela relação entre elementos visuais e aprendizagem. A adequação curricular foi analisada a partir das habilidades previstas para Ciências no 6º ano, especialmente quanto à compreensão da célula como unidade básica dos seres vivos e ao uso de modelos para representar estruturas e níveis de organização biológica [BRASIL 2018]. Dessa forma, o formulário buscou identificar se a Trilha de Citologia dialoga com os objetivos de aprendizagem esperados para essa etapa escolar. A viabilidade de uso em sala de aula foi examinada com base no LORI, no TAM [Davis 1989], e no modelo TPACK [Mishra e Koehler 2006]. Esses referenciais permitiram considerar a utilidade percebida do LuminAR, sua facilidade de uso, sua integração à prática docente e sua possível aplicação em diferentes momentos da aula, como introdução, revisão, atividade em grupo ou recurso complementar. Além das questões fechadas, foram incluídas perguntas abertas para que os professores pudessem apontar pontos fortes, limitações, eventuais correções conceituais, melhorias na linguagem, organização dos conteúdos e sugestões de atividades com o uso do aplicativo, o que permitiu reunir dados quantitativos sobre a percepção dos avaliadores e contribuições qualitativas para aprimoramento do LuminAR.

Os dados das questões fechadas foram analisados por meio de estatística descritiva simples, com cálculo de frequências e percentuais. As respostas abertas foram examinadas qualitativamente, buscando identificar recorrências relacionadas à aplicabilidade pedagógica, à adequação do conteúdo, à experiência de uso, às limitações percebidas e às sugestões de melhoria. Assim, o formulário foi construído como um instrumento avaliativo baseado e adaptado de referenciais reconhecidos, sem pretensão de constituir, nesta etapa, um instrumento psicometricamente validado. Sua aplicação teve caráter exploratório, com o objetivo de identificar o potencial pedagógico do LuminAR, suas limitações e os ajustes necessários antes de sua utilização com estudantes.

5. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta e discute os resultados obtidos a partir da avaliação pedagógica do aplicativo LuminAR. A análise teve como foco a percepção dos avaliadores sobre o potencial do aplicativo para apoiar o ensino de Citologia no 6º ano do Ensino Fundamental, considerando tanto os aspectos pedagógicos quanto as condições práticas de uso em contexto escolar. A análise foi organizada em seis dimensões: conteúdo científico; linguagem e apresentação textual; uso dos modelos 3D e da RA; adequação à BNCC e ao 6º ano; viabilidade de uso em sala de aula; e limitações, riscos e melhorias propostas. Essa organização permitiu examinar o LuminAR de forma ampla, articulando a percepção dos participantes sobre a qualidade conceitual do recurso, sua clareza didática, sua função pedagógica, sua aplicabilidade curricular e os ajustes necessários para sua utilização com estudantes.

5.1. Dimensão 1: Conteúdo científico

Para compor a avaliação dessa dimensão, foram realizadas oito perguntas, das quais foram extraídas as respostas que compõem a Figura 4. Q1- O conteúdo apresentado está cientificamente correto? Q2- As explicações sobre célula animal são adequadas para o 6º

ano? Q3 - As explicações sobre célula vegetal são adequadas para o 6^º ano? Q4- A diferença entre célula animal e célula vegetal fica clara? Q5- A explicação sobre vírus deixa claro que eles não possuem organização celular? Q6- A explicação sobre bactérias deixa claro que elas são organismos unicelulares e procariontes? Q7- O conteúdo evita simplificações que possam gerar erro conceitual? Q8- O nível de profundidade do conteúdo é adequado para alunos do 6^º ano?

