

Labirinto Gramágico: Um Jogo Educativo para o Ensino de Gramáticas Regulares

Pedro Henrique T. P. Garozi
Departamento de Informática
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Paraná, Brasil
pedrohentorres@gmail.com

Maurilio Martins Campano Junior
Departamento de Informática
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Paraná, Brasil
maurilio.campanojr@gmail.com

Yandre M. G. Costa
Departamento de Informática
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Paraná, Brasil
yandre@din.uem.br

Resumo—Os jogos fazem parte da vida de muitos estudantes, em especial dos cursos na área de Computação. Jogos educativos têm sido desenvolvidos com o intuito de auxiliar e motivar os estudantes das mais diversas áreas. No entanto, a Teoria da Computação é uma das subáreas da computação com baixa quantidade de jogos educativos disponíveis. Em busca de uma contribuição para esse contexto, apresentamos neste trabalho o projeto e desenvolvimento de um jogo para ensino de Gramáticas Regulares, incluindo resultados de uma avaliação realizada com 49 alunos, baseada em dois métodos encontrados na literatura. Os resultados alcançados indicam que o jogo tem potencial para uso em sala de aula no apoio ao ensino.

Palavras-chave—Jogos Educativos, Avaliação de Jogos, Gramáticas Regulares.

I. INTRODUÇÃO

Na era digital, as tecnologias da informação e comunicação (TIC) são de fundamental importância para a criação e compartilhamento de informações, e estão presentes desde a escola, no seu local de trabalho, na sua casa e no seu dia a dia como um todo [1].

Os jogos de computador são elementos da cultura digital, os quais se tornam mais populares a cada ano, sendo que antes eram jogados apenas por entusiastas, e hoje são jogados por um público mais geral, incluindo pessoas de diferentes faixas etárias, como adolescentes, crianças e adultos [2].

O uso de jogos na educação proporciona novas ferramentas de auxílio à aprendizagem, os quais podem ser integrados ao ensino de qualquer disciplina. Para muitos, “aprender jogando” se torna mais prazeroso pois os jogos já fazem parte do cotidiano de boa parte das crianças, jovens e adultos. [3].

Na área da Ciência da Computação, o uso de jogos como ferramenta complementar ao ensino, permite aos alunos adquirir novos conhecimentos e habilidades por meio de uma aprendizagem ativa [4]. Neste contexto, Battistella [5] apresenta diversos jogos educativos para o ensino de Computação e Informática. Entretanto, grande parte dos jogos tem como foco o ensino de conceitos de Engenharia de Software, Sistemas Operacionais e Redes de Computadores, sendo a área de Teoria da Computação uma das subáreas com menor quantidade de jogos desenvolvidos [6].

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o projeto e desenvolvimento do jogo Labirinto Gramágico, que trata de Gramáticas Regulares, permitindo ao estudante praticar a

construção de gramáticas lineares unitárias à esquerda e à direita de forma simples, lúdica e divertida, proporcionando uma ferramenta para ajudar os alunos durante o aprendizado da disciplina.

Para avaliar a qualidade do jogo como ferramenta educativa, foi aplicado um questionário que combina questões do IAQJEd (Instrumento de Avaliação da Qualidade de Jogos Educativos) [7] e da Avaliação dos Componentes dos Jogos [8].

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II são descritos os conceitos de Linguagens Formais, Autômatos e Gramáticas, de Jogos Educativos, e de Métodos de Avaliação de Jogos Educativos. O conceito do jogo proposto, e suas características são apresentados na Seção III e o jogo em si é apresentado na Seção IV. Por fim, a avaliação do jogo e seus resultados são descritos na Seção V e a Conclusão pode ser vista na Seção VI.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção está dividida nas seguintes subseções: II-A apresenta os conceitos básicos de linguagens formais e gramáticas, a subseção II-B aborda os jogos educativos e a subseção II-C apresenta os métodos de avaliação de jogos educativos.

A. Linguagens Formais, Autômatos e Gramáticas

Vieira [9], apresenta uma definição de linguagem formal na qual uma linguagem precisa ter uma sintaxe bem definida, e uma semântica precisa.

Estas linguagens formais são utilizadas na Ciência da Computação para construção de compiladores para linguagens de programação, além de ser utilizadas na matemática para descrever teorias e sistemas formais e para provas formais [9].

Toda linguagem formal tem um alfabeto associado, e este alfabeto é um conjunto finito não vazio de elementos que serão referidos como símbolos. Uma palavra sobre um alfabeto Σ é uma sequência finita de concatenações dos símbolos de Σ [9], e uma linguagem é um conjunto de palavras formadas a partir de um mesmo alfabeto. São exemplos de linguagens sobre o alfabeto $\Sigma = \{0, 1\}$ [9]:

- 1) $\{\lambda\}$. Contém uma única palavra: a palavra vazia.
- 2) $\{\lambda, 0, 1, 00, 11\}$. Contém cinco palavras: λ , 0, 1, 00 e 11.

Para cada linguagem formal, as palavras que a compõem podem ser geradas por meio de regras para a formação de palavras, também conhecida por Gramática [9]. Estas gramáticas são formadas por um conjunto de símbolos variáveis (V), um conjunto de símbolos terminais (T), regras de produção (P) e o símbolo de partida (S), caracterizando assim uma quádrupla: $G = (V, T, P, S)$

De acordo com a complexidade da linguagem formal que se pretende especificar, quatro tipos de gramáticas podem ser utilizados, a Gramática Regular, a gramática Livre de Contexto, Gramática Sensível ao Contexto e Gramática Irrestrita, análogas à Hierarquia de Chomsky [10].

Analisando as Gramáticas Regulares, em particular, estas ainda podem se sub dividir em outros quatro subtipos Gramática Linear à Direita (GLD), Gramática Linear à Esquerda (GLE), Gramática Linear Unitária à Direita (GLUD) e Gramática Linear Unitária à Esquerda (GLUE) [9].

Entre as Gramáticas Unitárias (GLUD e GLUE), objeto de estudo deste trabalho, as regras de produção (P) devem ser do tipo:

$$\begin{array}{cc} \text{GLUD} & \text{GLUE} \\ P \rightarrow wA \text{ ou } P \rightarrow w & P \rightarrow Aw \text{ ou } P \rightarrow w \\ \text{onde :} & \\ A \in V & \\ w \in T & \\ |w| \leq 1 & \end{array}$$

A partir de uma gramática regular, pode ser gerado um Autômato Finito Determinístico (AFD) para a mesma linguagem, sendo que os autômatos são mecanismos reconhecedores de linguagens formais, sendo que a partir de um autômato para uma linguagem formal, é possível testar uma palavra w qualquer, e o autômato responderá se a palavra pertence ou não à linguagem associada a ele [9].

