

Um Mapeamento Sistemático da Literatura sobre Jogos Educacionais Digitais para o Ensino de Circuitos Lógicos

Frederico Dôndici¹, João Vitor F. R. C. Ramos¹, Pedro M. Crawford¹,
Pedro Henrique D. Valle², Alessandra M. de Oliveira¹, Luciano J. Chaves¹

¹Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Juiz de Fora – Juiz de Fora, MG – Brasil

²Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo – São Paulo, SP – Brasil

{frederico.dondici, joaovitor.fernandes}@estudante.ufjf.br,
pedrohenriquevalle@usp.br
{alessandraia.oliveira, luciano.chaves}@ufjf.br

Abstract. *Teaching Logical Circuits, although essential in Computing courses, faces challenges due to the complexity of the concepts, with educational games emerging as an effective alternative to promote engagement and facilitate learning. This paper presents a systematic mapping of the literature on digital educational games applied to the teaching of Logical Circuits. It discusses technical aspects such as game genres, game elements, and development technologies, as well as pedagogical aspects including the covered content, target audience profiles, evaluation methodologies, and achieved impacts. Key findings include the concentration of games on a limited range of topics, a lack of methodological rigor in evaluating their effectiveness, limited public access to most games, and a scarcity of approaches aimed at inclusion and accessibility.*

Resumo. *O ensino de Circuitos Lógicos, embora essencial nos cursos de Computação, enfrenta desafios pela complexidade dos conceitos, sendo os jogos educacionais uma alternativa eficaz para promover engajamento e facilitar a aprendizagem. Este trabalho apresenta um mapeamento sistemático da literatura sobre jogos educacionais digitais aplicados ao ensino de Circuitos Lógicos. São discutidas questões técnicas, como o gênero, os elementos de jogo e as tecnologias de desenvolvimento, além de aspectos pedagógicos, como os conteúdos abordados, o perfil do público-alvo, as metodologias de avaliação e os impactos alcançados. Entre os principais resultados, destacam-se a concentração dos jogos em poucos conteúdos, a ausência de rigor metodológico na avaliação de sua eficácia, a indisponibilidade de acesso público para grande parte dos jogos e a carência de abordagens voltadas à inclusão e à acessibilidade.*

1. Introdução

Os Circuitos Lógicos são o alicerce de qualquer sistema digital moderno, como *tablets*, *smartphones*, computadores e quaisquer outros dispositivos que dependem de processamento lógico baseado nas operações booleanas NOT, AND e OR. A combinação de portas lógicas, nome dado aos circuitos eletrônicos que realizam essas operações, possibilita a construção de funções lógicas fundamentais, indispensáveis para o projeto de sistemas digitais complexos. Tradicionalmente, os cursos de Circuitos Lógicos abordam conteúdos

sobre operações lógicas, diagramas de portas lógicas, expressões booleanas, sistemas de numeração e de códigos, aritmética digital, álgebra booleana, mapas de Karnaugh, funções lógicas combinacionais (e.g., comparadores, de-codificadores e de-multiplexadores), *latches* e *flip-flops* para lógica sequencial, contadores, registradores, memórias e linguagens de descrição de hardware (e.g., Verilog e VHDL) [Floyd 2007, Tocci et al. 2018].

O ensino de Circuitos Lógicos é essencial na graduação em Computação, fornecendo a base teórica para a compreensão da organização e arquitetura dos computadores [Zorzo et al. 2017]. No entanto, sua relevância vai além do ensino superior, tendo em vista a multidisciplinaridade da área [Chakraborty 2018] e a importância de desenvolver o raciocínio lógico desde cedo, algo reconhecido pela inclusão da Computação na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [BRASIL 2022]. Contudo, o ensino desse conteúdo é desafiador por sua natureza abstrata e pela dificuldade dos estudantes em integrar teoria e prática, o que pode gerar desmotivação. Problemas como a compreensão de funções lógicas complexas, o domínio de ferramentas de simulação e a aplicação prática dos conceitos teóricos destacam a necessidade de estratégias pedagógicas mais acessíveis e engajadoras, como metodologias ativas e ferramentas interativas [Troyer et al. 2019b].

Uma estratégia para enfrentar os desafios no processo de ensino-aprendizagem é o uso de Jogos Educacionais Digitais (JEDs), que têm se mostrado uma ferramenta valiosa no aumento do engajamento e na facilitação do aprendizado [Genesio et al. 2024]. Ao tornar a sala de aula mais atrativa e promover uma abordagem interativa, os JEDs colocam o aluno no centro do processo, tornando-o protagonista do aprendizado [Battistella e von Wangenheim 2016]. Além disso, esses jogos ajudam a reduzir as barreiras de aprendizagem, oferecendo representação virtual de cenários práticos que tornam o estudo de conteúdos técnicos mais envolvente e acessível. No caso de Circuitos Lógicos, os JEDs podem ajudar os alunos a visualizar o comportamento dos circuitos em tempo real, testar diferentes configurações e compreenderem os impactos de suas decisões de projeto. Com níveis progressivos de dificuldade, os JEDs atendem a diferentes estilos e ritmos de aprendizagem, permitindo a personalização do conteúdo e promovendo a colaboração e a competição saudável entre os estudantes [Honda et al. 2020].

Considerando que os JEDs estão em sintonia com o estilo de aprendizagem das atuais gerações, foi realizado uma busca por Mapeamentos Sistemáticos da Literatura (MSL) para entender o real impacto do uso de JEDs no ensino de Circuitos Lógicos. Entretanto, um único MSL foi encontrado neste tema [Santini et al. 2023], com limitações na amostra de estudos e nas questões analisadas. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar um novo MSL com uma visão mais abrangente sobre o tema, respondendo questões de pesquisa que abordam aspectos técnicos como o gênero, os elementos de jogo e as tecnologias de desenvolvimento, além de aspectos pedagógicos, como os conteúdos abordados, o perfil do público-alvo, as metodologias de avaliação e os impactos alcançados. Dentre os resultados, destaca-se a necessidade de diversificar as propostas para abranger conteúdos mais avançados, a carência de atenção aos aspectos de inclusão e acessibilidade, bem como a falta de padronização metodológica na avaliação dos JEDs.

