

Avaliação de Jogos Digitais no Ensino de Linguagens Formais e Autômatos

Rafael Furlanetto Casamaximo¹, Pedro Zafallon da Silva¹,
João Felipe Pavret Michels¹, Cinthyan Renata Sachs Camerlengo de Barbosa¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação –
Universidade Estadual de Londrina (UEL)
Caixa Postal 10011 – 86057-970 – Londrina – PR – Brazil

{rafael.furlanetto, pedro.zaffalon, pavret.michels, cinthyan}@uel.br

Abstract. *Formal Languages and Automata (FLA) is an essential discipline in Computer Science. However, despite its significance, studies have shown a high failure rate in this course. As a result, digital games have emerged as a tool to help in the process of teaching and learning the content. However, there are few resources cataloguing, organizing, and exemplifying the use of such resources in the educational environment. Therefore, this paper aims at completing a systematic analysis of FLA games, in order to catalog and evaluate them for the use in the classroom.*

Resumo. *Linguagens Formais e Autômatos (LFA) é uma disciplina essencial na Ciência da Computação. Entretanto, apesar da sua importância, estudos apontam um alto índice de reprovação. Nesse contexto, jogos digitais surgem como uma ferramenta para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem do conteúdo. Entretanto, poucos recursos existem catalogando, organizando e exemplificando a utilização de tais recursos no meio educacional. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo a realização de uma complementação de um mapeamento sistemático acerca dos jogos sobre LFA, possuindo como propósito sua catalogação e avaliação para o uso em sala de aula.*

1. Introdução

Linguagens Formais e Autômatos (LFA) é uma área significativa no campo da Ciência da Computação que se dedica aos modelos matemáticos permitindo a especificação, geração e reconhecimento de linguagens, bem como suas propriedades e características [Sudkamp 2005]. No entanto, apesar da sua relevância em várias outras disciplinas, como Compiladores e Inteligência Artificial, observa-se uma taxa de reprovação considerável, que atinge aproximadamente 51% na disciplina [Terra 2016].

Dentre os vários métodos auxiliares ao processo de aprendizado tradicional, os jogos educacionais se destacam como uma alternativa mais lúdica e facilitada para o ensino e absorção dos conteúdos ministrados em sala de aula. Embora os jogos educacionais tenham demonstrado eficácia, contribuindo para o desenvolvimento dos alunos [Aranha 2006], diversos autores e estudos indicam que profissionais de computação frequentemente se afastam desses produtos, descrevendo os jogos educacionais como "uma combinação do entretenimento de uma aula ruim com o valor educacional de um jogo" [Johannesson and Backlund 2007].

Diante desse contexto, é importante observar que jogos educacionais

relacionados às Linguagens Formais e Autômatos não apenas existem, mas também têm experimentado um aumento significativo em sua quantidade e relevância recentemente [Santini *et al.* 2023]. No entanto, é comum que esses produtos não sejam devidamente divulgados, documentados e avaliados, o que contribui ainda mais para a concepção equivocada de que os jogos atrapalham mais do que auxiliam.

Assim, diante da carência de trabalhos e avaliações de jogos relacionados à disciplina de LFA, este trabalho propõe como seu objetivo principal a identificação de jogos disponíveis publicamente, a catalogação e a avaliação deles. Além disso, busca realizar um levantamento sobre os conteúdos que esses jogos abordam e as situações nas quais esses podem ser utilizados como parte da formação complementar dos alunos, contribuindo para a formação diagnóstica, somativa e formativa dos estudantes [Freitas, Costa e Miranda 2014], [Santini *et al.* 2023].

Consequentemente, este trabalho tem como objetivo auxiliar não apenas os alunos, mas também os docentes e profissionais da área na transmissão do conteúdo de LFA, visando aprimorar o ensino e a compreensão desse campo de estudo. Sua estrutura é da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para a compreensão dos tópicos abordados, mapeamento sistemático da literatura e os trabalhos relacionados; a Seção 3 define os materiais e métodos utilizados durante a produção da pesquisa e obtenção dos resultados; a Seção 4 mostra os resultados e também as análises realizadas e obtidas diante do que foi proposto; a Seção 5 apresenta as conclusões e avaliações sobre os resultados obtidos, bem como trabalhos futuros e outras considerações.

2. Fundamentação Teórica

Nesta seção serão explorados os fundamentos teóricos essenciais sobre Linguagens Formais e Autômatos. O Mapeamento Sistemático da Literatura e trabalhos relacionados também será apresentado.

2.1. Linguagens Formais e Autômatos

A disciplina de Linguagens Formais e Autômatos, quando pensamos em sua implementação, combina conhecimentos de matemática discreta, lógica de programação, algoritmos e estruturas de dados, apresentando uma considerável multidisciplinaridade. Assim, é necessária a definição de conceitos básicos de LFA, os quais serão importantes para a compreensão deste trabalho e a motivação da sua avaliação.

