



## **Relatório do Projeto**

### **Parte 2**

Nome do Integrante	RA
Cesar Hideki Imai	10402758
João Victor Dallapé Madeira	10400725
David Varão Lima Bentes Pessoa	10402647
André Franco Ranieri	10390470

# **Aplicação com busca semântica e representação de grafos**

Definição do problema.....	2
Descrição textual.....	2
Transformer.....	2
Codificador.....	3
Busca vetorial.....	3
Componentes importados.....	5
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	5
Educação de qualidade.....	5
Indústria, inovação e infraestrutura.....	5
Testes de execução.....	6
Ler dados do arquivo.....	6
Gravar dados no arquivo grafo.txt.....	7
Inserir vértice.....	8
Inserir aresta.....	9
Remover vértice.....	10
Remover aresta.....	11
Exibir grafo.....	12
Exibir matriz.....	13
Apresentar a conexidade do grafo.....	14
Encerrar a aplicação.....	15
Buscar um índice pela palavra.....	16
Buscar uma palavra pelo índice.....	17
Fazer busca vetorial.....	18
Exibir grafo colorido.....	19
Exibir árvore parcial de custo mínimo.....	20
Apresentar caminho hamiltoniano.....	21
Apêndice.....	22



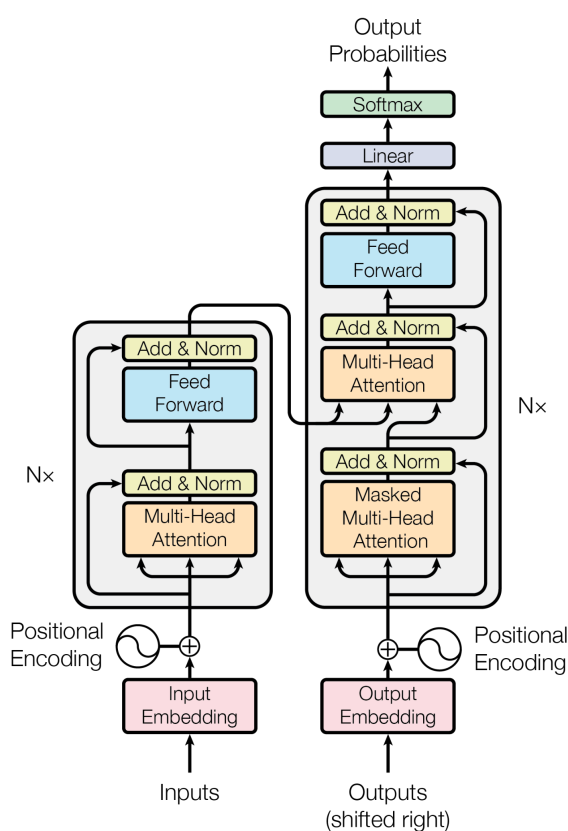
## Definição do problema

O objetivo é utilizar a representação de grafos para uma melhor visualização acerca da busca semântica de palavras. A busca semântica é muito útil para consultas de dados não estruturados em que é necessário considerar o contexto e a relação entre diferentes itens. Exemplos de aplicações incluem a ferramenta de pesquisa do Google, *chatbots* como o ChatGPT e algoritmos de recomendação do YouTube.

## Descrição textual

### *Transformer*

A arquitetura *Transformer* foi um modelo de rede neural introduzida no artigo [Attention is All You Need](#). Essa arquitetura contribuiu para avanços significativos no campo de processamento de linguagem natural (NLP), através da aplicação do mecanismo de auto-atenção e da codificação posicional. Também ela serviu de base para o desenvolvimento de grandes modelos de linguagem (LLMs), componentes fundamentais para a implementação de *chatbots*, como o ChatGPT e o Gemini.



Arquitetura *Transformer* (VASWANI et al., 2017, p. 3)



# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira

Teoria dos Grafos



O mecanismo de auto-atenção permite extrair a relação de uma palavra com outras palavras do mesmo texto ao ser processada. O que é importante para capturar dependências entre palavras, não importando a sua distância na sequência.

Já a técnica de codificação posicional é usada para inserir informações sobre a posição dos *tokens* dentro de uma sequência. O que foi essencial para permitir o processamento paralelo na arquitetura *Transformer*.

