

ImunoQuest: Um Jogo Digital Educacional para o Ensino de Biologia Celular

Myrella Meireles¹, Renato Coêlho¹, Pedro Moises de Sousa¹

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Federal de Viçosa –
Campus Rio Paranaíba (UFV-CRP)
Rodovia MG230, Km7, Caixa Postal 22 - 38.810-000 - Rio Paranaíba - MG - Brasil

{myrella.santos, renato.d.coelho, pedromoises}@ufv.br

Abstract. *This paper presents the development of ImunoQuest, a digital educational action and exploration game designed to support Cell Biology and Immunology learning for high school students. Developed using the Unity engine, the game aims to reduce the abstraction of microscopic structures through interaction within a virtual environment. The project followed an agile and iterative methodology, integrating combat mechanics and cognitive minigames. Usability was evaluated based on Nielsen's Heuristics. Tested with 65 students, the game achieved approval rates above 81% in all evaluated criteria, demonstrating its potential as a tool to support Biology teaching and learning.*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento do ImunoQuest, um jogo digital educacional de ação e exploração voltado ao ensino de Biologia Celular e Imunologia no Ensino Médio. Desenvolvido na Unity, o jogo busca reduzir a abstração de estruturas microscópicas por meio da interação em um ambiente virtual. O projeto utilizou uma metodologia ágil e iterativa, integrando mecânicas de combate e minijogos cognitivos. A usabilidade foi avaliada com base nas Heurísticas de Nielsen. Testado com 65 alunos, o jogo alcançou índices de aprovação superiores a 81% em todos os critérios avaliados, demonstrando potencial como ferramenta de apoio ao ensino de Biologia.*

1. Introdução

O ensino de biologia enfrenta um desafio particular quando o assunto é estruturas microscópicas: células, bactérias e processos imunológicos são abstratos demais para serem vistos a olho nu, e essa invisibilidade dificulta a aprendizagem. Na prática, o modelo tradicional acaba se reduzindo à memorização de nomes e funções teóricas. Os alunos decoram, por exemplo, que a mitocôndria produz energia para a célula, mas sem compreender o que isso realmente significa. Como aponta [Oliveira 2024], essa abordagem passiva compromete a motivação dos alunos e impede o desenvolvimento de uma visão mais prática e científica sobre o funcionamento da vida e do corpo humano. Essa desmotivação aparece nos números: o PISA [OECD 2023], embora não avalie biologia especificamente, mostra que os estudantes brasileiros ficaram com 403 pontos em Ciências em 2022, abaixo da média da OCDE, na 62^a posição entre 81 países [Mori 2023].

Diante disso, as metodologias ativas vêm ganhando espaço, e entre elas os jogos digitais se destacam pelo potencial de engajar, contextualizar e facilitar a aprendizagem. Estudos como o de [Othman and Ching 2024] mostram aumento de até 42% na participação em sala e 24% no aprendizado de conteúdo, e [Barros 2021] relata melhorias semelhantes em atividades gamificadas de ciências no Brasil. Ainda assim, jogos educacionais específicos para Biologia são escassos e, quando existem, frequentemente desequilibram entretenimento e aprendizagem, resultando em experiências pouco atrativas ou com baixo potencial educativo, um problema apontado por [Silva and Alves 2020], que alerta para o risco de interações limitadas e aprendizado passivo. Nesse contexto, este artigo apresenta o desenvolvimento do *ImunoQuest*, um jogo digital educacional de ação e exploração voltado ao ensino de Biologia Celular e Imunologia no Ensino Médio, que ensina progressivamente citologia básica, funções das organelas, mecânicas de infecção por vírus e bactérias e o funcionamento do sistema imunológico.

2. Trabalhos Relacionados

No artigo [Miranda et al. 2024] é apresentado o desenvolvimento do *BioVenture: Desafio Biológico*, um jogo digital educacional, criado na plataforma Unity, desenvolvido para auxiliar o ensino de ciências e biologia para alunos do 7º ano do ensino fundamental. O jogo possibilita aos estudantes aprenderem sobre os impactos das ações humanas por meio de interações e desafios educativos, explorando um mundo aberto que apresenta problemas relacionados ao desequilíbrio ecológico. A avaliação foi feita por meio de um teste de usabilidade com cerca de 20 alunos do 7º ano. Os resultados obtidos foram predominantemente positivos: 85% dos alunos consideraram o jogo divertido, 80% afirmaram que ele mantém a atenção durante a atividade e 75% relataram que conseguiram aprender com a experiência.

[Chagas et al. 2023] apresentam o Cell Interact, um jogo educativo no estilo quiz interativo para aprendizagem de biologia celular, produzido para dispositivos Android utilizando a ferramenta Unity. O objetivo é facilitar o aprendizado da biologia celular por meio de quizzes interativos integrados a uma representação tridimensional de uma célula animal 3D. Os testes foram conduzidos com 12 alunos de graduação em Biologia por meio de formulário digital. Os resultados indicaram avaliações positivas, com média de 4,8 (em uma escala de 1 a 5) para o potencial do jogo como ferramenta de apoio ao ensino de citologia, 4,7 para a representação tridimensional das organelas e 4,5 para a facilitação da compreensão da estrutura interna da célula.