Um alfabeto Σ é um conjunto finito de símbolos, por exemplo $\{0,1\}$, que podem formar palavras que são concatenações dos desses símbolos [Menezes 2010], [Vieira 2006]. A partir dessas palavras é possível construir linguagens que são formadas a partir desse alfabeto. Um exemplo de linguagem finita sobre o alfabeto $\{0,1\}$ pode ser $L = \{00,01,10,11\}$, ou seja, os números binários de tamanho 2, que é uma linguagem com quatro palavras (quantidade finita de palavras). Já uma linguagem infinita sobre o mesmo alfabeto, por exemplo, pode ser a de todos os números binários de qualquer tamanho $L = \{0,1,00,01,10,11,000,001, \dots\}$.

As linguagens são representadas na forma de uma expressão que define as palavras que a compõem. Por exemplo, para o alfabeto $\Sigma = \{a\}$, a linguagem $L = \{a^n/n > 0\}$

é formada por n concatenações do símbolo $\{a\}$, resultando em $L=\{a,aa,aaa,aaaa,\dots\}$ e assim por diante [Menezes 2010], [Veira 2006]. Também podemos representar uma linguagem sobre um alfabeto $\Sigma =\{a,b\}$ tal que $w \in \Sigma^*$, ou seja, inclui todas as palavras possíveis de se formar com $\{a,b\}$, em qualquer ordem e qualquer tamanho, incluindo uma palavra especial, de tamanho zero, no caso a palavra vazia representada por λ , ou seja, nesse conjunto as palavras dessa L são $\{\lambda,a,b, aa,ab,ba,bb,aaa,\dots\}$.

Um autômato (AFD - Autômato Finito Determinístico, AFND - Autômato Finito Não Determinístico, AP - Autômato de Pilha e uma MT - Máquina de Turing) é uma máquina reconhedora para verificar se determinadas palavras pertencem a uma dada linguagem. Ou seja, faz o reconhecimento das cadeias da linguagem.

Para os vários tipos de Linguagens existentes pode-se classificá-las de acordo com a Hierarquia de Chomsky [Hopcroft, Ullman and Motwani 2002], [Sipser 2007], [Veira 2006]. Assim, podemos afirmar que uma gramática ou linguagem do tipo $n \in \{0,1,2,3\}$ pode ser classificada também como sendo do tipo menor, se for o caso [José Neto 1987]. Uma linguagem do tipo n pode ser descrita por uma gramática do tipo n ou de um tipo menor, se for o caso.

Autômatos Finitos Determinísticos são da primeira classe de autômatos apresentada a alunos de graduação, conforme descrito por Menezes (2010). A compreensão dos elementos principais de um AFD é fundamental para auxiliar no entendimento das outras classes de autômatos. Por exemplo, ao estudar AFDs, é possível reconhecer a mesma linguagem que outros tipos de autômatos [Menezes 2010].

Um AFD para uma linguagem L_1 deve aceitar todas as palavras dessa linguagem e rejeitar todas as palavras que não pertencem. Para aceitar a palavra, deve-se processar toda ela e parar em um estado final. Caso contrário, a palavra testada é rejeitada. A descrição formal, ou seja, a representação matemática de um AFD é $\{Q, \Sigma, \delta, q_0, F\}$ [Menezes 2010], na qual: - Q é o conjunto finito de estados (representado por círculos); - Σ é o alfabeto da linguagem; - δ é a função de transição $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$; - i é o estado inicial; - F é um subconjunto de E de estados finais (representado por dois círculos).

Por exemplo, seja $L=\{a^n b^{2m} / n>0, m>0\}$, a qual é uma sequência de caracteres em que temos um número qualquer de letras "a" (representado por n , onde $n \geq 0$) e um número par de letras "b" (representado por $2m$, onde $m \geq 0$) que pode ser vista na Figura 1.

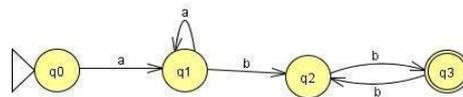


Figura 1. Representação do autômato de exemplo. Fonte: Os autores.

2.2. Mapeamento Sistemático da Literatura

O Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL) é uma técnica de pesquisa amplamente utilizada na elaboração da fundamentação teórica. Ele visa realizar uma revisão sistemática e abrangente da literatura disponível sobre um tópico específico, a fim de fornecer uma visão geral das pesquisas existentes, identificar lacunas no conhecimento e consolidar os principais resultados e conclusões dos estudos anteriores relacionados ao tema em questão [Petersen, Vakkalanka and Kuzniarz, 2015].

Os jogos analisados neste trabalho são inicialmente apresentados por meio dos resultados de um MSL realizado por Santini *et al.* (2023) que analisa as seguintes questões

de pesquisa: **Questão 01:** Quais os jogos na área de Linguagens Formais e Autômatos?
Questão 02: Quais conceitos de Linguagens Formais e Autômatos os jogos abordam?
Questão 03: Quais os gêneros dos jogos voltados para Linguagens Formais e Autômatos?
Questão 04: Os jogos foram testados no ensino com os alunos?

