

Projeto Glacial: Jogo Digital Educacional para o Ensino de Ecologia, Sustentabilidade e Mudanças Climáticas

Mariana R. S. Escorcer¹, Renato Silva Coelho¹, Pedro Moisés de Sousa¹

¹Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Federal de Viçosa (UFV-CRP)
Rodovia BR 230 KM 7, Rio Paranaíba – MG, 38810-000, Brazil

{mariana.escorcer, renato.d.coelho, pedromois}@ufv.br

Abstract. *This paper presents Projeto Glacial, an educational game developed in Unity to support the teaching of ecology, the greenhouse effect, and environmental awareness for elementary school students. The development followed a five-phase iterative model, employing usability tests based on Nielsen's heuristics. The game was evaluated with 60 students and yielded positive results, with 95% maximum satisfaction regarding engagement, 90% approval of the visual design, and 70% maximum satisfaction regarding learning perception. The results suggest that Projeto Glacial is a promising tool for supporting environmental education, using minigames and storytelling to address environmental education topics.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o Projeto Glacial, um jogo educacional desenvolvido na Unity para auxiliar no ensino de ecologia, efeito estufa e conscientização ambiental para estudantes do ensino fundamental. O desenvolvimento seguiu um modelo iterativo em cinco fases, utilizando testes de usabilidade baseados nas heurísticas de Nielsen. A aplicação do jogo com 60 alunos apresentou resultados positivos, com 95% de satisfação máxima em engajamento, 90% de aprovação do visual e 70% de satisfação máxima na percepção de aprendizado. Os resultados sugerem que o Projeto Glacial é uma ferramenta promissora de apoio à educação ambiental, utilizando minijogos e narrativa para abordar temas relacionados à educação ambiental.*

1. Introdução

O efeito estufa é um fenômeno natural intensificado pelas atividades humanas, principalmente desde a Revolução Industrial, devido ao aumento das emissões de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e outros compostos provenientes da geração de energia, transporte, processos industriais e desmatamento. Esse processo tem contribuído para mudanças climáticas globais, ocasionando alterações nos padrões climáticos, aumento da temperatura dos oceanos, elevação do nível do mar e eventos climáticos extremos [Jordan et al. 2022].

Diante desse cenário, torna-se essencial promover a compreensão dos fenômenos ambientais desde os anos iniciais da educação básica. A ecologia contribui para a formação de indivíduos mais conscientes ao evidenciar as relações entre os seres vivos e o ambiente, favorecendo a compreensão dos impactos das ações humanas sobre os ecossistemas e a importância da educação ambiental [Matos 2019].

Os impactos das mudanças climáticas podem ser observados nos pinguins-imperadores, espécie que depende do gelo marinho para reprodução e sobrevivência. Estima-se que, mantidos os níveis atuais de aquecimento global, mais de 80% das colônias poderão estar próximas da extinção até 2100, evidenciando a necessidade de ampliar a conscientização sobre esse problema [Richardson 2023].

Nesse contexto, jogos digitais têm se destacado como alternativa às abordagens tradicionais de ensino por promoverem experiências interativas nas quais os estudantes assumem papel ativo na aprendizagem. Além de aumentar o engajamento, essa abordagem favorece a contextualização de conceitos científicos por meio de atividades práticas e narrativas imersivas [Jordan et al. 2022].

Embora diferentes jogos digitais apoiem o ensino de temas ambientais, muitos abordam conceitos de forma isolada ou concentram suas avaliações em aspectos de usabilidade e engajamento. Além disso, conceitos como efeito estufa e mudanças climáticas envolvem relações de causa e efeito que podem dificultar sua compreensão quando apresentados apenas de forma expositiva. Assim, torna-se relevante investigar como a integração entre narrativa e diferentes mecânicas de jogo pode favorecer uma abordagem mais contextualizada desses conteúdos.

Com esse propósito, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação do *Projeto Glacial*, um jogo digital educacional que utiliza a trajetória de um pinguim-imperador para contextualizar os impactos das mudanças climáticas. O jogo integra exploração e minijogos educativos voltados ao ensino de ecologia, efeito estufa e sustentabilidade, organizados em uma sequência narrativa que favorece a construção gradual dos conceitos. Por fim, o trabalho analisa sua usabilidade, aceitação e potencial como ferramenta de apoio ao ensino.

