



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**



# Bancos de Dados Geográficos

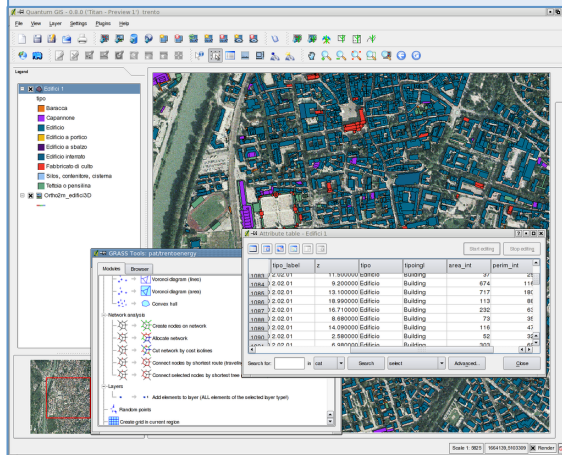
## Sistemas de Bancos de Dados Geoespaciais Parte I - Tipos e Operadores Espaciais

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

Dr. Eymar Lopes <[eymar@dpi.inpe.br](mailto:eymar@dpi.inpe.br)>

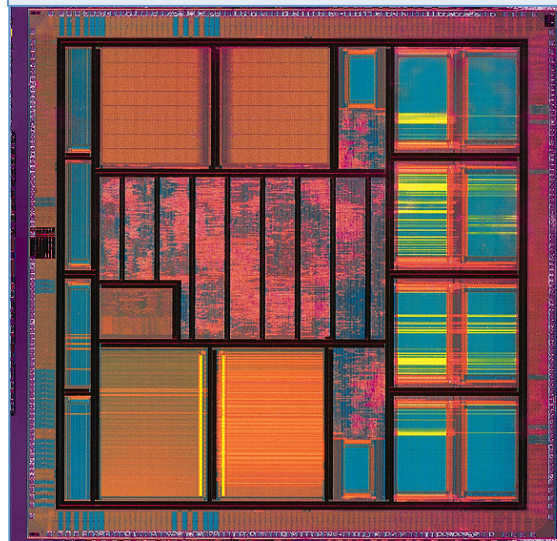
# Diversos tipos de aplicações lidam com dados relacionados ao espaço

## Geographic Information Systems (GIS)



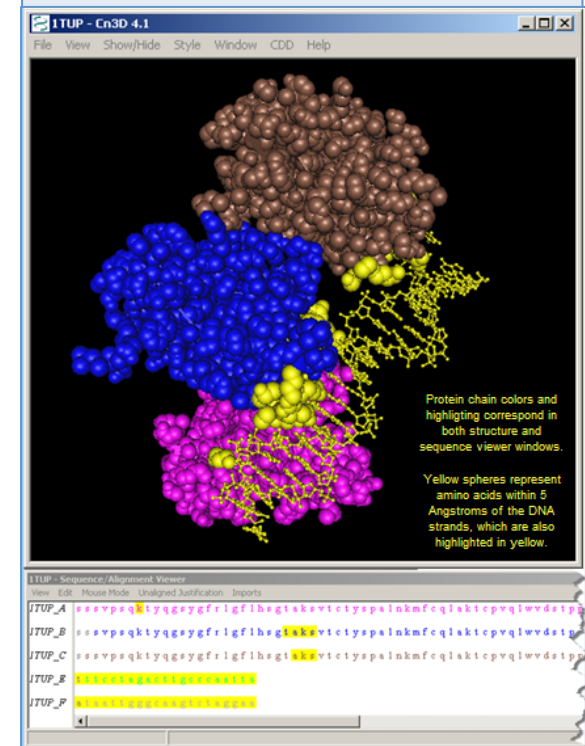
Source: [Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_systems)

## Electronic Design Automation (EDA or ECAD)



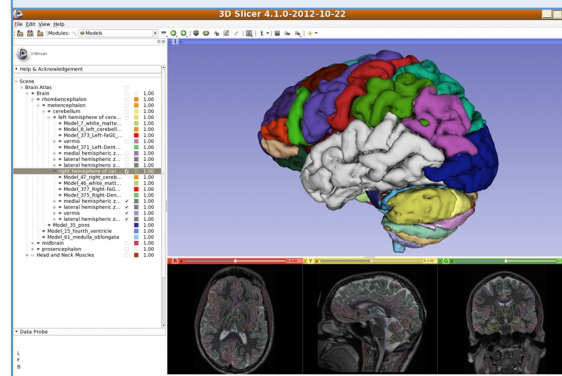
Source: [Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_design_automation)

## 3D Macromolecular Structures



Source: [MMDB](https://www.rcsb.org/structure/1TUP)

## 3D Magnetic Resonance Imaging (MRI)



Source: [3DSlicer](https://www.slicer.org/)

# Por que usar um SDS?

- Difusão massiva de dispositivos *spatially-aware*:
  - Cidadãos como sensores (Goodchild, 2007)
  - Volunteered Geographic Information (VGI)
  - Geo-crowdsourcing
- Aplicações com localização geográfica se tornaram mais comuns:
  - 99 Taxi, Easy Taxi
  - Google Maps, OpenStreetMap, Wikimapia
  - Google Earth (mais de 1 bilhão de downloads)
- Palpites para os próximos anos:
  - Maior disponibilidade de imagens de satélite (MODIS, LandSat, Sentinel)
  - Imagens VANTs/Drones


O que é um sistema de bancos de dados espacial?

Spatial Database System  
(SDS)

# Existe um termo unificado para SDS?

- Terminologias encontradas na literatura:

- Pictorial
- Image



raster images: such as remote sensing  
satellite data or computer tomography

- Geometric

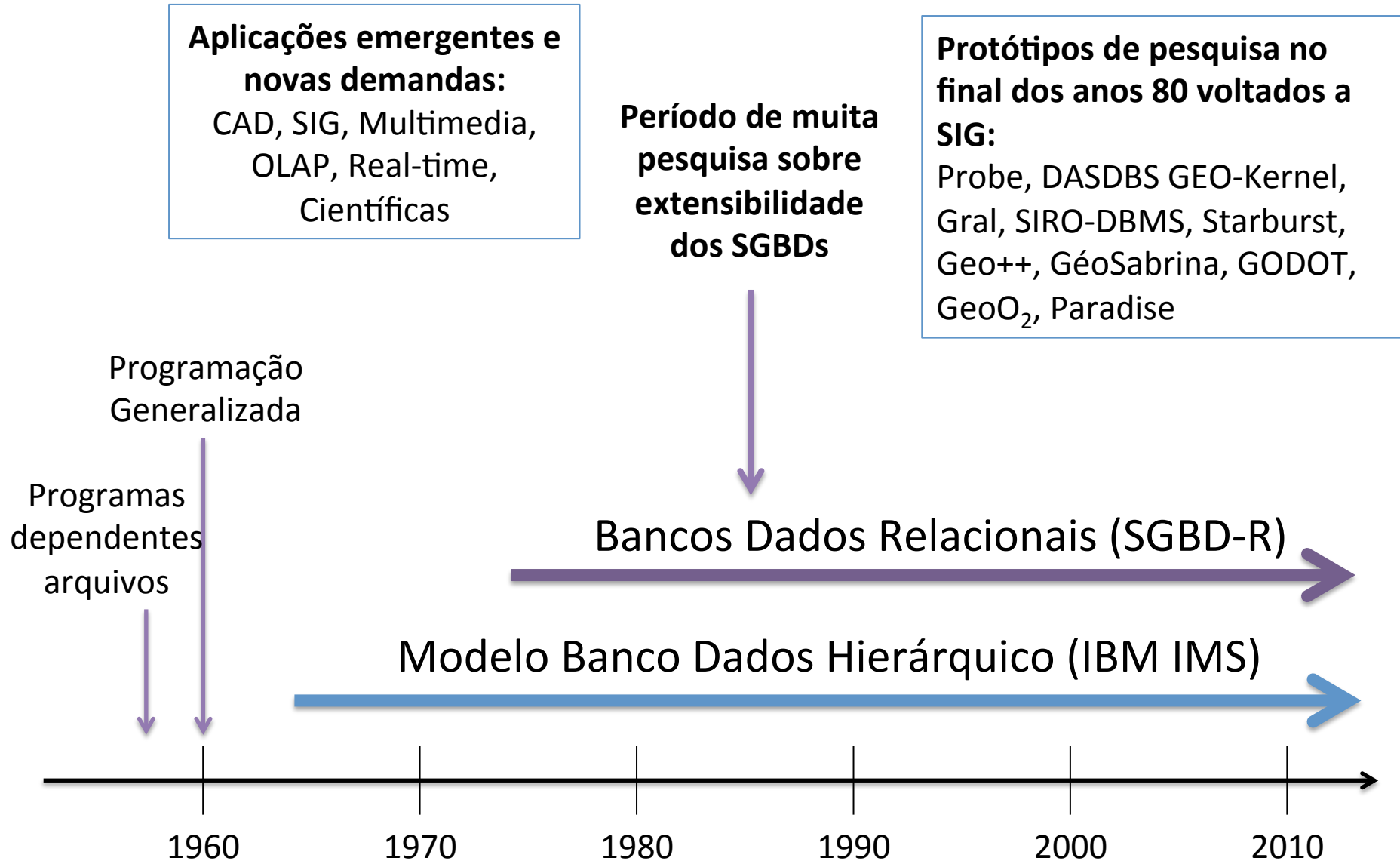
- Geographic

- Spatial database system

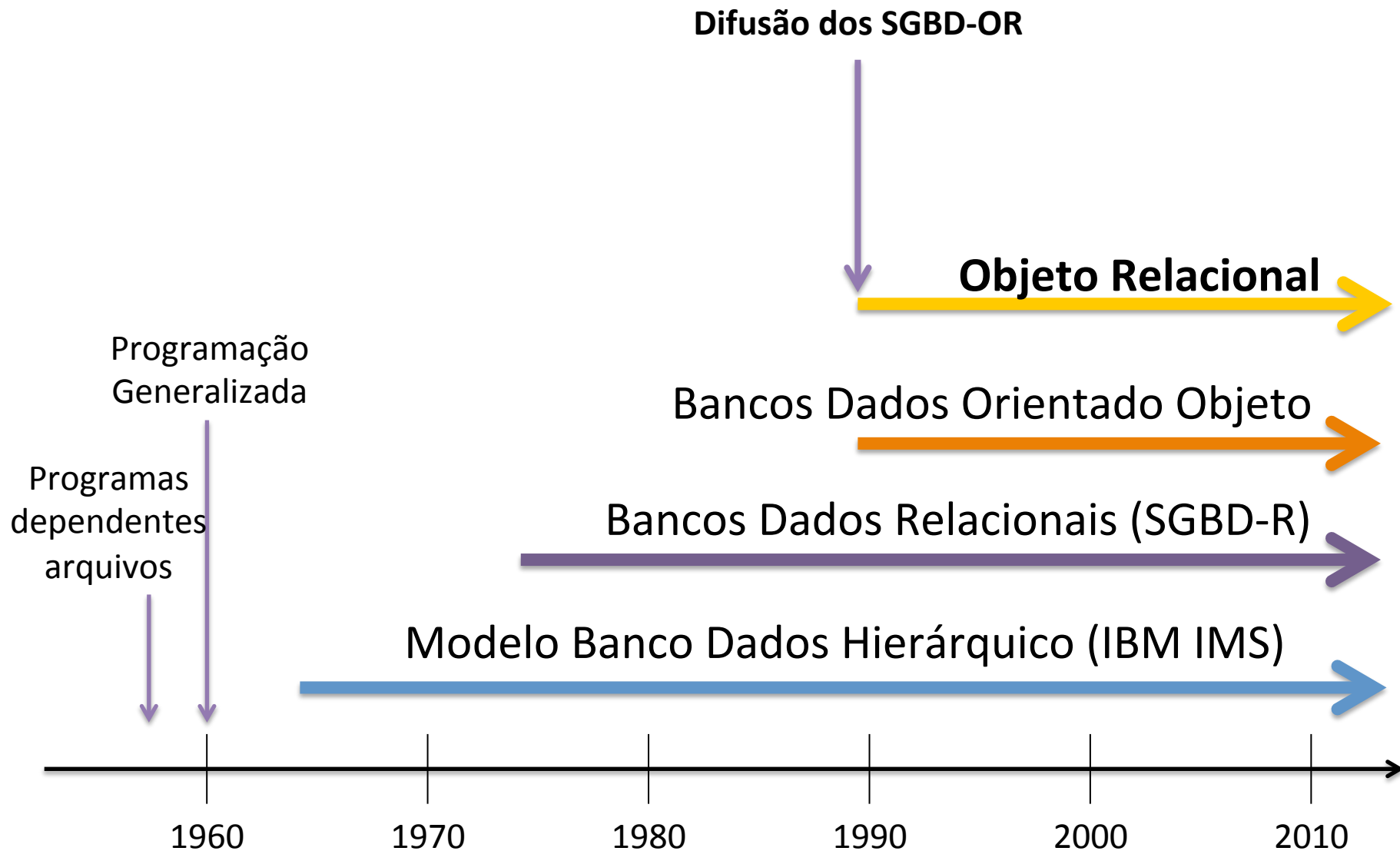


set of objects in space

# Evolução das Tecnologias de Bancos Dados



# Evolução das Tecnologias de Bancos Dados



# SGBD-OR: User Defined Types (UDT)

```
CREATE TYPE geo_point AS  
(  
  x    REAL,  
  y    REAL,  
  srid INTEGER  
);
```



# SGBD-OR: User Defined Types (UDT)

```
CREATE TABLE sedes_municipais  
(  
  id INTEGER PRIMARY KEY,  
  location GEO_POINT  
);
```



```
INSERT INTO sedes_municipais  
VALUES (1, '(1, 2, 4326)::GEO_POINT);
```

# SGBD-OR: User Defined Functions (UDF)

- Possibilita criar ou estender a álgebra de um determinado tipo de dado.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION less_than(first GEO_POINT, second GEO_POINT)
RETURNS REAL
AS $$
BEGIN
  IF(first.x < second.x)
  THEN
    RETURN TRUE;
  END IF;

  IF(first.x > second.x)
  THEN
    RETURN FALSE;
  END IF;

  ...
  RETURN FALSE;
END;
$$
LANGUAGE plpgsql;
```

# SGBD-OR: User Defined Functions (UDF)

- Possibilita criar ou estender a álgebra de um determinado tipo de dado.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION distance(first GEO_POINT, second GEO_POINT)
RETURNS REAL
AS $$
DECLARE
    dx REAL;
    dy REAL;
BEGIN
    dx = (first.x - second.x) * (first.x - second.x);

    dy = (first.y - second.y) * (first.y - second.y);

    RETURN sqrt(dx + dy);
END;
$$
LANGUAGE plpgsql;
```

# SGBD-OR: User Defined Functions (UDF)

- UDFs passam a fazer parte da linguagem de consulta do SGBD:

```
SELECT less_than('(1, 2, 4326)::GEO_POINT, '(10, 20, 4326)::GEO_POINT);
```

```
SELECT less_than('(1, 2, 4326)::GEO_POINT, '(-1, 2, 4326)::GEO_POINT);
```

```
SELECT distance('(1, 2, 4326)::GEO_POINT, '(10, 20, 4326)::GEO_POINT);
```

# SGBD-OR: Sobrecarga de Operadores

```
CREATE OPERATOR <  
(  
  leftarg = GEO_POINT,  
  rightarg = GEO_POINT,  
  procedure = less_than,  
  commutator = >,  
  negator = >=  
);
```



```
SELECT '(1, 2, 4326)'::GEO_POINT < '(10, 2, 4326)'::GEO_POINT;
```

# SGBD-OR: User Defined Access Methods

B-tree

Operation	Strategy Number
less than	1
less than or equal	2
equal	3
greater than or equal	4
greater than	5

Hash

Operation	Strategy Number
equal	1

GiST – Rtree 2D

Operation	Strategy Number
strictly left of	1
does not extend to right of	2
overlaps	3
does not extend to left of	4
strictly right of	5
same	6
contains	7
contained by	8
does not extend above	9
strictly below	10
strictly above	11
does not extend below	12

# SGBD-OR: UDTs mais Complexos

```
CREATE TYPE Geometry
(
  internallength = variable,
  input = geometry_in,
  output = geometry_out,
  send = geometry_send,
  receive = geometry_recv,
  typmod_in = geometry_typmod_in,
  typmod_out = geometry_typmod_out,
  delimiter = ':',
  alignment = double,
  analyze = geometry_analyze,
  storage = main);
```

