

# Formigas em grafo: Uma proposta de jogos digital e de tabuleiro para o ensino de algoritmos em grafos

Adriel Vieira Santos  
 Instituto Federal de Educação,  
 Ciência e Tecnologia do Ceará  
 (IFCE)  
 Campus Crato  
 Ceará, Brasil  
 adriel.klt@gmail.com

Andressa Bezerra Ferreira  
 Instituto Federal de Educação,  
 Ciência e Tecnologia do Ceará  
 (IFCE)  
 Campus Crato  
 Ceará, Brasil  
 andressa.ferreira@ifce.edu.br

## ABSTRACT

Graphs are combinatorial structures used to solve various problems in science. Therefore, it is a tool presented in several undergraduate courses, with the aim of enabling students to solve practical problems. As it is an abstract structure, learning graph theory and understanding its algorithms is complex. In addition to this characteristic, other factors such as the lack of teaching methodology, the belief that the discipline is difficult, the traditional teaching process, the lack of integration between the disciplines and the relationship between student and teacher, can end up hindering student learning. . Therefore, this work aims to present the digital version and the board version of the game Formigas em Grafo. The objective of the game is to facilitate the understanding of the behavior of search algorithms in depth and breadth, through practice in a concrete environment. According to the PAJED (Educational Digital Games Evaluation Program), the digital game developed had a learning potential equivalent to 92, being considered by the method an application with a “Very High Learning Potential”. The board version, in turn, has not yet been evaluated.

## Keywords

Search in width; Depth Search; Dijkstra's Algorithm; Graphs; Educational Game

## RESUMO

Os grafos são estruturas combinatórias utilizadas para resolver diversos problemas nas ciências. Por isso, é uma ferramenta apresentada em diversos cursos de graduação, com o intuito de capacitar os estudantes na resolução de problemas práticos. Por se tratar de uma estrutura abstrata, a aprendizagem da teoria de grafos e o entendimento de seus algoritmos é algo complexo. Além dessa característica, outros fatores como a falta de metodologia de ensino, a crença que a disciplina é difícil, o processo tradicional de ensino, a falta de integração entre as disciplinas e o relacionamento entre aluno e professor, pode acabar dificultando o aprendizado dos discentes. Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar a versão digital e a versão em tabuleiro do jogo Formigas em Grafo. O objetivo do jogo é facilitar o entendimento do comportamento dos algoritmos de busca em profundidade e largura, por meio da prática em um ambiente concreto. De acordo com o PAJED (Programa de Avaliação de Jogos Digitais Educacionais), o jogo digital

desenvolvido obteve um potencial de aprendizado equivalente a 92, sendo considerado pelo método, uma aplicação com um “Potencial de Aprendizado Muito Alto”. A versão em tabuleiro, por sua vez, ainda não foi avaliada.

## Palavras-chave

Busca em Largura; Busca em Profundidade; Algoritmo de Dijkstra; Grafos; Jogo Educacional

## CCS Concepts

• Information systems→Database management system engines • Computing methodologies→Massively parallel and high-performance simulations. This is just an example, please use the correct category and subject descriptors for your submission. The ACM Computing Classification Scheme:

<http://www.acm.org/about/class/class/2012>. Please read the [HOW TO CLASSIFY WORKS USING ACM'S COMPUTING CLASSIFICATION SYSTEM](#) for instructions on how to classify your document using the 2012 ACM Computing Classification System and insert the index terms into your Microsoft Word source file.

## 1. INTRODUÇÃO

Os grafos são estruturas combinatórias utilizadas para resolver diversos problemas nas ciências, sendo portanto, uma ferramenta apresentada em cursos de graduação com o intuito de capacitar os estudantes na resolução de problemas práticos. Essas estruturas são utilizadas quando é necessário considerar um conjunto de objetos e as relações entre pares desses objetos. Exemplos clássicos da sua utilização estão relacionados aos problemas de locomoção. Segundo Figueiredo e Figueiredo (2011) que cita Szwarcfiter (1984), a teoria dos grafos tem início em 1736, quando o matemático Leonard Euler enfrentou o problema das pontes da cidade de Königsberg. O objetivo era descobrir se era possível atravessar todas as sete pontes da cidade sem repeti-las. Euler provou matematicamente que tal ação não era possível.

Como essas estruturas são modelos abstratos, apresentá-las e compreendê-las pode se tornar algo complexo. Várias questões contribuem para dificultar o processo como, por exemplo, os fatores citados por Santos et al (2008), como a falta de metodologia de ensino, a crença que a disciplina é difícil, o

processo tradicional de ensino, a falta de integração entre as disciplinas que poderiam facilitar a aprendizagem e a fixação dos conceitos e até mesmo o relacionamento entre aluno e professor, que pode acabar dificultando o aprendizado dos discentes.

Portanto, com base nas evidências da dificuldade do ensino e aprendizagem da teoria dos grafos, este trabalho tem como objetivo apresentar três jogos de tabuleiro que abordam algoritmos clássicos e básicos da teoria de grafos: o algoritmo de busca em largura, o algoritmo de busca em profundidade e o algoritmo de caminhos mínimos de Dijkstra.

Os dois primeiros algoritmos foram escolhidos porque são a base para a solução de problemas interessante, por exemplo, o algoritmo de busca em profundidade pode ser utilizado para resolver problemas como verificação de grafos acíclicos, ordenação topológica e componentes fortemente conectados; a busca em largura é a base para algoritmos importantes como o algoritmo de Prim que é utilizado para obter a árvore geradora mínima e o algoritmo de Dijkstra para obter o caminho mais curto de um vértice a todos os outros vértices, já o terceiro algoritmo, foi escolhido por ser um exemplo clássico da resolução de um problema prático utilizando a teoria.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que seja possível compreender o funcionamento e a importância do jogo Formigas em Grafo, é necessário introduzir diversos conceitos da área de grafos e seus algoritmos. Diante disso, tais conceitos são apresentados nas subseções a seguir.