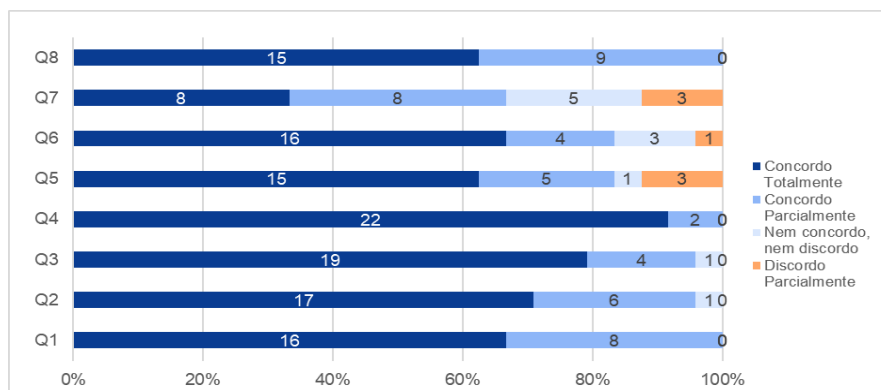


Figura 4. Avaliação do conteúdo científico

Os resultados indicam expressiva validação da qualidade conceitual do recurso, obtendo 100% de concordância (total ou parcial) quanto à sua correção científica e adequação do nível de profundidade para o 6^º ano do Ensino Fundamental. O item mais bem avaliado foi a diferenciação entre célula animal e vegetal (91,7% de concordância total), o que atende diretamente à habilidade EF06CI05 da BNCC.

Todavia, os tópicos de vírus e bactérias apresentaram maior dispersão nas respostas, com índices de discordância parcial (12,5% e 4,2%, respectivamente) e percepção de que o conteúdo possui simplificações que podem induzir a erros conceituais. À luz do referencial LORI, conclui-se que o LuminAR possui consistência para o ensino de Citologia, mas requer refinamentos pontuais para assegurar o rigor técnico em organismos acelulares e procariontes.

5.2. Dimensão 2: Avaliação da linguagem

A segunda dimensão avaliou a linguagem e a apresentação textual do LuminAR, considerando a clareza das explicações, o tamanho dos textos, a contextualização dos termos técnicos, a objetividade das informações e a contribuição do texto para a aprendizagem dos conteúdos de Citologia. A apresentação textual e o vocabulário do aplicativo foram amplamente considerados satisfatórios e compatíveis com a faixa etária. Os avaliadores destacaram a objetividade das explicações (79,2% de concordância total) e confirmaram que o aparato textual atua como suporte efetivo à aprendizagem, indo além da mera descrição visual dos modelos (83,3% de concordância total). Alinhando-se à Teoria da Aprendizagem Multimídia [Mayer 2009], a articulação harmônica entre texto e elementos tridimensionais ajuda a mitigar a sobrecarga cognitiva. Contudo, ruídos identificados na contextualização de termos técnicos (12,5% de discordância ou neutralidade) reforçam que a autonomia estudantil na ferramenta não prescinde da mediação docente para consolidar conceitos biológicos abstratos.

5.3 Dimensão 3: Uso dos Modelos Tridimensionais

Esta dimensão é composta pela visualização da modelagem tridimensional e RA e da sua avaliação quanto à visualização e fiabilidade. A partir da interação com o software, os professores ratificaram o LuminAR como potencializador de visualização de estruturas biológicas microscópicas. Dentre eles, 66,7% assinalaram "Concordo totalmente", enquanto 33,3% indicaram "Concordo parcialmente" quando perguntados se o modelo auxiliaria a visualizar estruturas que seriam difíceis de compreender apenas por texto. Da mesma forma, no que tange à análise de modelos digitais como meio para a compreensão das estruturas biológicas, constatou-se que 87,5% dos professores concordaram totalmente com a afirmação, enquanto 12,5% concordaram parcialmente.

Os participantes referendaram o potencial do LuminAR em converter estruturas microscópicas abstratas em modelos espaciais manipuláveis e imersivos. Registrou-se unanimidade prática (100% de "Concordo totalmente") quanto à eficácia do recurso em promover a observação morfológica comparativa entre células animais e vegetais, validando sua aderência à habilidade EF06CI06 da BNCC. Sob o prisma pedagógico, houve consenso de que o software estimula o engajamento, a curiosidade e práticas investigativas (100%), com 91,7% dos respondentes reconhecendo uma intencionalidade educativa clara na ferramenta. Essa percepção afasta o risco do uso puramente recreativo da tecnologia e valida o modelo TPACK, demonstrando que o artefato foi desenhado com o equilíbrio correto entre conteúdo, pedagogia e técnica.