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION _ST_Touches(geom1 geometry, geom2 geometry)
  RETURNS boolean
  AS '$libdir/postgis-2.1','touches'
  LANGUAGE 'c' IMMUTABLE STRICT
  COST 100;
```

...

# Evolução das Tecnologias de Bancos Dados

PostgreSQL → PostGIS

MySQL → Spatial and Geodetic Geography Types

SQLite → SpatiaLite and RasterLite

Oracle → Oracle Spatial, GeoRaster, Topology and Network Models

IBM DB2 → Spatial Extender

SQL Server (2008) → Spatial Types

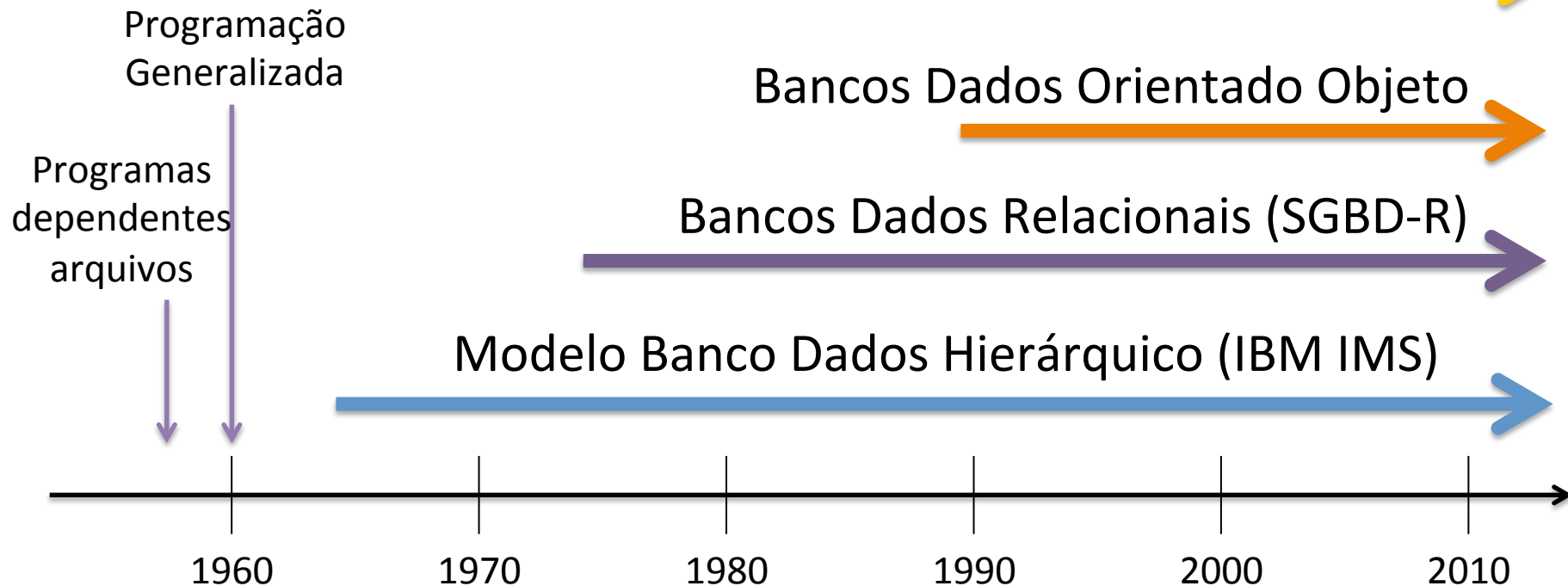
Geoespacial

Objeto Relacional

Bancos Dados Orientado Objeto

Bancos Dados Relacionais (SGBD-R)

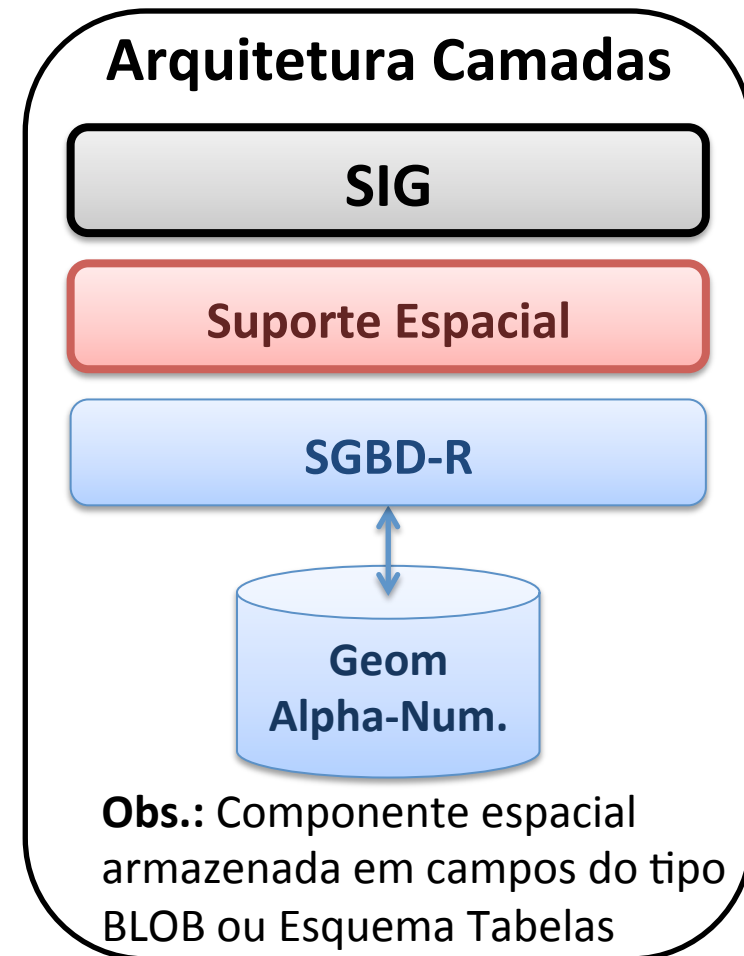
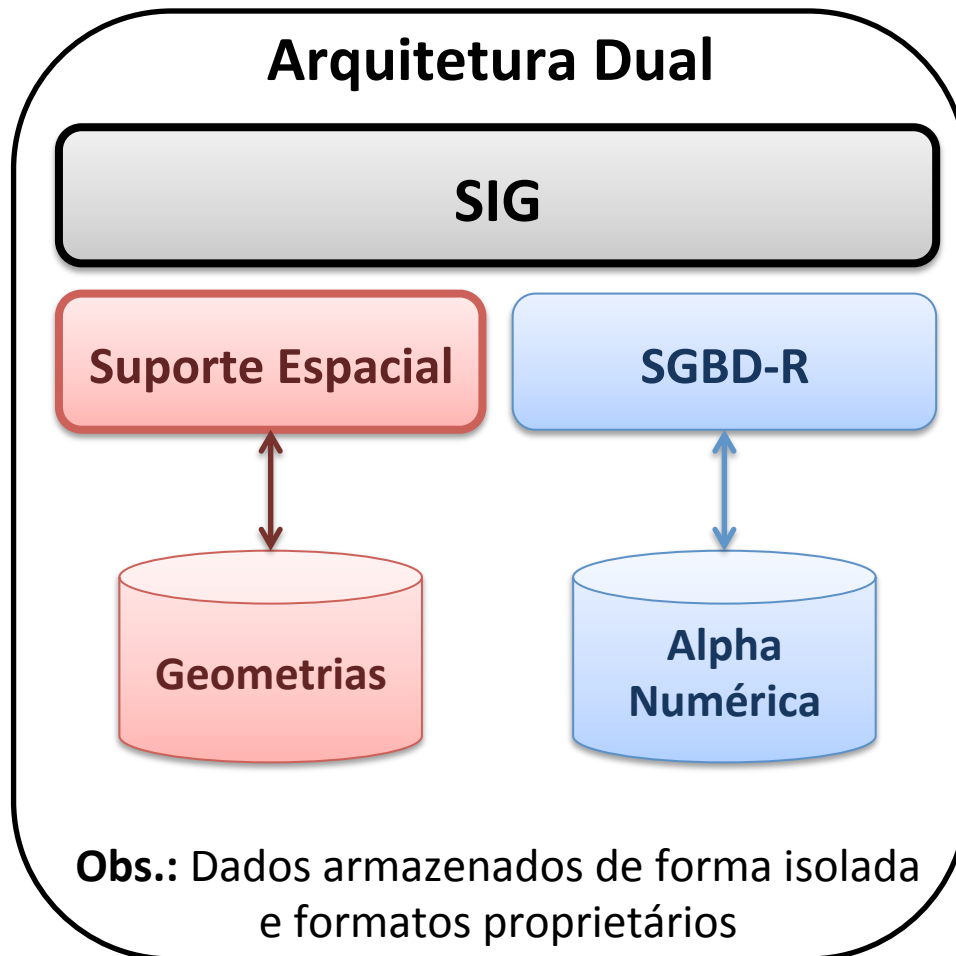
Modelo Banco Dados Hierárquico (IBM IMS)





# SIG e SGBD-R



- Como era a integração SIG e SGBD-R antes da inclusão do suporte espacial?



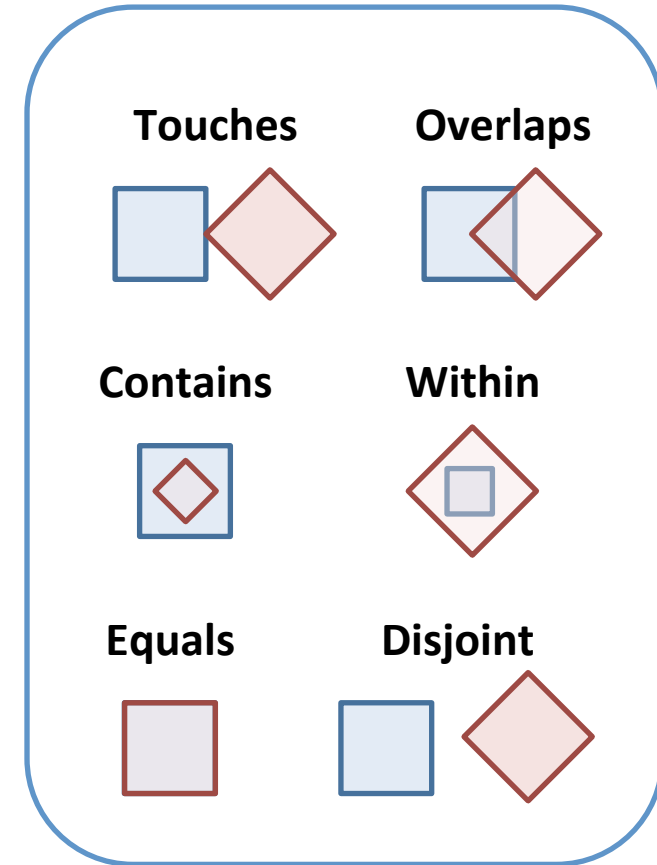
# SIG e SGBD-R: Como passou a ser esta integração?

- Arquitetura Integrada: Tipos de Dados Geoespaciais
- Padronização: OGC Simple Features e ISO/SQL-MM Spatial

Tabelas com feições: geometrias vetoriais

países			
id	nome	populacao	fronteira
1	Alemanha	82.000.000	
2	Brasil	190.000.000	
...	...	...	...

Operações espaciais



# O que mais existe nesta integração entre SGBD-R e Dados Geográficos?

- Índices Espaciais: árvores-R, Quadrees, Fixed-Grid.
- Armazenamento dados matriciais.
- Armazenamento baseado em modelos topológicos.
- Redes espaciais: roteamento, análise de fluxo.

# Um Sistema de Bancos de Dados Espacial é...

**Sistema  
Bancos Dados**

as informações geométricas podem estar conectadas a dados não-espaciais:  
“o proprietário de um dado lote”

+

**Tipos de Dados  
Espaciais**

O Modelo de dados e a linguagem de consulta devem suportar tipos espaciais tais como pontos, linhas, ou polígonos and suas operações (interseção, área, ...)

+

**Indexação Espacial**

deve-se evitar varrer todo o conjunto de objetos quando se executa uma consulta ou quando se realiza uma junção espacial

# Um Sistemas de Bancos de Dados Espacial não é um SIG Completo (full GIS)

Um SDS deve fornecer a tecnologia subjacente de um  
SIG

Os SIGs têm sido a tecnologia de maior influencia no  
desenvolvimento dos atuais SDS

# Tipos de Dados Espaciais (Spatial Data Types)

Álgebra Espacial  
(Spatial Algebra)

# Álgebra Espacial

- Os tipos de dados espaciais introduzidos nos SGBDs baseiam-se em uma álgebra espacial.
- Ex:

$\forall p$  in polygon

$p$	$\times$	$p$	$\rightarrow$	$bool$	intersects, disjoint, touches, overlaps
$p$	$\times$	$p$	$\rightarrow$	$geometry$	intersection
$p$			$\rightarrow$	$[lines]$	boundary
$p$	$\times$	$p$	$\rightarrow$	$real$	distance
$p$			$\rightarrow$	$real$	area, perimeter

Abstract Data Types (ADT):

- ✓ combination of data types and their operations;
- ✓ Accessible only through operations defined on them (encapsulation).

# Operações Espaciais

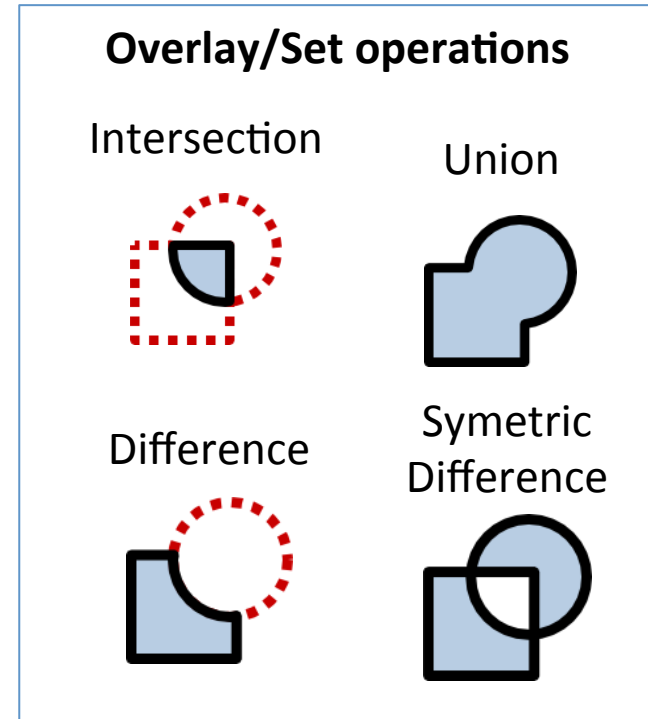
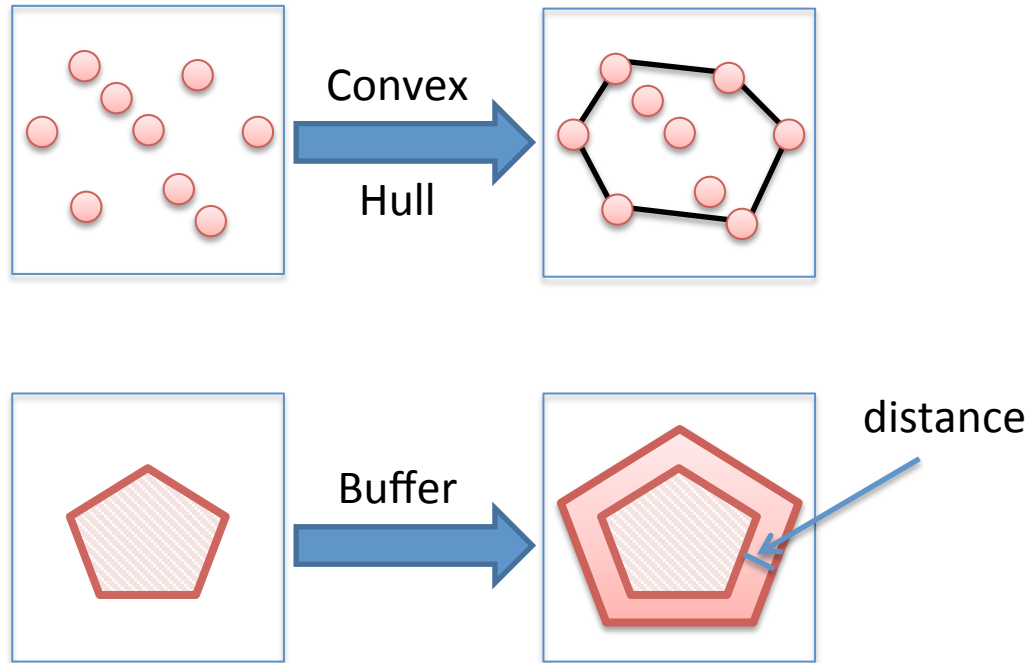
Operações Geométricas

Operações Métricas

Relacionamentos Espaciais



# Operadores Geométricos



**Topological Transforms:** rotation, translation, scale change, symmetry.

**Dimensional Transforms:** boundary.

**Extraction:** MBR, centroid.

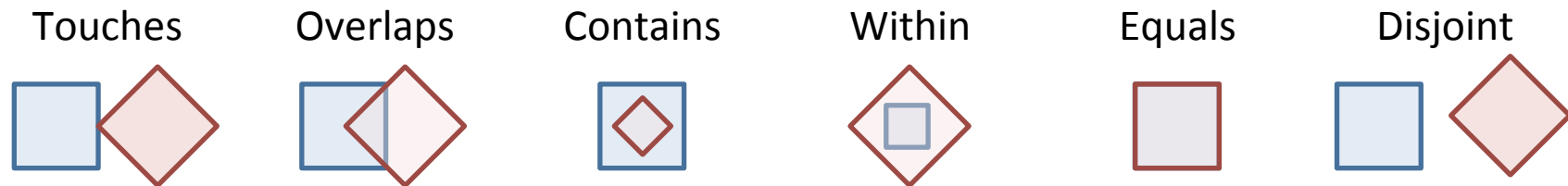
**Object Properties:** is\_convex, is\_connected, is\_simple.

# Operadores Métricos

- Length
- Perimeter
- Area
- Distance

# Relacionamentos Espaciais (Spatial Relationships)

- Topological relationships:



- Direction relationships:

- Above, below, north\_of, ...

- Metric relationships:

- Distance between two objects are less than a given number of units.

# Relacionamentos Espaciais (Spatial Relationships)

Fonte: Egenhofer and Herring (1990)

Spatial Relationships in Experimental Query Languages	
Query Language	Spatial Relationships
Freeman (1975)	left of, right of, beside, above, below, near, far, touching, between, inside, outside
ATLAS (Tsurutani et al., 1980)	area adjacency, line adjacency, boundary relationship, containment, distance, direction
MAPQUERY (Frank, 1982)	on, adjacent, within
KBGIS (Smith and Pazner, 1984)	containment, subset, neighborhood, near, far, north, south, east, west
KGIS (Ingram and Phillips, 1987)	distance, overlay, adjacent, overlap
PSQL (Roussopoulos et al., 1988)	covering, coveredBy, overlapping, disjoint, nearest, furthest, within, outside, on perimeter
SQL extension (Herring et al., 1988)	adjacent, contains, contains point, enclosed by, intersect, near, self intersect
Geo-Relational Algebra (Güting, 1988)	equal, not equal, inside, outside, intersect
Spatial SQL (Egenhofer, 1989)	disjoint, equal, meet, overlap, concur, commonBounds

# Espaço Topológico: $\mathbb{R}^2$

- Vamos identificar os componentes básicos de um objeto geométrico:
  - Fronteira ( $\partial$ ), Interior ( $^\circ$ ) e Exterior ( $\bar{\phantom{x}}$ )



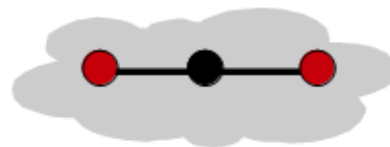
**Ponto**

$$\partial P = \emptyset$$

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

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

**Linha Aberta**

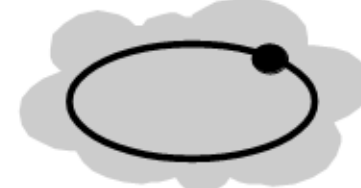


$$\blacksquare \partial L = 0\text{-dimensional}$$

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

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

**Linha Fechada**

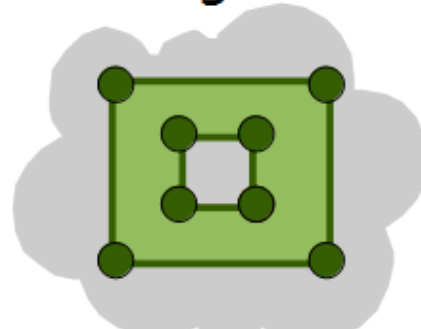


$$\partial L = \emptyset$$

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

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

**Polígono**



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

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

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

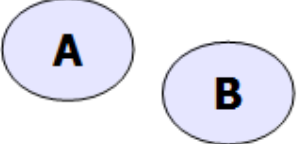
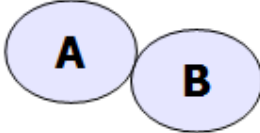
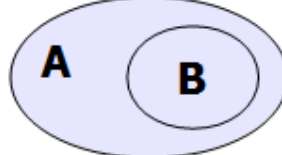
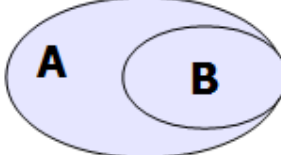
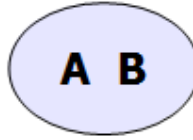
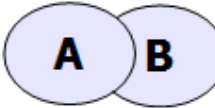
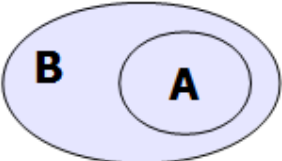

# A Framework for the Description of Topological Spatial Relations

$$\begin{array}{c} \mathbf{A}^\circ \\ \mathbf{\delta A} \end{array} \begin{array}{cc} \mathbf{B}^\circ & \mathbf{\delta B} \\ \left[ \begin{array}{cc} \mathbf{A}^\circ \cap \mathbf{B}^\circ & \mathbf{A}^\circ \cap \mathbf{\delta B} \\ \mathbf{\delta A} \cap \mathbf{B}^\circ & \mathbf{\delta A} \cap \mathbf{\delta B} \end{array} \right] \end{array}$$