2. Trabalhos Relacionados

No contexto do uso de jogos digitais para educação ambiental, diferentes trabalhos têm explorado temas relacionados à sustentabilidade, ecologia e mudanças climáticas por meio de abordagens interativas e lúdicas. Nesta seção, são apresentados estudos que servem como base para contextualizar o desenvolvimento do *Projeto Glacial*.

[Sousa et al. 2023] desenvolveram o *Cred Carbon Game*, um jogo educativo destinado a jovens e estudantes entre 16 e 25 anos, criado na Unity com o objetivo de conscientizar os jogadores sobre créditos de carbono e os impactos das emissões de gases do efeito estufa. O jogo foi desenvolvido com base nos frameworks MDA e Endo-GDC para alinhar as mecânicas aos objetivos pedagógicos, sendo avaliado com 14 participantes por meio de questionários em escala Likert. Os resultados mostraram avaliações positivas para a linguagem compreensível (média 4,43) e para o ajuste de resolução e interface do jogo (média 4,21). Entretanto, foram identificadas limitações relacionadas à progressão de dificuldade (média 1,86) e à eficácia do tutorial (média 3,00).

[Jordan et al. 2022] apresentaram um jogo educacional para Android, direcionado a estudantes do Ensino Fundamental II em diante, voltado ao ensino do efeito estufa e utilizando o acelerômetro do dispositivo móvel como principal mecânica de interação. O jogo foi estruturado em sete fases e avaliado com 82 participantes, sendo 63 homens e 19 mulheres, analisando as variáveis facilidade de uso (*Effort Expectancy - EE*), utilidade percebida (*Performance Expectancy - PE*), diversão (*Hedonic Motivation - HM*) e

intenção de reutilização (*Behavioral Intention - BI*). Os resultados apresentaram mais de 90% de confiabilidade em todas as variáveis analisadas. Além disso, a diversão apresentou forte influência no interesse dos usuários em continuar utilizando o jogo, obtendo *T-Statistic* de 11,307, enquanto a facilidade de uso também demonstrou impacto positivo significativo, com *P-Value* de 0,038. Em contrapartida, a utilidade percebida do jogo apresentou baixa influência na intenção de reutilização, com *P-Value* de 0,977.

[Matos 2019] desenvolveram o *Calangos 3*, um jogo educativo voltado ao ensino de ecologia populacional para estudantes do ensino médio. A metodologia utilizou Modelagem Baseada em Indivíduos (*IBM*) em um ambiente inspirado na Caatinga, sendo a avaliação realizada com 17 alunos por meio do modelo MEEGA+ e questionários em escala Likert. Os resultados indicaram média de 0,522 na escala de qualidade de 0 a 1 e pontuação de 57,84 na escala MEEGA+, classificando o jogo como de “Boa Qualidade”. Os estudantes avaliaram positivamente a operabilidade e a percepção de aprendizagem, enquanto limitações relacionadas ao desafio e à interação social foram identificadas, com cinco dos 17 alunos discordando da possibilidade de interação com outros jogadores. Além disso, a análise ANOVA apresentou valores de significância de 0,878 para jogos digitais e 0,924 para jogos analógicos, indicando que a experiência prévia com jogos não influenciou significativamente os resultados.

De forma geral, os trabalhos analisados demonstram diferentes possibilidades para o uso de jogos digitais no ensino de conteúdos ambientais, explorando desde mecânicas estratégicas até abordagens baseadas em simulação e narrativa. Nesse contexto, o *Projeto Glacial* diferencia-se por integrar exploração, narrativa e múltiplos minijogos educativos em uma proposta voltada especificamente ao público do ensino fundamental, utilizando atividades mais acessíveis e guiadas para introduzir conceitos relacionados ao efeito estufa, às mudanças climáticas e à conscientização ambiental.

3. Referencial Teórico

Esta seção apresenta a fundamentação teórica sobre o uso de jogos educacionais no ensino, com foco na educação ambiental e no ensino de ecologia, discutindo como jogos digitais podem promover uma aprendizagem mais ativa e engajadora para a compreensão das mudanças climáticas e seus impactos na biodiversidade.

3.1. Educação Ambiental e Ensino de Ecologia

A compreensão das mudanças climáticas configura-se como um dos grandes desafios contemporâneos, uma vez que os riscos a elas associados frequentemente são percebidos como abstratos ou psicologicamente distantes, o que compromete o engajamento e reforça a necessidade de abordagens educacionais que tornem esses fenômenos mais concretos e compreensíveis [Faranda et al. 2026]. Nesse contexto, a educação ambiental desempenha papel fundamental ao favorecer a construção de uma consciência crítica acerca das relações entre sociedade e meio ambiente, sendo o uso de jogos uma das estratégias emergentes mais promissoras, por possibilitar ambientes de aprendizagem experiencial nos quais os indivíduos exploram cenários, tomam decisões e observam as consequências de suas ações [Gerber et al. 2021].

