

Mensuração de Desempenho e Motivação no Uso da Realidade Aumentada em Biologia Celular no Ensino Médio

Thiago de Almeida Braz Pinheiro¹, Ana Clara Vanzuita¹, Adilson Vahldick¹

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc)
Centro de Educação Superior do Alto Vale do Itajaí (CEAVI)
Ibirama, SC, Brasil

{thiago.dabp26, ac.vanzuita}@edu.udesc.br,
adilson.vahldick@udesc.br

Abstract. *This work presents a quasi-experimental investigation comparing academic performance and motivation in Cell Biology education between a group that integrated Augmented Reality (AR) with other active methodologies and another that exclusively used the same active strategies without the AR resource. Results show that while both groups achieved similar cognitive gains, AR enhanced emotional engagement. AR stood out by enhancing student attention, satisfaction, and the perceived relevance of the content. It is concluded that AR functions as a motivational resource that connects students in a practical and visual way to abstract knowledge.*

Resumo. *Este trabalho apresenta uma investigação quase-experimental, comparando o desempenho e a motivação no ensino de Biologia Celular entre um grupo que integrou a Realidade Aumentada (RA) com outras metodologias ativas e outro que utilizou exclusivamente as mesmas estratégias ativas sem o recurso da RA. Os resultados indicam que, embora ambos os grupos tenham tido ganhos cognitivos similares, o uso da RA elevou o engajamento emocional. A RA destacou-se por ampliar a atenção, a satisfação e a percepção de relevância do conteúdo pelos alunos. Conclui-se que a RA funciona como um recurso motivacional que conecta os estudantes de forma prática e visual ao conhecimento abstrato.*

1. Introdução

A Realidade Aumentada (RA) é geralmente caracterizada como uma tecnologia que combina, em tempo real, o ambiente físico com camadas digitais, preservando a percepção do mundo real e permitindo a interação com objetos virtuais ancorados no espaço físico [Billinghurst et al. 2015, Chiu et al. 2018]. Diferentemente da Realidade Virtual (RV), que imerge o usuário em um ambiente totalmente sintético, a RA mantém ele situado em seu contexto, o que favorece a articulação entre conhecimentos escolares e situações autênticas do cotidiano [Ferreira et al. 2022]. Além disso, avanços em hardware e software tornaram a RA mais acessível, sobretudo por meio de *smartphones* e *tablets*, ampliando seu potencial de adoção em contextos educacionais formais e informais [Tutkun and Ekwueme 2024].

Estudos têm mostrado que a RA pode contribuir para o aumento do engajamento, da motivação e da atenção dos estudantes, ao oferecer experiências de aprendi-

zagem mais interativas [Cardoso et al. 2014]. Em disciplinas como Biologia, a possibilidade de visualizar estruturas microscópicas, processos celulares ou órgãos internos em 3D e em escala ampliada favorece a compreensão de conteúdos tradicionalmente considerados abstratos ou de difícil representação em materiais didáticos convencionais [Carmigniani and Furht 2011]. Além disso, a manipulação de modelos virtuais permite que os alunos explorem diferentes perspectivas, testem hipóteses e façam conexões entre representações simbólicas, visuais e textuais [Palacios et al. 2024].

Contudo, a integração da RA às práticas pedagógicas ainda é incipiente e enfrenta desafios relacionados à infraestrutura, à formação docente e à seleção de abordagens didáticas adequadas [Rezende et al. 2021]. Entretanto, quando planejada de forma alinhada aos objetivos de aprendizagem e ao currículo, a RA pode ser incorporada em atividades investigativas, projetos interdisciplinares e estratégias de aprendizagem ativa, como jogos educacionais, experimentos simulados e narrativas interativas [Carvalho 2023]. Assim, investigar experiências de uso de RA na disciplina de Biologia em escolas de ensino médio é relevante para compreender não apenas seus potenciais benefícios, mas também as condições necessárias para sua implementação sustentável e pedagogicamente significativa [Sattar et al. 2025].

Nesse contexto, a plataforma EducaAR usa imagens como marcadores para a exibição de objetos 3D e permite aos estudantes responderem questionários do objeto sendo visualizado [Vanzuita et al. 2025]. A plataforma também permite que os professores acompanhem o desempenho dos alunos em tempo real.

Duas escolas de Ensino Médio utilizaram a plataforma para o ensino de biologia celular. A interação com a primeira escola consta em [Vanzuita et al. 2025] e tinha o objetivo de testar o comportamento da plataforma em sala de aula. Diferentemente de estudos que avaliam aplicativos comerciais de RA de forma isolada [Sattar et al. 2025, Ferreira et al. 2022], este trabalho investiga uma plataforma aberta (EducaAR), integrada a um conjunto de metodologias ativas em escola pública brasileira de ensino médio. Com a experimentação na segunda escola se pretende responder a pergunta de pesquisa “Quais os ganhos em desempenho e motivação com a aplicação da plataforma EducaAR para o conteúdo de biologia celular em turmas do ensino médio?”.

Embora os estudos exploratórios realizados no trabalho anterior [Vanzuita et al. 2025] foram usados para testar a viabilidade do projeto, eles não são suficientes para evidenciar seu impacto no processo de ensino-aprendizagem. A motivação é apontada como um fator diretamente relacionado ao engajamento e aos resultados de aprendizagem [Ribeiro 2011]. Por isso, esse estudo abrange um experimento controlado para analisar o desempenho acadêmico, bem como a motivação desses estudantes em usar a RA para aprender.

