

BIOCH VR: Aplicativo de Realidade Virtual para o Ensino de Biomoléculas - Aminoácidos e Proteínas

BIOCH VR: Virtual Reality Application for Teaching Biomolecules - Amino Acids and Proteins

Luis F. Soares,^{a,*} Alex G. Taranto,^b Rafael C. R. Chagas,^a Isabela L. A. Silva,^a Driely R. da Silva^a

^a Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Centro-Oeste Dona Lindu, CEP 35501-296, Divinópolis-MG, Brasil

^b Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Dom Bosco, Departamento de Biotecnologia, CEP 36307-352, São João del-Rei-MG, Brasil

*E-mail: lfssoares@ufsj.edu.br

Submissão: 09 de Julho de 2025 – Aceite: 9 de Fevereiro de 2026 – Publicado online: 5 de Março de 2026

This study presents the development of an educational virtual reality application aimed at teaching biomolecules. The application comprises three interactive 3D environments: the first is dedicated to the visualization of the 20 main amino acids in different representations (ball-and-stick, line, and space-filling), accompanied by audio and informational panels in Portuguese, Spanish, and English. The second environment features five biologically relevant peptides, while the third showcases six key proteins. The project was developed using the Unreal Engine 5.4 platform, with molecular structures obtained from the Protein Data Bank (RCSB PDB) and edited using Autodesk 3ds Max software. The proposed solution seeks to enhance the visualization and understanding of complex molecular structures by leveraging the pedagogical potential of virtual reality in biochemistry education. The results indicate high acceptance and strong educational potential for the use of virtual reality in teaching structural biochemistry. The lack of prior familiarity with the technology did not compromise the experience, although it did present occasional navigation challenges. The implementation of immersive resources may represent an effective strategy for improving molecular visualization and student engagement.

Keywords: Virtual reality; amino acids; peptides; proteins.

1. Introdução

O desafio de ensinar bioquímica no ensino superior reside na necessidade de transmitir conteúdos altamente abstratos e complexos, como a estrutura e a função de aminoácidos e proteínas, de forma que os estudantes consigam internalizar e aplicar o conhecimento.¹ Os métodos tradicionais – aulas expositivas, quadros e livros em 2D – muitas vezes se mostram ineficientes, causando desmotivação e baixa retenção do conteúdo.

Nesse sentido, metodologias ativas como a gamificação e a realidade virtual (RV) têm se destacado como inovações pedagógicas com alto potencial para dinamizar o ensino de Bioquímica. A gamificação, que incorpora elementos de jogos (pontuação, desafios, recompensas) em atividades educativas, tem demonstrado eficácia no aumento do engajamento, da motivação intrínseca e do desenvolvimento de habilidades cognitivas complexas.^{2,3} Já a realidade virtual oferece ambientes tridimensionais imersivos, nos quais os alunos podem interagir diretamente com estruturas moleculares, facilitando a compreensão de conceitos

espaciais e funcionais de biomoléculas.⁴

Quando integradas, gamificação e RV apresentam potencial para revolucionar o aprendizado de Bioquímica. Um estudo de Makransky e Mayer⁵ mostrou resultados promissores ao combinar essas tecnologias, especialmente no que se refere à visualização de estruturas moleculares complexas. Por exemplo, estudantes podem participar de atividades gamificadas que envolvem montar cadeias de aminoácidos até formar uma proteína funcional, compreendendo os mecanismos de dobramento e os efeitos de interações laterais.

Barrow *et al.*⁶ realizaram um estudo piloto com 10 graduandos usando RV para ensinar o ciclo do ácido cítrico, observando-se aumento significativo na compreensão dos processos bioquímicos e engajamento, medido por testes e parâmetros fisiológicos. Tsirulnikov *et al.*,⁷ ao estudarem 39 estudantes de Bioquímica usando simulações de laboratório em RV compostas por elementos de gamificação, verificaram melhorias no desempenho acadêmico e motivação; 91% dos participantes consideraram a experiência um excelente complemento ao ensino tradicional. Já Lo, Lee e Ngai⁸

indicaram que diversas intervenções com realidade virtual gamificada no ensino de Bioquímica revelaram ganhos consistentes em percepção de usabilidade, conhecimento técnico e desempenho em testes. Descrições dos alunos mencionaram termos como “divertido”, “realista” e “informativo”.