3.2. Jogos Digitais Educacionais

A Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais (DGBL) utiliza tecnologias interativas para entregar conteúdos pedagógicos, sendo reconhecida por potencializar o engajamento e a motivação de crianças em idade escolar [Alotaibi 2024]. Para alunos do ensino fundamental, essa abordagem permite que a curiosidade natural seja canalizada para experiências de aprendizagem significativas, adaptadas aos ritmos e estilos individuais de cada estudante. No desenvolvimento cognitivo, os jogos digitais demonstram eficácia na melhoria de habilidades como resolução de problemas, memória e atenção, além de promoverem o desenvolvimento socioemocional por meio de mecânicas que exigem colaboração, comunicação e empatia [Alotaibi 2024].

3.3. Narrativa e Personagem como Ferramentas Pedagógicas

A narrativa contribui para o engajamento dos jogadores e para a contextualização de conceitos abstratos, aproximando o conteúdo pedagógico da realidade dos estudantes [Tan and Nurul-Asna 2023]. Em jogos de educação ambiental, narrativas imersivas favorecem a compreensão de temas complexos, como as mudanças climáticas, ao permitir que o jogador vivencie situações inspiradas em problemas reais [Chen et al. 2024].

Nesse contexto, a escolha do protagonista também possui papel pedagógico. Personagens animais favorecem a identificação do público infantil e facilitam a abordagem de temas ambientais [Coroller and Flinois 2023]. No *Projeto Glacial*, o pinguim-imperador foi adotado por representar uma espécie diretamente afetada pelo aquecimento global, reforçando a contextualização dos impactos ambientais e o potencial educativo do jogo [Chen et al. 2024, Tan and Nurul-Asna 2023].

4. Metodologia

O desenvolvimento do *Projeto Glacial* adotou uma abordagem ágil, incremental e iterativa [Lima et al. 2023], permitindo maior flexibilidade durante o processo de construção da aplicação. Esse modelo possibilitou a realização contínua de revisões, adaptações e melhorias ao longo do desenvolvimento do jogo. Para organizar as atividades do projeto, o processo foi dividido em cinco etapas principais: análise de requisitos, projeto, implementação, avaliação e implantação.

4.1. Análise de requisitos

Na fase de análise de requisitos, foram identificadas as necessidades funcionais e educacionais da aplicação, contemplando a definição do público-alvo, dos objetivos de aprendizagem e das mecânicas de interação presentes no sistema [Lima et al. 2023]. Nessa etapa, também foi realizado o levantamento dos conteúdos pedagógicos relacionados ao efeito estufa, às mudanças climáticas e aos impactos ambientais na biodiversidade, que serviram como base para a construção das atividades propostas. Além disso, foram definidos o escopo do projeto, a estrutura narrativa e o *storyboard* da aplicação, utilizado para representar visualmente a sequência de eventos, atividades e objetivos de aprendizagem ao longo da experiência do usuário, conforme apresentado na Tabela 1.

Durante essa fase, houve ainda a participação de professores da disciplina de Biologia, que auxiliaram na identificação dos conceitos ambientais mais relevantes a serem trabalhados com alunos do ensino fundamental. Complementando esse processo, foram

aplicados questionários na Escola Municipal Tancredo Neves, localizada na cidade de Rio Paranaíba, Minas Gerais, com o objetivo de compreender o perfil dos estudantes e obter informações que contribuíssem para a definição do conteúdo pedagógico da aplicação.

Tabela 1. Descrição da implementação do jogo por fases. Fonte: Autoria própria.