A representação matemática de um autômato é dada pelo alfabeto da linguagem (Σ), o conjunto de estados (E), o estado inicial (i), o conjunto de estados finais (F) e a função de transição ($\delta : E \times \Sigma \rightarrow E$) [11].

B. Jogos Educativos

Kessler et al. [12] ressaltam que jogos educativos proporcionam aprendizagem aliadas ao desenvolvimento de competências como raciocínio, estratégia e reflexão de forma lúdica, divertida e prazerosa.

Novak [13] destaca que jogos educativos também podem ser chamados de *Serious Games*, e são jogos que não foram criados para fins de entretenimento. Estes jogos podem ser utilizados para o treinamento dos jogadores em diversos contextos (como na área de negócios, medicina, na educação e pelo governo) para educar, informar, recrutar, persuadir ou comercializar.

Jogos que envolvem simulações estão sendo utilizados para treinar e recrutar pessoas por militares, instituições governamentais e também por empresas privadas, visando melhorar as habilidades de seus colaboradores [13].

Um exemplo de jogo que fez muito sucesso, é o *America's Army* [14], desenvolvido e disponibilizado pelo Exército dos EUA para atrair novos recrutas, abordando questões éticas, o código de conduta e expectativas profissionais do serviço militar. O jogo ainda apresenta uma representação precisa de hierarquia, missões, armamento, equipamento, uniformes, cenários, disciplina, táticas e procedimentos adotados no exército.

Jogos estão sendo considerados poderosos métodos instrucionais e acredita-se que resultem em uma ampla gama de benefícios, aumentando a efetividade do aprendizado, interesse, motivação e persistência. Podem promover “aprendizagem ativa” para alcançar um aprendizado profundo dentro de um tempo de aula e carga de instrução aceitável. E, devido a suas características inerentes, tais como competição, desafio e interação, eles podem tornar o aprendizado uma experiência engajante e lúdica [5].

No contexto da Ciência da Computação, existem diversos jogos educativos, porém a maioria tem foco no ensino de conceitos de Engenharia de *Software* [15], [16], Sistemas Operacionais [17], [18] e Redes de Computadores [19], [20].

A área de Linguagens Formais e Autômatos (LFA) apresenta alguns exemplos encontrados na literatura, como o Automata Defense [21], [22], o Montanha de Chomsky [23] e o Jogo das Senhas [24], [25].

O Automata Defense [21], [22] apresenta um jogo no estilo *Tower Defense*, no qual deve-se construir torres para impedir o progresso dos inimigos. No caso do Automata Defense, os inimigos são as palavras de uma linguagem formal, e as torres são criadas por meio da construção de Autômatos para as linguagens.

A Figura 1 apresenta a tela principal do jogo, na qual podem ser vistos as torres, os inimigos que entram por um lado da tela e cruzam rumo a saída. A Figura 1 ainda apresenta ao lado esquerdo o acesso à construção dos AFDs por meio de um editor gráfico, que mostra uma representação do diagrama de estados do autômato. O jogo também aborda o uso dos conceitos de Autômatos Finitos Não Determinísticos, e de Autômato com Pilha na construção das torres.

Já o Montanha de Chomsky [23] 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.

O professor pode acompanhar o progresso dos alunos que utilizem o Montanha de Chomsky por meio de um cadastro que é efetuado no próprio jogo, e coleta informações da resolução das atividades dos alunos para auxiliar nas correções.

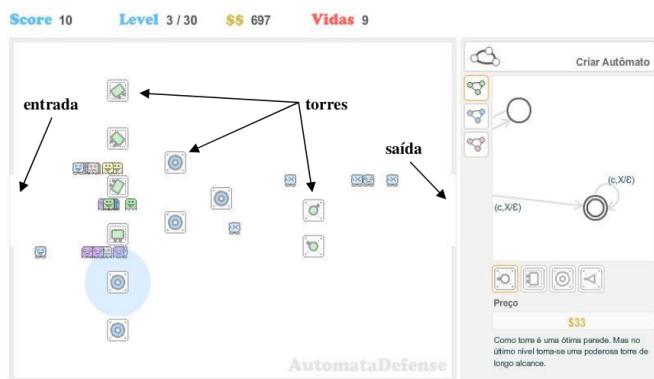


Fig. 1. Tela principal do Automata Defense [21]

No Jogo das Senhas [24], [25] o jogador é apresentado à representação gráfica de um autômato, e deve descobrir a sequência de palavras aceitas pelo autômato. O jogo apresenta um nível crescente de dificuldade, aumentando a complexidade das linguagens e o tamanho das palavras.

Os jogos descritos nesta seção apresentam uma interface lúdica aplicada aos conceitos de LFA, no entanto o jogador precisa conhecer os conceitos de autômatos previamente antes de jogar, o que difere do jogo proposto neste trabalho.

C. Métodos de Avaliação de Jogos Educativos

Existem diversos métodos de avaliação para determinar a eficácia de um jogo como ferramenta de aprendizado [26], [27], [7], [8], [28].

Oliveira et al. [29], por exemplo, apresentam um protocolo de avaliação sobre duas versões de um protótipo do mesmo jogo, realizando avaliações dos conhecimentos teóricos que envolvem o jogo antes e depois dos alunos jogarem.

O IAQJEd (Instrumento de Avaliação da Qualidade de Jogos Educacionais) [7] apresenta um modelo de avaliação no qual o jogo é avaliado de acordo com 18 questões divididas em três dimensões: usabilidade, experiência do usuário e princípios de aprendizagem.

A Dimensão 1 do IAQJEd [7] visa avaliar a usabilidade e o quanto o jogo é fácil de aprender, avaliando os tutoriais presentes e a jogabilidade do mesmo. As questões desta dimensão podem ser vistas a seguir:

- 1) O jogador pode compreender a jogabilidade a partir do modo como os botões são apresentados na tela (quando apresentados)?
- 2) Os tutoriais são eficazes em auxiliar o jogador a compreender a jogabilidade?
- 3) Os jogadores poderão atingir os objetivos educativos propostos (se declarados) durante a interação com o jogo uma vez que tenham aprendido sua jogabilidade?
- 4) A interação com o jogo permite a exploração da interface de forma segura, garantindo a execução de comandos como “salvar”, “sair” e voltar para a mesma fase do jogo do ponto onde parou?

- 5) Os desafios e informações do jogo possibilitam ao jogador interagir de modo a fazer o que precisa e deseja?
- 6) A sequência de desafios do jogo leva em conta o que o jogador já aprendeu sobre como jogar?