5.4. Dimensão 4: Alinhamento à BNCC

O alinhamento do LuminAR em termos de conteúdo com o componente curricular de Ciências e com as habilidades da BNCC também foi tema de questionamentos aos professores. Destes, 54,2% concordam totalmente e 37,5% parcialmente com o alinhamento quanto à capacidade do conteúdo de apoiar o ensino de Ciências, enquanto as respostas neutras representaram 8,3%. Quanto ao alinhamento às diretrizes da BNCC 87,5% dos participantes concordaram totalmente com a adequação do aplicativo, e os demais concordaram parcialmente. No tocante à adequação cognitiva das atividades para o público-alvo, 62,5% selecionaram a opção "Concordo totalmente", ao passo que 33,3% apontaram "Concordo parcialmente". A opção neutra reuniu os 4,2% complementares. Assim, 95,8% dos participantes reconheceram, em algum nível, compatibilidade entre a atividade proposta e o nível cognitivo esperado para alunos do 6º ano.

Sobre a trilha de aprendizagem apresentada estar adequada ao componente curricular de Ciências para o 6º ano, que avalia especificamente a adequação da trilha de Citologia ao componente curricular, apresentou distribuição ligeiramente mais dispersa (54,2% Concordo totalmente; 37,5% Concordo parcialmente; 8,3% Nem concordo nem discordo), sem registros de discordância. Ainda que nenhum respondente tenha discordado da adequação curricular, a presença de posições parciais e neutras pode indicar que uma parcela dos avaliadores identificou necessidade de ajustes pontuais na trilha, seja na profundidade do conteúdo, seja na progressão das atividades. Uma das características pedagogicamente importantes para um recurso digital é a versatilidade para a integração em diferentes momentos e configurações (trilhas, planejamentos e projetos) didáticos.

É clara a concordância total dos professores quanto à viabilidade do uso do LuminAR como complemento a uma aula sobre a temática celular, tendo sido registrada concordância concentrada no nível mais alto, com 95,8% das escolhas em "Concordo totalmente" e 4,2% em "Concordo parcialmente". Da mesma forma os professores indicam (com resultados de 95,8% Concordo totalmente; 4,2% Concordo parcialmente)

que o aplicativo foi reconhecido, com unanimidade prática, como adequado tanto ao uso complementar quanto à função de fechamento e revisão de conteúdo.

A grande maioria dos avaliadores (79,2% Concordo totalmente; 16,7% Concordo parcialmente; 4,2% Nem concordo nem discordo) também o concebe como recurso introdutório ao conteúdo de Citologia, tendo a intenção de utilização do recurso nas fases iniciais ou de sondagem de uma sequência didática. Em relação à sua aplicabilidade em dinâmicas de colaboração entre os estudantes, aulas com metodologia ativa, 83,3% dos respondentes posicionaram-se em "Concordo totalmente" e 16,7% em "Concordo parcialmente", reforçando o potencial para uso em atividades colaborativas. Essa versatilidade responde a uma das premissas das orientações metodológicas da BNCC: a necessidade de diversificar as estratégias de ensino para contemplar diferentes perfis e ritmos de aprendizagem [BRASIL 2018]. Um recurso que pode ser empregado como introdução, como apoio durante a aula e como revisão ao final de uma unidade amplia significativamente o repertório didático do professor, sem exigir a aquisição de múltiplas ferramentas – o que é corroborado pela constatação de que recursos com alta plasticidade de uso tendem a ser incorporados de forma mais sustentável às práticas pedagógicas cotidianas [Kenski 2012].