Sequência	Jogo	Aprendizagem	Ensino
Narrativa	Proposta do jogo e introdução ao mapa	Contextualização sobre mudanças climáticas e impactos do efeito estufa na sobrevivência dos pinguins-imperadores.	Interação com NPCs que apresentam o contexto ambiental e os objetivos do jogo.
1ª fase	Caça-palavras contextualizado	Aprendizagem de conceitos relacionados ao efeito estufa por meio de palavras-chave presentes em um texto introdutório, como aquecimento global e biodiversidade.	Atividade baseada na identificação de palavras relacionadas às mudanças climáticas.
2ª fase	Coleta de objetos e controle de temperatura	Reconhecimento de ações que geram impactos positivos ou negativos no meio ambiente por meio da interação com elementos relacionados à sustentabilidade e à poluição ambiental.	Atividade voltada à associação entre ações humanas e variações da temperatura do planeta.
3ª fase	Reciclagem e separação de resíduos	Aprendizagem sobre coleta seletiva e descarte correto de resíduos recicláveis, associando materiais às suas respectivas lixeiras.	Atividade focada na conscientização sobre reciclagem e sustentabilidade ambiental.
4ª fase	Jogo de perguntas e respostas	Reforço de conhecimentos relacionados à conscientização ambiental, sustentabilidade e impactos das ações humanas no planeta por meio de perguntas objetivas.	Incentivo à reflexão sobre práticas sustentáveis e à fixação de conteúdos ambientais trabalhados durante o jogo.
Narrativa	Final do jogo	Reflexão sobre preservação ambiental e importância das pequenas ações no combate às mudanças climáticas.	Encerramento da narrativa reforçando a conscientização ambiental.

4.2. Projeto

A fase de projeto teve como objetivo especificar, de forma mais detalhada, os recursos computacionais, as tecnologias e os elementos necessários para a implementação do jogo, com base nos requisitos definidos anteriormente [Lima et al. 2023]. Para o desenvolvimento, optou-se pela utilização da plataforma Unity, uma *engine* multiplataforma amplamente empregada na criação de jogos 2D e 3D, utilizando a linguagem C#. A escolha da Unity ocorreu devido à sua interface acessível, ampla documentação e comunidade ativa.

No desenvolvimento visual da aplicação, foram utilizadas ferramentas complementares à *engine*. O Aseprite, software voltado à criação e animação de artes em *pixel art*, foi utilizado na elaboração de sprites e animações dos personagens e objetos do jogo. Já o Adobe Photoshop foi empregado na edição e refinamento de imagens e elementos gráficos. Além disso, também foram utilizados *assets* e *sprites* obtidos na plataforma *itch.io*, contribuindo para a composição visual dos cenários, objetos e interfaces presentes na aplicação.

4.3. Implementação

Na fase de implementação, os recursos e arquiteturas definidos anteriormente foram utilizados na construção da aplicação [Lima et al. 2023]. Nessa etapa, foram desenvolvidos os ambientes do jogo, os sistemas de interação e as mecânicas responsáveis pela progressão das atividades educativas, utilizando a plataforma Unity e a linguagem C#. Além disso, foram integrados os elementos gráficos e audiovisuais necessários para compor a experiência do jogador, incluindo personagens, cenários, objetos e animações.

4.4. Avaliação

A avaliação do jogo foi realizada por meio de testes estruturados, estudos com usuários e observações durante a interação, com o objetivo de analisar tanto o desempenho da aplicação quanto sua contribuição para a compreensão dos conteúdos educacionais propostos [Lima et al. 2023]. Também foram avaliados aspectos relacionados à usabilidade da interface, como clareza, facilidade de aprendizado e experiência do usuário, considerando princípios baseados nas heurísticas de Nielsen [Nielsen 1994].

Os testes de usabilidade foram conduzidos com estudantes da escola Escola Municipal Tancredo Neves, localizada na cidade de Rio Paranaíba, Minas Gerais, buscando investigar a experiência dos participantes durante a utilização do jogo, além de identificar possíveis dificuldades e oportunidades de melhoria. A coleta de dados ocorreu por meio da aplicação de um questionário estruturado, abordando critérios como engajamento, percepção de aprendizado, facilidade de uso e motivação proporcionada pela aplicação. Todo o procedimento foi realizado em conformidade com as diretrizes éticas aplicáveis, incluindo aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE: 69875823.0.0000.5153).

4.5. Implantação

Durante esta etapa, foi definido o ambiente de disponibilização da aplicação. O jogo encontra-se hospedado em um servidor institucional da Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba, podendo ser acessado em https://eventos.crp.ufv.br/jogosdigitais/?page_id=4192

5. Design e Desenvolvimento do Artefato

O Projeto Glacial foi estruturado em uma sequência pedagógica que integra narrativa e minijogos, permitindo que os conceitos sobre mudanças climáticas sejam introduzidos e reforçados progressivamente ao longo da experiência.

5.1. Descrição Geral do Jogo

O *Projeto Glacial* é um jogo digital educacional sobre ecologia e sustentabilidade. O jogador controla um pinguim-imperador em um ambiente inspirado na Antártida, interagindo com NPCs e realizando desafios ao longo da narrativa. A interface foi desenvolvida

para ser simples e intuitiva. As Figuras 1a e 1b apresentam o menu inicial e a tela de instruções.



