

Uso de Jogos no Ensino de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais: Um Mapeamento Sistemático

William Gabriel Y. A. Braga¹, Pedro Vitor Lima de Almeida¹,
Verônica dos Santos Nascimento², Gilton José Ferreira da Silva²

¹Departamento de Computação (DCOMP)
Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Av. Marechal Rondon, s/n – Jardim Rosa Elze – CEP 49100-000
São Cristóvão – SE – Brazil

²Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - (PROCC)
Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Av. Marechal Rondon, s/n – Jardim Rosa Elze – CEP 49100-000
São Cristóvão – SE – Brazil

williamgabrielbraga@academico.ufs.br, pedropc@academico.ufs.br

veronica.nascimento@dcomp.ufs.br, gilton@dcomp.ufs.br

Abstract. Context: *The use of digital systems and processor architecture is essential but challenging in computing education due to its complexity. **Objective:** This study systematically maps research on the use of games in teaching these subjects, identifying methodologies, challenges, and educational impacts. **Method:** A systematic mapping study was conducted, using the PICOC method for research definition and selecting studies from academic databases based on inclusion and exclusion criteria. **Results:** The findings indicate that serious games, simulations, and gamification improve student engagement and comprehension, though challenges such as usability and methodological limitations remain. **Conclusions:** Games are a promising educational tool for digital systems and processor architecture, but further empirical research is needed to refine their implementation.*

Resumo. Contexto: *O ensino de sistemas digitais e arquitetura de processadores é fundamental, porém desafiador, devido à sua complexidade. **Objetivo:** Este estudo mapeia sistematicamente pesquisas sobre o uso de jogos no ensino dessas disciplinas, analisando metodologias, desafios e impactos educacionais. **Método:** Foi realizado um mapeamento sistemático utilizando o método PICOC para definição da pesquisa, com seleção criteriosa de estudos em bases acadêmicas conforme critérios de inclusão e exclusão. **Resultados:** Jogos sérios, simulações e gamificação demonstram melhorar o engajamento e a compreensão dos alunos, embora desafios como usabilidade e limitações metodológicas persistam. **Conclusões:** Jogos são ferramentas promissoras no ensino de sistemas digitais e arquitetura de processadores, mas mais pesquisas empíricas são necessárias para aprimorar sua aplicação.*

1. Introdução

Os sistemas digitais estão amplamente presentes na sociedade moderna, viabilizando uma ampla gama de aplicações, desde a computação em nuvem até a Internet das Coisas. Além disso, eles formam a base essencial de dispositivos como computadores e smartphones, bem como de tecnologias fundamentais utilizadas nas áreas de segurança e saúde [Morris Mano and Ciletti 2012]. Diante disso, parece importante considerar métodos pedagógicos eficazes para o ensino dos princípios da arquitetura de processadores e sistemas digitais, especialmente para aqueles que não estão familiarizados com o assunto.

A estratégia pedagógica utilizada nas aulas frequentemente enfrenta o desafio de abordar uma grande quantidade de material complexo antecipadamente, o que, inadvertidamente, pode inibir a aprendizagem independente. Isso é especialmente verdadeiro nas áreas STEAM, pois a natureza dos temas exige a adoção de abordagens pedagógicas inovadoras. Métodos interativos que incorporam elementos de design de jogos têm o potencial de superar esses desafios e melhorar o engajamento dos alunos com conteúdos difíceis [Squire 2005].

Consequentemente, a gamificação pode melhorar a motivação dos estudantes e o desempenho acadêmico [Deterding et al. 2011, Hamari et al. 2014]. No entanto, é importante reconhecer que esses efeitos são geralmente correlacionais e dependem de contextos específicos para serem eficazes. Estudos adicionais como o de [Squire 2005] reforçam a viabilidade do uso de formas de jogo como ferramentas pedagógicas e reiteram a necessidade de uma exploração contínua sobre a aplicação e o uso desses instrumentos, especialmente no que diz respeito à coleta e interpretação de dados e à identificação de recursos tecnológicos relevantes.