Quatro Critérios de Inclusão (CI) e quatro Critérios de Exclusão (CE) foram considerados por Santini *et al.* (2023) para selecionar artigos associados com o tema em questão: **CI: 1)** O artigo possui uma versão completa disponível para *download*; **2)** O artigo deve ter sido publicado entre os últimos 10 (dez) anos; **3)** O artigo deve satisfazer a string de busca; **4)** Se vários artigos foram relacionados ao mesmo estudo, apenas o mais recente será considerado. **CE: 1)** O artigo está repetido; **2)** O artigo não está disponível na sua versão completa para *download*; **3)** O artigo aborda o tema de maneira sucinta; **4)** O artigo trata de jogos, porém não em uma perspectiva educacional.

Dessa forma, os jogos digitais encontrados foram obtidos utilizando a busca dos termos: "jogo OR game AND (autômatos OR *automata* OR pilha OR *stack* OR máquina de Turing OR *Turing machine* OR gramática regular OR *regular grammar* OR gramática livre contexto OR *context-free grammar*) AND (linguagens formais OR *formal languages* OR expressão regular OR *regular expression*) AND (avaliação OR *evaluation* OR testes OR *tests*)". O processo de seleção, descarte e exclusão (de acordo com parâmetros e filtros utilizados no MSL) resultou no total de 9 artigos, cada um representando jogos digitais de livre acesso que podem ser encontrados em Santini *et al.* (2023).

Vários trabalhos têm abordado a utilização de jogos digitais em várias áreas, como podemos ver em Mattar (2020), porém na Ciência da Computação ainda é possível perceber um número escasso de pesquisas abordando Linguagens Formais e Autômatos [Santini *et al.* 2023]. É mais comum em lógica e programação já há alguns anos, como pode ser visto na relação de temas utilizando *games* em Mattar (2013). O trabalho de Pietruchinski *et al.* (2015) também descreve jogos educativos presentes no Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, especificando inclusive quais temas educacionais foram abordados. Em seus resultados, poucos jogos abordavam a LFA.

Diversos outros estudos [Battistela von Wangenheim 2016], [Kitchenham and Brereton 2013], [Kitchenham *et al.* 2007], [Pessini *et al.* 2014] apresentam jogos sobre LFAs como escassos e de difícil acesso. Além disso, os trabalhos disponíveis sobre o tema estudam a presença deles na área, porém não realizam descrições aprofundadas sobre os jogos desejados.

Nesse contexto, este trabalho busca não apenas agrupar diversos jogos publicados em diferentes veículos e plataformas, mas também descrevê-los de forma mais detalhada e complementar o trabalho de Santini *et al.* (2023), elucidando seu processo de aplicação, e consequentemente facilitando o acesso a ferramentas educacionais.

3. Materiais e Métodos

Nesta seção, detalham-se os métodos de estudo dos jogos educativos de Linguagens Formais e Autômatos (LFA) avaliados. Neste estudo, alguns jogos educativos com potencial para abordar os conceitos fundamentais em LFA foram selecionados. A análise sistemática e avaliação dos jogos utilizados no ensino desse conteúdo basearam-se no levantamento bibliográfico apresentado no estudo de Santini *et al.* (2023), que elaborou uma lista de jogos educacionais potenciais para o ensino desse conteúdo.

Após essa seleção inicial, cada jogo passou por uma análise individual, na qual

foram verificados os conceitos abordados e a forma na qual eles foram adaptados para os jogos. Os conceitos avaliados são os mesmos presentes no estudo sobre softwares educacionais de LFA realizado por Pirovani *et al.* (2013), sendo eles: - Autômato Finito Determinístico (AFD); - Autômato Finito Não Determinístico (AFN); - Autômato Finito Não Determinístico λ (AFN- λ); - Gramática Regular (GR); - Expressão Regular (ER); - Máquina de Moore (M. Moore); - Máquina de Mealy (M. Mealy); - Autômato de Pilha (AP); - Máquina de Turing (MT); - Conversão de Autômatos Finitos não Determinísticos para Autômatos Finitos Determinísticos (AFN \rightarrow AFD); - Minimização de Autômato Finito Determinístico (Min. AFD); - Conversão de Autômato Finito para Expressão Regular (AF \rightarrow ER); - Conversão de Expressão Regular para Autômato Finito (ER \rightarrow AF); - Conversão de Autômatos Finitos Determinísticos para Gramática Regular (AFD \rightarrow GR); - Conversão de Gramática Livre de Contexto para Autômato de Pilha (GLC \rightarrow AP).