Já o trabalho de [Laércio and Fonseca 2022] teve como objetivo propor uma ferramenta pedagógica por meio do desenvolvimento de um jogo digital no formato de *quiz* voltado à Educação Ambiental no Ensino Fundamental. A aplicação foi realizada com 20 alunos, dividida em duas etapas: na primeira, os alunos tiveram o primeiro contato com o jogo; na segunda, o professor apresentou as justificativas para as respostas incorretas e os alunos jogaram novamente. Os resultados indicaram melhoria no desempenho em todos os eixos, com destaque para Recursos Naturais, onde alguns obtiveram ganhos de até 28 pontos percentuais, e 87% dos alunos acertaram na segunda etapa questões que haviam errado na primeira.

Tabela 1. Comparação entre o *ImunoQuest* e jogos educacionais correlatos.

Jogo	Objetivos Pedagógicos	Mecânicas	Público-alvo	Métodos de Avaliação
BioVenture: Desafio Biológico	Ensino de ciências e biologia, com foco nos impactos das ações humanas no equilíbrio ecológico	Exploração em mundo aberto, desafios educativos	7º ano do Ensino Fundamental	Teste de usabilidade com 20 alunos
Cell Interact	Aprendizagem de biologia celular, com foco em citologia e estrutura interna da célula	Quiz interativo integrado a representação 3D de célula animal	Alunos de graduação em Biologia	Formulário digital com 12 alunos, escala de 1 a 5
ImunoQuest	Biologia Celular e Imunologia, da estrutura celular à resposta imune	Ação e exploração 2D <i>top-down</i> , combate, minijogos cognitivos, progressão em 5 fases	Ensino Médio (também testado com calouros universitários)	Heurísticas de Nielsen, questionário com 65 participantes, escala de 5 níveis

A partir da Tabela 1, observa-se que nenhum dos trabalhos correlatos integra Biologia Celular e Imunologia em uma progressão pedagógica de múltiplas fases: o BioVenture foca em ciências ambientais para o Ensino Fundamental, e o Cell Interact, embora trate de citologia, limita-se a um quiz sem mecânicas de exploração, avaliado apenas com universitários. O *ImunoQuest* preenche essa lacuna ao unir ação, exploração e progressão em cinco fases, voltado especificamente ao Ensino Médio.

3. Referencial Teórico

3.1. Jogos Digitais

Os jogos digitais se destacam como ferramentas educacionais por oferecerem ambientes interativos que estimulam o envolvimento dos estudantes. Diferente dos métodos tradicionais de ensino, esses recursos podem permitir um *feedback* imediato e tornar o processo de aprendizado mais dinâmico. Para o ensino de conteúdos abstratos, como os abordados em Biologia Celular e Imunologia, essa capacidade de simulação é um fator importante [Dias et al. 2023]. Nesse contexto, o *ImunoQuest* foi desenvolvido com base nesse potencial. Ao inserir o jogador no interior do organismo humano, o jogo permite que estruturas microscópicas e mecanismos biológicos, normalmente não visíveis a olho nu, sejam visualizados e explorados de forma interativa, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa e participativa.

3.2. Jogos Digitais no Ensino de Biologia

Biologia celular apresenta um desafio pedagógico específico: seus objetos de estudo são invisíveis a olho nu. Estruturas como as mitocôndrias, assim como os processos de mitose e transporte de íons, tudo ocorre em escala imperceptível. Essa limitação resulta em aprendizagem superficial, ou seja, alunos decoram termos sem internalizar conceitos [Dias et al. 2023]. Os jogos digitais surgem como ferramenta para esse contexto, permitindo que estudantes visualizem e interajam com processos que de outro modo permanecem abstratos.

Estudos sobre protótipos de jogos para interação celular contradizem esse cenário negativo. Diferente de aulas expositivas, esses protótipos mostram resultados quando incorporam desafios progressivos e decisões que afetam o resultado. Um exemplo concreto: se o jogo simula uma célula com déficit de ATP (trifosfato de adenosina, molécula responsável por armazenar e fornecer energia à célula), o aluno deve ativar a mitocôndria para continuar; falhar resulta em disfunção celular visível. Essa relação de causa e efeito faz com que o aluno compreenda o papel da organela dentro do sistema celular, e não somente seu nome ou definição [Barth and Vieira 2024, Chagas et al. 2023].

4. Metodologia

O desenvolvimento do jogo foi inspirado em princípios de metodologias ágeis e iterativas, como o Scrum [Lim et al. 2023], adotando conceitos como o uso de um backlog e ciclos curtos de desenvolvimento com testes frequentes, sem seguir rigorosamente todos os rituais formais do framework (como sprints com duração fixa ou papéis definidos). Essa abordagem permitiu a construção do projeto em ciclos curtos, facilitando o teste prático de cada nova mecânica implementada e ajudando a equilibrar os conceitos teóricos de biologia diretamente na jogabilidade, mantendo o foco nos objetivos de aprendizagem. O processo de desenvolvimento foi organizado seguindo as cinco etapas, que são descritas a seguir.

4.1. Análise de Requisitos

A fase inicial foi dedicada à criação da ideia e à elaboração do *Game Design Document* (GDD) com foco educacional, estruturado com base em cinco pilares fundamentais do projeto: narrativa, mecânicas, estética, tecnologia e aprendizagem. Como parte desse processo, foi realizada uma entrevista com professores de Biologia para identificar as principais dificuldades de aprendizado dos alunos, além da estruturação de um banco de perguntas específico para cada fase.