5.5. Dimensão 5: Viabilidade de uso em sala de aula

Relativamente à usabilidade do LuminAR em uma aula de Ciências do 6º ano, o resultado levantado (62,5% Concordo totalmente; 20,8% Concordo parcialmente; 12,5% Nem concordo nem discordo; 4,2% Discordo parcialmente) indica que, embora a maioria dos respondentes se sinta capaz de utilizar o LuminAR em aula, uma parcela que merece ser considerada manifestou reservas quanto a isso.

Ao analisar o gerenciamento do tempo pedagógico necessário para a execução das atividades de desenvolvimento da trilha pedagógica, obtiveram-se os seguintes resultados: 54,2% Concordo totalmente; 25,0% Concordo parcialmente; 16,7% Nem concordo nem discordo; 4,2% Discordo parcialmente. Estas porcentagens revelam percepções heterogêneas sobre a compatibilidade do tempo de exploração da trilha com uma aula comum. A percepção acerca do esforço de planejamento docente revelou o espectro de opiniões mais distribuído das questões realizadas: 45,8% indicaram "Concordo totalmente" e 25% "Concordo parcialmente". A alternativa "Discordo parcialmente" acumulou 16,7% das respostas, a opção neutra reuniu 8,3% e a opção "Discordo totalmente" contabilizou 4,2%.

Esta percepção está relacionada às respostas dadas quando questionados a respeito dos termos de usabilidade dos modelos pelos alunos. Neste tópico obteve-se uma distribuição mais heterogênea. Concordam totalmente 45,8% dos professores, seguindo de 33,3% (Concordo parcialmente). Os restantes 16,7% dos respondentes assinalaram "Discordo parcialmente", e 4,2% adotaram a posição neutra. Estes resultados, ao contrário de representar uma limitação do recurso, indicam que a incorporação do LuminAR à prática docente pressupõe condições de implementação específicas, inerentes a um ensino que congregue os conhecimentos TPACK [Mishra e Koehler 2006]. Assim, sustenta-se que a integração eficaz de tecnologias ao currículo exige não apenas conhecimento tecnológico, mas a articulação entre esse conhecimento, o conteúdo disciplinar e as estratégias pedagógicas. Nesse sentido, os resultados desta dimensão não questionam o potencial do aplicativo, mas sinalizam a importância de ações de formação continuada

dos docentes como condição necessária para sua implementação, demanda reconhecida pela própria BNCC [2018].

O impacto da ferramenta no engajamento dos estudantes durante o processo educativo foi ratificado por 87,5% dos professores ("Concordo totalmente") e apenas 12,5% ("Concordo parcialmente"). Este resultado aponta que os avaliadores reconhecem no LuminAR um potencial significativo aumento do engajamento dos alunos durante a aula. Esse resultado dialoga com investigações que demonstram que recursos digitais interativos favorecem a motivação intrínseca dos estudantes, especialmente quando oferecem feedback imediato, controle sobre a exploração do conteúdo e representações visuais dinâmicas [Mayer 2009; Jonassen 2000]. Esta posição também é corroborada pela defesa de que a utilização de atividades mediadas pelas tecnologias digitais deve ocorrer não só em cursos à distância, mas também nas rotinas escolares presenciais [Tori 2002].

Finalizando a avaliação nesta modalidade, o nível de recomendação geral do aplicativo por parte dos participantes obteve índice máximo, com 100% da amostra selecionando a alternativa "Concordo totalmente". Essa unanimidade, obtida após a exploração efetiva do aplicativo pelos participantes, configura um indicador robusto de aceitabilidade e validade na utilização do contexto real para o qual foi desenvolvido. Conforme o referencial que embasa este trabalho, deve-se garantir que sua utilização ocorra desde que acompanhada de mediação docente qualificada e de planejamento pedagógico adequado, como os pressupostos do Modelo TPACK indicam, e materializando os pressupostos da própria BNCC.

