

# Spatial Database Systems

PostGIS – Parte 2



Gilberto Ribeiro de Queiroz  
([gribeiro@dpi.inpe.br](mailto:gribeiro@dpi.inpe.br))

Vamos visualizar nossa tabela no  
Quantum GIS

# Consulta de Janela (ou Box)

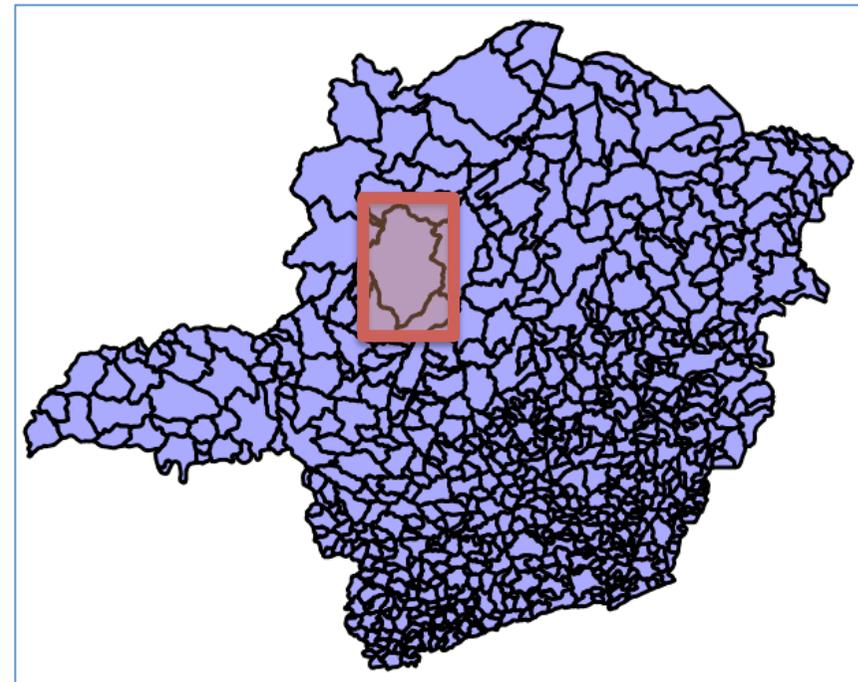
- Operador **&&**:
  - Este operador diz se dois retângulos se interceptam.
- Fazer uma consulta considerando o seguinte retângulo:  
BOX = (-46.557928, -18.330733, -45.382262, -16.691372)



# Consulta de Janela (ou Box)

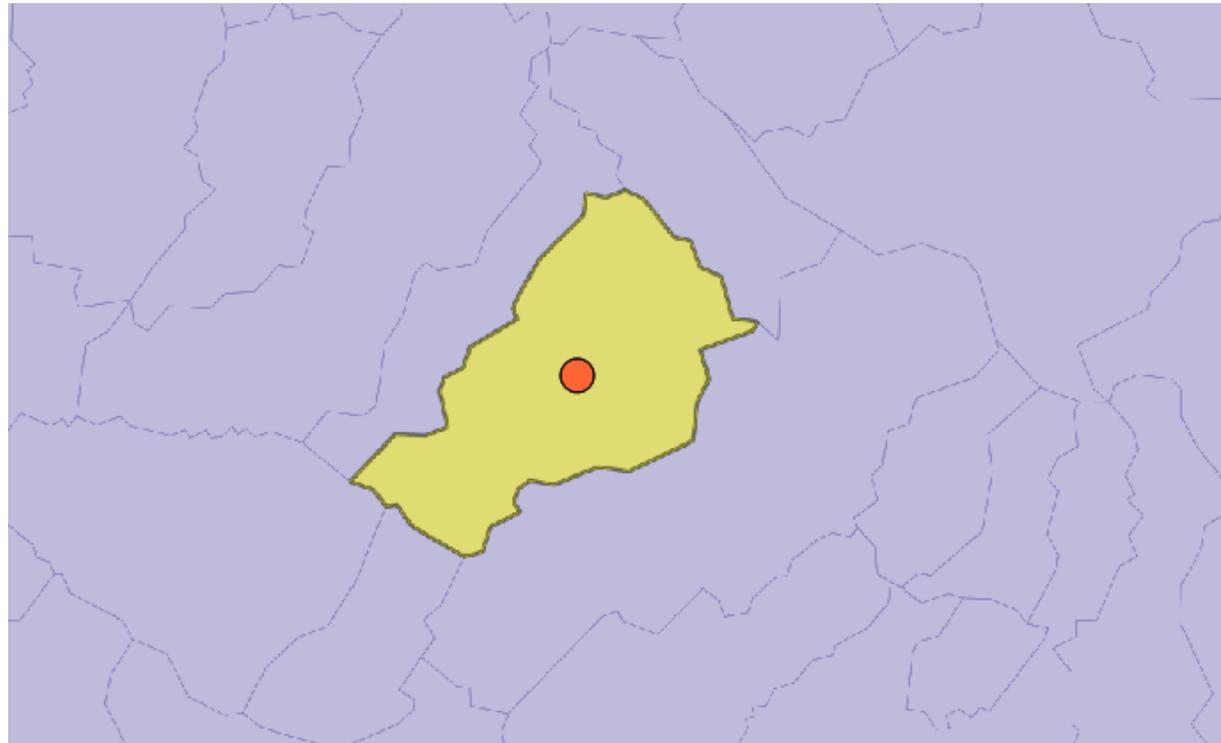
- Operador **&&**:
  - Este operador diz se dois retângulos se interceptam.
- Fazer uma consulta considerando o seguinte retângulo:  
BOX = (-46.557928, -18.330733, -45.382262, -16.691372)

```
SELECT nommuni,  
       ST_AsText(geom) AS geom  
FROM mg_municipios  
WHERE geom && ST_MakeEnvelope(  
-46.557928, -18.330733,  
-45.382262, -16.691372, 4618);
```



# Consultas Espaciais: Apontamento

- Caso especial da consulta por intervalo, também conhecida como “point query” ou “stabbing query”:
  - O retângulo de consulta é degenerado a um ponto
  - **Definição:** dado um ponto, localizar os objetos que contém este ponto;
- Exemplo:



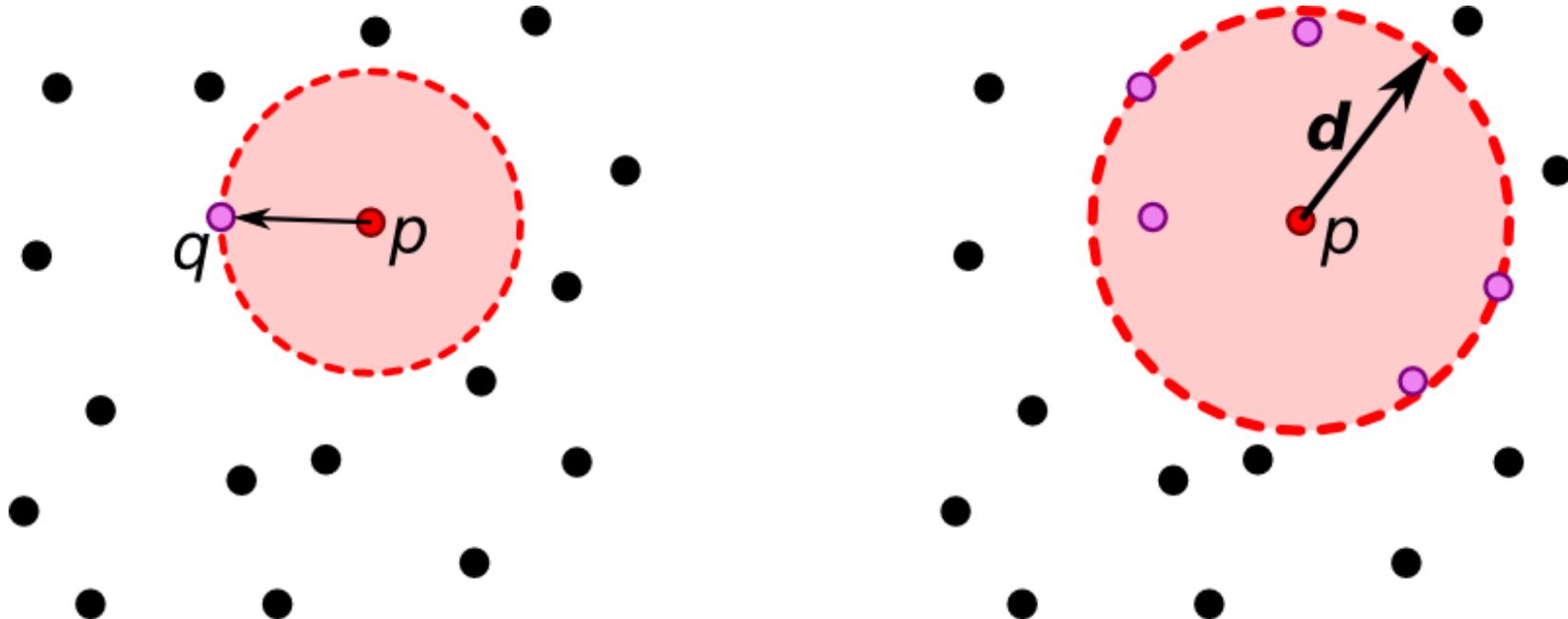
# Consultas Espaciais: Vizinhaça

- Vizinho mais próximo:

**Definição:** Localizar o(s) objeto(s)  $q$  mais próximo(s) de um dado objeto  $p$

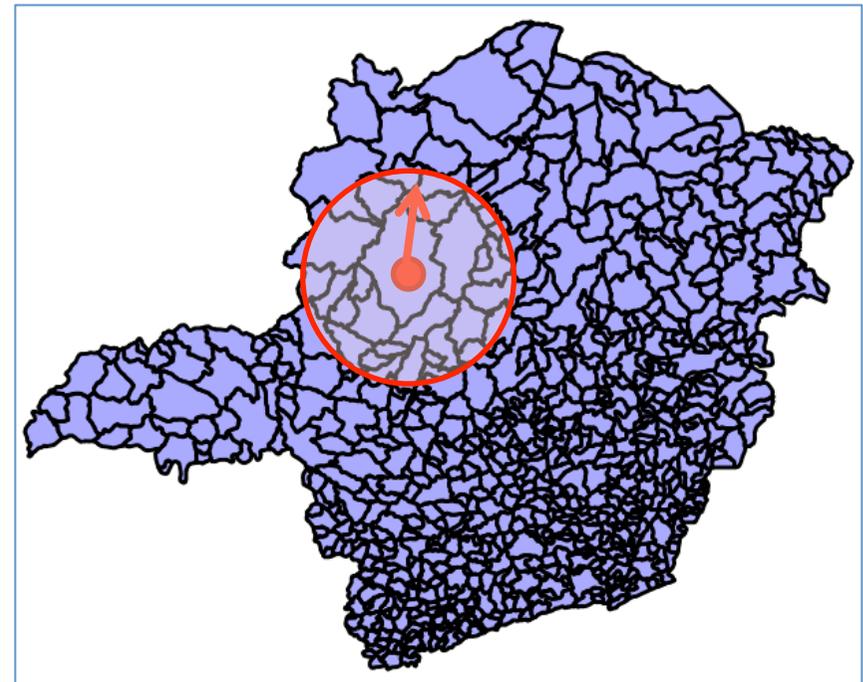
- Vizinho(s) mais próximo(s) a uma certa distância:

