

Código Turing: Um Jogo *Puzzle* Baseado em Simulação da Máquina de Turing para o Ensino de Computação

Title: Turing Code: A Puzzle Game Simulating the Turing Machine for Computing Education

Karolayne Batista Teixeira¹, Heleno Fülber¹, Bruno Merlin¹

¹Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia – Universidade Federal do Pará (UFPA)
CEP 68464-000 – Tucuruí – PA – Brazil

karolayne.teixeira@tucuruui.ufpa.br, {fulber, brunomerlin}@ufpa.br

Abstract. Introduction: Teaching Formal Theories and Automata in higher education presents challenges due to the complexity of the content. Educational games have proven effective in facilitating this learning process.

Objective: To develop the Código Turing game as a playful tool to support the teaching of formal languages and Turing Machines in undergraduate courses.

Methodology: The game was developed in Unity using C# programming. Mechanics based on the Turing Machine were defined and structured in progressive levels with immediate feedback. The Serious Game Design Assessment (SGDA) framework was applied to guide the design, and a Game Design Document (GDD) was created in alignment with the pedagogical objectives of Formal Theory courses. **Expected Results:** The game is expected to increase student engagement and facilitate the comprehension of complex concepts by providing an accessible and gamified learning experience.

Keywords: educational game, Turing machine, games in higher education, game-based learning, puzzle.

Resumo. Introdução: O ensino de Teorias Formais e Autômatos no ensino superior apresenta desafios devido à complexidade dos conteúdos. Jogos educacionais têm se mostrado eficazes para facilitar essa aprendizagem.

Objetivo: Desenvolver o jogo Código Turing como ferramenta lúdica para apoiar o ensino de linguagens formais e Máquina de Turing em turmas de Graduação.

Metodologia: O jogo foi desenvolvido no Unity com programação em C#. Foram definidas mecânicas baseadas na Máquina de Turing, estruturadas em níveis progressivos com feedback imediato. Aplicou-se o framework Serious Game Design Assessment (SGDA) para orientar o design e elaborou-se um Game Design Document (GDD) alinhado aos objetivos pedagógicos das disciplinas de Teorias Formais. **Resultados Esperados:** Espera-se que o jogo contribua para o engajamento dos estudantes e facilite a aprendizagem de conceitos complexos, ao proporcionar uma experiência educativa gamificada, acessível e contextualizada.

Palavras-chave: jogo educacional, máquina de Turing, jogos no ensino superior, aprendizagem baseada em jogos, puzzle.

1. Introdução

O ensino de autômatos formais e modelos computacionais abstratos, como a Máquina de Turing, representa um desafio recorrente nos cursos de graduação em Computação, devido ao alto grau de abstração e raciocínio lógico exigidos [Santini et al. 2022].

Muitos estudantes enfrentam dificuldades em visualizar e compreender esses conceitos complexos. Estudos recentes, como o de Michels et al. (2024), destacam que a disciplina de Linguagens Formais e Autômatos (LFA) apresenta altos índices de reprovação, indicando a necessidade de métodos mais eficazes de ensino. Além disso, Santini et al. (2023) ressaltam que os jogos educacionais podem transformar tarefas abstratas em desafios práticos e motivadores, facilitando o desenvolvimento de habilidades importantes, como o pensamento computacional.

Nesse contexto, uma revisão sistemática conduzida por Gao, Yunus and Rafiq (2024) analisou pesquisas sobre o uso de jogos educacionais no ensino superior entre 2014 e 2023. O estudo reforça que jogos digitais contribuem significativamente para o aprendizado, o engajamento e o desenvolvimento de habilidades. No entanto, os autores destacam, que sua efetividade depende da colaboração entre estudantes, educadores e instituições, bem como do cuidado com o *design* dos jogos e o suporte pedagógico oferecido.

Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento do jogo Código Turing, uma proposta de ferramenta educacional gamificada voltada à aprendizagem dos conceitos relacionados à Máquina de Turing para estudantes de graduação.

2. Fundamentação Teórica

A Máquina de Turing, proposta por Alan Turing em 1936, é um modelo teórico que formaliza os conceitos de algoritmo e computabilidade [Turing 1937]. Consiste em uma fita infinita dividida em células, uma cabeça de leitura/escrita e um conjunto finito de estados e regras de transição. A cada passo, a máquina lê um símbolo da fita, altera-o conforme as regras estabelecidas, move a cabeça de leitura/escrita e transita para um novo estado [Sipser 2013]. Compreender seu funcionamento é essencial para o desenvolvimento do raciocínio lógico e da abstração, competências fundamentais para estudantes da área [Michels et al. 2024].

