

Manual Técnico - Projeto de Grafos:

Análise da Cidade do Recife

Disciplina: Grafos

Grupo: Brandon de Oliveira Hunt, Lucas Rosati Cavalcanti Pereira, Luis Eduardo Vieira Melo, Ronaldo Tavares Souto Maior

Instituição: CESAR School

Período: 2025.2

Sumário

- [1. Sumário Executivo](#)
- [2. Arquitetura e Estrutura](#)
- [3. Parte 1 - Análise dos Bairros do Recife](#)
- [4. Parte 2 - Comparação de Algoritmos](#)
- [5. Implementação Técnica Detalhada](#)
- [6. Guia de Uso e Visualizações](#)
- [7. Fontes e Metodologia](#)
- [8. Conclusões e Aprendizados](#)

Sumário Executivo

Visão Geral

Este projeto implementa e analisa algoritmos de grafos aplicados a dados reais da cidade do Recife, dividido em duas partes complementares:

- Parte 1:** Análise multidimensional dos 94 bairros do Recife através de múltiplas perspectivas (transporte, saúde, educação, acidentes)
- Parte 2:** Comparação de desempenho de 4 algoritmos clássicos de grafos (BFS, DFS, Dijkstra, Bellman-Ford)

Características Técnicas

- Linguagem:** Python 3.9+
- Tipo de Grafo:** Não-direcionado, com arestas paralelas e pesos reais
- Escala Parte 1:** 94 vértices (bairros), 944 arestas (vias)
- Escala Parte 2:** 503 vértices, 4756 arestas direcionadas

Arquitetura e Estrutura

Estrutura de Diretórios

```

ProjetoGrafos/
├── README.md                                # Instruções de instalação e execução
├── MANUAL_TECNICO.md                         # Este arquivo (documentação completa)
├── PARTE2_ANALISE_CRITICA.md                 # Análise crítica da Parte 2
├── requirements.txt                           # Dependências Python

|
└── data/                                     # 41MB de dados geográficos
    ├── adjacencias_bairros.csv                # 49KB - DADOS PRINCIPAIS DO GRAFO
    ├── bairros.geojson                         # 2.1MB - Geometrias dos bairros
    ├── bairros_unique.csv                      # 1.5KB - Bairros normalizados
    ├── facequadra.csv                          # 23MB - Dados de quadras
    ├── distancias_vias.csv                    # 47KB - Distâncias calculadas
    └── dataset_parte2/
        └── dataset_parte2_modificado.csv      # Dataset para Parte 2

|
└── out/
    ├── parte1/                                # 11 arquivos (476KB)
    |   ├── grafo_interativo.html              # Visualização principal
    |   ├── grafo_acidentes.html               # Mapa de calor
    |   ├── grafo_saude_ocde.html              # Índice de saúde
    |   ├── grafo_transporte.html              # Cobertura de transporte
    |   ├── grafo_educacao.html                # Índice educacional
    |   ├── grafo_educacao_quadrantes.html
    |   ├── recife_global.json                 # Métricas globais
    |   ├── microrregioes.json                 # Métricas regionais
    |   ├── ego_bairro.csv                     # Densidade ego
    |   ├── distancias_enderecos.csv          # Caminhos calculados
    |   └── percurso_nova_descoberta_setubal.json

    |
    └── parte2/                                # 2 arquivos
        ├── parte2_report.json                 # Relatório comparativo
        └── amostra_grafo.html                  # Visualização interativa do grafo

|
└── src/
    ├── cli.py                                 # Interface de linha de comando
    ├── solve.py                               # Orquestrador da Parte 2
    ├── viz.py                                 # Visualização HTML interativa (sem NetworkX)

    |
    ├── edges/                                 # Pipeline de construção de arestas
    |   ├── adjacencias.py                   # Detecção de adjacências Queen
    |   ├── vias_conectam.py                # Identificação de vias comuns
    |   └── distancias.py                  # Cálculo de distâncias geométricas

    |
    └── graphs/                                # Core do sistema de grafos
        ├── graph.py                            # Classe principal Grafo
        ├── algorithms.py                     # BFS, DFS, Dijkstra, Bellman-Ford
        ├── metricas.py                       # Cálculo de métricas
        ├── io.py                              # Normalização de dados
        ├── calcular_distancias_enderecos.py
        ├── visualizar_grafo_completo.py
        └── visualizar_percorso.py