### 2.1 Grafos

Algoritmos e estruturas de dados estão no centro da computação e são utilizados em qualquer programa de computador. O estudo dessas disciplinas é de extrema importância para os profissionais e de acordo com Cormen et al., (2002), algoritmos devem ser vistos como uma tecnologia, assim como a programação orientada a objetos ou a interface gráfica com o usuário.

Segundo Ziviani (2004), não se pode estudar as estruturas de dados sem considerar os algoritmos associados a elas. Portanto, são disciplinas que estão relacionadas e são consideradas difíceis por conta do alto nível de abstração e a necessidade de conhecimentos matemáticos.

Ainda segundo Ziviani (2004), um grafo  $G = (V, A)$  pode ser classificado como direcionado ou não direcionado. Quando o grafo é dito direcionado, o conjunto  $A$  é uma relação binária em  $V$ . Já quando o grafo é não direcionado, o conjunto  $A$  é formado por pares de vértices não ordenados. Isso significa que se o par  $(u, v)$  pertence a  $A$ , o par  $(v, u)$  também pertence a  $A$ . Nos grafos direcionados (Figura 1: Grafo B) os arcos possuem uma seta indicando o relacionamento, já no não direcionado (Figura 1: Grafo A), os arcos não possuem setas.

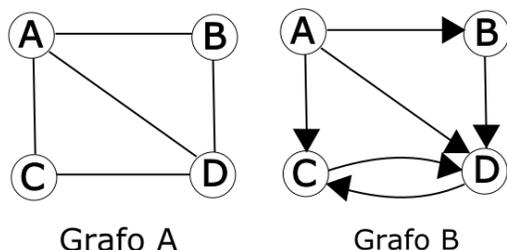


Figura 1: Grafo não direcionado e direcionado

Além da dificuldade de abstração e a necessidade dos conhecimentos matemáticos, outros pontos são destacados por Santos et al (2008) como dificultadores do ensino, são eles: a crença que a disciplina é difícil, o processo tradicional de ensino, o relacionamento aluno/professor, a falta de didática ou metodologias de ensino e a falta de integração entre outras disciplinas.

Dentre os pontos apresentados, o processo de ensino tradicional se destaca, pois Valente (2014) em seu trabalho cita John Dewey, que fez uma crítica ao processo de ensino e aprendizagem a mais de 100 anos, argumentando que a ideia de apresentar o conteúdo em sala de aula de forma expositiva, leva em consideração que os alunos conseguem aprender no mesmo ritmo e que é possível obter informação apenas escutando o professor falar. O que não é verdade, já que, por meio do questionário de Honey-Alonso é possível identificar vários estilos de aprendizagem e esses variam de pessoa para pessoa.

Devido a importância do problema, muitos trabalhos foram desenvolvidos e com base na análise da literatura é possível notar que surgiu um consenso na comunidade acadêmica de que o uso de ferramentas visuais pode facilitar o ensino e aprendizagem de grafos. Evidências disso é que Figueiredo e Figueiredo (2011) cita Soares et al., 2004, defendendo que: “Chegou-se à conclusão de que a melhor forma de atingir o máximo de aprendizado da disciplina se dá por meio de atividades práticas e visuais que representem conceitos abstratos”.

Em Barbosa, De Freitas Nunes e Gondim (2014), também é citado Bryfczynski (2013) e Shabanah et al. (2010), defendendo a mesma ideia que fez surgir diversos trabalhos com essa abordagem. Entretanto, Barbosa, De Freitas Nunes e Gondim (2014), também cita Battistella, Wangenheim e von Wangenheim (2012), afirmando que a falta de interação nesses recursos visuais pode acarretar problemas como a falta de atenção e o não desejo do uso da ferramenta.

### 2.2 Algoritmo de busca em profundidade

Segundo Ziviani (2004), a busca em profundidade é uma forma de visita que utiliza a estratégia de buscar sempre o mais fundo no grafo. Considerando um vértice inicial qualquer, a busca explora todos os vértices mais recentemente descobertos de forma recursiva até não existir vértice algum, e então volta para trás, visitando os vértices restantes não visitados, fazendo uso da mesma estratégia.

Para esse algoritmo, Ziviani (2004) sugere o armazenamento do tempo de descoberta de um vértice, tempo de término e o antecessor de cada vértice. As informações acabam sendo úteis para classificação das arestas e podem ser utilizadas em outros algoritmos.

### 2.3 Algoritmo de busca em largura

Com base em Ziviani (2004), dado um vértice inicial, o algoritmo de busca em largura visita de forma sistemática todos os vértices adjacentes ao vértice inicial antes de avançar para vértices mais distantes. Ziviani (2004) compara esse comportamento ao ondulamento da água ao jogar uma pedra sobre a mesma. Ainda

segundo ele, esse método de busca é bastante importante, pois é a base para o algoritmo de Dijkstra e o algoritmo de Prim. Diferentemente do algoritmo de busca em profundidade, somente a distância entre os vértices e uma lista com os antecessores de cada vértice é mantida.

## 2.4 Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo de Dijkstra resolve o problema de encontrar o menor caminho entre dois pontos em um grafo ponderado em que todos os pesos são positivos. Ziviani (2004), descreve o problema da seguinte forma: Dado um grafo direcionado e ponderado  $G = (V, A)$ , o peso de um caminho  $c = (v_0, v_1, \dots, v_k)$  é a soma de todos os pesos das arestas do caminho:

$$p(c) = \sum_{i=1}^k p(v_{i-1}, v_i)$$

## 2.5 Educação

Devido a importância do ensino e aprendizagem da teoria dos grafos, muitos trabalhos foram desenvolvidos e com base na análise da literatura é possível notar que surgiu uma espécie consenso na comunidade acadêmica de que o uso de ferramentas visuais pode facilitar o ensino e aprendizagem dessa importante ferramenta.