O restante deste documento está organizado como segue: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados; a Seção 3 detalha a metodologia adotada neste MSL; a Seção 4 discorre sobre os resultados encontrados; a Seção 5 apresenta as ameaças à validade deste estudo; e, por fim, a Seção 6 fornece as conclusões e as perspectivas de trabalhos futuros.

2. Trabalhos relacionados

Nos últimos anos, tem sido cada vez mais comum a adoção de jogos como estratégia instrucional no ensino de Computação. Em particular, Clementino et al. (2022) conduziram um MSL para identificar jogos não digitais para o ensino de Computação. Os autores relatam que a maioria dos estudos é focada no ensino de Engenharia de Software e de programação, sempre motivados em aumentar o engajamento e o interesse dos alunos.

Yamashita et al. (2024) apresentam um MSL para identificar e analisar JEDs voltados para o ensino de programação e para o incentivo à participação feminina em cursos de Computação. Os resultados destacam que, embora os JEDs mostrem-se eficazes no ensino-aprendizagem, há escassez de iniciativas voltadas exclusivamente para mulheres. A análise revelou que esses JEDs promovem o aprendizado de conceitos computacionais e contribuem para autoeficácia, autoestima e engajamento de alunas.

Souza et al. (2018) apresentaram um MSL sobre o uso de métodos relacionados a jogos na educação em Engenharia de Software. Os resultados indicaram que os métodos mais frequentes são o uso de jogos sérios e o desenvolvimento de jogos, enquanto a gamificação é menos explorada. As áreas de conhecimento mais abordadas pelos métodos identificados incluem Processo de Software, Design de Software e Práticas Profissionais. O estudo também destaca a falta de padronização na definição de objetivos de aprendizagem e na classificação dos métodos relacionados a jogos. Entre as limitações, está a dificuldade de avaliar a eficácia desses métodos devido à diversidade de abordagens e à complexidade de medir impactos em habilidades específicas.

No contexto de Circuitos Lógicos, Santini et al. (2023) realizaram um MSL para responder à quatro questões de pesquisa: quais são os jogos encontrados para o ensino de circuitos, quais conceitos esses jogos abordam, quais os gêneros desses jogos e quais jogos foram testados com alunos. Ao todo, os autores identificaram 13 jogos que abordam majoritariamente os conteúdos de números binários, portas lógicas, tabela verdade e expressões lógicas. Quanto ao gênero, 5 jogos foram classificados como plataforma, sendo este o único gênero identificado para mais de um jogo. Quanto aos testes, 7 dos 13 jogos foram submetidos a avaliação com alunos. Os autores concluem ser necessário realizar investigações empíricas para validar a efetividade desses jogos no ambiente educacional.

Para ampliar a amostra de jogos analisados por Santini et al. (2023), o MSL reportado neste trabalho adota uma estratégia de busca mais abrangente no contexto de Circuitos Lógicos, possibilitando a identificação de mais trabalhos e favorecendo uma análise aprofundada por meio de questões de pesquisa mais amplas.

3. Método de pesquisa

Este MSL foi conduzido em acordo com as diretrizes propostas por Petersen et al. (2015), que incluem as seguintes definições: questões de pesquisa (Subseção 3.1); estratégia de busca, i.e., *string* de busca e bases de dados (Subseção 3.2); critérios de inclusão e exclusão (Subseção 3.3); e procedimentos de busca e análise dos estudos (Subseção 3.4).

3.1. Questões de pesquisa

Este MSL visa responder às seguintes questões de pesquisa (QPs):

QP1: *Quais são as motivações dos autores para o desenvolvimento dos JEDs?*

- QP2:** *Quais são os conteúdos didáticos de Circuitos Lógicos abordados pelos JEDs?*
QP3: *Quais são as características do público-alvo dos JEDs?*
QP4: *Quais são os gêneros e os elementos de jogos utilizados nos JEDs?*
QP5: *Quais são as tecnologias utilizadas no desenvolvimento dos JEDs?*
QP6: *Quais são as metodologias utilizadas nas avaliações dos JEDs?*
QP7: *Quais são os impactos observados no ensino de Circuitos Lógicos com os JEDs?*
QP8: *Os JEDs abordam questões voltadas para inclusão de minorias e acessibilidade?*
QP9: *Os JEDs estão disponíveis para acesso público na Internet?*

3.2. Estratégia de busca

A *string* de busca deste MSL agrupa termos sinônimos ou relacionados à jogos educacionais digitais com termos específicos de conteúdos didáticos de Circuitos Lógicos, que foram extraídos do livro didático de Floyd (2007). A *string* de busca definida foi:

("serious game" OR "educational game" OR "learning game" OR "game based learning" OR "simulation game") AND ("educat*" OR "course" OR "teach*" OR "learn*") AND ("NOT gate" OR "AND gate" OR "OR gate" OR "NAND gate" OR "NOR gate" OR "XOR gate" OR "XNOR gate" OR "inverter gate" OR "exclusive-OR gate" OR "exclusive-NOR gate" OR "digital quantit*" OR "analog quantit*" OR "combinational logic" OR "sequential logic" OR "fixed-function logic" OR "programmable logic" OR "digital circuit" OR "logic circuit" OR "logic gate" OR "logic Level" OR "logic simplification" OR "digital code" OR "digital waveform" OR "truth table" OR "binary digit" OR "binary number" OR "octal number" OR "decimal number" OR "hexadecimal number" OR "binary conversion" OR "octal conversion" OR "hexadecimal conversion" OR "signed number" OR "unsigned number" OR "binary arithmetic" OR "parallel binary adder" OR "full adder" OR "half adder" OR "look-ahead carry adder" OR "ripple carry adder" OR "binary coded decimal" OR "gray code" OR "error code" OR "code converter" OR "parity checker" OR "parity generator" OR "boolean algebra" OR "boolean expression" OR "boolean operation" OR "boolean simplification" OR "boolean theorem" OR "DeMorgan theorem" OR "sum-of-product" OR "products-of-sum" OR "Karnaugh map" OR "Quine-McCluskey method" OR "serial bus" OR "parallel bus" OR "bus interfac*" OR "data transmission media" OR "CMOS circuit" OR "TTL circuit" OR "integrated circuit" OR "data selector" OR "data splitter" OR "asynchronous counter" OR "synchronous counter" OR "cascaded counter" OR "shift register" OR "state machine" OR "field-programmable gate array" OR "memory hierarchy" OR "random-access memory" OR "sequential-access memory" OR "read-only memory" OR "read-write memory" OR "semiconductor memory" OR "flash memory" OR "optical storage" OR "magnetic storage" OR ("circuit" AND ("demultiplexer" OR "multiplexer" OR "encoder" OR "decoder" OR "comparator" OR "latch" OR "flip-flop" OR "multivibrator"))) OR ("expression" AND ("minterm" OR "maxterm")))