O uso de jogos em ambientes de aprendizagem é uma metodologia altamente promissora para aumentar a compreensão de diferentes disciplinas, sendo apoiada por [Deterding et al. 2011] e [Hamari et al. 2014], que destacam a gamificação como capaz de aumentar o engajamento dos estudantes. No entanto, grande parte da literatura acadêmica que examina o uso de jogos em espaços de aprendizagem não considera adequadamente as configurações de ambientes digitais e a arquitetura de processadores. Isso resulta em inadequações na identificação dos tipos ideais de jogos a serem utilizados, na avaliação de seus efeitos na aprendizagem e na educação, bem como no estabelecimento das melhores práticas para a coleta e o processamento de dados.

Dessa forma, a realização de um mapeamento sistemático pode contribuir para a classificação e síntese do conhecimento atual, além de possibilitar a identificação de tendências, desafios emergentes e direções futuras para pesquisas voltadas ao aprimoramento do uso de ferramentas inovadoras na educação para o ensino de tópicos complexos.

O objetivo deste trabalho é realizar esse mapeamento sistemático sobre o tema do uso de jogos no ensino de arquitetura de processadores e sistemas digitais, identificando lacunas na literatura e explorando tendências atuais e oportunidades de pesquisa. Este artigo está estruturado da seguinte forma: a (Seção 2) apresenta a fundamentação teórica; a (Seção 3) detalha a metodologia aplicada; a (Seção 4) discute os resultados encontrados; a (Seção 5) aborda as ameaças à validade; por fim, a (Seção 6) traz as considerações finais e propostas de trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

Nas próximas seções, serão abordados os conceitos essenciais de sistemas digitais e arquitetura de processadores. Em seguida, serão discutidos os desafios enfrentados no ensino desses temas e, por fim, serão analisadas abordagens alternativas, com destaque para o uso de jogos e gamificação como ferramentas para facilitar a aprendizagem e aumentar o engajamento dos estudantes.

2.1. Sistemas Digitais e Arquitetura de Processadores

Os sistemas digitais são compostos por circuitos eletrônicos que operam com sinais binários representados como 0 ou 1, sendo utilizados para permitir operações lógicas e aritméticas necessárias para o processamento de dados [Morris Mano and Ciletti 2012]. A lógica digital forma a espinha dorsal dos sistemas digitais e é composta por portas lógicas utilizadas para executar operações Booleanas. A Figura 1 exibe essas portas lógicas.

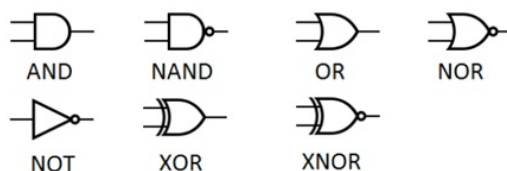


Figura 1. Principais portas lógicas utilizadas em sistemas digitais.

Fonte: Autoria própria, 2025. Baseado em [Morris Mano and Ciletti 2012].

A arquitetura de processadores envolve a organização interna e os métodos operacionais, como o conjunto de instruções, o pipeline, a hierarquia de memória e o processamento paralelo, elementos essenciais para a velocidade e eficiência dos sistemas computacionais modernos [Hennessy and Patterson 2011, Harris and Harris 2015].

Sabendo disso, é essencial destacar a importância da transmissão desses conceitos. Para esta, existe a necessidade de abordagens que combinem implementação prática com estruturação teórica, permitindo que os alunos visualizem e interajam com as operações lógicas inerentes a um circuito digital [Morris Mano and Ciletti 2012].