## Codificador

Os codificadores são modelos de linguagem usados para:

- **Tokenização** - É o processo de dividir um texto em unidades menores, chamadas de *tokens*. Esses *tokens* podem ser palavras, subpalavras, caracteres ou até mesmo frases, dependendo do contexto e da aplicação.
- **Embedding** - É o processo de converter *tokens* em vetores numéricos multidimensionais. Esses vetores capturam informações semânticas e contextuais dos *tokens*. *Embeddings* permitem que modelos de aprendizado de máquina compreendam o significado dos *tokens*.
- **Outras tarefas** - Como classificação de textos, detecção de entidades nomeadas (NER) e análise de tópicos.

O modelo de codificador BERTimbau é uma versão do modelo BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) que foi treinada com o *dataset* BrWaC (Brazilian Web as Corpus) entre outros dados em português. A pesquisa [BERTimbau: Pretrained BERT Models for Brazilian Portuguese](#) mostrou que a especialização do modelo em português contribuiu para um aumento na performance em comparação com a versão multilíngue mBERT.

## Busca vetorial

A busca vetorial é uma técnica de recuperação de informações que utiliza *embeddings*. Ao invés de procurar correspondências exatas de palavras-chave, a busca vetorial se baseia em similaridade semântica.

Principais métodos para medir similaridade:

- **Similaridade por Cosseno** - Medida de similaridade que calcula o cosseno do ângulo entre dois vetores no espaço multidimensional.

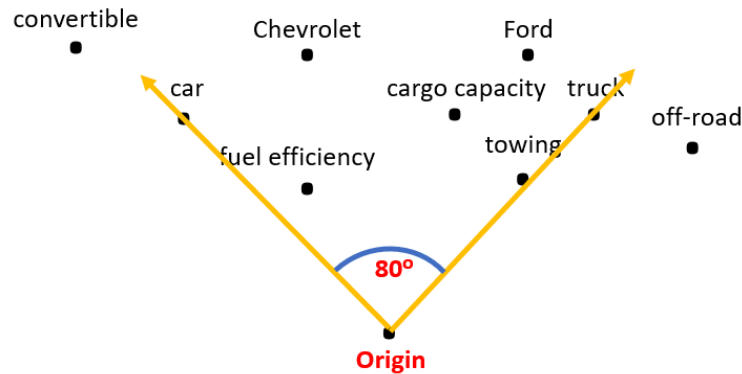
$$\cos(\theta) = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{\|\mathbf{A}\| \|\mathbf{B}\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}}$$



# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

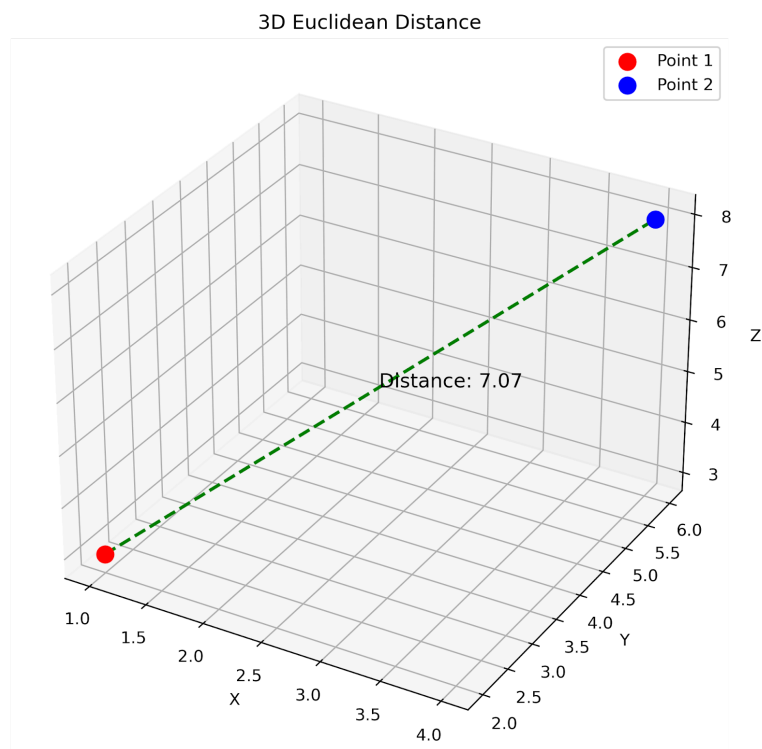
Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:CosineSimilarity.png>

- **Distância Euclidiana** - Medida de similaridade que calcula a reta entre dois pontos em um espaço multidimensional.