(a) Menu inicial do jogo



(b) Tela de instruções e comandos

Figura 1. Interface inicial do *Projeto Glacial*

5.2. Exploração Inicial e Contextualização

Ao iniciar o jogo, o jogador explora livremente o cenário e interage com um NPC que apresenta a narrativa e introduz a temática ambiental. A conclusão dos desafios desbloqueia novas áreas do mapa e conduz a progressão da experiência. As Figuras 2a e 2b apresentam a área inicial de exploração e uma interação entre o personagem principal e um NPC do jogo.



(a) Área inicial de exploração do jogo



(b) Interação entre o jogador e um NPC

Figura 2. Exploração inicial e contextualização da narrativa

5.3. Fase 1: Caça-palavras Contextualizado

O primeiro desafio consiste em um caça-palavras precedido por um texto introdutório sobre o efeito estufa, contendo palavras-chave que devem ser localizadas pelo jogador. A atividade associa leitura e interação para familiarizar o estudante com conceitos como ecossistema, efeito estufa e aquecimento global, estabelecendo uma base conceitual retomada e aprofundada nas fases seguintes. A Figura 3 apresenta o minijogo desenvolvido.



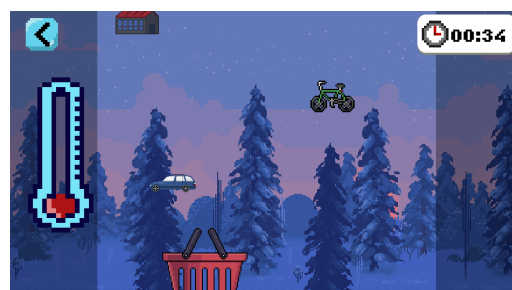
Figura 3. Minijogo de caça-palavras

5.4. Fase 2: Coleta de Objetos e Controle de Temperatura

O segundo desafio consiste em um minijogo no qual objetos relacionados ao meio ambiente caem do topo da tela. O jogador deve coletar apenas aqueles que contribuem para a preservação ambiental, evitando os que intensificam os impactos das mudanças climáticas. A mecânica estabelece relações de causa e efeito entre ações humanas e seus impactos ambientais, permitindo que conceitos como preservação ambiental e mudanças climáticas sejam representados de forma concreta durante a interação. As Figuras 4a e 4b apresentam, respectivamente, os itens disponíveis para coleta e o minijogo desenvolvido.



(a) Itens da coleta



(b) Minijogo de coleta e controle de temperatura

Figura 4. Itens disponíveis e minijogo de coleta de objetos

5.5. Fase 3: Jogo de Reciclagem

O terceiro desafio consiste em um minijogo no qual o jogador deve classificar corretamente diferentes tipos de resíduos, direcionando-os para as lixeiras correspondentes. As categorias incluem plástico, metal, vidro e papel, incentivando a identificação da destinação correta dos resíduos e da importância da reciclagem para a preservação ambiental. A atividade aproxima os conteúdos científicos de situações presentes no cotidiano, evidenciando como práticas adequadas de reciclagem podem reduzir a poluição e contribuir para o enfrentamento das mudanças climáticas. A Figura 5 apresenta o minijogo desenvolvido.

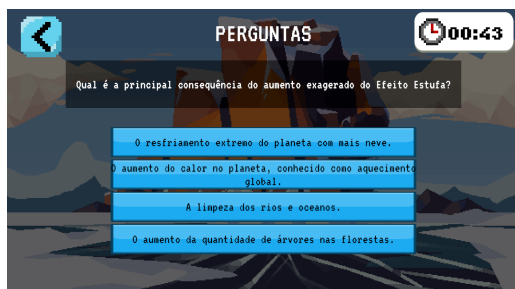


Figura 5. Minijogo de separação de resíduos

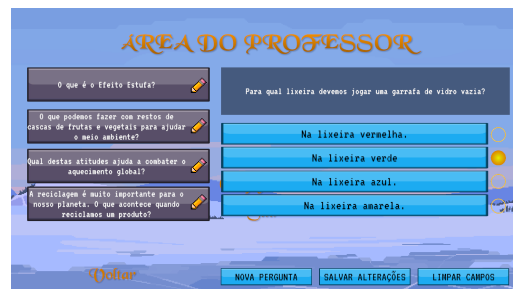
5.6. Fase 4: Jogo de Perguntas/Área do Professor

O quarto desafio consiste em um jogo de perguntas e respostas sobre conscientização ambiental e os impactos das ações humanas no planeta. O jogador deve selecionar a alternativa correta dentro de um tempo limite, consolidando os conceitos construídos ao longo da experiência.