2. Metodologia

2.1. Materiais

2.1.1. EducaAR

EducaAR é uma plataforma web aberta de RA voltada para a educação, que serve como um livro aumentado. Esse tipo de livro é um sistema que aumenta os elementos visuais em um livro para trazer efeitos educacionais adicionais ou diversão [Yang et al. 2008]. 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]. A plataforma permite três perfis: professor, desenvolvedor e aluno.

O professor consegue definir a estrutura do conhecimento (Figura 1), no intuito de organizar como os seus alunos acessarão as cenas. Um conteúdo é composto por um conjunto de atividades relacionadas, que por sua vez, pode estar relacionada a um conjunto de questões. A granularidade do conteúdo depende da programação do professor em relação às suas aulas. Cada atividade corresponde a uma cena de RA. A cena de RA vem para estimular a curiosidade do aluno, pois ele não sabe de antemão quais imagens podem ser detectadas. O aluno movimenta o celular sobre as páginas, até a renderização de uma cena de RA. 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 do marcador, ou explorar mais profundamente o modelo 3D, e com isso o aluno interpretar a pergunta e raciocinar sobre a informação encontrada.



Figura 1. Estrutura do conhecimento a ser informado pelo professor.

Ao entrar na plataforma, o aluno ao selecionar um dos conteúdos, o sistema carrega a página com o componente de escaneamento (Figura 2a). Todos os marcadores associados àquele conteúdo (ou seja todas as atividades) estão disponíveis para serem detectadas. Assim que é detectado um marcador, então é renderizado o modelo 3D (Figura 2b). Na parte inferior da tela existem três botões de navegação: o retorno à listagem de conteúdos, a função de “fixar” o modelo e o acesso ao questionário. A funcionalidade de “fixar” permite que o estudante manipule o objeto 3D (rotacionando-o ou alterando sua escala) de forma independente do marcador físico. Essa estratégia de interação evita a interrupção da experiência caso o dispositivo perca o rastreamento do marcador, o que, em condições normais, forçaria o usuário a retornar à etapa de escaneamento. Toda vez que a página do questionário é acessada, tanto a ordem das questões quanto a das alternativas de cada questão são reordenadas.

Ao perfil de desenvolvedor é permitido criar as atividades e os questionários. Os conteúdos são exclusivamente criados pelos professores. A proposta para aplicação na es-

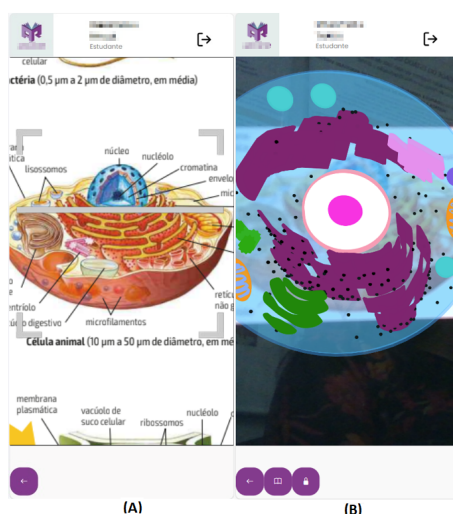


Figura 2. A) Página de Escaneamento; b) Página de Renderização.

cola 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. Como ainda não foi possível aplicar essa ideia em alguma escola, os acadêmicos do Bacharelado em Engenharia de Software da Udesc criam os modelos necessários como trabalho de creditação de extensão [Vanzuita et al. 2025].

2.1.2. Khan Academy

A Khan Academy¹ define-se como uma plataforma educativa digital e gratuita que revoluciona o ensino tradicional através da personalização e da aprendizagem baseada em domínio [Thompson 2011]. Utilizando uma grande biblioteca de vídeos explicativos e exercícios interativos, a plataforma permite que o estudante progrida ao seu próprio ritmo, enquanto utiliza elementos de gamificação para aumentar o engajamento. Estudos em escolas públicas demonstram que esta abordagem dinâmica e multimídia não só desperta um maior interesse dos estudantes pelos conteúdos, mas também democratiza o acesso ao conhecimento, permitindo que conceitos complexos sejam assimilados de forma autônoma e eficaz [Fiorio et al. 2020].

2.1.3. Plickers

O Plickers² é uma ferramenta digital gratuita voltada para fornecer *feedback* imediato em sala de aula, sendo amplamente utilizada na implementação de metodologias ativas. Ela permite que o professor colete respostas de testes conceituais de forma eletrônica, sem a necessidade de dispositivos individuais para cada aluno. O sistema funciona através de cartões físicos entregues aos estudantes (Figura 3), que possuem quatro opções de resposta; a alternativa escolhida é indicada pela posição em que o aluno levanta o cartão [Silva et al. 2018].

O professor utiliza um aplicativo de celular para escanear os cartões da turma,

¹<https://pt.khanacademy.org/>

²<https://www.plickers.com>



Figura 3. Exemplo de uso do Plickers.

