

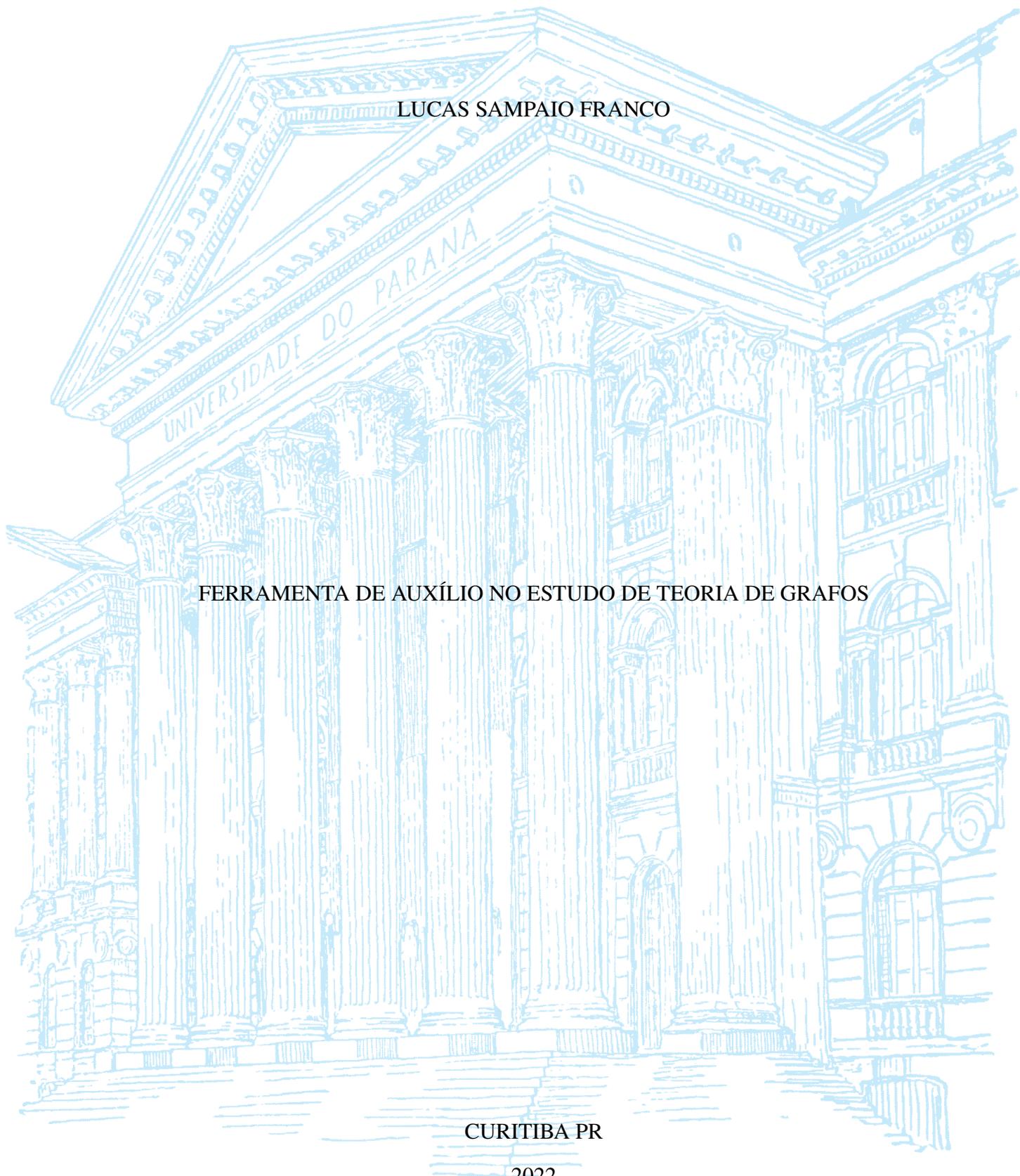
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS SAMPAIO FRANCO

FERRAMENTA DE AUXÍLIO NO ESTUDO DE TEORIA DE GRAFOS

CURITIBA PR

2022



LUCAS SAMPAIO FRANCO

FERRAMENTA DE AUXÍLIO NO ESTUDO DE TEORIA DE GRAFOS

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.

Área de concentração: *Ciência da Computação*.

Orientador: Prof. Dr. Andrey Ricardo Pimentel.

CURITIBA PR

2022

Ficha catalográfica

Substituir o arquivo `0-iniciais/catalografica.pdf` pela ficha catalográfica fornecida pela Biblioteca da UFPR (PDF em formato A4).

Instruções para obter a ficha catalográfica e fazer o depósito legal da tese/dissertação (contribuição de André Hochuli, abril 2019):

1. Estas instruções se aplicam a dissertações de mestrado e teses de doutorado. Trabalhos de conclusão de curso de graduação e textos de qualificação não precisam segui-las.
2. Verificar se está usando a versão mais recente do modelo do PPGInf e atualizar, se for necessário (<https://gitlab.c3sl.ufpr.br/maziero/tese>).
3. conferir o *checklist* de formato do Sistema de Bibliotecas da UFPR, em https://portal.ufpr.br/teses_servicos.html.
4. Enviar e-mail para "referencia.bct@ufpr.br" com o arquivo PDF da dissertação/tese, solicitando a respectiva ficha catalográfica.
5. Ao receber a ficha, inseri-la em seu documento (substituir o arquivo `0-iniciais/catalografica.pdf` do diretório do modelo).
6. Emitir a Certidão Negativa (CND) de débito junto a biblioteca (<https://www.portal.ufpr.br/cnd.html>).
7. Avisar a secretaria do PPGInf que você está pronto para o depósito. Eles irão mudar sua titulação no SIGA, o que irá liberar uma opção no SIGA pra você fazer o depósito legal.
8. Acesse o SIGA (<http://www.prppg.ufpr.br/siga>) e preencha com cuidado os dados solicitados para o depósito da tese.
9. Aguarde a confirmação da Biblioteca.
10. Após a aprovação do pedido, informe a secretaria do PPGInf que a dissertação/tese foi depositada pela biblioteca. Será então liberado no SIGA um link para a confirmação dos dados para a emissão do diploma.

Ficha de aprovação

Substituir o arquivo 0-iniciais/aprovacao.pdf pela ficha de aprovação fornecida pela secretaria do programa, em formato PDF A4.

*Dedico este trabalho para minha
mãe e minha irmã.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha mãe e irmã por todo o suporte na minha vida, agradeço meus colegas de curso, principalmente meus colegas Fernando Shinohata e Gabriele Rodrigues, que me deram suporte ao longo da minha formação. Também agradeço o professor Andrey Pimentel por me orientar neste trabalho.

RESUMO

A disciplina de Teoria de Grafos é uma das mais relevantes na formação de um estudante de Ciência da Computação. Com uma grande quantidade de conceitos a serem estudados e, muitas vezes, conceitos complexos ou abstratos, a criação de objetos de aprendizagem que auxiliam os alunos na jornada de aprendizado é essencial. Dessa forma, o presente trabalho, propõe uma ferramenta para o auxílio na visualização de grafos e, principalmente, de suas propriedades, para assim facilitar o aprendizado dos diversos conceitos vistos na disciplina. Através de uma avaliação de sentimentos em relação a ferramenta, feita por alunos da disciplina, este trabalho chega a resultados positivos em relação a utilidade do objeto de aprendizagem proposto. Com essa boa receptividade, este trabalho conclui que a ferramenta proposta conseguiria auxiliar o aprendizado de estudantes de Ciência da Computação na disciplina de Teoria de Grafos.

Palavras-chave: Objetos de Aprendizado. Teoria de Grafos. Ferramenta de Ensino. Ciência da Computação

ABSTRACT

The discipline of Graph Theory is one of the most relevant in the formation of a Computer Science student. With a large number of concepts to be studied and often complex or abstract concepts, creating learning objects that help students on their learning journey is essential. In this way, the present work proposes a tool to assist in the visualization of graphs and, especially, of their properties, in order to facilitate the learning of the various concepts seen in the discipline. Through an evaluation of feelings about the tool, made by students of the discipline, this work arrives at positive results in relation to the usefulness of the proposed learning object. With this good receptivity, this work concludes that the proposed tool could help the learning of Computer Science students in the discipline of Graph Theory.