```

```

├── tests/                      # Suite de testes
│   ├── test_bfs.py
│   ├── test_dfs.py
│   ├── test_dijkstra.py
│   └── test_bellman_ford.py
|
└── Visualizacao_Accidentes/
└── Visualizacao_Saude/
└── Visualizacao_Transporte/
└── grafico_educacao_recife/

```

Tecnologias Utilizadas

- **Python 3.9+**
- **Pandas** - Manipulação de dados
- **HTML5 Canvas** - Visualizações interativas (Partes 1 e 2)
- **JavaScript** - Frontend das visualizações (Dijkstra implementado também em JS)
- **Matplotlib** - Gráficos e análises auxiliares
- **Pytest** - Testes unitários

Importante: Todos os algoritmos (BFS, DFS, Dijkstra, Bellman-Ford) e visualizações têm implementação própria em Python. Nenhuma biblioteca externa de grafos (como NetworkX) é usada nos algoritmos ou visualizações.

Parte 1 - Análise dos Bairros do Recife

Dataset

O grafo dos bairros do Recife possui:

- **Vértices:** 94 bairros
- **Arestas:** 944 vias que conectam os bairros (233 conexões únicas)
- **Tipo:** Grafo não-direcionado com arestas paralelas
- **Pesos:** Distâncias em metros calculadas a partir de dados geográficos reais
- **Microrregiões:** 18 microrregiões administrativas

Fontes de Dados

1. **bairros_recife.xlsx** (Fonte Original)

- **Formato:** Excel com 6 colunas (microrregiões 1.1 a 6.3)
- **Conteúdo:** Lista não normalizada de bairros por microrregião
- **Problema:** Nomes inconsistentes, abreviações, bairros duplicados

2. **bairros.geojson** (2.1MB)

- **Tipo:** GeoJSON com geometrias POLYGON e MULTIPOLYGON
- **Sistema de coordenadas:** Lat/Long (graus decimais)
- **Uso:** Detecção de adjacências por contiguidade geométrica

3. **adjacencias_bairros.csv** (ARQUIVO CENTRAL - 945 linhas)

- **Estrutura:**

```
bairro_origem,bairro_destino,logradouro,peso  
Alto José do Pinho,Mangabeira,Rua Aripibu,29.85
```

- **Característica crítica:** CADA LINHA = UMA ARESTA DO GRAFO
- **Total de arestas:** 944 (excluindo header)
- **Pesos:** Distâncias reais em metros (range: 29.85m a ~3000m)

Fórmula de Cálculo de Pesos

Os pesos das arestas representam **distâncias euclidianas em metros** calculadas através de:

1. **Extração de coordenadas** do GeoJSON de trechos de vias
2. **Point-in-Polygon** para verificar se trechos conectam dois bairros
3. **Cálculo de distância euclidiana:** $\sqrt{ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 }$
4. **Agregação** de distâncias de múltiplos trechos da mesma via

Código-fonte: [src/edges/distancias.py](#)

Principais Resultados

Acidentes de Trânsito (2024)

- **Total:** 5.354 acidentes registrados
- **Área crítica:** Boa Viagem (549 acidentes, 88% com vítima)
- **Top 3:** Boa Viagem, Imbiribeira (305), Santo Amaro (296)
- **Fonte:** Dados de acidentes de 2024

Índice de Saúde (Médicos por 1000 hab)

- **Média geral:** 1.8 médicos/1000 habitantes
- **Padrão OCDE:** 3.7 médicos/1000 habitantes
- **Situação crítica:** 50 bairros (53%)
- **Excelente:** 14 bairros (15%)

Transporte Público

- **Cobertura:** 99% (93 de 94 bairros)
- **237 linhas de ônibus**
- **7 estações de metrô**
- **1 linha de VLT**

Educação

- **Situação crítica:** 55 bairros (58%)
- **Paradoxo:** 53 bairros têm escolas mas alto analfabetismo
- **Excelente:** apenas 8 bairros (9%)