**Definição:** Localizar o(s) objeto(s)  $q$  mais próximo(s) de um dado objeto  $p$ , a uma distância máxima de  $d$  unidades



# Recuperando objetos a uma certa distância

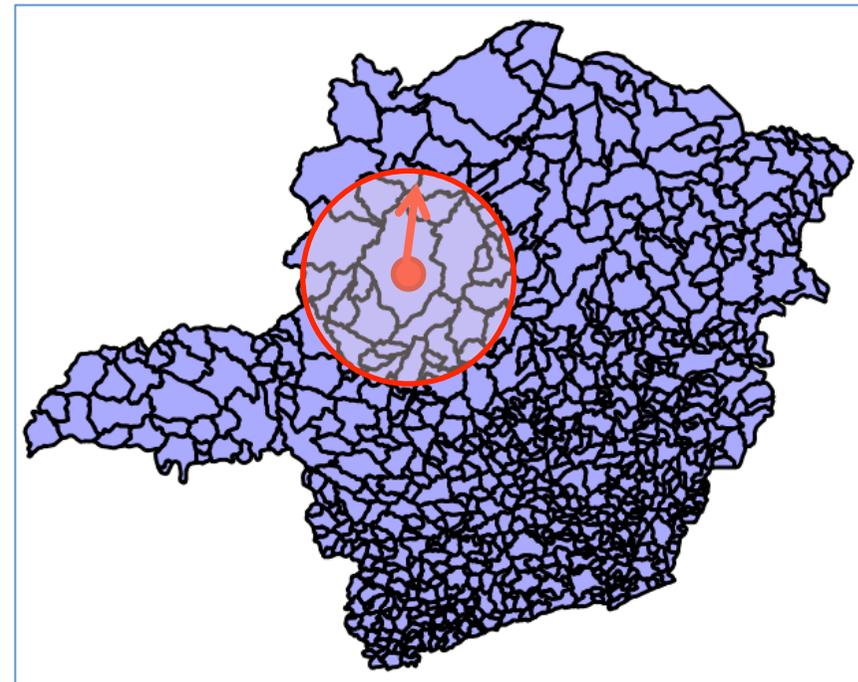
- Fazer uma consulta considerando:
  - Ponto: -45.970095 -17.5110525
  - Raio: 1.0
  - Operador: `ST_DWithin(geom1, geom2, dist)`



# Recuperando objetos a uma certa distância

- Fazer uma consulta considerando:
  - Ponto: -45.970095 -17.5110525
  - Raio: 1.0
  - Operador: `ST_DWithin(geom1, geom2, dist)`

```
SELECT nommuni,  
       ST_AsText(geom) AS geom  
FROM mg_municipios  
WHERE ST_DWithin(geom, ST_GeomFromText(  
'POINT(-45.970095 -17.5110525)',  
4618), 1.0);
```



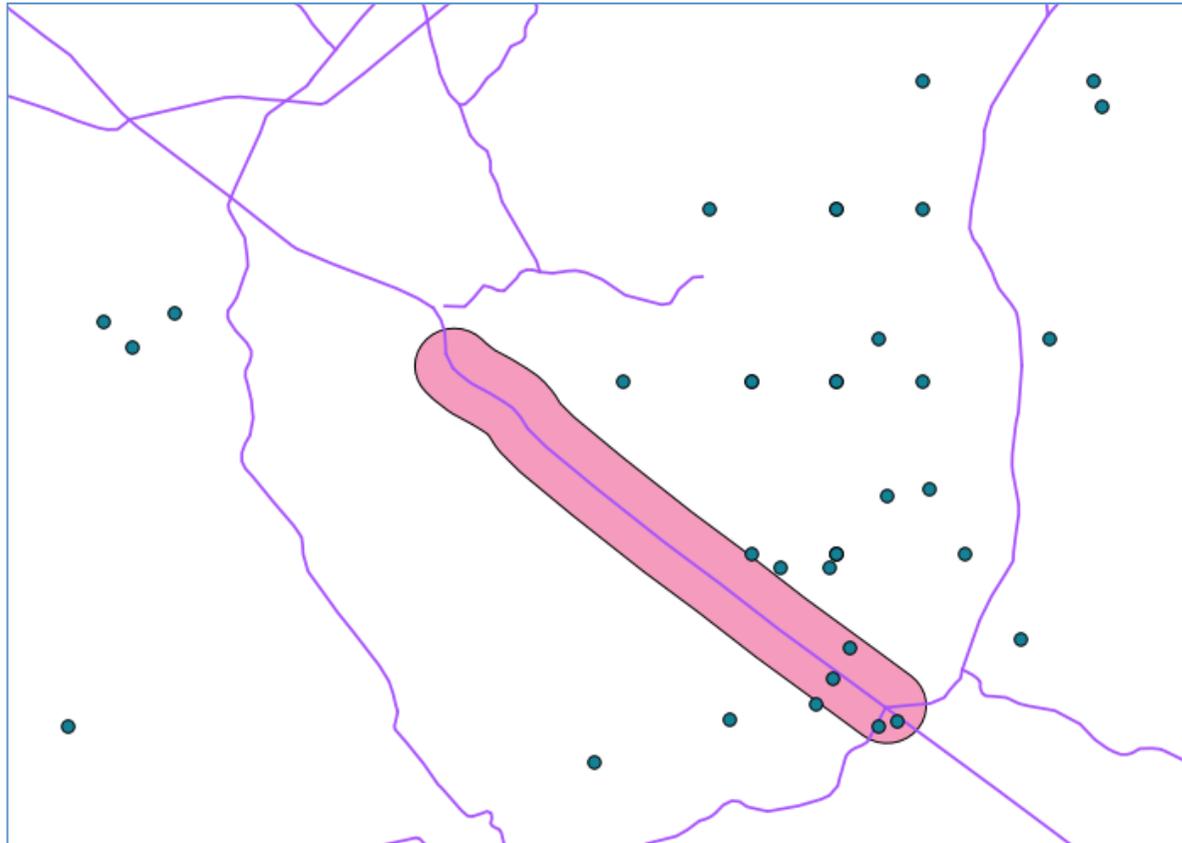
# Consultas Espaciais: Junção Espacial

- **Definição:** Dado dois conjuntos de objetos espaciais  $D_1$  e  $D_2$ , e uma restrição espacial  $\theta$ , encontrar todos os pares  $(d_1, d_2) \in D_1 \times D_2$  cuja geometria satisfaça  $\theta$ .
- Exemplo:

$D_1$  = focos

$D_2$  = trechos rodoviários

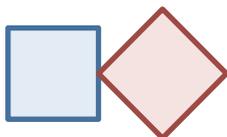
$\theta$  = focos contidos num raio de 1000 metros de um dado trecho



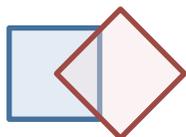
# Operadores Espaciais

## OGC SFS e SQL-MM Parte 3

**Touches**



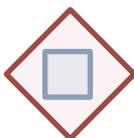
**Overlaps**



**Contains**



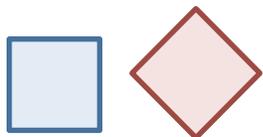
**Within**



**Equals**



**Disjoint**

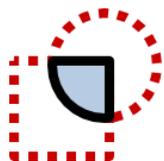


**Relacionamentos espaciais:**

Dimensionally Extended Nine-Intersection Model

	$B^{\circ}$	$\delta B$	$B^{-}$
$A^{\circ}$	$\dim(A^{\circ} \cap B^{\circ})$	$\dim(A^{\circ} \cap \delta B)$	$\dim(A^{\circ} \cap B^{-})$
$\delta A$	$\dim(\delta A \cap B^{\circ})$	$\dim(\delta A \cap \delta B)$	$\dim(\delta A \cap B^{-})$
$A^{-}$	$\dim(A^{-} \cap B^{\circ})$	$\dim(A^{-} \cap \delta B)$	$\dim(A^{-} \cap B^{-})$