Keywords: Learning Objects. Graph Theory. Teaching Tool. Computer Science

LISTA DE FIGURAS

3.1	D3 Graph Theory	16
3.2	CSAcademy Graph Editor	17
3.3	VisuAlgo	17
3.4	Graph Online	18
4.1	O sistema Rascunho de Grafo.	19
4.2	Dicas sobre as interações com o <i>canvas</i>	20
4.3	Lista de grafos nomeados	20
4.4	Exibição de <i>IDs</i> dos vértices.	21
4.5	Lista de propriedades que o sistema permite visualizar	22
4.6	Exemplo da visualização de propriedades.	22
4.7	Arquitetura do software	23
4.8	Exercício de notas de aula da matéria Teoria de Grafos.	24
4.9	Propriedade K-regular.	24
4.10	Grafo 1-regular.	24
5.1	Exercícios utilizados para a avaliação.	27
5.2	Questão presente na avaliação de sentimento da ferramenta	27
5.3	A aplicação me ajudou a aprender conceitos de Teoria de Grafos	28
5.4	A aplicação me ajudou a aprender conceitos de Teoria de Grafos	29

LISTA DE ACRÔNIMOS

DINF	Departamento de Informática
PPGINF	Programa de Pós-Graduação em Informática
UFPR	Universidade Federal do Paraná
USP	Universidade de São Paulo
HTML	HyperText Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
DOM	Document Object Model
XML	Extensible Markup Language
SVG	Scalable Vector Graphics
TAM	Technology Acceptance Model

LISTA DE SÍMBOLOS

G	nome do grafo (único)
$V(G)$	vértices do grafo G
$E(G)$	arestas do grafo G
$\partial_G(v)$	fronteira do vértice v no grafo G
$\Delta(G)$	grau máximo do grafo G
$\delta_G(v)$	grau do vértice v no grafo G
$\Gamma_G(v)$	vizinhança do vértice v no grafo G
$\chi(G)$	número cromático do grafo G
C_n	grafo "ciclo" de n vértices
K_n	grafo completo de n vértices
$K_{n,m}$	grafo bipartido com uma partição de n vértices e outra partição de m vértices

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3	JUSTIFICATIVA	12
1.4	APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO	12
2	CONCEITOS BÁSICOS	14
2.1	CONCEITOS GERAIS	14
2.2	CONCEITOS DE TEORIA DE GRAFOS	14
3	TRABALHOS CORRELATOS.	16
3.1	D3 GRAPH THEORY	16
3.2	CSACADEMY GRAPH EDITOR	16
3.3	VISUALGO.	17
3.4	GRAPH ONLINE.	17
3.5	CONCLUSÃO	18
4	ABORDAGEM.	19
4.1	DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA	19
4.1.1	Interação com o grafo.	19
4.1.2	Visualização de propriedades.	21
4.2	ARQUITETURA	22
4.3	CENÁRIO DE USO	23
4.4	DISCUSSÃO DA ABORDAGEM	25
4.5	CONCLUSÃO	25
5	AVALIAÇÃO.	26
5.1	METODOLOGIA.	26
5.2	RESULTADOS	26
5.2.1	Sobre o conhecimento do testador	27
5.2.2	Sobre a eficácia da aplicação	28
5.2.3	Sobre a usabilidade da aplicação	29
5.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
6	CONCLUSÃO	31
6.1	PROPOSTAS FUTURAS.	31
6.1.1	Correções	31
6.1.2	Novas propriedades e funcionalidades	31
6.1.3	Melhorias na experiência	32

REFERÊNCIAS 33

1 INTRODUÇÃO

Uma das disciplinas mais importantes na formação de um estudante de Ciência da Computação é a disciplina Teoria de Grafos, onde é ensinado, as diversas propriedades que envolvem esse objeto matemático. Por ser uma disciplina tão relevante, a ementa de Teoria de Grafos envolve bastante conteúdo e, muitas vezes, conteúdos complexos que são difíceis de serem compreendidos rapidamente.

A construção de ferramentas e objetos de aprendizagem que auxiliam estudantes em diversas disciplinas pode se provar muito eficiente, eis que são uma forma de representar o comportamento dos conceitos de forma visual e mais interativa.

1.1 OBJETIVO GERAL

Neste trabalho, será construído um objeto de aprendizagem que tem como objetivo o auxílio do aprendizado na disciplina Teoria de Grafos. Esta ferramenta irá permitir a visualização de grafos, a criação/edição de grafos e permitirá a visualização de propriedades do grafo. Com essas características, o objetivo da ferramenta é facilitar a visualização dos diversos conceitos vistos na disciplina de Teoria de Grafos e, com isso, auxiliar no entendimento de conceitos de Grafos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos: avaliar ferramentas atuais que possuem objetivos próximos a este trabalho, criar uma abordagem para o auxílio do estudo em Teoria de Grafos e, finalmente, avaliar esta ferramenta proposta.

1.3 JUSTIFICATIVA

Esta ferramenta permitirá que os estudantes de Teoria de Grafos aprendam os conceitos da disciplina com maior facilidade, através da utilização da ferramenta junto das aulas, notas de aulas e exercícios. Seja para tirar dúvidas de como certas propriedades se comportam dentro de diferentes grafos ou para tentar entender um conceito que não ficou muito claro utilizando os outros materiais.

Com isso, os alunos vão ter mais um objeto de aprendizagem que poderá auxiliá-los na jornada de aprendizado desta disciplina, ajudando a formação de diversos alunos de Ciência da Computação.

1.4 APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO

Este trabalho está dividido em mais cinco capítulos. No capítulo Conceitos básicos (capítulo 2), será apresentado os principais conceitos envolvidos com este trabalho, principalmente os conceitos utilizados de Teoria de Grafos. No capítulo Trabalhos correlatos (capítulo 3), será discutido ferramentas similares à ferramenta proposta neste trabalho. No capítulo Abordagem (capítulo 4), será descrito a ferramenta, detalhes de arquitetura, cenários de uso da ferramenta e discussão desta abordagem em relação a outro trabalho similar. No capítulo Avaliação (capítulo 5), será descrito a metodologia utilizada para avaliar a aplicação, depois será descrito os resultados

e, por fim, será discutido esses resultados. Por fim o último capítulo (capítulo 6) conclui este trabalho apresentando as conclusões obtidas, a contribuição deste trabalho e propostas futuras.

2 CONCEITOS BÁSICOS

Neste capítulo será apresentado conceitos que serão utilizado no decorrer deste trabalho.

2.1 CONCEITOS GERAIS

Nesta seção, será definido alguns conceitos ou termos gerais utilizados no resto do trabalho:

- O termo Grafos ("G" maiúsculo) será usado para se referenciar à disciplina de Teoria de Grafos.
- No contexto *web*, o termo *canvas* é utilizado para se referenciar ao método de renderização, onde elementos são renderizados dentro de um "quadro", geralmente em branco. Este quadro é utilizado para desenhar figuras (SVG) através de JavaScript. O grafo da ferramenta deste trabalho é desenhado utilizando este conceito.

2.2 CONCEITOS DE TEORIA DE GRAFOS

Nessa seção será introduzido diversos conceitos de grafos¹ que serão usados nos próximos capítulos deste trabalho, principalmente para descrever as funcionalidades presentes da ferramenta. Os termos em destaque são termos/conceitos que são utilizados pela ferramenta.

Um **grafo** (simples, não-direcionado) G é um par $(V(G), E(G))$ onde $V(G)$ é um conjunto finito e não vazio e $E(G) \subseteq \binom{V(G)}{2}$. Cada elemento de $V(G)$ é chamado de **vértice** de G e cada elemento de $E(G)$ é chamado de **aresta** de G . Se o grafo tem somente um vértice e nenhuma aresta, ele é chamado de **grafo trivial**.

Um forma de visualizar grafos é utilizando uma **matriz de adjacência**. A matriz de adjacência do grafo G é a matriz M_G indexada por $V(G) \times V(G)$ dada por

$$M_G[u, v] = \begin{cases} 1, & \text{se } \{u, v\} \in E(G), \\ 0, & \text{se } \{u, v\} \notin E(G). \end{cases} \quad (2.1)$$

Se existe aresta $\{u, v\}$ de G , dizemos que u e v são **vizinhos**.