Fonte: https://live.staticflickr.com/3699/13144216884_0f240cf1d0_b.jpg.

obtendo instantaneamente um relatório com a precisão dos acertos e o desempenho individual ou coletivo. Essa agilidade na coleta de dados permite que o docente faça intervenções didáticas precisas e imediatas no processo de ensino-aprendizagem, decidindo, por exemplo, se deve revisitar um conceito ou avançar para o próximo tópico com base no percentual de acertos visualizado na tela. Além de aumentar o engajamento dos alunos, a ferramenta garante o anonimato na votação perante os colegas, o que reduz o desconforto e a influência da maioria sobre as respostas individuais [Ditzz and Gomes 2017].

2.1.4. Instructional Materials Motivation Survey

O objetivo do Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) é avaliar a motivação dos estudantes após sua interação com materiais ou atividades instrucionais, com base no modelo ARCS (Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação). Esse instrumento foi desenvolvido para medir como os elementos de um curso ou recurso educacional influenciam o engajamento e o interesse dos alunos, permitindo analisar a efetividade de estratégias pedagógicas sob a perspectiva motivacional [Keller 2009]. Assim, o IMMS não mede diretamente o desempenho cognitivo, mas sim as reações motivacionais dos estudantes, que são importantes para a aprendizagem significativa e para o envolvimento com as atividades propostas [Loorbach et al. 2015].

O IMMS é composto por 36 itens organizados em quatro dimensões correspondentes ao modelo ARCS: atenção (12 itens, mensura a capacidade do material de captar e manter o interesse), relevância (9 itens, mede a percepção de utilidade e conexão com objetivos pessoais), confiança (9 itens, obtém a expectativa de sucesso na aprendizagem) e satisfação (6 itens, afere o sentimento positivo em relação à experiência de aprendiza-

gem). Os itens são respondidos em escala *Likert*, geralmente de 1 a 5, sendo necessário realizar a inversão dos itens negativos (Q03, Q07, Q12, Q15, Q19, Q22, Q26, Q29, Q31, Q34) antes do cálculo final. Cada dimensão pode gerar um subescore específico, e a soma ou média dos itens resulta em um índice global de motivação, refletindo a percepção geral do estudante em relação ao material instrucional [Cook et al. 2009].

O cálculo do índice e sua interpretação envolvem a agregação das respostas dos itens (após ajustes de pontuação) para cada dimensão e para o total. Valores mais altos indicam maior motivação percebida. A interpretação pode ser feita tanto de forma global quanto por dimensão, permitindo identificar pontos fortes e fragilidades do material instrucional. Além disso, para validar o instrumento e garantir a confiabilidade dos escores, são utilizadas estatísticas para consistência interna (alfa de Cronbach) [Keller 2009].

Existe uma versão traduzida para o português dos 36 itens, inclusive validada estatisticamente [Cardoso-Júnior et al. 2020].

2.2. Métodos

Enquanto no experimento anterior foram usadas 21 atividades totalizando 46 questões, nessa aplicação o professor da disciplina selecionou 19 atividades totalizando 40 questões. Como nessa segunda escola não utiliza os mesmos livros didáticos da primeira, foram produzidos como QRCode os marcadores dessas 19 atividades.

O desenho da validação foi criado juntamente com o professor da disciplina conforme ilustrado na Figura 4. Foi adotado um estudo quase-experimental com pré e pós-teste em um Grupo Experimental (GE) e um Grupo Controle (GC). Um quase-experimento não tem randomização completa pois foram usadas quatro turmas do Primeiro Ano do Ensino Médio (duas do curso Técnico em Informática e mais duas do curso Técnico em Administração), e cada duas delas (uma turma de cada curso, selecionadas aleatoriamente) representou um grupo distinto. Todas as turmas tiveram contato com o conteúdo através da plataforma Khan Academy, fotocópias de representações celulares e elaboração de glossários sobre o conteúdo. Foi aplicado um pré-teste (15 questões com cinco alternativas) em todas as quatro turmas. Em seguida, o professor conduziu quatro aulas de 50 minutos para as quatro turmas, divididas em dois encontros. Para todos foi utilizada a seguinte estratégia didática:

1. O professor distribuiu para cada aluno um marcador, que dependendo da direção correspondia a uma de quatro alternativas;
2. Ele projetava no quadro a imagem de uma organela, ou parte dela, acompanhada de uma questão (com quatro alternativas) de identificação ou função dessa estrutura;
3. A questão estava mapeada no Plickers. Então, o professor solicitava que todos mostrassem o seu marcador na direção com a alternativa que eles acreditavam estar correta. O professor com a câmera do celular ia passando pela sala para obter todas as respostas;
4. Por último, mostrava as alternativas votadas e explicava o porquê das alternativas incorretas.