**Intersection**



**Union**



**Difference**



**Symetric  
Difference**



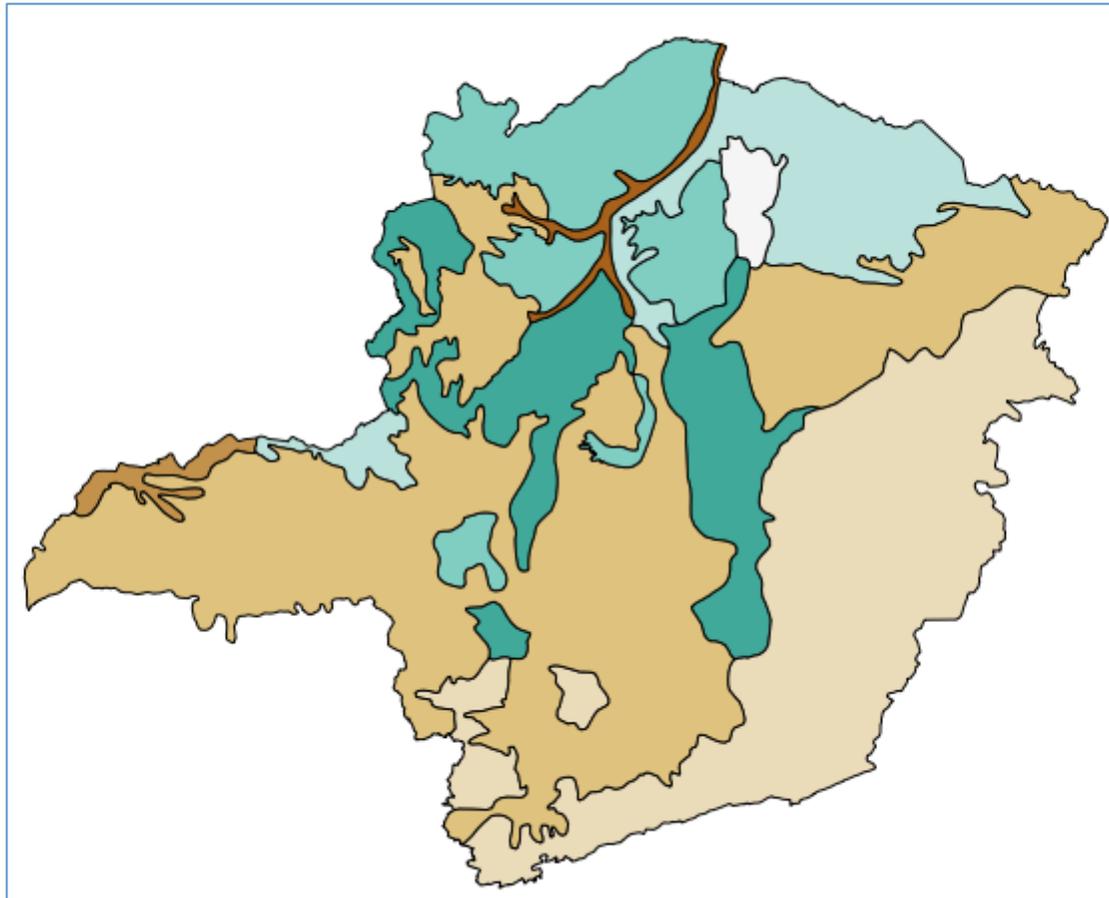
**Buffer**



**Convex  
Hull**



# Importar o dado de aptidão agrícola de MG



**Arquivo:**

dados/shp/mg\_aptidao\_agricola

**Tipo de dado:**

Poligonos (21)

**Sistema de Referência Espacial:**

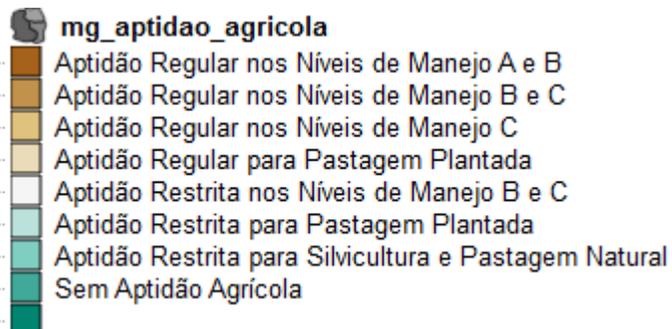
4618 => Lat/Long SAD/69

**Nome da tabela a ser criada:**

mg\_aptidao

**Codificação dos caracteres :**

LATIN1



# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Quais os polígonos de aptidão agrícola que interceptam a geometria do município de “João Pinheiro” ?
- Qual operador espacial devemos usar? Estamos fazendo uma junção?
- Como fica nossa consulta SQL?

# Espaço Topológico: $\mathbb{R}^2$

- Vamos identificar os componentes básicos de um objeto geométrico:

- Fronteira ( $\partial$ ), Interior ( $^\circ$ ) e Exterior ( $\bar{\phantom{x}}$ )



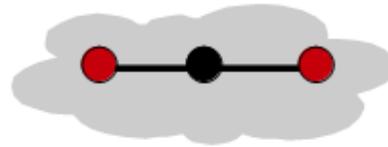
**Ponto**

$$\partial P = \emptyset$$

$$\blacksquare P^\circ = 0\text{-dimensional}$$

$$\square P^- = U - P^\circ$$

**Linha Aberta**

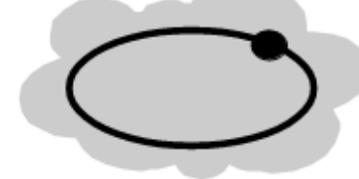


$$\blacksquare \partial L = 0\text{-dimensional}$$

$$\blacksquare L^\circ = 1\text{-dimensional}$$

$$\square L^- = U - (L^\circ + \partial L)$$

**Linha Fechada**

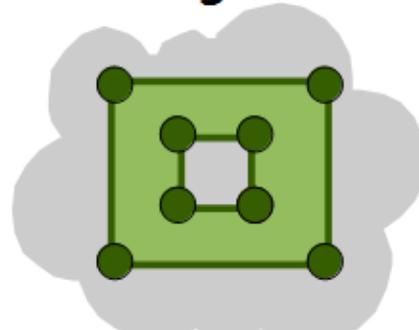


$$\partial L = \emptyset$$

$$\blacksquare L^\circ = 1\text{-dimensional}$$

$$\square L^- = U - (L^\circ + \partial L)$$

**Polígono**



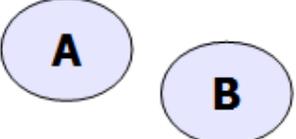
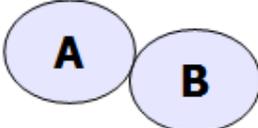
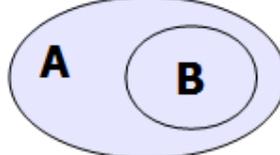
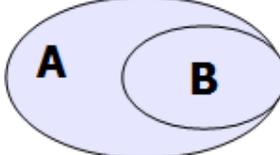
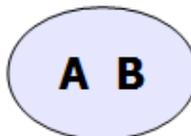
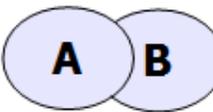
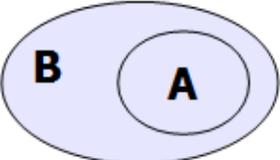
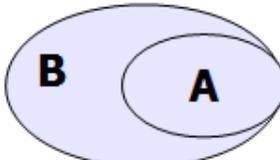
$$\blacksquare \partial P = 1\text{-dimensional}$$

$$\blacksquare P^\circ = 2\text{-dimensional}$$

$$\square P^- = U - (P^\circ + \partial P)$$

# Operações Topológicas

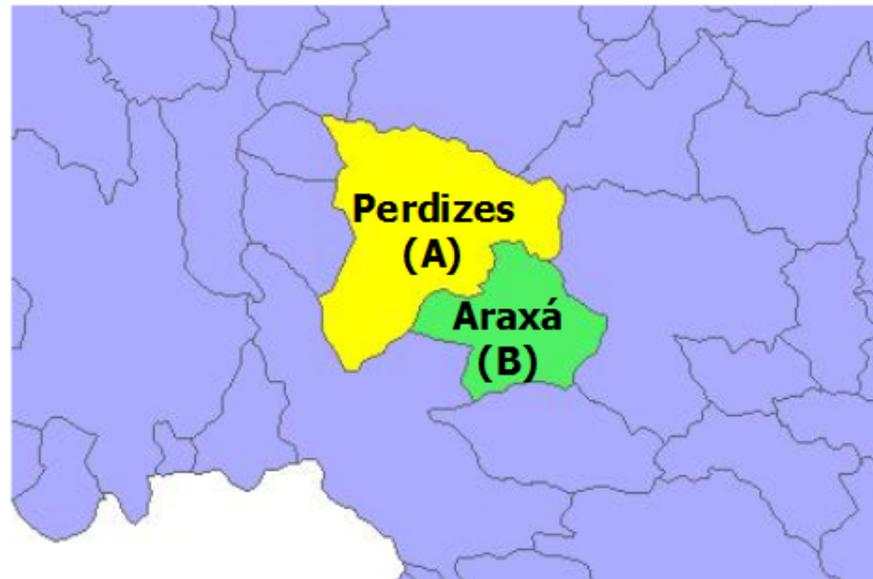
- Matriz de 4-Interseções:

 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$ <p><b>disjoint</b></p>	 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$ <p><b>meet</b></p>	 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$ <p><b>contains</b></p>	 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$ <p><b>covers</b></p>
 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$ <p><b>equal</b></p>	 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$ <p><b>overlap</b></p>	 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$ <p><b>inside</b></p>	 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$ <p><b>covered by</b></p>

Fonte: Adaptado de Egenhofer et. al (1994)

# Operações Topológicas

- As cidades de Perdizes e Araxá se tocam?

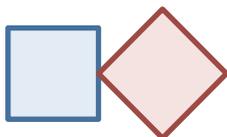


$$\begin{array}{c} \partial A \\ A^\circ \end{array} \begin{array}{cc} \partial B & B^\circ \\ \left( \begin{array}{cc} \neg \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{array} \right) \end{array}$$

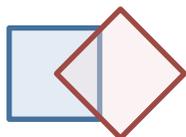
# Operadores Espaciais

## OGC SFS e SQL-MM Parte 3

**Touches**



**Overlaps**



**Contains**



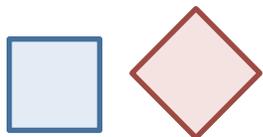
**Within**



**Equals**



**Disjoint**

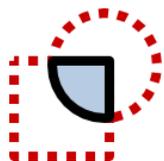


**Relacionamentos espaciais:**

Dimensionally Extended Nine-Intersection Model

	$B^{\circ}$	$\delta B$	$B^{-}$
$A^{\circ}$	$\dim(A^{\circ} \cap B^{\circ})$	$\dim(A^{\circ} \cap \delta B)$	$\dim(A^{\circ} \cap B^{-})$
$\delta A$	$\dim(\delta A \cap B^{\circ})$	$\dim(\delta A \cap \delta B)$	$\dim(\delta A \cap B^{-})$
$A^{-}$	$\dim(A^{-} \cap B^{\circ})$	$\dim(A^{-} \cap \delta B)$	$\dim(A^{-} \cap B^{-})$