O sistema também dispõe de uma área destinada ao professor, que permite cadastrar e editar as questões do minijogo, adaptando o conteúdo a diferentes contextos educacionais. As Figuras 6a e 6b apresentam, respectivamente, o minijogo de perguntas e respostas e a área do professor.



(a) Minijogo de perguntas e respostas



(b) Área do professor

Figura 6. Minijogo de perguntas e área do professor

6. Resultados e Discussão

O *Projeto Glacial* foi aplicado na Escola Municipal Tancredo Neves, em Rio Paranaíba-MG, com 60 estudantes de 8 a 11 anos. Após utilizarem o jogo (Figura 7), os participantes responderam a um questionário de satisfação em escala de satisfação de cinco níveis (Muito Insatisfeito, Insatisfeito, Pouco Satisfeito, Satisfeito e Muito Satisfeito), abordando perfil tecnológico, engajamento, usabilidade e percepção de aprendizado.



(a) Estudantes utilizando o jogo *Projeto Glacial* durante a aplicação



(b) Participantes interagindo com as atividades do jogo

Figura 7. Aplicação do *Projeto Glacial* com estudantes do ensino fundamental

A Figura 8 apresenta o perfil tecnológico dos participantes, utilizado para analisar a acessibilidade do jogo entre estudantes com diferentes níveis de familiaridade com computadores.

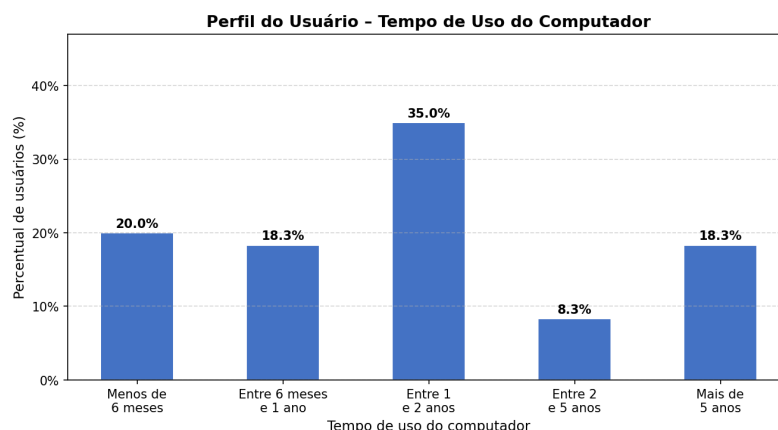


Figura 8. Tempo de uso prévio de computador pelos participantes

A maior parte dos estudantes (35%) afirmou utilizar computadores entre um e dois anos, enquanto 20% possuíam menos de seis meses de experiência e 18,3% relataram utilizá-los há mais de cinco anos. Esses resultados indicam que o jogo foi avaliado por participantes com diferentes níveis de familiaridade tecnológica, sugerindo que sua utilização não se restringe a usuários com maior experiência em recursos digitais.

As questões relacionadas ao engajamento avaliaram a diversão proporcionada pelo jogo e sua capacidade de manter a atenção dos jogadores. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 9.

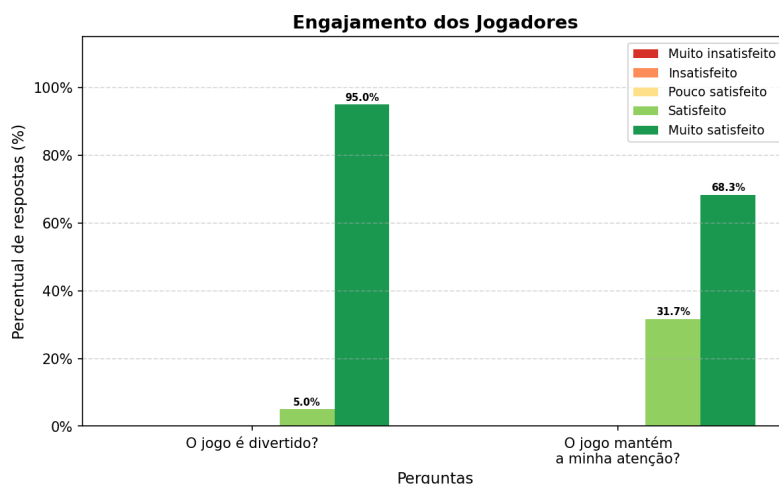


Figura 9. Resultados relacionados ao engajamento dos jogadores

Os resultados evidenciam elevado engajamento: 95% dos participantes classificaram a diversão como “Muito Satisfeito”, enquanto a capacidade de manter a atenção obteve 68,3% nessa categoria e 31,7% em “Satisfeito”. Esses dados sugerem que a integração entre narrativa e minijogos favoreceu o envolvimento dos estudantes.

