

Um estudo comparativo de uso de *Serious Games* para auxiliar o aprendizado de Sistemas Operacionais

Matheus dos Santos Luccas¹,
Leonardo Tórtoro Pereira², Kalinka Castelo Branco¹

¹Universidade de São Paulo (USP)
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC)
São Carlos – São Paulo

²Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

matheus.luccas@usp.br

leonardo.t.pereira@unesp.br, kalinka@icmc.usp.br

Abstract. This paper explores the benefits of Serious Games in Computer Science education, emphasizing motivation and multivalued criteria. Three Serious Games were applied, employing a constructivist approach, to teach Operating Systems. The games covered different topics, with distinct simulations and interactive mechanics. Computer Science undergraduates responded positively to the games, showing increased understanding and motivation, particularly when introduced at the beginning of the academic period. Results were obtained through opinion surveys, theoretical questionnaires, and knowledge analyses. This study underscores the potential of Serious Games in Computer Science education, emphasizing the importance of engaging, interactive, and educational games.

Keywords. Serious Games; Constructivism, Games in Education, Operating System; Undergraduate Learning; Technological Education.

Resumo. Este artigo destaca os benefícios dos Serious Games no ensino de Computação, enfatizando motivação e abordagens multivaloradas. Três jogos sérios foram aplicados, utilizando uma abordagem construtivista para o ensino de Sistemas Operacionais. Os jogos abordaram diferentes tópicos com simulações e mecânicas interativas distintas. Graduandos em Computação responderam positivamente aos jogos, demonstrando maior compreensão e motivação, especialmente quando introduzidos no início do período acadêmico. Os resultados foram obtidos via pesquisas de opinião, questionários teóricos e análises de conhecimento. Este estudo destaca o potencial dos Serious Games no ensino de Computação, ressaltando a importância de jogos envolventes, interativos e educacionais.

Palavras-chaves. Serious Games; Construtivismo, Jogos na Educação, Sistema Operacional; Ensino Superior; Educação Tecnológica.

1. Introdução

A informação é dinâmica, muda de estrutura, forma, compreensão e interpretação. Com isso, reforça-se a necessidade de uma abordagem adaptativa igualmente dinâmica no ensino [TERRAZZAN, 2007]. No campo do ensino de Computação, como caso de estudo,

desde a década de 1980, há esforços para encontrar métodos mais eficazes de ensino. Assim, o uso de *Serious Games* tem ganhado cada vez mais espaço [Kazimoglu, 2020], inclusive apresentando crescimento alinhado com a popularidade dos jogos eletrônicos, que, em 2023, movimentaram cerca de \$184 bilhões globalmente.

Estes *Serious Games* são ferramentas que combinam a motivação proporcionada pelos jogos com métodos de ensino interativos, oferecendo novas possibilidades para a educação e inserindo alunos em um ambiente interativo [Stokes, 2005]. Essa interatividade atrai estudantes, como uma maneira envolvente de aprender [de Sena et al., 2016]. Além disso, a capacidade de imersão e engajamento dos jogos permite aos alunos entender estruturas e conceitos-chave, mantendo-os interessados [Papastergiou, 2009].

Esta pesquisa apresenta resultados da aplicação de *Serious Games* no ensino superior de Computação por docentes e alunos do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) e da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) entre os anos de 2019 a 2023, na disciplina de Sistemas Operacionais. Três jogos, cobrindo diferentes tópicos da área, foram aplicados semestralmente, promovendo a construção do conhecimento por meio de elementos lúdicos e plurais [Machado et al., 2011].

Assim, jogos foram utilizados para reforçar o aprendizado em aula, questionários foram apresentados, *feedbacks* extraídos e avaliações foram aplicadas para quantificar seus efeitos. Resultados indicam ser especialmente eficaz aplicar os jogos no início das aulas, antes da apresentação teórica do conteúdo. A principal contribuição deste artigo é demonstrar a eficácia do uso desses *Serious Games* no ensino de Sistemas Operacionais apresentando uma comparação entre diferentes casos de usos dos três jogos e provendo uma avaliação da abordagem com os jogos em termos de níveis de conhecimento, aprendizado percebido e avaliações teóricas.

Dessa forma, formulam-se as questões de pesquisa que direcionaram as análises aqui realizadas:

- Q1** - Existe uma melhora no desempenho dos alunos com o uso de jogos para o ensino de Sistemas Operacionais I em relação a uma abordagem tradicional? Em que aspectos e em quais proporções?
- Q2** - Em que momento é mais vantajoso apresentar esses jogos para os alunos?

O restante deste trabalho está organizado de maneira que a Seção 2 cobre conceitos de construtivismo e educação tecnológica. A Seção 3 aborda trabalhos relacionados, na Seção 4 é apresentada a metodologia usada para o ensino e os testes voltados para os aprendizados além dos jogos. Os testes e os resultados obtidos se encontram na Seção 5. Conclui-se o trabalho na Seção 6.