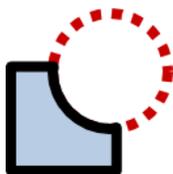
**Intersection**



**Union**



**Difference**



**Symetric Difference**



**Buffer**



**Convex Hull**

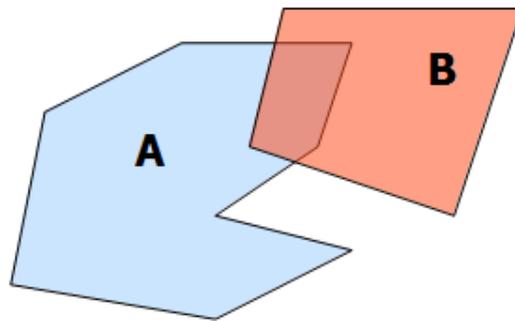


# Operações Topológicas

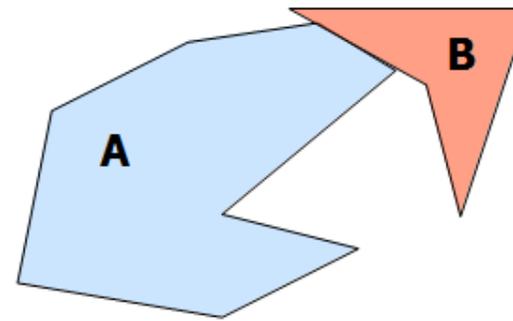
- Cada elemento da matriz de interseção pode ser representado por um dos elementos do conjunto  $\{T, F, *, 0, 1, 2\}$ , assim definidos:
- $T \rightarrow \dim(x) = \{0, 1, 2\}$ , i.e.  $x \neq \emptyset$
- $F \rightarrow \dim(x) = -1$ , i.e.  $x = \emptyset$
- $* \rightarrow \dim(x) = \{-1, 0, 1, 2\}$ , i.e. não importa
- $0 \rightarrow \dim(x) = 0$
- $1 \rightarrow \dim(x) = 1$
- $2 \rightarrow \dim(x) = 2$

# Operações Topológicas

- Qual é o relacionamento espacial entre os objetos A e B?



$$\begin{array}{c}
 \mathbf{A}^{\circ} \\
 \partial\mathbf{A} \\
 \mathbf{A}^{-}
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 \mathbf{B}^{\circ} & \partial\mathbf{B} & \mathbf{B}^{-} \\
 \mathbf{2} & \mathbf{1} & \mathbf{2} \\
 \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \\
 \mathbf{2} & \mathbf{1} & \mathbf{2}
 \end{pmatrix}$$



$$\begin{array}{c}
 \mathbf{A}^{\circ} \\
 \partial\mathbf{A} \\
 \mathbf{A}^{-}
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 \mathbf{B}^{\circ} & \partial\mathbf{B} & \mathbf{B}^{-} \\
 \mathbf{F} & \mathbf{F} & \mathbf{2} \\
 \mathbf{F} & \mathbf{1} & \mathbf{1} \\
 \mathbf{2} & \mathbf{1} & \mathbf{2}
 \end{pmatrix}$$

ST\_Relate(A, B)

# Operadores Topológicos

- `ST_Contains(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Within(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Covers (geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_CoveredBy(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Touches(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Crosses(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Overlaps(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Equals(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Intersects(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Disjoint(geom1, geom2)` → 0 ou 1
- `ST_Relate(geom1, geom2)` → 'T\*\*F\*\*F\*\*\*'
- `ST_Relate(geom1, geom2, 'T**F**F***')` → 0 ou 1

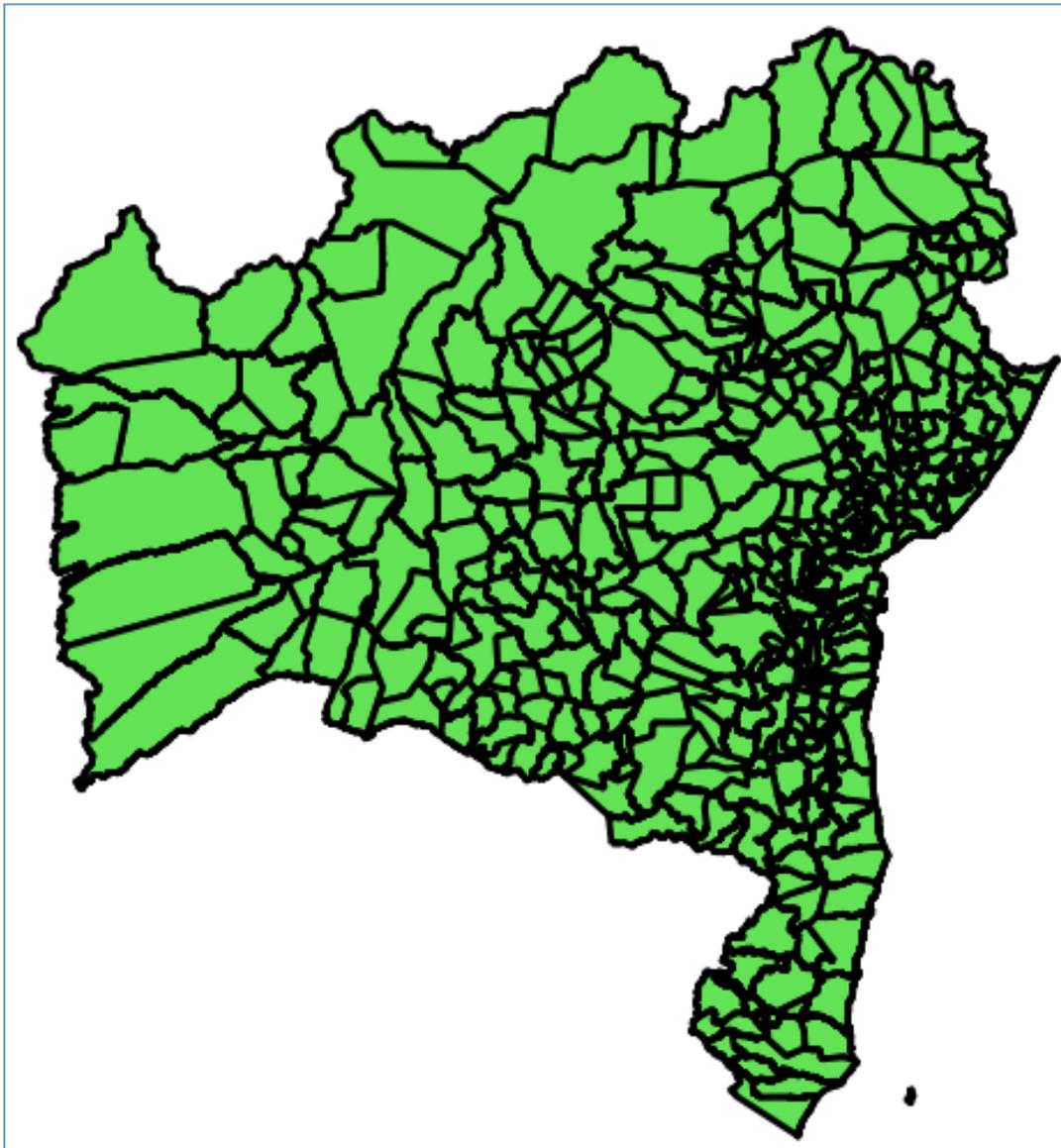
# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Quais as áreas de aptidão agrícola de cada município de Minas Gerais?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?
- Crie uma nova tabela com o resultado e visualize no Quantum GIS.

# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Como estão organizadas as áreas de aptidão agrícola do município de “João Pinheiro”?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?
- Crie uma nova tabela com o resultado e visualize no Quantum GIS.

# Importar o dado de municípios da Bahia



**Arquivo:**

dados/shp/29mu2500gsr

**Tipo de dado:**

Polígonos (417)

**Sistema de Referência Espacial:**

4674 => Lat/Long SIRGAS 2000

**Nome da tabela a ser criada:**

ba\_municipios

**Codificação dos caracteres :**

LATIN1

**Fonte do dado:**

IBGE

# Consulta Espacial

- **Tarefa:** Gerar o contorno do Estado da Bahia a partir do mapa de municípios da Bahia.
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?

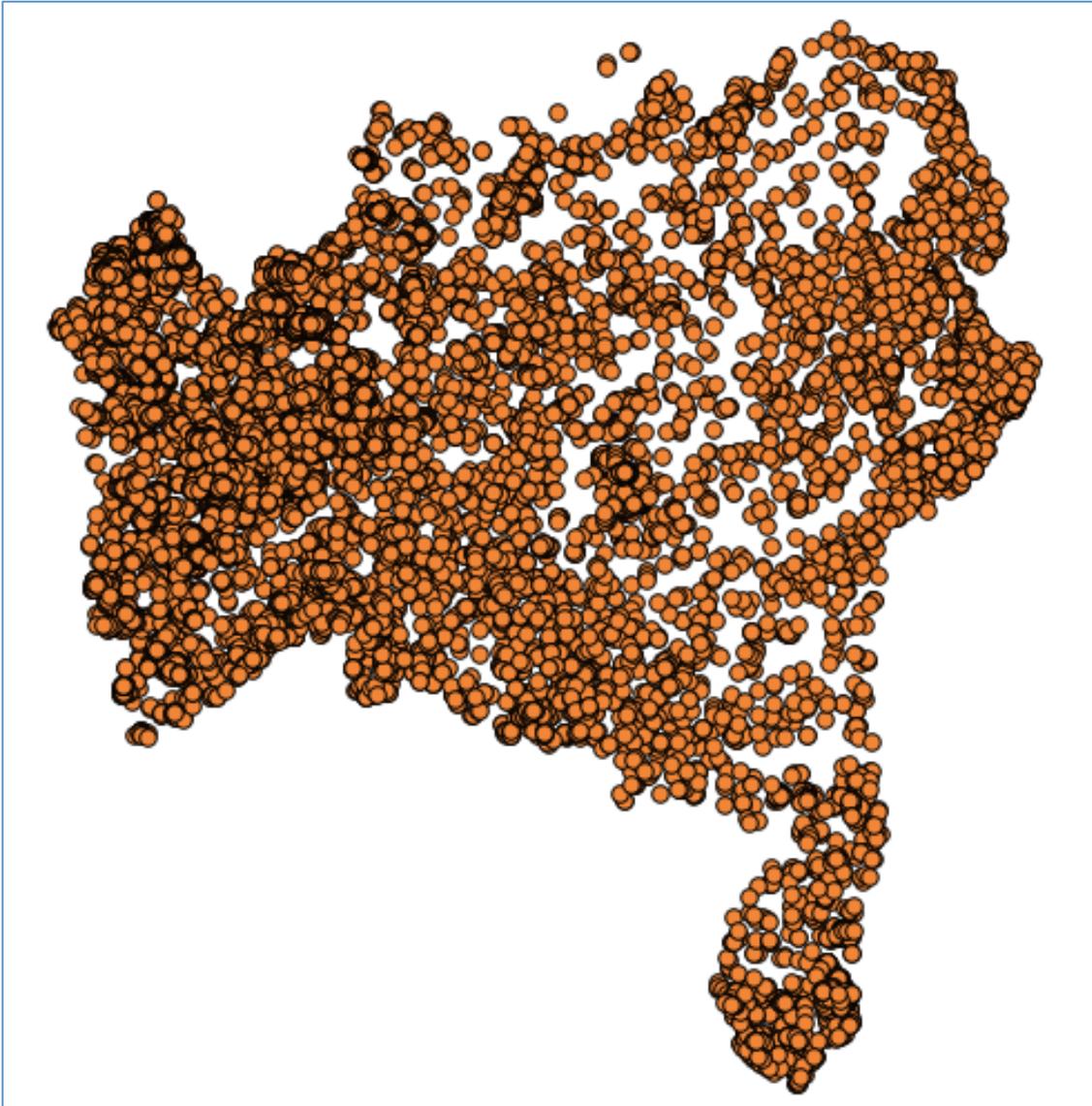
# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Quais os municípios vizinhos a Salvador?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?

