Bancos de dados relacionais espaciais

Disciplina: Programação aplicada à engenharia cartográfica

Maurício C. M. de Paulo - D.Sc.

20 de fevereiro de 2026

Conceitos Fundamentais

Banco de Dados Relacional (BDR):

- Dados organizados em tabelas (relações)
- Linhas $\rightarrow$ tuplas
- Colunas $\rightarrow$ atributos
- Chaves primárias e estrangeiras

Modelo baseado em:

- Álgebra relacional
- SQL (Structured Query Language)

Exemplo de SGBD:

- **PostgreSQL database system**
- **MySQL database system**

Extensão Espacial

BDRs podem ser estendidos para armazenar geometrias.

Exemplo:

- **PostGIS** extensão do PostgreSQL

Novo tipo de dado:

- GEOMETRY
- GEOGRAPHY

Permite armazenar:

- Pontos
- Linhas
- Polígonos

E executar consultas espaciais.

Shapefile vs PostgreSQL/PostGIS vs DuckDB Spatial

	Shapefile	PostgreSQL + PostGIS	DuckDB + Spatial
Multiusuário	Não	Sim	Limitado
Transações ACID	Não	Sim	Sim
Cliente–Servidor	Não	Sim	Não
Instalação	Simples	Servidor dedicado	Arquivo único
Índice Espacial	.qix	GiST / SP-GiST	R-Tree
SQL Completo	Não	Sim	Sim
Escalabilidade	Baixa	Alta	Média

Posicionamento:

Shapefile $\rightarrow$ formato legado de troca.

PostgreSQL + PostGIS $\rightarrow$ infraestrutura robusta multiusuário.

DuckDB Spatial $\rightarrow$ banco analítico leve e embarcado.

Modelo Espacial

Cada feição espacial é composta por:

- Atributos (campos tabulares)
- Geometria (coluna espacial)

Estrutura típica:

```
id | nome | area | geom
1 | Rio de Janeiro | 43,696 | MULTIPOLYGON(...)
```

A coluna `geom` armazena objetos como:

- POINT
- LINESTRING
- POLYGON

Consultas Espaciais

Além de consultas tradicionais:

- SELECT
- JOIN
- GROUP BY

Existem funções espaciais:

- ST_Buffer()
- ST_Intersects()
- ST_Contains()
- ST_Area()

Exemplo conceitual:

Selecionar municípios que intersectam um rio.

Índices Espaciais

Consultas espaciais são custosas.

Solução: Índices espaciais.

- R-Tree
- GiST (PostgreSQL)

Benefícios:

- Redução drástica de tempo de consulta
- Filtragem por bounding box

Sem índice $\rightarrow$ varredura completa da tabela.

PostgreSQL + PostGIS — Visão Geral

PostgreSQL:

- SGBD relacional cliente–servidor
- ACID completo
- Controle de concorrência (MVCC)
- Extensível

PostGIS:

- Extensão espacial do PostgreSQL
- Adiciona tipos GEOMETRY e GEOGRAPHY
- Implementa padrões OGC Simple Features

Resultado:

Banco relacional + engine espacial robusta

Conceitos Fundamentais do PostGIS

1. **Tipo GEOMETRY**
   - Armazena POINT, LINESTRING, POLYGON, etc.
   - Associado a um SRID (sistema de referência)

2. **Funções Espaciais**

3. **Índices Espaciais**
   - GiST (Generalized Search Tree)
   - Filtragem por bounding box
   - Otimização de ST_Intersects, ST_Within, etc.

4. **Modelo Cliente–Servidor**
   - Multiusuário
   - Controle transacional
   - Ideal para produção

Consultas Espaciais — Exemplos SQL (PostGIS)

1 Criar tabela espacial

```
CREATE TABLE municipios (
id SERIAL PRIMARY KEY,
nome TEXT,
populacao INTEGER,
geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4674)
);
```