A **vizinhança** de um vértice v em G é o conjunto dos vértices que são vizinhos de v em G , isto é,

$$\Gamma_G(v) := \{u \in V(G) \mid u \text{ é vizinho de } v\}. \quad (2.2)$$

Um grafo em que cada vértice é vizinho de todos os outros é chamado de **grafo completo**. É comum indicar por \mathbf{K}_n um grafo completo de n vértices.

A **fronteira** de um conjunto X de vértices de G é o conjunto de arestas de G com uma ponta em X e a outra fora de X , isto é,

$$\partial_G(X) := \{\{x, y\} \in E(G) \mid x \in X \text{ e } y \notin X\}. \quad (2.3)$$

Convencionamos

$$\partial_G(v) := \partial_G(\{v\}). \quad (2.4)$$

¹<https://www.inf.ufpr.br/murilo/grafos/notas-de-aula.pdf> (acessado 30 Abril 2022)

O **grau** de um vértice v em um grafo G é o número de arestas de G incidentes em v , isto é,

$$\delta_G(v) := |\partial_G(v)|. \quad (2.5)$$

O **grau máximo** e o **grau mínimo** de um grafo G são denotados, respectivamente,

$$\Delta(G) := \max\{\delta_G(v) \mid v \in V(G)\}, \quad (2.6)$$

$$\delta(G) := \min\{\delta_G(v) \mid v \in V(G)\}. \quad (2.7)$$

Um grafo é **regular** se todos os seus vértices tem o mesmo grau. Quando todos os seus vértices tem grau k , é dito que o grafo é k -regular.

Um *conjunto independente* é um conjunto $X \subseteq V(G)$ onde nenhum vértice de X é vizinho de nenhum outro em G .

Uma *bipartição* de um grafo G é uma partição de $V(G)$ em até dois conjuntos independentes. Neste caso, cada um destes conjuntos independentes é chamado de parte da bipartição. Um grafo é **bipartido** se admite bipartição.

Um *passeio* em um grafo G é uma sequência (v_0, \dots, v_n) de vértices de G na qual vértices consecutivos são vizinhos em G , isto é, v_{i-1} e v_i são vizinhos, para todo $1 \leq i \leq n$. Se existe passeio de qualquer vértice para qualquer outro em um grafo G , então dizemos que esse grafo é *conexo*. Um **componente** de G é um subgrafo *conexo* maximal de G .

Utilizando o conceito de passeio, também conseguimos definir o conceito de **ciclo**: que é um passeio fechado de tamanho maior ou igual a 3, cujos vértices são todos distintos, exceto pelas pontas. É comum chamar o subgrafo induzido por um ciclo também de “ciclo” e indicar um ciclo de n vértices por C_n . Já um grafo sem ciclos (acíclico) conexo é uma **árvore** e um grafo em que cada componente é uma árvore é uma **floresta**.

Uma k -coloração (k -partição) de um grafo G é uma coloração (partição) de $V(G)$ em até k conjuntos independentes, onde k é um inteiro. Neste contexto, o **número cromático** de G é o menor inteiro k tal que G admite uma k -coloração e é denotado por $\chi(G)$.

3 TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo, serão analisados alguns trabalhos correlatos com a área de pesquisa que esta sendo abordada neste trabalho. Existem algumas aplicações que trabalham com visualização de grafos com o intuito de facilitar o aprendizado do aluno.

3.1 D3 GRAPH THEORY

D3 Graph Theory¹ é o sistema que esse trabalho de graduação foi baseado. O objetivo do sistema é auxiliar quem quer aprender Teoria de Grafos de forma interativa. O sistema é dividido em várias unidades de aprendizado, onde cada unidade ensina um conteúdo de Teoria de Grafos, com o *canvas* ao lado para tornar o aprendizado algo mais interativo (Figura 3.1). O nome da aplicação vem do fato do sistema utilizar o D3 (Bostock, 2021) para desenhar o grafo. No capítulo de Abordagem, as ideias desse sistema vão ser expandidas e será discutido sobre a proposta que este trabalho de graduação faz com base na aplicação D3 Graph Theory (seção 4.4).

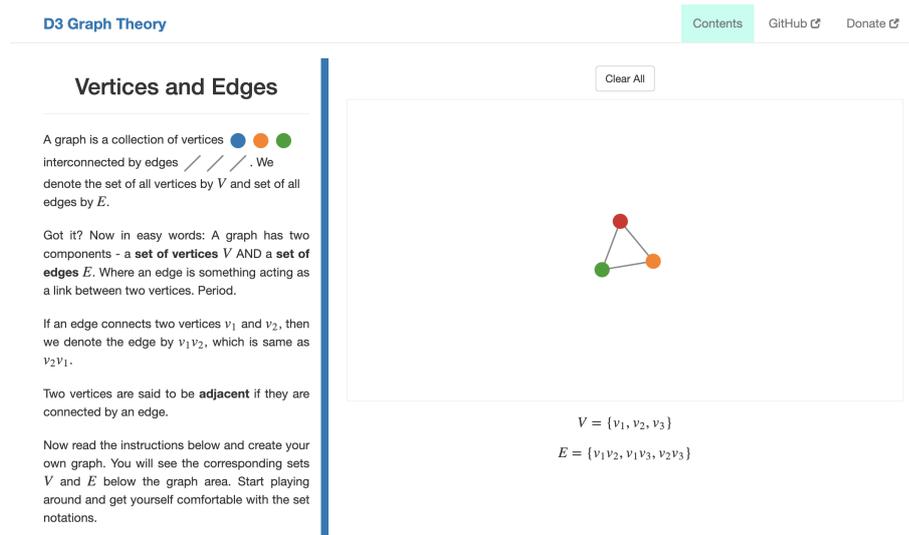


Figura 3.1: D3 Graph Theory

3.2 CSACADEMY GRAPH EDITOR

CSAcademy Graph Editor² (Figura 3.2) permite o usuário criar grafos (direcionados ou não) e visualiza-los. As interações com o grafo são limitadas ao "modo de edição" selecionada pelo usuário, então a criação/edição/remoção de vértices e arestas se torna lenta, por precisar de diversos passos, que não são intuitivos.

¹<https://d3gt.com/index.html> (acessado 01 Maio 2022) (Pandey, 2017)

²<https://csacademy.com/app> (acessado 01 Maio 2022)

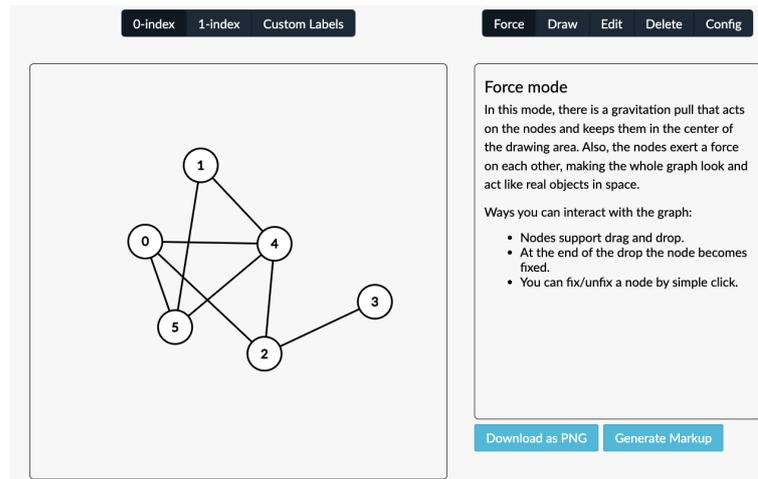


Figura 3.2: CSAcademy Graph Editor

3.3 VISUALGO

VisuAlgo³ (Figura 3.3) permite o usuário criar e visualizar grafos, com direção ou sem direção e com pesos ou sem pesos. Também exibe algumas propriedades do grafo, como: se o grafo é completo, bipartido, árvore, planar e acíclico. Também exibe a lista de arestas, lista de adjacência e matriz de adjacência. O sistema limita a quantidade de vértices para ter no máximo 10 vértices. As interações de criação de grafo não são fluídas ou intuitivas como o D3 Graph Theory (seção 3.1).