As bases selecionadas foram a Biblioteca Digital da Sociedade Brasileira de Computação (SBC OpenLib – SOL)¹ e a Scopus². No Brasil, há eventos científicos consolidados na área de Educação em Computação e Jogos Digitais, como o Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), o Workshop sobre Educação em Computação (WEI), o Workshop de Informática na Escola (WIE), o Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames) e o Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EduComp). Entretanto, nem todas as edições desses eventos estão indexadas na SOL. Portanto, foram realizadas buscas manuais em edições anteriores disponíveis online.

É importante destacar que a *string* de busca precisou ser adaptada para permitir a consulta por trabalhos na SOL, devido ao limite de caracteres no campo de busca.

¹<https://sol.sbc.org.br>

²<https://www.scopus.com>

Portanto, foi necessário segmentar a parte final da *string* original (contendo os termos específicos relacionados a Circuitos Lógicos), originando diversas *substrings*. Isso permitiu realizar as buscas de forma eficaz, mantendo os mesmos termos da *string* original. Além disso, para expandir a cobertura de buscas e identificar estudos importantes, a estratégia de *snowballing* foi aplicada de duas formas: a busca na lista de referências dos estudos primários (*backward snowballing*) e a busca nas citações dos estudos primários previamente selecionados (*forward snowballing*) [Machado et al. 2020]. O uso dessa estratégia híbrida, que combina a busca na Scopus com uma busca paralela utilizando *snowballing*, proporciona um equilíbrio entre a identificação de estudos primários relevantes e o esforço necessário para buscar em outras bases de dados [Mourão et al. 2020].

3.3. Critérios de inclusão e exclusão

Os seguintes critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE) foram definidos para este MSL:

CI1: O estudo apresenta um JED para o ensino-aprendizagem de Circuitos Lógicos;

CI2: O estudo é um trabalho completo revisado por pares;

CE1: O estudo não está disponível para leitura;

CE2: O estudo não está escrito em português ou inglês;

CE3: O estudo não é um estudo primário;

CE4: O estudo é um trabalho duplicado;

CE5: O estudo tem ênfase no ensino de Eletrônica Digital;

CE6: O estudo tem ênfase no ensino de Arquitetura de Computadores.

Estes critérios delimitam o escopo deste MSL a JEDs desenvolvidos especificamente para o ensino de Circuitos Lógicos em cursos da área de Computação. Particularmente, os critérios CE5 e CE6 excluem estudos relacionados ao ensino de Eletrônica Digital, que ultrapassam o escopo típico do currículo dos cursos da área de Computação, ou de Arquitetura de Computadores, uma área relacionada, mas cujo foco está na aplicabilidade dos conceitos de Circuitos Lógicos no projeto de computadores digitais.

3.4. Procedimentos de busca e análise dos estudos

O processo de busca foi realizado em 4 etapas. Na primeira foram realizadas as buscas na Scopus e na SOL, que retornaram respectivamente 743 e 7 estudos. Com auxílio da ferramenta Parsifal³, foram removidos 8 estudos duplicados, resultando em 742 estudos selecionados para a próxima etapa. Na segunda etapa, realizou-se a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos 742 estudos. Destes, 701 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão. Os 41 estudos resultantes foram movidos para a próxima fase, juntamente com 6 novos estudos encontrados durante a busca manual (que passaram pela análise de título, resumo e palavras-chave durante a busca). Na terceira etapa, realizou-se a leitura completa dos 47 estudos selecionados, aplicando todos os critérios definidos. Deste total, foram excluídos 11 estudos pelos critérios de inclusão e 16 pelos critérios de exclusão. Ao final da triagem restaram 20 estudos. Finalmente, na quarta etapa, a técnica de *snowballing* foi aplicada aos 20 estudos selecionados, resultando na inclusão de outros 5 estudos para compor o conjunto final de 25 estudos primários deste MSL (Tabela 1).

³<https://parsif.al/>

Tabela 1. Lista de estudos primários analisados neste MSL.

ID	Referência	ID	Referência	ID	Referência
E1	[Sikiniotis et al. 2008]	E10	[Amorim Neto et al. 2018]	E18	[Dutta et al. 2022]
E2	[Harper et al. 2011]	E11	[Franzoia e Júnior 2019]	E19	[Li e Li 2022]
E3	[Polycarpou et al. 2011]	E12	[Troyer et al. 2019a]	E20	[Moumoutzis et al. 2021]
E4	[França et al. 2013]	E13	[Kotsifakos et al. 2020]	E21	[Andrade e Sarinho 2023]
E5	[Choi 2015]	E14	[Torio et al. 2020]	E22	[Honda et al. 2023]
E6	[Morsi e Mull 2015]	E15	[Lima e Abdalla 2021]	E23	[Kobeissi 2023]
E7	[Aufheimer et al. 2016]	E16	[Ong et al. 2021]	E24	[Lima et al. 2023]
E8	[Butler-Purry et al. 2016]	E17	[Santos et al. 2021]	E25	[Ajayi et al. 2024]
E9	[Jamieson et al. 2017]				

4. Resultados e discussões

Nesta seção são apresentadas as respostas às questões de pesquisa (Subseção 4.1) e as discussões sobre os resultados encontrados (Subseção 4.2).

4.1. Respostas às questões de pesquisa

Diversas informações extraídas dos estudos primários deste MSL, disponíveis publicamente como material complementar⁴, foram utilizadas para responder às QPs a seguir.