Somente para o GE, antes da terceira etapa enumerada acima, havia na projeção um QRCode para ser acessado na plataforma EducaAR, onde o aluno podia interagir com

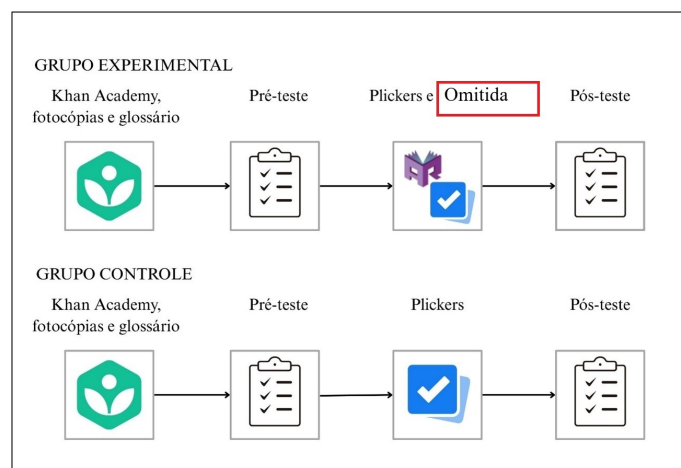


Figura 4. Metodologia de Pesquisa.

o modelo 3D projetado no seu celular, assim como responder às questões associadas ao modelo.

Por fim, foi aplicado o pós-teste com as mesmas questões aplicadas no pré-teste porém em outra ordem. Para analisar a evolução da aprendizagem (a diferença entre o pré e pós-teste), calcularam-se os ganhos de Hake [Hake 1998], normalizados pela fórmula de Marx e Cummings [Marx and Cummings 2007], que avalia a evolução da turma calculando a razão entre o ganho médio obtido e o ganho máximo possível. O resultado no ganho é um valor entre 0 e 1 com a seguinte interpretação: ganhos acima de 0,7 são considerados altos, abaixo de 0,3 são baixos e entre 0,3 e 0,7 são considerados ganhos médios.

A metodologia ilustrada na Figura 4 corresponde ao que foi realizado em sala. Mas, uma tarefa adicional foi fornecida aos estudantes, para eles responderem um formulário no Google Forms em relação ao instrumento IMMS. O GE ainda tinha um campo aberto para que pudessem fornecer sugestões de melhoria.

3. Resultados

A pesquisa foi conduzida com quatro turmas do 1º ano do ensino médio no Instituto Federal Catarinense (IFC). Duas turmas foram atribuídas ao GE (n=52) e duas turmas ao GC (n=48). A Tabela 1 apresenta o desempenho nos testes de ambos os grupos. A coluna **Máximo de Pontos Possíveis** corresponde à quantidade de alunos do Grupo multiplicado pela quantidade de questões (n=15). A coluna **Média Normalizada** corresponde a média de pontos para uma nota de 0 a 10.

3.1. Hipóteses sobre o desempenho

Não basta fazer uma observação simples das diferenças entre as médias. Para testar essas diferenças, e obter informação com significância estatística, faz-se necessário executar testes de hipóteses. Foi utilizada a ferramenta PAST [Hammer et al. 2001] para realizar esses testes. As hipóteses a serem testadas foram as seguintes:

H_1 - Não há diferença estatisticamente significativa no desempenho do GE.

Tabela 1. Estatística descritiva do GE e GC.

		Máximo de pontos possíveis	Pontos obtidos	Média normalizada	Desvio padrão	Ganho de Hake
GE	Pré-teste	780	404	5,17	3,10	0,23
	Pós-teste	780	492	6,30	2,87	
GC	Pré-teste	720	391	5,43	3,10	0,19
	Pós-teste	720	455	6,31	3,27	

Para testar essa hipótese foi executado o teste-t pareado usando as médias do pré e pós-teste do GE, alcançando um valor de $p = 3,08 \times 10^{-4}$. Com 99% de confiança, pode-se rejeitar a hipótese nula e confirmar estatisticamente que houve melhora no desempenho do GE.

H₂ - Não há diferença estatisticamente significativa no desempenho total entre os grupos.

Levando em consideração os ganhos de Hake apresentados na Tabela 1, ambos os Grupos tiveram valores abaixo de 0,3, que são considerados ganhos baixos. Entretanto, executando o teste t de duas amostras independentes, foi alcançado um valor de $p = 0,53$, indicando que não há informação suficiente para rejeitar essa hipótese nula.

3.2. Avaliação Qualitativa

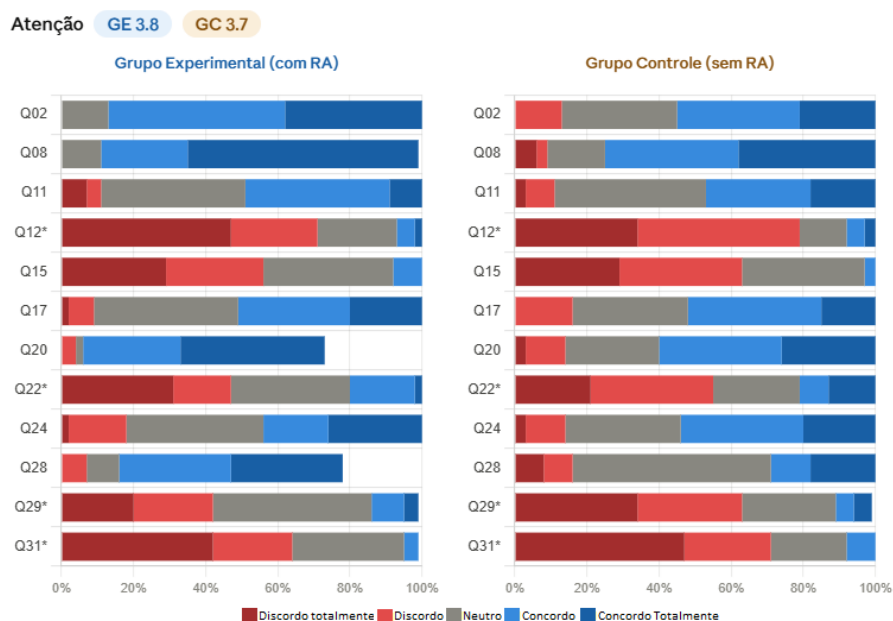
O instrumento IMMS foi aplicado para avaliar a motivação dos estudantes em relação às tecnologias usadas: o GC sobre o Plickers e GE sobre o Plickers e EducaAR. Como essa tarefa foi destinada para realizarem em casa, nem todos os estudantes colaboraram: no GE (n=45) e GC (n=38). A Tabela 2 apresenta um resumo das médias dos quatro eixos do IMMS entre os dois grupos. Inclusive, pode-se observar em ambos os grupos que o α de Cronbach > 0,9 indicando alta confiabilidade.