Esses estudos indicam que experiências gamificadas em RV não apenas aumentam a motivação e o engajamento, como também promovem uma aprendizagem mais profunda e duradoura. Esse impacto é particularmente relevante para conteúdos estruturais de biomoléculas, que envolvem diferentes níveis de organização (primário, secundário, terciário e quaternário) e interações químicas complexas entre aminoácidos.

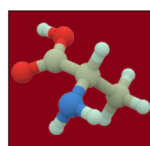
Além disso, a imersão em RV permite aos estudantes manipularem moléculas em escala ampliada, observar diretamente forma e função das proteínas, compreender erros de dobramento e visualizar como alterações em cadeias laterais modificam a estrutura final. A gamificação atua como fator motivacional que sustenta o uso contínuo dessas ferramentas, reforçando o aprendizado por meio de *feedback* imediato, resolução de desafios e progressão gamificada.

Com o desenvolvimento do aplicativo BIOCH VR, pretende-se ampliar os materiais didáticos disponíveis nos cursos de Bioquímica, especialmente no processo de ensino-aprendizagem voltado à visualização tridimensional de biomoléculas como aminoácidos e proteínas.

2. Experimental

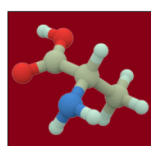
2.1. Etapa 1: Pesquisa e aquisição de moléculas

Todas as moléculas utilizadas no aplicativo foram obtidas no site da *Research Collaboratory for Structural Bioinformatics Protein Data Bank*. Foram obtidos os 20 aminoácidos essenciais, 5 peptídeos (angiotensina, bradicinina, glutatona, ocitocina e vasopressina) e 6 proteínas (lisosima T4 (102L), ferredoxina (1A70), ubiquitina (1UBQ), fator de crescimento -EGF (1JL9), insulina (4EWW) e parvbulmina (1PAL)).



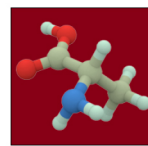
NOME: Alanina
ABREVIACÃO: Ala (A)
CLASSIFICAÇÃO: grupo R
apolar, alifático
FÓRMULA QUÍMICA:
 $C_3H_7NO_2$
MASSA MOLECULAR: 174,204
 $g \cdot mol^{-1}$

A alanina é um aminoácido não essencial, desempenhando um papel vital no metabolismo energético e na síntese de proteínas. Ela é importante para a produção de glicose no fígado, ajudando a manter os níveis de açúcar no sangue estáveis. A alanina também participa na remoção de toxinas do corpo através do ciclo da alanina-glicose. Além disso, ela é crucial para a saúde muscular, sendo utilizada como fonte de energia durante exercícios intensos. Fontes alimentares ricas em alanina incluem carnes, peixes, ovos, laticínios e leguminosas. A suplementação de alanina pode ser benéfica para atletas e pessoas com necessidades energéticas aumentadas.



NAME: Alanine
ABBREVIATION: Ala (A)
CLASSIFICATION: nonpolar,
aliphatic R group
CHEMICAL FORMULA:
 $C_3H_7NO_2$
MOLECULAR MASS: 174,204
 $g \cdot mol^{-1}$

Alanine is a non-essential amino acid, playing a vital role in energy metabolism and protein synthesis. It is important for glucose production in the liver, helping to maintain stable blood sugar levels. Alanine also participates in the removal of toxins from the body through the alanine-glucose cycle. Additionally, it is crucial for muscle health, being used as an energy source during intense exercise. Food sources rich in alanine include meat, fish, eggs, dairy products, and legumes. Alanine supplementation can be beneficial for athletes and people with increased energy needs.



NOMBRE: Alanina
ABREVIATURA: Ala (A)
CLASIFICACIÓN: grupo R no
polar, alifático
FÓRMULA QUÍMICA:
 $C_3H_7NO_2$
MASA MOLECULAR: 174,204
 $g \cdot mol^{-1}$

La alanina es un aminoácido no esencial, desempeñando un papel vital en el metabolismo energético y la síntesis de proteínas. Es importante para la producción de glucosa en el hígado, ayudando a mantener niveles estables de azúcar en la sangre. La alanina también participa en la eliminación de toxinas del cuerpo a través del ciclo alanina-glucosa. Además, es crucial para la salud muscular, siendo utilizada como fuente de energía durante el ejercicio intenso. Las fuentes alimenticias ricas en alanina incluyen carnes, pescados, huevos, productos lácteos y legumbres. La suplementación de alanina puede ser beneficiosa para atletas y personas con necesidades energéticas aumentadas.