2.2. Desafios no ensino de sistemas digitais e arquitetura de processadores

A aquisição desse conhecimento é dificultada por barreiras significativas impostas pela complexidade dos conceitos e pelo alto grau de abstração necessário para compreendê-los. Os estudantes frequentemente têm dificuldades para conectar a teoria com a aplicação prática, especialmente em áreas como álgebra booleana e arquitetura de processadores [Morris Mano and Ciletti 2012]. Diversos estudos corroboram esse problema, como o de [Lazaretti and Arrais 2018], que relatou que estudantes de cursos de ciência da computação e engenharia frequentemente enfrentam dificuldades em operações internas do processador e na relação entre hardware e software, identificando a falta de visualização prática como um dos principais obstáculos.

Nas áreas de STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), a pedagogia tradicional, baseada predominantemente em aulas expositivas, pode não ser a abordagem mais adequada para promover uma compreensão mais profunda de conceitos difíceis [Felder 2002, Prince 2004].

2.3. Aplicação de jogos no ensino de sistemas digitais e arquitetura de processadores

Sabendo dos desafios apresentados, têm sido investigados métodos alternativos para melhorar a eficácia do ensino de tópicos complexos. Pesquisas de [Squire 2005] e [Deterding et al. 2011] mostram que a gamificação e sua incorporação ao ensino são estratégias úteis para envolver os estudantes com os conceitos, proporcionando modalidades de aprendizado experiencial e interativo, ao mesmo tempo que auxiliam na superação de desafios relacionados à abstração e aumentam a motivação. Embora estudos como os de [Squire 2005] e [Deterding et al. 2011] sejam fundacionais, revisões mais recentes como a de [Tene et al. 2025] reforçam a atualidade do debate sobre gamificação e o uso de jogos no ensino de engenharia. Essas metodologias inovadoras apresentam um grande potencial para a aprendizagem ativa.

Assim, destaca-se a necessidade de investigar a eficácia dessas abordagens no ensino de arquitetura de processadores e sistemas digitais.

3. Metodologia

Para a realização deste mapeamento sistemático, adotou-se a metodologia de [Kitchenham 2004]. O método PICOC foi utilizado para estruturar a pesquisa, definir as perguntas Subseção 3.1 e selecionar as palavras-chave Tabela 1. Ele organiza os elementos-chave do estudo em cinco componentes, que para este trabalho foram definidos como:

- **População:** Alunos de graduação em cursos das áreas de Computação e Engenharias.
- **Intervenção:** O uso de jogos digitais (jogos sérios, simulações, gamificação) como ferramenta pedagógica de apoio.
- **Comparação:** Métodos de ensino tradicionais, como aulas expositivas e laboratórios convencionais, quando mencionados nos estudos.
- **Outcomes (Resultados):** Análise dos impactos no aprendizado (desempenho, engajamento), metodologias de aplicação, ferramentas utilizadas, desafios e limitações relatadas.
- **Contexto:** O ambiente de ensino superior em disciplinas de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais.

A busca foi feita em bases de dados acadêmicas (Subseção 3.3), como IEEE Xplore, Scopus e ACM Digital Library, utilizando uma *String* de busca relacionada ao tema. Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos para garantir a qualidade dos estudos selecionados (Subseção 3.4).

A busca foi feita em bases de dados acadêmicas Subseção 3.3, como IEEE Xplore, Scopus e ACM Digital Library, utilizando uma string de busca relacionada ao tema. Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos para garantir a qualidade dos estudos selecionados Subseção 3.5.

3.1. Questões de pesquisa

A seguir, estão as questões de pesquisa que orientam este estudo:

1. Quais impactos o uso de jogos tem no aprendizado de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais?

2. Quais metodologias são aplicadas na implementação e uso desses jogos na educação?
3. Quais ferramentas e simulações são utilizadas no ensino de arquitetura de processadores e sistemas digitais?
4. Quais tipos de jogos são utilizados no ensino de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais?
5. Quais são os desafios enfrentados na adoção de jogos para ensinar Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais?
6. Quais são as limitações relatadas nos estudos sobre o uso de jogos para o ensino de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais?

3.2. Palavras-chave

Na Tabela 1 são apresentadas as Palavras-Chave utilizadas para formar a *String*.