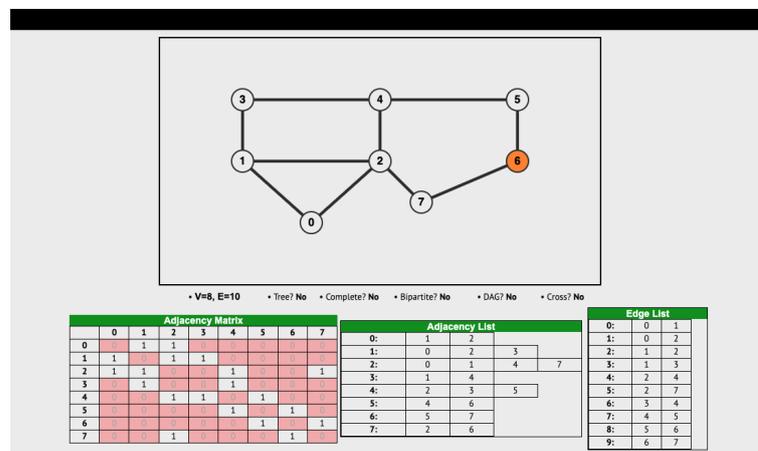


Figura 3.3: VisuAlgo

3.4 GRAPH ONLINE

Graph Online⁴ (Figura 3.4) permite o usuário criar e visualizar grafos, com direção ou sem direção e com pesos ou sem pesos. As interações de criação de grafo são burocráticas, lentas e não intuitivas. O objetivo principal do sistema é permitir o usuário visualizar, passo a passo, a execução de diversos algoritmos de busca no grafo criado.

³<https://visualgo.net/en/graphds> (acessado 01 Maio 2022)

⁴<https://graphonline.ru/en/> (acessado 01 Maio 2022)

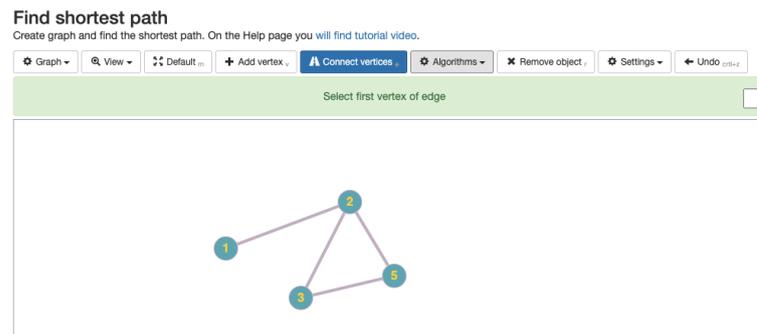


Figura 3.4: Graph Online

3.5 CONCLUSÃO

Podemos observar que das ferramentas descritas neste capítulo, um problema comum entre elas é a usabilidade delas, mais especificamente, elas são burocráticas na criação e edição de grafos (exceto a ferramenta D3 Graph Theory). Também conseguimos ver que a única ferramenta que tem como objetivo a exibição de diversas propriedades em relação ao grafo que está sendo exibido é a ferramenta VisuAlgo, mas são propriedades limitadas, além desta ferramenta não ter interações fluídas e intuitivas.

Com esse contexto, é possível apresentar a abordagem que este trabalho tem em relação a objetos de aprendizagem em Teoria de Grafos.

4 ABORDAGEM

O Rascunho de Grafo é uma ferramenta web de visualização de grafos e visualização de propriedades de grafos. O sistema permite que o usuário crie um grafo (não direcionado) de forma interativa, usando o mouse para criar os vértices e as arestas. Ao longo dessa interação é possível ver, em tempo real, diversas propriedades do grafo criado, escolhidas pelo usuário.

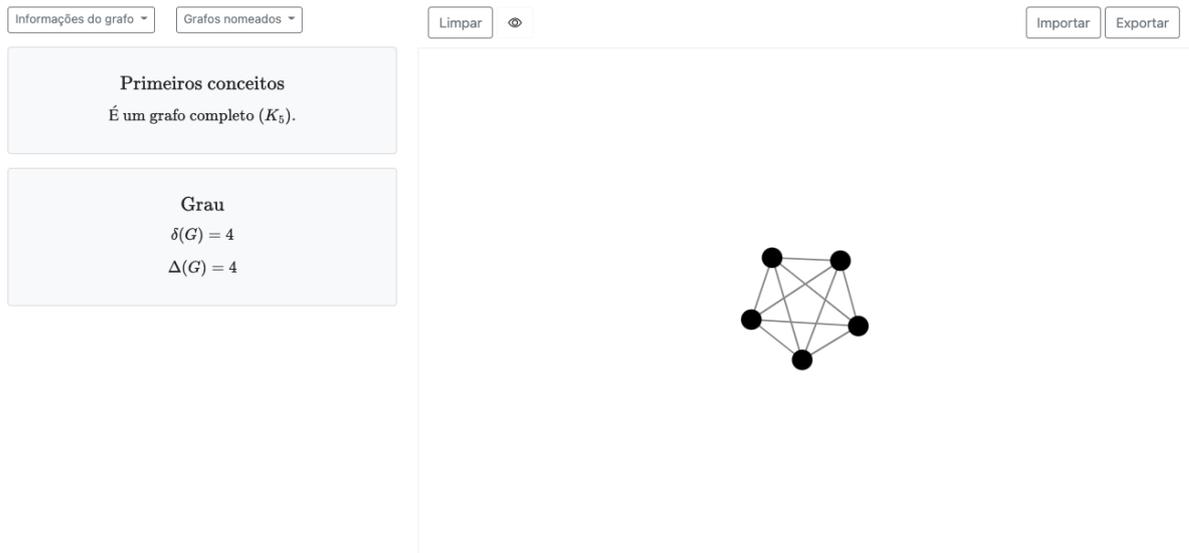


Figura 4.1: O sistema Rascunho de Grafo

4.1 DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA

Nessa seção irei descrever as funcionalidades da ferramenta, quais possíveis interações do usuário e como o sistema se comporta.

4.1.1 Interação com o grafo

O grafo é criado no *canvas* em branco na direita do sistema, como podemos ver na Figura 4.1. Existem algumas formas de criar um grafo no sistema. A forma mais comum e natural é com o usuário interagindo com o *canvas*. Segue a lista de interações que o usuário pode fazer na tela onde é desenhado o grafo:

- Criar vértice: Pressionar o botão esquerdo do mouse no espaço em branco.
- Criar aresta: Pressionar e segurar o botão esquerdo do mouse enquanto arrasta a linha de um vértice para outro.
- Remover vértice: Pressionar o botão direito do mouse em um vértice para remover o vértice do grafo.
- Remover aresta: Pressionar o botão direito do mouse em uma aresta para remover a aresta do grafo.

Além dessas interações que alteram o desenho do grafo, também é possível visualizar algumas informações de cada vértice (essas informações serão explicadas na seção Visualização de propriedades):

- Obter informações de vértice: Pressionar Ctrl + botão esquerdo do mouse em um vértice.

Todas essas interações são descritas em uma pequena nota de ajuda, logo abaixo do *canvas*. Essas dicas podem ser vistas na Figura 4.2.

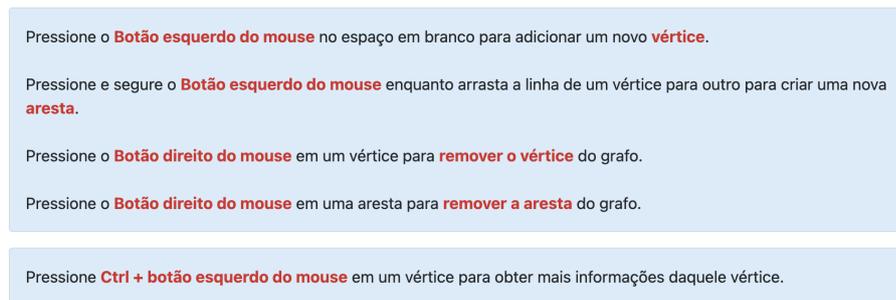


Figura 4.2: Dicas sobre as interações com o *canvas*.