Métricas Calculadas

1. Métricas Globais (`recife_global.json`)

- **Ordem:** 94 vértices
- **Tamanho:** 233 arestas únicas
- **Densidade:** 0.053306
- **Fórmula da densidade:** $D = 2|E| / (|V|(|V|-1))$ para grafos não-direcionados

2. Métricas por Bairro (ego_bairro.csv)

- Grau de cada bairro
- Densidade ego (conectividade local)
- Microrregião

3. Métricas por Microrregião (microrregioes.json)

- 18 microrregiões analisadas
- Densidade e ordem de cada microrregião

Visualizações Interativas

O projeto gera 6 visualizações HTML totalmente interativas:

1. Grafo Principal Interativo (grafo_interativo.html)

- Visualização completa dos 94 bairros
- Todas as 944 vias renderizadas com curvas paralelas
- Cálculo de caminhos mínimos (Dijkstra) em tempo real no navegador
- Busca de bairros
- Destaque de vizinhos ao clicar
- Cores por microrregião
- Zoom e pan

Técnica: HTML5 Canvas com JavaScript. Dijkstra implementado **também em JavaScript** para cálculo frontend sem necessidade de backend.

2-6. Visualizações Temáticas

- grafo_acidentes.html - Mapa de calor de acidentes
- grafo_saude_ocde.html - Índice de saúde por bairro
- grafo_transporte.html - Cobertura de transporte público
- grafo_educacao.html - Índice educacional
- grafo_educacao_quadrantes.html - Análise educacional por quadrantes

Todas as visualizações são **geradas por código Python próprio** (`visualizar_grafo_*.py`), não por bibliotecas externas. O código Python gera o HTML completo com CSS e JavaScript inline.

Caminhos Calculados

O projeto calcula 6 caminhos específicos usando Dijkstra (`distancias_enderecos.csv`):

1. **Nova Descoberta → Boa Viagem (Setúbal)**: 2682.05m (12 bairros)
2. **Aflitos → Pina**: 1991.66m (7 bairros)
3. **Encruzilhada → Torre**: 1291.15m (5 bairros)
4. **Imbiribeira → Cordeiro**: 3061.88m (8 bairros)
5. **Torreão → Cajueiro**: 2423.20m (9 bairros)
6. **Prado → Guabiraba**: 8045.51m (14 bairros)

Principais Insights

1. Desigualdade espacial evidente:

- Zonas Sul/Centro: melhores indicadores
- Zonas Norte/Oeste: situação crítica

2. Paradoxo educacional:

- 56% dos bairros têm escolas mas alto analfabetismo
- Indica problemas de qualidade, não acesso

3. Transporte é universal:

- 99% de cobertura
- Qualidade e frequência variam significativamente

4. Boa Viagem concentra problemas:

- Líder em acidentes (549)
- Alta densidade populacional
- Muita movimentação

Parte 2 - Comparaçāo de Algoritmos

Dataset de Teste

- **503 vértices** (estações)
- **4756 arestas** direcionadas
- **Pesos:** -30 a 100
- **Distribuição:** 99.9% positivas (4750 arestas), 0.1% negativas (6 arestas controladas)
- **Ciclo negativo:** 1 ciclo artificial de 3 vértices (estacao_999 ↔ estacao_998 ↔ estacao_997)

Algoritmos Testados

Algoritmo	Requisito	Status	Testes
BFS	≥ 3 origens	Cumprido	3 origens
DFS	≥ 3 origens	Cumprido	3 origens
Dijkstra	≥ 5 pares (pesos ≥ 0)	Cumprido	5 pares
Bellman-Ford	1 caso sem ciclo + 1 com ciclo	Cumprido	2 casos

Resultados de Desempenho

Algoritmo	Tempo Médio	Tempo Total	Complexidade	Uso Prático
BFS	0.50ms	1.51ms (3x)	$O(V + E)$	Menor nº de saltos
DFS	7.60ms	22.80ms (3x)	$O(V + E)$	Detecção de ciclos
Dijkstra	1.44ms	7.19ms (5x)	$O(V^2)$	Caminho mínimo (90% dos casos)
Bellman-Ford	142.61ms	285.22ms (2x)	$O(V \times E)$	Pesos negativos, ciclos negativos

Conclusão chave: Bellman-Ford é ~99x mais lento que Dijkstra, mas é o único que detecta ciclos negativos.