A Dimensão 2 do IAQJEd [7] avalia a Experiência do Usuário em promover uma experiência agradável por meio da narrativa e dos aspectos estéticos do jogo. As questões relacionadas à experiência do usuário podem ser vistas a seguir:

- 1) O conjunto de elementos estéticos do jogo (o som, a forma, o cenário, movimento, desenho) permite que o jogador explore sua potencialidade de forma agradável?
- 2) A interação com o jogo permite que o jogador se depare com um cenário atraente?
- 3) Ao interagir com o jogo, o jogador se depara com uma narrativa desafiadora?
- 4) A interação com o jogo permite ao jogador uma experiência divertida?
- 5) Ao interagir com o jogo, o jogador se depara com um conjunto de desafios que vão aumentando a sua complexidade de forma divertida e motivadora?
- 6) A interação com o jogo permite que o jogador se depare com um cenário envolvente?

Por fim, a Dimensão 3 do IAQJEd [7] avalia os Princípios de Aprendizagem e a compreensão do jogo e da aprendizagem dos conceitos que o jogo propõe. As questões propostas nessa dimensão são apresentadas a seguir.

- 1) Ao interagir com o jogo, o jogador é capaz de identificar espaços ou ambientes que refletem a realidade relacionada à temática proposta pelo jogo?
- 2) Ao interagir com o jogo, o jogador será capaz de explorar diferentes estratégias de aprendizagem de acordo com suas próprias experiências e, ao mesmo tempo, avaliar seu percurso a partir de um ciclo de aquisição de competências?
- 3) A interação com o jogo possibilita que os jogadores sejam colocados em situações que permitam projetar suas possíveis fantasias e desejos que se expressam no processo de jogabilidade?
- 4) O jogo permite que o jogador manipule seus personagens de forma estruturada e eficaz para que os objetivos do jogo sejam concretizados?
- 5) O jogo é intuitivo a ponto de permitir ao jogador explorar novas hipóteses enquanto joga, quando sua tentativa anterior não o permitiu passar de fase?
- 6) Os desafios propostos durante o jogo apresentam-se de forma estimulante, oferecendo *feedbacks* que apontam os caminhos para sua finalização?

Coutinho e Alves [7] destacam ainda que cada questão recebe uma nota de 0 a 5, e os valores somados das 18 questões geram uma nota de 0 a 90, que denota a qualidade geral do jogo para finalidade educativa, tal como descrito na Tabela I.

Campano Jr. et al. [8] apresentam uma relação entre os componentes dos jogos educacionais e as Teorias de Aprendizagem. Tomando como bases os componentes de narrativa

Tabela I
CLASSIFICAÇÃO DE UM JOGO EDUCATIVO CONFORME COUTINHO E ALVES [7]

Pontuação	Qualidade
1 a 18	inadequado
19 a 36	baixa qualidade
37 a 54	qualidade regular
55 a 72	boa qualidade
73 a 90	excelente qualidade

e imersão, interação social, *feedback*, desafios, pontuações e *status*, mecânica do jogo, e habilidades do jogador, os autores apresentam questões relacionadas à cada um destes componentes. Estas questões estão descritas na Tabela II.

III. LABIRINTO GRAMÁTICO: PROJETO E DESENVOLVIMENTO

Esta seção descreve o *Game Concept* do jogo, incluindo uma descrição sucinta, a premissa, a motivação do jogador, o público alvo e gênero e as dinâmicas do jogo.

A. *Game Concept*

O jogo se passa em um labirinto que possui portas mágicas, o jogador, um estudante de magia, deve abrir as portas através de feitiços e continuar até o fundo do labirinto como parte de um teste para se tornar um mago. Os conceitos do jogo são descritos a seguir, de acordo com a classificação de Novak [13].

B. *Descrição Sucinta do Jogo*

O jogador começa dentro de um labirinto, com uma visão *top-down* do ambiente, e à sua frente existe uma porta bloqueando o caminho. É feita uma analogia entre as portas e as linguagens para as quais o jogador deve desenvolver uma gramática geradora (GLUE ou GLUD), e uma analogia entre as gramáticas e feitiços que devem ser escritos em um pergaminho para abrir as portas; os terminais são chamados de símbolos mágicos.

Ao se aproximar da porta, o jogo entra no modo de interação com a porta, e o jogador deve construir um feitiço (gramática) que deve liberar a porta.

O jogo possui dois níveis, cada um deles composto por cinco fases (as portas). Ao abrir uma porta, o jogador obtém um número de estrelas (de 1 a 5), sendo que cada erro na hora de tentar abrir a porta diminui uma estrela, com o mínimo sendo uma, assim, ao completar o nível o jogador terá entre 5 e 25 estrelas. Caso o jogador tenha 19 ou mais estrelas, ao passar de nível ele entra em um nível bônus (disponível apenas ao completar o nível 1), onde ele se depara com outras quatro fases extras, duas de cada lado em um nível simétrico, neste nível, as portas bloqueiam o caminho com um baú que contém uma *skin* (aparência) que o jogador poderá trocar a qualquer momento que desejar, como a fase é bônus, o jogador pode passar direto sem abrir nenhuma porta.

C. *Premissa e Motivação do Jogador*

O jogador controla um estudante de magia realizando um teste para se tornar um mago, suas habilidades serão postas à prova ao se deparar com portas mágicas, e só poderá continuar pelo labirinto utilizando sua habilidade de escrever feitiços, sendo assim capaz de quebrar essas portas.

O jogador se depara com desafios em uma narrativa chamativa de magia e misticismo, ao mesmo tempo que resolve exercícios na área de gramáticas regulares. Assim, o jogo pode proporcionar ao jogador uma alternativa lúdica na hora de resolver exercícios para melhorar a capacidade de escrever esse tipo de gramática.

D. *Público alvo e gênero*

Como o assunto abordado é a escrita de gramáticas regulares, o jogo tem como alvo professores (como ferramenta de apoio para auxiliar nas aulas) e os alunos de cursos na área da computação, que tenham visto, estejam vendo ou que tenham interesse no assunto e se dediquem para poder compreender e se desenvolver a partir do tutorial. O jogo inclui um referencial teórico que pode ser acessado pressionando uma tecla, assim pode servir de apoio até para alunos que eventualmente ainda não tenham cursado a disciplina.

O jogo se enquadra no gênero de quebra-cabeça, onde o jogador deve resolver as gramáticas associadas as portas para continuar progredindo, com um desafio mais difícil a cada novo nível do labirinto que ele alcança.

E. *Dinâmicas do Jogo*

O jogador inicia o jogo em um labirinto, este labirinto possui caminhos bloqueados por portas, e à cada porta está associada uma linguagem. Para abrir a porta e poder continuar o caminho pelo labirinto, o jogador de usar um pergaminho para escrever uma gramática que gere a linguagem descrita na porta. Caso a gramática esteja correta, a porta será eliminada do labirinto, e o caminho fica livre.

Para garantir que o jogador passe por determinadas portas do labirinto (pode haver portas não obrigatórias para completar o nível, sendo deixadas como exercício extra caso o jogador queira praticar), o jogador precisa coletar os terminais que fazem parte da linguagem da porta ao longo do labirinto, começando o jogo apenas com os terminais necessários para completar as primeiras portas.