2.2. Etapa 2: Transformação dos tipos de arquivos do PDB para a UE5.4

A plataforma do PDB exporta arquivos do tipo “.GLB”, “.PDB”, “.CIF”, entre outros, mas a UE5.4 permite importar apenas objetos 3D do tipo “.FBX” ou “.OBJ”. Portanto, foi necessário a conversão de formatos. Para isso foram utilizados sites gratuitos que transformam “.GLB” em “.FBX”. Após esta conversão, os arquivos foram abertos no *3ds Max* para eliminação dos objetos adicionais (como câmera e luzes), em seguida agrupados e exportados no formato “.FBX”.

2.3. Etapa 3: Preparação dos painéis textuais

Os textos foram preparados e montados na forma de painéis em português, inglês e espanhol (Figura 1).

2.4. Etapa 4: Preparação dos áudios

Foram preparados áudios contendo os textos de todos os painéis em português, inglês e espanhol, utilizando sites gratuitos. Os arquivos foram gerados no formato “.WAV”.

2.5. Etapa 5: Modelagem do ambiente virtual

Foram modelados 4 ambientes virtuais. O primeiro corresponde à sala de entrada, com um painel de instruções e portas que funcionam como acesso para os outros ambientes. No ambiente dos aminoácidos, os modelos estão dispostos em um corredor, sobre mesas posicionados à frente dos painéis informativos. As salas dos peptídeos e das proteínas foram estruturadas em formato de sala única.

Dentro do ambiente virtual, o usuário pode escolher o idioma, a cor e a intensidade do ambiente. Nas salas dos aminoácidos e peptídeos, é possível manipular as moléculas, modificando a forma de visualização de *ball & stick* para *spacefill* ou *line* por meio de botão do joystick. Enquanto segura a molécula, o usuário também pode ativar o áudio (PLAY/STOP).

Na sala das proteínas, o usuário pode selecionar a

Figura 1. Exemplo de painéis em três idiomas utilizados no aplicativo

molécula e alterar a forma de visualização – *ball & stick*, *cartoon* ou *spacefill* – por meio de botões na parede.

2.6. Etapa 6: Importação de modelos e produção de Blueprint

No desenvolvimento do sistema na UE5.4, a programação foi elaborada utilizando o sistema de *Blueprint*. A Figura 2 mostra um exemplo de programação, onde a classe “EnhancedInputAction IA_Menu_Toggle_Right” indica uma ação que, quando verdadeira (“Branch” = “True”), troca o modelo da molécula (“skeletal mesh asset”) dependendo da quantidade de vezes que o botão do joystick é acionado (“variável “cont”).

Na produção dos menus são criados botões, como por exemplo (Figura 3), que passam para o sistema qual a linguagem escolhida.

2.7. Etapa 7: Teste do protótipo

Foi realizado um teste piloto do aplicativo BIOCH VR com 24 estudantes dos cursos de Farmácia e Bioquímica do Campus Centro-Oeste da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ). A avaliação foi conduzida por meio da aplicação de um questionário estruturado, composto por

perguntas objetivas, com respostas do tipo “sim” ou “não”, e por uma escala de avaliação do tipo Likert, conforme descrito a seguir.

O questionário foi organizado em quatro blocos temáticos:

1. Conhecimento prévio sobre aminoácidos
 - a) Você consegue se lembrar do nome e da estrutura dos 20 aminoácidos principais?
 - b) Você tem facilidade em visualizar mentalmente as estruturas tridimensionais dos aminoácidos?
 - c) Você conhece algum aplicativo relacionado a esse tema? Em caso afirmativo, ele utiliza realidade virtual?
2. Experiência prévia com óculos de realidade virtual
 - a) Você já havia utilizado algum tipo de óculos de realidade virtual anteriormente?
 - b) Você sentiu algum desconforto físico ou sensorial durante o uso do óculos?
 - c) Você apresentou alguma dificuldade na utilização do aplicativo?
3. Avaliação do uso do aplicativo no contexto educacional
 - a) Você considera que o aplicativo deve ser utilizado como recurso didático em aulas de Bioquímica?