Tabela 1. Palavras-Chave utilizadas na *String* de busca

Palavra-chave	Sinônimo em Inglês
Arquitetura de Computadores	Processor Architecture
Sistemas Digitais	Digital Systems, Digital Circuits
Educação	Education, Teaching, Learning
Educador	Educator, Teacher, Professor
Estudante	Student
Jogos Digitais	Digital Games
Jogos Sérios	Serious Games, edutainment
Aprendizado	Learning

Fonte: Autoria própria, 2025.

Na Tabela 2 é apresentada a *String* utilizada para as buscas nas bases

Tabela 2. *String* utilizada para realizar as buscas nas bases

(("Arquitetura de Processadores"OR "Processor architecture"OR "Sistemas Digitais" OR "Digital circuits"OR "Digital systems") AND ("education"OR "teaching" OR "learning"OR "students"OR "professors"OR "educators") AND ("serious games" OR "edutainment"OR "digital games")))

Fonte: Autoria própria, 2025.

A string foi construída a partir da combinação de termos em português e inglês para garantir maior abrangência.

3.3. Bases utilizadas na pesquisa

Foram selecionadas bases de dados reconhecidas na área da computação, onde os artigos são rigorosamente verificados, garantindo qualidade e confiabilidade.

As seguintes bases científicas foram escolhidas para a pesquisa:

- Scopus <<http://www.scopus.com>>;
- IEEE Xplore Digital Library <<http://ieeexplore.ieee.org>>;
- Web of Science <<https://www.webofknowledge.com/>>;
- SOL SBC <<https://sol.sbc.org.br/index.php/indice>>;

3.4. Critérios

A seguir os Critérios de Inclusão:

1. Estudos que abordam educação utilizando jogos ou simulações no ensino de arquitetura de processadores, ou sistemas digitais;
2. Estudos realizados entre 2010 e 2025;
3. Estudos revisados por pares ou publicados em conferências e periódicos reconhecidos.

A seguir os Critérios de Exclusão:

1. Estudos anteriores a 2010;
2. Estudos que não tratam de gamificação, jogos serios ou jogos digitais;
3. Estudos sem acesso ao texto completo ou apenas com resumos disponíveis;
4. O artigo é um artigo de revisão (artigos secundários);
5. Estudo sem foco em ensino de Arquitetura de Computadores ou Sistemas Digitais.

Embora artigos secundários relacionados tenham sido excluídos da análise principal, alguns foram revisados e o de [Tene et al. 2025] foi utilizado na fundamentação teórica como base para entendimento do estado da arte de temas correlatos. Não foi encontrada nenhuma revisão que tratasse exatamente do tema.

3.5. Ferramentas Utilizadas

O Parsifal foi a ferramenta utilizada para ajudar no processo metodológico. Feita a seleção dos artigos em potencial, realizou-se uma leitura preliminar dos resumos para identificar os mais relevantes. Os selecionados passaram por uma avaliação de qualidade baseada em perguntas como:

"O estudo apresenta claramente seus objetivos?", "Há experimentos ou estudos de caso que validam as conclusões?", "Os autores contextualizam suas contribuições?". Cada resposta recebeu uma pontuação: 1.0 para "sim", 0.5 para "parcialmente" e 0 para "não". Apenas os artigos que alcançaram mais de 8 pontos foram incluídos na análise final, garantindo a seleção de estudos de alta qualidade.

4. Resultados e Discussão

Nas próximas seções é apresentado um resumo das publicações e as respostas para as questões de pesquisa. Os resultados são organizados em duas partes: um resumo qualitativo das publicações analisadas, destacando suas propostas, ferramentas empregadas e principais contribuições; e, em seguida, as subseções detalham as respostas às perguntas de pesquisa definidas na metodologia. A seguir, é possível observar o gráfico prisma com a estratégia de análise dos artigos, representado pela Figura 2.