A escolha das cinco fases seguiu uma progressão do mais simples ao mais complexo: da estrutura celular e suas organelas (Fases 1 e 2), passando pelos agentes externos que a ameaçam, vírus e bactérias (Fase 3), até a resposta imunológica do organismo (Fase 4) e uma síntese final integrando os conceitos (Fase 5). Essa ordem acompanha o currículo de Biologia Celular e Imunologia do Ensino Médio, partindo do princípio de que processos complexos exigem o entendimento prévio de estruturas mais básicas. Dessa forma, temas relacionados à Biologia Celular e à Imunologia foram implementados nas atividades do jogo, permitindo que os estudantes explorassem esses conceitos por meio de experiências interativas no ambiente virtual, conforme detalhado na Tabela 2.

4.2. Projeto

A fase de produção foi voltada para o desenvolvimento do jogo na *engine* Unity [Unity Technologies 2024], utilizando a linguagem C# e a perspectiva 2D *top-down*. Nessa etapa, foram implementados os sistemas de movimentação, exploração, interação com *NPCs*, mecânicas de combate e o comportamento dos patógenos.

Tabela 2. Fases do jogo *ImunoQuest* e seus respectivos objetivos pedagógicos e mecânicas.

Fase	Tema Central	Objetivo Pedagógico	Jogabilidade e Mecânicas
1	Citologia Básica	Identificar membrana, citoplasma, núcleo e diferenciar procariontes de eucariontes.	Exploração 2D, combate básico, baús, introdução de <i>NPCs</i> (personagens não jogáveis) e minijogo de arrastar imagens.
2	Organelas Celulares	Entender a célula como uma "fábrica", focando em mitocôndria, ribossomos, Golgi e lisossomos.	Introdução da loja, baús com perguntas V/F e múltipla escolha, e minijogo de ligar imagens aos números.
3	Vírus e Bactérias (Infecção)	Diferenciar vírus rápidos de bactérias lentas/resistentes e compreender a invasão no organismo.	Introdução do combate com armas (à distância/corpo a corpo) e minijogo de memória (decodificação genética).
4	Sistema Imunológico	Compreender a defesa do corpo, a ação dos leucócitos e o mecanismo de resposta imune.	Exploração de ambiente limpo, combate contra ameaças temáticas e minijogo de palavras cruzadas .
5	Infecção Grave (Boss)	Entender o agravamento da infecção, a replicação viral e o colapso sistêmico.	Resolução de <i>puzzle</i> para abrir o portão biológico e combate na arena contra o chefe final (<i>Boss</i>).

Juntamente com essas ações, foram adicionados os elementos educativos, como os baús com *quizzes*, a loja de recursos e os minijogos detalhados na subseção anterior. Para a composição gráfica, adotou-se o pacote de *assets* em *pixel art* 16x16 intitulado *Mystic Woods* [Game Endeavor 2021], desenvolvido pela *Game Endeavor*, e também foi utilizado o *Canva* [Canva 2024]. A parte visual foi refinada com o editor *online Photopea* [Photopea 2024], para alterar a paleta de cores dos cenários e representar visualmente a transição de ambientes saudáveis para infectados. Por fim, efeitos sonoros e trilhas musicais foram obtidos na plataforma *Freesound* [Freesound 2024], assegurando a imersão do projeto e conformidade com direitos autorais.

4.3. Implementação

Durante esta fase, o projeto foi transformado em um sistema funcional por meio da programação em C# na plataforma *engine* Unity. O trabalho englobou diversos componentes estruturais, como a organização da arquitetura do jogo em cenas, a criação dos sistemas de movimentação bidimensional e de combate, além dos mecanismos de diálogo e interação com os baús contendo os *quizzes* de biologia. A Figura 1 apresenta um exemplo do código desenvolvido para as funcionalidades centrais do software.

A cada ciclo de desenvolvimento, versões jogáveis (*builds*) foram testadas internamente para verificar se a exploração do cenário, os desafios do jogo e os conteúdos de Biologia estavam funcionando de forma clara e equilibrada. O *backlog* do projeto foi revisado com frequência, permitindo identificar *bugs* iniciais e realizar ajustes contínuos no código e no *game design* antes de avançar para as próximas fases.

```

public void VerificarResposta(Con BotaoClicado)
{
    int respostaCerta = listaResposta.IndexOf(respostaAtual);
    TextMeshProGUI feedbackAtual = usandoPainelVAtual ? textoFeedback : textoFeedback;
    RectTransform painelTremorPulso = usandoPainelVAtual ? rectPainelQuizV : rectPainelQuiz;

    if (botaoClicado == respostaCerta)
    {
        if (feedbackAtual != null)
        {
            feedbackAtual.text = "ACERTOU!";
            feedbackAtual.color = Color.green;
        }

        if (fonteDeAudio != null && somAcerto != null) fonteDeAudio.PlayOneShot(somAcerto);

        if (painelTremorPulso != null) StartCoroutine(PulsarPainel(painelTremorPulso, 0.2f, 1.5f));
        Invoke("VerificarRespostaProxima", 1.2f);
    }
    else
    {
        if (feedbackAtual != null)
        {
            feedbackAtual.text = "ERROU! (Cheque de sistema)";
            feedbackAtual.color = Color.red;
        }

        if (fonteDeAudio != null && somErro != null) fonteDeAudio.PlayOneShot(somErro);

        if (painelTremorPulso != null) StartCoroutine(TremorPainel(painelTremorPulso, usandoPainelVAtual ? posicaoOriginalPainelV : posicaoOriginalPainelNormal, 0.2f, 10f));
        if (scriptVidaJogador != null) scriptVidaJogador.TomarDanoCheque(1);
    }
}