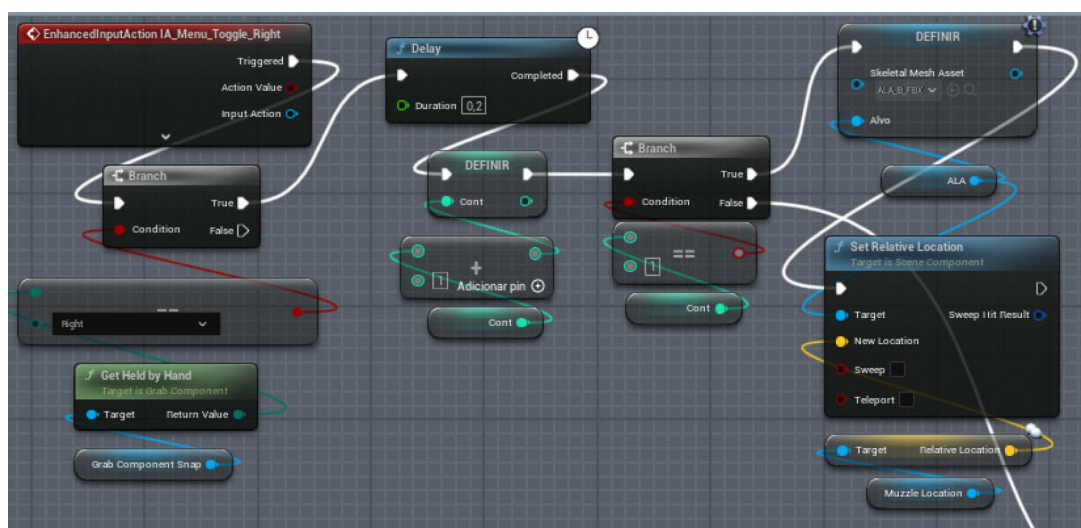


Figura 2. Exemplo de programação em *Blueprint* para alteração de estrutura das moléculas

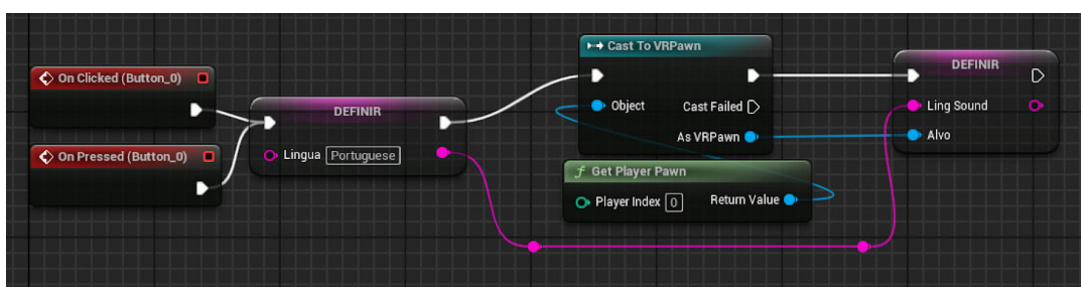


Figura 3. Exemplo de programação em *Blueprint* para alteração de idiomas dos áudios e painéis

- b) Você acredita que o uso do aplicativo contribuiu para uma melhor compreensão das estruturas tridimensionais dos aminoácidos?

4. Avaliação geral do aplicativo

Os participantes avaliaram o aplicativo utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 corresponde a muito ruim, 2 a ruim, 3 a bom, 4 a muito bom e 5 a excelente. Foram avaliados os seguintes aspectos: cores, iluminação, textos informativos e áudios.

2.8. Etapa 8: Registro e disponibilização do aplicativo

O software encontra-se em fase de registro no INPI. A versão *demo*, para instalação direta nos óculos de desenvolvedor, pode ser solicitada pelo e-mail do autor e, posteriormente, será disponibilizada à comunidade em geral na plataforma da Meta.