A usabilidade do jogo foi analisada por meio de questões relacionadas à facilidade de uso, compreensão da interface e acessibilidade para usuários com pouca experiência tecnológica. Os resultados correspondentes são apresentados na Figura 10.

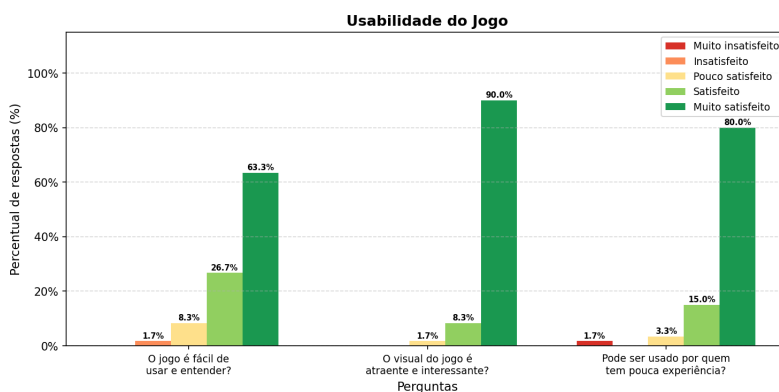


Figura 10. Resultados relacionados à usabilidade do jogo

A usabilidade também foi avaliada positivamente. A facilidade de uso e compreensão do jogo recebeu 63,3% de respostas em “Muito Satisfeito” e 26,7% em “Satisfeito”. O visual obteve 90% de “Muito Satisfeito” e a acessibilidade para usuários com pouca experiência tecnológica, 80%. Esses resultados sugerem que a interface favoreceu a utilização do jogo por estudantes com diferentes níveis de familiaridade tecnológica.

A percepção de aprendizado e aceitação do jogo foi analisada por meio de questões relacionadas à compreensão dos conteúdos, auxílio aos estudos e intenção de utilização futura. Os resultados são apresentados na Figura 11.

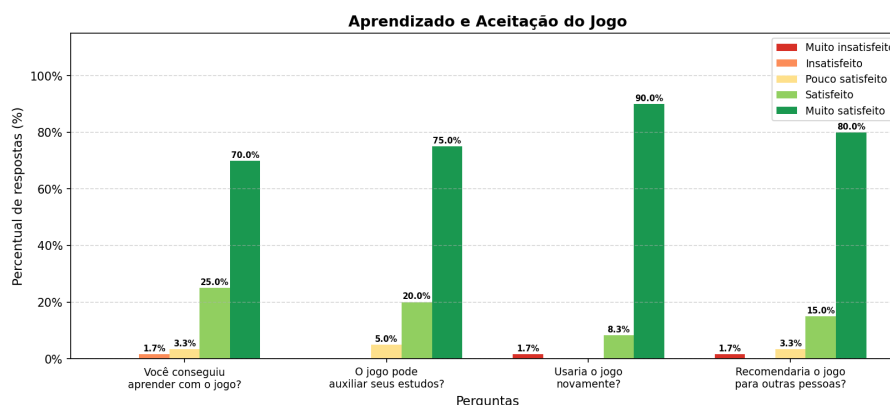


Figura 11. Resultados relacionados à percepção de aprendizado e aceitação do jogo

Os participantes apresentaram percepção positiva sobre o potencial educacional do jogo: 70% classificaram o aprendizado como “Muito Satisfeito” e 25% como “Satisfeito”, enquanto 75% avaliaram o auxílio aos estudos como “Muito Satisfeito”. Além disso, 90% demonstraram interesse em utilizar o jogo novamente e 80% afirmaram que o recomendariam.