2. Conceitos

2.1. O construtivismo e os cenários de jogos

O construtivismo propõe que o conhecimento seja adquirido por meio de experimentos e da busca por explicações na vivência do aluno [Driscoll, 2014]. Ele se baseia em três princípios [Obikwelu and Read, 2012]:

- **Representação individualizada do conhecimento:** as experiências de cada aluno são únicas.

- **Atribuição de Piaget:** o aprendizado ocorre a partir das inconsistências entre o que já se sabe e o novo conhecimento.
- **Atribuição de Vygotsky:** o aprendizado ocorre em contextos coletivos.

Os jogos propostos visam a aplicação dos princípios de expressividade e explorabilidade, indicados para *Serious Games* construtivistas [Vahldick et al., 2016]. Interpretação: **Expressividade:** permitir o desenvolvimento de estratégias para os desafios, recebendo *feedback* por soluções eficientes; e **Explorabilidade:** possibilitar um aprendizado autodirigido, no qual os alunos descobrem algo novo por conta própria [Weintrop and Wilensky, 2012].

2.2. Educação tecnológica e motivação teórica

A educação tecnológica é definida como a prática de ensino que utiliza tecnologias [Saleh et al., 2014]. O avanço de ferramentas e programas mais práticos, intuitivos e acessíveis favorece a adoção dessas abordagens [Wu et al., 2012].

Ganhos do uso de jogos são apoiados pela teoria da motivação [Abidin and Kamaru Zaman, 2017], que divide as motivações relacionadas ao comportamento do aluno em duas classes: **Extrínseca:** motivação externa à atividade (jogo); e **Intrínseca:** motivação presente na atividade (jogo)¹.

Três teorias do ensino apoiam a motivação que os jogos podem proporcionar aos alunos [Bai et al., 2020]:

- **Teoria do estabelecimento de metas:** destaca a motivação por objetivos imediatos, específicos e moderadamente desafiadores que os jogos podem oferecer. Objetivos vagos ou desbalanceados podem ter o efeito oposto.
- **Teoria da autoeficácia:** sugere que o engajamento cresce com o sucesso em completar tarefas de dificuldade crescente.
- **Teoria da autodeterminação:** aponta três necessidades psicológicas para o engajamento: autonomia, relacionamento e competência.

3. Trabalhos Relacionados

3.1. Jogos no ensino de Computação

O jogo *Program Your Robot* [Kazimoglu, 2020] é um *puzzle* voltado ao desenvolvimento do pensamento computacional, projetado para ser incorporado nos currículos de graduação.

Uma iniciativa apresentada em [Maskeliunas et al., 2020] propõe um jogo para o ensino de *JavaScript*, no qual o jogador controla peças por meio de pseudocódigos. A avaliação do jogo seguiu os modelos *TAM* (*Technology Acceptance Model*) e *TETEM* (*Technology-Enhanced Training Effectiveness Model*), utilizando grupos de teste e controle.

Em *Odyssey of Phoenix* [Wong et al., 2017], conceitos de Programação Orientada a Objetos são ensinados em um contexto de RPG. O jogo foi apresentado a alunos juntamente com um questionário teórico, permitindo a realização de testes pré e pós para avaliar os ganhos em aprendizado.

¹Não confundir com as denominações de motivação intrínseca e extrínseca com gamificação [Andrzej, 2015]

Os projetos *sColl* [Steinmauer et al., 2022] e *Amaze challenge* [Paspallis et al., 2022] utilizam abordagens semelhantes para o ensino de lógica de programação com pseudocódigos e labirintos, avaliando-os com *feedback* de grupos de testes em escala *Likert*.

De forma similar aos jogos apresentados, *Graph Defender* [Pavani et al., 2023] e *Plug'n Pass* [Andrade and Sarinho, 2023] ensinam busca em largura/profundidade no gênero *tower defense* e, circuitos lógicos em jogo de plataforma, respectivamente.

3.2. Vantagens do uso de jogos sérios no ensino

O uso de *Serious Games* mantém a motivação em conceitos complexos, sendo uma ferramenta eficaz quando bem aplicada [Shahid et al., 2019]. Em Computação, o aprendizado exige a compreensão de conceitos e definições complexas, levando métodos tradicionais à ineficiência no que se refere a manter o engajamento, resultando em perda de interesse [Kazimoglu, 2020].

Jogos facilitam a aprendizagem dinâmica, focando na ação e promovendo motivação, aprendizado ativo, adaptabilidade, colaboração e simulação. No entanto, é essencial considerar as diferentes experiências e preferências dos alunos [Johnson et al., 2016].