QP1: *Quais são as motivações dos autores para o desenvolvimento dos JEDs?*

Os autores de 80% dos estudos (E1–E5, E7–E10, E12–E14, E16, E18, E19, E21–E25) explicitam que seus JEDs foram desenvolvidos como ferramenta de apoio ao ensino de Circuitos Lógicos em disciplinas na educação básica ou superior. Esses autores se disseram motivados a desenvolver os JEDs como uma forma de promover o aprendizado lúdico, aumentar o engajamento e simplificar a compreensão de conceitos complexos, de modo a permitir que os estudantes adquiram conhecimento de forma intuitiva e prazerosa.

QP2: *Quais são os conteúdos didáticos de Circuitos Lógicos abordados pelos JEDs?*

Como mostra a Figura 1, os conteúdos didáticos mais abordados pelos JEDs são: operações lógicas, sistemas de numeração, diagramas de portas lógicas, expressões booleanas e mapas de Karnaugh. Outros conteúdos foram abordados com menor frequência: álgebra booleana, *flip-flops*, aritmética binária, multiplexadores, codificadores e Verilog. Em sua maioria, os JEDs abordam um ou dois conteúdos didáticos, com exceção dos JEDs dos estudos E6, E7, E8, E14, E18, E23 e E24, que abordaram 3 ou mais conteúdos. O JED do estudo E23 é o que aborda a maior variedade de temas, 8 no total.

QP3: *Quais são as características do público-alvo dos JEDs?*

O público-alvo dos JEDs é composto, em sua maioria (72%), por estudantes de ensino superior que estão cursando disciplinas de Circuitos Lógicos. Apenas 28% dos JEDs deste MSL (E1, E4, E5, E13, E17, E19, E20) foram desenvolvidos com foco em estudantes da educação básica, essencialmente do ensino médio. Outra característica relevante neste contexto é que 52% dos JEDs não demandam conhecimento prévio em Circuitos Lógicos por parte dos estudantes, enquanto 36% deles (E8–E11, E14, E16, E19,

⁴https://osf.io/4enjv/?view_only=f7ae26cec1bc489aa946e0a074543880

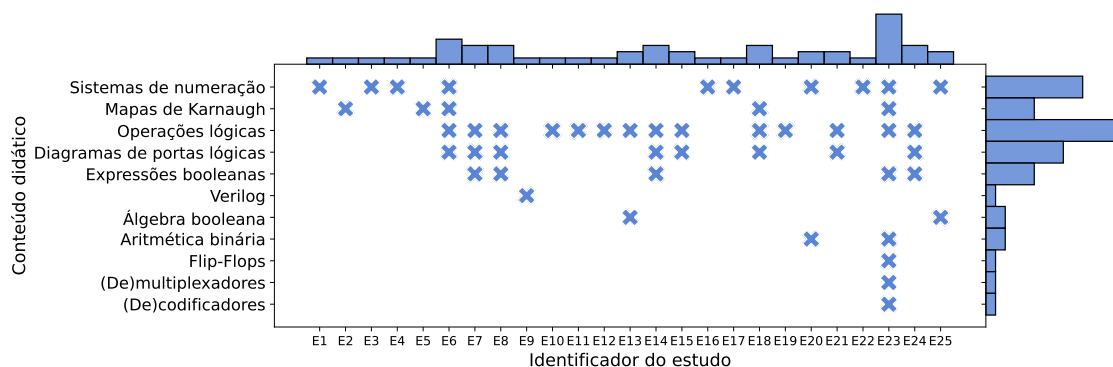


Figura 1. Conteúdos didáticos de Circuitos Lógicos abordados nos JEDs.

E20, E25) entendem que o conhecimento prévio é desejável e 12% deles (E3, E12, E13) entendem que o conhecimento prévio é obrigatório.

QP4: *Quais são os gêneros e os elementos de jogos utilizados nos JEDs?*

A Figura 2 mostra a relação de frequência entre gêneros e elementos de jogos. Os gêneros se referem à classificação de jogos com base em sua mecânica principal e jogabilidade, sendo aqui utilizada a classificação proposta por Heintz (2016). Já os elementos de jogos se referem à experiência e à forma como o estudante interage com o jogo, aqui enumerados a partir de Toda et al. (2019). Observa-se que o gênero quebra-cabeça é o mais empregado pelos JEDs, seguido de aventura e estratégia. Dentre os elementos de jogo, os mais utilizados são os níveis, as estatísticas e os pontos, respectivamente.

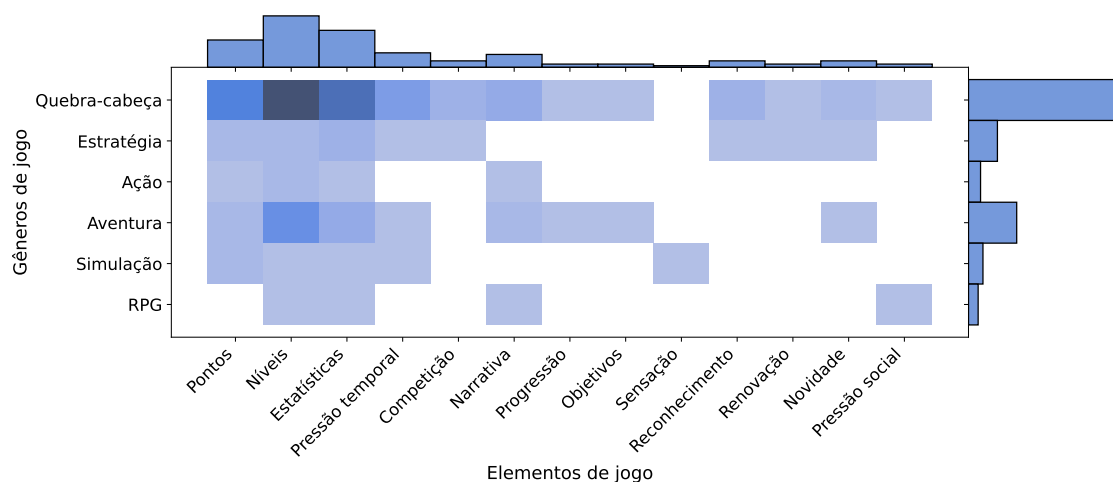


Figura 2. Relação de frequência entre gêneros e elementos de jogos nos JEDs.