5.6. Dimensão 6: Limitações, riscos e melhorias

A última dimensão avaliou as limitações percebidas pelos participantes, os possíveis riscos de uso do LuminAR em contexto escolar e as melhorias sugeridas antes de sua aplicação com estudantes. Além das questões abertas, foram consideradas duas questões fechadas: o dispositivo móvel utilizado durante a avaliação e a recomendação final de uso do aplicativo. Quanto aos dispositivos utilizados na avaliação, observou-se predominância do uso de celulares com sistema Android, embora também tenham sido mencionados aparelhos com iOS, tablets e notebooks. Esse dado é relevante porque o funcionamento do LuminAR, especialmente nos recursos de modelos 3D e RA, depende da compatibilidade do dispositivo, da câmera, do navegador e da conexão à internet.

A recomendação dos participantes foi majoritariamente positiva. Entre os 24 respondentes, 20,8% recomendaram o uso do LuminAR com alunos do 6º ano sem ajustes relevantes, 62,5% recomendaram o uso com pequenos ajustes, 12,5% indicaram o uso apenas com mediação do professor e 4,2% recomendaram revisar o aplicativo antes de sua aplicação com estudantes. Não houve respostas indicando a não recomendação do recurso. Assim, 83,3% dos participantes recomendaram o uso sem ajustes relevantes ou com pequenos ajustes, indicando boa aceitação da ferramenta.

Nas respostas abertas, os principais pontos fortes apontados foram a visualização tridimensional das estruturas biológicas, o caráter didático do aplicativo, a atratividade visual, a linguagem direta e o potencial de tornar conteúdos abstratos mais acessíveis aos estudantes. Os participantes destacaram que o LuminAR pode auxiliar escolas sem laboratório, favorecer a observação de estruturas microscópicas e ampliar o interesse dos alunos por meio da interatividade e da RA. As limitações mais recorrentes estavam relacionadas à infraestrutura escolar, especialmente à necessidade de internet, disponibilidade de dispositivos móveis adequados e compatibilidade técnica para

execução dos modelos 3D e da RA. Também foram mencionados problemas de carregamento, instabilidade na visualização, dificuldade inicial de manipulação dos modelos e falhas específicas em alguns objetos, como a célula bacteriana. Do ponto de vista conceitual e didático, os participantes sugeriram ajustes pontuais nas explicações sobre vírus, bactérias e estruturas celulares. Foram citadas a necessidade de simplificar algumas palavras, esclarecer que nem todos os vírus causam doenças, apresentar a diversidade de formas virais e bacterianas, diferenciar melhor a parede celular vegetal e evitar possíveis ambiguidades conceituais. Também foi recorrente a sugestão de incluir rótulos ou indicadores diretamente nos modelos 3D, principalmente para identificação das organelas.

Em relação às melhorias na linguagem e organização dos conteúdos, parte dos participantes considerou o material adequado, enquanto outros sugeriram maior simplificação do vocabulário, inclusão de exemplos práticos e uso de analogias mais próximas da realidade dos alunos do 6º ano. Essas sugestões dialogam com a necessidade de reduzir possíveis barreiras de compreensão e fortalecer a relação entre texto, imagem e interação. As sugestões de uso pedagógico indicaram possibilidades variadas de aplicação, como atividades de identificação de organelas, comparação entre célula animal e vegetal, revisão de conteúdo, sala de aula invertida, ensino por investigação, rotação por estações, gincanas, apresentações e atividades colaborativas. Tais propostas reforçam a reusabilidade do LuminAR em diferentes momentos da aula, desde a introdução do conteúdo até atividades de revisão e consolidação.

De modo geral, os resultados desta dimensão indicam que o LuminAR foi bem avaliado pelos participantes, mas ainda requer ajustes antes de sua aplicação ampla com estudantes. À luz do LORI, as principais melhorias concentram-se na usabilidade, acessibilidade técnica, clareza conceitual, design de apresentação e reusabilidade pedagógica. As limitações apontadas não invalidam o potencial do aplicativo, mas indicam condições importantes para sua implementação: mediação docente, planejamento pedagógico, conexão adequada, dispositivos compatíveis e refinamento dos modelos e textos explicativos.