O uso de jogos pode quebrar a rotina e incentivar habilidades como comunicação, trabalho em equipe e tomada de decisões [Maskeliunas et al., 2020]. Quando aplicados corretamente, superam outras ferramentas educativas, mas exigem estratégias adequadas para equilibrar engajamento e conteúdo sério, incorporando regras e mecânicas [Krasemann et al., 2015][Wassila and Tahar, 2012][Wong et al., 2017]. Seja em contextos competitivos ou cooperativos, a influência dos jogos sobre os alunos é significativa [Hakulinen, 2013].

3.3. O ensino teórico de Sistemas Operacionais em contexto universitário

A disciplina de Sistemas Operacionais I, presente nos currículos de Computação (SBC², IEEE³, ACM⁴), é essencial, mas seus conceitos abstratos dificultam o aprendizado. Jogos e ferramentas visuais ajudam a exemplificar esses conceitos, tornando-os mais acessíveis e reduzindo a desmotivação dos alunos [de Sena et al., 2016]. Essas abordagens conectam o concreto ao abstrato, facilitando o entendimento da Computação [Hsu and Wang, 2018].

A escolha de realizar este estudo na disciplina de Sistemas Operacionais I considerou quatro fatores: (1) sua relevância no currículo acadêmico, (2) a complexidade dos tópicos abordados, (3) a disponibilidade de dados de alunos dessa disciplina e (4) a natureza dos jogos aplicados, que possibilitaram os testes e avaliações.

A disciplina aborda conceitos teóricos abstratos, como escalonamento de processos, *threads*, *deadlock* e região crítica, que podem ser de difícil compreensão. Ferramentas de simulação e visualização são aliadas importantes para tornar esses conteúdos mais

²<https://www.sbc.org.br/documents-da-sbc/send/127-educacao/1155-referenciais-de-formacao-para-cursos-de-graduacao-em-computacao-outubro-2017>

³<https://www.computer.org/volunteering/boards-and-committees/professional-educational-activities/curricula>

⁴<https://www.acm.org/education/curricula-recommendations>

concretos e acessíveis [Sena et al., 2016]. Os tópicos teóricos não serão detalhados neste documento, recomendando-se a leitura de Luccas et al. [2020] para um aprofundamento.

4. Metodologia

Três jogos foram utilizados para ensinar tópicos abrangentes da disciplina: Escalonando, *Race Condition* e *Threadman*, ilustrados na Figura 1. As mecânicas seguem os princípios do construtivismo, incorporando conceitos teóricos da disciplina de forma interativa e identificável em *gameplay*. Tais jogos foram desenvolvidos por nossa equipe tendo como base teórica o material apontado no Capítulo 2 e com o objetivo de auxiliar no ensino da disciplina em um projeto anterior, já publicado e disponível em Luccas et al. [2020]. Eles foram aplicados em diferentes turmas ao longo de vários semestres, onde o desempenho desses jogos como ferramenta de ensino foi avaliado. Portanto, sugere-se a leitura do texto original para detalhes e os jogos poderão ser baixados pelo link indicado ⁵.

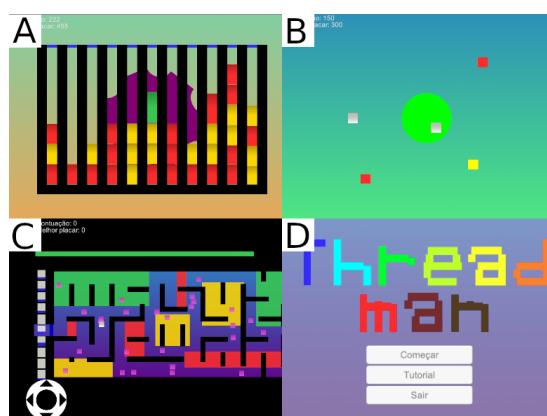


Figura 1. Exemplo de cena dos jogos: A - Escalonando, B - *Race Condition*, C e D - *Threadman*

Os jogos foram aplicados em quatro turmas (entre 2019 e 2023) e comparados com as duas turmas anteriormente avaliadas em [Luccas et al., 2020] (uma delas sem acesso aos jogos). O mesmo questionário do artigo em questão foi utilizado para avaliar seu impacto no aprendizado, e o desempenho nas avaliações da disciplina foi comparado, uma vez que as provas usaram bancos de questões equivalentes, como definidos pelos docentes envolvidos e validados pelos autores originais.

4.1. Escalonando

O jogo *Escalonando* (Figura 2) coloca o jogador como escalonador de processos, com uma mecânica de *puzzle* simplificada que simula a organização de tarefas em um Sistema Operacional. Ao iniciar, o jogador vê setores com pilhas de retângulos que representam processos, cujas cores indicam os estados: pronto (amarelo), bloqueado (vermelho) ou em execução (verde). Novas tarefas surgem e, se acumuladas acima da linha azul, resultam na derrota.