QP5: *Quais são as tecnologias utilizadas no desenvolvimento dos JEDs?*

Como mostra a Figura 3, diversas são as tecnologias utilizadas no desenvolvimento dos JEDs. Entretanto, a *engine Unity*⁵ tem se destacado dentre as demais, tendo sido utilizada por 8 estudos (E6, E7, E10–E12, E18, E22, E25). Observa-se também que 6 estudos (E1, E4, E16, E19–E21) não informam as tecnologias utilizadas no desenvol-

⁵<https://unity.com/pt>

vimento de seus JEDs. Outra análise interessante de ser feita a partir da Figura 3 são as plataformas suportadas pelos JEDs. Uma parte significativa dos JEDs (E1–E3, E5–E9, E11, E19, E24) foram desenvolvidos como aplicações tradicionais para computadores pessoais (PCs). Na sequência estão as plataformas móveis (E12, E14–E16, E18, E22), as aplicações para a Web (E13, E17, E25) e as aplicações multiplataforma (E23). Alguns estudos (E4, E10, E20, E21) não especificam a plataforma suportada por seus JEDs.

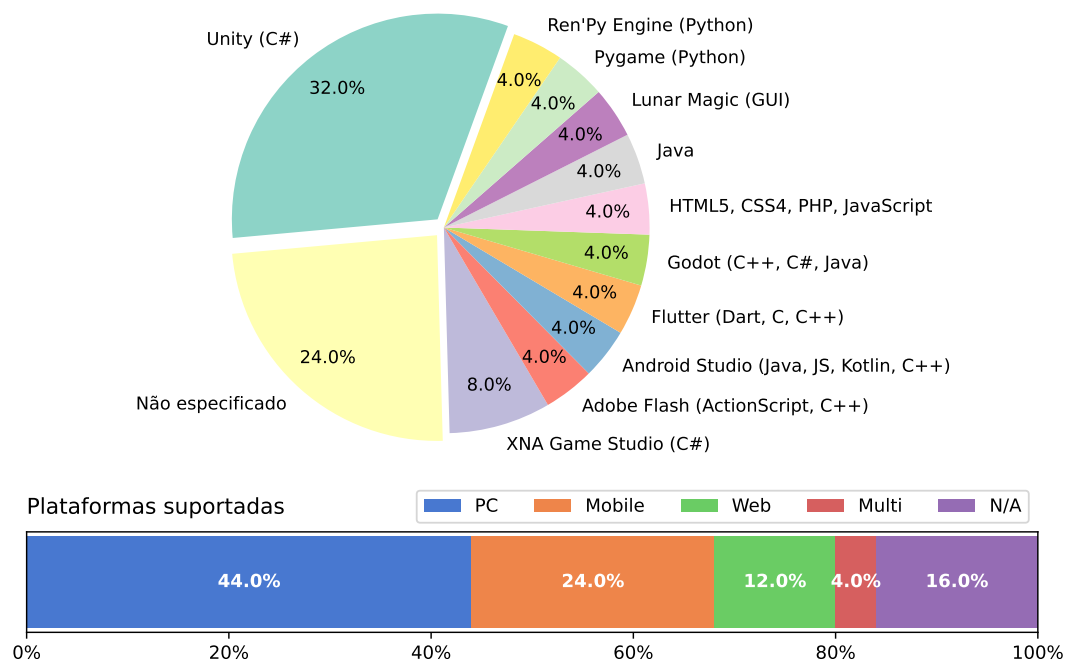


Figura 3. Tecnologias de desenvolvimento e plataformas suportadas pelos JEDs.

QP6: *Quais são as metodologias utilizadas nas avaliações dos JEDs?*

As avaliações foram classificadas em duas categorias: aquelas que abordam aspectos técnicos ou qualitativos dos JEDs e aquelas que abordam os impactos pedagógicos observados no ensino de Circuitos Lógicos com apoio dos JEDs. Dentre os 25 estudos, 40% (E3, E13, E14, E16, E18, E19, E21, E22, E24, E25) apresentaram avaliações técnicas ou qualitativas, enquanto 28% (E5, E7–E9, E12, E14, E19) apresentaram avaliações pedagógicas. Entretanto, é importante destacar que 40% dos estudos (E1, E2, E4, E6, E10, E11, E15, E17, E20, E23) não apresentaram avaliações. Também foi possível observar que os autores de alguns estudos (E1, E5, E12) publicaram extensões de seus trabalhos em que apresentam avaliações adicionais de seus JEDs [Kordaki 2010, Choi 2010, Troyer et al. 2019b, Sajjadi et al. 2016].

As metodologias usadas nas avaliações dos JEDs são: *Game Experience Questionnaire* – GEQ (E12) [Ijsselstein et al. 2007]; *Multiple Intelligence Questionnaire* – MIPQ (E12) [Tirri e Nokelainen 2011]; *Instructional Materials Motivation Survey* – IMMS (E14); *Usefulness, Satisfaction, and Ease of Use* – USE (E14) [Lund 2001]; *System Usability Scale* – SUS (E18) [Brooke 1996]; *Handheld Augmented Reality Usability Scale* – HARUS (E18) [Santos et al. 2014]; *Emotional Self-Assessment Manikin* – emoti-SAM (E22) [Hayashi et al. 2016]; *Model for the Evaluation of Educational Games and Activities* – MEEGA+ (E22) [Petri et al. 2020]; e Instrumento para Avaliação da Qualidade

de Jogos Educacionais – IAQJEd (E24) [Coutinho 2017]. Para realizar as avaliações, os autores utilizaram experimentos controlados (E5, E9, E12), aplicação de pré-testes e pós-testes (E5, E7, E8, E12), e aplicação de questionários após o contato dos estudantes com os JEDs (E3, E13, E14, E16, E18, E19, E21, E22, E24, E25). A escala Likert (1932) é adotada como instrumento de medição em alguns estudos (E5, E13, E14, E18, E24).