4-intersection Matrix  
(Egenhofer and Franzosa, 1991)

# Operações Topológicas

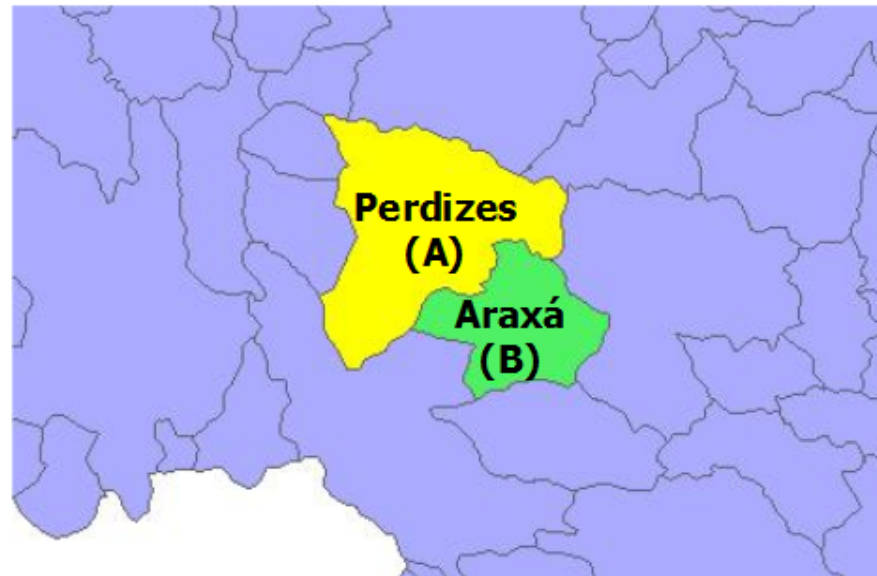
- Matriz de 4-Interseções:

 $\begin{matrix} \partial A \\ A^\circ \end{matrix} \begin{pmatrix} \partial B & B^\circ \\ \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$ <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?



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



# Refinamentos da Matriz de Interseção

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{A}^{\circ} \\
 \mathbf{\delta A} \\
 \mathbf{A}^{-}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{B}^{\circ} & \mathbf{\delta B} & \mathbf{B}^{-} \\
 \mathbf{A}^{\circ} \cap \mathbf{B}^{\circ} & \mathbf{A}^{\circ} \cap \mathbf{\delta B} & \mathbf{A}^{\circ} \cap \mathbf{B}^{-} \\
 \mathbf{\delta A} \cap \mathbf{B}^{\circ} & \mathbf{\delta A} \cap \mathbf{\delta B} & \mathbf{\delta A} \cap \mathbf{B}^{-} \\
 \mathbf{A}^{-} \cap \mathbf{B}^{\circ} & \mathbf{A}^{-} \cap \mathbf{\delta B} & \mathbf{A}^{-} \cap \mathbf{B}^{-}
 \end{bmatrix}$$

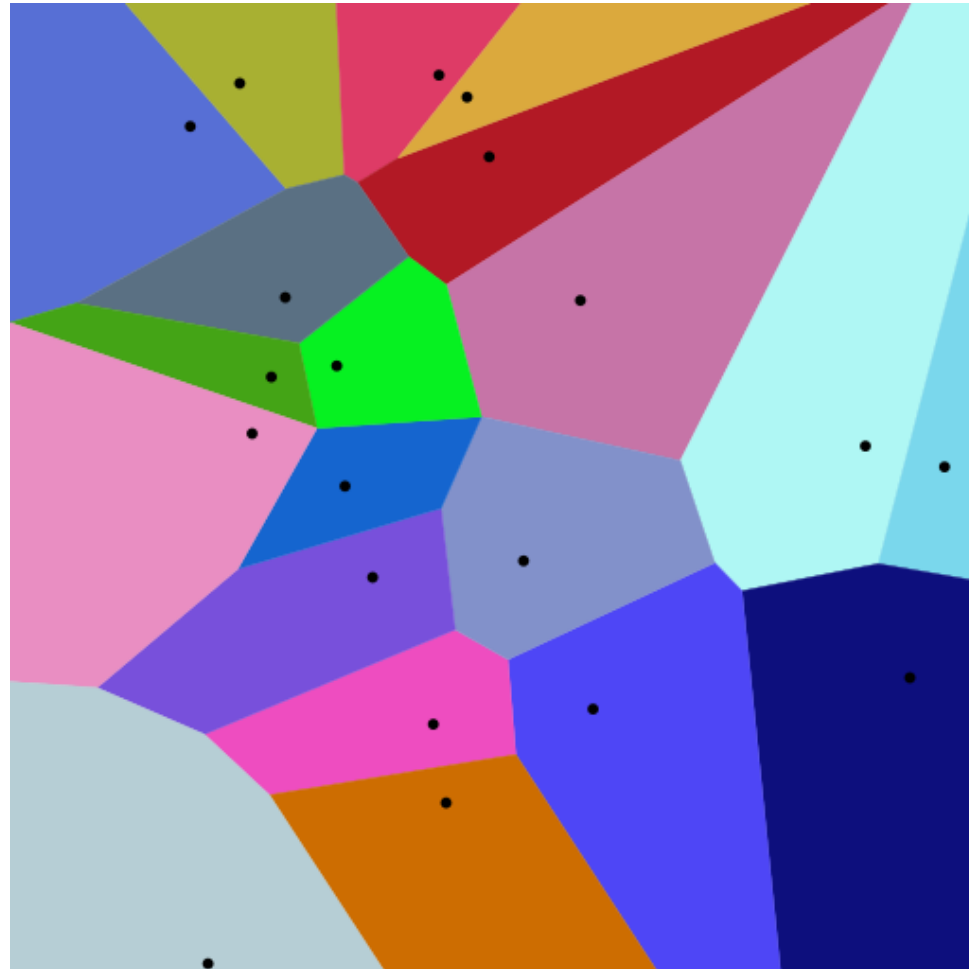
9-intersection Matrix  
(Egenhofer, 1991)

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{A}^{\circ} \\
 \mathbf{\delta A} \\
 \mathbf{A}^{-}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{B}^{\circ} & \mathbf{\delta B} & \mathbf{B}^{-} \\
 \dim(\mathbf{A}^{\circ} \cap \mathbf{B}^{\circ}) & \dim(\mathbf{A}^{\circ} \cap \mathbf{\delta B}) & \dim(\mathbf{A}^{\circ} \cap \mathbf{B}^{-}) \\
 \dim(\mathbf{\delta A} \cap \mathbf{B}^{\circ}) & \dim(\mathbf{\delta A} \cap \mathbf{\delta B}) & \dim(\mathbf{\delta A} \cap \mathbf{B}^{-}) \\
 \dim(\mathbf{A}^{-} \cap \mathbf{B}^{\circ}) & \dim(\mathbf{A}^{-} \cap \mathbf{\delta B}) & \dim(\mathbf{A}^{-} \cap \mathbf{B}^{-})
 \end{bmatrix}$$

Dimension Extended 9-intersection Matrix  
(Clementini et al. , 1993)

# Outras Operações Espaciais

- Diagrama de Voronoi



Fonte : [Wikipedia](#)

# Outras Operações Espaciais

- Overlay de Mapas (Map Overlay):
  - Gera um novo conjunto de dados a partir de outros dois conjuntos de entrada.

# Outras Operações Espaciais

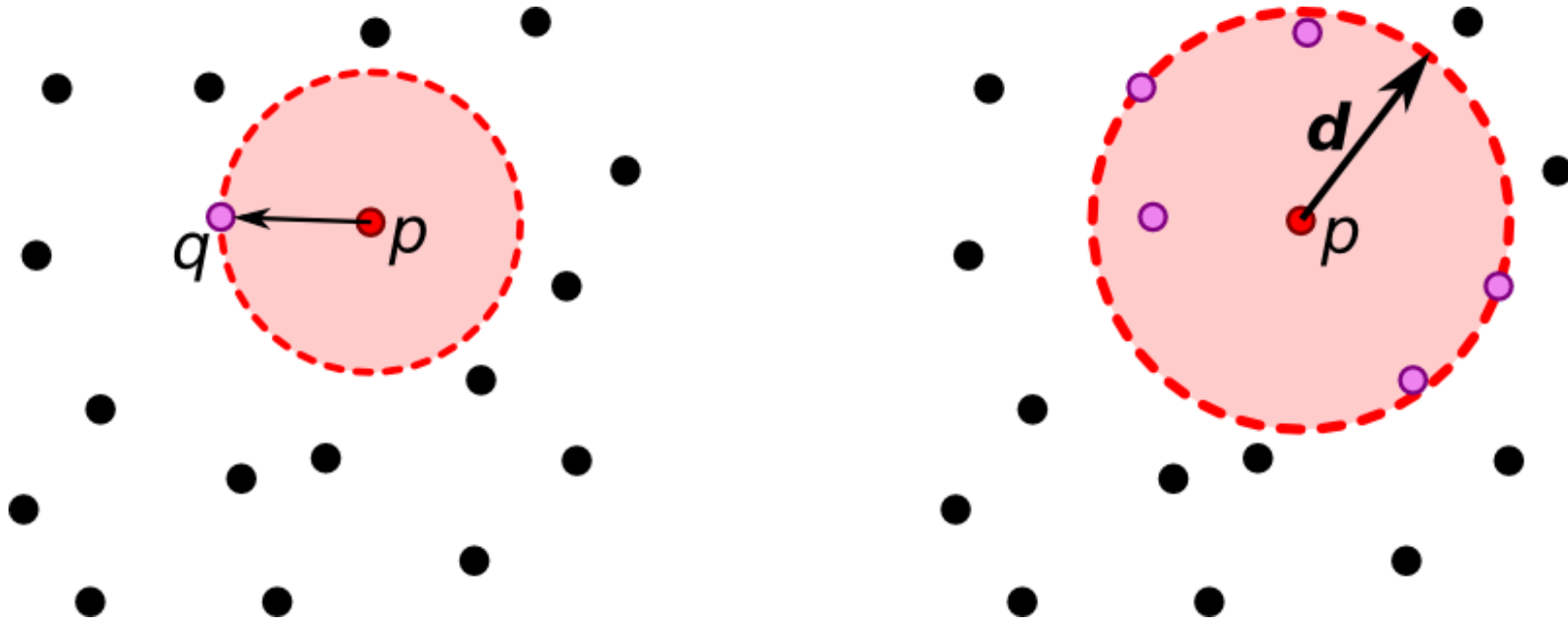
- Agregação de Áreas (Aggregate):
  - fusion/merging de áreas adjacentes baseado em um atributo com mesmo valor.

# Outras Operações Espaciais

- Fusão de Conjuntos de Dados (Merge):
  - União de dois ou mais conjuntos de dados com esquemas compatíveis.

# Outras Operações Espaciais

- Consultas de Proximidade (Closest):
  - Consultas de proximidade.



# OGC Simple Feature

# Open Geospatial Consortium (OGC)

- O OGC é um consórcio formado por empresas, universidades e agências governamentais de diversos países.
- Um de seus objetivos é promover o desenvolvimento de padrões que facilitem a interoperabilidade entre sistemas de informação geoespaciais.
- Parte do trabalho do OGC é apresentado sob a forma de especificações abertas de interfaces e padrões de intercâmbio.
- Site: <http://www.opengeospatial.org/>

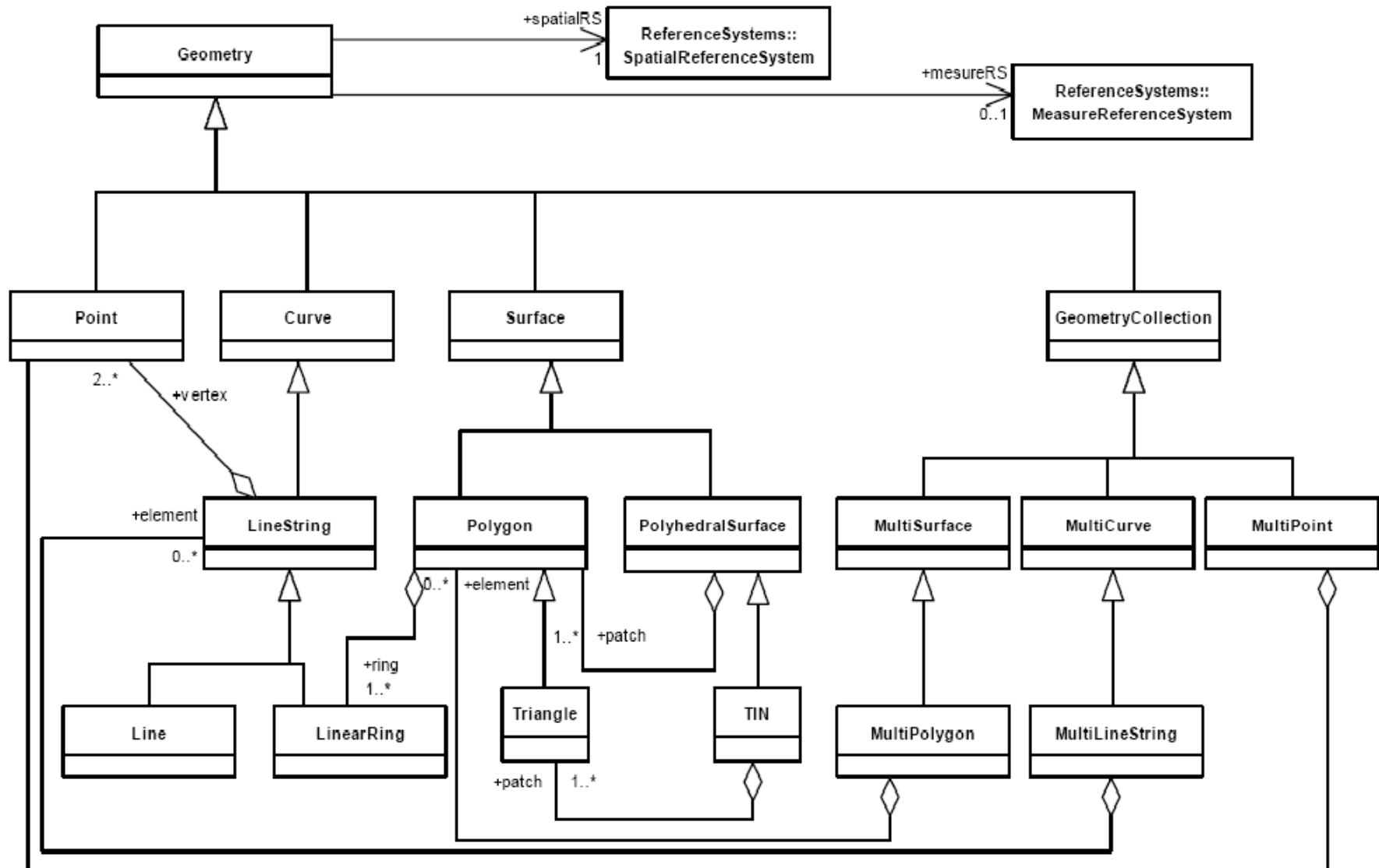


# O que é a especificação *Simple Feature* (SFS)?

- Especificação criada pelo consórcio OGC que trata das questões de representação da componente espacial vetorial de dados geográficos:
  - Basicamente, os aspectos relativos à representação de pontos, linhas e polígonos.
- A SFS é dividida em duas partes:
  - OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture.
  - OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 2: SQL option.

OpenGIS Implementation Specification for  
Geographic information - Simple feature  
access - Part 1: Common architecture.

# OGC SFS: Modelo Geométrico



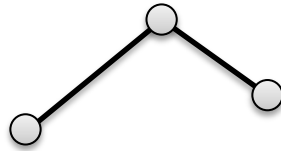
Fonte: OGC (2012a)

# Ilustração das Geometrias

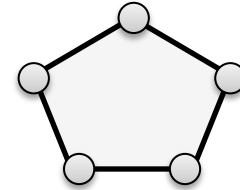
Point



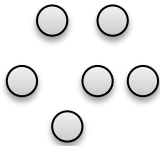
LineString



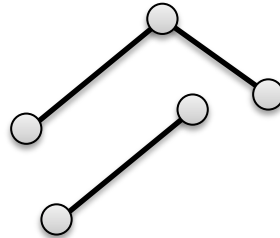
Polygon



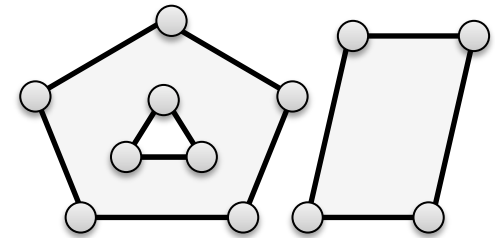
MultiPoint



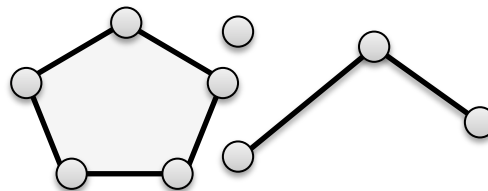
MultiLineString



MultiPolygon

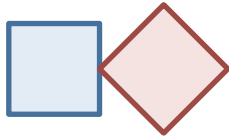


Geometry Collection

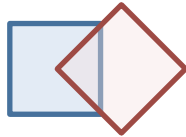


# OGC SFS: Operações Espaciais

**Touches**



**Overlaps**



**Contains**



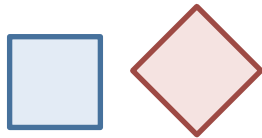
**Within**



**Equals**



**Disjoint**

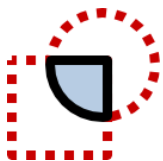


**Relacionamentos espaciais:**

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**

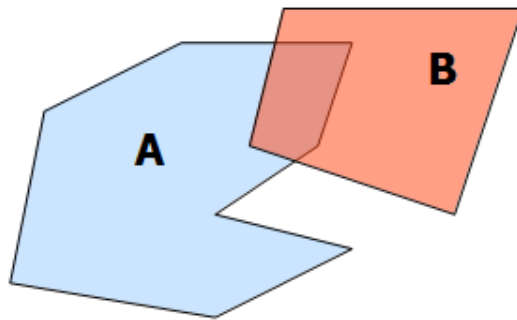


# Operações Topológicas

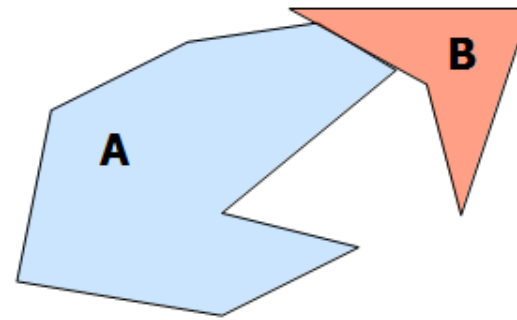
- Cada elemento da matriz de interseção pode ser representado por um dos elementos do conjunto  $\{T, F, *, 0, 1, 2\}$ , assim definidos:
- $T \rightarrow \dim(x) = \{0, 1, 2\}$ , i.e.  $x \neq \emptyset$
- $F \rightarrow \dim(x) = -1$ , i.e.  $x = \emptyset$
- $* \rightarrow \dim(x) = \{-1, 0, 1, 2\}$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



	$B^{\circ}$	$\partial B$	$B^{-}$
$A^{\circ}$	2	1	2
$\partial A$	1	0	1
$A^{-}$	2	1	2



	$B^{\circ}$	$\partial B$	$B^{-}$
$A^{\circ}$	F	F	2
$\partial A$	F	1	1
$A^{-}$	2	1	2

ST\_Relate(A, B)

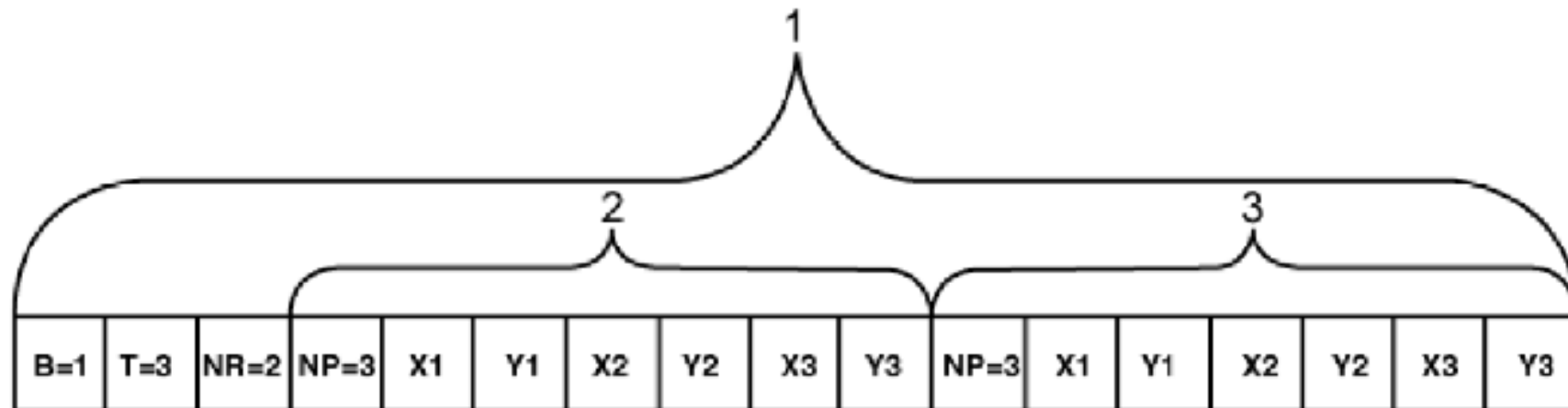
# Operadores Topológicos

- `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



# Well-Known Binary (WKB)

- Versão binária para representação das geometrias.



## Key

- 1 WKB Polygon
- 2 ring 1
- 3 ring 2

Figure 25: Well-known Binary Representation for a geometric object in NDR format (B = 1) of type Polygon (T = 3) with 2 LinearRings (NR = 2) each LinearRing having 3 points (NP = 3)

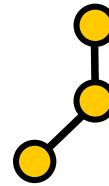
Fonte: OGC (2012)

# Well-Known Text (WKT)

POINT(0 0)



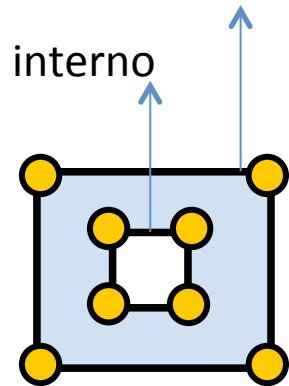
LINESTRING(0 0, 1 1, 1 2)



POLYGON((0 0, 4 0, 4 4, 0 4, 0 0),  
(1 1, 2 1, 2 2, 1 2, 1 1))

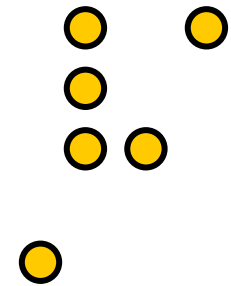
← anel externo

← anel interno

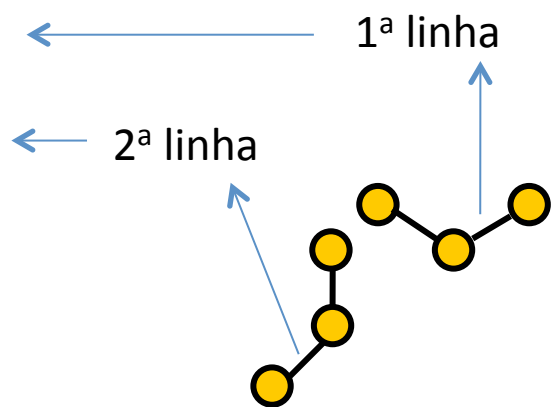


# Well-Known Text (WKT)

MULTIPOINT(0 0, 1 2, 1 3, 1 4, 2 2, 3 3)



MULTILINESTRING((2 3, 3 2, 5 4),  
(0 0, 1 1, 1 2))

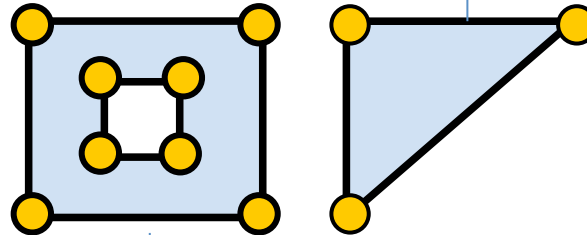


# Well-Known Text (WKT)