Para avaliar esses jogos, buscou-se vivenciar propostas pelos desenvolvedores, mergulhando em suas dinâmicas e desafios. No entanto, é importante ressaltar que, apesar do potencial educativo dessas aplicações, dificuldades são enfrentadas na obtenção de versões jogáveis de alguns desses jogos. Portanto, em algumas instâncias, recorreremos aos conteúdos escritos disponibilizados pelos próprios desenvolvedores para conduzir as análises desses jogos.

É fundamental destacar que, apesar das limitações relacionadas à disponibilidade de alguns conteúdos e à dificuldade de acesso a alguns desses aplicativos, os jogos educativos em LFA apresentam vantagens significativas em termos de engajamento e eficácia no ensino proposto. A seguir, discutiremos os resultados que demonstram a relevância desses jogos como ferramentas pedagógicas.

4. Resultados

Nesta seção serão apresentados os jogos estudados, descrevendo os temas presentes nesses e como os conceitos de LFA são abordados, como segue.

A Factory Disaster: respondendo à Questão 3, o jogo consiste em um *escape room* (gênero no qual o objetivo é escapar de uma sala) no qual o jogador precisa encontrar os recursos necessários para descobrir a saída de cada fase. O jogador se encontra em uma plataforma e para ir para outra, precisa utilizar esses recursos para não cair dela. A analogia com os conceitos teóricos de AFDs é que cada plataforma corresponde a um estado de um autômato, o qual a personagem inicia a fase em seu estado inicial e o estado no qual essa finaliza é o estado final. Os recursos utilizados para passar de uma plataforma a outra são os símbolos do alfabeto [Carvalho, Campano Junior e Costa 2021]. Respondendo a Questão 04, cabe salientar que não foram feitos testes com alunos nesse jogo e apenas utilizada a metodologia proposta por Coutinho (2017). A Figura 2 apresenta a tela principal do jogo.

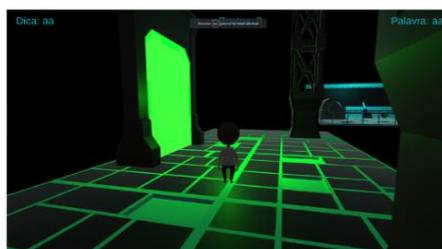


Figura 2. Tela principal de *A Factory Disaster*. Fonte: Carvalho, Campano Junior e Costa (2021)

AutomataDefense 3.0: é do gênero *tower defense* (o objetivo é defender uma torre) que consiste em um tabuleiro com uma entrada e uma saída. Durante o jogo, diversas pessoas e criaturas irão surgir com o objetivo de chegar na saída, sendo cada uma associada a uma palavra. O objetivo do jogador é impedir que as criaturas ultrapassem a saída, mas sem afetar as passagens de pessoas. Assim, o jogador precisa posicionar torres, que são configuradas como uma Máquina de Turing, para identificar as criaturas e impedir sua passagem [Comin e Pereira 2011]. Não foram realizados testes com alunos nesse jogo. A Figura 3 mostra a tela de edição de torres.



Figura 3. Tela de edição de torres de *AutomataDefense 3.0*. Fonte: Comin e Pereira (2011)

Máquina das Senhas: é um jogo de gênero *puzzle* (quebra-cabeças) baseado no jogo *Mastermind*, também conhecido como Senha. Em cada nível do jogo, o jogador precisa descobrir uma sequência oculta de caracteres que são aceitas por um autômato apresentado na interface do jogo. Sempre que o jogador tenta adivinhar o código, ele recebe como resposta informações sobre o palpite atual, para que o jogador possa melhorar o próximo palpite até conseguir acertar a palavra oculta [Vieira e Sarinho 2019]. Também não foram feitos testes com alunos nesse jogo. A Figura 4 apresenta uma fase do jogo.

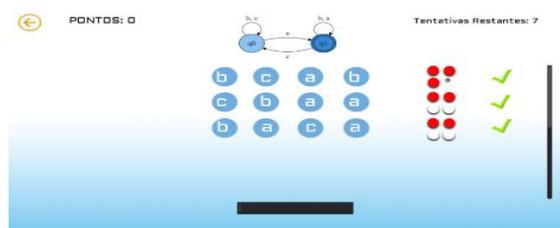


Figura 4. Uma fase de *Máquina das Senhas*. Fonte: Vieira e Sarinho (2019).

AutomataEscape: o jogo utiliza a mesma base que o *Máquina das Senhas* (gênero *puzzle*), mas adicionando elementos de *escape room* para aumentar a imersão do jogo. O jogador deve decifrar a senha de um cofre, acertando a palavra a tempo de escapar [Silva e Sarinho 2021]. Testes foram feitos apenas com seus desenvolvedores durante e após a etapa de desenvolvimento. A Figura 5 mostra o jogo na tela de um *RaspberryPi*.



Figura 5. Tela LCD com a interface do *AutomataEscape*. Fonte: Silva e Sarinho (2021).