Para abrir uma porta, o jogo entra em um modo em que é exibida a porta com uma linguagem inscrita (caso seja uma linguagem finita, são mostradas as palavras da linguagem, caso contrário, uma expressão representando a linguagem, e algumas palavras de exemplo), e um pergaminho ao lado, o jogador então deve escrever uma gramática que gere a linguagem associada à porta selecionando runas (variáveis) e elementos (terminais) presentes em seu inventário.

Foi feita uma analogia na qual as variáveis e terminais comumente representados por letras maiúsculas e minúsculas, respectivamente, são substituídos por runas e símbolos dos elementos alquímicos (usados para representar elementos como fogo, ar, ouro e etc.). Assim, a ideia é que ao usar símbolos

Tabela II
 QUESTÕES DE AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DOS JOGOS EDUCATIVOS PROPOSTAS POR CAMPANO JR. ET AL. [8]

Narrativa/Imersão	Aconteceu alguma situação durante o jogo que me fez relacionar um conteúdo visto anteriormente com algo novo? A história do jogo fez com que o aprendizado se tornasse mais fácil e prazeroso?
Interação Social	Durante o jogo, alguma ajuda de outros alunos e/ou professor possibilitou compreender melhor os conceitos do jogo?
Feedback	O jogo oferece <i>feedback</i> para as ações corretas e incorretas estimulando o aprendizado? Os <i>feedbacks</i> do jogo auxiliam no processo de aprendizagem dos conceitos?
Desafios	As dificuldades e desafios do jogo proporcionam uma análise crítica e construtiva sobre os conceitos apresentados? Os obstáculos e dificuldades presentes no jogo permitem um maior engajamento para a resolução do problema e conseqüentemente um maior aprendizado dos conceitos? Os desafios do jogo incentivam a resolução dos problemas no jogo e favorecem o aprendizado?
Pontuações e <i>status</i>	O jogador percebe um aprendizado maior sobre os conceitos quando passa de nível e recebe um novo <i>status</i> no jogo? A mudança de <i>status</i> no jogo representa um aumento no conhecimento adquirido? As mudanças de <i>status</i> e o sistema de pontuação do jogo incitam a busca por aprendizado cada vez maior?
Mecânica do jogo	As movimentações no jogo permitiram uma liberdade na busca do aprendizado no jogo e na resolução das tarefas?
Habilidade do jogador	O aluno conseguiu evoluir suas habilidades no jogo conforme adquire os conhecimentos relacionados ao jogo?

diferentes dos comuns, como por exemplo trocando laranjas por maçãs, o aluno tenha um ponto de vista diferente sobre o assunto, facilitando ver a teoria além da representação mais comumente utilizada.

Para incentivar o jogador a ir um pouco além, caso ele consiga 19 ou mais estrelas ao passar de nível, ele entrará em um nível bônus (disponível apenas para o nível 1) onde ele poderá conseguir duas *skins* a mais.

O jogo contará com diversos níveis de dificuldade incremental e cada nível será composto por diversas fases, no jogo, representadas por portas mágicas, sendo que cada porta está associada à uma linguagem para a qual deve ser escrita uma gramática.

IV. O JOGO

O jogo pode ser acessado de forma gratuita por meio do seguinte endereço: Labirinto Gramágico

Ao iniciar o jogo, na tela de título, o jogador tem a opção de ver um tutorial, que mostra o passo a passo de como abrir a primeira porta do nível 1. Quando o jogador escolhe jogar, começa o jogo e o jogador se encontra em um labirinto, como é mostrado na Figura 2. Nesse labirinto o jogador pode se mover pelos corredores usando as setas direcionais do teclado, consultar o referencial teórico utilizando a tecla “H”, ou dar um *zoom out* e ver o labirinto como um todo pressionando a tecla “espaço”.

Ao se aproximar da primeira porta, o jogador se depara com um modo de jogo diferente, tal como mostra a Figura 3. Neste modo, as palavras que fazem parte da linguagem são mostradas

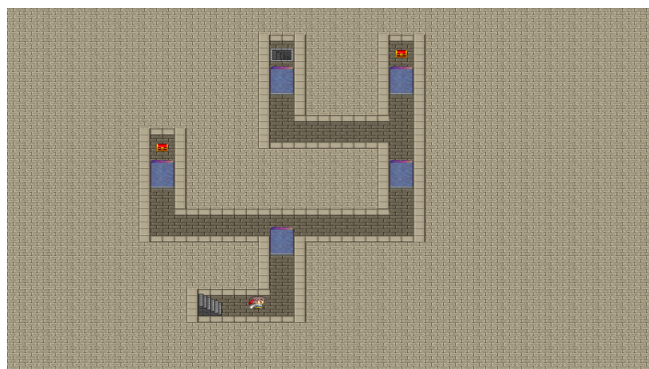


Fig. 2. Labirinto nível 1

à direita e o jogador deve então escrever no pergaminho uma gramática que gere as palavras desta linguagem.

Ao criar a gramática e selecionar “Recitar”, caso a gramática esteja correta, a porta se abrirá e o jogador poderá seguir para as próximas portas. Para validar que a gramática criada pelo jogador é a que gramática desejada, ela é convertida para Autômato Finito Determinístico (AFD), e comparada com o AFD da gramática correta. Caso os AFDs sejam equivalentes a resposta estará correta, caso contrário não estará.

Quando o jogador acerta a resposta, ele obtém um número de estrelas com base no número de tentativas (uma tentativa = 5 estrelas, quatro ou mais tentativas = 1 estrela), tal como mostra a Figura 4.