```

Figura 1. Exemplo de código C# implementado no jogo. [Fonte: Próprio autor]

4.4. Protocolo de Avaliação

O processo de avaliação foi realizado por meio de testes de usabilidade, observação da experiência dos jogadores e aplicação de questionários. A avaliação considerou a facilidade de uso da interface, a compreensão das mecânicas e o potencial do *ImunoQuest* como apoio ao ensino de biologia celular e microbiologia. Para analisar a usabilidade, foram utilizadas as Heurísticas de Nielsen [Nielsen 1994], que ajudam a identificar possíveis problemas na interação entre o jogador e o sistema.

A validação ocorreu com alunos da Escola Estadual Dr. Adiron Gonçalves Boaventura, localizada na cidade de Rio Paranaíba-MG, e com calouros do curso de Sistemas de Informação da UFV-CRP. O objetivo foi verificar se o jogo funcionava corretamente e se conseguia cumprir sua proposta educativa. Os dados foram coletados por meio de um formulário contendo uma escala visual de satisfação composta por cinco níveis: Muito Insatisfeito, Insatisfeito, Pouco Satisfeito, Satisfeito e Muito Satisfeito, conforme ilustrado na Figura 2. Todo o processo respeitou rigorosamente os protocolos éticos (CAAE: 69875823.0.0000.5153), exigindo a assinatura prévia dos Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pelos responsáveis dos estudantes.



Figura 2. Escala visual de satisfação utilizada no formulário de usabilidade.

4.5. Implantação

A fase de implantação consiste em definir como o jogo será distribuído e acessado pelos estudantes. O jogo foi concebido com foco no público-alvo do Ensino Médio, abrangendo as turmas do 1º ao 3º ano (faixa etária de aproximadamente 15 a 17 anos), e está disponível para as plataformas Windows e Linux. O jogo estará disponível para acesso público no site oficial da Mostra de Jogos Digitais UFV Campus Rio Paranaíba (<https://eventos.crp.ufv.br/jogosdigitais/>).

5. Resultados

Nesta seção, são apresentados os resultados do desenvolvimento e da avaliação de usabilidade do *ImunoQuest*, conduzida com 65 participantes.

5.1. Descrição do Jogo

O jogo é dividido em cinco fases progressivas que guiam o estudante desde a compreensão da estrutura celular básica até o impacto de uma infecção grave no organismo. Diferente de abordagens puramente teóricas ou baseadas em questionários, a aprendizagem ocorre de forma orgânica por meio da *gameplay*: o jogador interage ativamente com o ambiente microscópico, explora organelas, dialoga com *NPCs* que fornecem informações de contexto, enfrenta patógenos em tempo real e participa de minijogos específicos que reforçam os conceitos teóricos de forma lúdica.

O nível de dificuldade e a complexidade do conteúdo aumentam gradativamente. As fases iniciais focam na ambientação e exploração, enquanto as fases avançadas introduzem mecânicas de combate estratégico e gerenciamento de aliados. A paleta de cores e a direção de arte de cada nível foram planejadas com propósitos de *design* instrucional, utilizando a psicologia das cores [Scotelari et al. 2024] para refletir o estado de saúde do tecido biológico explorado, ajudando na imersão e na retenção do conteúdo. A tela inicial (Figura 3) apresenta quatro botões principais: *Novo Jogo*, *Continuar Jogo*, *Instruções* e *Fechar*. Ao clicar em *Instruções*, o jogador é direcionado para um painel que detalha os controles de movimentação, o funcionamento do jogo e a interação com o ambiente.



Figura 3. a) Telas de interface. b) Menus do jogo *ImunoQuest*. [Fonte: Elaborada pela autora]

5.2. Progressão de Fase

A progressão do *ImunoQuest* é estruturada de forma linear para garantir a correta absorção pedagógica. Ao iniciar a partida pelo menu principal (Figura 3), o jogador é inserido diretamente na primeira fase, e os níveis subsequentes são desbloqueados apenas após a conclusão da etapa atual. Essa restrição garante que o estudante compreenda a anatomia celular básica antes de tentar entender dinâmicas mais complexas, como respostas imunológicas e mutações virais.

5.2.1. Fase 1: Introdução à Célula

Nesta fase, o objetivo pedagógico é ensinar a estrutura celular básica, abordando componentes como a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo. Funcionando também como tutorial, o ambiente simula o interior da célula com tons de vermelho e laranja. O jogador interage com *NPCs* (Figura 4a), é introduzido às instruções de jogabilidade e, ao concluir o minijogo de arrastar e associar estruturas

celulares (Figura 4b), recebe uma peça do quebra-cabeça que, completado ao longo das fases, dá acesso à área crítica final.