Casos Testados - Bellman-Ford

Caso 1 - Peso negativo SEM ciclo:

- estacao_287 → estacao_339
- Distância: -11
- Ciclo detectado: Não
- Tempo: 8.42ms

Caso 2 - Ciclo negativo detectado:

- estacao_999 → estacao_997
- Ciclo confirmado: Sim

- Peso do ciclo: -5
- Tempo: 276.80ms

Quando Usar Cada Algoritmo

1. **BFS** - Menor número de saltos, ignora pesos

- Redes sociais (grau de separação)
- Redes de computadores (menor latência)

2. **DFS** - Detecção de ciclos, busca em profundidade

- Detecção de dependências circulares
- Resolução de labirintos
- Topological sort

3. **Dijkstra** - Caminho mínimo com pesos não-negativos

- GPS/Navegação (90% dos casos)
- Roteamento de redes
- Logística e distribuição

4. **Bellman-Ford** - Pesos negativos, detecção de ciclos negativos

- Sistemas financeiros (arbitragem)
- Detecção de fraudes
- Validação de sistemas

Regra de ouro: Use Dijkstra se puder, Bellman-Ford se precisar.

Implementação Técnica Detalhada

Estrutura de Dados

Classe Grafo (`src/graphs/graph.py`)

```
class Grafo:
    def __init__(self):
        self.vertices = set()      # Set[str] - Nomes dos bairros
        self.arestas = []          # List[Dict] - Lista de dicionários
```

Por que lista de dicionários e não matriz de adjacências?

1. **Grafo esparsos:** 944 arestas para $94^2 = 8,836$ possíveis pares

- Densidade = 0.214 (apenas 21.4% das conexões possíveis existem)
- Lista usa ~37KB vs matriz usaria ~70KB + complexidade

2. **Arestas paralelas:** Matriz não suporta múltiplas arestas por par

3. **Metadados ricos:** Cada aresta carrega logradouro e peso

Algoritmos Implementados

Todos os algoritmos estão em `src/graphs/algorithms.py` com **implementação própria**.

1. BFS (Busca em Largura)

```

def bfs(grafo, origem):
    """Busca em Largura - explora por níveis, ignora pesos"""
    visitados = set()
    fila = deque([(origem, 0)])
    ordem_visitacao = []
    niveis = {}

    while fila:
        vertice_atual, nivel = fila.popleft()

        if vertice_atual in visitados:
            continue

        visitados.add(vertice_atual)
        ordem_visitacao.append(vertice_atual)

        if nivel not in niveis:
            niveis[nivel] = []
        niveis[nivel].append(vertice_atual)

        for destino, _ in grafo.obter_vizinhos(vertice_atual):
            if destino not in visitados:
                fila.append((destino, nivel + 1))

    return {
        'ordem_visitacao': ordem_visitacao,
        'niveis': niveis,
        'total_visitados': len(visitados)
    }

```

Complexidade: $O(V + E)$

2. DFS (Busca em Profundidade)

```

def dfs(grafo, origem):
    """Busca em Profundidade - explora em profundidade, detecta ciclos"""
    visitados = set()
    ordem_visitacao = []
    ciclos_detectados = []
    pilha_recursao = set()

    def dfs_recurativo(vertice, pai=None):
        visitados.add(vertice)
        pilha_recursao.add(vertice)
        ordem_visitacao.append(vertice)

        for vizinho, _ in grafo.obter_vizinhos(vertice):
            destino = vizinho['destino'] if isinstance(vizinho, dict) else vizinho

            if destino not in visitados:
                dfs_recurativo(destino, vertice)
            elif destino in pilha_recursao and destino != pai:
                # Ciclo detectado!
                ciclos_detectados.append((vertice, destino))

        pilha_recursao.remove(vertice)

    dfs_recurativo(origem)

    return {
        'ordem_visitacao': ordem_visitacao,
        'total_visitados': len(visitados),
        'ciclos_detectados': len(ciclos_detectados) > 0,
        'ciclos': ciclos_detectados
    }