# Suporte a Projeções Cartográficas

- O PostGIS possui uma tabela de metadados com a lista de todos os sistemas de referência espacial suportados por ele:
  - Tabela: `spatial_ref_sys`
- Operador:
  - `ST_Transform(geometria, novo-srid)`
  - Retorna uma nova geometria com as coordenadas transformadas para um novo SRID
  - O novo SRID deve estar presente na tabela `spatial_ref_sys`

# Importar o dado com focos de queimadas



**Arquivo:**

dados/shp/focos\_incendio\_bahia

**Tipo de dado:**

Pontos (18072)

**Período:**

01-01-2013 a 22-09-2013

**Sistema de Referência Espacial:**

4618 => Lat/Long SAD/69

**Nome da tabela a ser criada:**

focos

**Codificação dos caracteres :**

LATIN1

**Fonte do dado:**

INPE

# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Em qual município da Bahia foi detectado maior número de focos?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?

# Importar as áreas de terras indígenas



**Arquivo:**

dados/shp/LIM\_Terra\_Indigena\_A

**Tipo de dado:**

Polígonos (38)

**Sistema de Referência Espacial:**

4674 => Lat/Long SIRGAS 2000

**Nome da tabela a ser criada:**

terras\_indigenas

**Codificação dos caracteres :**

LATIN1

**Fonte do dado:**

IBGE

# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Quais as áreas de terra indígena na Bahia?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?

# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Algum foco de incêndio foi detectado em terras indígenas?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?

# Importar trechos rodoviários



**Arquivo:**

dados/shp/TRA\_Trecho\_Rodoviario\_L

**Tipo de dado:**

Linhas (45691)

**Sistema de Referência Espacial:**

4674 => Lat/Long SIRGAS 2000

**Nome da tabela a ser criada:**

trecho\_rodoviario

**Codificação dos caracteres :**

LATIN1

**Fonte do dado:**

IBGE

# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Algum foco de incêndio foi detectado num raio de 1000 metros do trecho rodoviário de código GEODB\_OID 17420?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?

# Importar trechos drenagem



**Arquivo:**

dados/shp/HID\_Trecho\_Drenagem\_L

**Tipo de dado:**

Linhas (130411)

**Sistema de Referência Espacial:**

4674 => Lat/Long SIRGAS 2000

**Nome da tabela a ser criada:**

drenagem

**Codificação dos caracteres :**

LATIN1

**Fonte do dado:**

IBGE

# Consulta Espacial

- **Tarefa:** Extrair as linhas de drenagem do município de “Rafael Jambeiro”.
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?

# Consulta Espacial

- **Pergunta:** Qual o comprimento em km das linhas de drenagem do município de “Rafael Jambeiro”?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?

# QUIZ Espacial

- Qual a diferença entre as duas consultas abaixo:

A)

```
SELECT nommuni,  
       ST_AsText(geom) AS geom  
FROM mg_municipios  
WHERE  
ST_Distance(geom, ST_GeomFromText(  
'POINT(-45.970095 -17.5110525)', 4618)) <= 1.0;
```

B)

```
SELECT nommuni,  
       ST_AsText(geom) AS geom  
FROM mg_municipios  
WHERE  
ST_DWithin(geom, ST_GeomFromText(  
'POINT(-45.970095 -17.5110525)', 4618), 1.0);
```

- \* Experimente usar o operador de conjunto INTERSECT da linguagem SQL para ver que o resultado é o mesmo nos dois casos

# QUIZ Espacial

- Qual a diferença entre as duas consultas abaixo:

A)

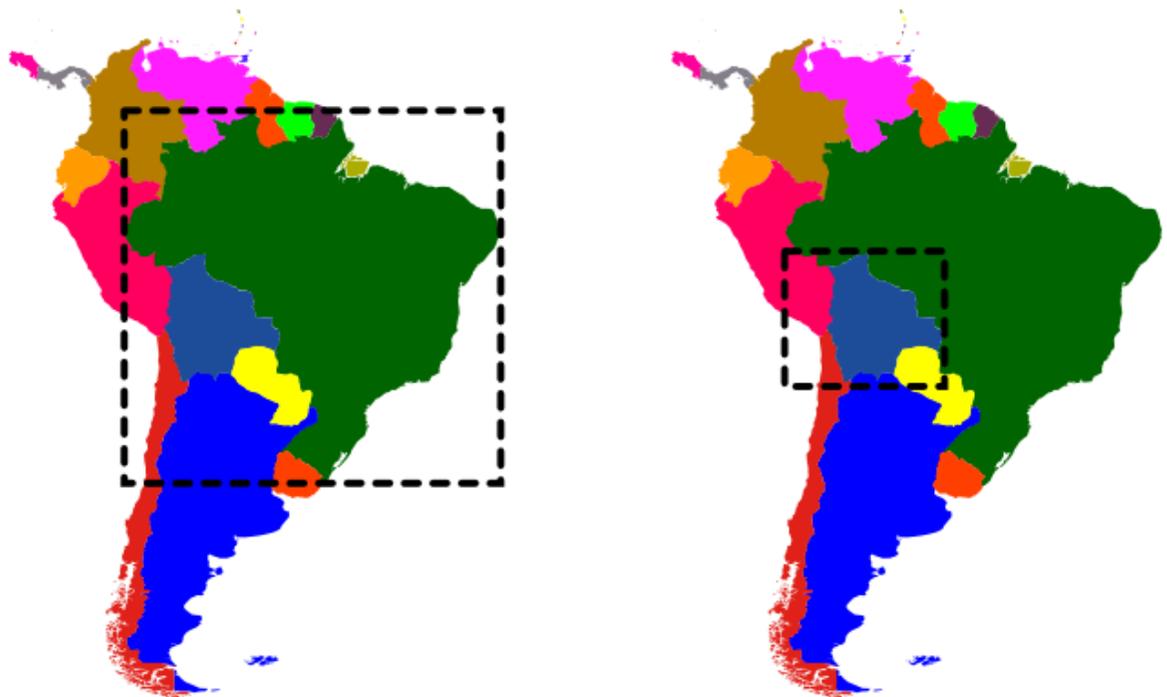
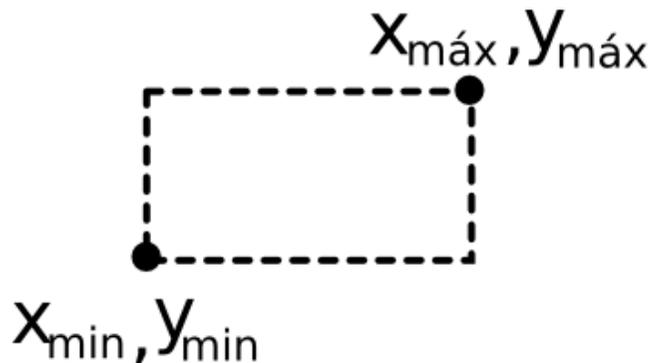
```
SELECT ST_Intersection(m.geom, d.geom)
FROM ba_municipios AS m, drenagem AS d
WHERE _ST_Intersects(m.geom, d.geom) AND
    nome_munic = 'Rafael Jambeiro'
```

B)

```
SELECT ST_Intersection(m.geom, d.geom)
FROM ba_municipios AS m, drenagem AS d
WHERE ST_Intersects(m.geom, d.geom) AND
    nome_munic = 'Rafael Jambeiro'
```

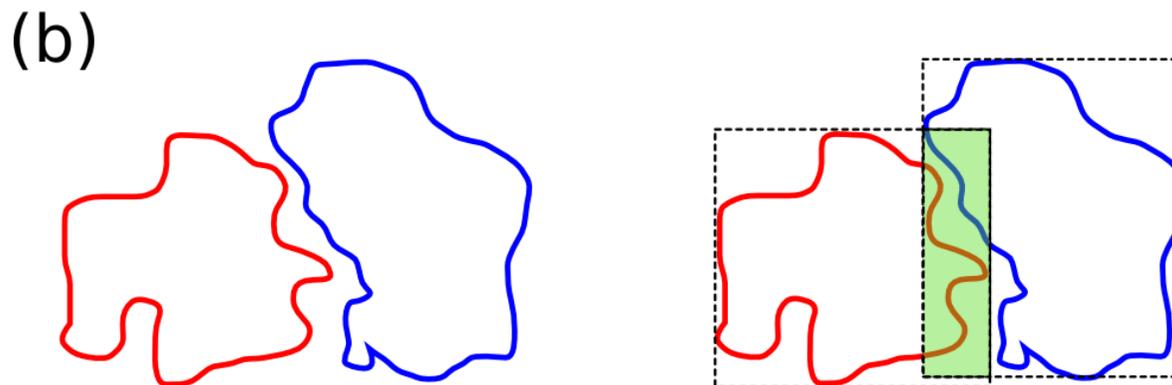
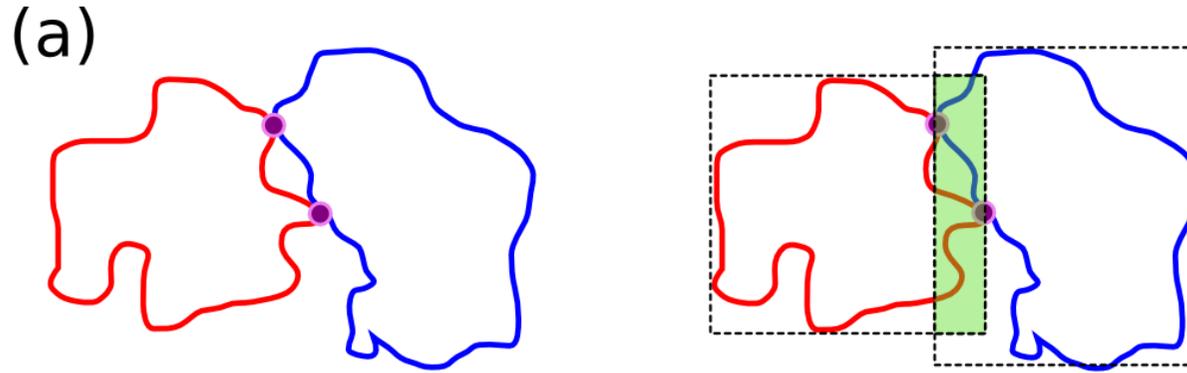
# Retângulo Envolvente Mínimo

- Aproximação da geometria do objeto pelo seu retângulo envolvente mínimo (rem) ou bounding box (bbox) ou minimum bounding box (mbb) ou minimum bounding rectangle (mbr).