```
MULTIPOLYGON(((0 0, 4 0, 4 4, 0 4, 0 0),  
              (1 1, 2 1, 2 2, 1 2, 1 1)),  
              ((5 0, 5 4, 6 4, 5 0)))
```

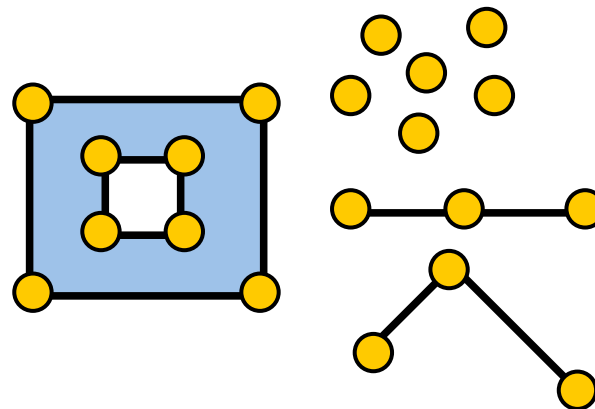
1ª Polígono  
Com anel  
interno e  
externo

2ª Polígono  
triângulo  
com anel  
externo



# Well-Known Text (WKT)

```
GEOMETRYCOLLECTION(  
  POLYGON((0 0, 4 0, 4 4, 0 4, 0 0),  
    (1 1, 2 1, 2 2, 1 2,1 1)),  
  MULTIPOINT(0 0, 1 2, 1 3, 1 4, 2 2, 3 3),  
  MULTILINESTRING((0 0, 1 1, 1 2),  
    (2 3, 3 2, 5 4))  
)
```



OpenGIS Implementation Specification for  
Geographic information - Simple feature  
access - Part 2: SQL option.

# Feature Table e Tabelas Metadados Geo

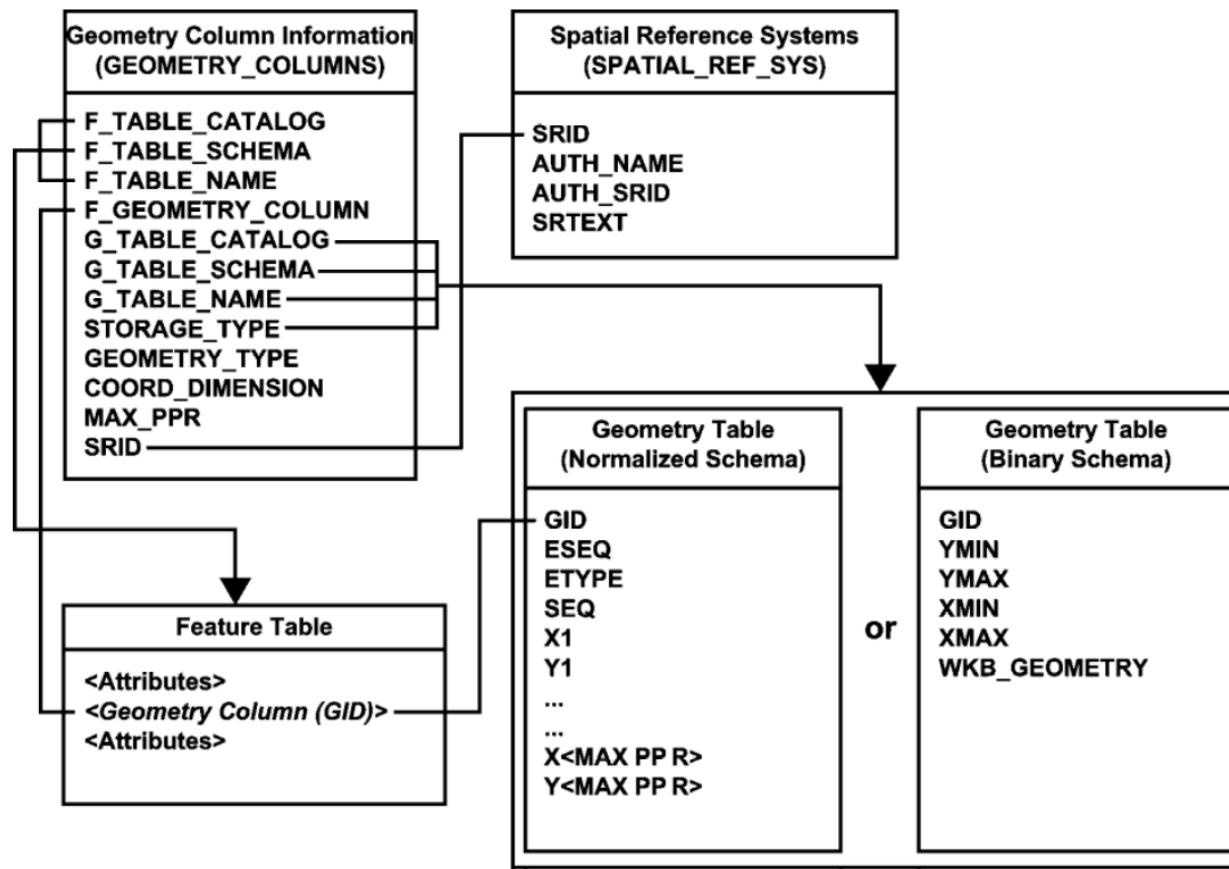
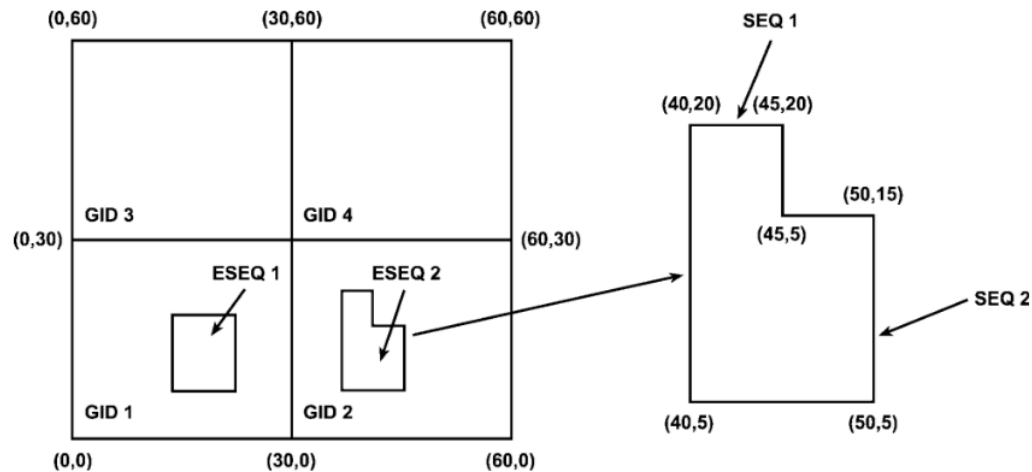


Figure 1: Schema for feature tables using predefined data types

# Feature Table e Tabelas Metadados Geo



GID 1	ESEQ	ETYPE	SEQ	X0	Y0	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4
1	1	3	1	0	0	0	30	30	30	30	0	0	0
1	2	3	1	10	10	10	20	20	20	20	10	10	10
2	1	3	1	30	0	30	30	60	30	60	0	30	0
2	2	3	1	40	5	40	20	45	20	45	15	50	15
2	2	3	1	50	15	50	5	40	5	Nil	Nil	Nil	Nil
3	1	3	1	0	30	0	60	30	60	30	30	0	30
4	1	3	1	30	30	30	60	60	60	60	30	30	30

Figure 2: Example of geometry table for Polygon Geometry using SQL

Fonte: OGC SFS-SQL (2012b)



# Feature Table e Tabelas Metadados Geo

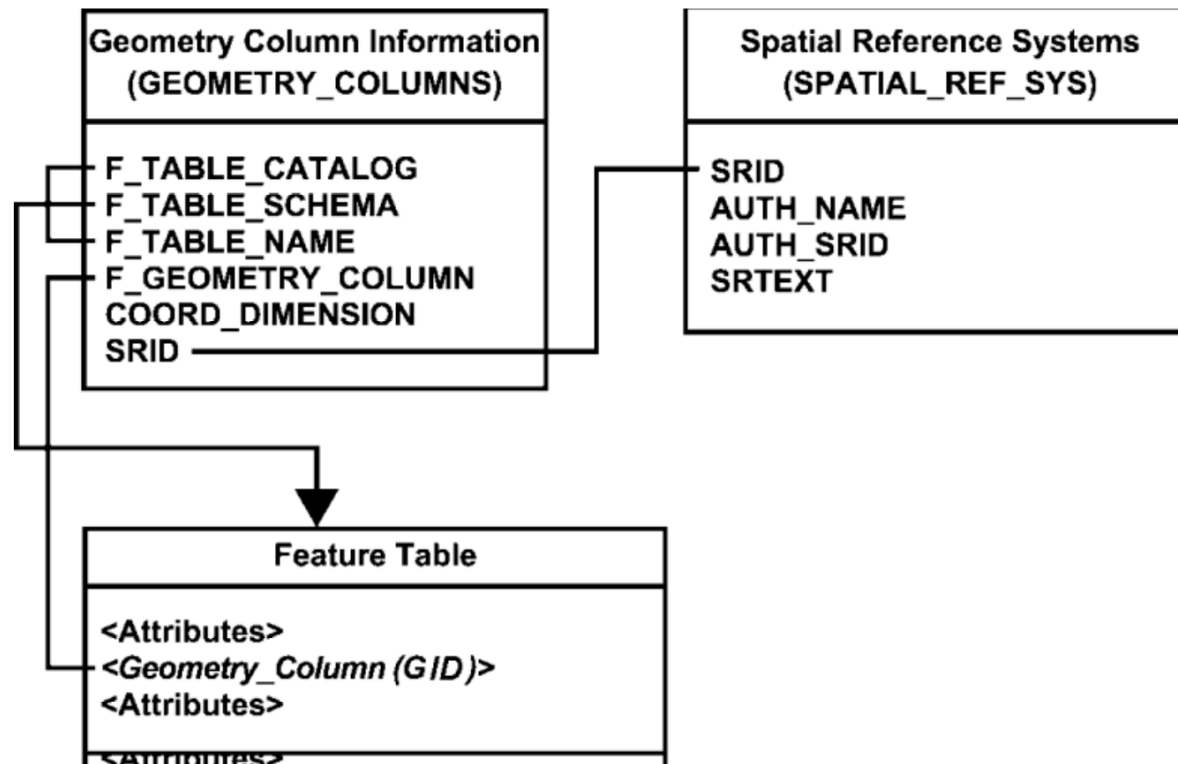


Figure 3: Schema for feature tables using SQL with Geometry Types

## Nota: SQL/MM

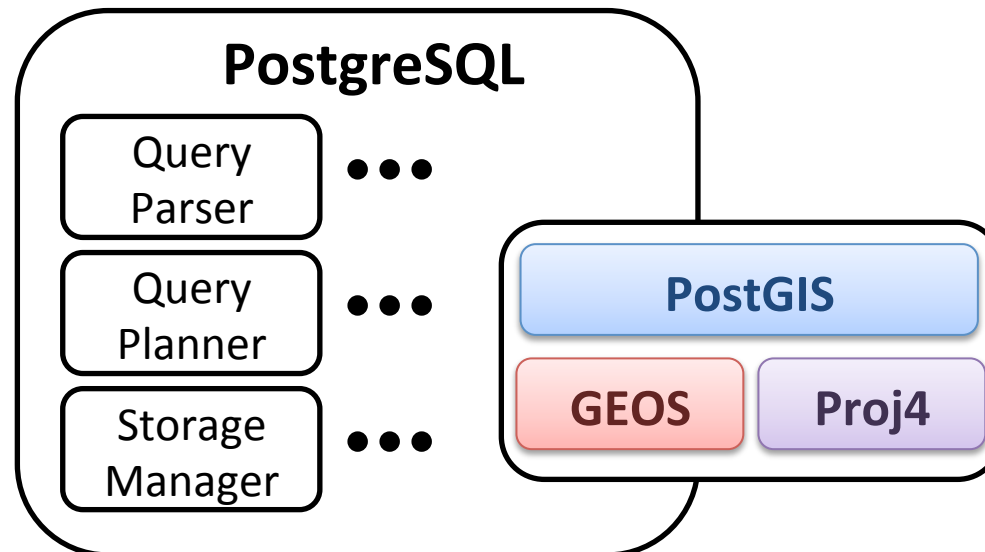
- Como o armazenamento de dados espaciais passou a desempenhar um papel importante na indústria, a especificação OGC passou a ser considerada pela ISO, que criou a especificação SQL/MM Spatial:
  - Os tipos geométricos e operações passam a ter o prefixo “ST\_”:
    - Ex: ST\_Polygon, ST\_point, ST\_Area, ST\_centroid.



<http://postgis.net>

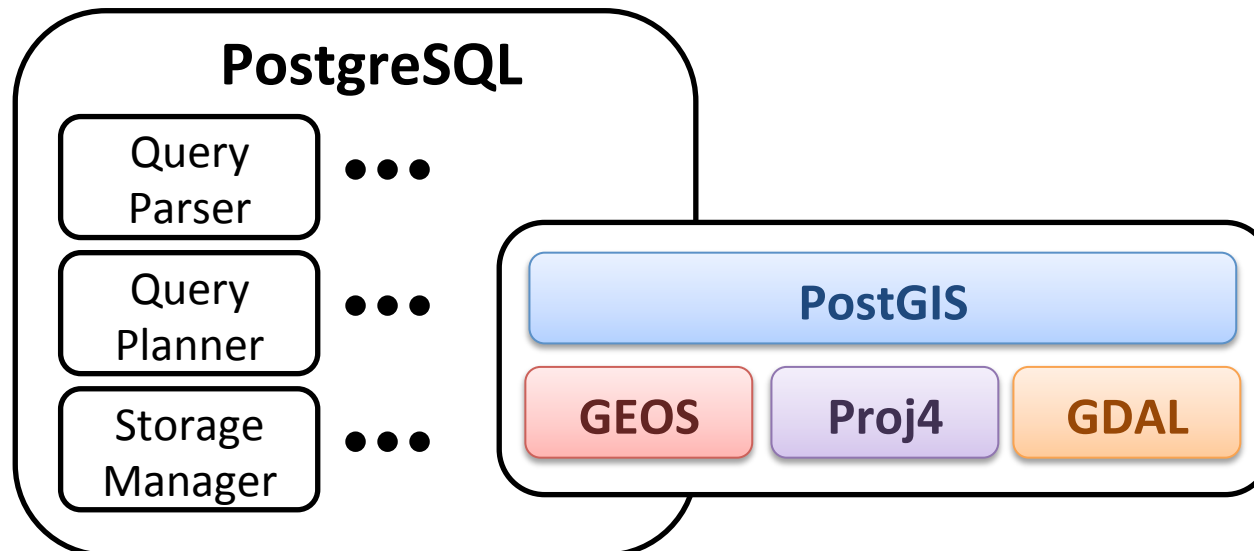
# PostGIS

- Projeto de software livre (GPLv2) desenvolvido inicialmente pela empresa Canadense Refrations Research:  
<http://postgis.refrations.net>
- Extensão geográfica para o SGBD-OR PostgreSQL:
  - Inicialmente:
    - tipos geométricos e operadores espaciais OGC SFS.
    - Índice espacial: árvore-R sobre GiST.



# PostGIS

- Grande evolução nos últimos 3 anos:
  - Tipos circulares e compostos, 3D
  - Tipo geográfico
  - Raster
  - Topologia
  - Redes
  - Geocodificação de endereços



Vamos criar um novo banco de dados  
com a extensão PostGIS habilitada

PostGIS Versão 2.0

Se usarmos o template1 para criação do banco