Como forma de motivar os jogadores, um nível bônus é

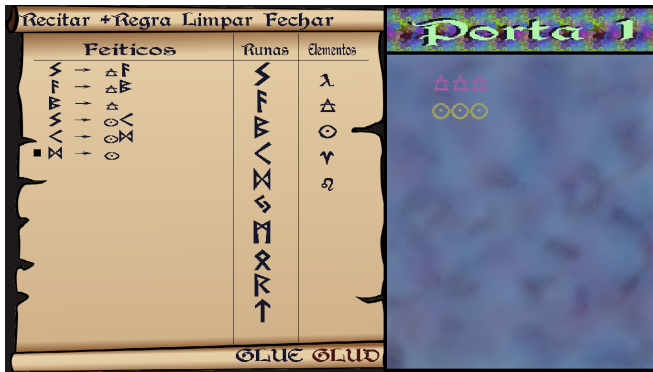


Fig. 3. Escrevendo um feitiço (gramática) no pergaminho



Fig. 6. Personalização do personagem com as skins obtidas no nível bônus

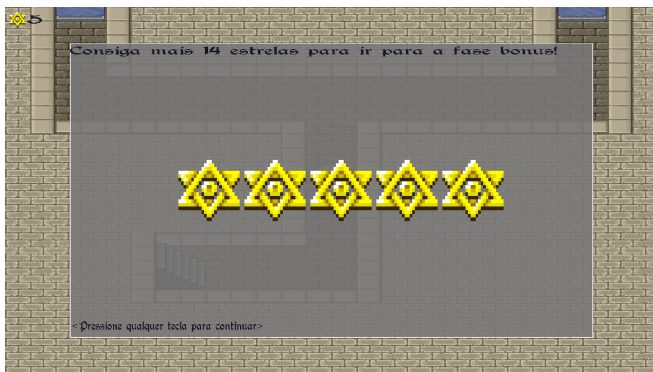


Fig. 4. Feedback indicativo de acerto na construção do feitiço

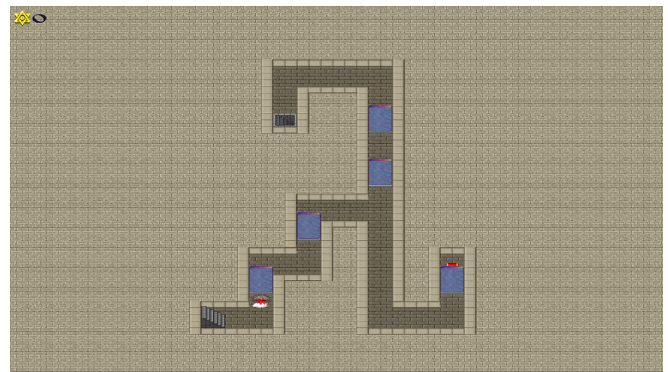


Fig. 7. Labirinto nível 2

disponibilizado para os jogadores que conseguirem obter 19 estrelas no nível. O labirinto deste nível bônus pode ser visto na Figura 5, e o sucesso neste nível bônus permite ao jogador personalizar o seu personagem com skins extras. Cada skin permite ao jogador personalizar o seu personagem com quatro variações de cores, conforme Figura 6.

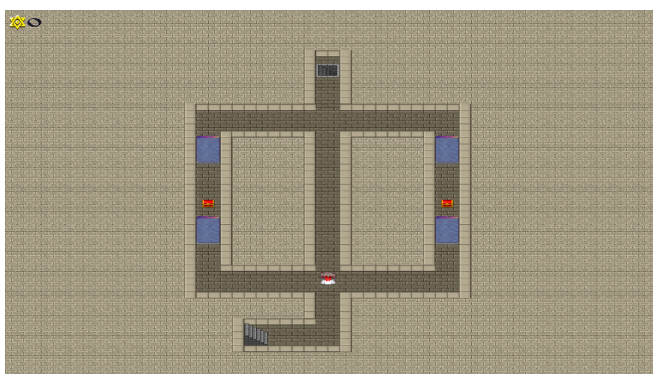


Fig. 5. Labirinto bônus do nível 1

O nível 2, visualizado na Figura 7, aumenta o nível de dificuldade das linguagens, trabalhando com linguagens infinitas. Para representar essas linguagens não bastam as palavras de exemplo, e é necessário mostrar a linguagem na forma de uma expressão regular, conforme visto na Figura 8. A expressão



Fig. 8. Para descrever a linguagem infinita, na parte de baixo da porta é exibida em forma de expressão regular

V. AVALIAÇÃO DO JOGO E RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados da avaliação dos alunos pelo IAQJED e pelo Guia de Avaliação dos componentes.

A. IAQJEd

Nesta seção o jogo é avaliado de acordo com o IAQJEd, o questionário foi aplicado a 49 alunos de turmas relacionadas à informática, sendo que em uma delas os alunos já tinham tido contato com a disciplina de LFA e os conceitos de gramáticas, e na outra não.

Assim, serão apresentadas as médias das respostas dos 49 alunos para cada uma das perguntas, em cada uma das dimensões, sendo feita uma análise geral sobre a dimensão e então sobre os possíveis motivos que levaram as notas particulares de cada questão.

Por fim, é apresentado um resumo geral sobre os resultados de cada dimensão, e a classificação geral do jogo de acordo com o IAQJEd [7].

1) *Dimensão 1 - Avaliação da Usabilidade:* Com base nas questões da dimensão 1 apresentadas na seção II-C, as médias de cada questão podem ser vistas na Tabela III.

Tabela III

MÉDIA DAS QUESTÕES DA AVALIAÇÃO DA USABILIDADE DO IAQJED [7]

Questão	1	2	3	4	5	6	Total
Média	3,86	3,73	4,14	3,47	3,96	4,20	23,36

Com uma soma das pontuações médias totalizando 23,36, podemos ver que o jogo é de boa qualidade na dimensão de usabilidade. Esta categoria indica se o jogo é fácil de aprender, e ao mesmo tempo desafiador. Também analisa questões da interface, como o tutorial, os botões, menus, e demais componentes do sistema.

Fazendo uma análise mais detalhada sobre as notas individuais que levaram à esta pontuação, podemos perceber que há uma discrepância de quase 1 ponto entre a nota mais baixa (questão 4) e a mais alta (questão 6).

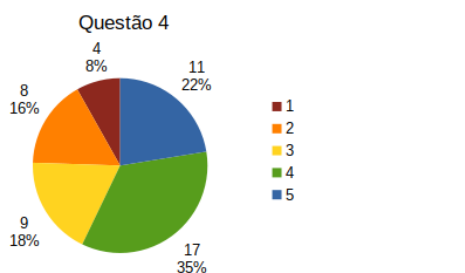


Fig. 9. Gráfico com as notas individuais da questão 4 da dimensão da usabilidade do IAQJEd [7]

De fato, tomando os comandos de salvar e voltar ao mesmo nível da questão como exemplo, esta característica não foi implementada no jogo, uma vez que o jogo é muito curto, por volta de uma hora de jogo, a depender da habilidade do jogador. Isto deve justificar a nota relativamente baixa da questão, porém não anula o jogo como “não se aplica”, pois os demais elementos da interface, não apresentam falhas fatais que possam fazer com que o jogador perca progresso sem que ele explicitamente queira sair do jogo.

O jogo permite que a interface seja “explorada de forma segura”, no entanto uma implementação futura é o uso de *checkpoints* no qual o usuário pode salvar o jogo em determinados pontos, e retornar à ele quando quiser.

Ainda assim, conforme Figura 9, 42% dos avaliadores se mostraram pelo menos moderadamente incomodados com a falta desta funcionalidade, sendo assim, esse é um aspecto que a ser corrigido em uma próxima versão do jogo, especialmente se o número de níveis for aumentado.

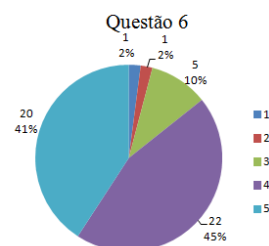


Fig. 10. Gráfico com as notas individuais da questão 6 da dimensão de usabilidade do IAQJEd [7]

Analisando a pontuação da questão com a maior média, a questão 6, podemos perceber na Figura 10 que 86% dos avaliadores consideraram o marcador com frequência alta, indicando que a progressão do jogo, é feita de forma adequada.