A aprendizagem ativa é uma abordagem segundo a qual estudantes participam ativamente de atividades que abordam conceitos práticos como a resolução de problemas e atividades experimentais favorecendo a internalização de conceitos teóricos e o desenvolvimento do pensamento crítico [Prince 2004]. No contexto da Máquina de Turing, metodologias que envolvem visualização e manipulação de seus componentes ajudam os estudantes a vivenciar o modelo de forma concreta. Jogos digitais com simulação e interatividade tornam esses tópicos mais acessíveis e promovem engajamento e retenção [Videnovik et al. 2023].

O uso de jogos digitais como recurso didático tem se mostrado uma estratégia eficaz no ensino de computação, especialmente em cursos de graduação. Ferramentas como a proposta por Alves and Guerra (2024) focada na criação visual e simulação de Máquinas de Turing, demonstram avanços em acessibilidade e feedback. Contudo, por não integrarem elementos lúdicos, têm impacto limitado no engajamento. O jogo Código Turing diferencia-se por incorporar gamificação e narrativa para promover maior motivação dos estudantes. Santana et al. (2022), por sua vez, apresentam um simulador lúdico de Máquina de Turing ambientado em uma fábrica, mas ainda limitado a uma única fase e sem progressão estruturada por níveis.

Os autores Casamaximo et al. (2024) realizaram uma revisão sistemática e identificaram nove jogos voltados ao ensino de Linguagens Formais e Autômatos, com diferentes estilos como puzzles, simulações e escape rooms. Apesar desse avanço, os próprios autores apontam limitações quanto ao alinhamento pedagógico, acessibilidade e integração com metodologias ativas. Assim, permanece o desafio de criar soluções educacionais mais eficazes, como o Código Turing.

3. Código Turing

O desenvolvimento do jogo Código Turing seguiu uma abordagem integrada, contemplando tanto aspectos técnicos de design e implementação quanto princípios pedagógicos voltados para o ensino superior. A metodologia buscou criar uma ferramenta educacional interativa e acessível, com potencial para apoiar a aprendizagem de linguagens formais, autômatos e Máquina de Turing.

3.1. O Jogo e a Educação

O jogo Código Turing foi projetado com foco em estudantes de graduação, especialmente aqueles do primeiro período e de disciplinas que abordam Teorias Formais e Autômatos. Sua estrutura pedagógica busca facilitar a aprendizagem progressiva de conceitos abstratos por meio da prática em um ambiente gamificado e interativo.

O jogo é dividido em níveis sequenciais, cada um associado a conceitos fundamentais para a compreensão do funcionamento de autômatos e da Máquina de Turing. Após a conclusão de cada nível, há uma introdução gradual aos componentes da Máquina de Turing, relacionando os conceitos trabalhados no nível com elementos como estados, alfabeto, transições e funções de leitura/escrita.

3.2. Metodologia de Desenvolvimento

O jogo Código Turing foi desenvolvido utilizando a *Engine Unity* com a linguagem de programação *C#*, escolhidos por sua versatilidade, qualidade visual e ampla aceitação na criação de jogos educacionais interativos. A metodologia de desenvolvimento incluiu a elaboração de um *Game Design Document* (GDD), baseado no modelo proposto por Scott Rogers (2013), detalhando aspectos como mecânicas, interface, narrativa, interação e feedback aos usuários.

Para assegurar a consistência pedagógica e técnica do projeto, adotou-se o *framework Serious Game Design Assessment (SGDA)*, proposto por Mitgutsch e Alvarado (2012), garantindo coerência entre os elementos do jogo (mecânica, narrativa, estética e objetivos educacionais).

Em cada nível, o jogador assiste a um vídeo narrativo introdutório (Figura 1), que contextualiza a missão: uma professora viajante no tempo encontra Alan Turing para entender o funcionamento de sua máquina. Essa narrativa estabelece um cenário histórico e lúdico que aproxima o jogador dos conceitos que serão trabalhados. Após o vídeo, inicia-se o ciclo interativo: o jogador ajusta a máquina, executa a simulação,

recebe feedback visual e, ao acertar, desbloqueia o próximo nível com novo conteúdo. A interface do nível exibe uma fita digital interativa composta por símbolos binários (0 e 1), uma máquina parcialmente configurada (com erros) e um gabarito com a saída esperada.



Figura 1. Telas do jogo Código Turing: tela inicial, tela de conceitos e vídeo introdutório.