6. Considerações Finais

O desenvolvimento e a avaliação da ferramenta LuminAR demonstraram o potencial da RA como recurso didático complementar para o ensino de Ciências da Natureza. Os dados coletados indicam que a visualização tridimensional oferece um suporte relevante, estimulando a curiosidade e o debate em sala de aula de forma alinhada à BNCC. Além disso, a ferramenta evidenciou versatilidade e plasticidade pedagógica, com elevado índice de aceitação por parte dos avaliadores para ser integrada em diferentes momentos da organização didática, seja como disparador de conteúdo ou recurso de revisão.

Por outro lado, o estudo identificou pontos de atenção na clareza de termos biológicos e na gestão do tempo pedagógico, reforçando que o sucesso da tecnologia no chão da escola depende de infraestrutura adequada e de formação docente contínua, conforme preconizado pelo modelo TPACK. Como limitação, reconhece-se o caráter exploratório da amostra focada apenas em docentes e estagiários. Para trabalhos futuros, propõe-se o refinamento do conteúdo textual do aplicativo, a expansão das trilhas de aprendizagem para outras áreas biológicas e a realização de testes experimentais diretamente com turmas de estudantes do Ensino Fundamental.

7. Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Em conformidade com o Código de Conduta em Publicações da SBC, declara-se que, durante a elaboração desta pesquisa, foi utilizada a ferramenta de Inteligência Artificial Generativa ChatGPT (OpenAI) exclusivamente como apoio à revisão textual e à correção gramatical. Os modelos que compõem as imagens e artefatos tridimensionais utilizados foram obtidos na plataforma Sketchfab, respeitando suas respectivas licenças de uso, sendo alguns empregados em sua forma original e outros adaptados conforme as necessidades da equipe. Adicionalmente, o Tripo AI Studio foi utilizado apenas para o esboço de modelos tridimensionais destinados a futuras versões da aplicação. Todo o conteúdo do manuscrito foi revisado criticamente pelos autores, que assumem integral responsabilidade por sua precisão, originalidade, integridade acadêmica e conformidade com as normas éticas da publicação.

8. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).

Referências

- Azuma, R. T. (1997) "A survey of augmented reality". *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, v. 6, n. 4, p. 355–385. Disponível em: <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- Borborema, S. M. T. e Maurício, C. R. M. (2024) "Realidade aumentada como recurso pedagógico para docentes dos anos iniciais do ensino fundamental". In: *Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR)*, 26., Manaus. Anais [...]. Porto Alegre: SBC, p. 101–105.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- BRASIL, CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. Resolução nº 510, de 07 de abril de 2016. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, p. 44-44, 2016.
- Carvalho, M. C. P. de; Sousa, A. de J.; Fraiha-Martins, F. (2022) "Realidade Aumentada como ferramenta tecnológica na Formação de professores de Ciências". *Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, Manaus, v. 8, p. e197122. DOI: 10.31417/educitec.v8.1971. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/1971>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- Davis, F. (1989) "Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology". *MIS Quarterly*, v. 13, n. 3, p. 319–340. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/200085965>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- Faria, A. e Miranda, G. L. (2023) "Efeitos da realidade aumentada na aprendizagem das Ciências naturais: uma revisão sistemática da literatura". *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, n. 50, p. 44–57. DOI: 10.17013/risti.50.44–57. Disponível em: <https://scielo.pt/pdf/rist/n50/1646-9895-rist-50-44.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2025.