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (b_i - a_i)^2}$$



Fonte: <https://www.datacamp.com/pt/tutorial/euclidean-distance>



# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



### Componentes importados

- **sentence-transformers** - É um pacote que fornece ferramentas para usar modelos de *Transformers* para criar representações vetoriais (*embeddings*) e fazer buscas vetoriais.
- **requests** - É um módulo para fazer requisições HTTP.
- **pyvis** - É uma biblioteca para visualização de grafos interativos.
- **time** - É uma biblioteca para acessar e manipular o tempo.
- **ipywidgets** - É uma biblioteca para criar interfaces interativas no Jupyter Notebook.
- **IPython.display** - É um módulo para exibir e controlar saídas no Jupyter Notebook.

### Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



### Educação de qualidade

O projeto contribui como ferramenta de estudo para *Large Language Models* (LLMs), modelos que processam linguagem natural e que são essenciais para sistemas de *chatbots*.

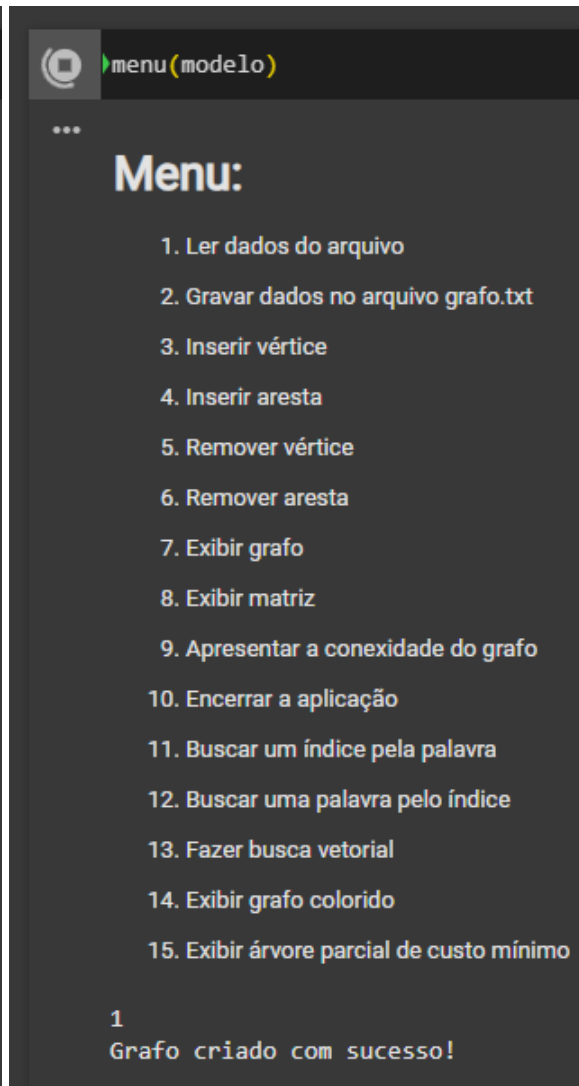
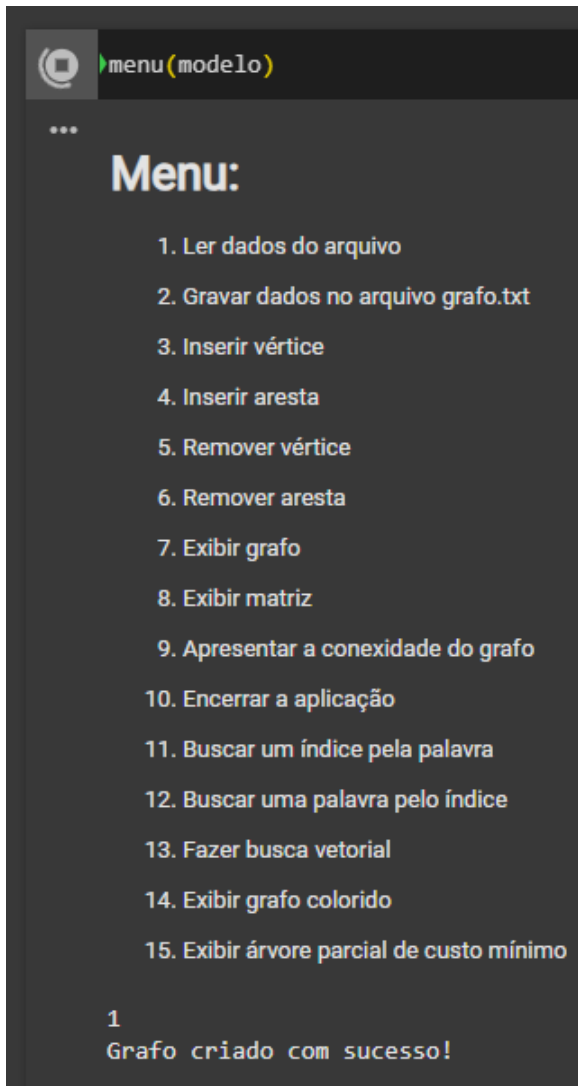
### Indústria, inovação e infraestrutura