O jogador precisa montar estratégias para lidar com prioridade, preempção e escalonamento, decidindo quais tarefas executar primeiro ou por quanto tempo elas ficarão em execução. Dessa forma, estratégias ensinadas em aula podem ser simuladas para comparar características, vantagens e desvantagens.

⁵<https://matsluccas.itch.io/sogames>

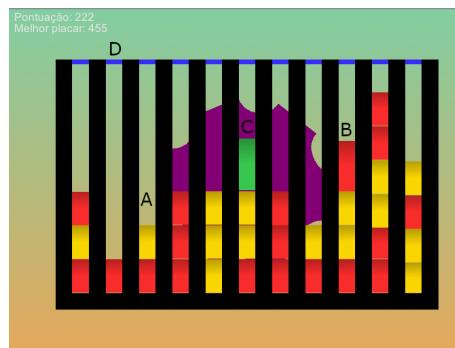


Figura 2. Cena do jogo: A - Processo em estado pronto, B - Processo em estado bloqueado, C - Processo em estado executando, D - Limite da pilha (atingi-lo resulta em derrota).

4.2. RaceCondition

O jogo *Race Condition* (Figura 3) desafia o jogador a gerenciar a comunicação entre processos em um Sistema Operacional, lidando com tarefas concorrentes e recursos limitados. O jogador deve garantir que apenas um processo (representado por pequenos quadrados), sob pena de encerramento do jogo.

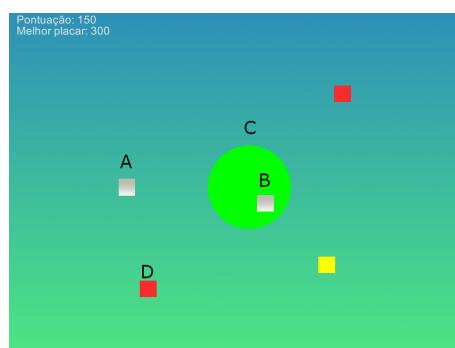


Figura 3. Cena do jogo: A - Processo se movendo para a região crítica, B - Processo na região crítica (acesso simultâneo encerra o jogo), C - Região crítica, D - Processo inativo (priorize sua execução).

Além disso, o jogador deve gerenciar a prioridade dos processos, evitando que qualquer processo exceda seu tempo de espera. As estratégias de comunicação adotadas são baseadas em algoritmos abordados na disciplina e escolhidas antes da partida.

4.3. Threadman

No jogo *Threadman* (Figura 4) o jogador controla uma *thread* que compartilha recursos com outras *threads* e deve cumprir tarefas sem violar restrições ou ultrapassar o tempo limite. O objetivo é mover a *thread* (bloco branco) pelo mapa, respeitando as restrições das regiões críticas, para coletar e armazenar um bloco de informação em uma partição fixa de memória.

As *threads* (blocos rosas) espalhadas pelo mapa seguem as regras de semáforos: a região verde permite até três *threads*, a amarela duas, e a vermelha apenas uma. O jogador deve evitar ultrapassar esses limites. Após coletar o bloco de informação, o jogador deve

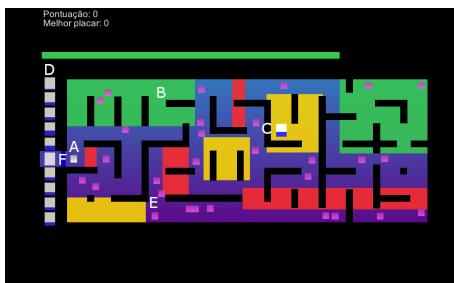


Figura 4. Cena do jogo: A - Thread controlada pelo jogador, B - Região crítica, C - Ponto de dados a ser coletado, D - Espaço de memória para depósito, E - Threads concorrentes, F - Ponto de controle de memória.

retornar à posição inicial e decidir onde armazená-lo, precisando adotar uma estratégia de gerenciamento de memória, para tal, esse gerenciamento coincidindo ou não com o que o aluno aprende em sala de aula. O jogo reage conforme as características dessas estratégias, permitindo ao aluno experimentar seus prós e contras.

5. Resultados e discussões

Como mencionado, quatro novas turmas foram avaliadas neste estudo, complementando a análise realizada anos antes [Luccas et al., 2020], conforme descrito na Tabela 1. As duas primeiras (2018 e 2019, primeiro semestre) são as presentes no artigo citado. Já as outras quatro são originais.

Tabela 1. Características dos grupos de teste

Ano	Semestre	Número de participantes	Apresentação
2018	Segundo	49	Não apresentado
2019	Primeiro	20	Final do semestre
2019	Segundo	51	Final do semestre
2020	Segundo	49	Final do semestre
2021	Primeiro	119	Começo das aulas
2023	Segundo	72	Começo das aulas

Os alunos que participaram das atividades com jogos responderam a um questionário teórico, além de uma pesquisa de opinião para fornecer *feedback* pessoal. As questões teóricas foram todas iguais e encontram-se disponíveis em Luccas et al. [2020], a natureza delas variavam de conceitos básicos a avançados, avaliando a compreensão dos tópicos após a atividade com jogos.