Figura 4. Fase 1: a) Interação com NPC. b) Minijogo educativo de biologia. [Fonte: Elaborada pela autora]

5.2.2. Fase 2: Organelas

A segunda fase aprofunda o conhecimento sobre o funcionamento interno da célula, com estruturas como ribossomos, complexo de Golgi e lisossomos, em um cenário dominado por tons de roxo e azul. A partir desta etapa, consolida-se a mecânica de economia: o ATP acumulado ao derrotar inimigos da primeira fase passa a ser utilizado como moeda na Loja da Mitocôndria (Figura 5a), permitindo a aquisição de melhorias como velocidade, dano e proteção. Baús secundários espalhados pelo mapa fornecem recompensas de suporte à *gameplay*, enquanto o baú mestre exige a conclusão de um minijogo de associação entre organelas e suas funções (Figura 5b).

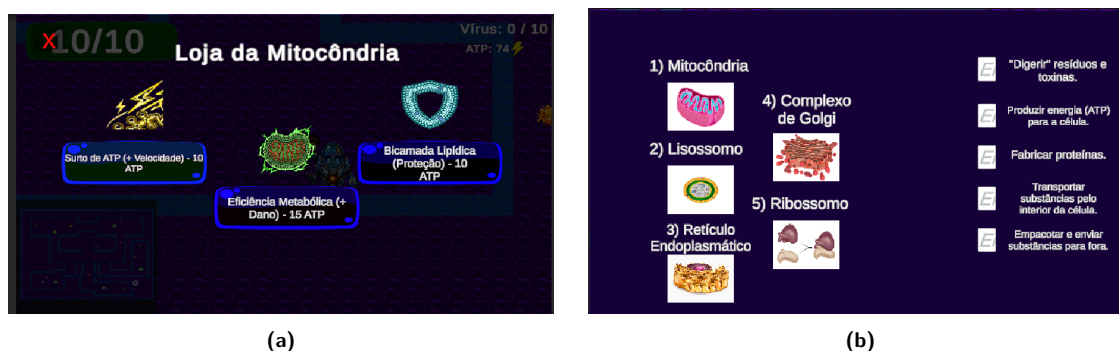


Figura 5. Fase 2: (a) Interface da Loja da Mitocôndria utilizando ATP; (b) Minijogo de associação de funções das organelas. [Fonte: Elaborada pela autora]

5.2.3. Fase 3: Infecção

Esta fase introduz o combate estratégico, com foco nas diferenças entre vírus e bactérias em um cenário com tons de marrom e verde. Os *NPCs* orientam o jogador sobre o uso da “Seringa *High-Tech*”, ganha no nível anterior, cuja munição limitada incentiva a resolução dos baús teóricos espalhados pelo mapa (Figura 6a). O baú mestre apresenta um minijogo de memorização sobre as bases do DNA (Figura 6b), recompensando o jogador com mais uma peça do quebra-cabeça global.

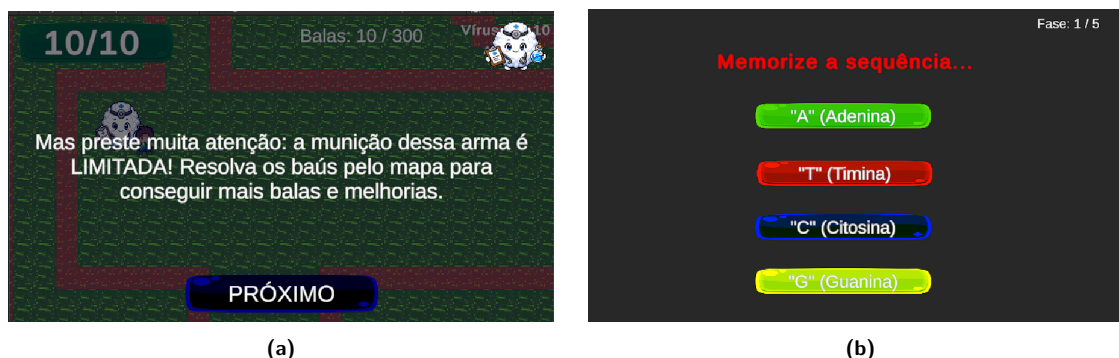


Figura 6. Fase 3: (a) Interação com NPC. (b) Minijogo de memorização das bases nitrogenadas do DNA. [Fonte: Elaborada pela autora]

5.2.4. Fase 4: Sistema Imunológico

Na quarta fase, o foco pedagógico é voltado para a defesa do corpo humano, ilustrando a resposta imune e o papel dos leucócitos no combate aos patógenos. O visual utiliza branco e azul-claro para representar um ambiente limpo. O jogador é orientado por *NPCs* (Figura 7a) sobre os processos imunológicos, enquanto os baús secundários fornecem melhorias e munição para os confrontos. O baú mestre exige a conclusão de um caça-palavras (Figura 7b).