O projeto se propõe a facilitar as análises de relações semânticas com representações de grafos. O que pode auxiliar na análise de balanceamento de pesos de LLMs.



## Testes de execução

Ler dados do arquivo





# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



Gravar dados no arquivo grafo.txt

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

2
Os dados foram salvos no arquivo 'grafo.txt'.|
```

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

2
Os dados foram salvos no arquivo 'grafo.txt'.|
```




# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



Inserir vértice

 menu(modelo)

...

**Menu:**

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

3

Palavra a ser inserida: Maritaca  
Vértice inserido com sucesso!

 menu(modelo)

...

**Menu:**

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

3

Palavra a ser inserida: Maritaca  
[Erro: vértice já existe]





## Inserir aresta

```
menu(modelo)
```

...

### Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

4

```
Insira o índice de origem: 10
Insira o índice de destino: 0
Insira o peso: 0.5
Aresta inserida com sucesso!
```

```
menu(modelo)
```

...

### Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

4

```
Insira o índice de origem: 10
Insira o índice de destino: 1
Insira o peso: 0.8
Aresta inserida com sucesso!
```



## Remover vértice

```
menu(modelo)
```

...

### Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

5  
Insira o índice do vértice: 9  
Vértice removido com sucesso!

```
menu(modelo)
```

...

### Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

5  
Insira o índice do vértice: 100000  
[Erro: vértice não existe]



Remover aresta

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

6
Insira o índice de origem: 0
Insira o índice de destino: 1
Aresta removida com sucesso!
```

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

6
Insira o índice de origem: 10000
Insira o índice de destino: 0
[Erro: vértice não existe]
```



# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



### Exibir grafo

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

7
grafo.html

Grafo não-direcionado rotulado com 9 vértices e 15 arestas
O grafo visual foi criado no arquivo 'grafo.html'.
```

```
menu(modelo)

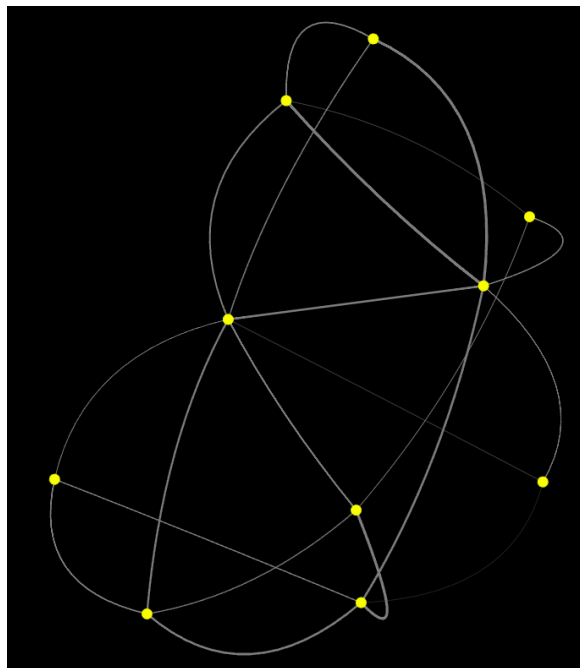
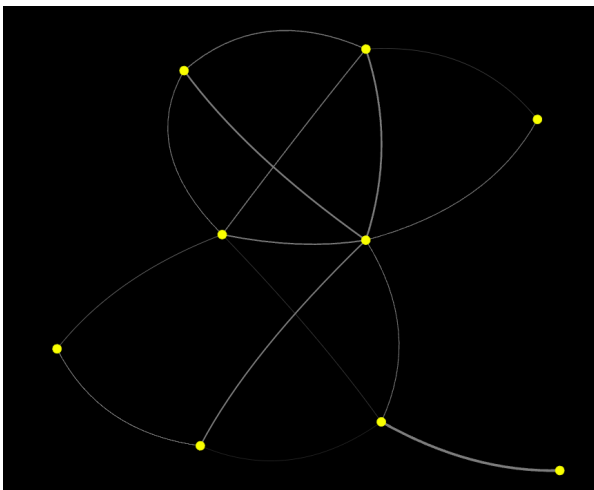
...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