- Faria, A. e Miranda, G. L. (2024) "Augmented Reality in Natural Sciences and Biology Teaching: Systematic Literature Review and Meta-Analysis". *Emerging Science Journal*, v. 8, n. 4, p. 1666–1685. Disponível em: <https://www.ijournalse.org/index.php/ESJ/article/view/2548/pdf>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- Ferreira, C. E. A.; Mazon, J.; Pozzebon, E.; Okada, A.; Costa, A. M. (2022) "Augmented Reality to support Science education in the context of the Covid-19 pandemic: a case study". *Research, Society and Development*, v. 11, n. 12, p. e503111234826. DOI: 10.33448/rsd-v11i12.34826. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34826>. Acesso em: 7 jun. 2025.
- Freitas, João V. M.; Silva, Thiago F. A. da; Rodrigues, Gabryella R.; Oliveira, Alline B.; Alves Filho, Sebastião E.; Moraes, Ceres G. B.. Uso da Realidade Aumentada no Ensino e Aprendizagem de Ciências e Biologia no Ensino Fundamental e Médio: Uma Revisão Sistemática de Literatura. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE)*, 36. , 2025, Curitiba/PR. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2025 . p. 1057-1068. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbie.2025.12771>.
- Jonassen, D. H. *Computers as mindtools for schools: engaging critical thinking*. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000.
- Keller, J. M. (2010) "Motivational design for learning and performance: the ARCS model approach". Boston: Springer. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/285985052>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- Kenski, V. M. *Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação*. 8. ed. Campinas: Papirus, 2012.
- Leacock, Tracey L.; NESBIT, John C. A framework for evaluating the quality of multimedia learning resources. *Educational Technology & Society*, v. 10, n. 2, p. 44-59, 2007.
- Likert, Rensis. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, New York, v. 22, n. 140, p. 1-55, 1932.
- Mayer, R. E. *Multimedia learning*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- Mishra, P.; Koehler, M. J. Technological pedagogical content knowledge: a framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, v. 108, n. 6, p. 1017–1054, 2006.
- Nesbit, John C.; BELFER, Karen; LEACOCK, Tracey. *Learning Object Review Instrument — LORI*. E-Learning Research and Assessment Network, 2003.
- Nurwendah, A. S.; Harahap, S.; Jayanto, P.; Putri, M. D. (2025) "The Exploration of Biology Teacher's Perspective: The Utilization of Augmented Reality in Education". *Jurnal Biogenerasi*, v. 10, n. 2, p. 796–802.
- Oliveira, L. A. F. de; Pinto, A. das N.; Pagel, C. H.; Barwaldt, R.; Silveira, D. da S. (2024) "Tecnologia Emergente: uma Revisão Sistemática no Ensino de Biologia Sobre o Uso da Realidade Aumentada". *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas*, v. 24, n. 4, p. 546–552. DOI: 10.17921/2447-8733.2023v24n4p546-552. Disponível em:

<https://revistaensinoeducacao.pgsscogna.com.br/ensino/article/view/10624>. Acesso em: 7 jun. 2025.

- Rani, S.; Mazumdar, S.; Gupta, M. (2023) "Marker-Based Augmented Reality Application in Education Domain". In: International Conference on Machine Learning, Image Processing, Network Security and Data Sciences (MIND), Cham. Anais [...]. Cham: Springer Nature Switzerland, p. 98–109.
- Rukmini, D.; Sofwan, A.; Fauziati, E.; Nurkamto, J. (2023) "Artificial intelligence in education: Exploring students' perceptions in Indonesian higher education". Raden Mas: Jurnal Pendidikan Dasar, v. 4, n. 2, p. 94–106. DOI: 10.22219/radenmas.v4i2.32636. Disponível em: <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/raden/article/view/32636>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- Sasseron, L. H.; Carvalho, A. M. P. de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. Investigações em Ensino de Ciências, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.
- Stanič, K. e Špernjak, A. (2025) "Augmented reality in biology education: A literature review". Multimodal Technologies and Interaction, v. 9, n. 12, p. 117.
- Tori, R. (2002) "Métricas para uma Educação sem Distância". Revista Brasileira de Informática na Educação, v. 10, n. 2. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbic/index.php/rbic/article/view/2214>. Acesso em: 15 jul. 2026.
- Tori, R.; Kirner, C.; Siscoutto, R. (2006) "Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada". Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação.
- Tori, R. A Distância que Aproxima. Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância, [S. l.], v. 1, 2019. DOI: 10.17143/rbaad.v1i0.368. Disponível em: <https://abed.emnuvens.com.br/RBAAD/article/view/368> . Acesso em: 26 maio. 2026.