De forma geral, os resultados indicam elevada aceitação do Projeto Glacial e sugerem que estudantes com diferentes níveis de experiência tecnológica conseguiram utilizá-lo sem dificuldades significativas. Embora os dados representem a percepção dos participantes e não constituam uma medida objetiva de aprendizagem, reforçam o potencial da integração entre narrativa e minijogos como estratégia de apoio ao ensino de conceitos relacionados ao efeito estufa e às mudanças climáticas.

7. Conclusão

O *Projeto Glacial* foi desenvolvido para oferecer uma abordagem lúdica e interativa no ensino de ecologia, efeito estufa e conscientização ambiental para o ensino fundamental. Criado na engine Unity, o jogo integra narrativa, exploração e minijogos educativos em uma experiência centrada na vivência de um pinguim-imperador em um ambiente afetado pelas mudanças climáticas.

Durante o estudo, a infraestrutura tecnológica pública revelou-se uma limitação. A Escola Estadual Dr. Adiron Gonçalves Boaventura não possuía laboratório de informática, evidenciando a carência de investimentos na área, o que redirecionou a avaliação à Escola Municipal Tancredo Neves, contemplando 60 alunos.

Os resultados sugerem que o *Projeto Glacial* constitui uma ferramenta promissora no apoio à educação ambiental. A receptividade e as avaliações dos estudantes indicam que o uso de recursos interativos favorece o interesse por conteúdos sobre efeito estufa, reciclagem e preservação do meio ambiente. Como trabalhos futuros, pretende-se expandir as funcionalidades do jogo e aplicá-lo em diferentes contextos educacionais.

8. Disponibilidade de Artefatos

Os artefatos produzidos no âmbito deste trabalho, incluindo o jogo *Projeto Glacial* e os instrumentos utilizados no processo de avaliação, serão disponibilizados em um repo-

sitório anonimizado. Essa disponibilização seguirá as diretrizes de anonimização estabelecidas pelo evento, com o objetivo de promover a transparência, a reprodutibilidade e a verificação dos resultados apresentados nesta pesquisa.

9. Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Ferramentas de Inteligência Artificial Generativa, incluindo ChatGPT, Google Gemini e Claude, foram utilizadas durante a preparação deste manuscrito para auxiliar na revisão textual e no aperfeiçoamento da escrita acadêmica. Seu uso restringiu-se ao suporte redacional, não influenciando a concepção do estudo, a metodologia empregada, a análise dos dados ou as conclusões apresentadas. Os autores revisaram e validaram todo o conteúdo gerado com auxílio dessas ferramentas e assumem total responsabilidade pelas informações contidas neste artigo.

Referências

- Alotaibi, M. S. (2024). Game-based learning in early childhood education: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, Volume 15 - 2024.
- Chen et al. (2024). Exploring the role and mechanisms of environmental serious games in promoting pro-environmental decision-making: a focused literature review and future research agenda. *Frontiers in Psychology*.
- Coroller, S. and Flinois, C. (2023). Video games as a tool for ecological learning: the case of animal crossing. *Ecosphere*, 14(3):e4463.
- Faranda, D., Taligrot, L., Yiou, P., and Caud, N. (2026). Climarisq: What can we learn from playing a game for climate education? *Geoscience Communication*, 9(1):115–125.
- Gerber, A., Ulrich, M., Wäger, F. X., Roca-Puigròs, M., Gonçalves, J. S. V., and Wäger, P. (2021). Games on climate change: Identifying development potentials through advanced classification and game characteristics mapping. *Sustainability*, 13(4).
- Jordan, M., Prasetya, F., and Harnadi, B. (2022). Greenhouse effect education against climate change through an accelerometer-based android game. *Journal of Business and Technology*, 2:34–41.
- Lima, C. R. C., Carr, C. N., Margarido, J. J. P., and Silva, R. D. d. (2023). The incremental model in software development: a structured and interactive way to deliver quality products. *Research, Society and Development*, 12(4):e7512440934.
- Matos, M. N. d. (2019). Calangos 3: um jogo digital para o ensino de ecologia populacional. Dissertação (mestrado em computação aplicada), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil. Acesso em: 25 mar. 2026.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- Richardson, H. (2023). Para os pinguins-imperadores da antártida, não há mais tempo. Publicado em 30 ago. 2023. Acesso em: 25 mar. 2026.
- Sousa, D. L. d., Maia, J. R. C., and Silva, T. d. O. (2023). Cred carbon game: uma abordagem interativa sobre questões ambientais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Acesso em: 1 abr. 2026.

Tan, C. K. W. and Nurul-Asna, H. (2023). Serious games for environmental education.
Integrative Conservation, 2(1):19–42.