4.1. Resumos das publicações

Destacando uma abordagem inovadora, [de Menezes Gama et al. 2024] exploram o uso do Minecraft como ferramenta educacional. O estudo propõe nove laboratórios interativos que combinam teoria, simulação e prática lúdica, visando aumentar o engajamento dos alunos e reduzir a evasão nas disciplinas de engenharia.

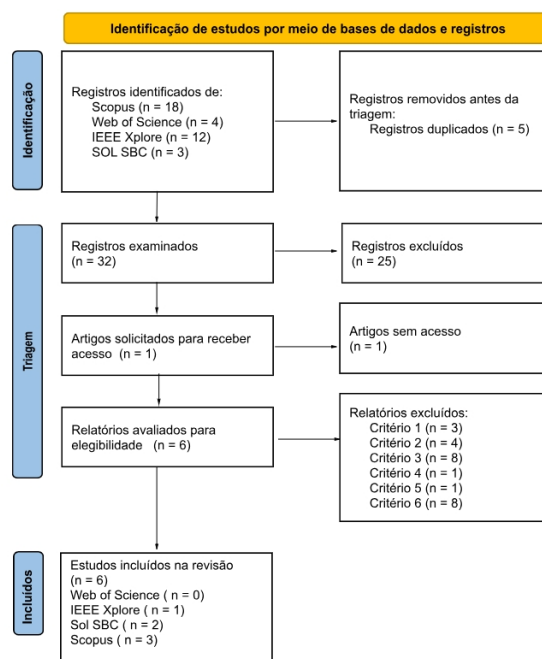


Figura 2. Gráfico de prisma com a extração de dados

Fonte: Autoria própria, 2025.

Complementando essa perspectiva, [Wu et al. 2015] investigam o potencial dos jogos sérios e da gamificação no contexto educacional. Os autores propõem um framework integrado ao ensino e analisam o jogo MineCircuit como estudo de caso, evidenciando que essa abordagem facilita a aprendizagem e questiona os métodos tradicionais.

Em uma linha semelhante, [Vinod et al. 2008] apresentam um protótipo educativo que utiliza jogos eletrônicos para simplificar conceitos de design digital. O estudo demonstra que essa metodologia eleva a motivação e o desempenho dos estudantes, oferecendo uma alternativa eficaz aos métodos convencionais.

Por outro lado, [Oren et al. 2020] analisam um jogo educativo em 3D voltado para o design de circuitos. Os autores demonstram que ferramentas de orientação e *scaffolding* incorporadas ao jogo melhoram significativamente o desempenho dos alunos, embora a produtividade não tenha sido substancialmente impactada.

Outro exemplo relevante surge com o jogo "Odisseia 2D: Explorando Caminhos Lógicos", descrito por [Beserra et al. 2024]. Desenvolvido na plataforma Unity, o jogo utiliza mecânicas lúdicas para ensinar circuitos digitais, e os resultados comprovam a eficácia da gamificação como ferramenta de ensino.

Finalmente, [Pranantha et al. 2012] propõem um formato de jogos sérios especificamente projetado para a educação superior em tecnologia. O estudo alcança avaliações positivas e destaca planos futuros para expandir os tópicos abordados e aprimorar a usabilidade das ferramentas desenvolvidas.

4.2. Quais impactos o uso de jogos tem no aprendizado de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais?

Os impactos são majoritariamente positivos, embora medidos de formas distintas. Estudos com análise quantitativa apontam para uma melhora direta no desempenho. [Vinod et al. 2008] observaram um aumento na pontuação média dos alunos de 0.22 para 0.72 (em uma escala de 2.0) após a interação com o jogo. De forma mais robusta, [Oren et al. 2020] analisaram dados de 154 estudantes e concluíram que o uso de ferramentas de auxílio instrucional e de scaffolding (andaime cognitivo) estava significativamente correlacionado com a performance, explicando juntos cerca de 27% da variância no número de problemas resolvidos.