Uma outra forma de testar alguns grafos sem precisar criá-los no *canvas* é utilizar o menu "Grafos nomeados", onde possui uma lista de grafos conhecidos que são bastante utilizados no estudo de Teoria de Grafos. A lista possui grafos completos, bipartidos e ciclos (Figura 4.3). Basta selecionar um desses grafos que o sistema vai desenhá-lo na tela imediatamente.

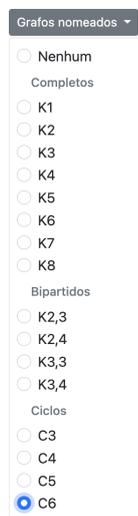


Figura 4.3: Lista de grafos nomeados

A última forma de criar grafos na ferramenta é a funcionalidade de importação. O sistema permite importar grafos a partir de arquivos no formato GraphML (Brandes et al., 2001). Também é possível exportar os grafos criados na ferramenta para um arquivo GraphML. A importação/exportação é limitada para ter somente os vértices e arestas e mais nenhuma informação sobre o grafo (cor de vértice, direção, etc).

Existe mais duas interações com o grafo: A possibilidade de limpar o grafo e a funcionalidade de exibir os IDs dos vértices (Figura 4.4). Para remover todos vértices e arestas do grafo basta pressionar o botão "Limpar" logo acima do *canvas*. Ao lado do botão "Limpar" existe o botão com ícone de visão que alterna entre exibir os IDs dos vértices ou não exibir (Figura 4.4).

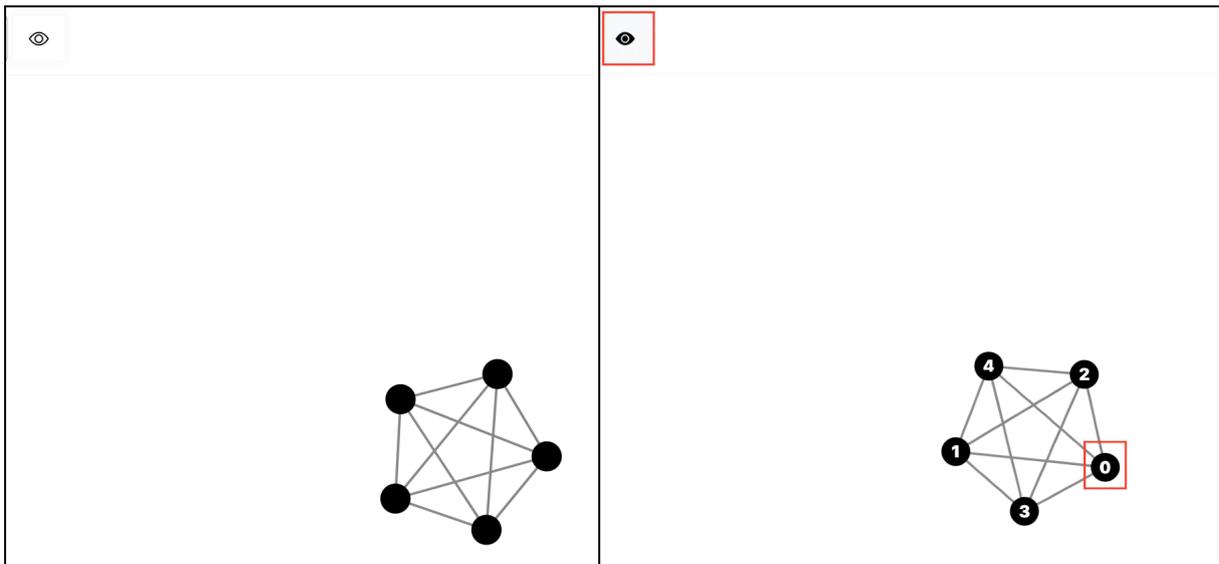


Figura 4.4: Exibição de IDs dos vértices.

4.1.2 Visualização de propriedades

A habilidade de visualizar informações do grafo e testar diversas propriedades do mesmo é essencial para a ferramenta de auxílio de estudo Grafos. Todas as propriedades podem ser exibidas ou escondidas, dependendo se o *checkbox* de certa informação está ativo ou não, e essas propriedades podem ser encontradas no menu "Informações do grafo" (Figura 4.5). Após selecionar informações no menu, as propriedades irão aparecer ao lado do *canvas* em blocos divididos pelo título do grupo de informações (Primeiros conceitos, Grau, Coloração/multipartição, Árvores, Conectividade) (Figura 4.6). Essas informações exibidas são atualizadas de acordo com as mudanças no grafo, onde é reavaliado as propriedades selecionadas a cada alteração no *canvas*. Segue a lista de informações e propriedades disponíveis no sistema:

- Conjuntos: Exibe o conjunto de vértice e o conjunto de arestas do grafo, e o tamanho desses conjuntos.
- Matriz de adjacência: Exibe a matriz de adjacência do grafo.
- Trivial: Identifica se o grafo é trivial ou não.
- Grafo completo: Identifica se o grafo é completo ou não. Também é exibido qual o tamanho do grafo completo (K_1 , K_2 , etc)
- Grau mínimo: Exibe o grau mínimo do grafo.
- Grau máximo: Exibe o grau máximo do grafo.
- K-regular: Identifica se o grafo é regular e qual seu K (2-regular, 3-regular, etc).
- Bipartido: Colore o grafo e identifica se o grafo é bipartido e mostra os conjuntos de cada partição, caso for bipartido.
- Número cromático: Colore o grafo e exibe o número cromático.
- Árvores: Identifica se o grafo é árvore/floresta ou não.
- Componentes: Exibe quantos componentes o grafo tem.

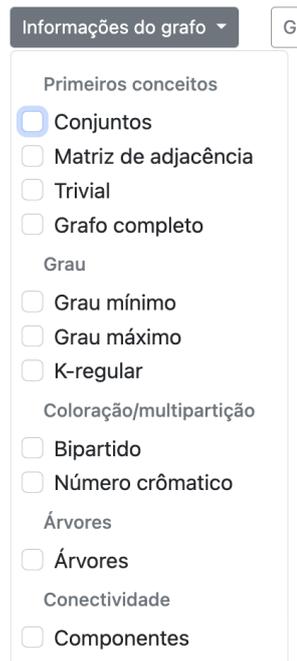


Figura 4.5: Lista de propriedades que o sistema permite visualizar

Primeiros conceitos

$V = \{v_0, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$

$E = \{(v_0v_1), (v_0v_2), (v_2v_3), (v_3v_5), (v_4v_1), (v_5v_4)\}$

$|V| = 6$

$|E| = 6$

Matriz de adjacência

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Não é um grafo trivial.

Não é um grafo completo.

Grau

$\delta(G) = 2$

$\Delta(G) = 2$

Grafo é 2-regular de ordem 6

Figura 4.6: Exemplo da visualização de propriedades.

4.2 ARQUITETURA

A aplicação foi desenvolvida para web, utilizando HTML, CSS e, principalmente, Javascript. Tudo foi desenvolvido para *client-side*, então a aplicação não possui *backend*.

Nessa aplicação a estrutura de dados do grafo é feita utilizando dois *arrays*, um de vértices e outro de arestas. É utilizado identificadores (ou *IDs*) para os vértices e para arestas.

Esses dados são armazenados no objeto da classe Graph, baseado no padrão *Singleton* (Gamma et al., 1994).

O projeto possui 4 módulos na sua arquitetura, que se comunicam entre si (Figura 4.7). Segue os módulos e seus objetivos:

- Módulo do grafo (Estrutura de dados do grafo): Definição da classe Graph, que define e controla a estrutura de dados do grafo. Esse módulo é o principal componente da aplicação, ele que controla as informações do grafo, comunica com os outros módulos, valida quando as propriedades devem ser recalculadas, quando deve ser renderizado novamente o desenho do grafo, entre outras funções.
- Desenhador do grafo: Módulo que "desenha" o grafo no *canvas* na interface do usuário. O desenho é feito com a biblioteca D3 (Bostock, 2021), que permite transpor dados para SVG dinamicamente no DOM do website.
- Calculador de propriedades: Módulo que possui os algoritmos para identificar as propriedades do grafo que foram selecionadas. Após o cálculo de propriedade, este módulo retorna a renderização no formato LaTeX em HTML. Essa renderização é feita utilizando a biblioteca MathJax (Cervone, 2004)
- Sistema de importação/exportação: Módulo que traduz os dados do primeiro módulo para o formato de arquivo GraphML (Brandes et al., 2001) e, também, traduz arquivos no formato GraphML para a estrutura de dados usada na aplicação, utilizando um *parser* de arquivos GraphML/XML.