O jogador deve ajustar os comandos da máquina, condicionais, escrita, direção e repetição, por meio de botões de ação visuais, com o objetivo de transformar a fita de entrada na fita correta. Durante a execução, o cabeçote percorre a fita enquanto os botões acionados são destacados com animações, permitindo o acompanhamento em tempo real das operações. Essa dinâmica permite que o jogador experimente e compreenda, na prática, conceitos como estados, transições, condicionais e funções. A Figura 2 ilustra a interface e os elementos manipuláveis do jogo, com exemplos dos níveis 1 e 5.

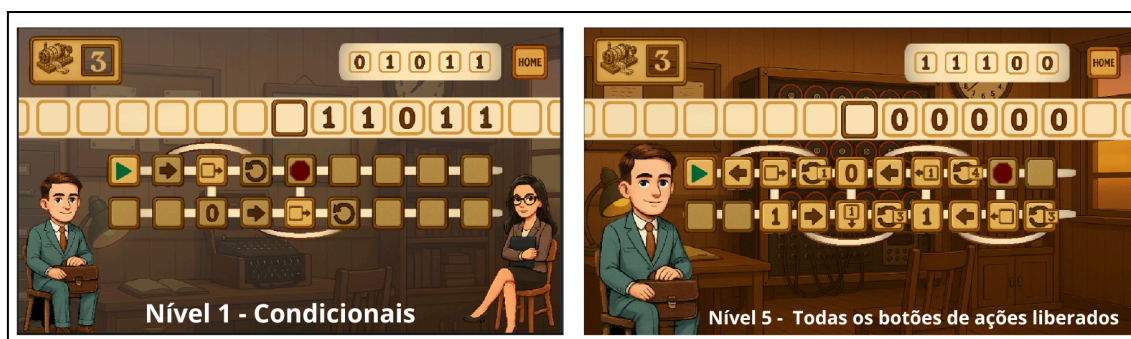


Figura 2. Telas do jogo interações com a Máquina de Turing - Nível 1 e 5.

O jogo está estruturado em níveis progressivos com desafios crescentes:

- Nível 1 – Condicionais: Lógica de decisão com base em condições simples.
- Nível 2 – Escrita: Introdução à manipulação de símbolos na fita.
- Nível 3 – Direções: Movimentação do cabeçote entre posições.
- Nível 4 – Integração: combinação dos conceitos de escrita, direção e condicionais.
- Nível 5 – Repetições: Identificação e manipulação de sequências padronizadas.

Ao concluir corretamente cada nível, o jogador desbloqueia um novo vídeo explicativo (Figura 3), que reforça os conceitos aprendidos, como tuplas, leitura, escrita, estados e funções de transição, além de apresentar pop-ups de aceitação ou rejeição da solução, encerrando o ciclo de feedback.

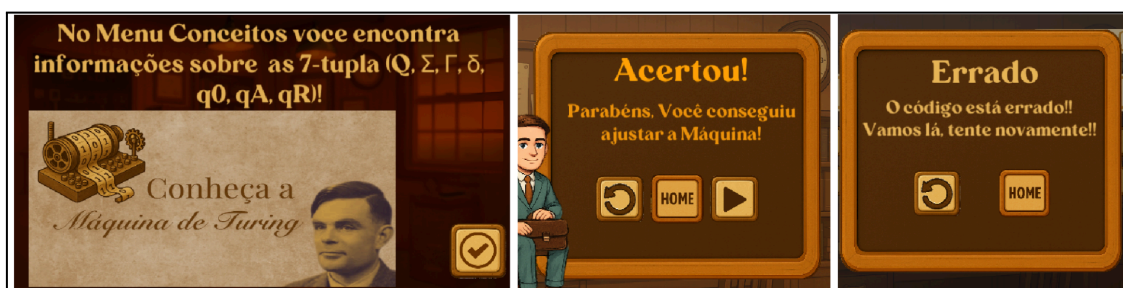


Figura 3. Telas do vídeo após concluir um nível e o pop-up de aceitação/rejeição.

3.3. Etapas Futuras e Avaliação

Com o desenvolvimento técnico do jogo finalizado, a próxima etapa contempla a aplicação e avaliação prática da ferramenta em turmas de graduação. O processo de validação pedagógica visa examinar a usabilidade, o engajamento dos estudantes e a efetividade do jogo na aprendizagem dos conceitos fundamentais da Máquina de Turing.