A taxa de acertos, considerando todos os grupos, indicou um bom entendimento dos temas abordados nos jogos, com alta associatividade dos conceitos. Os resultados estão ilustrados nas Figuras 5, 6 e 7. Com relação à opinião dos alunos, as questões foram formuladas com base na escala *Likert* de 5 pontos, solicitando que cada aluno atribuísse uma nota de 1 a 5 para os aspectos indicados no gráfico ilustrado na Figura 8.

5.1. Estudo com alunos que jogaram e não jogaram os jogos

Foi realizado um estudo comparativo envolvendo uma turma que não jogou os jogos (2018, 2º semestre [Luccas et al., 2020]), uma turma em que os alunos jogaram os jogos após as aulas teóricas (2019, 2º semestre) e duas turmas em que os alunos jogaram

Escalonando

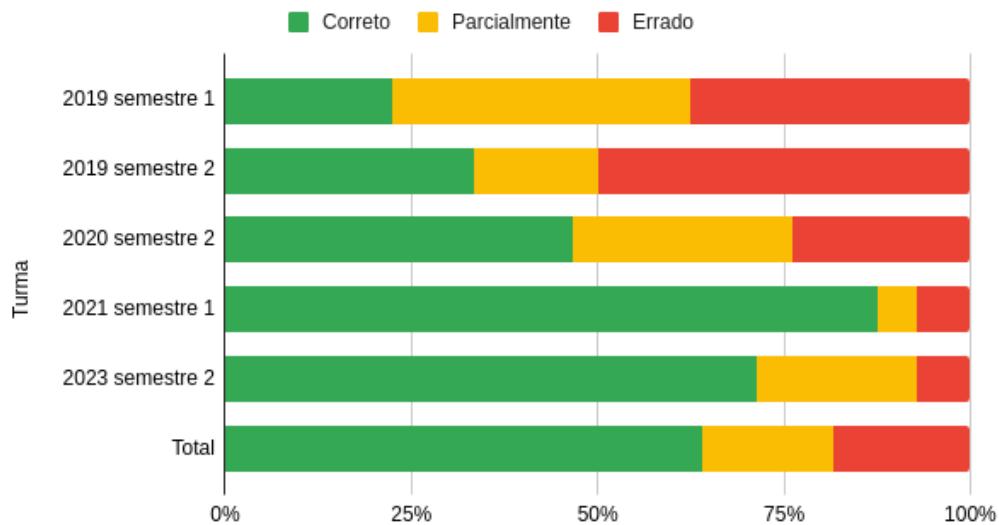


Figura 5. Avaliação das respostas dos alunos para as perguntas dissertativas referentes ao jogo Escalonando.

Race Condition

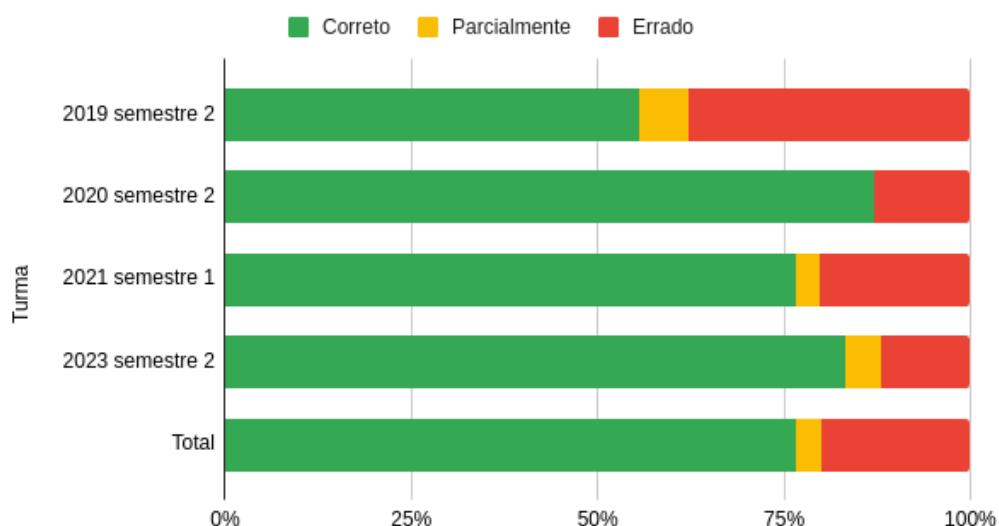


Figura 6. Avaliação das respostas dos alunos para as perguntas dissertativas referentes ao jogo *Race Condition*.

os jogos antes das aulas teóricas, no início do semestre (2021, 1º semestre e 2023, 2º semestre).