Automata Toy Factory: também do gênero *puzzle*, a narrativa do jogo envolve uma fábrica que produz e vende brinquedos e na qual são realizadas promoções de diferentes produtos visando à venda em conjunto dos brinquedos. A partir dessa premissa, o jogador é contratado para gerar as instruções de montagem dos pedidos de acordo com as promoções. Cada promoção está associada a uma Linguagem Livre de Contexto que pode ser reconhecida por um Autômato de Pilha. As fábricas trabalham com o conceito de tickets para validar a montagem das promoções. Esses funcionam de modo similar a uma pilha. Assim, o funcionário da fábrica visualiza e retira o ticket que estiver no topo e insere um novo, caso seja necessário. Além dos tickets, cada brinquedo é produzido em fábricas diferentes, sendo necessário transmitir e repassar as informações entre as fábricas por meio das transições. As diferentes fábricas correspondem a diferentes estados do autômato de pilha. Similarmente, as transições entre fábricas são análogas às transições entre estados de autômatos de pilha, realizando a remoção do ticket, adicionando um novo brinquedo ao pedido, indicando a fábrica de destino desse e verificando se deve ou não ser inserido algum ticket [Tomizawa e Campano Junior 2021]. Foram realizados testes com 55 alunos utilizando o modelo proposto por Coutinho (2017). A Figura 6 apresenta a tela de adições de instruções para as fábricas (transição entre estados de autômatos de pilha).



Figura 6. Tela para inserir instruções no *Automata Toy Factory*.
Fonte: Tomizawa e Campano Junior 2021 (2021).

CastAways: o jogo do gênero *puzzle* se passa em um arquipélago de ilhas no meio do oceano. Após um trágico naufrágio, diversos sobreviventes se encontram presos nessas ilhas, sem expectativas de resgate. Entretanto, um dos sobreviventes possui os conhecimentos necessários para a construção de uma jangada. Sendo assim, cabe ao jogador explorar as ilhas e os recursos presentes, a fim de levar todos os naufragos à segurança. Para isso, haverá várias ilhas e cada uma dessas tem um naufrago e possui recursos específicos necessários para a construção de uma jangada, a qual será utilizada para que todos escapem com vida, sejam eles cordas, madeira, ferramentas, etc. O jogador pode controlar qualquer naufrago, um de cada vez. No entanto, um naufrago não pode se mover para outra ilha, devido à presença de tubarões nas águas. Então, ele coleta os recursos presentes em sua ilha, os coloca em um caixote e o arremessa para alguma ilha vizinha. O objetivo é coletar todos os recursos necessários para a construção da jangada, para que assim todos possam ser salvos e fugir dessas ilhas com vida. Seguindo esse conceito, os estados dos autômatos finitos são representados pelas ilhas espalhadas pelo mar. As transições entre estados são representadas pelos caixotes sendo jogados de uma ilha para outra, assim fazendo com que um autômato seja formado ao final de cada fase. Se o autômato formar uma linguagem correspondente à pretendida no *design* do nível, ele será marcado como concluído e o jogador poderá prosseguir. Caso o jogador realize um movimento que impossibilite a formação do autômato correto, o nível será marcado como fracassado e será reiniciado [Souza, Campano Junior e Felinto 2021]. Porém, não

foram feitos testes com alunos nesse jogo. A Figura 7 mostra as ilhas do jogo.



Figura 7. As ilhas de *CastAways*. Fonte: Souza, Campano Junior e Felinto (2021).

Labirinto Gramagico: é do gênero *estratégia* que se passa em um labirinto que possui portas mágicas, onde o jogador deve abrir as portas por meio de feitiços e continuar até o fundo do labirinto como parte de um teste para se tornar um mago. Os feitiços são, na verdade, gramáticas, e o jogador deve montar uma que gere a linguagem apresentada na porta. Para montar a gramática, o jogador deve coletar runas ao atravessar o labirinto. As runas são os símbolos terminais e não terminais que devem ser utilizados para formar a gramática [Garozzi, Campano Junior e Costa 2021]. A Figura 8 mostra a tela da montagem de gramática no jogo. Foram feitos testes com 49 alunos baseados no modelo proposto por Campano Junior, Souza e Felinto (2020).



Figura 8. Tela da montagem de gramática em *Labirinto Gramagico*.
Fonte: Garozzi, Campano Junior e Costa (2021).