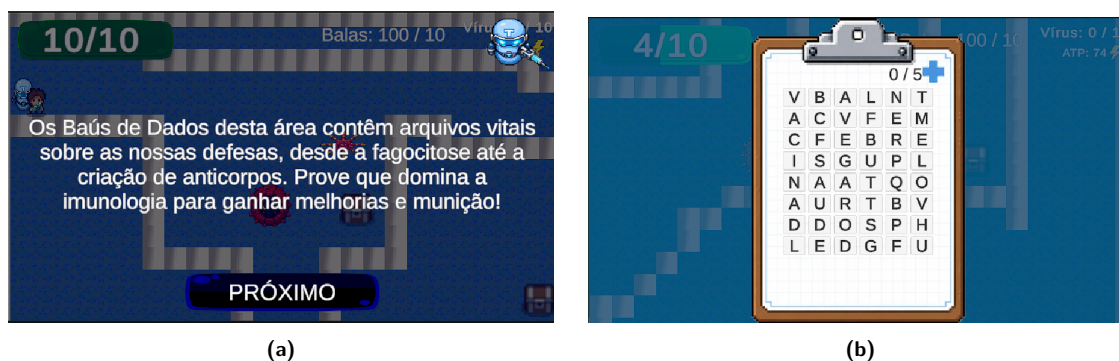


Figura 7. Fase 4: (a) Interação com NPC. (b) Minijogo de caça-palavras com vocabulário imunológico. [Fonte: Elaborada pela autora]

5.2.5. Fase 5: Área Crítica (Boss)

O acesso à fase final é liberado após o jogador montar o quebra-cabeça global, restaurando o código genético do núcleo celular (Figura 8a). Uma vez dentro da Área Crítica, o ambiente é selado e o jogador enfrenta uma batalha final em arena contra um patógeno mutante. À medida que o chefe sofre danos, ele libera versões menores de si mesmo, multiplicando as ameaças na tela (Figura 8b). A ambientação é opressiva, com tons de vinho, preto e verde tóxico, que se materializa em poças no chão que causam dano contínuo, exigindo movimentação estratégica para concluir o jogo.

5.3. Guia de Aplicação em Sala de Aula

Com base na experiência de aplicação do *ImunoQuest* durante os testes de usabilidade, apresentam-se orientações práticas para professores. Nos testes, os



Figura 8. Fase 5: (a) Quebra-cabeça do núcleo celular restaurado; (b) Batalha final contra o patógeno mutante e áreas de dano no cenário. [Fonte: Elaborada pela autora]

participantes concluíram as cinco fases em aproximadamente 20 minutos, o que torna o jogo compatível com uma única aula padrão (50 minutos), sobrando tempo para introdução e discussão. Recomenda-se uma breve contextualização inicial do tema antes da sessão de jogo; o próprio *ImunoQuest* já reforça o conteúdo por meio de pequenos resumos apresentados em cada baú antes dos respectivos *quizzes*, reduzindo a necessidade de preparação teórica extensa. Como fechamento, sugere-se uma discussão coletiva sobre os conceitos abordados, podendo ser complementada por um *quiz* de revisão pós-jogo, atividade indicada como sugestão para trabalhos futuros.

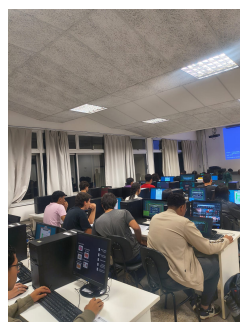
6. Avaliação

A avaliação do *ImunoQuest* foi conduzida com um total de 65 participantes, abrangendo dois perfis distintos de estudantes: 12 alunos do 1º ano do Ensino Médio, 15 alunos do 3º ano do Ensino Médio e 38 alunos ingressantes (calouros) do curso de Sistemas de Informação. É importante ressaltar que a inclusão desses universitários mantém a aderência ao público-alvo, uma vez que, por serem ingressantes, trazem consigo uma bagagem de conhecimento biológico recém-adquirida e restrita ao Ensino Médio. Os participantes interagiram livremente com o jogo, percorrendo as fases propostas, e responderam a um questionário estruturado com base nas Heurísticas de Nielsen [Nielsen 1994], utilizando uma escala de satisfação de cinco níveis. A diversidade do grupo permitiu observar a eficácia do jogo tanto para o seu público-alvo da educação básica quanto para um público jovem em ambiente universitário.

Antes da aplicação do questionário de usabilidade, foi levantado o tempo de contato dos participantes com o uso de computadores, para contextualizar os resultados obtidos (Figura 10). Os dados revelaram que a grande maioria dos alunos já possui experiência consolidada com o ambiente digital: 46,2% utilizam computadores há mais de 5 anos, 20,0% entre 2 e 5 anos, e 16,9% entre 1 e 2 anos. Apenas uma pequena parcela relatou o uso há menos de um ano (17%). Esse perfil indica que o público avaliado possuía familiaridade técnica prévia suficiente, o que minimizou barreiras de *gameplay* e favoreceu o foco na interação com os recursos pedagógicos do jogo durante os testes.