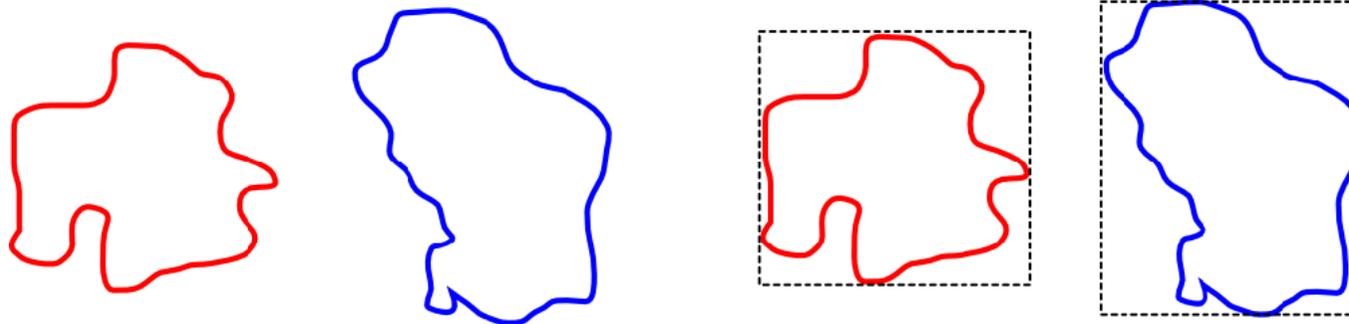
# Retângulo Envolvente Mínimo

- Por que aproximação?
  - Os REM se interceptam: logo, as geometrias podem ter algum tipo de interseção (a) ou não (b)



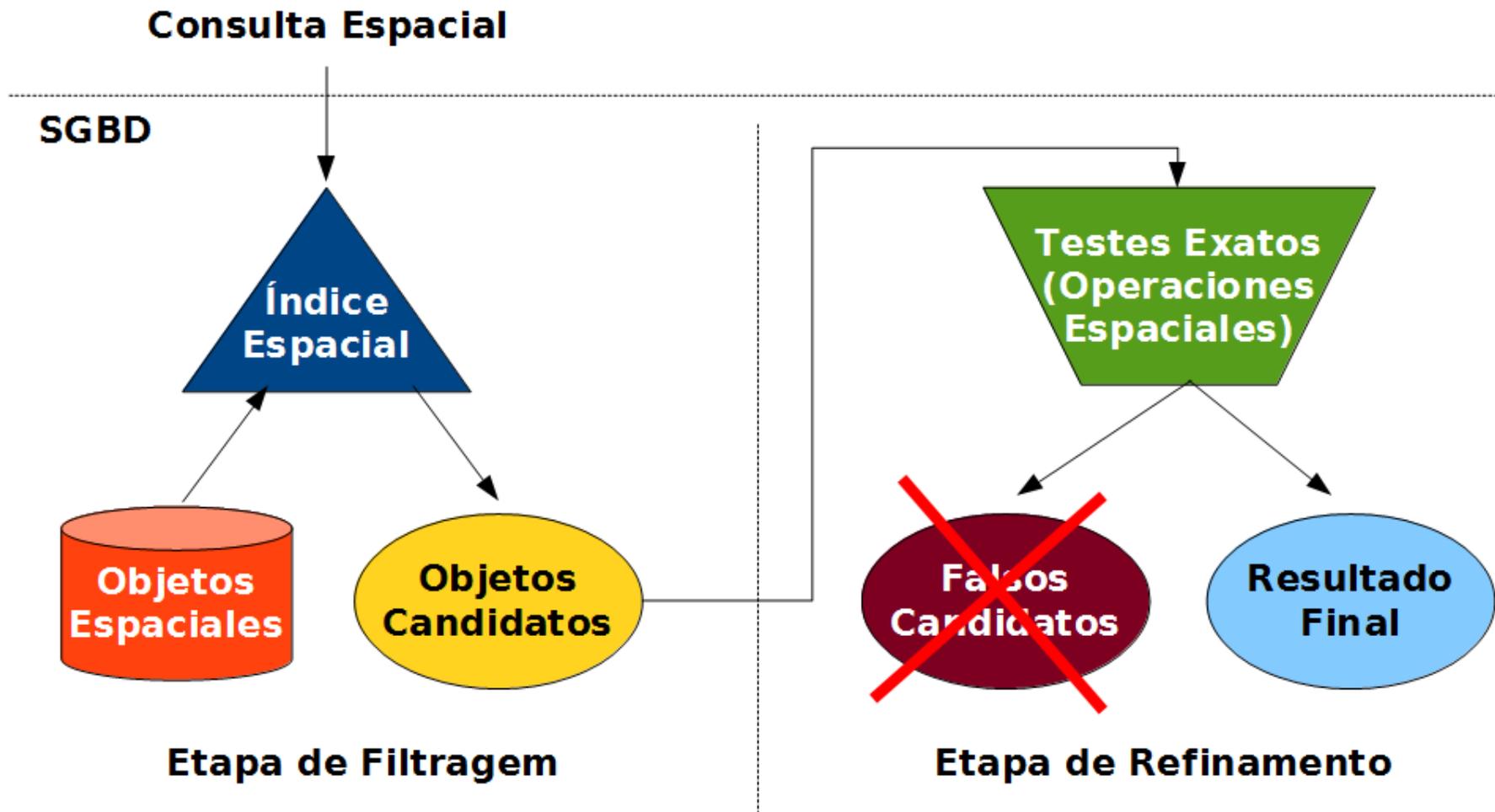
# Retângulo Envoltente Mínimo

- Por que aproximação?
  - Os REM NÃO se interceptam: logo, as geometrias NÃO podem ter interseção



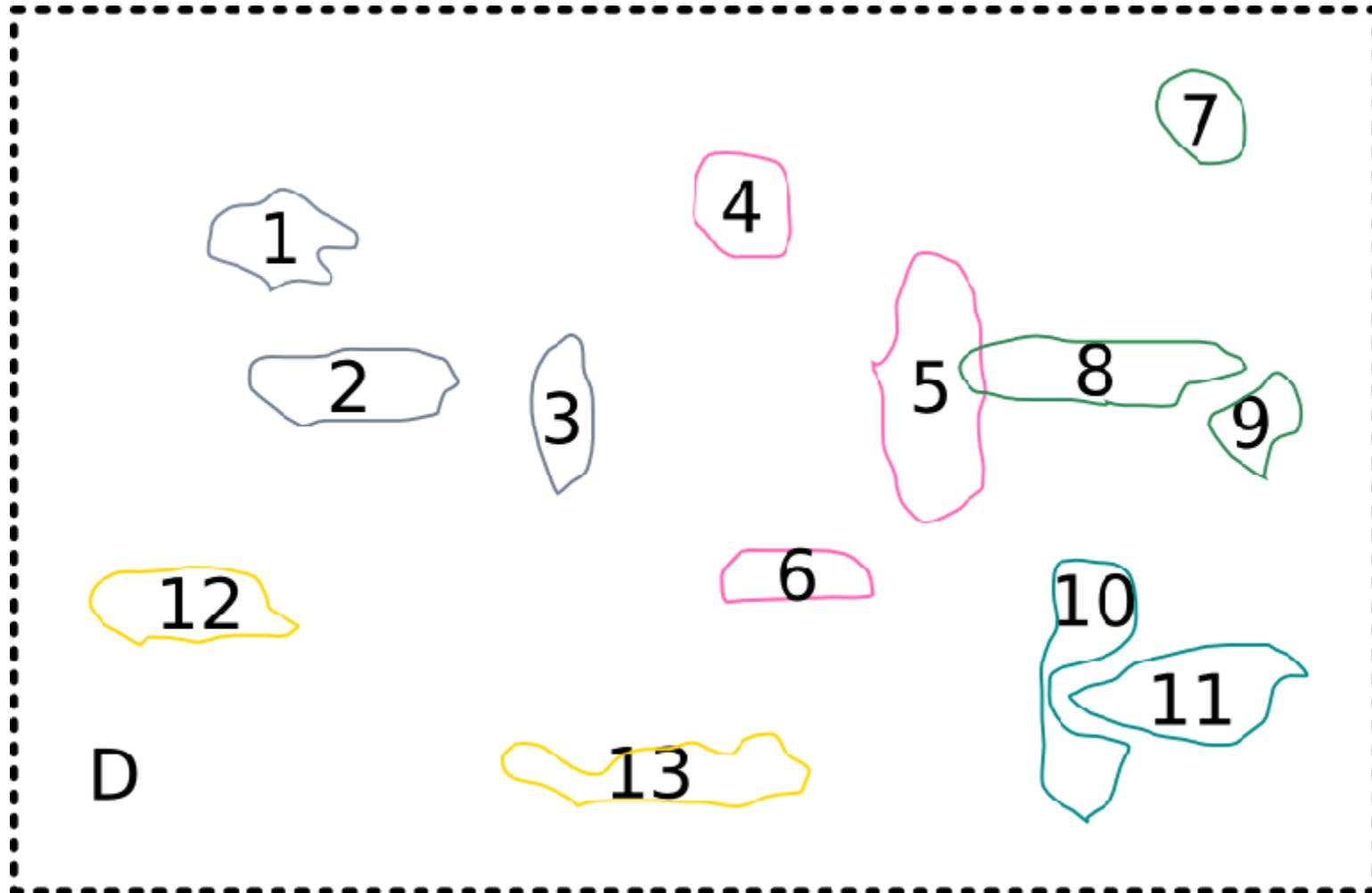
# Como os índices espaciais são utilizados?