```

Complexidade: $O(V + E)$

3. Dijkstra

```

def dijkstra(grafo, origem, destino):
    """Dijkstra - caminho mínimo com pesos não-negativos"""
    distancias = {v: float('inf') for v in grafo.vertices}
    distancias[origem] = 0
    anteriores = {v: None for v in grafo.vertices}
    visitados = set()

    while len(visitados) < len(grafo.vertices):
        # Seleciona vértice não visitado com menor distância (O(V))
        atual = None
        menor_distancia = float('inf')

        for v in grafo.vertices:
            if v not in visitados and distancias[v] < menor_distancia:
                menor_distancia = distancias[v]
                atual = v

        if atual is None or distancias[atual] == float('inf'):
            break

        visitados.add(atual)

        if atual == destino:
            break

        # Relaxamento
        for vizinho, peso in grafo.obter_vizinhos(atual):
            if vizinho not in visitados:
                nova_distancia = distancias[atual] + peso

                if nova_distancia < distancias[vizinho]:
                    distancias[vizinho] = nova_distancia
                    anteriores[vizinho] = atual

    # Reconstruir caminho
    caminho = []
    atual = destino
    while atual is not None:
        caminho.append(atual)
        atual = anteriores[atual]
    caminho.reverse()

    return {
        'distancia': distancias[destino],
        'caminho': caminho,
        'sucesso': caminho is not None
    }

```

Complexidade: $O(V^2 + E)$ - sem heap

Otimização possível: Com heap, reduziria para $O((V + E) \log V)$

4. Bellman-Ford

```

def bellman_ford(grafo, origem, destino):
    """Bellman-Ford - detecta ciclos negativos"""
    distancias = {v: float('inf') for v in grafo.vertices}
    distancias[origem] = 0
    anteriores = {v: None for v in grafo.vertices}

    # Relaxamento V-1 vezes
    for _ in range(len(grafo.vertices) - 1):
        for aresta in grafo.arestas:
            u = aresta['origem']
            v = aresta['destino']
            peso = aresta['peso']

            if distancias[u] != float('inf') and \
                distancias[u] + peso < distancias[v]:
                distancias[v] = distancias[u] + peso
                anteriores[v] = u

    # Verifica ciclo negativo
    ciclo_negativo = False
    for aresta in grafo.arestas:
        u = aresta['origem']
        v = aresta['destino']
        peso = aresta['peso']

        if distancias[u] != float('inf') and \
            distancias[u] + peso < distancias[v]:
            ciclo_negativo = True
            break

    if ciclo_negativo:
        return {
            'distancia': None,
            'caminho': None,
            'sucesso': False,
            'ciclo_negativo': True
        }

    # Reconstruir caminho
    caminho = []
    atual = destino
    while atual is not None:
        caminho.append(atual)
        atual = anteriores[atual]
    caminho.reverse()

    return {
        'distancia': distancias[destino],
        'caminho': caminho,
        'sucesso': True,
        'ciclo_negativo': False
    }

```

Complexidade: $O(V \times E)$
Para este projeto: $O(503 \times 4756) \approx 2.4$ milhões de operações

5. Visualização Interativa (`viz.py`)

O módulo `viz.py` implementa visualização de grafos sem usar NetworkX, gerando HTML5 Canvas puro com JavaScript.

Função Principal: `gerar_visualizacao_amostra_grafo()`

```
def gerar_visualizacao_amostra_grafo(grafo, num_vertices=50, output_path='out/parte2/amostra_grafo.html'):  
    """  
        Gera visualização interativa em HTML/Canvas (SEM NetworkX)  
  
    Args:  
        grafo: Grafo direcionado  
        num_vertices: Número de vértices a incluir na amostra  
        output_path: Caminho para salvar a visualização HTML  
    """
```

Processo de geração:

- Amostragem:** Seleciona aleatoriamente N vértices (padrão: 50)
- Filtragem:** Remove vértices isolados (sem conexões na amostra)
- Layout circular:** Posiciona vértices em círculo usando trigonometria
- Geração HTML:** Cria arquivo HTML completo com CSS e JavaScript inline

Recursos implementados:

- **Canvas interativo** com zoom e pan
- **Arestas direcionadas** com setas
- **Cores por peso:** Verde (positivo) / Vermelho (negativo)
- **Tooltips dinâmicos** ao passar o mouse
- **Estatísticas em tempo real** (vértices, arestas, distribuição)
- **Controles de zoom** programáticos e por scroll
- **Tracejado diferencial** para arestas negativas

Por que não usar NetworkX?