Embora a nota alta não indique que melhorias não precisam ser feitas na progressão do jogo, uma sugestão de um dos avaliadores é a integração do tutorial conforme o jogo avança, evidenciando também a nota da questão 2 que trata da eficácia dos tutoriais.

Ainda assim, parece que o aumento de dificuldade foi satisfatório, sendo que o jogo começa com linguagens finitas simples, podendo ser estas reforçadas com o nível bônus, e então no nível 2 são introduzidas as linguagens infinitas.

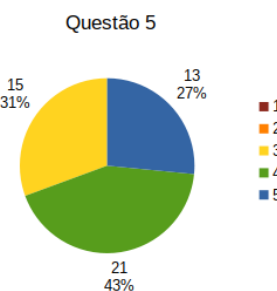


Fig. 11. Gráfico com as notas individuais da questão 5 da dimensão da usabilidade do IAQJEd [7]

Outro ponto interessante que podemos ver na Figura 11 é que não houve resultados abaixo de moderados para a questão 5. Isto mostra que de modo geral, o jogo não fica no caminho do jogador, permitindo que o mesmo jogue no seu ritmo. O referencial teórico pode ter contribuído neste quesito, possibilitando uma acessibilidade a jogadores, mesmo sem ter tido um contato formal com a disciplina ainda.

É importante salientar também a pontuação da questão 3, a segunda mais alta com 4, 14, que demonstra que o jogo permite que haja um aprendizado uma vez que possíveis desafios de jogabilidade forem superados e o jogador tenha entendido o funcionamento do jogo.

Analisando a dimensão da usabilidade de modo geral, com base nas pontuações nas questões 1, 2 e 4, a interface com o usuário definitivamente precisa de melhorias. Isto poderia ser em parte resolvido implementando as sugestões obtidas no questionário e a partir da análise das notas mais baixas. Com um ciclo de revisões com os usuários estes problemas podem ser resolvidos, no entanto acabaram ficando para trabalhos futuros.

2) *Dimensão 2 - Avaliação da Experiência do Usuário:* A Tabela IV apresenta os resultados das questões da dimensão 2 relacionada a experiência do usuário.

Tabela IV
MÉDIA DAS QUESTÕES DA AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO DO IAQJED [7]

Questão	1	2	3	4	5	6	Total
Média	3,76	4,06	3,84	3,88	3,94	3,80	23,26

Analisando a tabela, podemos perceber que não houve grande variação entre as notas das questões, sendo a nota mais baixa para a questão 1, que fala sobre os elementos estéticos do jogo, incluindo o som. A arte do jogo foi obtida de forma gratuita em um *website* que permite que criadores de conteúdo disponibilizem suas criação de forma paga ou gratuitamente.

Assim, foi utilizado um pacote gratuito com conteúdo de boa qualidade, no entanto este pacote não supriu todas as necessidades do projeto. Portanto, alguns elementos (portas e fontes) foram desenvolvidos de forma individual, o que resultou em diferença de qualidade em relação aos demais elementos.

Outra deficiência destacada com a questão 1 foi o som, também sugerida pelos avaliadores. No entanto devido aos prazos de desenvolvimentos do trabalho, o áudio foi inserido como recurso para o segundo plano e para próximas versões do jogo.

Analisando as demais questões, percebe-se que houve uma boa aceitação geral do cenário proposto, como pode ser visto na Figura 12. As questões 4 e 5 são as únicas desta dimensão que tiveram a atribuição de nota um por algum avaliador, e a quantidade de notas dois também foi pequena nesta dimensão. Analisando ainda as notas três, somente as questões 3 e 6 foram significativas, corroborando o fato da narrativa poderia ser melhor trabalhada, bem como a inserção do som para melhorar estes quesitos de avaliação.

3) *Dimensão 3 - Avaliação dos Princípios de aprendizagem:* Agora as questões do IAQJED na dimensão dos princípios de aprendizagem são revisitadas junto com a nota média obtida dos avaliadores.

Essa foi a dimensão que obteve a pontuação geral mais baixa. Podemos ver na Tabela V que nenhuma nota chegou a média 4, e a questão 3, que trata sobre a capacidade dos

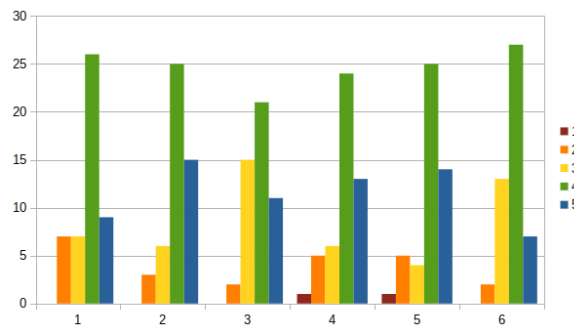


Fig. 12. Visão geral das notas da dimensão da experiência do usuário do IAQJED [7]

Tabela V
MÉDIA DAS QUESTÕES DA AVALIAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE APRENDIZAGEM DO IAQJED [7]

Questão	1	2	3	4	5	6	Total
Média	3,82	3,71	3,20	3,88	3,73	3,71	22,06

jogadores de projetar suas fantasias e desejos no jogo, obteve média 3,20. Isso pode ser um reflexo da baixa profundidade na narrativa do jogo.

Como vemos no gráfico da Figura 13 de fato houve um consenso de insatisfação entre os jogadores, com 57% deles pontuando uma nota de moderada a ruim. Apenas as questões 1 e 4 ficaram com médias próximas às das questões das outras dimensões, mostrando que no que se refere a interface, o jogador é capaz de lidar com o ambiente proposto pelo jogo.

As questões 2 e 5, como vemos na Figura 14, ficaram com uma média entre 3,71 e 3,73. Nestas questões, percebe-se que foi moderada a experiência do jogador quanto à capacidade de superar os desafios propostos, indicando talvez a necessidade de uma progressão de dificuldade mais suave do que foi apresentado.

Como foi uma sugestão de um avaliador, seria possível oferecer um nível de dificuldade por personagem, de forma que ele possa escolher o nível médio dos desafios apresentados, e então quando tiver melhorado, jogar novamente em um nível de dificuldade maior para por suas habilidades adquiridas à prova.

Levando em conta que esta foi a dimensão com a nota mais baixa, os trabalhos futuros poderiam dar mais ênfase à essa dimensão, bem como na melhoria da narrativa, que foi um impacto negativo tanto nesta quanto na primeira dimensão.

4) *Resumo Geral da avaliação do IAQJED:* Por fim, a Tabela VI apresenta a pontuação por dimensão e a pontuação total, o que nos permite fazer a classificação do jogo segundo Coutinho e Alves [7].