Máquina do Curupira: é um jogo para plataformas móveis do tipo Puzzle. A personagem principal é baseada em uma lenda folclórica amazônica: o Curupira. O jogo se propõe também a auxiliar na conscientização sobre o tráfico e a caça ilegal de animais, especialmente aqueles em risco de extinção. A dinâmica do jogo acontece em um cenário cujo objetivo é libertar os animais de jaulas. Cada jaula tem um código a ser decifrado em uma analogia à Máquina de Turing. O jogo possui os princípios básicos de uma MT, os quais são: o cabeçote, o movimento para esquerda e direita, leitura e escrita. As frutas correspondem ao alfabeto e o estado inicial depende da fase em que o jogador se encontra. O estado de aceitação ou rejeição está condicionado à validação da palavra de entrada (sequência de frutas), sendo o estado final da Máquina do Curupira aceitação quando a palavra lida for igual à de entrada ou rejeição, caso contrário [Pires 2019]. Testes foram realizados apenas com seus desenvolvedores durante e após a etapa de desenvolvimento. A Figura 9 mostra uma fase do jogo.



Figura 9. Uma fase de *Máquina do Curupira*. Fonte: Pires *et al.* (2019)

Montanha de Chomsky: o jogo aborda os conceitos de Linguagens Regulares e Linguagens Livres de Contexto, sendo que o jogador precisa construir Autômatos, Gramáticas ou Expressões Regulares para as linguagens representadas. A ideia do jogo é fazer com que o jogador escale a Montanha de Chomsky, análoga à Hierarquia de Chomsky, de acordo com a complexidade das linguagens [Leite *et al.* 2019]. Santini *et al.* ressalta que nesse jogo foram realizados testes com 39 alunos com questões que abordavam a experiência do uso do jogo, o auxílio no processo de ensino e aprendizagem e a relevância do jogo (Figura 10 mostra uma fase) com os conteúdos vistos em aula.

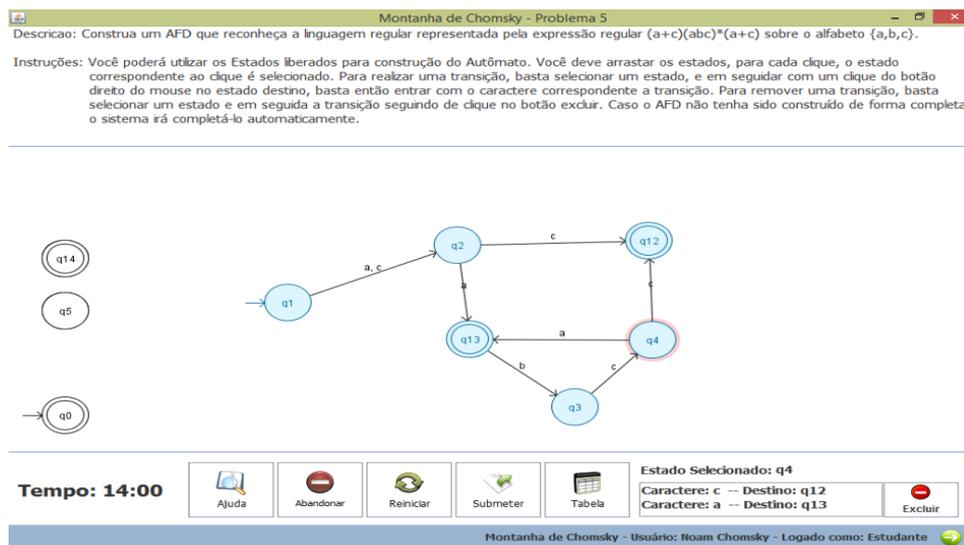


Figura 10. Uma fase de Montanha de Chomsky. Fonte: Leite *et al.* (2019).

A Tabela 1 apresenta uma rápida relação entre os jogos e os conteúdos de LFA abordados como questionados na Questão 2. Observando-a é possível perceber que esses jogos educativos, quando comparados com softwares educativos de LFA tradicionais, abordam menos conceitos [Pirovani e Mataveli 2013].

Tabela 1. Conceitos presentes em cada jogo. Fonte: Os autores.

	A Factory Disaster	AutomataDefense 3.0	AutomataEscape	Máquina das Senhas	Automata Toy Factory	Castaways	Labirinto Gramágico	Máquina do Curupira	Montanha de Chomsky
AFD	x	x	x	x	x	x	x		x
AFN	x	x							x
AFN-λ									
GR	x	x				x	x		x
ER									x
M. Moore									
M. Mealy									
AP	x	x			x				
MT		x						x	
AFN → AFD									
Min. AFD						x			
AF → ER									
ER → AF									
AFD → GR						x			
GLC → AP									

Os softwares educativos tradicionais geralmente apresentam diversas ferramentas para visualizar o funcionamento de diferentes conceitos na prática, enquanto os jogos

educativos abordam conteúdos mais específicos. Isso ocorre, entre diversos motivos, devido à necessidade de criar uma narrativa para o jogo e criar uma representação dos conceitos de LFA dentro de sua premissa, tornando difícil a utilização de vários tópicos da área de maneira lúdica.

Além disso, observa-se que poucos jogos abordam algoritmos e processos de transformações e minimizações, visto que sua representação e contextualização são mais complexas, tornando difícil sua adição nos jogos. Por outro lado, apesar de abordarem menos conceitos, a utilização de jogos educativos é uma alternativa mais atrativa e eficiente para os alunos.