3. Resultados e Discussão

O desenvolvimento do aplicativo BIOCH VR resultou na criação de um ambiente virtual interativo, composto por três espaços dedicados à visualização de biomoléculas em diferentes níveis de complexidade. O primeiro ambiente permite explorar os 20 aminoácidos padrão em diferentes representações moleculares, com suporte textual e auditivo em três idiomas. O segundo ambiente apresenta cinco peptídeos biologicamente relevantes, enquanto o terceiro reúne seis proteínas selecionadas por seu valor didático (Figura 4).

A estrutura técnica foi construída utilizando o Unreal Engine 5.4, com modelos moleculares convertidos e otimizados no Autodesk 3ds Max. A importação dos dados tridimensionais a partir do *Protein Data Bank* exigiu a conversão dos arquivos para formatos compatíveis com o motor gráfico utilizado. Cada modelo foi posicionado de forma a facilitar sua manipulação, possibilitando a mudança de visualizações e a ativação de recursos multimídia.

A interface do usuário foi pensada para ser intuitiva, com menus que permitem selecionar o idioma, a cor do ambiente

e a intensidade da iluminação. A navegação nos ambientes foi organizada para promover a exploração autônoma dos modelos moleculares, permitindo alterações na forma de visualização e acesso a informações complementares por meio de painéis e áudios.

As funcionalidades implementadas buscam oferecer uma ferramenta que favoreça a visualização espacial e a compreensão da diversidade estrutural dos aminoácidos, peptídeos e proteínas, ampliando o leque de recursos disponíveis para o ensino de Bioquímica. A expectativa é que a interação direta com os modelos tridimensionais contribua para um melhor entendimento das estruturas e de suas propriedades.

Foram modelados quatro ambientes virtuais. O primeiro corresponde à sala de entrada, com um painel de instruções e portas que funcionam como acesso para os demais ambientes. No ambiente dos aminoácidos, os modelos estão dispostos em um corredor sobre mesas, posicionados à frente dos painéis informativos (Figura 5). A sala dos peptídeos e de proteínas foram estruturadas em uma sala própria.

Dentro do ambiente virtual, o usuário pode escolher o idioma, a cor e a intensidade do ambiente (Figura 6).

Nas salas dos aminoácidos e dos peptídeos, o usuário pode manipular a molécula e, utilizando o botão do joystick, modificar a forma de visualização de *ball & stick* para *spacefill* ou *line*. Enquanto estiver segurando a molécula, também é possível ativar ou interromper o áudio (PLAY/STOP, Figura 7).

Na sala das proteínas, o usuário pode escolher a molécula e a forma de visualização como *ball & stick*, *cartoon* ou *spacefill* através da seleção em botões na parede (Figura 8).

Considerando essas possibilidades de interação e alternância entre diferentes formas de visualização molecular nos ambientes de aminoácidos, peptídeos e proteínas, procedeu-se à avaliação do aplicativo junto a estudantes, com o objetivo de analisar sua usabilidade, aceitação e contribuição para a compreensão das estruturas tridimensionais.

Em relação ao conhecimento prévio sobre aminoácidos, 58,3% dos participantes afirmaram recordar-se dos nomes



Figura 4. Ambiente virtual apresentando a imagem do tutorial e as salas para entrar em outros ambientes



Figura 5. Ambiente virtual da sala dos aminoácidos



Figura 6. Menus de configuração de cor, iluminação e idioma

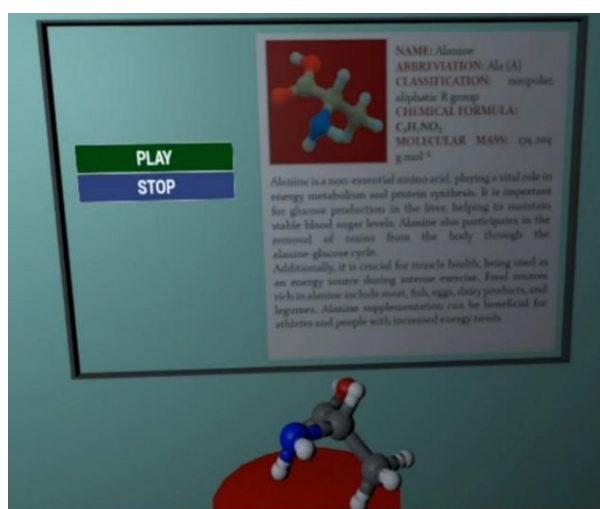


Figura 7. Imagem de um aminoácido com estrutura ball & stick com painel em inglês

e das estruturas dos 20 aminoácidos proteicos padrão. Entretanto, apenas 50,0% relataram facilidade em visualizar

mentalmente as estruturas tridimensionais, indicando que, embora parte dos estudantes apresente familiaridade conceitual com o conteúdo, ainda existem limitações na construção de representações espaciais dessas biomoléculas.