Com base em Coutinho e Alves [7] e nas Tabelas I e VI, o jogo foi classificado como “de boa qualidade para finalidade educativa (de 55 a 72 pontos)”.

Individualmente as notas das três dimensões foram bastante próximas, apenas a dimensão 3 ficando com uma pontuação

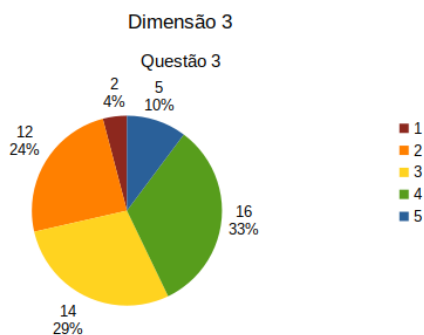


Fig. 13. Resultados da avaliação da Questão 3 da dimensão de princípios de aprendizagem do IAQJEd [7]

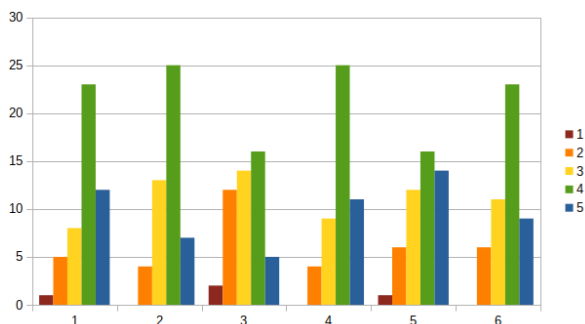


Fig. 14. Visão geral das notas da dimensão dos princípios de aprendizagem do IAQJEd [7]

Tabela VI
RESULTADO POR DIMENSÃO E TOTAL

Dimensão 1	Dimensão 2	Dimensão 3	Total
23,36	23,26	22,06	68,68

um pouco inferior. Através das pontuações do IAQJEd [7], podemos ter uma visão do que pode ser melhorado para que o jogo possa proporcionar uma experiência significativa de aprendizagem aliado à diversão.

B. Guia de Avaliação dos Componentes

No questionário também foram aplicadas as questões da Tabela II sobre a avaliação dos componentes pedagógicos do jogo proposta por Campano Jr. et al. [8]. A Tabela VII apresenta as pontuações médias obtidas em cada um dos componentes avaliados.

Analisando a Tabela VII em mais detalhes, podemos perceber que as pontuações para narrativa, interação social e feedback ficaram relativamente baixas, o que também foi observado nos resultados com o IAQJEd. Como o componente narrativa e imersão são avaliados com duas questões, as respostas para cada questão podem ser vistas na Figura 15.

A baixa pontuação na questão 2 reforça a questão da necessidade de melhorias na história do jogo, talvez a inserção de personagens com diálogos interessantes, e a inclusão de

Tabela VII
RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DOS COMPONENTES DOS JOGOS PROPOSTA POR CAMPANO JR. ET AL. [8]

Componente	Nota média
Narrativa/Imersão	3,36
Interação Social	3,39
Feedback	3,49
Desafios	3,70
Pontuações e Status	3,79
Mecânica do Jogo	3,65
Habilidade do Jogador	3,75
Classificação Geral	3,67

uma música de fundo baseada na temática fossem interessantes para mitigar o problema.

A discrepância na questão 1, com um número similar de respostas com valor 5 (nove respostas) e com valor 1 ou 2 (onze respostas), a princípio pode estar relacionada com o fato de uma das turmas já ter cursado a disciplina enquanto a outra não.

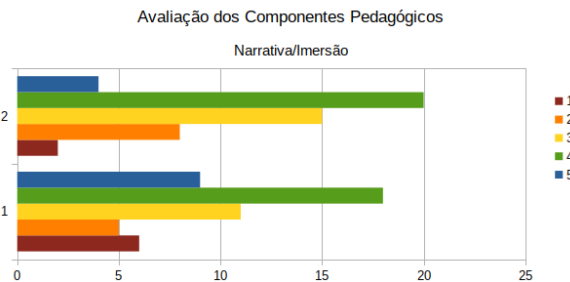


Fig. 15. Resultado individual das questões envolvendo a narrativa e imersão propostas por Campano Jr. et al. [8]

Na questão relacionada a interação social, podemos ver que a nota também foi baixa (3,39). De fato, o jogo é *single-player* (um único jogador), e não houve estímulo à competitividade entre os alunos, o que poderia ter criado uma oportunidade de interação entre eles. A inclusão de uma pontuação global, gravada ao completar cada fase, seria uma ideia para tratar este assunto.

Outro componente que ficou com nota relativamente baixa foi o *Feedback*. Uma das ideias de melhoria para a questão do *feedback* é analisar a gramática feita pelo jogador e informar quais foram as palavras que não foram geradas mas deveriam ser, e as que foram geradas mas não deveriam ser geradas. Isto poderia ajudar o jogador a encontrar o erro que cometeu ao gerar os feitiços.

Embora obtendo uma nota na média, na avaliação dos desafios do jogo houve uma discrepância em suas pontuações, como podemos ver na Figura 16. A questão 3 (Os desafios do jogo incentivam a resolução dos problemas no jogo e favorecem o aprendizado?) ficou com uma nota boa, porém a questão 1 (As dificuldades e desafios do jogo proporcionam uma análise crítica e construtiva sobre os conceitos apresentados?) ficou com uma alta quantidade de notas moderadas (3

pontos).

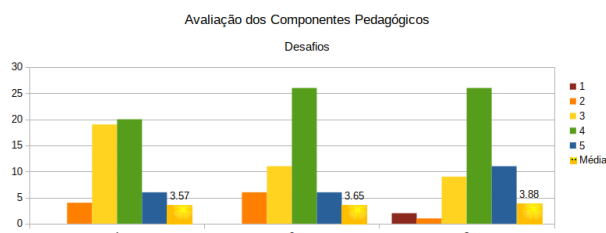


Fig. 16. Resultado individual das questões envolvendo os desafios propostas por Campano Jr. et al. [8]

Os demais componentes ficaram com notas médias, sem variação significativa nas perguntas individuais. Isso mostra que embora haja um certo balanço de qualidade nesses outros aspectos do jogo, ainda há espaço para melhoria do jogo de forma em geral.

A partir desta avaliação, temos uma boa noção dos elementos que foram bem sucedidos no jogo, e os que não foram muito bem recebidos, ou que ficaram em falta. Com isso, os trabalhos futuros podem ser focados em componentes específicos do jogo.

VI. CONCLUSÃO

Labirinto Gramágico é um jogo educativo que visa ensinar os conceitos de Gramáticas Regulares, em especial as Gramáticas Unitárias à Direita e à Esquerda (GLUD e GLUE).