5. Conclusões

A análise dos jogos educativos de Linguagens Formais e Autômatos revela uma variedade de abordagens criativas e inovadoras para ensinar esses conceitos complexos. Cada jogo utiliza elementos de jogos, como dinâmicos (incluindo narrativas), mecânicos e componentes (que são críticos para o engajamento, uma vez que estruturam o estilo do jogo e atuam diretamente na percepção do usuário [Costa e Marchiori 2016]) para envolver os jogadores e facilitar a compreensão dos princípios teóricos subjacentes. No entanto, ao observar a tabela de resultados, é evidente que esses jogos tendem a abordar um conjunto mais limitado de conceitos em comparação com os softwares educativos tradicionais da área.

Uma das razões para essa limitação está na necessidade de criar uma narrativa coesa para cada jogo e integrar os conceitos de LFA de forma significativa dentro desse contexto. Isso muitas vezes restringe a inclusão de uma ampla gama de tópicos da área. Além disso, a representação e contextualização de algoritmos e processos de transformações e minimizações podem ser desafiadoras em um ambiente de jogo, o que pode explicar a ausência desses tópicos em muitos dos jogos analisados.

Apesar dessa limitação em termos de conteúdo, os jogos educativos possuem um potencial ainda não totalmente explorado em termos de engajamento e eficácia no ensino. A abordagem lúdica e interativa desses jogos pode tornar o aprendizado dos conceitos LFA mais acessível e atraente para os alunos. Isso pode ser especialmente valioso em contextos educacionais onde a motivação e o interesse dos estudantes desempenham um papel crucial no processo de aprendizado.

Sendo assim, os jogos educativos de LFA representam uma abordagem promissora para o ensino desses conceitos desafiadores. Embora possam abordar uma gama mais limitada de tópicos em comparação com os softwares educativos tradicionais, sua capacidade de envolver os alunos e tornar o aprendizado mais estimulante é uma vantagem significativa. Futuras pesquisas e desenvolvimentos nessa área podem ajudar a ampliar o escopo desses jogos e aprimorar ainda mais sua eficácia como ferramentas de ensino. Uma das sugestões seria escolher um jogo e dele fazer essa relação com a disciplina formalmente no próximo ano letivo.

Existem vários simuladores que também auxiliam no ensino de LFA. Assim, trabalhos futuros poderiam se concentrar na expansão dos temas abordados pelos jogos na Tabela 1, explorando estratégias para integrar conceitos desafiadores de forma mais eficaz. Além disso, seria interessante conduzir pesquisas adicionais para avaliar o impacto em longo prazo do seu uso no desempenho acadêmico dos alunos. Resultados obtidos até o momento sugerem que, apesar das limitações de escopo, os jogos educativos têm o potencial de transformar positivamente a experiência de aprendizado nessa área.

Referências

- Aranha, G. (2006). Jogos eletrônicos como um conceito chave para o desenvolvimento de aplicações imersivas e interativas para o aprendizado. In *Ciências & Cognição*, 7(1), set., páginas 105-110.
- Battistella, P. E. and von Wangenheim, C. G. (2016). Games for teaching computing in higher education—a systematic review. In *IEEE Technology and Engineering Education*, 1(9), Mar., pages 8–30.
- Campano Junior, M. M., Souza, H. C. e Felinto, A. S. (2020). Avaliação pedagógica com base na união dos componentes dos jogos educacionais e das teorias de aprendizagem. In *Anais Estendidos do XIX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (Online)*. SBC, p. 551-558.
- Carvalho, F., Campano Junior, M. M. e Costa, Y. (2021). Jogos Educativos no Ensino de Autômato Finito Determinístico: um Estudo de Caso com o Jogo A Factory Disaster. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (Online)*. SBC, p. 123-134.
- Comin, L. M. e Pereira, E. N. (2011). AutomataDefense 3.0: Inclusão do conceito de Máquina de Turing para complementação pedagógica. In *Anais do II Encontro Nacional de Informática e Educação*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, p.342–349.
- Costa, A. C. S. e Marchiori, P. Z. Gamificação, elementos de jogos e estratégias: uma matriz de referência. In *InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação*, 6(2), out., páginas 44-65.
- Coutinho, I. J. (2017). *Avaliação da qualidade de jogos digitais educativos: trajetórias no desenvolvimento de um instrumento avaliativo*. Salvador: Programa de Pós-Graduação em Educação e Contemporaneidade da Universidade do Estado da Bahia. Tese de Doutorado.
- Freitas, S. L., Costa, M. G. N. e Miranda, F. A. de. (2014). Avaliação educacional: formas de uso na prática pedagógica. In *Revista Meta: Avaliação*, 6(16), maio, páginas 85–98.
- Garozi, P., Campano Junior, M. M. e Costa, Y. (2021). Labirinto Gramágico: Um Jogo Educativo para o Ensino de Gramáticas Regulares. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (Online)*. SBC, Porto Alegre, p.489-498.
- Hopcroft, J. E., Ullman, J. D. e Motwani, R. (2002). *Introdução à Teoria de Autômatos, Linguagens e Computação*. Tradução de Maria da Silva e João Pereira. Rio de Janeiro: Campus, 20ª edição.
- José Neto, J. (2017). *Introdução à compilação*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
- Kitchenham, B. and Brereton, P. (2013). A systematic review of systematic review process research in software engineering. In *Information and Software Technology*, 55(12), Dec., pages 2049-2075.