Tabela 2. Comparação dos valores de motivação (IMMS) entre GE e GC

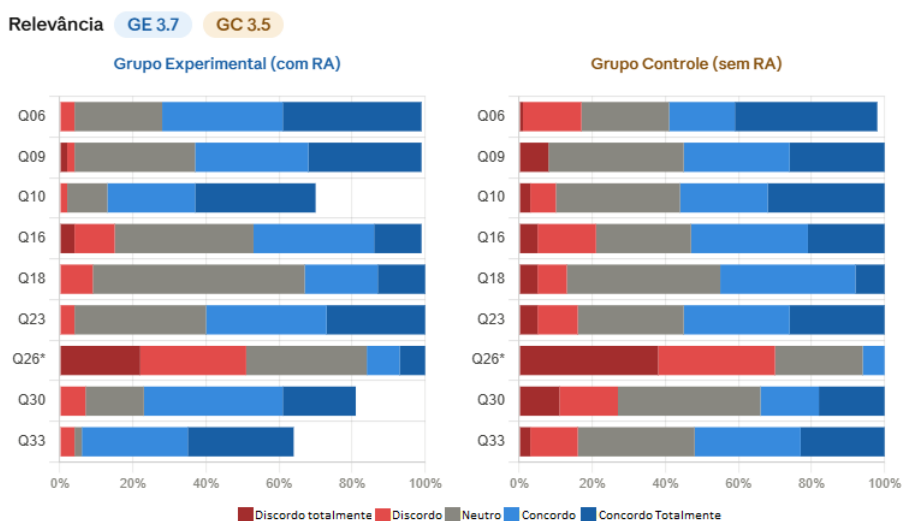
Grupo	α de Cronbach	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação	Total
GE	0,95	3,8	3,7	3,6	3,9	3,75
GC	0,94	3,7	3,5	3,7	3,7	3,66

Quanto à dimensão de atenção, o GE obteve escore superior ao GC (3,8 vs. 3,7). A distribuição das respostas (Figura 5) revela que o GE concentrou respostas positivas nos itens associados à novidade e à curiosidade visual proporcionada pelos modelos 3D, enquanto o GC apresentou maior dispersão entre as categorias neutro e concordo. A interatividade da RA parece ter transformado uma atenção passiva em uma postura mais investigativa diante do conteúdo.

Para a dimensão Relevância, o GE apresentou percepção de valor mais elevada que o GC (3,7 vs. 3,5). Conforme a Figura 6, os itens relativos à conexão entre o conteúdo e situações da vida real concentraram maior proporção de respostas positivas no GE. Destaca-se que, mesmo após contato prévio com o conteúdo por meio do Khan Academy

**Figura 5. Opiniões referente às questões de atenção**

e glossários, os alunos do GE perceberam a RA como uma abordagem qualitativamente diferente, ampliando a percepção de utilidade do material.

**Figura 6. Opiniões referente às questões de relevância**

Esta foi a única dimensão em que o GC superou o GE (3,7 vs. 3,6). Conforme ilustrado na Figura 7, a análise da distribuição indica que os alunos do GC expressaram maior clareza sobre o que precisavam aprender e menor percepção de dificuldade. No GE, os itens relacionados à complexidade da interface tecnológica (Q03 e Q19, invertidos) revelam que a interação com a RA introduziu uma camada adicional de demanda cognitiva, gerando insegurança inicial em parte dos estudantes, fenômeno consistente com a literatura sobre curva de aprendizagem de novas tecnologias em contextos educacionais.

A dimensão satisfação apresentou maior destaque do GE (3,9 vs. 3,7 do GC), sendo também a única em que o GE superou o GC em todos os itens (Figura 8). Os dados