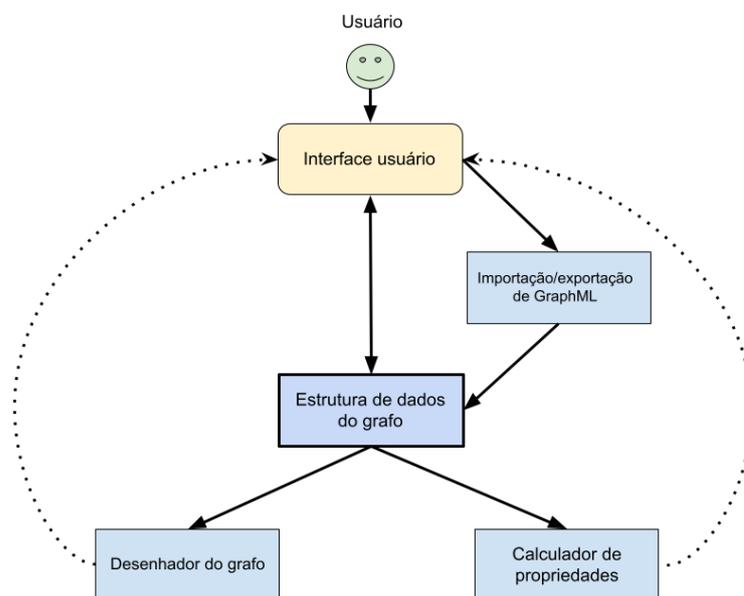


Figura 4.7: Arquitetura do software

4.3 CENÁRIO DE USO

Como o Rascunho de Grafo é uma ferramenta de auxílio para ajudar os estudantes a entenderem conceitos de Teoria dos Grafos, então a melhor forma de exemplificar o uso do

sistema é fazendo um exercício que precise da visualização de grafos e que precise entender alguma propriedade. Será utilizado o exercício 54 das notas de aula da matéria Teoria de Grafos de 2022¹. O exercício pode ser visto na Figura 4.8.

Descreva em palavras os grafos k -regulares para $k \in \{0, 1, 2\}$.

Figura 4.8: Exercício de notas de aula da matéria Teoria de Grafos.

Nesse exercício o aluno deve criar grafos κ -regulares para $\kappa \in \{0, 1, 2\}$ e descreve-los. Primeiro o aluno irá ativar a propriedade "K-regular" no menu de "Informações do grafo" (Figura 4.9). Após isso, ele vai tentar criar os grafos pedidos no *canvas*, verificando se está respeitando a propriedade de grafo regular através da informação que a ferramenta exibe (Figura 4.10).



Figura 4.9: Propriedade K-regular.

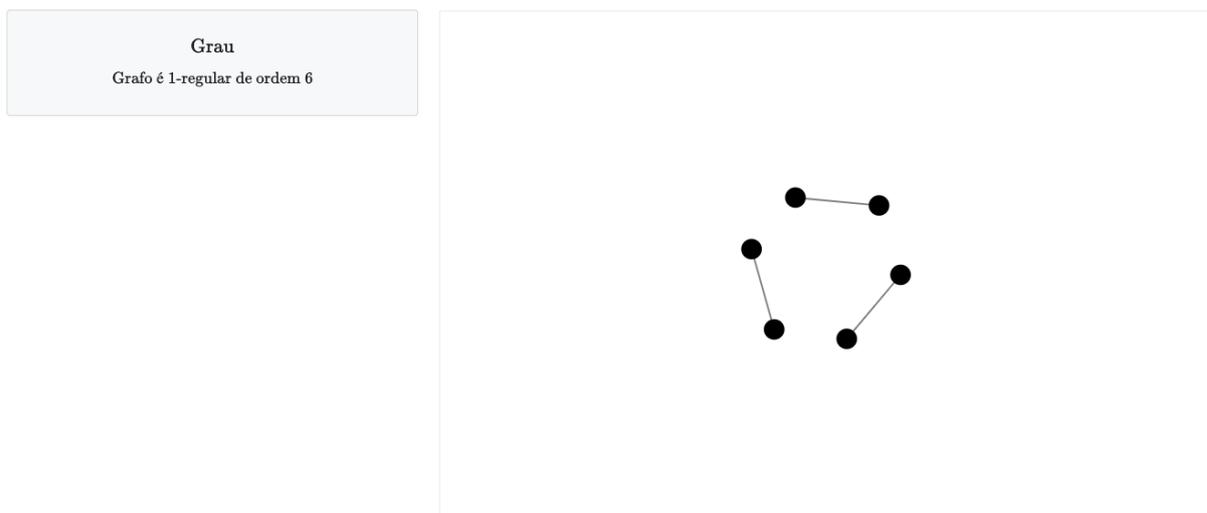


Figura 4.10: Grafo 1-regular.

Com os desenhos dos grafos feitos de forma correta (validados pelo próprio sistema), o aluno deve conseguir descrever a aparência desses grafos.

¹<https://www.inf.ufpr.br/murilo/grafos/notas-de-aula.pdf> (acessado 30 Abril 2022)

4.4 DISCUSSÃO DA ABORDAGEM

É importante comparar o Rascunho de Grafo com outras aplicações que propõem o auxílio no aprendizado de Teoria de Grafos, para entendermos a motivação por trás desse trabalho de graduação. A aplicação mencionada na seção 3.1 foi a base para este trabalho, principalmente em relação ao sistema de desenho do grafo e como o usuário interage com esse grafo. Apesar disso, os objetivos dos sistemas são diferentes. O objetivo do D3 Graph Theory é ter unidades de aprendizagem onde é ensinado um conceito por vez, e para cada unidade existe um *canvas* diferente com interações diferentes. As interações do aluno no grafo são limitadas à unidade e a visualização de propriedades está limitada somente para as propriedades referentes àquela unidade. O objetivo do D3 Graph Theory é ensinar conceitos específicos, de forma controlada.

O Rascunho de Grafo tem um objetivo diferente, a ideia é que o aluno use a ferramenta em conjunto com as aulas e exercícios da matéria, para auxiliar em sua jornada de aprendizado. É um objeto de aprendizagem que se propõe a ser um *playground* de grafos, onde o aluno pode criar qualquer grafo e ter uma resposta imediata sobre as propriedades desse grafo.

4.5 CONCLUSÃO

Com a descrição da ferramenta, descrição da arquitetura e exemplo de uso, a proposta do Rascunho de Grafo fica bem mais clara. A ferramenta é simples, intuitiva e altamente interativa, também é uma ferramenta que se propõe a ser usada ao lado do material principal de estudo de Teoria de Grafos, é um suporte para alunos visualizarem os diversos conceitos que muitas vezes são complexos ou difíceis de entender numa primeira introdução.

5 AVALIAÇÃO

Neste capítulo será descrita a metodologia que foi adotada para realizar a experimentação da ferramenta. Os dados obtidos serão apresentados, caracterizados e em seguida será feita uma discussão acerca dos resultados.

5.1 METODOLOGIA

A metodologia de avaliação utilizada foi o método de avaliação de sentimento da ferramenta, essa metodologia constitui em fazer uma sessão de teste com diversos alunos individualmente e, após a sessão de teste da ferramenta, os alunos avaliam o sistema através de um formulário de análise de sentimento em relação à ferramenta. A sessão de teste é feita em três passos: Introdução à ferramenta, exercícios com auxílio da ferramenta e formulário de avaliação.

A introdução à ferramenta é o passo onde eu, como orientador da sessão de avaliação, apresento a ferramenta, descrevendo qual o propósito da ferramenta e as possíveis ações que o aluno pode fazer dentro do sistema. É um curto tutorial de como utiliza a ferramenta, de 3-5 minutos aproximadamente. Serve para o estudante se familiarizar e saber como interagir com a ferramenta.