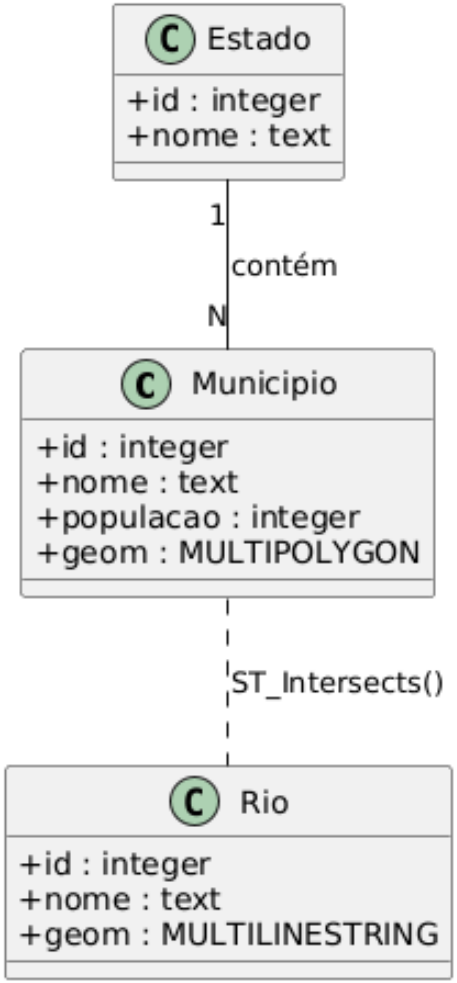
2 Criar índice espacial

```
CREATE INDEX idx_municipios_geom
ON municipios
USING GIST (geom);
```

Exercícios PostGIS

1. Instalar o PostGIS (Docker recomendado)
2. Criar um banco de dados
3. Acessar pelo QGIS
4. Abrir o DB Manager.
5. Criar uma tabela.
6. Importar um ShapeFile para o PostGIS.

Modelo ER Espacial



Consultas Espaciais — Exemplos SQL

3 Municípios que intersectam um rio

```sql
SELECT m.nome
FROM municipios m
JOIN rios r
ON ST_Intersects(m.geom, r.geom)
WHERE r.nome = 'Rio X';
```

4 Área em km²

```sql
SELECT nome,
ST_Area(geom) / 1000000 AS area_km2
FROM municipios;
```

O que é DuckDB?

DuckDB é um banco de dados analítico embutido (embedded OLAP).

Características principais:

- Arquivo único (.duckdb)
- Sem servidor (in-process)
- Execução vetorizada (vectorized engine)
- Otimizado para leitura intensiva (OLAP)

Casos de uso típicos:

- Análise local de grandes datasets
- Ciência de dados
- Processamento de Parquet
- Integração com Python / R

Conceitos Arquiteturais Fundamentais

1. **Embedded Database**
   - Executa dentro do processo Python
   - Não há daemon ou serviço separado

2. **Columnar Storage**
   - Armazenamento orientado a colunas
   - Ideal para agregações e scans analíticos

3. **Integração com formatos modernos**
   - Parquet (leitura direta)
   - CSV
   - Arrow
   - Extensão Spatial (tipos GEOMETRY)

4. **OLAP vs OLTP**
   - Excelente para consultas analíticas
   - Não projetado para alta concorrência transacional

Exemplo — DuckDB + Spatial em Python

Instalação (uma vez):

```
pixi add duckdb
```

Exemplo em Python (parte 1):

```python
import duckdb

# conecta (arquivo será criado se não existir)
con = duckdb.connect("dados.duckdb")

# instala e carrega extensão espacial
con.execute("INSTALL spatial;")
con.execute("LOAD spatial;")
```

Exemplo — DuckDB + Spatial em Python

```
# cria tabela espacial
con.execute("""
  CREATE TABLE municipios AS
  SELECT
    1 AS id,
    'Municipio A' AS nome,
    ST_GeomFromText(
      'POLYGON((-48 -15, -48 -16, -47 -16, -47 -15, -48 -15))'
    ) AS geom;
""")

# consulta área
result = con.execute("""
  SELECT nome,
  ST_Area(geom) AS area
  FROM municipios;
""").fetchall()

print(result)
```

Exemplo — Download de Shapefile + DuckDB Spatial

```
import requests, zipfile, io
import duckdb

# 1 Download (Natural Earth - países 110m, leve)
url = "https://naturalearth.s3.amazonaws.com/110m_cultural/ne_110m_
response = requests.get(url)
response.raise_for_status()

# 2 Extrai zip em memória
with zipfile.ZipFile(io.BytesIO(response.content)) as z:
  z.extractall("ne_countries")

# 3 Conecta ao DuckDB
con = duckdb.connect("world.duckdb")
con.execute("INSTALL spatial;")
con.execute("LOAD spatial;")
```

Exemplo — Download de Shapefile + DuckDB Spatial

```
# 4 Lê shapefile direto via GDAL
con.execute("""
  CREATE TABLE countries AS
  SELECT * FROM ST_Read(
  'ne_countries/ne_110m_admin_0_countries.shp');
""")

# 5 Calcula área (m² | CRS 4326->3857)
result = con.execute("""
  SELECT NAME,
  ST_Area(ST_Transform(geom, 3857)) AS area
  FROM countries
  ORDER BY area DESC
  LIMIT 5;
""").fetchall()

for row in result:
  print(row)
```