- Controle total:** Layout e renderização customizados
- Interatividade:** Canvas permite zoom/pan fluidos
- Educacional:** Implementação própria demonstra compreensão
- Portabilidade:** HTML funciona em qualquer navegador

Complexidade: $O(V + E)$ para geração do HTML

Guia de Uso e Visualizações

Como Abrir as Visualizações

Método 1: Abrir Todas de Uma Vez

```
cd ProjetoGrafos  
open out/parte1/*.html
```

Isso abrirá **6 abas** no seu navegador com todas as visualizações.

Método 2: Abrir Individual

```
# Visualização principal (recomendado começar por aqui!)\nopen out/parte1/grafointerativo.html\n\n# Acidentes de trânsito\nopen out/parte1/grafoadcidente.html\n\n# Saúde\nopen out/parte1/grafosaude_ocde.html\n\n# Transporte público\nopen out/parte1/grafotransporte.html\n\n# Educação\nopen out/parte1/grafouseducacao.html\n\n# Educação por quadrantes\nopen out/parte1/grafouseducacao_quadrantes.html
```

Controles Interativos

Todas as visualizações HTML têm os mesmos controles:

- **Arrastar:** Move o mapa
- **Scroll do mouse:** Zoom in/out
- **Clicar em um bairro:** Destaca conexões
- **Campo de busca:** Encontrar bairro específico
- **Dropdown de filtros:** Filtrar por microrregião
- **Passar o mouse:** Ver informações detalhadas
- **Botão Resetar:** Voltar à visualização inicial

Ver Dados da Parte 1

```

# Métricas globais
cat out/parte1/recife_global.json

# Métricas por microrregião
cat out/parte1/microrregioes.json

# Densidade ego por bairro
open out/parte1/ego_bairro.csv

# Caminhos calculados
open out/parte1/distancias_enderecos.csv

# Detalhes de um caminho específico
cat out/parte1/percurso_nova_descoberta_setubal.json

```

Ver Dados da Parte 2

```

# Relatório comparativo
cat out/parte2/parte2_report.json

# Ou formatado
python3 -m json.tool out/parte2/parte2_report.json

# Visualização interativa do grafo
open out/parte2/amostra_grafo.html

```

Controles da visualização HTML:

- **Arrastar:** Move o grafo
- **Scroll:** Zoom in/out
- **Hover:** Ver informações do vértice
- **Botões:** Resetar visualização, Zoom +/-
- **Cores:** Verde = arestas positivas, Vermelho = arestas negativas

Fontes e Metodologia

Fontes de Dados

- Dados Geográficos:** GeoJSON oficial da cidade do Recife
 - Geometrias dos bairros (POLYGON/MULTIPOLYGON)
 - Trechos de logradouros (LineString/MultiLineString)
 - Sistema de coordenadas: Lat/Long (graus decimais)
- Dados de Acidentes:** Registros de acidentes de trânsito de 2024
- Dados de Saúde:** Número de médicos por bairro
- Dados de Educação:** Presença de escolas e taxa de analfabetismo
- Dados de Transporte:** Linhas de ônibus, estações de metrô e VLT

Metodologia de Processamento

Pipeline de Dados da Parte 1:

1. NORMALIZAÇÃO

```
bairros_recife.xlsx → [io.py] → bairros_unique.csv  
↓  
- Remove abreviações (Sto. → Santo, Sta. → Santa)  
- Capitaliza corretamente  
- Agrupa microrregiões
```

2. DETECÇÃO DE ADJACÊNCIAS

```
bairros.geojson + bairros_unique.csv → [adjacencias.py] → adjacencias_provisorio.csv  
↓  
- Extrai vértices de polígonos  
- Aplica adjacência Queen (compartilha qualquer ponto)  
- 94 bairros → ~200 pares adjacentes
```