QP7: *Quais são os impactos observados no ensino de Circuitos Lógicos com os JEDs?*

Considerando os sete estudos que apresentaram avaliação que abordam os impactos pedagógicos observados no ensino de Circuitos Lógicos com apoio de seus JEDs, quase a totalidade deles (E5, E7, E8, E9, E12, E14) descrevem resultados quantitativos que atestam a eficácia do jogo no processo de ensino. Especificamente em E12, os autores apresentam uma conclusão neutra, apontando que não houve diferença significativa na aprendizagem sobre o tema abordado no JED entre o grupo de controle e o grupo experimental. O estudo E19 é o único dentre aqueles com avaliação pedagógica que apresentou resultados qualitativos, apenas indicando que os estudantes responderam corretamente às questões sobre Circuitos Lógicos apresentadas a eles após o período de testes com o jogo. Em relação aos demais estudos, tanto aqueles que apresentaram avaliações técnicas ou qualitativa dos JEDs, bem como aqueles que não realizaram avaliações, há percepções positivas dos autores em favor do uso dos JEDs. Algumas expressões são repetidas comumente, como: “aumenta o interesse dos estudantes”, “auxilia no aprendizado”, “produz uma experiência mais interativa e envolvente” e “aumenta o engajamento”.

QP8: *Os JEDs abordam questões voltadas para inclusão de minorias e acessibilidade?*

Ao analisar os 25 estudos, observou-se que nenhum deles aborda questões voltadas para a inclusão de grupos minoritários nem questões de acessibilidade nos JEDs.

QP9: *Os JEDs estão disponíveis para acesso público na Internet?*

Apenas os JEDs dos estudos E12, E21, E24 e E25 estão disponíveis publicamente na Internet. Os JEDs dos outros 21 estudos não estão disponíveis para *download*.

4.2. Discussão sobre os resultados

Observando os 25 estudos deste MSL, percebe-se que 84% deles foram publicados a partir do ano de 2015, 32% estão escritos na língua portuguesa e 20% são oriundos da biblioteca digital SOL. Estes indicadores confirmam que JEDs para o ensino de Circuitos Lógicos é um tema atual e que desperta o interesse da comunidade científica no Brasil. Com relação aos conteúdos didáticos de Circuitos Lógicos abordados pelos JEDs, percebe-se uma concentração maior dos jogos nos temas iniciais. Com a exceção dos conteúdos de Verilog e *flip-flops* abordados respectivamente pelos estudos E9 e E23, os demais conteúdos são unicamente voltados para lógica combinacional, evidenciando a necessidade de maior atenção no projeto de JEDs para o ensino de circuitos sequenciais.

Em relação ao público-alvo dos JEDs, este é majoritariamente composto por estudantes do ensino superior, refletindo que grande parte dos autores têm como motivação utilizar os JEDs como ferramenta de apoio em disciplinas de graduação. Entretanto, considerando a homologação da Computação como componente da BNCC no Brasil, fica evidente a importância de um olhar mais cuidadoso para os estudantes da educação básica, especialmente em conteúdos que introduzem a compreensão da Computação, como sistemas de numeração, operações lógicas e diagramas de portas lógicas. No que diz respeito

aos gêneros e elementos de jogo, os quebra-cabeças em diferentes níveis são dominantes. De fato, construir circuitos combinando portas lógicas se assemelha a um quebra-cabeça. Além disso, o elemento de níveis é considerado fundamental em JEDs, pois promove um senso de progressão, o que ajuda a manter os jogadores engajados e motivados ao longo da experiência de aprendizado [Toda et al. 2019]. A *engine Unity* destaca-se como a tecnologia mais utilizada no desenvolvimento de JEDs, graças à sua interface amigável, vasta documentação, comunidade de usuários ativa e suporte multiplataforma.

Quanto ao processo de avaliação, observa-se que uma boa parte dos estudos não avalia os seus JEDs. Entre os que realizam essa avaliação, há uma evidente ausência de padronização metodológica, com a aplicação de abordagens variadas. Essa falta de uniformidade dificulta a comparação dos resultados e a identificação de tendências ou boas práticas no uso de JEDs. Além disso, poucos jogos estão disponíveis online, restringindo o acesso e reduzindo as oportunidades de análises mais amplas. Disponibilizar esses jogos é essencial para viabilizar investigações mais abrangentes sobre sua eficácia na aprendizagem. Por fim, é fundamental destacar que nenhum dos estudos aborda questões de inclusão e acessibilidade, apesar da importância crucial desses aspectos no desenvolvimento de JEDs. Considerar a diversidade do ambiente acadêmico, que inclui, por exemplo, estudantes com deficiência intelectual, motora ou visual, é indispensável para garantir uma experiência de aprendizagem equitativa e acessível para todos [Belarmino et al. 2021].

5. Ameaças à validade

Durante este MSL foram feitos esforços para minimizar as ameaças que pudessem comprometer a validade do estudo, mesmo sem garantias de que estas ou outras tenham afetado os resultados [Wohlin et al. 2012]. Para reduzir a subjetividade, as etapas de seleção e extração de dados foram realizadas de forma independente por dois autores que já cursaram disciplinas de Circuitos Lógicos. As divergências foram resolvidas por consenso, com releitura dos estudos quando necessário. Todos os dados foram validados por um terceiro autor, com experiência docente no tema. Problemas na *string* de busca também podem ter levado à ausência de alguns estudos primários analisados. Para combater esta ameaça, a *string* foi testada e ajustada em várias etapas. Além disso, considerar apenas duas bibliotecas pode significar não indexar todo o conteúdo disponível. Para minimizar tal ameaça, foram utilizadas bases relevantes combinadas com o método *snowballing* para expandir a cobertura de busca e identificar estudos pertinentes [Mourão et al. 2020].

6. Conclusão

Este estudo realizou um mapeamento sistemático da literatura sobre JEDs aplicados ao ensino de Circuitos Lógicos, refletindo o estado da arte nesse campo. Os resultados destacam o potencial dos JEDs para facilitar a aprendizagem, proporcionando um ambiente mais interativo e engajador, muito embora desafios importantes ainda persistam, como a limitação dos conteúdos abordados, a falta de acessibilidade e inclusão, e a ausência de avaliações metodologicamente padronizadas.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar buscas em outras bibliotecas digitais para identificar estudos complementares e ampliar o conhecimento sobre a área. Além disso, está em andamento o desenvolvimento de um JED específico para abordar conceitos de lógica sequencial, que será posteriormente submetido a um estudo experimental para avaliar seu impacto no processo de ensino-aprendizagem.