(a) Aplicação na escola



(b) Aplicação na universidade

Figura 9. Sessões de teste do jogo *ImunoQuest*. [Fonte: Autoria própria]

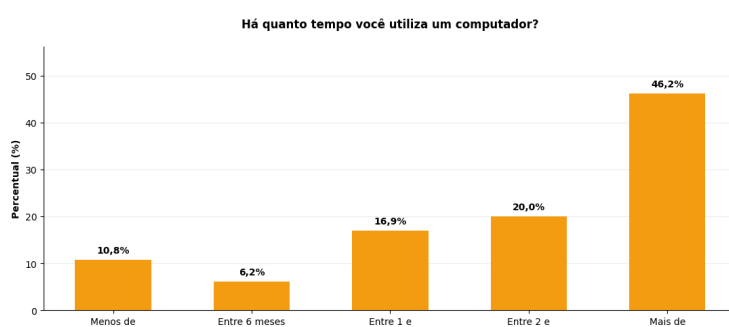


Figura 10. Tempo de uso do computador pelos participantes. [Fonte: Autoria própria]

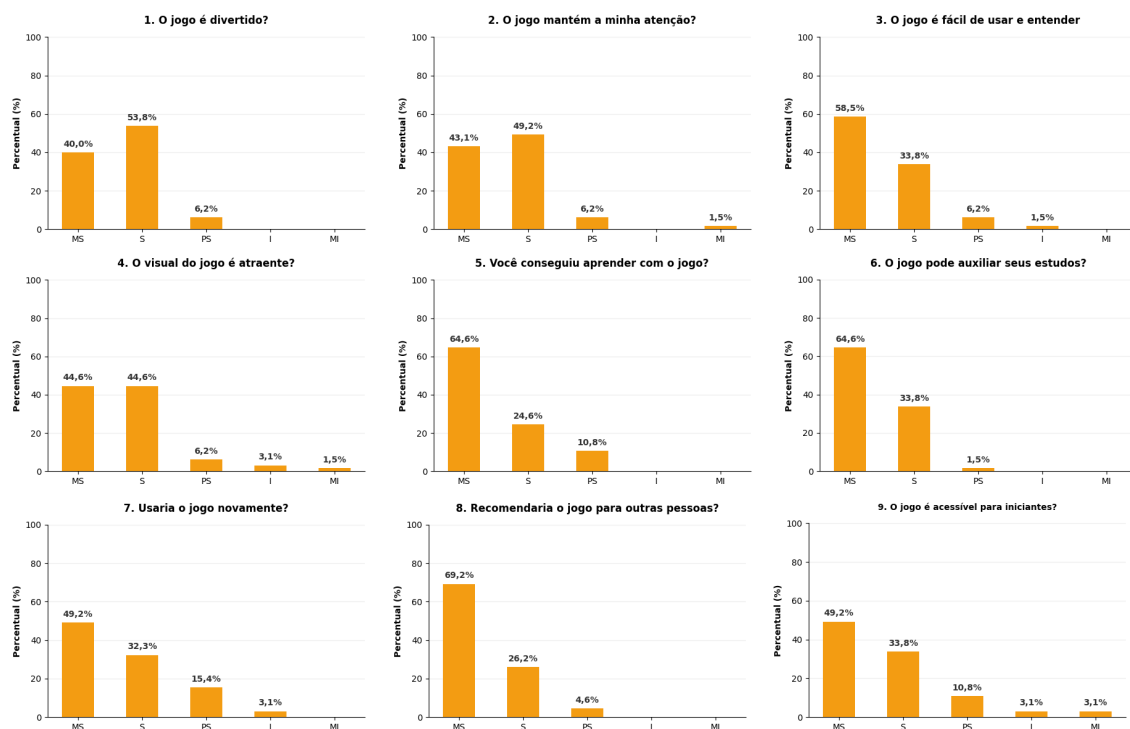


Figura 11. Resultados do teste de usabilidade. MS = Muito Satisfeito | S = Satisfeito | PS = Pouco Satisfeito | I = Insatisfeito | MI = Muito Insatisfeito. [Fonte: Elaborada pela autora]

Os resultados do questionário de usabilidade e satisfação foram amplamente positivos em todos os critérios avaliados (Figura 11). Destaca-se o item de recomendação do jogo para outras pessoas, que obteve 95,4% de avaliações favoráveis (somatória de Satisfeito e Muito Satisfeito), além da avaliação positiva relacionada à diversão, com 93,8% de aprovação.

Os critérios relacionados ao potencial pedagógico e de acessibilidade também confirmaram a eficácia do *Game Design* estruturado. Aproximadamente 89,2% dos participantes relataram ter conseguido aprender com o jogo, e 92,3% o consideraram fácil de usar e entender. Mesmo abrangendo usuários com diferentes níveis de formação (Ensino Médio e Ensino Superior), os dados indicam que a tradução visual de estruturas celulares abstratas adotada no *ImunoQuest* foi bem-sucedida. A ausência quase total de respostas negativas reforça que a abordagem se mostrou uma ferramenta de apoio promissora, acessível e engajadora para o ensino de Biologia.

7. Conclusão

O desenvolvimento do *ImunoQuest* teve como objetivo principal oferecer uma abordagem dinâmica, participativa e fundamentada em princípios pedagógicos para facilitar a compreensão de conceitos abstratos no ensino de Biologia Celular e Imunologia. Utilizando a *engine* Unity e a linguagem C#, o jogo foi construído de forma iterativa e estruturado em cinco fases com dificuldade progressiva, integrando mecânicas de exploração (*top-down*), questionários (*quiz*) e combate em arena para representar o funcionamento das organelas e a defesa do organismo contra patógenos. A avaliação de usabilidade, conduzida com 65 estudantes (Ensino Médio e ingressantes de Sistemas de Informação), demonstrou que a aplicação cumpre seus propósitos educacionais: índices de aprovação superiores a 81% em critérios como diversão e facilidade de uso, próximos a 90% em atratividade visual, e recomendação de 95,4%, evidenciando que elementos de gamificação como *NPCs* instrutivos, munição limitada e recompensas visuais contribuem para tornar o estudo de processos microscópicos mais acessível e motivador.