Essa característica de ataque ao problema do ensino da teoria de grafos é evidenciada em Figueiredo e Figueiredo (2011) por meio da citação de Soares et al., 2004, “Chegou-se à conclusão de que a melhor forma de atingir o máximo de aprendizado da disciplina se dá por meio de atividades práticas e visuais que representem conceitos abstratos”.

Em Barbosa, De Freitas Nunes e Gondim (2014), também é citado Bryfczynski (2013) e Shabanah et al. (2010), defendendo a mesma ideia que fez surgir diversos trabalhos com essa abordagem. Entretanto, Barbosa, De Freitas Nunes e Gondim (2014), também cita Battistella, Wangenheim e von Wangenheim (2012), afirmando que a falta de interação nesses recursos visuais pode acarretar problemas como a falta de atenção e o não desejo do uso da ferramenta.

Portanto, apenas oferecer uma aplicação visual em aula não é o suficiente, os estudantes precisam interagir entre si e aplicar o conhecimento de forma prática.

O uso de abordagens diferenciadas de ensino também é defendida por outros pesquisadores. Valente (2014) em seu trabalho cita John Dewey, que fez uma crítica ao processo de ensino e aprendizagem a mais de 100 anos, argumentando que a ideia de apresentar o conteúdo em sala de aula de forma expositiva, leva em consideração que os alunos conseguem aprender no mesmo ritmo e que é possível obter informação apenas escutando o professor falar.

Entretanto, essa abordagem não funciona sempre, já que, com base no questionário de Honey-Alonso é possível identificar estilos diferentes de aprendizagem e esses estilos podem variar de pessoa para pessoa, o que dificulta ainda mais o trabalho do professor.

Portanto, é importante ressaltar que mesmo com uso de abordagem mais interativas e visuais, isso não vai garantir uma

melhor qualidade do ensino e aprendizagens de disciplinas, sendo necessário que o professor saiba harmonizar vários métodos que atendam as necessidades da maioria dos discentes.

## 3. TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção objetiva apresentar os trabalhos relacionados a este. A relação está no fato de que todos eles objetivam auxiliar o ensino e aprendizagem de grafos.

### 3.1 WarGrafos

WarGrafos é uma proposta de jogo digital desenvolvido por Figueiredo e Figueiredo (2011). Ele é baseado no jogo de tabuleiro WAR, criado pela empresa brasileira Grow. O intuito do jogo que expirou a proposta educacional consiste na dominação de territórios ou na destruição de exércitos inimigos. As batalhas acontecem em um tabuleiro que representa um mapa mundi fictício (Figura 2).

A solução desenvolvida tem a mesma temática da sua inspiração, mas com foco apenas na dominação de territórios. No início do jogo, cada equipe recebe um objetivo e este é relacionado a algum conceito da teoria de grafos como: grafos completos, bipartidos, planares e grau de um vértice. Para ganhar o jogo, os participantes devem conseguir atingir seu objetivo antes dos outros por meio de batalhas.

As ações no jogo são controladas por tempo para que o jogo seja realizado dentro do período da aula. Quando um time se declara vencedor é sugerido que o professor realize uma avaliação para declarar a equipe como vencedora.

Para validar a ferramenta, os autores realizaram um teste com 49 alunos de uma turma, sendo 22 repetentes. Quando a ferramenta foi aplicada a quantidade de reprovação foi de 9 alunos, desconsiderando os desistentes.

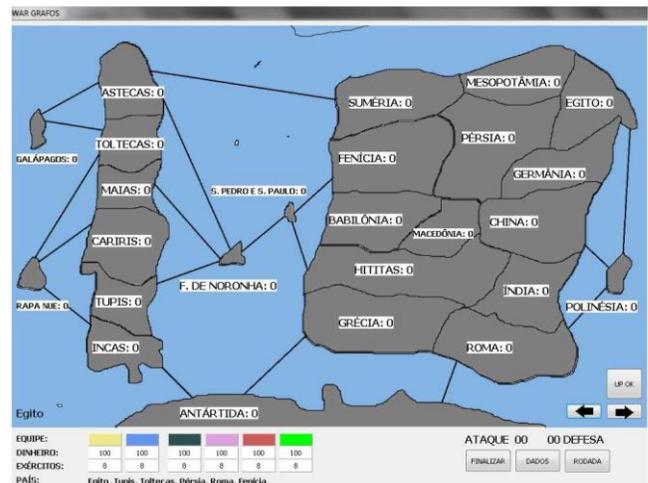


Figura 2: O jogo WarGrafos

### 3.2 Puzzle Grafo

Puzzle Grafo é um jogo mobile educacional proposto por Oliveira (2018) para ensino do algoritmo de busca em profundidade. O jogo foi desenvolvido para a plataforma Android e é baseado em um jogo de labirinto.

O jogo consiste em executar o algoritmo de busca em profundidade no labirinto fazendo com que o personagem (uma bola) se mova pelos vértices de um grafo antes que o tempo acabe. Durante o jogo, informações sobre o algoritmo são apresentadas para o usuário.

Para avaliar a ferramenta foi utilizado MEEGA+. Um método que permite avaliar a qualidade do jogo educacional por meio de perguntas subjetivas com foco na experiência do jogador e na percepção da aprendizagem. Dentre os pontos contabilizados, se destacam, a satisfação dos usuários, que obteve 94% de aceitação e os objetivos de aprendizagem que obteve 97%.