Referências

- Ajayi, J., Adetiba, E., Ifijeh, A. H., Abayomi, A., Wejin, J., Thakur, S., e Moyo, S. (2024). LogicHouse-v1: a digital game-based learning tool for enhanced teaching of digital electronics in higher education institutions. *Cogent Engineering*, 11(1):2322814.
- Amorim Neto, A. C., da Silva, J. M., e Sarinho, V. (2018). bitHERO: Um jogo para auxílio no aprendizado de circuitos digitais. Em *Anais do XXIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 1780–1783. SBC.
- Andrade, P. H. M. O. e Sarinho, V. T. (2023). Plug’n Pass: Um jogo lúdico sobre circuitos lógicos. Em *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, páginas 1072–1077. SBC.
- Aufheimer, M., Kurashvili, I., Bonenberger, J., Rogers, K., e Klein, D. (2016). Bool the Miner: Relying on ghost companions to solve boolean equations. Em *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion (CHI PLAY)*, páginas 25–31. ACM.
- Battistella, P. E. e von Wangenheim, C. G. (2016). Games for teaching computing in higher education — a systematic review. *IEEE Technology and Engineering Education*, 1(9):8–30.
- Belarmino, G. D., Beda, J. S. L., Ferreira, P. N., e Goya, D. (2021). Critério de acessibilidade para jogos educacionais digitais que visam o desenho universal. Em *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 667–678. SBC.
- BRASIL (2022). Base Nacional Comum Curricular — Computação: complemento à BNCC. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Disponível em <https://tinyurl.com/r67nk2zp>. Último acesso em 16/12/2024.
- Brooke, J. (1996). Sus: A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, páginas 189–194.
- Butler-Purry, K. L., Oren, M., Pedersen, S., Foreman, J., Obiomon, P., e Katangur, A. K. (2016). Improving learning of digital systems concepts using a video game. Em *Proceedings of the 123rd ASEE Annual Conference and Exposition*, páginas 1–15. ASEE.
- Chakraborty, T. (2018). Role of interdisciplinarity in computer sciences: quantification, impact and life trajectory. *Scientometrics*, 114:1011–1029.
- Choi, Y. S. (2010). A game based learning content for tutoring in simplifying boolean functions. Em *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, páginas 43–47.
- Choi, Y. S. (2015). Effectiveness of game based learning to minimize boolean functions. *Multimedia Tools and Applications*, 74(17):7131–7146.
- Clementino, E. G., da Silva, T. R., da Silva Aranha, E. H., e dos Santos, F. G. (2022). Jogos não digitais para ensino de computação — um mapeamento sistemático. Em *Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 540–550. SBC.

- Coutinho, I. d. J. (2017). *Avaliação da Qualidade de Jogos Digitais Educativos: Trajetórias no Desenvolvimento de um Instrumento Avaliativo*. Tese de doutorado, Universidade do Estado da Bahia.
- Dutta, R., Mantri, A., e Singh, G. (2022). Evaluating system usability of mobile augmented reality application for teaching Karnaugh-maps. *Smart Learning Environments*, 9(1):6.
- Floyd, T. L. (2007). *Sistemas digitais: fundamentos e aplicações*. Bookman, Porto Alegre, 9ª edição.
- Franzoia, F. H. e Júnior, A. d. O. C. (2019). Liga ou Desliga? um software educacional para o aprendizado de sistemas digitais. Em *Anais dos Workshops do VIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE)*, páginas 1210–1216. SBC.
- França, R., Silva, W., e Amaral, H. (2013). Computino: um jogo destinado à aprendizagem de números binários para estudantes da educação básica. Em *Anais do XXI Workshop sobre Educação em Computação (WEI)*, páginas 438–443. SBC.
- Genesio, N. O. S., de Oliveira, A. M., Oliveira, E. W., e dias Valle, P. H. (2024). Panorama de estudos sobre jogos educacionais digitais em educação em computação. Em *Anais do XXXII Workshop sobre Educação em Computação (WEI)*, páginas 737–749. SBC.
- Harper, M., Miller, J., e Shen, Y. (2011). Digi island: A serious game for teaching and learning digital circuit optimization. Em *Proceedings of the 5th MODSIM World Conference & Expo*, páginas 869–889.
- Hayashi, E., Gutiérrez Posada, J., Maike, V., e Baranauskas, M. C. (2016). Exploring new formats of the Self-Assessment Manikin in the design with children. Em *Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC)*, páginas 1–10.
- Heintz, S. (2016). *Digital Educational Games: Methodologies for Evaluating the Impact of Game Type*. Tese de doutorado, University of Leicester.
- Honda, F., Macena, J., e Mourão, A. (2023). Resgate binário: Um jogo educacional para praticar conversão de números decimais para base binária e pensamento computacional. Em *Anais Estendidos do XII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE)*, páginas 181–184. SBC.
- Honda, F., Pires, F., Pessoa, M., e de Oliveira, E. H. T. (2020). Lições aprendidas em computação através da criação de um jogo educacional: entre automatos e design de aprendizagem. Em *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 1753–1762. SBC.
- Ijsselsteijn, W. A., de Kort, Y. A. W., Poels, K., Jurgelionis, A., e Bellotti, F. (2007). Characterising and measuring user experiences in digital games. Em *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE)*, páginas 1–4.
- Jamieson, P., Grace, L., Zhang, B., e Mizuno, N. (2017). verilogTown - Improving students learning hardware description language design - Verilog - with a video game. Em *Proceedings of the 124th ASEE Annual Conference and Exposition*, páginas 1–12. ASEE.