O segundo passo da sessão de teste consiste na aplicação de exercícios para o aluno resolver. São 4 exercícios que foram tirados diretamente das lista de exercícios das notas de aulas da matéria de Teoria de Grafos da UFPR¹ e 1 exercício da USP². Esses exercícios podem ser visto na Figura 5.1.

O último passo é a avaliação, onde o testador responde questões em uma escala de 1 a 7, onde 1 significa que o avaliador concorda totalmente e 7 significa que o avaliador discorda totalmente. Pode ser visto um exemplo de pergunta presente no formulário na Figura 5.2. Esse sistema de avaliação com escala foi baseado no TAM (Davis, 1989), por ser um modelo bem utilizado para verificar aceitação de tecnologia através dos usuários. Segue a lista de significados dos valores da escala TAM:

- 1: Concordo totalmente
- 2: Concordo
- 3: Concordo um pouco
- 4: Neutro
- 5: Discordo um pouco
- 6: Discordo
- 7: Discordo totalmente

5.2 RESULTADOS

Com o entendimento de como foi feito o estudo de aceitação da ferramenta Rascunho de Grafo, agora é possível visualizar e discutir os resultados dessa avaliação.

¹<https://www.inf.ufpr.br/murilo/grafos/notas-de-aula.pdf> (acessado 30 Abril 2022)

²<https://www.ime.usp.br/pf/grafos-exercicios/texto/ETG.pdf> (acessado 30 Abril 2022)

Exercício 1

Quantas arestas tem um grafo completo de n vértices? Justifique sua resposta.

Exercício 2

Existe algum grafo não trivial em que todos os vértices tem graus distintos? Justifique.

Exercício 3

Descreva em palavras os grafos k -regulares para $k \in \{0, 1, 2\}$.

Exercício 4

(10 pontos) Seja T uma árvore e sejam u e v dois vértices que não são vizinhos em T . Que valores pode ter o número cromático de $T + \{u, v\}$?

Exercício 5

Que aparência tem a matriz de adjacências de um grafo bipartido?

Figura 5.1: Exercícios utilizados para a avaliação.

A aplicação me ajudou a aprender conceitos de Grafos *

1 2 3 4 5 6 7

Concordo totalmente Discordo totalmente

Figura 5.2: Questão presente na avaliação de sentimento da ferramenta

5.2.1 Sobre o conhecimento do testador

Nessa seção do formulário o testador nos dá informações sobre seu conhecimento em Teoria de Grafos (autoavaliação do testador) e sua relação com essa área de estudo. Segue os resultados:

- 66,7% dos testadores **concordam** com a afirmação "Já tenho domínio sobre os conceitos de Grafos apresentados nesse sistema" e 33,3% **concordam um pouco** com essa afirmação.

- Na afirmação "Tenho dificuldade para entender conceitos de Grafos" os testadores: 33,3% **concordam**, 16,7% **concordam um pouco**, 33,3% **discordam um pouco** e 16,7% **discordam totalmente**.
- Na afirmação "Tenho dificuldade em visualizar propriedades de Grafos" os testadores: 50,0% **concordam um pouco**, 16,7% **discordam um pouco** e 33,3% **discordam**.
- Na afirmação "Gosto de aprender sobre grafos" todos os testadores responderam com respostas diferentes, somente a opção "Discordo totalmente" não foi escolhida.

5.2.2 Sobre a eficácia da aplicação

Essa é a seção principal do formulário, onde o testador avalia a utilidade da ferramenta. Segue os resultados:

- 66,7% dos testadores **concordam totalmente** com a afirmação "A aplicação me ajudou a aprender conceitos de grafos" e 33,3% simplesmente **concordam** com essa afirmação. (Figura 5.3)

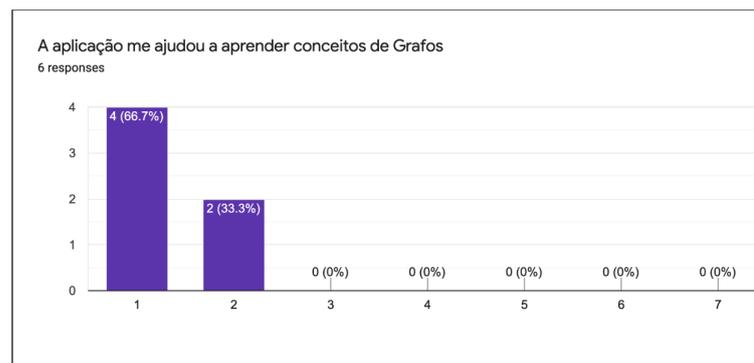


Figura 5.3: A aplicação me ajudou a aprender conceitos de Teoria de Grafos

- 83,3% dos testadores **concordam totalmente** com a afirmação "A aplicação é útil para estudar Grafos" e 16,7% simplesmente **concordam** com essa afirmação.
- 100% dos testadores **concordam totalmente** com a afirmação "Com a aplicação é fácil visualizar as propriedades do grafo".
- 100% dos testadores **concordam totalmente** com a afirmação "Com a aplicação é fácil visualizar e desenhar grafos".
- 66,7% dos testadores **concordam totalmente** com a afirmação "A aplicação me ajudou a resolver os exercícios oferecidos" e 33,3% simplesmente **concordam** com essa afirmação.
- Na questão "Quais propriedades/informações você achou mais útil?", a propriedade mais selecionada foi "K-regular". Para melhor visualização veja Figura 5.4
- Na questão "O que você achou da aplicação para estudar Grafos?", que era uma questão aberta para os testadores responderem em texto livre, as respostas podem ser divididas em algumas categorias:

Melhorias no funcionamento ou adição de funcionalidades:

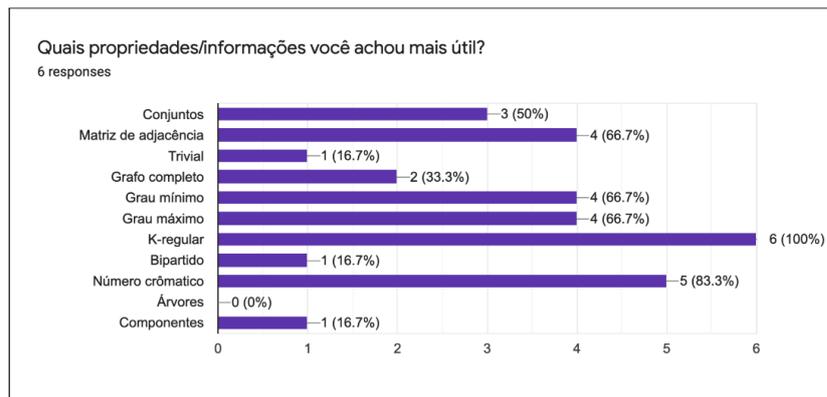


Figura 5.4: A aplicação me ajudou a aprender conceitos de Teoria de Grafos

“Algo que poderia ser melhorado é a possibilidade de arrastar os nodos do grafo pela tela. Outra melhoria natural, mas talvez complexa, poderia ser a adição de cálculo de distância mínima/máxima no grafo.”

Correção de *bugs*:

“O único bug encontrado foi a falha na remoção de algumas arestas.”

E comentários positivos sobre a ferramenta:

“Gostei da facilidade em visualizar conceitos abstratos e informações importantes, assim como interagir com os modelos. Uma ótima ferramenta de aprendizagem dos fundamentos da matéria de grafos.”

Todos os testadores fizeram comentários positivos e não parece ter comentários que discordam da premissa da ferramenta (ou comentários negativos), mas o seguinte comentário demonstra uma característica importante do sistema:

“(…) Embora ainda seja necessário certo domínio de alguns conceitos de grafos para resolver e entender as questões, a aplicação auxilia na visualização dos conceitos e no entendimento das propriedades de grafos. (…)”

Este comentário será discutido melhor na próxima seção (Seção 5.3).