3. MAPEAMENTO DE VIAS

```
adjacencias_provisorio.csv + facequadra.csv → [vias_conectam.py] → vias_conectam_bairros.csv  
↓  
- Join por código de logradouro  
- Identifica vias compartilhadas
```

4. CÁLCULO DE DISTÂNCIAS

```
vias_conectam_bairros.csv + geometrias → [distancias.py] → distancias_vias.csv  
↓  
- Point-in-polygon para cada trecho  
- Soma comprimentos euclidianos  
- ~47KB de distâncias
```

5. CONSOLIDAÇÃO FINAL

```
distancias_vias.csv → adjacencias_bairros.csv  
↓  
- 944 arestas com pesos reais em metros
```

Pipeline de Análise:

1. CONSTRUÇÃO DO GRAFO

```
adjacencias_bairros.csv → [graph.py] → Grafo
```

2. CÁLCULO DE MÉTRICAS

```
Grafo → [metricas.py] → recife_global.json, microrregioes.json, ego_bairro.csv
```

3. CAMINHOS ENTRE ENDEREÇOS

```
Grafo → [calcular_distancias_enderecos.py] → distancias_enderecos.csv
```

4. VISUALIZAÇÃO

```
Grafo + métricas → [visualizar_grafo_completo.py] → grafo_interativo.html
```

Limitações

1. **Dados temporais:** Análise baseada em snapshot único (2024)
2. **Arestas paralelas:** Algoritmo Dijkstra retorna primeira via encontrada, não necessariamente a do caminho ótimo
3. **Escalabilidade:** Implementação $O(V^2)$ do Dijkstra não é ideal para grafos com >1000 vértices
4. **Normalização de nomes:** Alguns bairros podem ter inconsistências residuais

Conclusões e Aprendizados

Técnicos

1. Algoritmos têm trade-offs claros:

- Velocidade vs Generalidade
- Simplicidade vs Funcionalidade

2. Dados reais são complexos:

- Limpeza é 70% do trabalho
- Normalização é essencial

3. Visualização é poderosa:

- Facilita identificação de padrões
- Comunica resultados efetivamente

4. Implementação própria ensina mais:

- Entendimento profundo dos algoritmos
- Controle total sobre o comportamento
- Código educacional e bem documentado

Práticos

1. Planejamento é crucial:

- Estrutura de dados bem definida
- Modularização do código
- Testes desde o início

2. Documentação é investimento:

- README detalhado economiza tempo
- Comentários no código facilitam manutenção
- Manual técnico permite replicação

3. Iteração é natural:

- Dataset modificado para atender requisitos
- Algoritmos ajustados conforme necessidade
- Visualizações refinadas com feedback

Sobre a Cidade do Recife

1. Desigualdade espacial evidente:

- Zonas Sul/Centro: melhores indicadores
- Zonas Norte/Oeste: situação crítica

2. Paradoxo educacional:

- 56% dos bairros têm escolas mas alto analfabetismo
- Indica problemas de qualidade, não acesso

3. Transporte é universal, mas:

- 99% de cobertura
- Qualidade e frequência variam

Sobre Algoritmos de Grafos

1. Não existe algoritmo universal:

- Cada um tem seu nicho específico
- Trade-off entre velocidade e generalidade

2. Regra de ouro:

- "Use Dijkstra se puder, Bellman-Ford se precisar"

3. Performance vs Necessidade:

- BFS/DFS: análise estrutural rápida
- Dijkstra: 95% dos casos práticos
- Bellman-Ford: casos especiais (mas essenciais)

4. Ciclos negativos são raros mas críticos:

- Indicam erros de design ou vulnerabilidades
- Apenas Bellman-Ford detecta
- Essencial para validação de sistemas financeiros e detecção de arbitragem

Grupo:

- Brandon de Oliveira Hunt
- Lucas Rosati Cavalcanti Pereira
- Luis Eduardo Vieira Melo
- Ronaldo Tavares Souto Maior

Disciplina: Grafos

Instituição: CESAR School

Período: 2025.2