Como limitação, a avaliação envolveu participantes de diferentes níveis de escolaridade. Embora os calouros universitários fossem recém-ingressantes, trazendo apenas a carga de conhecimento biológico do Ensino Médio, os resultados foram analisados de forma agregada, sem distinção entre perfis. Isso impede avaliar se a maior familiaridade dos universitários com tecnologia ou com jogos digitais influenciou os índices de aprovação; estudos futuros deverão utilizar amostras homogêneas do público-alvo ou dados segmentados por perfil. Além disso, os resultados obtidos devem ser interpretados como indicativos de aceitação, usabilidade e aprendizagem percebida, e não como comprovação de ganhos efetivos de aprendizagem. Para isso, trabalhos futuros aplicarão pré-testes e pós-testes que mensurem objetivamente a influência da ferramenta na assimilação dos conteúdos. Pretende-se ainda expandir o universo do jogo com novos sistemas fisiológicos e aprimorar as mecânicas de acessibilidade, buscando consolidar o *ImunoQuest* como alternativa permanente de apoio ao ensino de ciências.

Disponibilidade de Artefatos

Os artefatos produzidos nesta pesquisa, incluindo o *ImunoQuest* e os instrumentos de avaliação utilizados, estão disponíveis em repositório institucional, em conformidade com as diretrizes do evento, com o objetivo de assegurar a transparência e a reprodutibilidade dos resultados apresentados. O jogo pode ser acessado em: <https://eventos.crp.ufv.br/jogosdigitais/>

Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Ferramentas de Inteligência Artificial Generativa, especificamente o Google Gemini e o Claude (Anthropic), foram empregadas como suporte à revisão gramatical, ao aprimoramento da escrita acadêmica e ao refinamento textual ao longo da elaboração deste artigo. As decisões relacionadas à concepção do jogo, à metodologia adotada, à interpretação dos resultados e à formulação das conclusões são de exclusiva autoria dos pesquisadores. Todo o conteúdo foi criteriosamente revisado pelos autores, que assumem plena responsabilidade pelas informações apresentadas neste trabalho.

Referências

- Barros, J. d. S. O. (2021). Análise do impacto do uso de gamificação na educação. Trabalho de Conclusão de Curso (Sistemas para Internet) – Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro. Orientação: Prof. Msc. Woshington Valdeci de Sousa.
- Barth, A. and Vieira, K. F. S. (2024). Contribuições de um jogo pedagógico para o ensino de biologia celular nos anos finais do ensino fundamental ii. *Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio (REnBio)*, 17(2).
- Canva (2024). Canva – design tool. Acesso em: 14 jul. 2026.
- Chagas, J. V. d. S., Moraes, W. d. C., and Conci, A. (2023). Cell interact: um jogo para aprender biologia celular. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, pages 559–568, Rio Grande, RS. SBC.
- Dias, C. D. C. et al. (2023). Utilização de jogos digitais para o ensino de ciências biológicas. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, 14(42):125–138.
- Freesound (2024). Freesound – collaborative database of creative-commons licensed sounds. Acesso em: 14 jul. 2026.
- Game Endeavor (2021). Mystic woods – 16x16 pixel art asset pack. Acesso em: 14 jul. 2026.
- Laércio, F. G. S. and Fonseca, L. R. (2022). Proposta de jogo educativo para educação ambiental no ensino básico. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 17(1):9–27.
- Lim, J. V. V. et al. (2023). Scrum como metodologia Ágil para o desenvolvimento de software educativo: um relato de experiência. *RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*.

- Miranda, C. S. et al. (2024). “bioventure: Desafio biológico” - explorando conceitos da biologia através de um jogo digital educativo. In *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. Sociedade Brasileira de Computação (SBC).
- Mori, L. (2023). Pisa: até alunos mais ricos no brasil estão abaixo da média. Acesso em: 12 mai. 2025.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- OECD (2023). Pisa 2022 results (volume i and ii): Country notes – brazil. Technical report, OECD Publishing, Paris. Acesso em: 14 jul. 2026.
- Oliveira, F. C. S. (2024). Impacto das metodologias ativas no ensino de biologia no ensino médio. *Cognitionis Scientific Journal*, 7(2):1–16.
- Othman, M. K. and Ching, S. K. (2024). Gamifying science education: How board games enhances engagement, motivate and develop social interaction, and learning. *Education and Information Technologies*, 29:24525–24561.
- Photopea (2024). Photopea – online photo editor. Acesso em: 14 jul. 2026.
- Scotelari, L. F., Luccas, M. d. S., Pereira, L. T., and Branco, K. C. (2024). Comunicação eficaz em games: Utilização de elementos visuais no design de jogos. In *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, pages 216–228, Manaus, AM. Sociedade Brasileira de Computação.
- Silva, V. M. d. S. and Alves, L. R. G. (2020). Jogos digitais educacionais: Tensionamentos no processo de produção. *Obra Digital*, (18):13–24.
- Unity Technologies (2024). Unity real-time development platform. Acesso em: 14 jul. 2026.