

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@tucurui.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 comprehenda, 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.

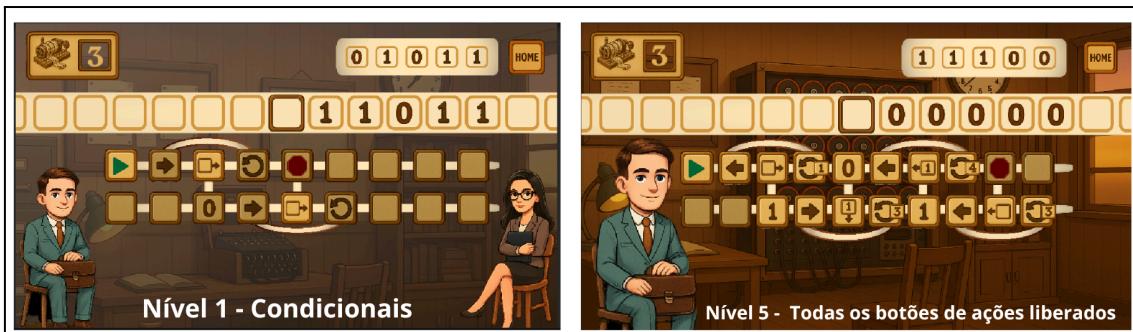


Figura 2. Telas do jogo interações com a Máquina de Turing - Nível 1 e 5.

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 (2^a 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., Kiønig, 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>