Esse resultado sugere que o reconhecimento teórico dos aminoácidos não necessariamente se traduz em domínio da visualização tridimensional, aspecto relevante em conteúdos que envolvem estruturas espaciais.

Nesse contexto, estudos de caráter mais amplo sobre o uso de tecnologias imersivas no ensino superior apontam que conceitos abstratos e com forte componente espacial podem apresentar dificuldades quando abordados exclusivamente por representações bidimensionais, indicando o potencial de ambientes imersivos como ferramentas de apoio à aprendizagem desses conteúdos⁴.

Além disso, somente 25,0% declararam conhecer algum aplicativo relacionado ao tema, sendo que nenhum deles utilizava tecnologia de realidade virtual, o que evidencia baixa exposição prévia a ferramentas digitais imersivas aplicadas ao ensino de bioquímica estrutural (Figura 9).

No que se refere à experiência com dispositivos de realidade virtual, nenhum dos participantes havia utilizado óculos de RV anteriormente, caracterizando um primeiro contato com esse tipo de tecnologia. Após a interação com o BIOCH VR, apenas 12,5% relataram algum desconforto inicial durante o uso do dispositivo, enquanto 25,0% indicaram dificuldades relacionadas à utilização do aplicativo. Esses resultados refletem o caráter introdutório da experiência e sugerem a necessidade de um período inicial de adaptação aos controles e à navegação em ambientes imersivos.

A literatura indica que sensações de mal-estar associadas ao fenômeno conhecido como *cybersickness* podem ocorrer, sobretudo em usuários sem experiência



Figura 8. Imagem da sala de proteína e painel de opções

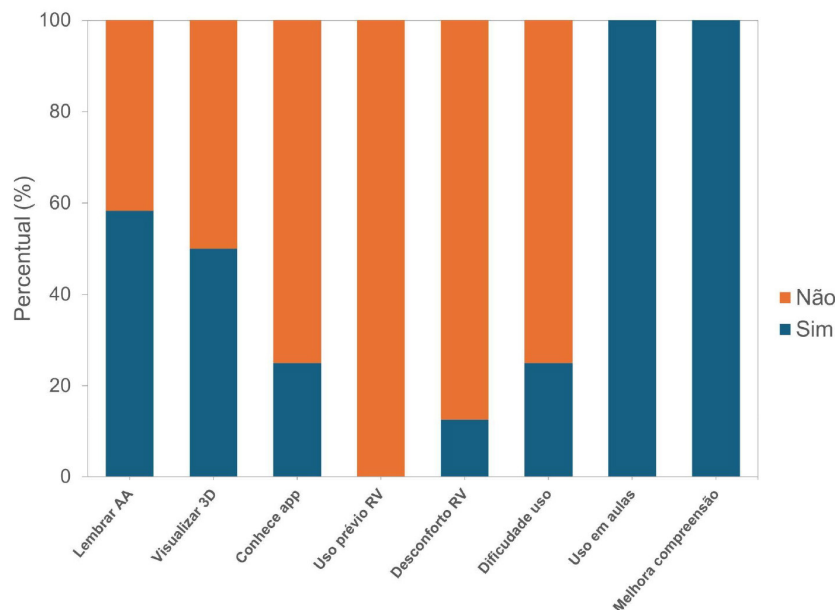


Figura 9. Distribuição percentual das respostas “Sim” e “Não” às questões relacionadas ao conhecimento prévio sobre aminoácidos, à experiência com dispositivos de realidade virtual e à percepção do uso educacional do aplicativo BIOCH VR pelos participantes

prévia com realidade virtual, estando relacionadas a fatores como interação, movimentação e configuração do sistema. Entretanto, estudos realizados em contextos educacionais imersivos demonstram que esses efeitos tendem a se manifestar de forma leve e sem impacto significativo quando as aplicações são adequadamente projetadas e utilizadas por períodos controlados¹³. Nesse sentido, o baixo percentual de participantes que relataram desconforto no presente estudo indica que o BIOCH VR apresentou boa tolerabilidade, não sendo observados efeitos adversos relevantes, o que o torna compatível com o uso em contextos educacionais.