### 3.3 DEG4TREE ABB e DEG4TREE AVL

No trabalho proposto por Barbosa, De Freitas Nunes e Gondim (2014), são apresentados dois jogos, DEG4TREE ABB (Figura 3) e DEG4TREE AVL (Figura 4). O primeiro jogo tem como objetivo abordar as operações de inserção e a remoção de nós em uma árvore binária de busca, tendo como fim, emergir um submarino inflando boias com ar no caso da inserção, e trocando essas boias quando elas furam, aplicando o algoritmo de remoção.

O segundo jogo aborda as árvores AVL. O jogo se passa em um restaurante e o jogador assume o papel de garço que deve tentar manter um conjunto de copos equilibrados utilizando os métodos de balanceamento. Durante o decorrer do jogo, o vilão vai tentando inserir copos de forma que proporcione um desbalanceamento na árvore e o discente deve aplicar os métodos de balanceamento para evitar que os copos percam o equilíbrio e acabem quebrando.



Figura 3: DEG4TREE ABB



Figura 4: DEG4TREE AVL

Para realizar a avaliação do jogo proposto, foi utilizado o modelo de aceitação de tecnologia TAM (Technology Acceptance Model) que avalia a utilidade percebida e facilidade de uso percebida. Após a avaliação foram obtidos média 6.26 com desvio padrão de 0.32 para utilidade percebida e média 6.48 com desvio padrão de 0.31 para facilidade de uso percebida.

De acordo com o autor, a maior média alcançável por meio da fórmula usada é 7. Portanto, quanto mais próximo a avaliação está do número 7, melhor o resultado da avaliação. Antes de cada desafio, o usuário é exposto a um conteúdo base para que se possa jogar e durante as fases um arquivo de log é mantido para que o professor possa detectar em conjunto com os discentes quais foram as dificuldades encontradas.

## 4. O JOGO DIGITAL

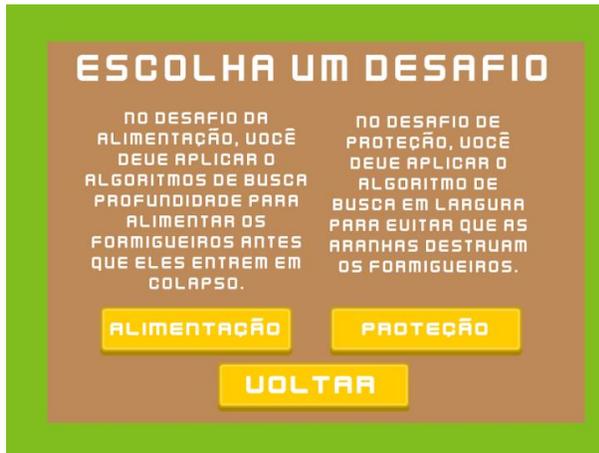
O jogo desenvolvido é chamado de formigas em grafo e possui como objetivo realizar a alimentação de vários formigueiros antes que eles entrem em colapso. No jogo, cada formigueiro possui um tempo de vida que é reduzido dependendo da sua localização no mapa com intuito de favorecer o ambiente para utilização dos algoritmos. Atualmente estão implementadas doze fases, sendo seis para cada método de busca (Figura 5).



Figura 5: O jogo Formigas em Grafo

Para cada fase existe um mapa diferente e o jogador é livre para se mover por ele, mas ao sair da trilha entre os formigueiros, a

formiga fica lenta e desorientada, comprometendo o seu deslocamento e dificultando a chegada até os formigueiros. Além disso a agilidade do jogador é posta a prova, devido as aranhas que tentam impedir que a formiga cumpra seu objetivo.



**Figura 6: As fases do jogo**

Para resolver o desafio, o jogador deve visitar os formigueiros seguindo a mesma ordem que o algoritmo seguiria se fosse executado sobre um grafo. Quando o jogador não segue o algoritmo, os formigueiros acabam entrando em colapso antes do previsto, fazendo com que o jogador não consiga vencer a fase, sendo necessário portanto, realizar o processo de visitação do início. O jogador sempre perde se pelo menos um dos formigueiros entrar em colapso.

No mapa, cada formigueiro representa um vértice do grafo. Para interligar os formigueiros é utilizado o feromônio da formiga que conecta os pontos e serve para indicar o caminho que o personagem deve percorrer para chegar ao formigueiro desejado. Portanto, o feromônio representa as arestas que conectam os vértices em um grafo. Em cada vértice também existem uma barra de energia. A barra é utilizada para indicar o tempo de vida de cada formigueiro. Logo, a alimentação de cada formigueiro (vértice), deve ser feita antes que o nível da barra chegue ao final. Na imagem abaixo é possível notar os formigueiros (Vértices), o feromônio (arestas) e o tempo de vida de cada formigueiro, representados por I, II e III respectivamente (Figura 7).



**Figura 7: Vértices e Arestas**

No grupo de fases referentes ao algoritmo de busca em profundidade, todos os grafos representados nos mapas são acíclicos. Optou-se por grafos com essa característica, pois durante os desafios, as informações sobre os estados dos vértices do grafo ficam implícitos. Como o jogo tem como foco demonstrar e possibilitar o treino do comportamento do algoritmo, o discente não se prejudica pela não apresentação de detalhes, como por exemplo, tempo de descoberta, tempo de término, estado de visitação do vértice e lista de antecessores de um vértice.

Em um desafio de busca em profundidade, o jogador sempre inicia em um formigueiro do extremo que possui uma barra de energia com um tempo de consumo diferenciado, pois representa o ponto de partida e, portanto, não deve ser alimentado no início, já que, não está passando necessidades elevadas como outros formigueiros. Devido a essa característica, o ponto de partida possui uma barra de energia em amarelo.