Todas as turmas foram avaliadas para mensurar a efetividade do ensino e da aprendizagem. O estudo de avaliação seguiu os parâmetros apresentados por Gurgel et al. [2012], considerando os **Níveis de Profundidade** (NP) e os **Níveis de Conhecimento** (NC) para os tópicos abordados em prova teórica (os tópicos não avaliados, por questão

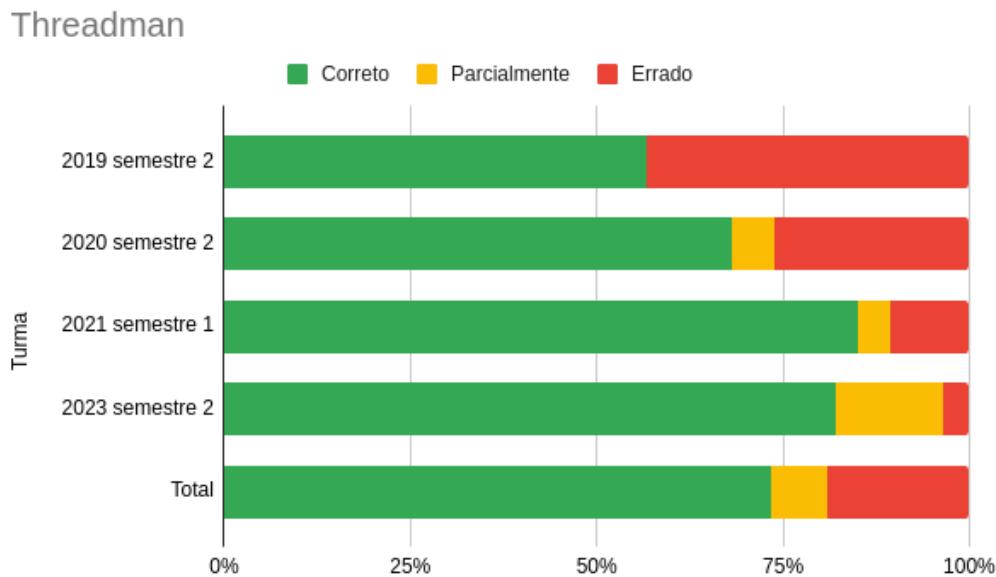


Figura 7. Avaliação das respostas dos alunos para as perguntas dissertativas referentes ao jogo *Threadman*.

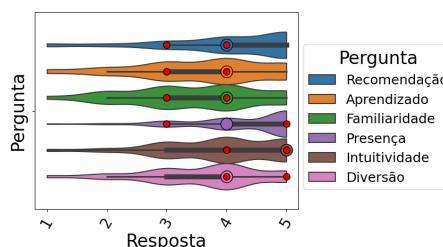


Figura 8. Distribuição das notas: Escala *Likert* de 5 pontos. Círculo maior: mediana; círculos vermelhos: 1º e 3º quartis. Largura do gráfico: quantidade de respostas.

de espaço, não estão incluídos). Esses valores também incluem um ajuste, cuja finalidade é representar o efeito de uma pergunta simples sobre um determinado tópico que poderia ser explorado de maneira mais ampla.

Na Tabela 2 são ilustrados os resultados da comparação dos níveis de profundidade e conhecimento⁶, aplicados para diversos tópicos da disciplina, aos quais foram associadas notas por aluno.

É possível observar pelos dados ilustrados que as turmas que tiveram contato com os jogos apresentaram maior efetividade, demonstrando maior homogeneidade na aprendizagem. Essas turmas tiveram uma melhora significativa nas notas relacionadas aos tópicos abordados nos jogos. Por outro lado, as turmas que jogaram os jogos antes das aulas teóricas obtiveram melhores resultados acadêmicos, apresentando uma efetividade superior no ensino.

⁶Mais detalhes sobre os pesos dos níveis podem ser obtidos em [Gurgel et al., 2012], onde é apresentada a avaliação.

Tabela 2. Comparação de resultados: Turmas: 2018 (sem jogo), 2019 (jogo no fim do semestre), 2021 e 2023 (jogo no início). Métricas: NP (Nível de Profundidade), NC (Nível de Conhecimento), EP (Escalonamento de Processos), D (Deadlock), M (Memória), ES (Entrada/Saída), C (Conceitos).