Apesar dessas dificuldades iniciais, a percepção quanto à aplicabilidade didática do aplicativo foi amplamente positiva. Todos os discentes (100%) consideraram que o BIOCH VR deveria ser incorporado às atividades educacionais e afirmaram que o uso do recurso contribuiu para uma melhor compreensão das estruturas tridimensionais dos aminoácidos.

A avaliação geral do aplicativo por meio de escala

Likert reforçou esses achados (Figura 10). Os aspectos visuais e informacionais apresentaram médias elevadas, com valores de 4,17 para cores, 4,50 para iluminação,

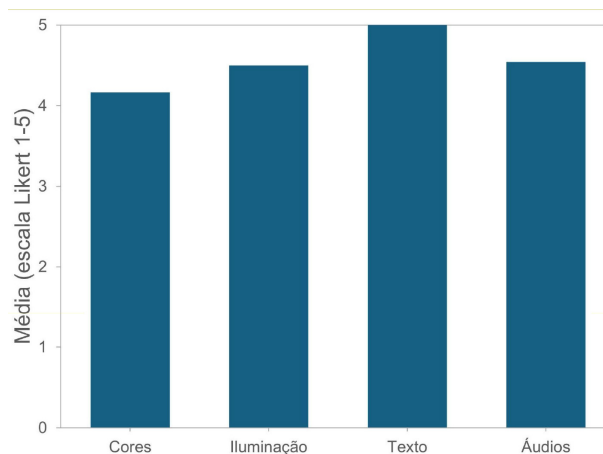


Figura 10. Avaliação média dos aspectos visuais e informacionais do aplicativo BIOCH VR (cores, iluminação, textos e áudios), obtida por meio de escala Likert de 1 a 5, em que valores mais elevados indicam melhor avaliação

5,00 para textos e 4,54 para áudios. A predominância de avaliações concentradas nos valores “muito bom” e “excelente” indica elevada aceitação do aplicativo e adequação de seus elementos visuais e sonoros para fins didático-pedagógicos. Esse resultado é compatível com estudos que apontam que níveis reduzidos de desconforto em ambientes de realidade virtual educacional estão associados a experiências imersivas bem toleradas pelos usuários, especialmente quando se trata de aplicações adequadamente projetadas^{13,14}.

Considerando os resultados obtidos, está prevista a inclusão de propostas orientadas de uso em sala de aula quando o aplicativo for disponibilizado em plataformas de distribuição, com o objetivo de potencializar seu aproveitamento didático-pedagógico e reduzir dificuldades iniciais de navegação.

4. Conclusão

Este trabalho apresenta uma proposta de desenvolvimento de um ambiente em realidade virtual para facilitar a visualização de biomoléculas. Os aminoácidos, unidades estruturais das proteínas, que dependendo de sua cadeia lateral tem suas propriedades químicas e biológicas características que durante as aulas muitas vezes há dificuldade em visualizar essas propriedades em escala atômica ou compreender sua diversidade e seus impactos na estrutura proteica. No caso dos peptídeos, a compreensão do plano peptídico, restrições de rotação e formação de ligações de hidrogênio exige raciocínio espacial apurado e abstração bidimensional das aulas tradicionais dificulta o entendimento desta orientação molecular. Para as proteínas, os aspectos químicos centrais que envolvem a estrutura primária, secundária, terciária e quaternária, forças intermoleculares, interações hidrofóbicas, pontes dissulfeto e potencial de ionização são desafios para a correlação entre a sequência linear e a estrutura tridimensional e funcional.