Com o intuito de favorecer o uso da busca em profundidade, ao iniciar o jogo, o jogador percebe que os formigueiros que estão nos extremos das fases, consomem a barra de energia com mais rapidez, sendo necessário, alimentá-los primeiro. Quando o formigueiro do extremo de uma determinada árvore de busca em profundidade é alimentado, o formigueiro adjacente anterior ao já alimentando se torna um novo extremo, fazendo com que a sua barra de energia diminua em maior velocidade, mantendo, portanto, a característica da busca em profundidade.

Já nas fases que abordam a busca em largura, existem grafos cíclicos e acíclicos. Diferente da busca em profundidade, inicialmente, todos os formigueiros possuem a mesma necessidade, fazendo com que a barra de energia de cada formigueiro seja consumida na mesma velocidade. Diferentemente do outro conjunto de fases, neste grupo, o jogador inicia em uma posição qualquer do mapa. Após a alimentação do primeiro formigueiro é iniciada uma reação em cadeia que desperta a necessidade dos outros formigueiros adjacentes aquele alimentado.

O efeito da reação, mantém a propriedade da busca em largura, pois acelera o consumo da barra de energia de todos os adjacentes ao formigueiro já alimentando. Como o algoritmo da busca em largura utiliza uma fila de forma explícita, após a alimentação de um formigueiro qualquer, todos os formigueiros adjacentes ao alimentando, sofrem uma alteração na cor da barra de energia, de verde para amarelo, com o objetivo de lembrar ao jogador, qual o grupo de formigueiros ele deve alimentar.

Por exemplo, considere que existe um formigueiro no centro do mapa, e esse formigueiro, possui adjacentes ao norte, sul, leste e oeste e cada qual também possui um único adjacente. Quando o formigueiro do centro for alimentado, todos os formigueiros ao seu redor serão destacados por meio da barra de energia que ficará com a cor amarela.

Se por acaso o jogador resolver alimentar primeiramente o formigueiro ao norte, ao final, quando todos os adjacentes atuais forem alimentados, o novo formigueiro que será destacado será o adjacente ao norte e assim por diante.

Antes de chegar às fases de um desafio, o jogador visualiza uma breve descrição sobre os algoritmos e lhe é mostrado uma

pequena animação da mecânica do jogo. O intuito é orientar o usuário sobre as regras que ele precisa seguir.

Portanto, a ferramenta não disponibiliza um material completo sobre os algoritmos e sua implementação, mas possibilita que o discente internalize o funcionamento concreto da movimentação executada pelos algoritmos abstratos, por meio da alimentação dos formigueiros.

## 5. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para alcançar o objetivo proposto, foram realizadas duas atividades: o desenvolvimento do jogo educacional formigas em grafo e a avaliação do jogo educacional usando o PAJED. Avaliação foi realizada no IFCE Campus Crato com a participação dos discentes da disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados II.

O desenvolvimento do jogo foi realizado utilizando a linguagem de programação Java. A linguagem foi escolhida devido a afinidade do autor com essa ferramenta. O jogo foi desenvolvido integralmente com a tecnologia, não fazendo uso de nenhum framework ou engine, apenas as bibliotecas padrão disponíveis na linguagem.

O período de implementação durou cerca de três semanas com entregas diárias armazenadas em um repositório público do GitHub<sup>1</sup>. Todas as imagens utilizadas ou foram desenvolvidas pelo autor ou obtidas em repositórios abertos de forma gratuita e todas as ferramentas utilizadas na edição e no desenvolvimento do jogo em si eram Open Source.

Para avaliação do jogo proposto foi utilizado o PAJED - Programa de Avaliação de Jogos Educacionais que tem como objetivo ser uma ferramenta para avaliação que a partir de um questionário define o potencial de aprendizado de um jogo, indicando se ele é ou não útil para o ensino e aprendizado.

A ferramenta avalia 8 (oito) dimensões, consideradas importantes para avaliação de jogos educacionais de acordo com a literatura, são elas: narrativa, desafios em níveis, feedback imediato, objetivos educacionais, níveis de interatividade, integração de conceitos, curva de aprendizagem e práticas colaborativas.

Para cada dimensão os autores da ferramenta atribuíram um peso e as informações necessárias para concretizar a distribuição foram coletados com ajuda de um questionário respondido por participantes do Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital no ano de 2017, participando da pesquisa cerca de 62 pessoas entre elas jogadores, estudiosos e desenvolvedores de jogos.

Ao final da avaliação é possível calcular o que os autores do método chamam de potencial de aprendizado. A avaliação é constituída pelos seguintes pontos que variam de acordo com a padronização da Escala Likert (discordo fortemente até concordo fortemente):

<sup>1</sup> Repositório público do jogo educacional Formigas em Grafo: <https://github.com/Adriel479/formigas-em-grafo>.

1. O jogo avaliado possui feedback imediato e construtivo: (a cada situação de aprendizagem, o jogo envia ao usuário mensagens de acerto e erro como forma de se refletir sobre o conceito abordado).
2. Os objetivos educacionais do jogo avaliado estão claros e bem definidos: (são apresentados de alguma forma os objetivos de cada situação de aprendizagem e sua relação com o assunto abordado).
3. O jogo avaliado possui uma boa narrativa: (se o jogo possui um enredo atrativo que desperte e engaje o desejo do jogador interagir com o mesmo).
4. O jogo avaliado possui níveis de interatividade definidos: (se o jogo é responsivo, flexível, e dá liberdade ao jogador, etc).
5. No jogo avaliado é possível identificar a integração de conceitos: (se ao longo do jogo os conceitos aprendidos são resgatados e relacionados com os novos conceitos).
6. O jogo avaliado possui uma curva de aprendizagem equilibrada: (se no jogo a mecânica é apresentada ao jogador de forma gradual, isto é, fácil para difícil, mas não impossível de ser aprendida e internalizada).
7. O jogo avaliado apresenta situações que despertam a prática colaborativa: (se o jogo cria um ambiente de troca de informações e aprendizagens entre os alunos).
8. O jogo avaliado apresenta níveis de desafios crescentes: (se o jogo apresenta escala gradativa de dificuldade, fácil, intermediário, difícil).