4.3. Quais metodologias são aplicadas na implementação e uso desses jogos na educação?

As metodologias incluem desenvolvimento de jogos com Unity, ferramentas instrucionais *in-game*, análise de dados de interações, avaliações por questionários e testes, abordagens gamificadas e estudos experimentais para comparar versões do jogo [Vinod et al. 2008, Beserra et al. 2024, Oren et al. 2020].

4.4. Quais ferramentas e simulações são utilizadas no ensino de arquitetura de processadores e sistemas digitais?

As principais ferramentas utilizadas pelos estudos incluem Unity para desenvolvimento de jogos educacionais, SwitchCraft para projeto de níveis com equações booleanas, Planet K como jogo educacional 3D focado em design de circuitos digitais, Logic Help para orientação instrucional dentro do jogo, Logic Flow como estrutura visual para testar e rastrear o fluxo lógico dos circuitos, e K-Map Tool como ferramenta de produtividade para minimização de circuitos com mapas de Karnaugh. Elas foram implementadas por estudos diferentes, mas oferecem suporte instrucional, uma base para a resolução de problemas e facilitam a compreensão e o design dos circuitos digitais [Beserra et al. 2024, Oren et al. 2020, de Menezes Gama et al. 2024].

4.5. Quais tipos de jogos são utilizados no ensino de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais?

São utilizados jogos sérios, de simulação, baseados em puzzles e de construção. Os Jogos de simulação recriam ambientes reais para facilitar a prática no design de circuitos. Os Jogos baseados em puzzles combinam elementos teóricos com mecânicas de resolução de problemas, enquanto jogos de construção, como o Minecraft, permitem a manipulação de elementos virtuais para uma aprendizagem prática [Beserra et al. 2024, Oren et al. 2020, Pranantha et al. 2012].

4.6. Quais são os desafios enfrentados na adoção de jogos para ensinar Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais?

Os principais desafios na adoção de jogos para ensinar arquitetura de processadores e sistemas digitais abrangem problemas de usabilidade, como dificuldades iniciais na navegação, e a necessidade de equilibrar fidelidade teórica com uma experiência envolvente. Há também questões técnicas e falta de recursos, resistência à adoção de novas metodologias, limitações na avaliação devido a amostras pequenas e dificuldades de integração ao currículo [Beserra et al. 2024, Oren et al. 2020].

4.7. Quais são as limitações relatadas nos estudos sobre o uso de jogos para o ensino de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais?

As principais limitações relatadas incluem um número muito pequeno de participantes na amostra, dificultando a generalização dos resultados, a escassez de estudos comparativos robustos que validem a eficácia dos jogos em relação aos métodos tradicionais e problemas técnicos, como *bugs* e falhas no software, que podem comprometer a experiência de aprendizado [Beserra et al. 2024, Oren et al. 2020, Wu et al. 2015].

5. Ameaças à validade

As bases de dados consultadas podem ter sido insuficientes para abranger toda a literatura relevante, reduzindo a abrangência desta revisão. A quantidade limitada de artigos sobre esse tema pode restringir a análise dos resultados, afetando a generalização dos achados e a identificação de padrões mais consistentes.

6. Considerações Finais

Esse mapeamento sistemático passou por uma série de atividades, iniciando com a formulação de perguntas de pesquisa, seguida da definição de palavras-chave relevantes e da seleção criteriosa de bases de dados. Em seguida, foi feita a extração, avaliação e análise de conteúdo dos artigos identificados, permitindo a identificação de tendências, desafios e metodologias utilizadas no emprego de jogos para alcançar objetivos educacionais.