- Kitchenham, B., Budgen, D., Brereton, P., Turner, M., Charters, S., and Linkman, S. (2007). Large-scale software engineering questions-expert opinion or empirical evidence? *In IET Software*, 1(5), pages 161-171.
- Leite, L., Sibaldo, M. A., Carvalho, T. e Souza, R. (2014). Montanha de Chomsky: jogo tutor para auxílio no ensino de Teoria da Computação. In *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*, Brasília, SBC, p.110-119.
- Mattar, J. (2013). *Games em educação: como os nativos digitais aprendem*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Mattar, J. (2020). *Relatos de pesquisas em aprendizagem baseada em games*. São Paulo: Artesanato Educacional. 1ª edição.
- Menezes, P. B. (2010). *Linguagens Formais e Autômatos*. Vol. 3. Porto Alegre: Bookman, 6ª edição.
- Menezes, P. B. e Divertio, T. A. (2011). *Teoria da Computação: Máquinas Universais e Computabilidade*. Porto Alegre: Bookman, 3ª edição.
- Pessini, A., Oliveira, H. C., Kemczinski, A. and Hounsell, M. D. S. (2014). O uso de Jogos Sérios na Educação em Informática: um Mapeamento Sistemático. In *Anais da XIX Conferência Internacional sobre Informática na Educação*. Fortaleza, Jaime Sánchez (Ed.), p.537-541.
- Petersen, K., Vakkalanka, S. and Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. In *Information and Software Technology*, 64(1), Mar., pages 1–18.
- Pietruchinski, M. H., Coelho Neto, J., Malucelli, A., e Reinehr, S. (2012). Os jogos educativos no contexto do SBIE: uma revisão sistemática de literatura. In *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Vol. 1. USP, São Paulo, p. 1614 - 1623.
- Pires, F., Teixeira, K., Pessoa, M. e Lima, P. (2019). Desenvolvendo o Pensamento Computacional através da Máquina de Turing: o enigma do Curupira. In *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*. Belém, SBC, Porto Alegre, p.523–532.
- Pirovani, J. C. e Mataveli, G. V. (2013). Estudo e adaptação de software para o ensino de Linguagens Formais e Autômatos. In *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 21(03), mar., pages 53-69.
- Santini, L. F. S. L., Campano Junior, M. M., Felinto, A. S. e Aylon, L. B. R. (2023). *Jogos no Ensino de Linguagens Formais e Autômatos: Um Mapeamento Sistemático*. https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/23726/23555, Outubro.
- Silva, I. e Sarinho, V. (2021). AutomataEscape: Uma Proposta de Jogo Hardware/Software de Apoio a Aprendizagem de Aspectos Teóricos da Computação. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (Online)*. Porto Alegre, SBC, p.667–670.
- Sipser, M. (2007). *Introdução à Teoria da Computação*. Stamford: Cengage Learning.
- Sousa, H. C. de, Campano Junior, M. M. e Felinto, A. S. (2021). Inclusão das Avaliações Formativa e Somativa no Processo de Desenvolvimento de um Jogo Educacional: um

- Estudo de Caso no Projeto do Jogo Castaways. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Porto Alegre, SBC, p.445–454.
- Johannesson, M. and Backlund, P. (2007). Serious Games - An Overview. *Technical Report HS-IKI-TR-07-001*. School of Humanities and Informatics, University of Skövde, Skövde, Sweden. 28 p.
- Sudkamp, T. A. (2005). *Languages and Machines: an Introduction to the Theory of Computer Science* São Paulo: Addison-Wesley, 3rd edition.
- Terra, R. (2016). Disciplina de Linguagens Formais e Autômatos. *Technical Report*. Universidade Federal de Lavras.
- Tomizawa, M. e Campano Junior, M. M. (2021). Automata Toy Factory: Um Jogo Educativo para Ensino de Autômato com Pilha. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Porto Alegre, SBC, p.389–397.
- Vieira, M. e Sarinho, V. (2019). Máquina de Senhas: um jogo digital para o aprendizado da Teoria dos Autômatos. In *Anais da XIX Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe*. Ilhéus, SBC, p.54–59.
- Vieira, N. J. (2006). *Introdução aos Fundamentos da Computação*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.