Os autores calculam o potencial de aprendizado usando a seguinte fórmula:

$$PA = (11.29 * FE + 15.30 * OA + 9.92 * NA + 12.97 * NI + 14.67 * IC + 14.76 * CA + 8.11 * PC + 12.97 * ND) / 10.$$

Onde: FE = Nota obtida sobre o Feedback Imediato; OA = Nota obtida sobre os Objetivos de Aprendizagem; NA = Nota obtida sobre a Narrativa; NI = Nota obtida sobre o Nível de Interatividade; IC = Nota obtida sobre a Integração de Conceitos; CA = Nota obtida sobre a Curva de Aprendizagem; PC = Nota obtida sobre a Prática Colaborativa; ND = Nota obtida sobre os Níveis de Desafios.

**Tabela 1 — Notas pela Escala Likert**

Item	Nota
Concordo Totalmente	10,0
Concordo Parcialmente	7,5
Não Concordo, nem Discordo	5,0
Discordo Parcialmente	2,5
Discordo Totalmente	0,0

**Tabela 2 — Escala do Potencial de Aprendizado**

Item	Nota
$80 \leq PA \leq 100$	Potencial de Aprendizagem Muito Alto
$60 \leq PA < 80$	Potencial de Aprendizagem Alto
$40 \leq PA < 60$	Potencial de Aprendizagem Moderado
$20 \leq PA < 40$	Potencial de Aprendizagem Baixo
$0 \leq PA < 20$	Potencial de Aprendizagem Muito Baixo

Os alunos que participaram da avaliação são discentes da disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados II do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE Campus Crato.

O curso não dispõe de uma disciplina específica de grafos, mas o conteúdo faz parte da ementa da disciplina apresentada anteriormente que é ofertada para discentes do terceiro semestre.

As aulas são ministradas atualmente de maneira expositiva por meio de recursos visuais e o professor da disciplina costuma solicitar a implementação dos seguintes algoritmos: busca em largura, busca em profundidade, algoritmo de Dijkstra, algoritmo de Prim e Algoritmo de Kruskal.

Os alunos são incentivados a implementarem os métodos em tecnologias diversas e ao final das implementações o resultado é apresentado em sala por meio de seminários.

Com o objetivo de desafiar os alunos, o professor também oferece pontos extras para quem desenvolver algum recurso visual que demonstra a execução do algoritmo.

A avaliação do jogo digital foi realizada em sala com a participação de 11 (onze) discentes. Antes que os alunos realizassem a avaliação, o conteúdo sobre os algoritmos de busca em largura e em profundidade foi abordado com intuito de apresentar o funcionamento e as aplicações.

Em seguida, o jogo foi apresentado para todos e ao final, foi utilizado um formulário do Google para coletar as avaliações de acordo com o método apresentado.

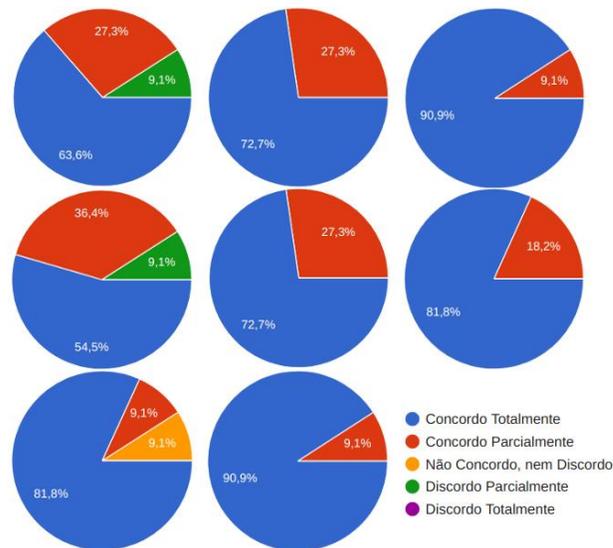
## 6. ANÁLISE DE RESULTADOS DO JOGO DIGITAL

Para cada discente que participou do experimento foi contabilizado um potencial de aprendizado e em seguida a média

do potencial de aprendizado foi calculada e arredondada para o menor inteiro mais próximo.

O potencial de aprendizagem obtido foi em média 92. De acordo com método, o jogo educacional formigas em grafo possui um potencial muito alto de aprendizado.

Na imagem a seguir (Figuras 8) é possível visualizar a distribuição das avaliações para cada questão do método. Os gráficos em pizzas são organizados da esquerda para direita, iniciando na questão 1 (um) e terminando na questão 8 (oito).



**Figura 8 — Distribuição das respostas para cada questão.**

Com base nos gráficos é possível notar que os pontos 1, 4 e 7 receberam algumas avaliações baixas, sendo elas “Não Concordo, Nem Discordo” e “Discordo Parcialmente”.

No ponto 1, a avaliação recebeu um “Discordo Parcialmente” possivelmente porque o feedback ocorre de maneira implícita, já que, quando o jogador erra, os formigueiros que mantêm as características das buscas são penalizados de forma que o jogador não consiga vencer.

Já no ponto 4, a mesma avaliação se repete e provavelmente decorre do fato da dificuldade razoavelmente alta de todo o jogo. Para torná-lo atrativo, todas as fases possuem um nível de dificuldade alto e crescente, mas não impossível. Na maioria dos casos, o jogador vence nos últimos segundos.