O método adotado foi qualitativo, fundamentado na estratégia de [Kitchenham 2004]. A busca sistemática foi conduzida em bases de dados científicas reconhecidas, seguida de um processo de filtragem que resultou na seleção de estudos para análise. Os achados indicam que a integração de jogos no ensino de Arquitetura de Processadores e Sistemas Digitais tem efeitos positivos no aprendizado, resultando em maior engajamento dos alunos e melhor absorção de conceitos complexos. No entanto, devido à escassez de estudos disponíveis e às dificuldades associadas à implementação dessas metodologias, são necessárias pesquisas adicionais para consolidar e validar essas práticas. A não existência de outras revisões sobre o tema em específico pode evidenciar a importância deste mapeamento.

Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar os parâmetros deste estudo por meio da incorporação de novas fontes de informação e do aprimoramento das estratégias de busca para possibilitar pesquisas mais abrangentes. Além disso, há um compromisso em realizar estudos comparativos e empíricos mais aprofundados que validem os achados deste mapeamento.

Referências

- [Beserra et al. 2024] Beserra, K., Kessler, H., and da Rosa Junior, L. S. (2024). Odisseia 2d: Explorando caminhos lógicos. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 975–986. SBC.
- [de Menezes Gama et al. 2024] de Menezes Gama, G. V., Fernandes, G. A., Junior, M. M. C., and Aylon, L. B. R. (2024). Jogando, aprendendo e construindo: Utilizando o minecraft como ferramenta de auxílio no ensino de circuitos digitais. In *Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, pages 1223–1232. SBC.

- [Deterding et al. 2011] Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., and Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining "gamification". pages 9–15.
- [Felder 2002] Felder, R. M. (2002). Learning and teaching styles in engineering education.
- [Hamari et al. 2014] Hamari, J., Koivisto, J., and Sarsa, H. (2014). Does gamification work?—a literature review of empirical studies on gamification. In *2014 47th Hawaii international conference on system sciences*, pages 3025–3034. Ieee.
- [Harris and Harris 2015] Harris, S. and Harris, D. (2015). *Digital design and computer architecture*. Morgan Kaufmann.
- [Hennessy and Patterson 2011] Hennessy, J. L. and Patterson, D. A. (2011). *Computer architecture: a quantitative approach*. Elsevier.
- [Kitchenham 2004] Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004):1–26.
- [Lazaretti and Arrais 2018] Lazaretti, L. M. and Arrais, L. F. L. (2018). O que cabe no currículo da educação infantil? um convite à reflexão. *Educação em Análise*, 3(2):27–46.
- [Morris Mano and Ciletti 2012] Morris Mano, M. and Ciletti, M. D. (2012). *Digital Design*. Prentice Hall, Philadelphia, PA, 5 edition.
- [Oren et al. 2020] Oren, M., Pedersen, S., and Butler-Purry, K. L. (2020). Teaching digital circuit design with a 3-d video game: The impact of using in-game tools on students' performance. *IEEE Transactions on Education*, 64(1):24–31.
- [Pranantha et al. 2012] Pranantha, D., Bellotti, F., Berta, R., and De Gloria, A. (2012). A format of serious games for higher technology education topics: a case study in a digital electronic system course. In *2012 IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies*, pages 13–17. IEEE.
- [Prince 2004] Prince, M. (2004). Does active learning work? a review of the research. *Journal of engineering education*, 93(3):223–231.
- [Squire 2005] Squire, K. (2005). Changing the game: What happens when video games enter the classroom? *Innovate: Journal of online education*, 1(6).
- [Tene et al. 2025] Tene, T., Vique López, D. F., Valverde Aguirre, P. E., Cabezas Oviedo, N. I., Vacacela Gomez, C., and Bellucci, S. (2025). A systematic review of serious games as tools for stem education. *Frontiers in Education*, 10. Cited by: 0; All Open Access, Gold Open Access.
- [Vinod et al. 2008] Vinod, S., Karen, B.-P., and Susan, P. (2008). Using video games to enhance learning in digital systems. In *ACM. 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share, Toronto (Canada)*, pages 3–5.
- [Wu et al. 2015] Wu, Q., Zhu, Y., and Luo, Z. (2015). A gamification approach to getting students engaged in academic study. *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*, 17(4):26–29.