5.2.3 Sobre a usabilidade da aplicação

Nessa seção é avaliado especificamente a usabilidade da aplicação. Segue os resultados:

- 66,7% dos testadores **concordam totalmente** com a afirmação "Achei fácil de usar a aplicação" e 33,3% simplesmente **concordam** com essa afirmação.
- 83,3% dos testadores **concordam totalmente** com a afirmação "Minhas interações com a aplicação são claras e compreensíveis" e 16,7% simplesmente **concordam** com essa afirmação.

5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analisando as respostas é seguro dizer que os sentimentos em relação ao Rascunho de Grafo foram positivas. Todos os comentários disseram algo positivo sobre a ferramenta e, analisando as respostas sobre a eficácia da ferramenta (Seção 5.2.2), conseguimos tirar algumas conclusões:

- A aplicação facilita a visualização de propriedades do grafo;
- A aplicação facilita a visualização de grafos e desenhar grafos;
- A aplicação é útil para estudar Teoria de Grafos;
- As propriedades mais úteis que a aplicação oferece são: K-regular, Número cromático, Grau mínimo, Grau máximo e Matriz de adjacência;

Duas questões nessa seção tiveram menos respostas "Concordo totalmente" do que as outras, e as questões foram "A aplicação me ajudou a aprender conceitos de grafos" e "A aplicação me ajudou a resolver os exercícios oferecidos". Essas duas afirmações receberam 66,7% de testadores que **concordam totalmente**. As duas afirmações possuem uma característica em comum, e a característica é que as respostas dessas afirmações vão ser relativas ao nível de conhecimento sobre Teoria de Grafos do testador, já que se o testador tiver domínio sobre certos conceitos dos exercícios oferecidos, então o testador não vai aprender novos conceitos e não irá precisar de ajuda da ferramenta para resolver os exercícios oferecidos. Logo, é possível que esses testadores já tinha domínio sobre os conceitos dos exercícios. De qualquer forma, a resposta dessas duas afirmações ainda são positivas, vendo que esses 33,7% responderam que **concordam** com as afirmações.

A primeira seção do questionário (Seção 5.2.1) tem o objetivo de verificar se existe diferenças nos resultados de eficácia para tipos de alunos diferentes. Todos os testadores parecem ter algum conhecimento em Teoria de Grafos, mas os testadores tem diferentes níveis de interesse na matéria e diferentes níveis de dificuldade na matéria. Como os resultados de eficácia da ferramenta foram consistentemente positivos, isso nos informa que independente de dificuldade pessoal ou interesse em Teoria de Grafos, a ferramenta consegue ser útil. Mas como todos os testadores tinham algum nível de conhecimento na matéria, não foi possível verificar se a ferramenta pode ser útil para um completo iniciante na matéria.

O que nos traz para um dos comentários de um testador (final da seção 5.2.2), onde o testador afirma que "é necessário certo domínio de alguns conceitos de grafos". Combinando esse comentário com a falta de testadores com pouco domínio em Teoria de Grafos, é possível fazer a conjectura que a ferramenta não será útil para alunos que ainda não começaram a estudar Grafos, mas como a situação não foi testada, essa hipótese ainda é inconclusiva.

A última seção do questionário (Seção 5.2.3) nos dá informações em relação a usabilidade do sistema e, analisando as respostas, é seguro dizer que os sentimentos sobre a usabilidade da ferramenta são positivas.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho de graduação, foi apresentado a ferramenta Rascunho de Grafo, que tem como objetivo o auxílio no aprendizado de alunos na matéria de Teoria de Grafos. De forma a facilitar a visualização de conceitos que são, inicialmente, abstratos de Grafos. Através dessa ferramenta, é esperado que estudantes consigam aprender conceitos com maior facilidade e usem a ferramenta para auxiliá-los na resolução de exercícios.

Após testes com alunos de Teoria de Grafos na UFPR, para avaliar o sentimento deles sobre a ferramenta, chegamos em respostas positivas. O sentimento geral de todos os testadores foi de extrema positividade em relação ao uso da ferramenta para facilitação do aprendizado nos conceitos de Grafos. Poderia se dizer que os alunos gostariam de ter essa ferramenta disponível para utilizar desde o início do estudo da matéria de Grafos, e a ferramenta pode ser expandida cada vez mais. Mas também é bom lembrar que com o método de avaliação usado neste trabalho não é possível medir a eficácia real da ferramenta, mas sim o sentimento dos alunos em relação a esta ferramenta.

Utilizando os resultados da avaliação, também é possível observar que com a ferramenta é fácil de visualizar grafos e suas propriedades. O sistema parece ser intuitivo, de acordo com as respostas sobre usabilidade. O último resultado importante é que os alunos acreditam que esta ferramenta seria útil para estudar Teoria de Grafos.

Neste trabalho, foi visto os trabalhos correlatos que estão disponíveis para auxiliar estudantes, oferecendo mais clareza sobre o contexto onde este trabalho está inserido. Foi proposto a abordagem que este trabalho tem para um objeto de aprendizagem para Grafos e, finalmente, esta ferramenta foi avaliada, validando a abordagem proposta. Com isso, os objetivos deste trabalho de graduação foram atingidos.

6.1 PROPOSTAS FUTURAS

Nesta seção, será discutido os passos futuros desta ferramenta, correções que devem ser feitas, novas funcionalidades, novas propriedades e melhorias gerais na experiência.

6.1.1 Correções

Primeiramente, o próximo passo no desenvolvimento da ferramenta deve ser a correção de *bugs*. Através da avaliação feita pelos alunos e testes gerais realizados, foram encontrados dois problemas:

- Arestas não são removidas ao pressionar o comando de remoção de aresta (Botão direito do mouse);
- Dependendo do grafo desenhado, o número cromático resultante está errado (o grafo é colorido com uma cor a mais do que o mínimo necessário).

6.1.2 Novas propriedades e funcionalidades

Como este trabalho é um protótipo desta ferramenta, ainda existem muitas outras propriedades e funcionalidades que podem auxiliar ainda mais o aluno, como:

- Permitir a visualização de grafos direcionados, e alterar as propriedades de acordo;

- Permitir mover vértices no *canvas* para personalizar a visualização do usuário;
- Permitir que ao usuário mover o mouse por cima de um símbolo/palavra utilizado em Teoria de Grafos, informações sobre aquele assunto (por exemplo, o significado do símbolo δ) serão exibidas.
- Ser possível de visualizar o grafo complementar;
- Ser possível verificar se grafos são isomorfos;
- Ser possível verificar conjuntos independentes;
- Ser possível verificar cliques;
- Ser possível verificar a distância entre dois vértices escolhidos pelo usuário;
- Ser possível verificar o diâmetro do grafo;
- Ser possível verificar a cintura do grafo;
- Ser possível verificar a aresta-conexidade do grafo;
- Ser possível verificar a vértice-conexidade do grafo;
- Ser possível verificar o trilha/grafos euleriano;
- Ser possível verificar ciclos/grafos hamiltoniano;
- Ser possível verificar coloração de arestas (emparelhamento);
- Ser possível verificar planaridade.

6.1.3 Melhorias na experiência

Além de informações e ações que o usuário pode ter, é importante que a ferramenta ofereça uma experiência boa (um dos grandes problemas de outras ferramentas parecidas), através de melhorias, como:

- Melhorias na UI;
- Melhorias na seleção de informações sobre o grafo;
- Permitir ativar *Dark Mode*: Modo "noturno", onde o sistema altera o esquema de cores para cores mais escuras e com brilho reduzido. É uma funcionalidade para melhorar a experiência do usuário no sistema, cada vez mais comum em qualquer sistema web/mobile;
- Tutorial mais dinâmico.

REFERÊNCIAS

- Bostock, M. (2021). Data-driven documents. <https://d3js.org/>. Acessado em 01/05/2022.
- Brandes, U., Eiglsperger, M., Lerner, J. e Pich, C. (2001). *Graph Markup Language (GraphML)*. CRC Press.
- Cervone, D. (2004). Mathjax. <https://mathjax.org/>. Acessado em 01/05/2022.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3):319–340.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. e Vlissides, J. (1994). Design patterns : elements of reusable object-oriented software. <https://archive.org/details/designpatternsel00gamm/page/127/mode/2up>. Acessado em 01/05/2022.
- Pandey, A. (2017). D3 graph theory. <https://d3gt.com/index.html>. Acessado em 01/05/2022.