O último ponto recebeu a avaliação mais baixa, “Não Concordo, Nem Discordo”, o motivo da avaliação é bastante compreensivo, pois o jogo é para um único jogador. Entretanto, como os desafios necessitam de estratégias para serem resolvidos isso deveria favorecer a troca de ideias entre os discentes.

## 7. OS JOGOS EM TABULEIRO

Visando facilitar o ensino dos algoritmos já citados, e de forma a ampliar a versão anterior publicada sobre o trabalho Formigas em

Grafo, são propostos três jogos de tabuleiro, cada um abordando um algoritmo diferente.

Os jogos têm como objetivo internalizar nos discentes o comportamento dos algoritmos e isso é feito por meio das regras de locomoção dos personagens pelo tabuleiro juntamente com objetivo que os participantes precisam alcançar. Cada jogo é composto por um contexto, um resumo e um conjunto de regras que os jogadores devem obedecer. A seguir é descrito cada um dos jogos.

## 7.1 Jogo 1

Contexto: A humanidade fez com que os recursos da terra ficassem escassos ao ponto de formigas de várias espécies iniciarem uma batalha pela sobrevivência.

A comida existente foi reunida por diferentes colônias, mas não é suficiente para nenhuma.

Você, como a formiga guerreira, deve lutar para reunir os alimentos espalhados e garantir a sobrevivência do seu grupo. Prepare os dados e corra para a batalha.

Resumo: Para que o jogo possa ser iniciado é necessário no máximo cinco participantes, sendo necessário no mínimo dois.

Cada jogador é atribuído a uma colônia do extremo do tabuleiro, as colônias localizadas nos pontos centrais sempre são dominadas por formigas hostis.

Isso significa que elas não são inteligentes o suficiente para invadir outras colônias em busca de comidas e estão dispostas apenas a dificultar o deslocamento dos participantes.

Cada formigueiro possui um conjunto de cartas chaves, um conjunto de alimentos e duas formigas: uma para locomoção e outra para defesa do formigueiro. Você deve usar as cartas chaves para saber qual formigueiro você deve atacar primeiro.

Para ganhar o jogo, você precisa invadir todos os formigueiros inimigos, coletar as cartas de alimento e ser o primeiro a regressar a sua colônia, evitando que ela entre e extinção.

Regras:

- Lance um dado de 6 faces e se locomova no tabuleiro de acordo com o número obtido;
- Formigas podem ocupar o mesmo formigueiro, mas não podem ocupar a mesma casa. Se você lançou o dado e obteve um valor que o levou a uma casa ocupada, vá para a casa imediatamente anterior;
- Se após o deslocamento você chegou a um formigueiro que você já invadiu, mantenha sua posição. Se você ainda não o invadiu, batalhe para invadi-lo.

Se você batalha e perde, você volta para a posição anterior ao ataque. Se você não pode batalhar, você avança para a primeira casa após o formigueiro. Se a casa está ocupada, você deve manter a posição anterior;

- Você só pode atacar uma colônia, se você tem a carta chave para realizar a ação;

- Para vencer um formigueiro hostil, você precisa obter dois números primos ao lançar dois dados de seis faces;
- Para cada colônia invadida, você ganha uma formiga para defender sua colônia inicial. Uma colônia só pode conter até 3 formigas de defesa;
- Se você inicia uma batalha e perde, você apenas mantém sua posição anterior. Se você tentar se defender e perder, você perde uma formiga de defesa. O jogador deve sempre possuir, pelo menos, uma formiga de defesa.

## 7.2 Jogo 2

Contexto: A batalha pela comida chegou ao fim, a luta pela sobrevivência agora é outra: expandir seu território. As colônias sobreviventes agora lutam pelo espaço, tentando expandir seus lares para procriação.

Resumo: O jogo pode conter até cinco participantes, sendo o número mínimo dois. Cada jogador é atribuído a uma colônia do extremo, as colônias centrais sempre são dominadas por formigas hostis.

Cada formigueiro possui um conjunto de cartas chaves que indicam quais são os possíveis formigueiros que o jogador pode atacar. Ao conquistar o território, uma formiga é adicionada no local, enquanto outra é utilizada para o deslocamento. Ganha o jogo quem possuir uma formiga em cada formigueiro primeiro.

Regras:

- Lance um dado de 6 faces e se locomova no tabuleiro de acordo com o número obtido;
- Formigas podem ocupar a mesma casa, mas não o mesmo formigueiro. Se uma formiga invadir um formigueiro, a formiga que protege o local é expulsa, cabe ao jogador, batalhar novamente pelo formigueiro;
- Se após o deslocamento você chegou a um formigueiro que você domina, você pode manter sua posição. Se você ainda não o invadiu (ou foi expulso) e você tem capacidade para realizar a ação, você deve batalhar para manter a posição.

Se você perde a batalha, você volta para a sua posição anterior;

- Todos os formigueiros centrais são hostis. Você só vence um formigueiro hostil, se ao jogar dois dados de seis faces, obtiver um número, cujo a soma é múltiplo de três;
- Para cada colônia invadida, além de ganhar uma carta chave, você ganha uma formiga para adicionar na defesa do formigueiro invadido;
- Se você inicia uma batalha e perde, você apenas mantém sua posição. Se você tentar se defender e perder, você é expulso do formigueiro e movido para qualquer casa mais próxima do formigueiro;

- Quando uma batalha é iniciada, cada jogador deve lançar dois dados de seis faces, ganha quem obtiver a maior soma nos dados. Em caso de empate, a defesa vence.

### 7.3 Jogo 3

Contexto: Após a batalha pela sobrevivência em busca de alimentos e a expansão de território, as colônias de formigas passarão pela sua batalha final: a inundação causada pelo aquecimento global.