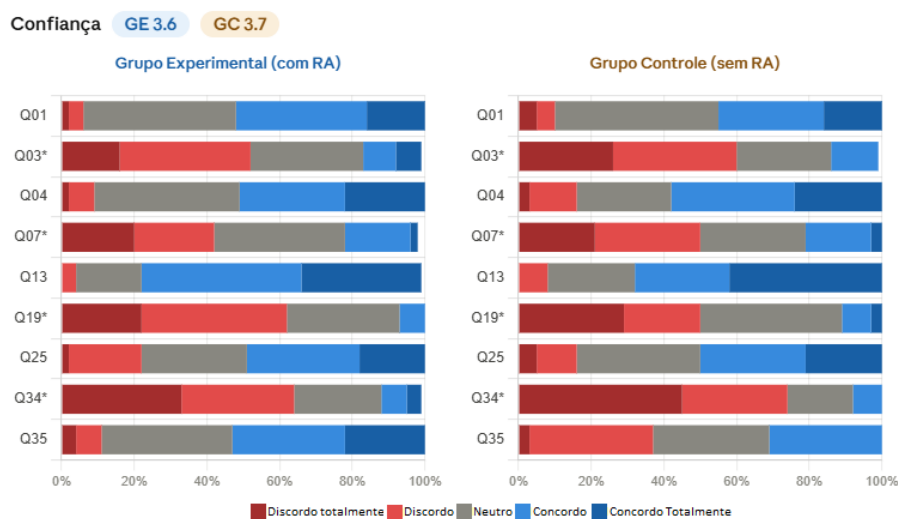


Figura 7. Opiniões referente às questões de confiança

indicam que a RA produziu uma sensação de recompensa imediata ao término das atividades, associada a um desejo espontâneo de aprofundamento no conteúdo. O feedback proporcionado pela plataforma foi percebido como elemento facilitador da compreensão, sugerindo que a RA atua de forma positiva sobre a dimensão afetiva da aprendizagem.

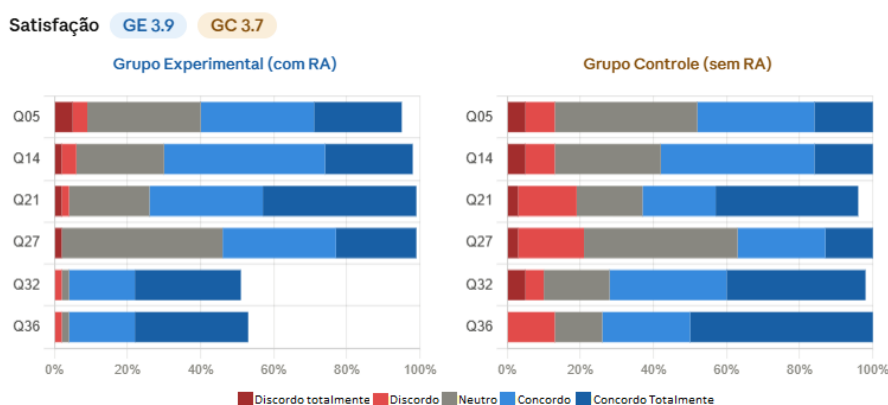


Figura 8. Opiniões referente às questões de satisfação

De forma geral, o escore total do GE (3,75) foi superior ao do GC (3,66), com vantagem do GE em três das quatro dimensões. O perfil motivacional resultante (Figura 9) evidencia que a RA ampliou especialmente a satisfação e a percepção de relevância, ao custo de uma leve redução na confiança, atribuível ao desafio de familiarização tecnológica.

Quanto às sugestões de melhoria, os estudantes destacaram a cor de fundo na apresentação dos objetos 3D quando fixavam o modelo, e a configuração de luz e sombra na visualização desses modelos. A primeira observação refere-se à plataforma: ao fixar o modelo, a imagem da câmera é desativada. A segunda diz respeito à qualidade dos modelos 3D que, segundo [Vanzuita et al. 2025], foram desenvolvidos por alunos do Bacharelado em Engenharia de Software da Udesc como atividade de creditação de extensão.



Figura 9. Perfil motivacional comparativo entre os grupos

4. Discussão

4.1. Desempenho Cognitivo

A rejeição da primeira hipótese nula (H_1) confirma que o GE obteve uma melhora significativa em seu desempenho após a intervenção com a plataforma. No entanto, ao confrontar os dois grupos (H_2), não foi possível rejeitar a hipótese nula indicando que não houve diferença estatisticamente relevante entre os ganhos de aprendizagem do GE e do GC. Ambos os grupos apresentaram o mesmo desempenho com ganhos de Hake normalizados baixos (abaixo de 0,3), o que sugere que as ferramentas não provocaram diferenciação no nível de conhecimento final quando comparadas entre si.

Dois fatores contextuais contribuem para compreender essa paridade. O primeiro refere-se ao tempo de exposição à plataforma: quatro aulas de 50 minutos podem ser insuficientes para que o processo de familiarização com a tecnologia se converta em ganhos cognitivos mensuráveis. O segundo diz respeito à robustez da base pedagógica preexistente: a combinação de Khan Academy, Plickers e glossários já constituía uma estratégia ativa consolidada. Nesse contexto, a RA não encontrou lacuna pedagógica a preencher, o que dificulta a detecção estatística de vantagens cognitivas adicionais. Esse fenômeno é coerente com estudos que apontam ganhos cognitivos da RA mais pronunciados em contextos de ensino predominantemente expositivo, nos quais a tecnologia representa uma ruptura mais acentuada com a metodologia anterior [Sattar et al. 2025, Palacios et al. 2024].

Adicionalmente, o conhecimento inicial já relativamente elevado limitou a margem de crescimento acadêmico mensurável, comprimindo o espaço para ganhos expressivos em qualquer um dos grupos.