```
psql -U postgres -d postgres
```

```
CREATE DATABASE bdgcurso2 TEMPLATE template1
```

- Conectar no novo banco de dados:  
    \c bdgcurso2

```
CREATE EXTENSION postgis;
```

- Verificando a versão do PostGIS:  
    **SELECT** postgis\_full\_version();

**Nota:** O PostGIS necessita da extensão PL/pgSQL

# Tipo Básico: Geometry

Geometria no Plano Cartesiano



## Criando uma tabela com coluna geométrica

```
CREATE TABLE estacoes_pluviometricas
(
  gid INT4,
  location GEOMETRY(POINT, 4618),
  nome VARCHAR(25)
);
```

```
INSERT INTO estacoes_pluviometricas
VALUES(1, ST_GeomFromText('POINT(-46.98 -19.57)', 4618),
      'DINIZ-ARAXA');
```

```
INSERT INTO estacoes_pluviometricas
VALUES(2, ST_GeomFromText('POINT(-43.59 -20.37)', 4618),
      'QUEIROZ-OURO-PRETO');
```

# PostGIS EWKT

- O formato WKT definido pelo OGC não possibilita informar o sistema de referência espacial da geometria. O EWKT do PostGIS possibilita:

SRID=32632;POINT(0 0)

- Existem notações diferentes para geometrias com Z e M:

$\underbrace{\text{POINT ZM}(0\ 0\ 0\ 0)}_{\text{WKT}} \rightarrow \underbrace{\text{POINT}(0\ 0\ 0\ 0)}_{\text{EWKT}}$

# Recuperando linhas com geometrias

```
SELECT gid, location  
FROM estacoes_pluviometricas
```

```
SELECT gid, ST_AsText(location)  
FROM estacoes_pluviometricas
```

- Quando usamos a notação EWKT:  
ST\_GeomFromEWKT  
ST\_AsEWKT

# PostGIS

- TRIANGLE, TIN
- 2D, 3D, 2D + M, 3D + M
- Interpolação linear e circular
- Tipos circulares e compostos (SQL-MM Spatial):
  - CircularString
  - CompoundCurve
  - CurvePolygon
  - MultiCurve
  - MultiSurface

# Em versões anteriores ao PostGIS 2.0

- Forma correta de criar uma Tabela Espacial:

Primeiro Passo:

```
CREATE TABLE estacoes_pluviometricas  
(  
  gid INT4,  
  nome VARCHAR(25)  
);
```

Segundo Passo:

```
SELECT AddGeometryColumn('public',  
                           'estacoes_pluviometricas',  
                           'location',  
                           4618, 'POINT', 2)
```

# Metadado Colunas Tipos Geométricos

- Na versão 2.X do PostGIS:
  - **View:** geometry\_columns
  - **Tabela:** spatial\_ref\_sys
- Na versão 1.X do PostGIS:
  - **Tabela:** geometry\_columns
  - **Tabela:** spatial\_ref\_sys
- Vamos consultar as tabelas/views de metadado:

```
SELECT * FROM spatial_ref_sys WHERE srid = 4618
SELECT * FROM spatial_ref_sys WHERE srid = 31984
SELECT * FROM geometry_columns
WHERE f_table_name = 'estacoes_pluviometricas'
```

Quando trabalhamos com dados geoespaciais,  
nos referimos a alguns tipos de consultas com  
nomes especiais

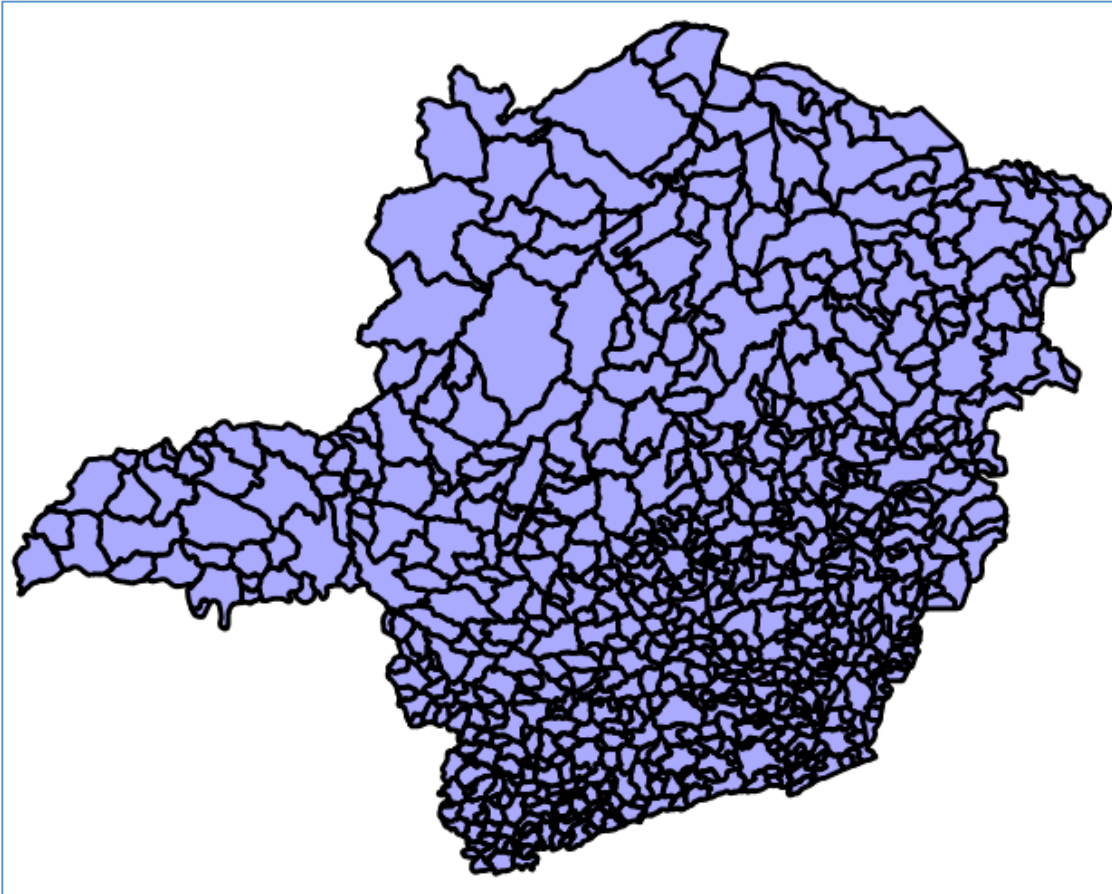
# Consultas Espaciais: Intervalos no $R^d$

- Também conhecida como “range query” ou “region query”:
  - **Definição:** dado um retângulo (região de consulta), recuperar todos os elementos interceptam este dado retângulo;





# Importar o dado de municípios de Minas Gerais



**Arquivo:**

dados/shp/mg\_municipios

**Tipo de dado:**

Poligonos (756)

**Sistema de Referência Espacial:**

4618 => Lat/Long SAD/69

**Nome da tabela a ser criada:**

mg\_municipios

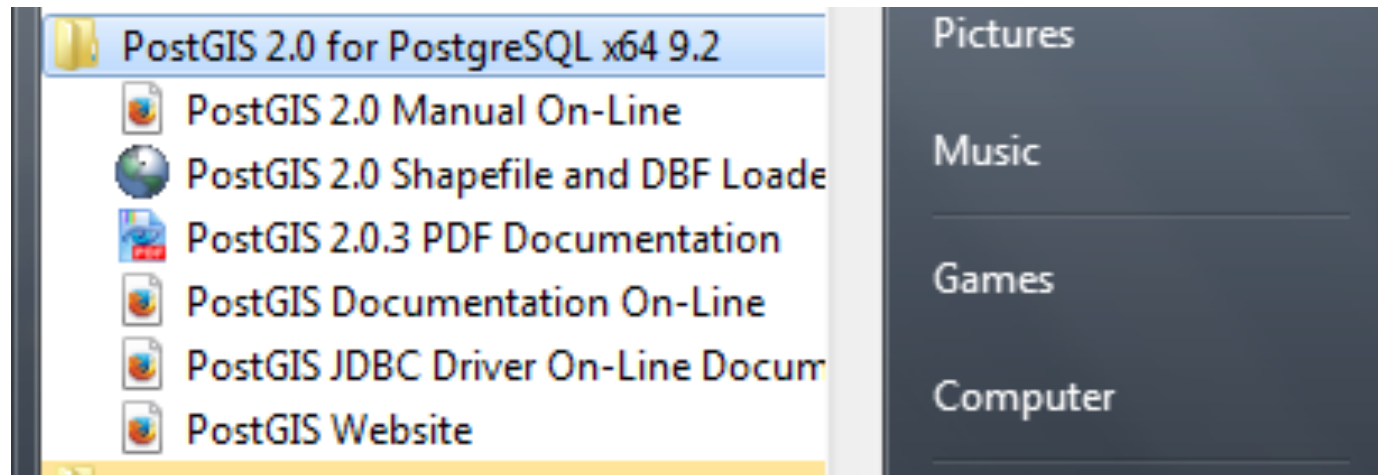
**Codificação dos caracteres :**

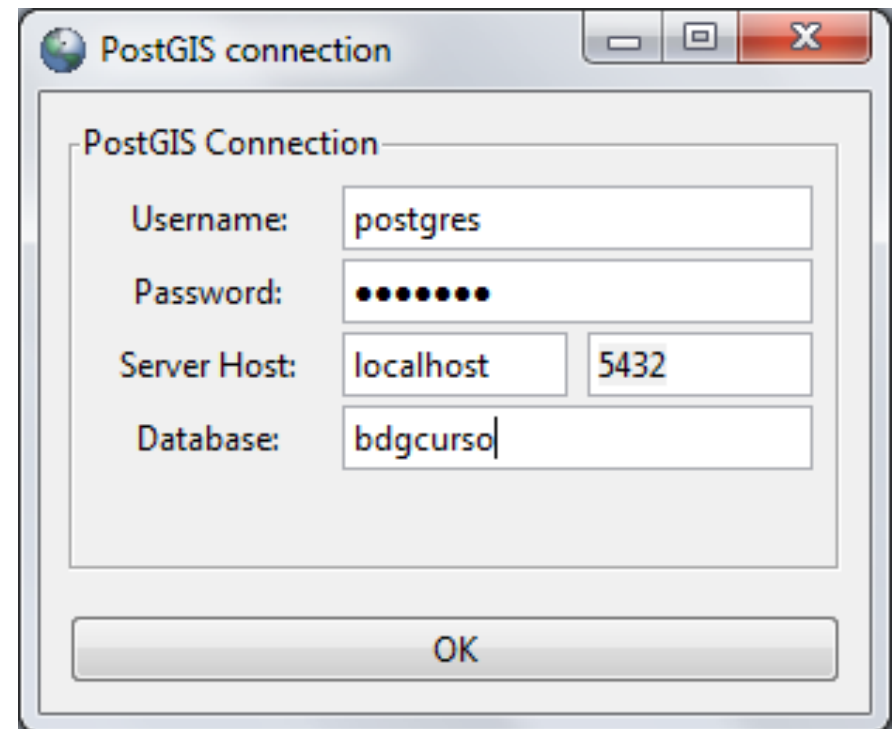
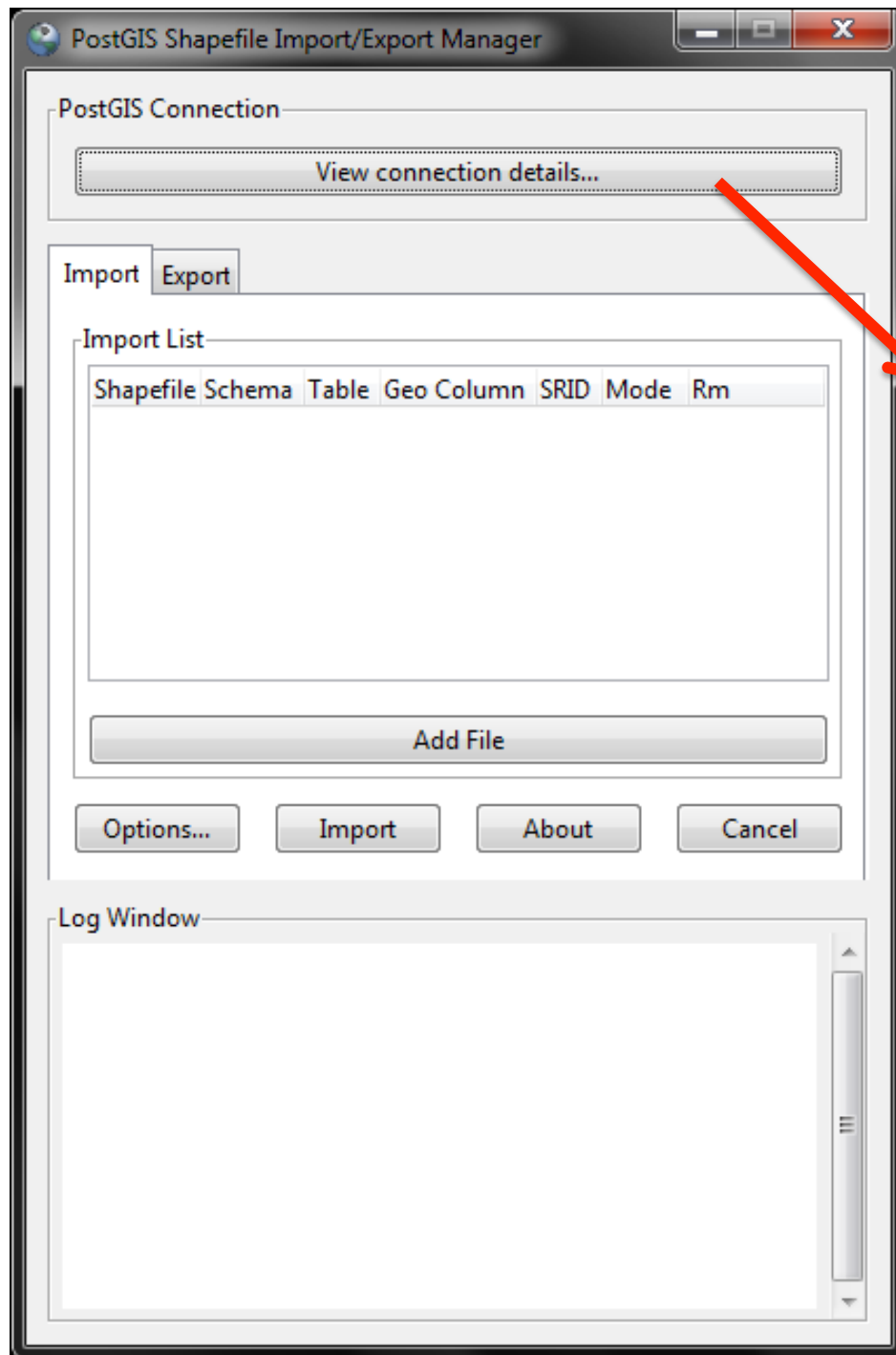
LATIN1

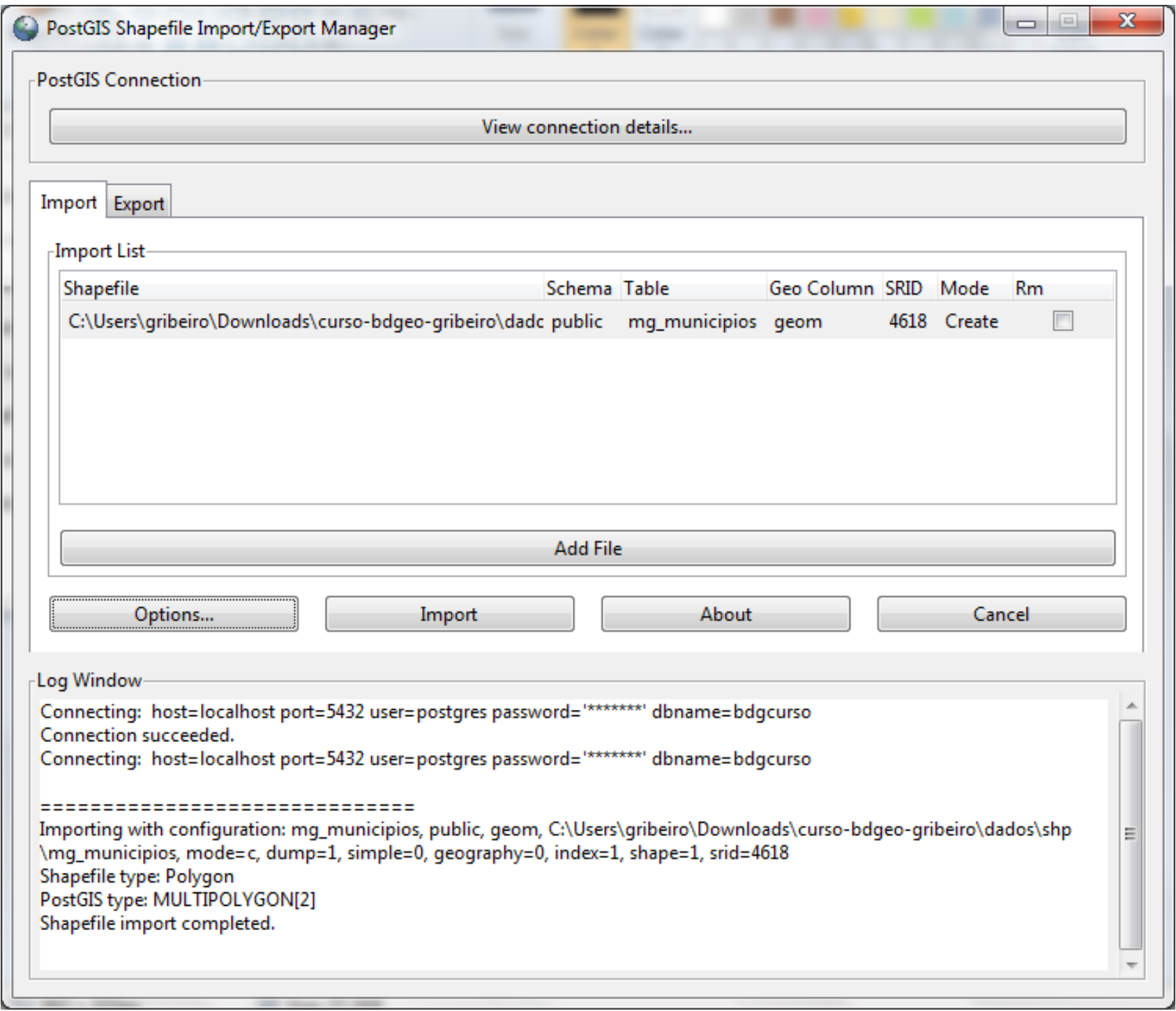
# Shapefile → SQL PostgreSQL + PostGIS

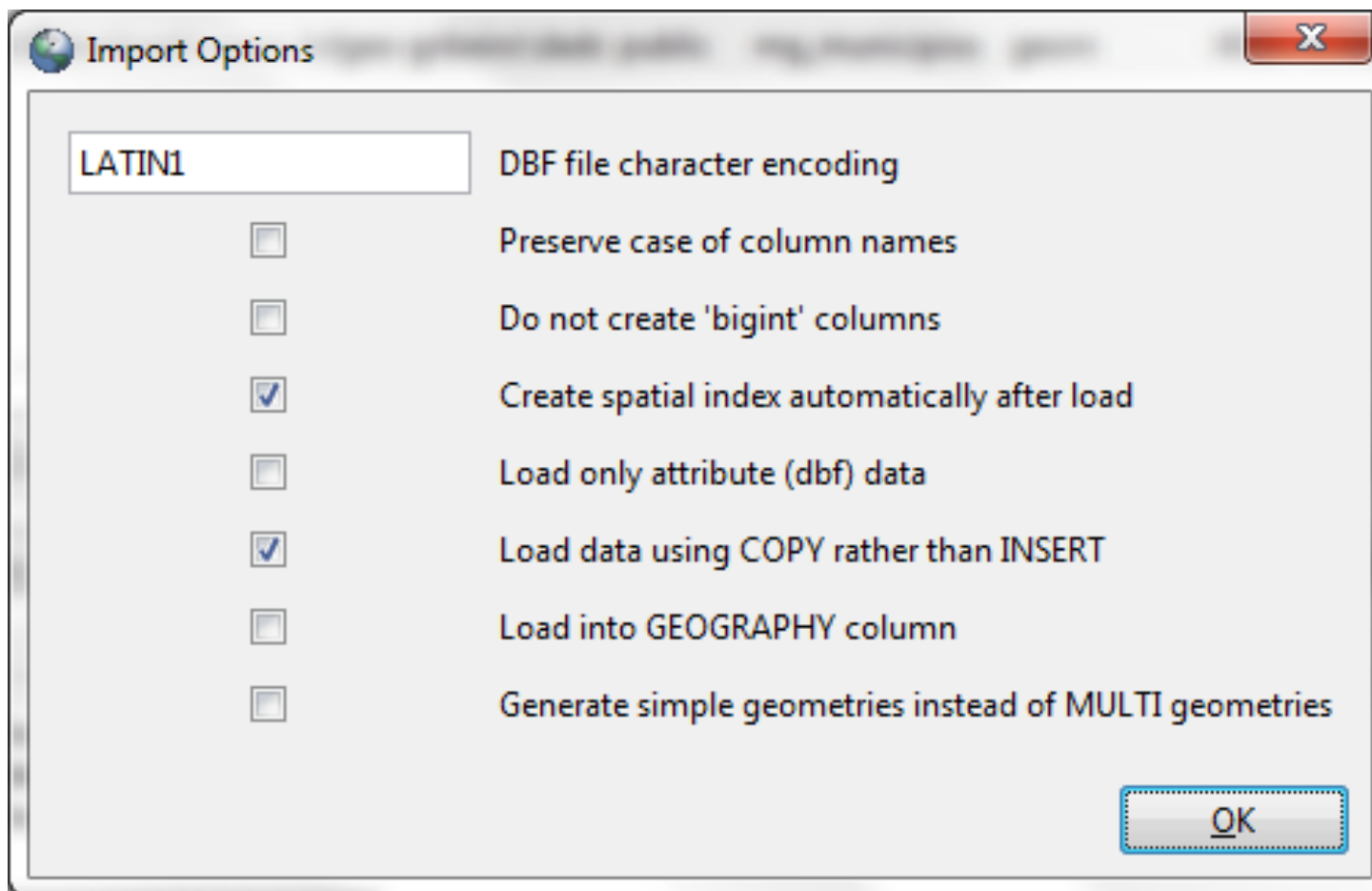
- Arquivo Shape:
  - .shp = contém a parte geométrica
  - .dbf = contém a parte alfa-numérica (string, number, date)
  - .shx = índice utilitário
  - .prj = sistema de referência espacial
- Tabelas PostgreSQL+PostGIS:
  - Colunas podem conter geometrias
  - Colunas podem conter atributos convencionais
- Em geral, um arquivo Shapefile irá corresponder a uma Tabela PostgreSQL + PostGIS

# Abrir a interface gráfica de importação de Shapefiles









Outra opção seria usar o utilitário  
shp2pgsql na linha de comando

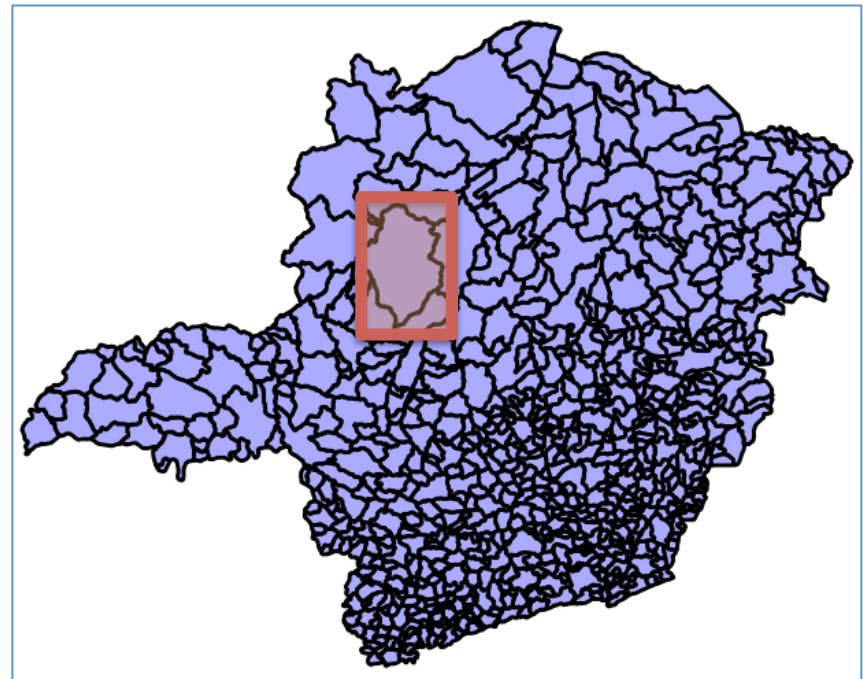
```
shp2pgsql.exe -i -s 4618 mg_municipios.shp  
mg_municipios > mg_municipios.sql
```

Vamos visualizar nossa tabela no  
Quantum GIS



# Consulta de Janela (ou Box)

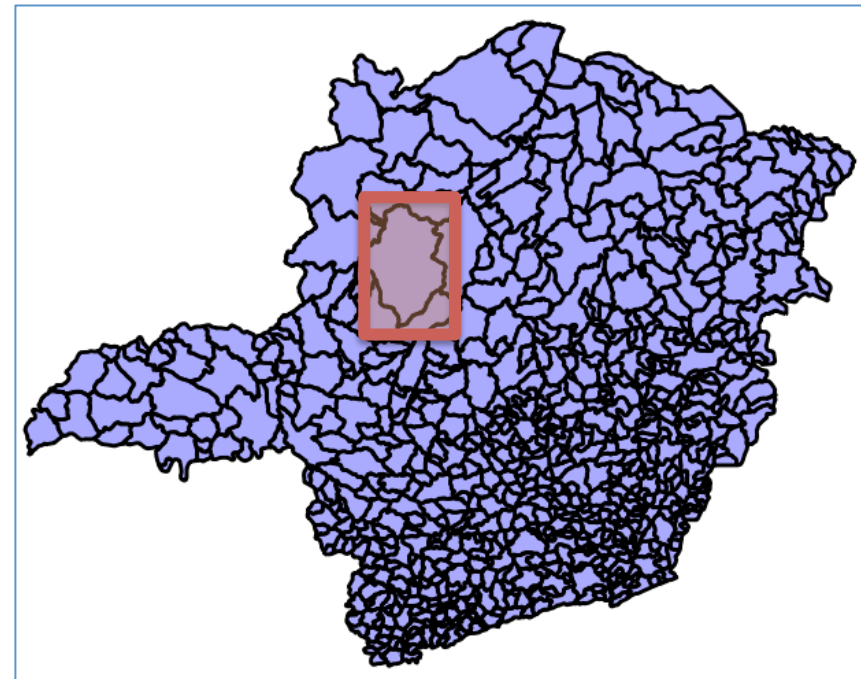
- Operador **&&**:
  - Este operador diz se dois retângulos se interceptam.
- Fazer uma consulta considerando o seguinte retângulo:  
BOX = (-46.557928, -18.330733, -45.382262, -16.691372)



# Consulta de Janela (ou Box)

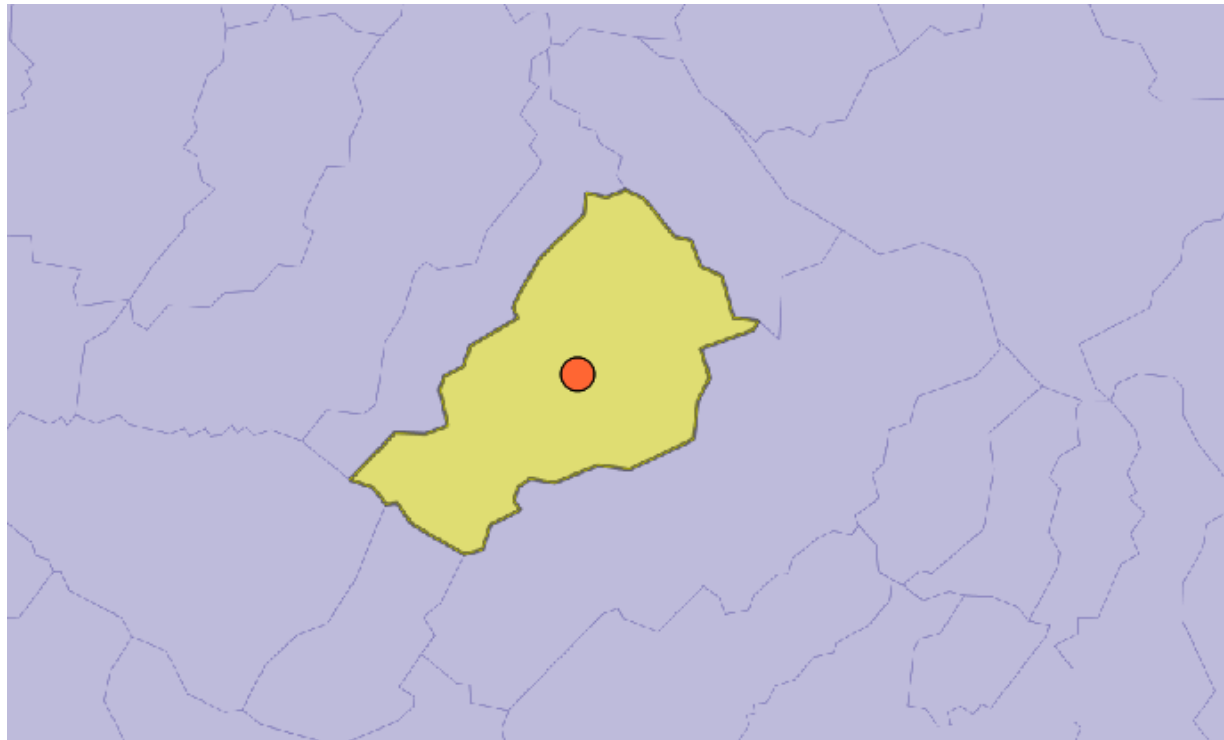
- Operador **&&**:
  - Este operador diz se dois retângulos se interceptam.
- Fazer uma consulta considerando o seguinte retângulo:  
BOX = (-46.557928, -18.330733, -45.382262, -16.691372)

```
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:



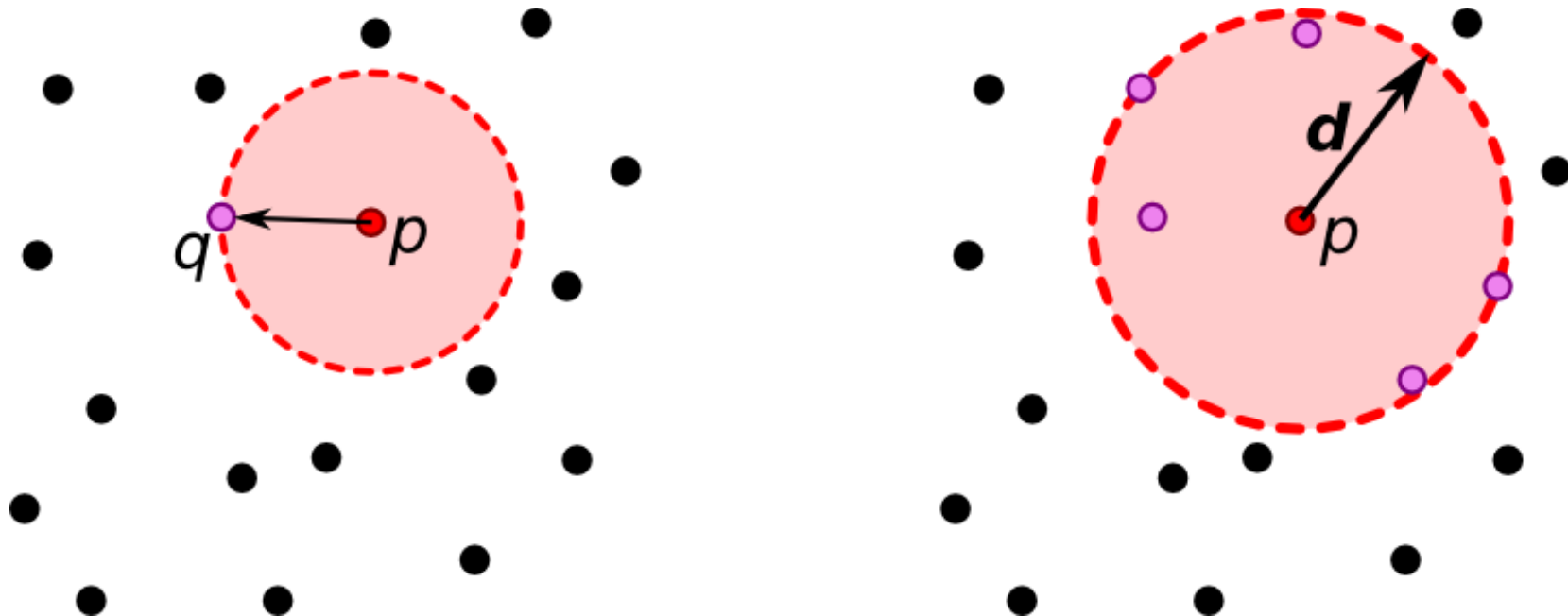
# Consultas Espaciais: Vizinhaça

- Vizinho mais próximo:

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

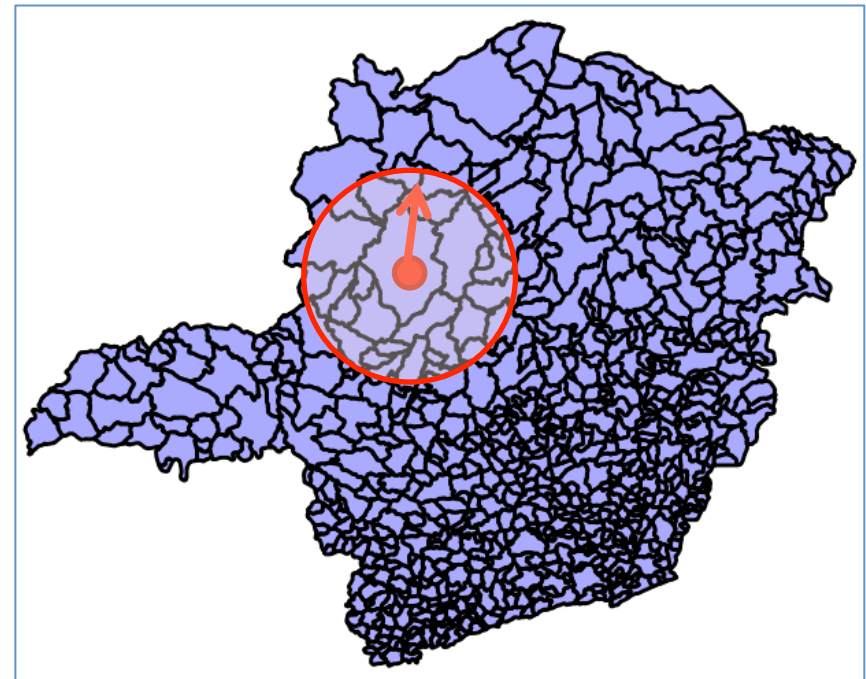
- Vizinho(s) mais próximo(s) a uma certa distância:

**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

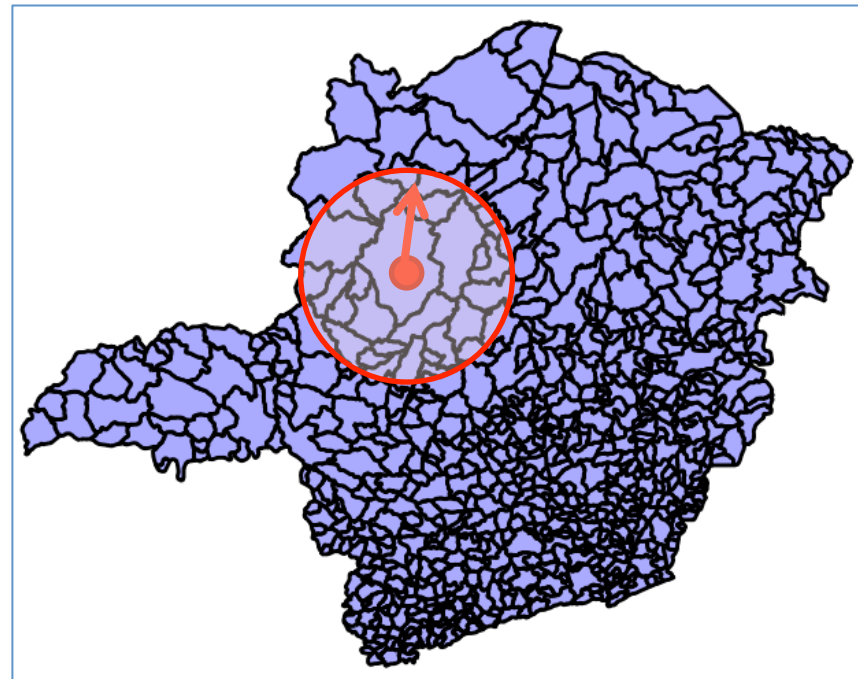
- Fazer uma consulta considerando:
  - Ponto: -45.970095 -17.5110525
  - Raio: 1.0
  - Operador: `ST_DWithin(geom1, geom2, dist)`



# Recuperando objetos a uma certa distância

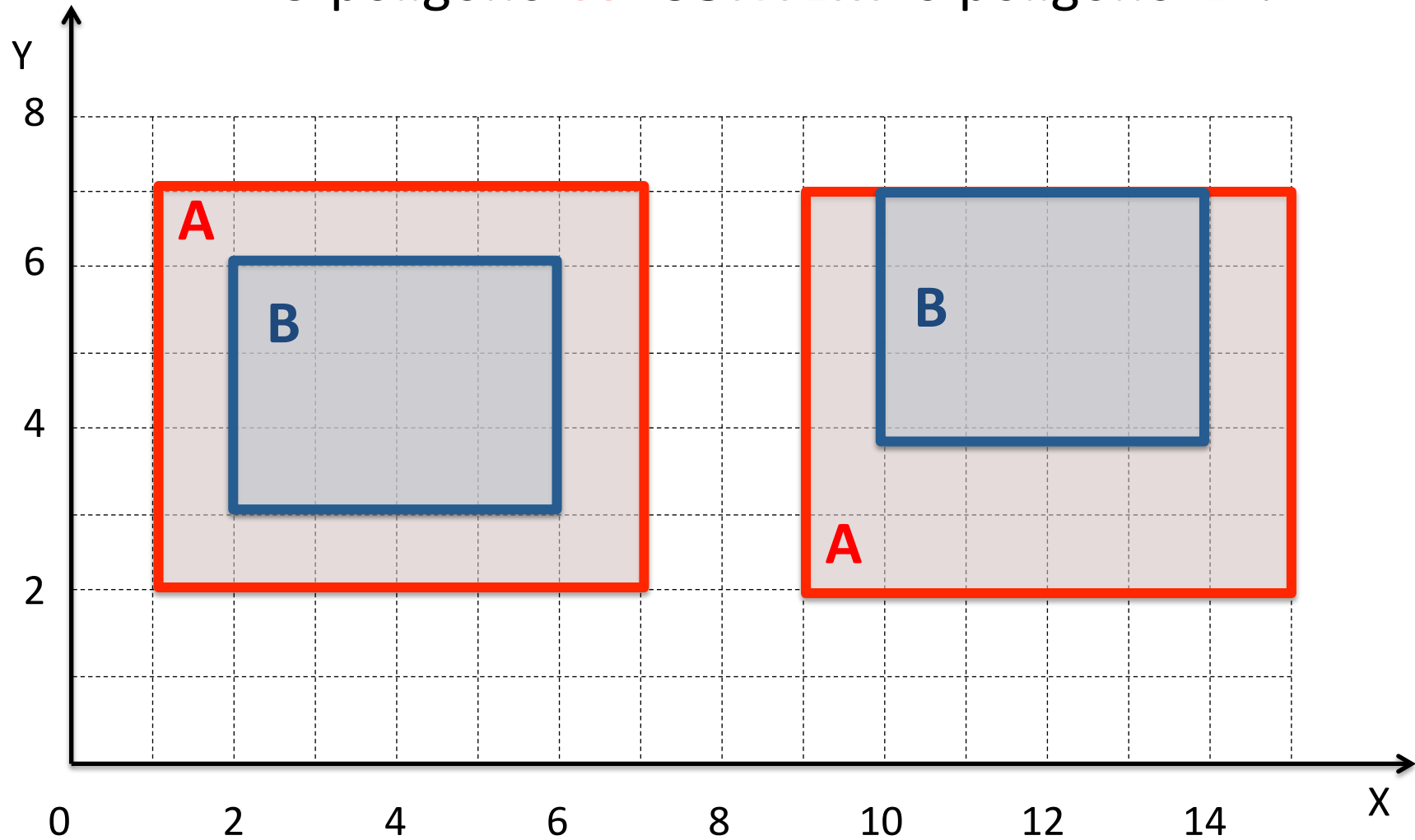
- Fazer uma consulta considerando:
  - Ponto: -45.970095 -17.5110525
  - Raio: 1.0
  - Operador: `ST_DWithin(geom1, geom2, dist)`

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



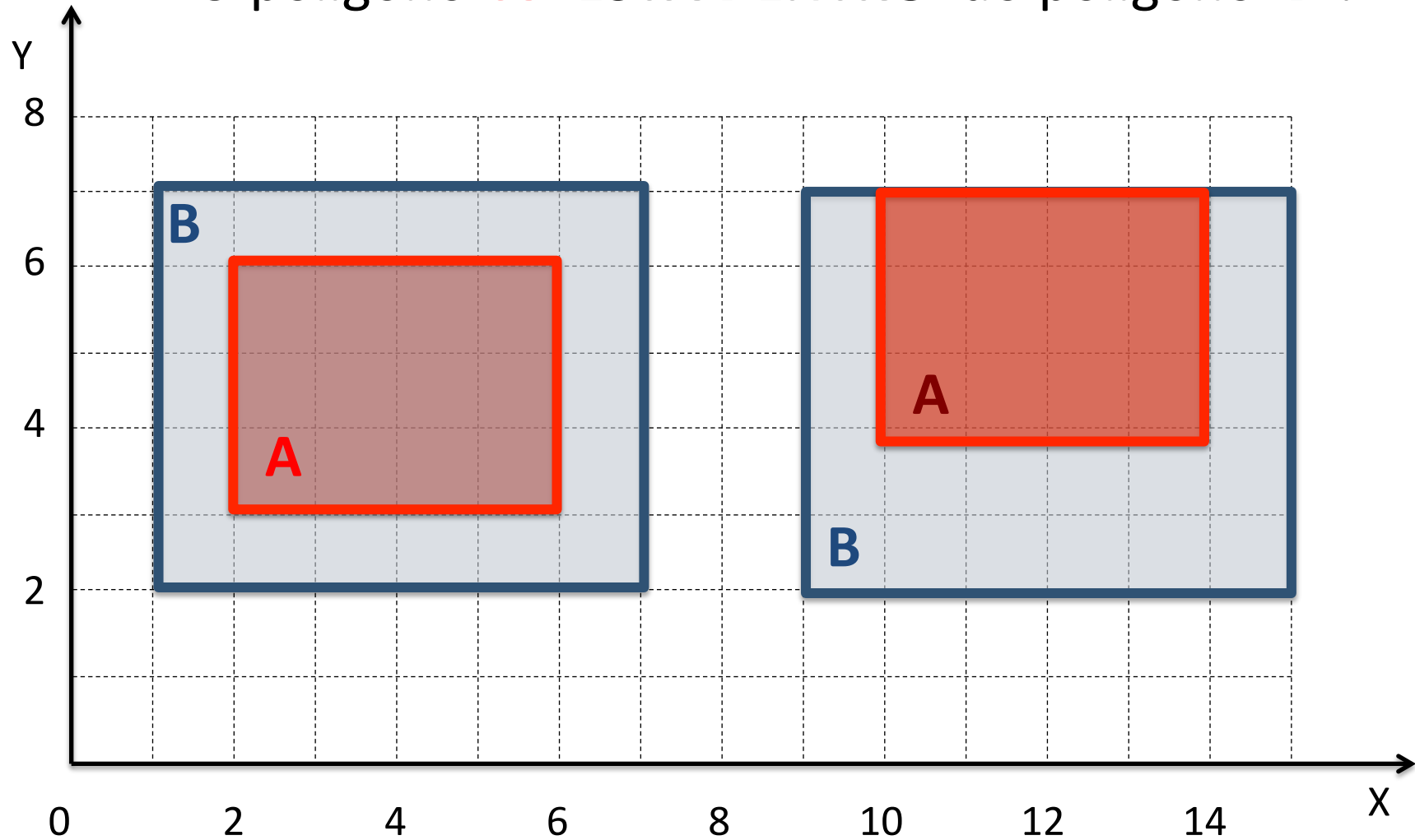
# Relacionamentos Espaciais: ST\_Contains

O polígono **A** **CONTÉM** o polígono **B** ?



# Relacionamentos Espaciais: ST\_Within

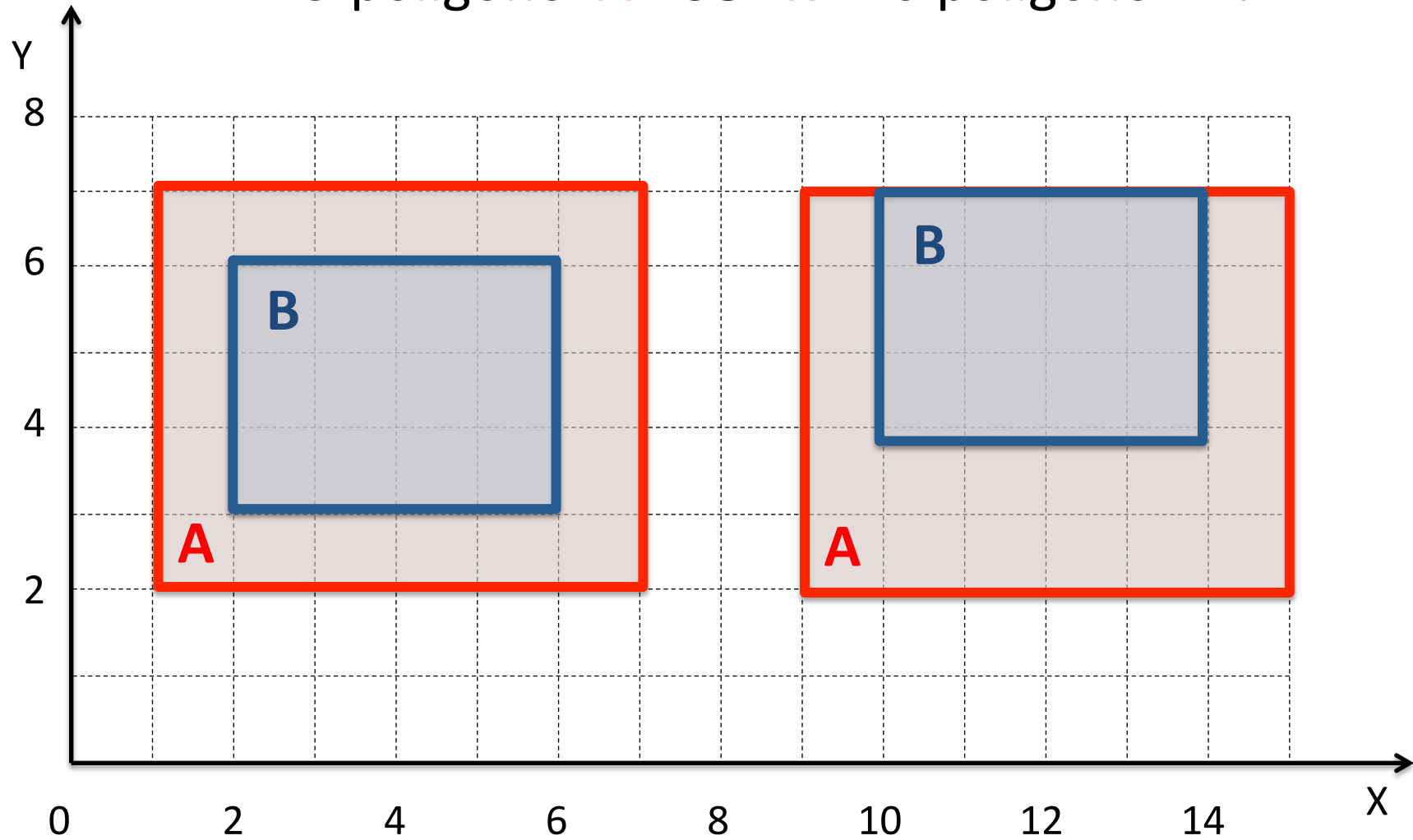
O polígono **A** **ESTÁ DENTRO** do polígono **B** ?