A água congelada dos polos está derretendo rapidamente e elevando o nível do mar.

Ondas gigantes já destruíram várias colônias e as restantes devem chegar ao ponto mais alto do mundo de forma rápida ou será tarde demais.

Infelizmente nem todas sobreviveram, somente a rainha poderá ser salva.

Resumo: O jogo pode conter até cinco participantes, sendo o número mínimo dois. Cada jogador é atribuído a uma colônia representada por um conjunto de formigas de mesma cor. Todos os participantes começam no ponto A e devem chegar até o ponto F. O mais alto do mundo.

Ganha quem conseguir chegar até o ponto F e locomover a rainha pelo caminho de menor distância primeiro.

Regras:

- Cada participante inicia o jogo com um conjunto de formigas e duas tabelas. A primeira tabela será utilizada para calcular a distância entre os pontos do tabuleiro e ajudará a descobrir o menor caminho.  
A segunda tabela representará o feromônio deixado pelas formigas que se locomovem pelo tabuleiro e servirá de guia para as formigas que devem ser salvas;
- Após visitar um ponto, você precisa deixar ao menos uma formiga no local para marcar o caminho.
- A partir daqui serão adicionadas as quatro regras do algoritmo de caminhos mínimos de Dijkstra como descrito no livro (Entendo algoritmos. Um guia ilustrado para programadores e outros curiosos). Cada uma será contextualizada e ilustrada visualmente para facilitar o entendimento.

## 8. CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um jogo educacional para facilitar o ensino e a aprendizagem dos algoritmos de busca em largura e busca em profundidade e tal objetivo foi alcançado.

A avaliação foi realizada por meio do método apresentado em Santos e Alves (2019) e obteve o potencial de aprendizagem de 92

que pode ser classificado como “Potencial de Aprendizagem muito Alto”.

O jogo está disponível em um repositório público e pode ser baixado de forma gratuita.

A versão em tabuleiro, por sua vez, não pode ser avaliada devido a pandemia de covid-19. Propõe-se, portanto, sua avaliação como um trabalho futuro.

Ainda como trabalhos futuros, são propostos:

- 1) A ampliação do conteúdo informativo sobre os algoritmos para incluir pseudocódigos,
- 2) Análise de complexidade e aplicações; o aprimoramento dos gráficos do jogo, almejando uma melhor atratividade visual e,
- 3) A análise da ferramenta como um recurso alternativo para ser aplicado em metodologias de aprendizagem híbrida, especificamente no modelo caracterizado por sala de aula invertida apresentada em Valente (2014).

## 9. REFERÊNCIAS

- [1] BARBOSA, Weider Alves; DE FREITAS NUNES, Isabella; GONDIM, Ana Carolina. DEG4Trees: Um Jogo Educacional Digital de Apoio ao Ensino de Estruturas de Dados. Monografia de Graduação. Ciência da Computação. UFG/Regional Jataí, 2014.
- [2] BARBOSA, Weider Alves; JÚNIOR, Paulo Afonso Parreira. Um mapeamento sistemático sobre ferramentas de apoio ao ensino de algoritmo e estruturas de dados. In: Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE). 2013. p. 406.
- [3] BATTISTELLA, Paulo Eduardo; VON WANGENHEIM, Aldo; VON WANGENHEIM, Christiane Gresse. SORTIA- Um jogo para ensino de Algoritmo de Ordenação: estudo de caso na disciplina de Estrutura de Dados. In: Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE). 2012.
- [4] BRYFCZYNSKI, Sam et al. Teaching data structures with BeSocratic. In: Proceedings of the 18th ACM conference on Innovation and technology in computer science education. ACM, 2013. p. 105-110.
- [5] CORMEN, Thomas H. et al. Algoritmos: teoria e prática. Editora Campus, v. 2, p. 2, 2002.
- [6] FIGUEIREDO, Roberto Tenorio; FIGUEIREDO, C. Wargrafos – jogo para auxílio na aprendizagem da disciplina de teoria dos grafos. X Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital (SBGames 2011), 2011.
- [7] OLIVEIRA, Álvaro Alves de. Puzzle grafo: um jogo educacional mobile para auxiliar ao aprendizado do algoritmo de busca em profundidade. 2018. 23 f. TCC

(Graduação) Sistemas de Informação - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará/ Campus Crato, Crato, 2018. Disponível em: <[biblioteca.ifce.edu.br/index.asp?codigo\\_sophia=84007](http://biblioteca.ifce.edu.br/index.asp?codigo_sophia=84007)>. Acesso em: 17 out. 2019.

- [8] SANTOS, Willian; ALVES, Lynn Rosalina Gama. PAJED: Um Programa de Avaliação de Jogos Digitais Educacionais. Anais do Seminário de Jogos Eletrônicos, Educação e Comunicação, v. 3, n. 1, 2019.
- [9] SANTOS, Rodrigo P. et al. O uso de ambientes gráficos para ensino e aprendizagem de estruturas de dados e de algoritmos em grafos. In: Anais do XVI Workshop sobre Educação em Computação, XXVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. sn, 2008. p. 157-166.
- [10] SHABANAH, Sahar S. et al. Designing computer games to teach algorithms. In: 2010 Seventh International Conference on Information Technology: New Generations. IEEE, 2010. p. 1119-1126.
- [11] SILVA, Liliana Mota Cardoso Marques da. A teoria dos grafos no ensino. 2009. Dissertação de Mestrado.
- [12] SZWARCFITER, Jayme Luiz. Grafos e Algoritmos Computacionais Editora Campus Ltda. Rio de Janeiro-1984, 1984.
- [13] VALENTE, José Armando. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. Educar em Revista, n. 4, p. 79-97, 2014.