A avaliação será conduzida por meio do framework MEEGA+ (Model for the Evaluation of Educational Games), com aplicação de Game Learning Analytics (GLA) para analisar a interação dos jogadores. Conforme Melo et al. (2020), o GLA permite capturar dados sobre desempenho, trajetória, erros (mecânicos ou lógicos), desistências e adaptação ao level design. Entre os erros esperados estão confusões na direção do cabeçote, repetição incorreta de comandos e omissão de transições. Os dados, coletados via Unity e analisados com Pandas em Python, subsidiarão melhorias contínuas e a validação pedagógica com testes aplicados antes e depois da interação. Essa abordagem permitirá mensurar tanto a experiência do jogador quanto o impacto da ferramenta no desempenho acadêmico.

Para versões futuras, está prevista a inserção do modo de “montagem livre”, similar à ferramenta JFLAP, com potencial para aprofundar o envolvimento dos estudantes por meio da experimentação autônoma, favorecendo o raciocínio lógico, a criatividade e a resolução de problemas.

4. Resultados Esperados

Acredita-se que o jogo Código Turing possa contribuir de forma efetiva para a superação das dificuldades frequentemente encontradas no ensino de Teoria da Computação. Por meio de uma proposta interativa e orientada por níveis progressivos, espera-se que o jogo facilite a compreensão de conceitos abstratos, promova maior motivação dos alunos e atue como suporte complementar ao ensino tradicional.

Além disso, a inserção futura do modo de "montagem livre" tem potencial para aprofundar o envolvimento dos estudantes ao permitir a experimentação autônoma, favorecendo o desenvolvimento do raciocínio lógico, da criatividade e da capacidade de resolver problemas. Com os resultados das avaliações empíricas, espera-se ajustar e consolidar a ferramenta como um recurso educacional adaptável a diferentes contextos e instituições.

References

- Alves, D., & Guerra, P. T. (2024). Uma Ferramenta Web para Criação e Simulação de Máquinas de Turing. In *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2024)*, p. 2301-2312. <https://doi.org/10.5753/sbie.2024.242375>
- Casamaximo, R. F., Silva, P. Z., Michels, J. F. P. and Barbosa, C. R. S. C. (2024). “Avaliação de Jogos Digitais no Ensino de Linguagens Formais e Autômatos”. *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2024)*, pp. 538–550. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbie.2024.241798>
- Gao, M., Yunus, M. M., and Rafiq, K. M. R. (2024). Educational Games and Game-based Approaches in Higher Education: A Systematic Review (2014–2023). *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 13(1), 899–919. <http://dx.doi.org/10.6007/IJARPED/v13-i1/20555>
- Melo, D., Melo, R., Bernardo, J. R. S., Pessoa, M., Rodríguez, L. C. and Pires, F. (2020). “Uma estratégia de Game Learning Analytics para avaliar level design em um jogo educacional”. *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2020)*, pp. 622–631. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação. DOI: <https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2020.622>
- Michels, J. F. P., Cassanho, L. P., Burigo, B. R. and Barbosa, C. R. S. C. (2024). “Avaliação do JFLAP como ferramenta de Ensino de Gramáticas na Disciplina de Linguagens Formais e Autômatos”. *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2024)*, pp. 199–209. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbie.2024.242335>
- Mitgutsch, K., & Alvarado, N. (2012). Purposeful by Design? A Serious Game Design Assessment Framework. In *Proceedings of the International Conference on the Foundations of Digital Games (FDG 2012)*, pp. 121–128. New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/2282338.2282364>
- Prince, M. (2004). “Does Active Learning Work? A Review of the Research”. *Journal of Engineering Education*, 93(3), pp. 223–231. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Rogers, S. (2013). *Level Up! Um Guia Para o Design de Grandes Jogos* (2ª ed.). West Sussex: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-87071-1
- Santana, G. H., Campano Junior, M. M., Felinto, A. S. and Aylon, L. B. R. (2022). “Turing Machine Game Simulator: Um Jogo Educativo para Ensino de Máquina de Turing”. *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2022)*, pp. 896–906. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação. DOI: https://doi.org/10.5753/sbgames_estendido.2022.226065
- Santini, L. F. S. L., Campano Junior, M. M., Felinto, A. S. and Aylon, L. B. R. (2023). “Jogos no Ensino de Linguagens Formais e Autômatos: Um Mapeamento Sistemático”. *Anais Estendidos do SBGames 2023*. Disponível em: https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/23726/23555

- Sipser, M. (2013). *Introduction to the Theory of Computation*. 3rd ed. Boston: Cengage Learning. ISBN: 978-1-133-18779-0.
- Turing, A. M. (1937). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, s2-42(1), 230–265. DOI: 10.1112/plms/s2-42.1.230
- Videnovik, M., Vold, T., Kiøgnig, L., & Trajkovik, V. (2023). Game-based learning in computer science education: a scoping literature review. *International Journal of STEM Education*, 10, 54. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00447-2>