7
grafo.html

Grafo não-direcionado rotulado com 10 vértices e 21 arestas
O grafo visual foi criado no arquivo 'grafo.html'.|
```





# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



### Exibir matriz

6. Remover aresta

7. Exibir grafo

8. Exibir matriz

9. Apresentar a conexidade do grafo

10. Encerrar a aplicação

11. Buscar um índice pela palavra

12. Buscar uma palavra pelo índice

13. Fazer busca vetorial

14. Exibir grafo colorido

15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

8

n: 9 m: 15

0.00	0.00	0.00	0.67	0.70	0.00	0.68	0.00	0.00
0.00	0.00	0.71	0.00	0.75	0.00	0.70	0.00	0.00
0.00	0.71	0.00	0.00	0.76	0.00	0.72	0.68	0.00
0.67	0.00	0.00	0.00	0.74	0.70	0.00	0.00	0.00
0.70	0.75	0.76	0.74	0.00	0.00	0.73	0.70	0.00
0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00
0.68	0.70	0.72	0.00	0.73	0.69	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.68	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

fim da impressao do grafo.

Aperte ENTER para continuar

8. Exibir matriz

9. Apresentar a conexidade do grafo

10. Encerrar a aplicação

11. Buscar um índice pela palavra

12. Buscar uma palavra pelo índice

13. Fazer busca vetorial

14. Exibir grafo colorido

15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

8

n: 10 m: 21

0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.72	0.69	0.70
0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.70	0.00	0.68	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.75	0.00	0.70	0.00	0.00
0.00	0.00	0.71	0.00	0.00	0.76	0.00	0.72	0.68	0.00
0.75	0.67	0.00	0.00	0.00	0.74	0.70	0.00	0.00	0.73
0.00	0.70	0.75	0.76	0.74	0.00	0.00	0.73	0.70	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.69	0.00	0.71
0.72	0.68	0.70	0.72	0.00	0.73	0.69	0.00	0.00	0.73
0.69	0.00	0.00	0.68	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
0.70	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.71	0.73	0.00	0.00

fim da impressao do grafo.

Aperte ENTER para continuar




# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



Apresentar a conexidade do grafo

 menu(modelo)


...

**Menu:**

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

9

0 grafo é conexo.|

 menu(modelo)

...

**Menu:**

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

9

[Erro: Grafo não criado]



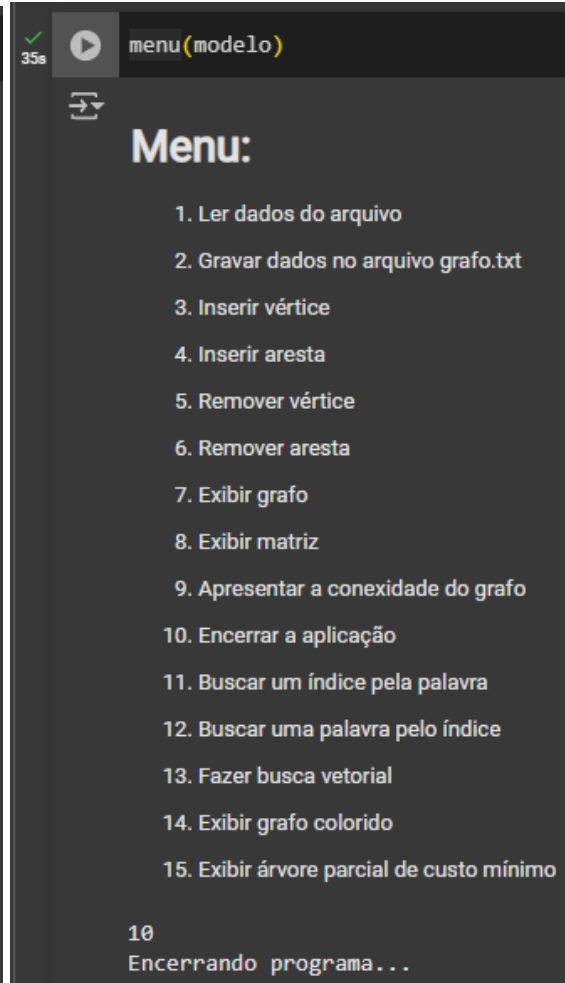
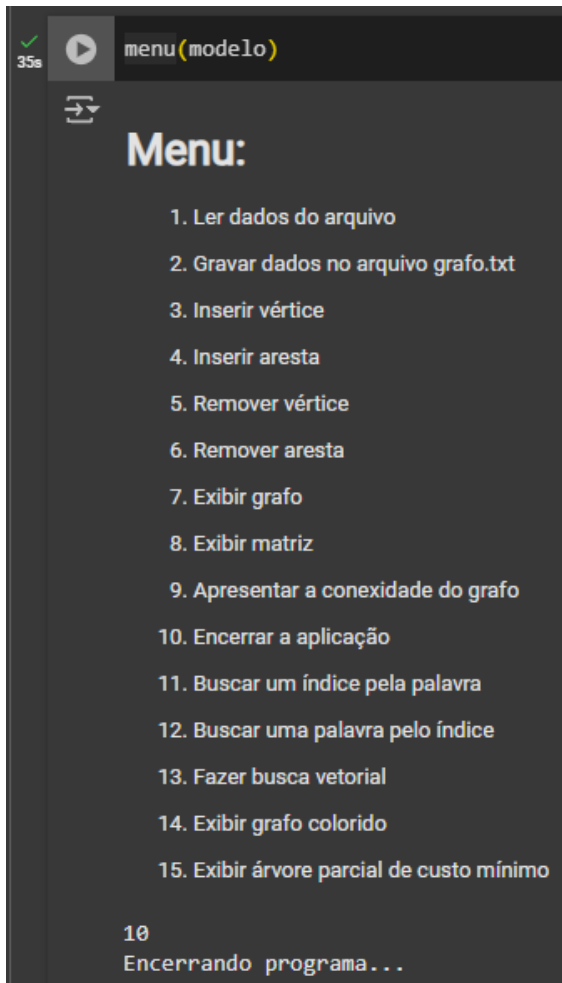
# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos




Encerrar a aplicação





Buscar um índice pela palavra

 menu(modelo)

...


**Menu:**

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

11

Palavra a ser consultada: Sol

Índice de Sol: 8

 menu(modelo)

...

**Menu:**

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

11

Palavra a ser consultada: Lua

[Erro: palavra não encontrada]





# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



Buscar uma palavra pelo índice

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

12
Índice a ser consultado: 4
Palavra do índice 4: Amigo
```