A visualização em RV pode ajudar ao representar essas estruturas em 3D, permitindo a rotação, ampliação e comparação em tempo real, permitem representar essas hierarquias estruturais de maneira imersiva, e surge como alternativa inovadora, permitindo manipular os ângulos e acompanhar visualmente como os resíduos se conectam e interagem, onde o aluno pode “entrar” em uma proteína e explorar domínios funcionais e regiões de ligação.

A utilização do BIOCH VR poderá auxiliar o ensino de bioquímica de biomoléculas ao criar experiências imersivas que facilitam a compreensão de estruturas e processos complexos, tradicionalmente difíceis de visualizar com abordagens bidimensionais. Irá explorar (a) estruturas espaciais com profundidade e realismo, como hélices alfa e folhas beta em proteínas; (b) interações intermoleculares,

como pontes de hidrogênio e forças hidrofóbicas, a partir de simulações interativas; (c) e ainda pode promover uma aprendizagem ativa, em que o estudante participa do conteúdo de forma exploratória e autônoma.

Os resultados obtidos através da demonstração do protótipo indicam elevada aceitação e potencial pedagógico do uso de realidade virtual no ensino de bioquímica estrutural. A ausência de familiaridade prévia com a tecnologia não comprometeu a experiência, embora tenha gerado desafios pontuais de navegação. A implementação de recursos imersivos pode representar uma estratégia eficaz para o aprimoramento da visualização molecular e do engajamento discente

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, APQ-02601-23 e APQ-04559-22, a CAPES (Código de financiamento 001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq - Brasil (308161/2023-8).

Referências Bibliográficas

1. Silva, M. J. E.; Cecilio, M. S.; Pazinato, M. S.; Biochemistry learning in higher education: a systematic review on methodologies and teaching resources. *Biochemistry and Molecular Biology Education* **2026**, *54*, 29. [Crossref]
2. Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R.; Nacke, L.; From game design elements to gamefulness: Defining “gamification”. Em *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference*, **2011**. [Link]
3. Sailer, M.; Homner, L.; The gamification of learning: a meta-analysis. *Educational Psychology Review* **2020**, *32*, 77. [Crossref]
4. Radianti, J.; Majchrzak, T. A.; Fromm, J.; Wohlgenannt, I.; A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education* **2020**, *147*, 103. [Crossref]
5. Makransky, G.; Mayer, R. E.; Benefits of Taking a Virtual Field Trip in Immersive Virtual Reality: Evidence for the Immersion Principle in Multimedia Learning. *Educational Psychology Review* **2022**, *34*, 1771. [Link]
6. Barrow, J.; Hurst, W.; Edman, J.; Ariensen, N.; Krampe, G.; Virtual reality for biochemistry education: the cellular factory. *Education and Information Technologies* **2023**, *29*, 1647. [Link]
7. Tsirolnikov, F. V.; Suart, C.; Abdullah, R.; Vulcu, F.; Mullarkey, C. E.; Game on: immersive virtual laboratory simulation improves student learning outcomes and motivation. *FEBS Open Bio* **2023**, *13*, 1000. [Crossref]
8. Lo, F.; Lee, R. M.; Ngai, P. H.; Study of the Effectiveness of Biochemistry Education Through the Gamification Driven by

- Virtual Reality Technology. Em *Proceedings of The 7th World Conference on Teaching and Education*, Zurique, Suíça, **2024**. [Link]
9. Site Unreal Engine. Disponível em: <<https://www.unrealengine.com/pt-BR>>. Acesso em 02 março 2026.
10. Site ADOBE. Adobe Photoshop 2025. Disponível em: <<https://www.adobe.com/products/photoshop.html>>. Acesso em: 02 março 2026.
11. Site AUTODESK. Autodesk 3ds Max 2025. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>>. Acesso em: 02 março 2026.
12. Site RCSB Protein Data Bank. Disponível em: <<https://www2.rcsb.org/>>. Acesso em: 02 março 2026.
13. Servotte, J.-C.; Goosse, M.; Campbell, S. H.; Dardenne, N.; Pilote, B.; Simoneau, I. L.; Guillaume, M.; Bragard, I.; Ghuyssen, A.; Virtual reality experience: immersion, sense of presence, and cybersickness. *Clinical Simulation in Nursing* **2020**, 38, 35. [Crossref]
14. Rebenitsch, L.; Owen, C.; Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality* **2016**, 20, 101. [Crossref]