4.2. Engajamento Motivacional

Os resultados do IMMS revelam um padrão distinto do observado no desempenho cognitivo: embora os escores globais dos dois grupos sejam próximos (GE: 3,75; GC: 3,66), a RA produziu diferenciação qualitativa em três das quatro dimensões do modelo ARCS.

Na dimensão Atenção, o GE apresentou escore ligeiramente superior (3,8 vs. 3,7), com concentração de respostas positivas nos itens associados à novidade e à exploração visual. Esse resultado é consistente com a literatura que atribui à RA capacidade de capturar a atenção inicial do estudante por meio da surpresa e da interatividade [Cardoso et al. 2014, Billinghamurst et al. 2015]. Na dimensão Relevância, o GE também se destacou (3,7 vs. 3,5), indicando que a visualização tridimensional das organelas favoreceu a conexão entre o conteúdo abstrato e experiências concretas, mesmo entre alunos que já haviam estudado o tema por outras vias. A dimensão Satisfação apresentou o maior escore no GE (3,9) e a única em que o GE superou o GC em todos os itens. Os dados sugerem que a RA produz uma sensação de recompensa imediata associada à conclusão das atividades, com impacto positivo sobre a dimensão afetiva da aprendizagem.

A única dimensão em que o GC superou o GE foi Confiança (3,7 vs. 3,6). Esse resultado indica que a interface tecnológica da RA introduziu uma camada adicional de demanda cognitiva, gerando insegurança inicial em parte dos estudantes do GE. Esse efeito, recorrente na literatura sobre adoção de tecnologias educacionais [Rezende et al. 2021], tende a se dissipar com maior tempo de exposição e familiarização com a ferramenta.

Em conjunto, esses resultados indicam que a RA funcionou primariamente como recurso motivacional e de engajamento emocional, mais do que como instrumento de ganho cognitivo imediato. Essa distinção é pedagogicamente relevante: a motivação sustentada é apontada como antecedente de resultados de aprendizagem a longo prazo [Ribeiro 2011], sugerindo que os benefícios cognitivos da RA podem emergir de forma mais expressiva em intervenções de maior duração.

4.3. Implicações Práticas

Os resultados deste estudo oferecem orientações concretas para professores e gestores que considerem a adoção da RA em contextos de ensino médio. Primeiramente, a RA demonstra maior potencial de impacto quando introduzida em contextos pedagógicos com menor grau de diversificação metodológica, nos quais pode representar um diferencial motivacional mais pronunciado. Em ambientes já enriquecidos por metodologias ativas, seu papel tende a ser complementar e motivacional, não substitutivo.

Em segundo lugar, recomenda-se que a introdução da RA seja acompanhada de um período de familiarização tecnológica anterior à avaliação de desempenho, de modo a mitigar o efeito de insegurança inicial observado na dimensão Confiança. Uma ou duas aulas dedicadas exclusivamente à exploração livre da plataforma podem reduzir essa barreira e potencializar os ganhos subsequentes.

Por fim, os ajustes identificados a partir das sugestões dos estudantes, como a alteração da cor de fundo ao fixar o modelo e a orientação pedagógica na modelagem 3D, foram incorporados ao desenvolvimento contínuo da plataforma, evidenciando um ciclo de melhoria iterativa que valoriza a perspectiva dos usuários finais no aprimoramento de tecnologias educacionais.

5. Conclusões

Retornando à questão de pesquisa “Quais os ganhos em desempenho e motivação com a aplicação da plataforma EducaAR para o conteúdo de biologia celular em turmas do

ensino médio?”, os resultados indicam que, no aspecto cognitivo, ambos os grupos obtiveram ganhos equivalentes e classificados como baixos pelos índices de Hake, o que se atribui ao conhecimento prévio já elevado dos estudantes e à curta duração da intervenção.

Por outro lado, no quesito motivacional, o GE apresentou escores superiores em satisfação e relevância. Esses dados indicam que o verdadeiro benefício da RA reside em manter o aluno interessado e conectado ao aprendizado, transformando a percepção de utilidade do conteúdo e o prazer em realizar as tarefas acadêmicas. Ao favorecer um ambiente de aprendizagem mais estimulante, a RA combate o desinteresse escolar, sugerindo que ganhos cognitivos mais expressivos podem surgir como consequência natural dessa motivação sustentada ao longo do tempo. Assim, recomenda-se o uso da RA não apenas como um recurso de visualização, mas como uma estratégia de reforço emocional que valoriza o processo educativo para além do resultado imediato de uma avaliação.

Para pesquisas futuras, serão necessárias outras investigações no intuito de verificar outras de aplicação da RA como: replicação com maior tempo de exposição, investigação do efeito da RA em conteúdos com maior grau de abstração, ou estudos longitudinais para verificar se a motivação elevada se traduz em ganhos cognitivos de longo prazo.

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. Por fim, os investigadores agradecem a parceria com o Prof. Dr. Gabriel Murilo Ribeiro Gonino da disciplina de Biologia, e os alunos de quatro turmas do Instituto Federal Catarinense (IFC) por terem nas aulas usado a plataforma EducaAR e respondido o questionário IMMS.

Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Cabe destacar que a utilização de inteligência artificial generativa foi empregada nesta pesquisa como ferramenta de apoio. Especificamente, a ferramenta Jenni AI³ foi utilizada para auxiliar na busca e seleção de artigos científicos. Adicionalmente, a ferramenta Gemini⁴ foi empregada para auxiliar na estruturação e na redação de trechos específicos do documento. Por fim, Claude⁵ foi utilizado para gerar os gráficos do IMMS e auxiliou na análise deles. Todos os textos e resultados gerados por essas ferramentas foram revisados, editados e validados pelos autores, que assumem total responsabilidade pela precisão, veracidade e conteúdo final do trabalho.

Referências

Billinghurst, M., Clark, A., and Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3):73–272.

³<https://jenni.ai>

⁴<https://gemini.google.com/>

⁵<https://claude.ai/>

- Cardoso, R. G. S., Pereira, S. T., Cruz, J. H., and Almeida, W. R. M. (2014). Uso da realidade aumentada em auxílio à educação. In *Computer on the Beach*, pages 330–339, Florianópolis, SC.
- Cardoso-Júnior, A., Garcia, V. C. S., Coelho, D. V., Said, C. d. C., Strapasson, A. C. P., and de Resende, I. S. (2020). Tradução e adaptação transcultural do Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) para o português do Brasil. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 44(4).
- Carmigniani, J. and Furht, B. (2011). Augmented Reality: An Overview. In *Handbook of Augmented Reality*, chapter 1, pages 3–46.
- Carvalho, J. R. B. (2023). A utilização da realidade aumentada como estratégia pedagógica no ensino de arte e tecnologia. *Revista Tecnologias Educacionais em Rede (ReTER)*, pages e19—1.
- Chiu, P. H., Tseng, P. H., and Feng, K. T. (2018). Interactive Mobile Augmented Reality System for Image and Hand Motion Tracking. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(10):9995–10009.
- Cook, D. A., Beckman, T. J., Thomas, K. G., and Thompson, W. G. (2009). Measuring motivational characteristics of courses: applying Keller’s instructional materials motivation survey to a web-based course. *Academic medicine*, 84(11):1505–1509.
- Ditzz, Á. J. M. and Gomes, G. R. R. (2017). A utilização do aplicativo plickers no apoio à avaliação formativa. *Revista Tecnologias na Educação, Ano*, 9:1–13.
- Ferreira, C. E. A., Mazon, J., Pozzebon, E., Okada, A., and Costa, A. M. (2022). Realidade Aumentada como apoio ao ensino de Ciências no contexto da pandemia por Covid-19: um estudo de caso. *Research, Society and Development*, 11(12):e503111234826—e503111234826.
- Fiorio, R., Varela, P., and Semler, J. R. (2020). Percepções do uso de ferramentas online no processo de Ensino-aprendizagem de Física para o ensino médio em escolas públicas do Sudoeste do Paraná. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 01–10.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1):64–74.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., and Ryan, P. D. (2001). PAST : Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1).
- Ivanova, G., Aliev, Y., and Ivanov, A. (2014). Augmented Reality Textbook for Future Blended Education. In *International Conference on e-Learning*, pages 130–136.
- Keller, J. M. (2009). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer Science & Business Media.
- Loorbach, N., Peters, O., Karreman, J., and Steehouder, M. (2015). Validation of the Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) in a self-directed instructional setting aimed at working with technology. *British journal of educational technology*, 46(1):204–218.

- Marx, J. D. and Cummings, K. (2007). Normalized change. *American Journal of Physics*, 75(1):87–91.
- Palacios, A., Pascual, V., and Moreno-Mediavilla, D. (2024). Methodological Design in the Use of Virtual Simulations in Chemistry: A Systematic Review. *Journal of Technology and Science Education*, 14(3):701–719.
- Rezende, S. M., Gonçalves, J. D. B., Pinto, S. C. C. S., and Delou, C. M. C. (2021). A realidade aumentada em situações de aprendizagem na educação básica: Uma revisão de literatura. In *Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade (WICS)*, pages 102–111. SBC.
- Ribeiro, F. (2011). Motivação e aprendizagem em contexto escolar. *Profforma*, 3:1–5.
- Sattar, M. A., Maqbool, M. U., Zakir, F., and Billah, M. (2025). Enhancing student engagement through augmented reality in secondary biology education. In *Frontiers in Education*, volume 10, page 1628004. Frontiers Media SA.
- Silva, D. d. O., Sales, G. L., and de Castro, J. B. (2018). A utilização do aplicativo Plickers como ferramenta na implementação da metodologia Peer Instruction. *Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar*, 4(12).
- Thompson, C. (2011). How Khan Academy is changing the rules of education. *Wired magazine*, 126:1–5.
- Tutkun, C. and Ekwueme, C. M. (2024). Teacher views on the use of augmented reality in preschool education. In *7th Internacional African Conference on Contemporary Scientific Research*.
- Vanzuita, A. C., dos Santos, A. F. C., Mondini, J., Küster, L. F., Klettenberg, R. G., Vahldick, A., and da Luz, T. L. (2025). Desenvolvimento e Validação de uma Plataforma Web de Realidade Aumentada para Aplicações Educacionais. In *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2025)*, pages 1–13.
- Yang, H. S., Cho, K., Soh, J., Jung, J., and Lee, J. (2008). Hybrid visual tracking for augmented books. In *International Conference on Entertainment Computing*, volume 5309 LNCS, pages 161–166. Springer Berlin Heidelberg.