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

12
Índice a ser consultado: 10000
Palavra do índice 10000: [Erro: índice inválido]
```



# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



### Fazer busca vetorial

Menu.

- 1. Ler dados do arquivo
- 2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3. Inserir vértice
- 4. Inserir aresta
- 5. Remover vértice
- 6. Remover aresta
- 7. Exibir grafo
- 8. Exibir matriz
- 9. Apresentar a conectividade do grafo
- 10. Encerrar a aplicação
- 11. Buscar um índice pela palavra
- 12. Buscar uma palavra pelo índice
- 13. Fazer busca vetorial
- 14. Exibir grafo colorido
- 15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

13  
Insira uma palavra: Lua

Busca: Lua

Palavra: Sol  
Peso: 0.84

Palavra: Casa  
Peso: 0.65

Palavra: Escola  
Peso: 0.64

Aperte ENTER para continuar

Menu.

- 1. Ler dados do arquivo
- 2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
- 3. Inserir vértice
- 4. Inserir aresta
- 5. Remover vértice
- 6. Remover aresta
- 7. Exibir grafo
- 8. Exibir matriz
- 9. Apresentar a conectividade do grafo
- 10. Encerrar a aplicação
- 11. Buscar um índice pela palavra
- 12. Buscar uma palavra pelo índice
- 13. Fazer busca vetorial
- 14. Exibir grafo colorido
- 15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

13  
Insira uma palavra: Família

Busca: Família

Palavra: Casa  
Peso: 0.80

Palavra: Escola  
Peso: 0.77

Palavra: Montanha  
Peso: 0.72

Aperte ENTER para continuar



## Exibir grafo colorido

```
menu(modelo)