- Kobeissi, A. (2023). Gamifying digital logic education: A Super Mario World approach. Em *Proceedings of the 4th International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)*, páginas 248–252. IEEE.
- Kordaki, M. (2010). A computer card game for the learning of basic aspects of the binary system in primary education: Design and pilot evaluation. *Education and Information Technologies*, 16:395–421.
- Kotsifakos, D., Petrakis, G., Stavour, M., e Douligeris, C. (2020). An online game for the digital electronics course for vocational education and training (VET) students. Em Auer, M. E. e Tsiatsos, T., editors, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, volume 916, páginas 638–649. Springer.
- Li, H. e Li, C. (2022). Dive In! Computer World Action: A platform game for secondary school students to learn boolean operations in computer science. Em *Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY)*, páginas 279–285. ACM.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140):1–55.
- Lima, F., Campano Junior, M., e Aylon, L. (2023). Logicalizando feat Flip & Flop: um graphic novel para ensino de circuitos digitais. Em *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, páginas 826–837. SBC.
- Lima, L. e Abdalla, K. (2021). Logica: Um jogo educativo sobre portas lógicas. Em *Anais da IX Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí (ERCE-MAPI)*, páginas 67–73. SBC.
- Lund, A. M. (2001). Measuring usability with the USE questionnaire. *Usability Interface*, 8(2):3–6.
- Machado, M. O. C., Gimenez, P. J. A., e Siqueira, S. W. M. (2020). Raising the dimensions and variables for searching as a learning process: a systematic mapping of the literature. Em *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 1393–1402. SBC.
- Morsi, R. e Mull, S. (2015). Digital lockdown: A 3D adventure game for engineering education. Em *Proceedings of the International Conference on Frontiers in Education (FIE)*, páginas 1–4. IEEE.
- Moumoutzis, N., Rigas, N. A., Xanthaki, C., Maragkoudakis, I., Christodoulakis, S., Paneva-Marinova, D., e Pavlova, L. (2021). The design of a serious game to enable the exploration of the binary system. Em Auer, M. E. e Tsiatsos, T., editors, *Lecture Notes in Networks and Systems*, volume 411, páginas 897–906. Springer.
- Mourão, E., Pimentel, J. F., Murta, L., Kalinowski, M., Mendes, E., e Wohlin, C. (2020). On the performance of hybrid search strategies for systematic literature reviews in software engineering. *Information and software technology*, 123:106294.
- Ong, L.-Y., Leow, M.-C., e Tan, C.-K. (2021). Game-based learning mobile-app for teaching the binary numeral system. Em *Proceedings of the 15th European Conference on Games Based Learning (ECGBL)*, páginas 579–590. ACI.

- Petersen, K., Vakkalanka, S., e Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and software technology*, 64:1–18.
- Petri, G., von Wangenheim, C. G., e Borgatto, A. (2020). MEEGA+: Um modelo para a avaliação de jogos educacionais para o ensino de computação. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 27(3):52–81.
- Polycarpou, I., Krause, J., e Noring, M. (2011). Binary blaster: An educational game for practicing binary number conversions. Em *Proceedings of the International Conference on Frontiers in Education (FIE)*, páginas 1–6.
- Sajjadi, P., El Sayed, E., e De Troyer, O. (2016). On the impact of the dominant intelligences of players on learning outcome and game experience in educational games: The TrueBiters case. Em *Proceedings of the 5th International Conference on Games and Learning Alliance (GALA)*, páginas 221–231. Springer.
- Santini, L. F., Santini, A. L., Campano Junior, M., Track, M., Assumpção, M., e Aylon, L. (2023). Jogos educativos no ensino de circuitos digitais: Um mapeamento sistemático. Em *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, páginas 814–825. SBC.
- Santos, J. B. M. d., Nascimento, S. M., e Rique, T. P. (2021). ZeroUm: um jogo sério para aprender números binários. *Brazilian Journal of Development*, 7(4):41231–41250.
- Santos, M. E. C., Taketomi, T., Sandor, C., Polvi, J., Yamamoto, G., e Kato, H. (2014). A usability scale for handheld augmented reality. Em *Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, páginas 167—176. ACM.
- Sikiniotis, S., Kapros, H., e Kordaki, M. (2008). A computer game for the learning of binary system by beginners. Em *Proceedings of the International Conference on e-Learning (IADIS)*, páginas 29–36.
- Souza, M. R. d. A., Veado, L., Moreira, R. T., Figueiredo, E., e Costa, H. (2018). A systematic mapping study on game-related methods for software engineering education. *Information and software technology*, 95:201–218.
- Tirri, K. e Nokelainen, P. (2011). Multiple intelligences profiling questionnaire. Em Tirri, K. e Nokelainen, P., editors, *Moral Development and Citizenship Education*, volume 5, páginas 1–13. Springer.
- Tocci, R. J., Widmer, N. S., e Moss, G. L. (2018). *Sistemas digitais: princípios e aplicações*. Pearson, São Paulo, 12ª edição.
- Toda, A. M., Oliveira, W., Klock, A. C., Palomino, P. T., Pimenta, M., Gasparini, I., Shi, L., Bittencourt, I., Isotani, S., e Cristea, A. I. (2019). A taxonomy of game elements for gamification in educational contexts: Proposal and evaluation. Em *Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, páginas 84–88. IEEE.
- Torio, J. O., Bigueras, R. T., Maligat, D. E., Arispe, M. A., e Cruz, J. S. D. (2020). LogIO: An adaptive gamification learning approach on digital logic gates. Em *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 803, páginas 1–7. IOP Publishing.

- Troyer, O. D., Lindberg, R., Maushagen, J., e Sajjadi, P. (2019a). Development and evaluation of an educational game to practice the truth tables of logic. Em *Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, páginas 92–96. IEEE.
- Troyer, O. D., Lindberg, R., e Sajjadi, P. (2019b). TrueBiters, an educational game to practice the truth tables of propositional logic: Development, evaluation, and lessons learned. *Smart Learning Environments*, 6:1–17.
- Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., e Wesslén, A. (2012). *Experimentation in software engineering*. Springer, 2ª edição.
- Yamashita, V., Vilarinho, L., Silva, A., Feital, M., Valle, P., Quintela, B., e Oliveira, A. (2024). Jogos educacionais digitais e a inclusão das mulheres na programação: Um mapeamento sistemático. Em *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 1028–1042. SBC.
- Zorzo, A. F., Nunes, D., Matos, E. S., Steinmacher, I., Leite, J. C., Araújo, R., Correia, R. C. M., e Martins, S. (2017). Referenciais de formação para os cursos de graduação em computação. Sociedade Brasileira de Computação (SBC).