- Processamento Consultas Espaciais:

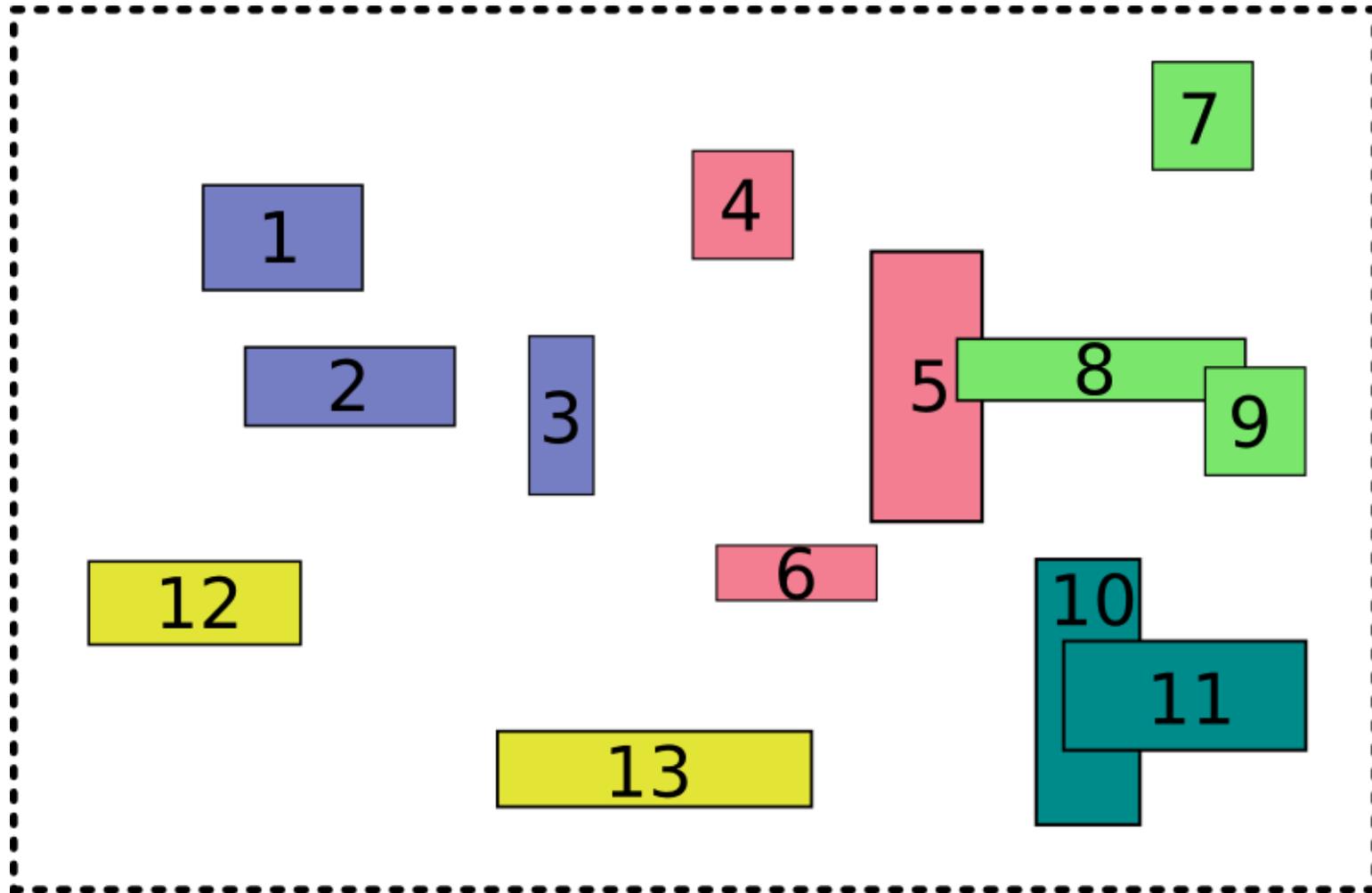


# Árvores-R

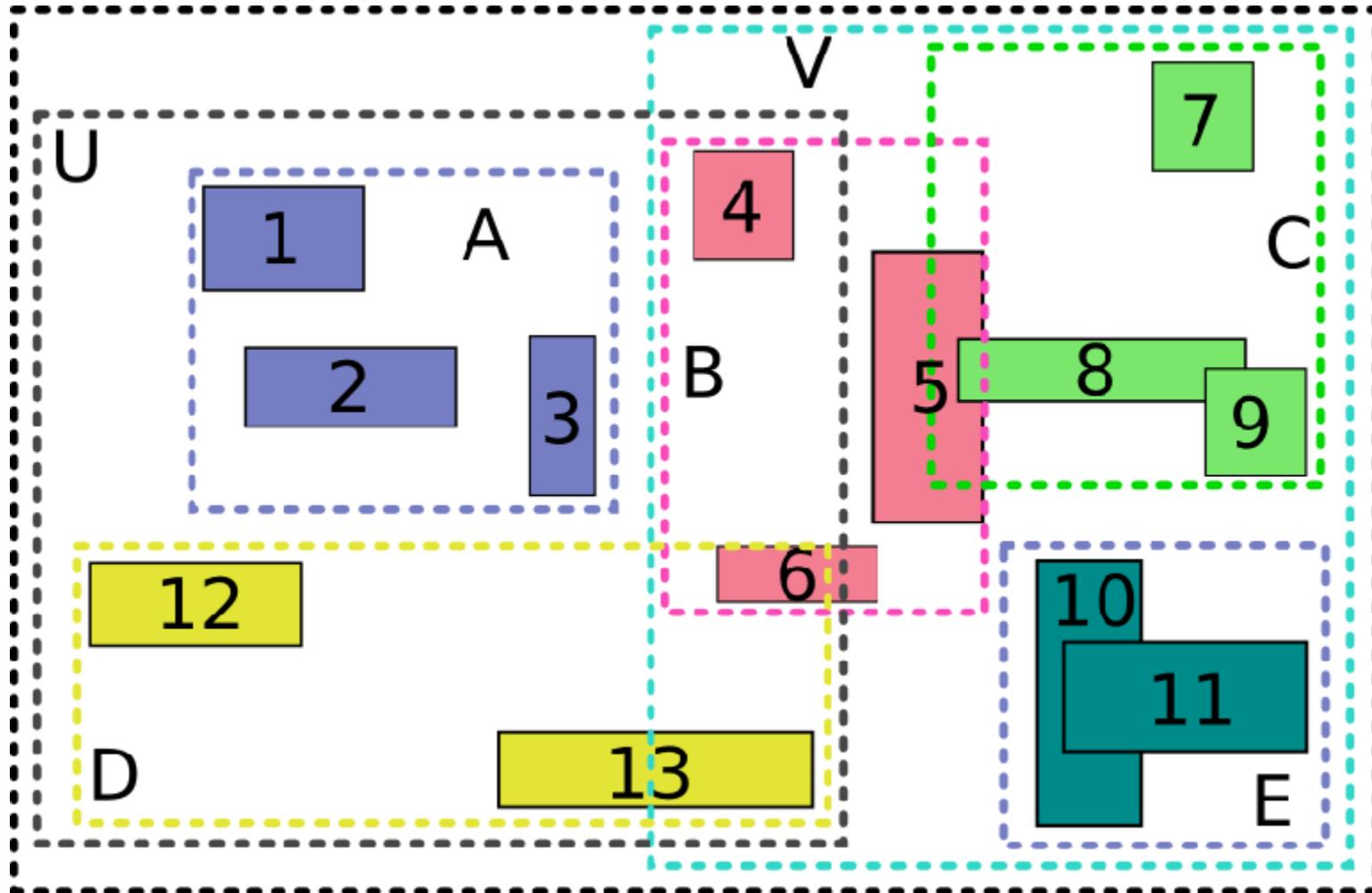
# Árvores-R: Geometrias Originais



# Árvores-R: Geometrias Originais

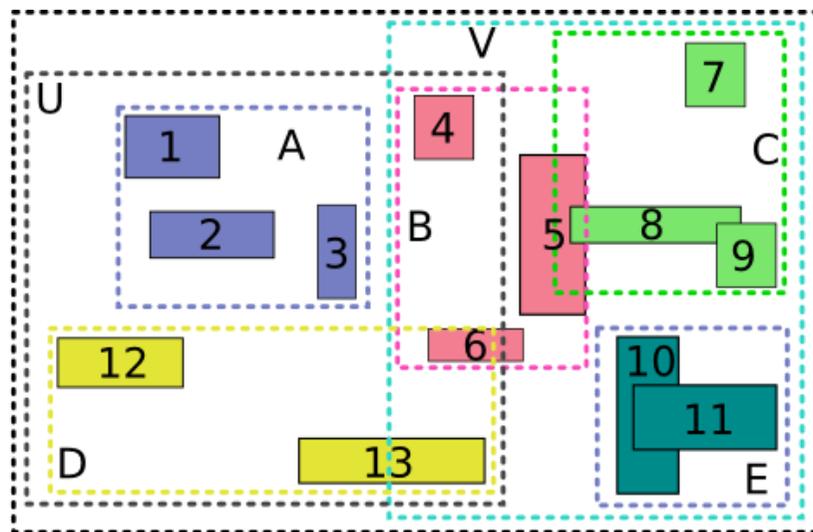


# Árvores-R: Geometrias Originais



# Árvores-R: Organização

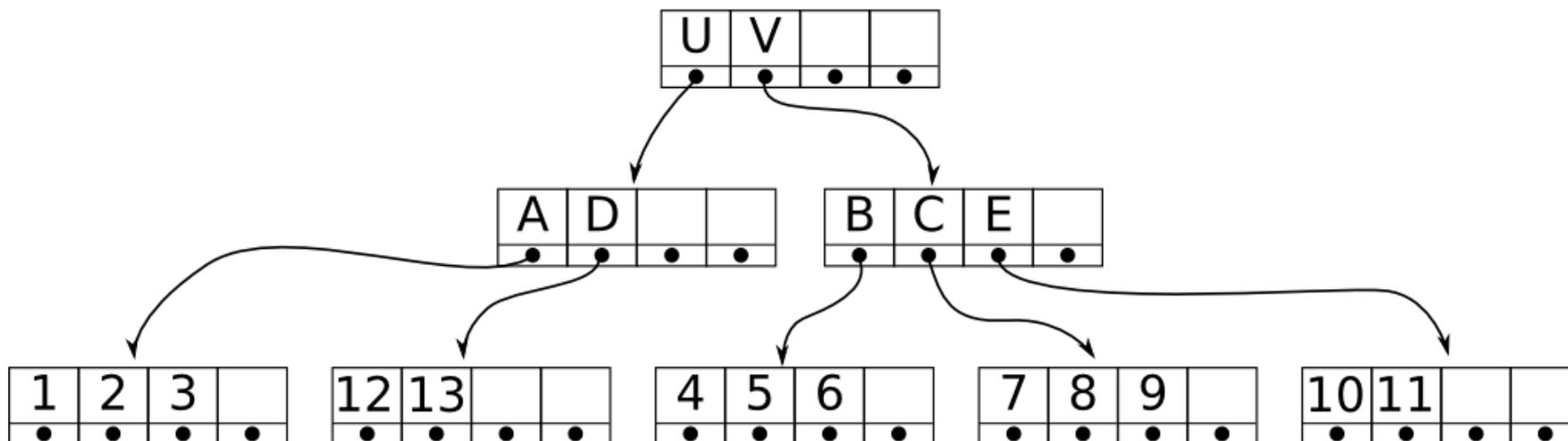
- ✓ Grid
- ✓ Quadtrees
- ✓ Kd-trees
- ✓ R-trees:
  - R, R<sup>+</sup>, R\*, Hilbert, Packed, ...