...
Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

14
grafo_colorido.html

Grafo não-direcionado rotulado com 10 vértices, 21 arestas e 10 cores

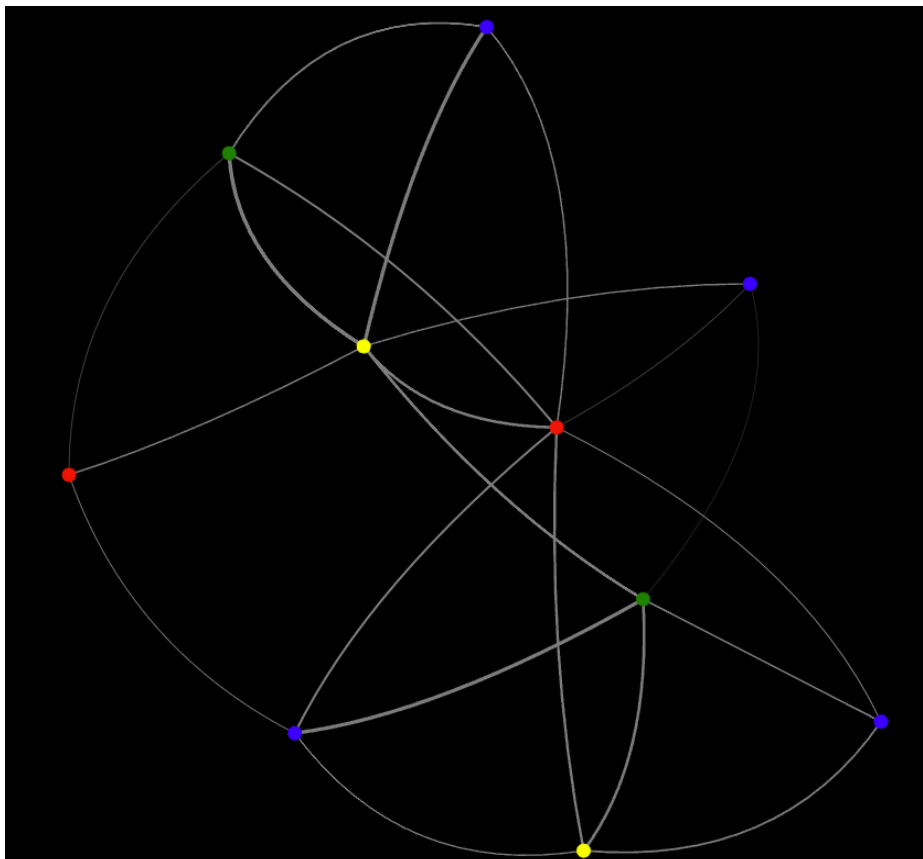
O grafo visual foi criado no arquivo 'grafo_colorido.html'.
```

```
menu(modelo)

...
Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

14
[Erro: Grafo não criado]
```





# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



### Exibir árvore parcial de custo mínimo

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

15
apcm.html
O grafo visual foi criado no arquivo 'apcm.html'.
```

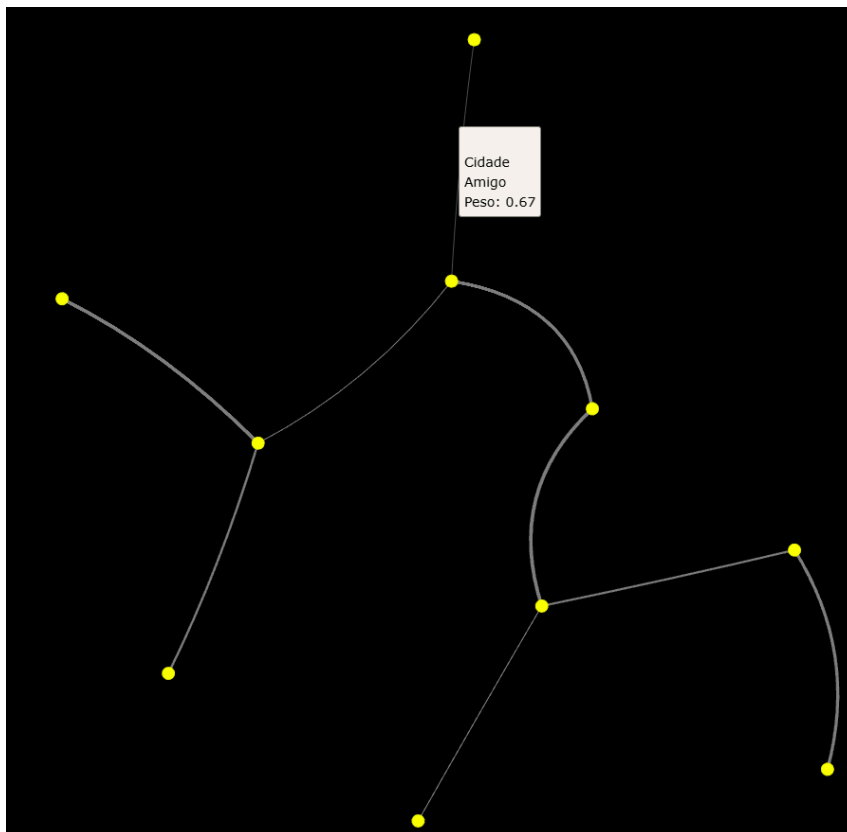
```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conexidade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo

15
[Erro: Grafo não criado]
```





# UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

## Faculdade de Computação e Informática

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



### Apresentar caminho hamiltoniano

```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conectividade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo
16. Apresentar caminho hamiltoniano

16
caminho_hamiltoniano.html
O grafo visual foi criado no arquivo 'caminho_hamiltoniano.html'.|
```

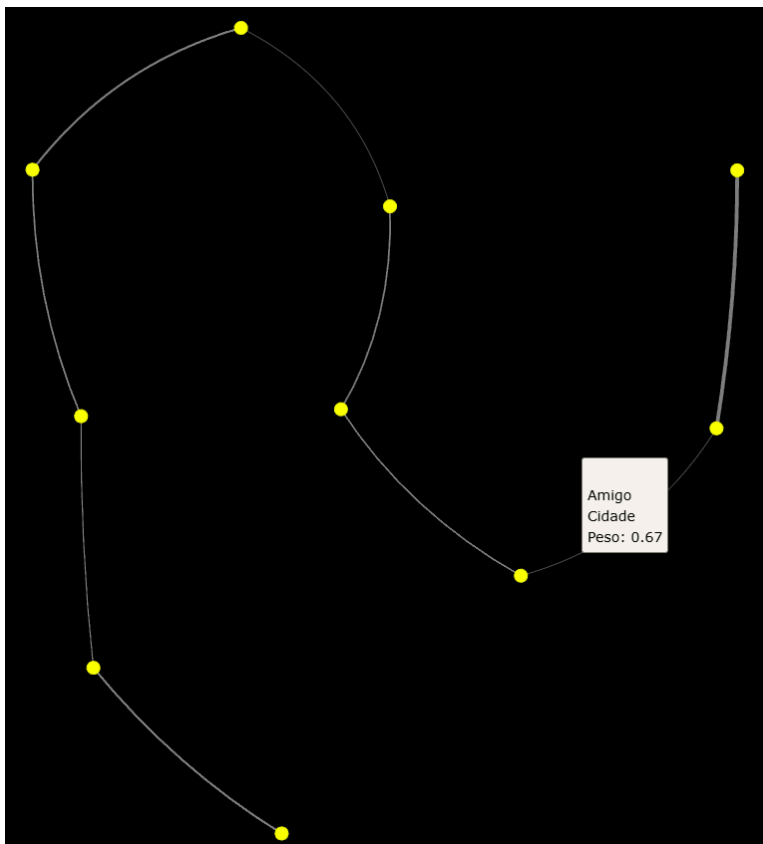
```
menu(modelo)

...

Menu:

1. Ler dados do arquivo
2. Gravar dados no arquivo grafo.txt
3. Inserir vértice
4. Inserir aresta
5. Remover vértice
6. Remover aresta
7. Exibir grafo
8. Exibir matriz
9. Apresentar a conectividade do grafo
10. Encerrar a aplicação
11. Buscar um índice pela palavra
12. Buscar uma palavra pelo índice
13. Fazer busca vetorial
14. Exibir grafo colorido
15. Exibir árvore parcial de custo mínimo
16. Apresentar caminho hamiltoniano

16
[Erro: Grafo não criado]
```





**UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE**  
**Faculdade de Computação e Informática**

Prof. Dr. Ivan Carlos Alcântara de Oliveira  
Teoria dos Grafos



## Apêndice

- Acesso ao projeto: <https://github.com/Cehiim/TeoriaDosGrafos/tree/main/ProjetoFinal>
- Vídeo do projeto: <https://youtu.be/gusflpNNv3A>