O jogo é ambientado em um cenário mágico, na qual é preciso criar feitiços que liberam as portas de um labirinto. O jogo foi testado com turmas de Engenharia de Software baseado nos modelos de avaliação apresentados nos trabalhos de Coutinho e Alves [7] e Campano Jr. et al. [8], e seus resultados foram satisfatórios.

Trabalhos futuros envolvem diversas melhorias citadas na seção V, e sugeridas pelos avaliadores, que devem focar em componentes específicos do jogo. Além disso, pretendemos validar o jogo realizando novos testes utilizando outros métodos, tal como o descrito por Oliveira et al. [29].

REFERÊNCIAS

- [1] J. Fraillon, J. Ainley, W. Schulz, T. Friedman, and E. Gebhardt, *Preparing for life in a digital age: The IEA International Computer and Information Literacy Study international report*. Springer Nature, 2014.
- [2] J. Fromme, "Computer games as a part of children's culture," *Game studies*, vol. 3, no. 1, pp. 49–62, 2003.
- [3] J. C. L. Fernandes, "Educação digital: Utilização dos jogos de computador como ferramenta de auxílio à aprendizagem," *FaSci-Tech*, vol. 1, no. 3, 2016.
- [4] P. Battistella, C. von Wangenheim, and J. M. Fernandes, "Como jogos educacionais são desenvolvidos? uma revisão sistemática da literatura," in *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*, (Porto Alegre, RS, Brasil), pp. 159–168, SBC, 2014.
- [5] P. E. Battistella and C. G. von Wangenheim, "Games for teaching computing in higher education – a systematic review," in *IEEE Technology and Engineering Education*, vol. 1, pp. 8–30, 2016.
- [6] J. Neto and R. Terra, "Lfapp: Um aplicativo móvel para o ensino de linguagens formais e autômatos," in *Anais do XXIV Workshop sobre Educação em Computação*, (Porto Alegre, RS, Brasil), pp. 201–210, SBC, 2016.
- [7] I. de Jesus Coutinho and L. Alves, "Avaliação de jogos digitais com finalidade educativa: contribuição aos professores," *HIPERTEXTUS*, vol. Volume 15, 10 2016.
- [8] M. M. Campano Junior, H. C. de Souza, and A. S. Felinto, "Avaliação pedagógica com base na união dos componentes dos jogos educacionais e das teorias de aprendizagem," in *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Games - SBGames - Education Track*, pp. 551–558, SBC, 2020.
- [9] N. Vieira, *Introdução aos fundamentos da computação: linguagens e máquinas*. Pioneira Thomson Learning, 2006.
- [10] G. Jäger and J. Rogers, "Formal language theory: refining the chomsky hierarchy," *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 367, no. 1598, pp. 1956–1970, 2012.
- [11] M. Sipser, *Introdução à Teoria da Computação - 2a edição norte americana*. Cengage Learning Edições Ltda., 2010.
- [12] M. C. Kessler, C. G. de Paula, M. H. Albé, N. Manzini, C. Barcellos, R. Carlson, D. Marcon, and C. Kehl, "Impulsionando a aprendizagem na universidade por meio de jogos educativos digitais," 2010.
- [13] J. Novak, *Desenvolvimento De Games*. Cengage do Brasil, 2010.
- [14] D. B. Nieborg, "America's army: more than a game?," 2004.
- [15] F. C. D. Carneiro, "Pm in board: um jogo de tabuleiro para auxiliar no ensino de gerenciamento de projetos de software," *Anais do XVIII SBGames, Rio de Janeiro, RJ*, pp. 1056–1065, 2019.
- [16] A. P. Santos and P. M. Jucá, "Risk planning: Um jogo educativo para auxiliar no ensino de gerenciamento de riscos em projetos de software," *Anais do XVIII SBGames, Rio de Janeiro, RJ*, pp. 1076–1085, 2019.
- [17] R. T. Figueiredo, V. M. L. dos Santos, and J. L. C. Ramos, "Speed schedule-jogo para auxílio no estudo das políticas de escalonamento em sistemas operacionais," *Informática na educação: teoria & prática*, vol. 23, no. 1 Jan/Abr, 2020.
- [18] M. dos Santos Luccas, L. T. Pereira, J. C. Estrella, and K. R. L. J. C. Branco, "Uma abordagem fazendo uso de serious games para ensino de sistemas operacionais," pp. 814–817, 2020.
- [19] J. C. Ramos, "Uma proposta de jogo de tabuleiro para auxiliar o ensino da disciplina de redes de computadores," Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.
- [20] A. E. D. Santos, T. R. da Silva, F. G. dos Santos, F. F. de Almeida, J. R. Valério, and E. H. da Silva Aranha, "Ensino de redes de computadores mediado por tecnologias educacionais: um mapeamento sistemático da literatura," *RENOTE*, vol. 18, no. 1, 2020.
- [21] R. L. Binsfeld, R. Watanabe, R. C. Silva, and I. M. Carelli, "Alunos como designers: relato de experiência para aprendizagem de linguagens formais e autômatos," in *VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*.
- [22] R. C. Silva, R. L. Binsfeld, I. M. Carelli, and R. Watanabe, "Automata defense 2.0: reedição de um jogo educacional para apoio em linguagens formais e autômatos," in *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, vol. 1, 2010.
- [23] L. S. Leite, M. A. A. Sibaldo, T. B. A. d. Carvalho, and R. d. Souza, "Montanha de chomsky: jogo tutor para auxílio no ensino de teoria da computação," in *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*, pp. 1364–1373, 2014.
- [24] M. Vieira and V. Sarinho, "Automatamind: A serious game proposal for the automata theory learning," in *IFIP International Federation for Information Processing*, pp. 452–455, 11 2019.
- [25] M. Vieira and V. Sarinho, "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*, (Porto Alegre, RS, Brasil), pp. 54–59, SBC, 2019.
- [26] M. T. Abdul Ghani, M. Hamzah, S. Ramli, W. wan daud, and T. R. Md. Romli, "A questionnaire-based approach on technology acceptance model for mobile digital game-based learning," *Journal of Global Business and Social Entrepreneurship*, vol. 5, pp. 11–21, 03 2019.
- [27] G. Petri, C. G. von Wangenheim, and A. F. Borgatto, "Meega+: Um modelo para a avaliação de jogos educacionais para o ensino de computação," 2019.
- [28] P. Sweetser and P. Wyeth, "Gameflow: A model for evaluating player enjoyment in games," *Comput. Entertain.*, vol. 3, p. 3, July 2005.
- [29] R. de Oliveira, R. Rocha, G. Belarmino, D. Goya, M. L. Fernández Venero, A. P. Oliveira Júnior, and C. Rodriguez, "Avaliações em jogos educacionais: instrumentos de avaliação da reação, aprendizagem e comparação de jogos," in *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, vol. 30, 11 2019.