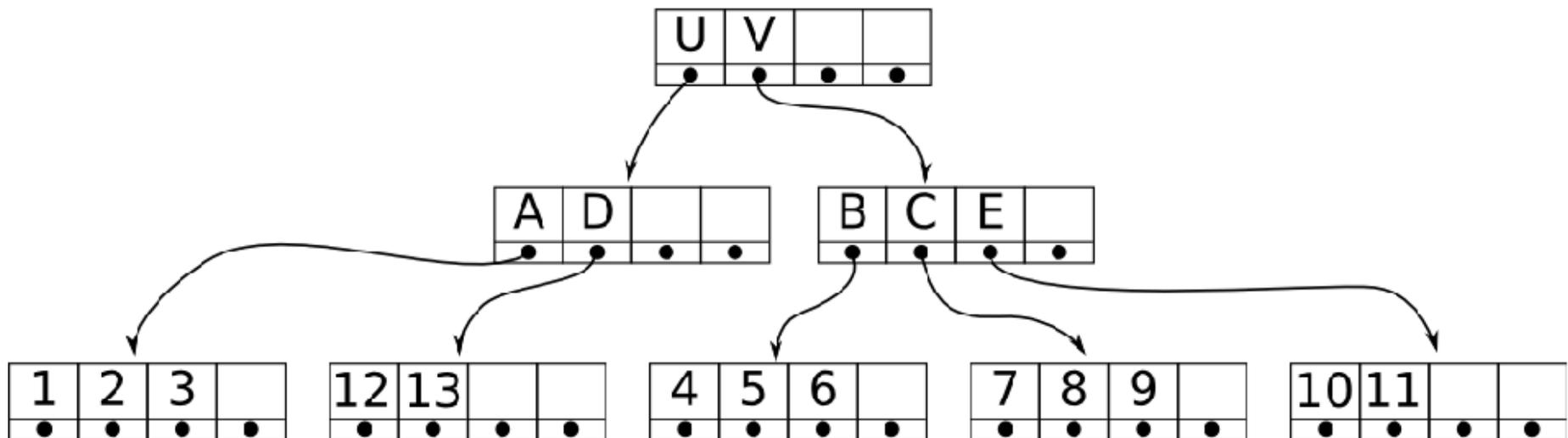
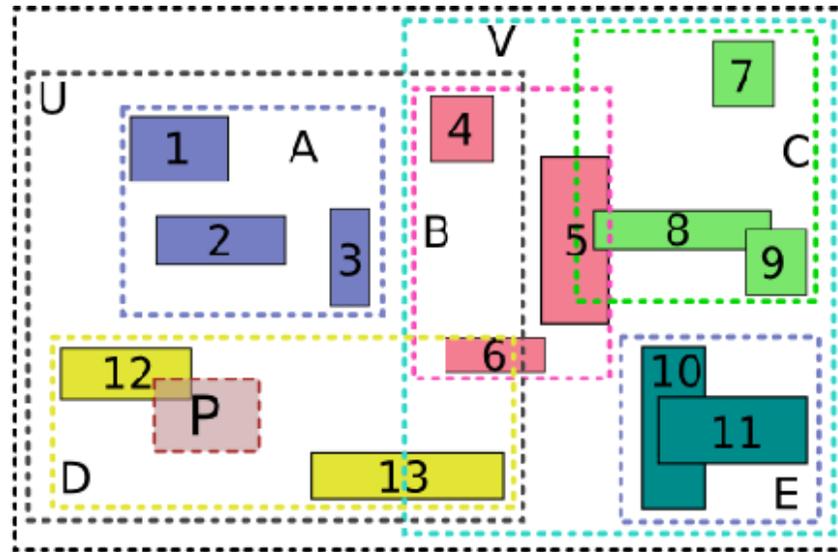
**Nós internos:**  
 {(MBR, ptr-filho)}

**Nós folha:**  
 {(MBR, ID-Tupla)}

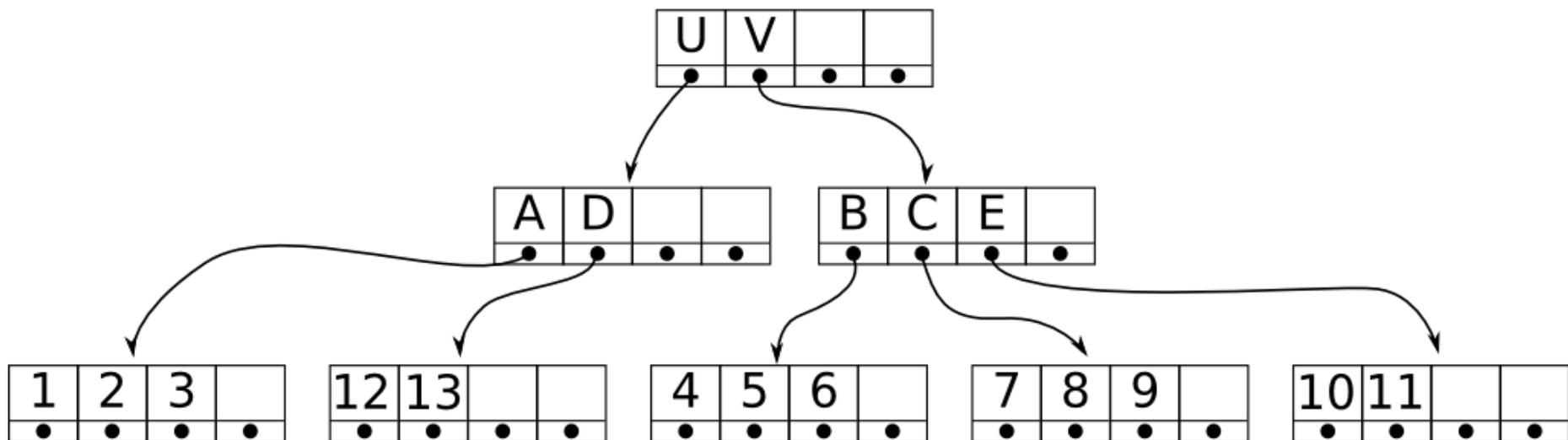
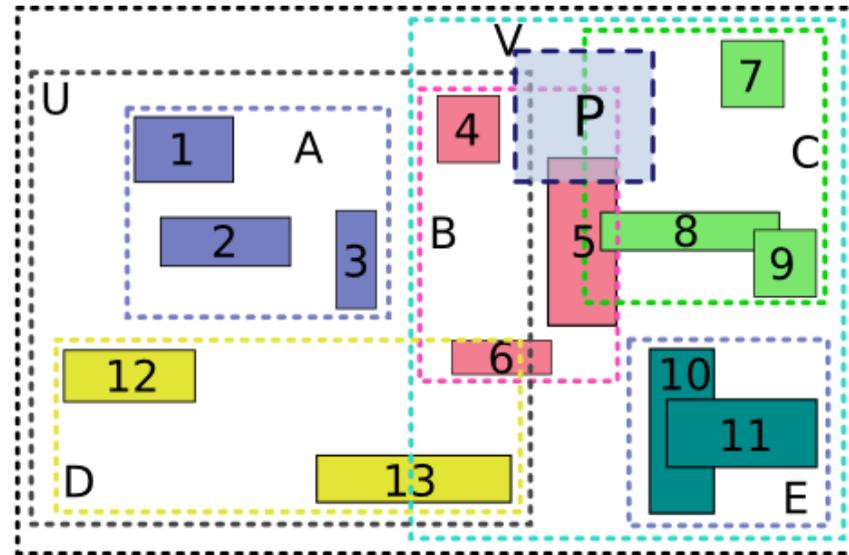
**Número Entradas (n):**  
 $m \leq n \leq M$



# Árvores-R: recuperação



# Árvores-R: recuperação



# Árvores-R: Eficiência na Recuperação

- Altura esperada no pior caso:  $\lceil \log_m(N) \rceil - 1$
- Ao contrário das Árvores-B<sup>+</sup>, onde apenas um caminho (sub-árvore) será seguido a partir de um determinado nó, nas Árvores-R pode ser necessário visitar mais de uma sub-árvore (caminho) a partir de um nó:
  - por isso, sua complexidade de pior caso não é, garantidamente, ótima
- Na prática:
  - esperamos algo logarítmico
  - a organização geral e a densidade dos nós de uma Árvore-R têm grande influência na eficiência da busca
  - os nodos tenderão a ter mais de m entradas: diminuindo a altura da árvore e melhorando a utilização de espaço

# Criação de Índices Espaciais

```
CREATE INDEX spidx_tabela_col  
    ON tabela USING gist(coluna_geom);
```

- Ver a definição das tabelas importadas para o banco de dados.

# Referências

- OGC. ***OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture.*** Available at: <http://www.opengeospatial.org>. Access: October, 2012.
- OGC. ***OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 2: SQL option.*** Available at: <http://www.opengeospatial.org>. Access: October, 2012.
- ISO. ***SQL Multimedia and Application Packages – Part 3: Spatial.***
- PostGIS: <http://postgis.net/>