2018-2			2019-2		2021-1		2023-2		
	NP	MA	NC	MA	NC	MA	NC	MA	NC
EP	4	4,13	2	6,19	3	7,19	3	6,64	3
D	4	5,47	2	6,39	3	8,99	4	8,63	4
M	3	6,86	3	6,94	3	8,51	4	7,95	4
ES	2	4,38	2	4,64	2	6,93	3	6,15	3
C	2	6,05	2	3,31	2	8,82	4	6,18	3

6. Conclusão

A recepção dos alunos e suas motivações para a utilização dos três jogos foram notáveis, com muitos *feedbacks* positivos e recomendações pessoais que evidenciaram a participação ativa do público-alvo.

Comparando os grupos, observa-se uma melhora significativa no desempenho dos alunos que utilizaram jogos como material de ensino complementar às abordagens tradicionais. Os valores, apresentados na Tabela 2, evidenciam esse ganho substancial. Dessa forma, a principal contribuição deste trabalho é demonstrar a efetividade do uso de jogos como ferramenta de aprimoramento no processo de ensino-aprendizagem, respondendo à Q1.

Os ganhos foram ainda mais expressivos quando os jogos foram aplicados no início do curso, antes das aulas teóricas. Os grupos que adotaram essa estratégia obtiveram desempenhos consideravelmente melhores, blue assim, concluiu-se a Q2.

Como trabalhos futuros, há várias sugestões oriundas da pesquisa de opinião, que poderão ser incorporadas aos jogos em versões revisadas, como melhorias de acessibilidade, correção de mecânicas e a exploração de novos tópicos da disciplina. Também há a ambição de aplicar novos jogos abordando outros temas, visto o ganho observado na efetividade do ensino/aprendizagem, e adaptar suas aplicações de maneira similar ao que foi feito e aqui apresentado.

7. Limitações

Todos os testes realizados foram aplicados a turmas com os mesmos docentes, garantindo que todos os alunos recebessem instruções uniformes e tivessem acesso às mesmas aulas, provas semelhantes e métodos de avaliação. Essa abordagem facilitou a compreensão e a comparação dos resultados semestre a semestre, mas também impôs limitações aos achados. Futuros testes conduzidos por diferentes docentes poderão superar essa limitação e enriquecer os resultados observados.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e pela Comissão Gestora de Bolsas do PROEX-CCMC.

Referências

- H. Zainol Abidin and F.H. Kamaru Zaman. Students' perceptions on game-based classroom response system in a computer programming course. In *2017 IEEE 9th International Conference on Engineering Education (ICEED)*, pages 254–259, 2017. doi: 10.1109/ICEED.2017.8251203.
- Pedro HMO Andrade and Victor T Sarinho. Plug'n pass: Um jogo lúdico sobre circuitos lógicos. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 1072–1077. SBC, 2023.
- M Andrzej. Even ninja monkeys like to play: Gamification, game thinking and motivational design, 2015.
- Shurui Bai, Khe Foon Hew, and Biyun Huang. Does gamification improve student learning outcome? evidence from a meta-analysis and synthesis of qualitative data in educational contexts. *Educational Research Review*, 30:100322, 2020. ISSN 1747-938X. doi: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100322>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X19302908>.
- Samara de Sena, Sarah Schmithausen Schmiegelow, Gladys MBC do Prado, Richard Perassi Luiz de Sousa, and Francisco Antonio Pereira Fialho. Aprendizagem baseada em jogos digitais: a contribuição dos jogos epistêmicos na geração de novos conhecimentos. *RENOTE*, 14(1), 2016.
- Marcy P. Driscoll. *Psychology of learning for instruction*. Pearson Education, 2014.
- P Gurgel, E Barbosa, and K Branco. A ferramenta netkit e a virtualização aplicada ao ensino e aprendizagem de redes de computadores. In *XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC)*, 2012.
- Lasse Hakulinen. Alternate reality games for computer science education. In *Proceedings of the 13th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, Koli Calling '13, page 43–50, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450324823. doi: 10.1145/2526968.2526973. URL <https://doi.org/10.1145/2526968.2526973>.
- Chih-Chao Hsu and Tzone-I. Wang. Applying game mechanics and student-generated questions to an online puzzle-based game learning system to promote algorithmic thinking skills. *Computers & Education*, 121:73–88, 2018. ISSN 0360-1315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.02.002>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131518300356>.
- Chris Johnson, Monica McGill, Durell Bouchard, Michael K. Bradshaw, Víctor A. Buceli, Laurence D. Merkle, Michael James Scott, Z. Sweedyk, J. Ángel Velázquez-Iturbide, Zhiping Xiao, and Ming Zhang. Game development for computer science education. In *Proceedings of the 2016 ITiCSE Working Group Reports*, ITiCSE '16, page 23–44, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450348829. doi: 10.1145/3024906.3024908. URL <https://doi.org/10.1145/3024906.3024908>.
- Cagin Kazimoglu. Enhancing confidence in using computational thinking skills via playing a serious game: A case study to increase motivation in learning computer programming. *IEEE Access*, 8:221831–221851, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3043278.
- Aliane Loureiro Krassmann, Leo Natan Paschoal, Andressa Falcade, and Roseclea Duarte Medina. Evaluation of game-based learning approaches through digital serious games in computer science higher education: A systematic mapping. In *2015 14th Brazilian*

- Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames)*, pages 43–51, 2015. doi: 10.1109/SBGames.2015.18.
- Matheus dos Santos Luccas, Leonardo Tortoro Pereira, Julio Cesar Estrella, and Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco. Uma abordagem fazendo uso de serious games para ensino de sistemas operacionais. *Anais*, 2020.
- Liliane Machado, Ronei Moraes, Fátima Nunes, and Rosa da Costa. Serious games based on virtual reality in medical education. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 35: 254–262, 01 2011.
- Rytis Maskeliunas, Audrius Kulikajevas, Tomas Blazauskas, Robertas Damasevicius, and Jakub Swacha. An interactive serious mobile game for supporting the learning of programming in javascript in the context of eco-friendly city management. *Computers*, 9: 102, 12 2020. doi: 10.3390/computers9040102.
- Chinedu Obikwelu and Janet Read. The serious game constructivist framework for children’s learning. *Procedia Computer Science*, 15:32–37, 12 2012. doi: 10.1016/j.procs.2012.10.055.
- Marina Papastergiou. Digital game-based learning in high school computer science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers & Education*, 52(1):1–12, 2009. ISSN 0360-1315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.06.004>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131508000845>.
- Nearchos Paspallis, Nicos Kasenides, and Andriani Piki. A software architecture for developing distributed games that teach coding and algorithmic thinking. In *2022 IEEE 46th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*, pages 101–110. IEEE, 2022.
- Rafael Bogo Pavani, Maurilio Martins Campano Junior, and Linnyer Beatrys Ruiz Aylon. Busca em largura e profundidade aplicado a jogos educativos: estudo de caso no projeto do jogo graph defender. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 536–547. SBC, 2023.
- Nada Saleh, Edmond Prakash, and Rob Manton. Measuring student acceptance of game based learning for game and technology education curriculum development. In *2014 International Conference on Education Technologies and Computers (ICETC)*, pages 79–85, 2014. doi: 10.1109/ICETC.2014.6998906.
- Samara De Sena, Sarah Schmithausen Schmiegelow, Gladys M. B. C. Do Prado, Richard Perassi Luiz De Sousa, and Francisco Antonio Pereira Fialho. Aprendizagem baseada em jogos digitais: a contribuição dos jogos epistêmicos na geração de novos conhecimentos. *Renote*, 14(1), 2016. doi: 10.22456/1679-1916.67323.
- Mahwish Shahid, Afifa Wajid, Kamran Ul Haq, Imran Saleem, and Abdul Haseeb Shujja. A review of gamification for learning programming fundamental. In *2019 International Conference on Innovative Computing (ICIC)*, pages 1–8, 2019. doi: 10.1109/ICIC48496.2019.8966685.
- Alexander Steinmauer, David Eckhard, Julius Dreveny, and Christian Gütl. Developing and evaluating a multiplayer game mode in a programming learning environment. In *2022 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, pages 1–8. IEEE, 2022.
- Benjamin Stokes. Videogames have changed: time to consider 'serious games'? *Development Education Journal*, 11:12, 01 2005.

- Eduardo A TERRAZZAN. Inovação escolar e pesquisa sobre formação de professores. *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes. São Paulo: Escrituras*, pages 145–192, 2007.
- Adilson Vahldick, António José Mendes, and Maria José Marcelino. Towards a constructionist serious game engine. In *Proceedings of the 17th International Conference on Computer Systems and Technologies 2016, CompSysTech '16*, page 361–368, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450341820. doi: 10.1145/2983468.2983526. URL <https://doi.org/10.1145/2983468.2983526>.
- Debabi Wassila and Bensebaa Tahar. Using serious game to simplify algorithm learning. In *International Conference on Education and e-Learning Innovations*, pages 1–5, 2012. doi: 10.1109/ICEELI.2012.6360569.
- David Weintrop and Uri Wilensky. Redefining constructionist video games: Marrying constructionism and video game design. 2012.
- Yoke Seng Wong, Ing Maizatul Hayati, Mohamad Yatim, and Tan Wee Hoe. A property game based learning mobile game to learn object-oriented programming — odyssey of phoenix. In *2017 IEEE 6th International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, pages 426–431, 2017. doi: 10.1109/TALE.2017.8252373.
- Wen-Hsiung Wu, Wen-Bin Chiou, Hao-Yun Kao, Chung-Hsing Alex Hu, and Sih-Han Huang. Re-exploring game-assisted learning research: The perspective of learning theoretical bases. *Computers & Education*, 59(4):1153–1161, 2012. ISSN 0360-1315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.05.003>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131512001248>.