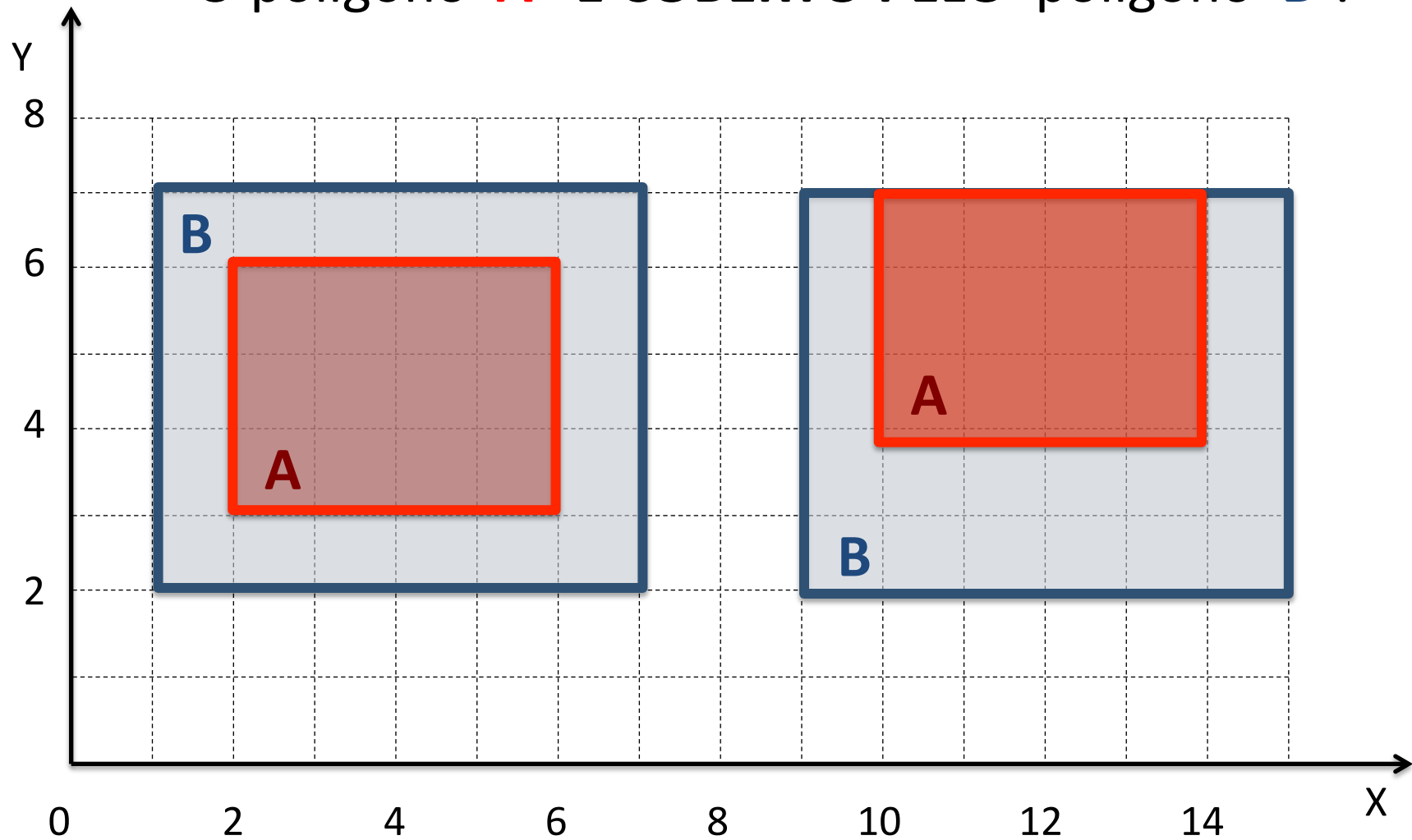
# Relacionamentos Espaciais: ST\_Covers

O polígono **A** **COBRE** o polígono **B** ?



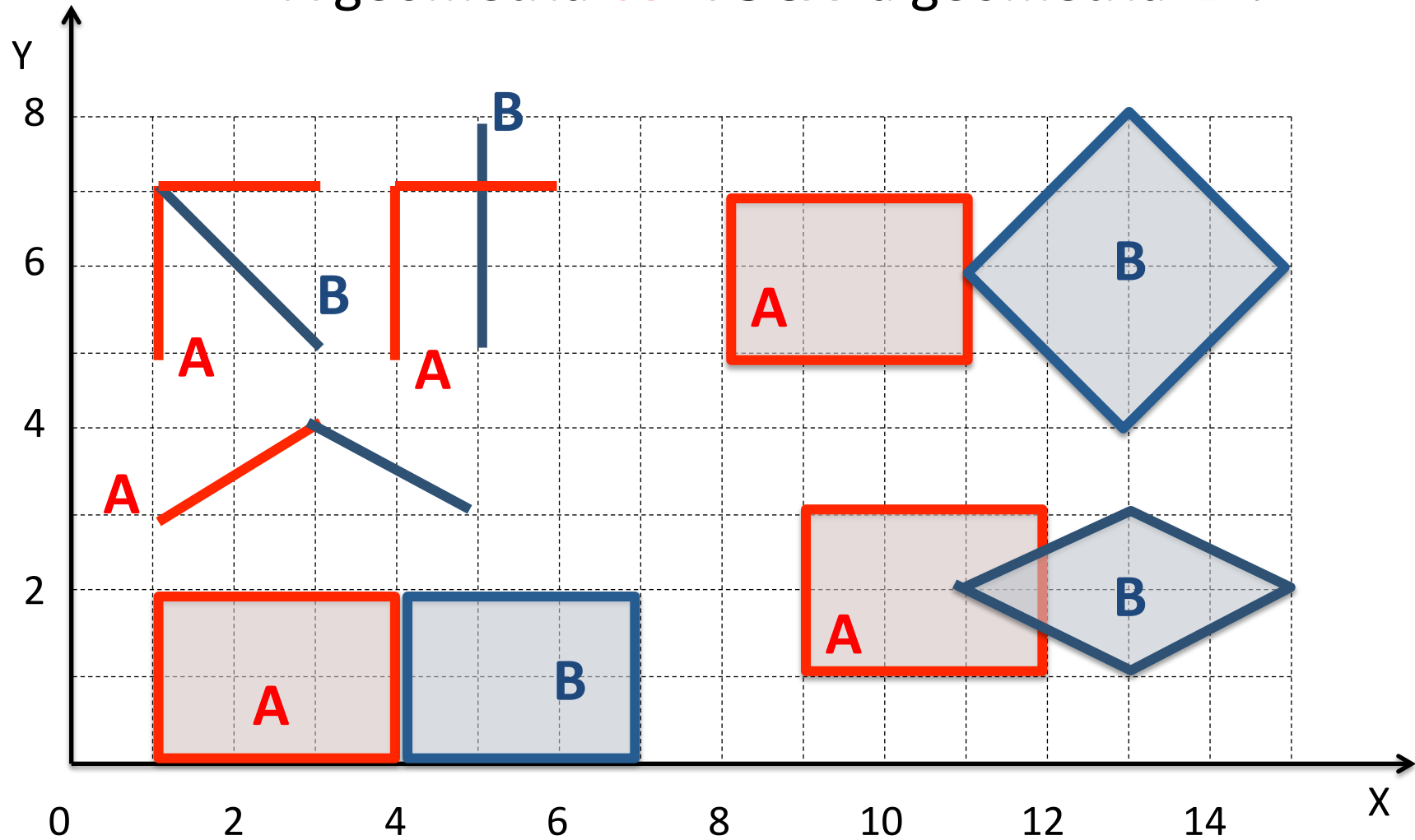
# Relacionamentos Espaciais: ST\_CoveredBy

O polígono **A** É COBERTO PELO polígono **B** ?



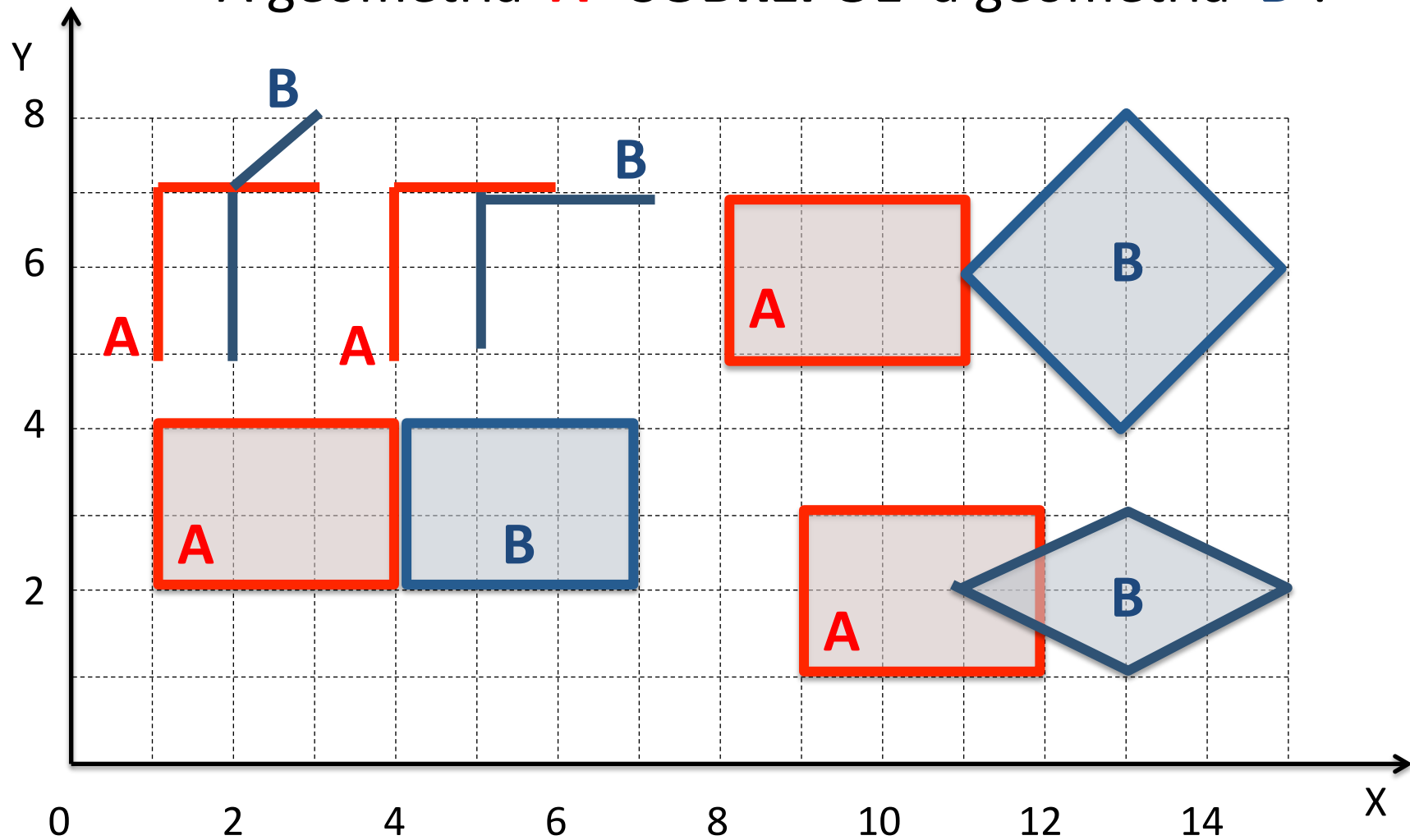
# Relacionamentos Espaciais: ST\_Touches

A geometria **A** **TOCA** a geometria **B** ?



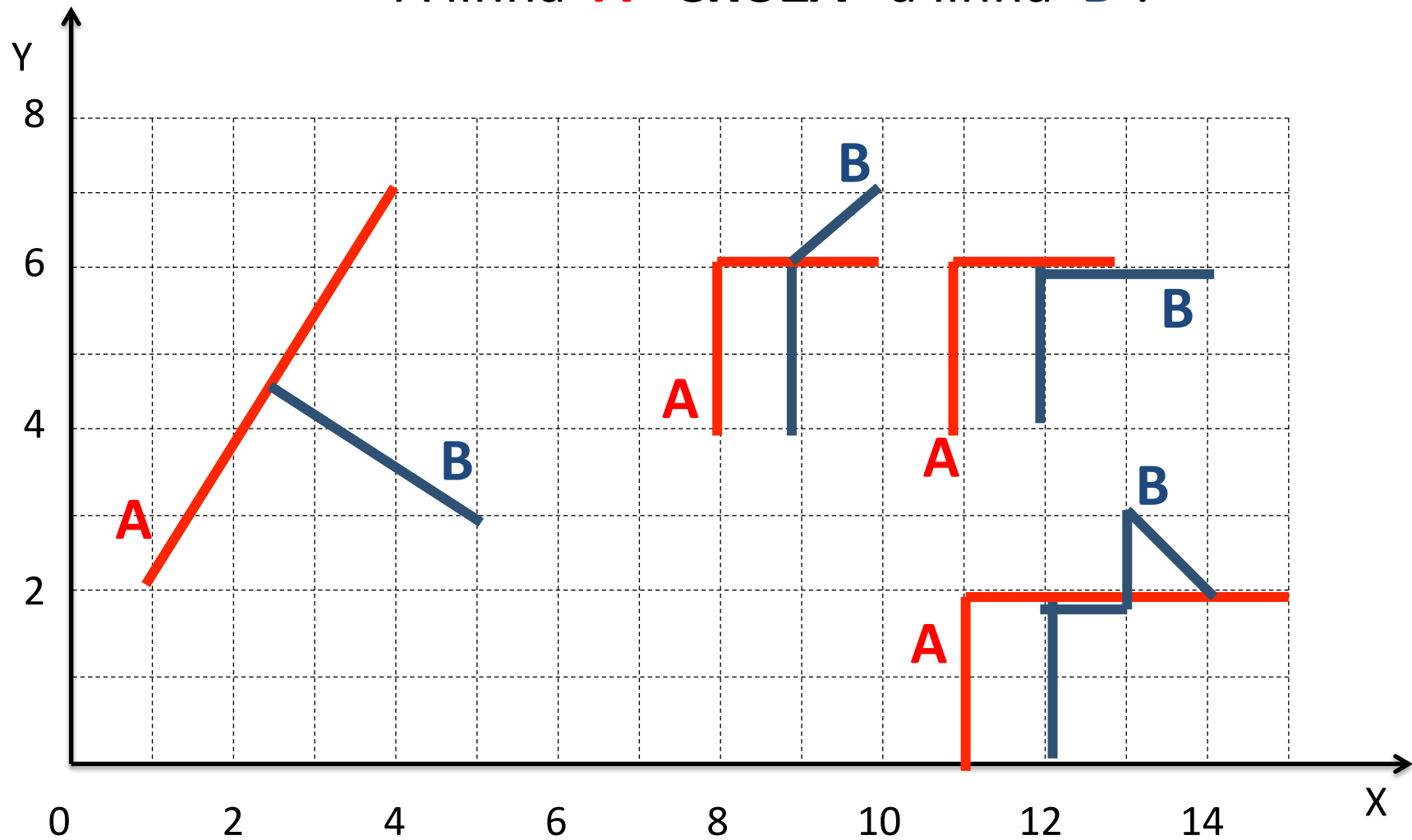
# Relacionamentos Espaciais: ST\_Overlaps

A geometria **A** **SOBREPÕE** a geometria **B** ?



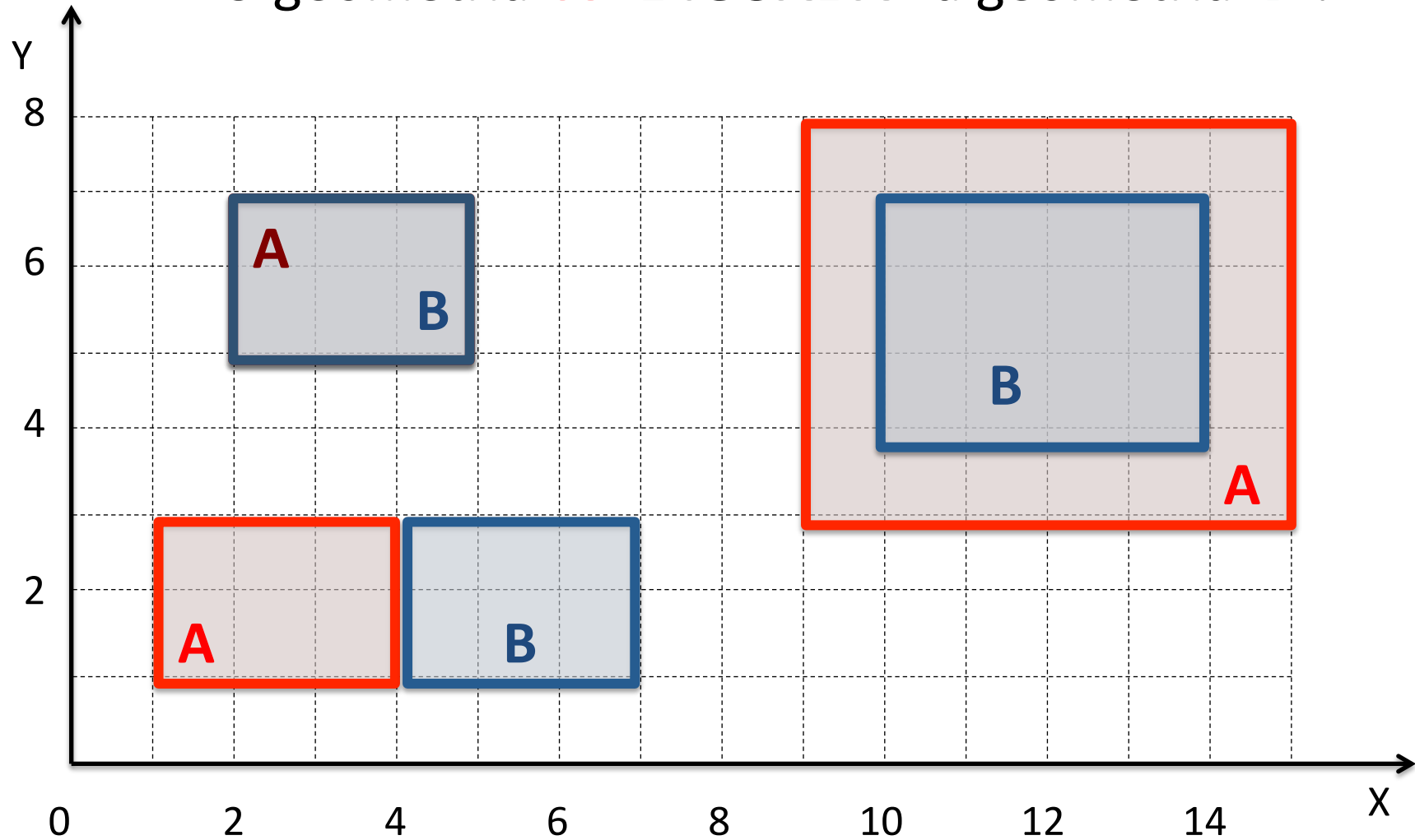
# Relacionamentos Espaciais: ST\_Crosses

A linha **A** **CRUZA** a linha **B** ?



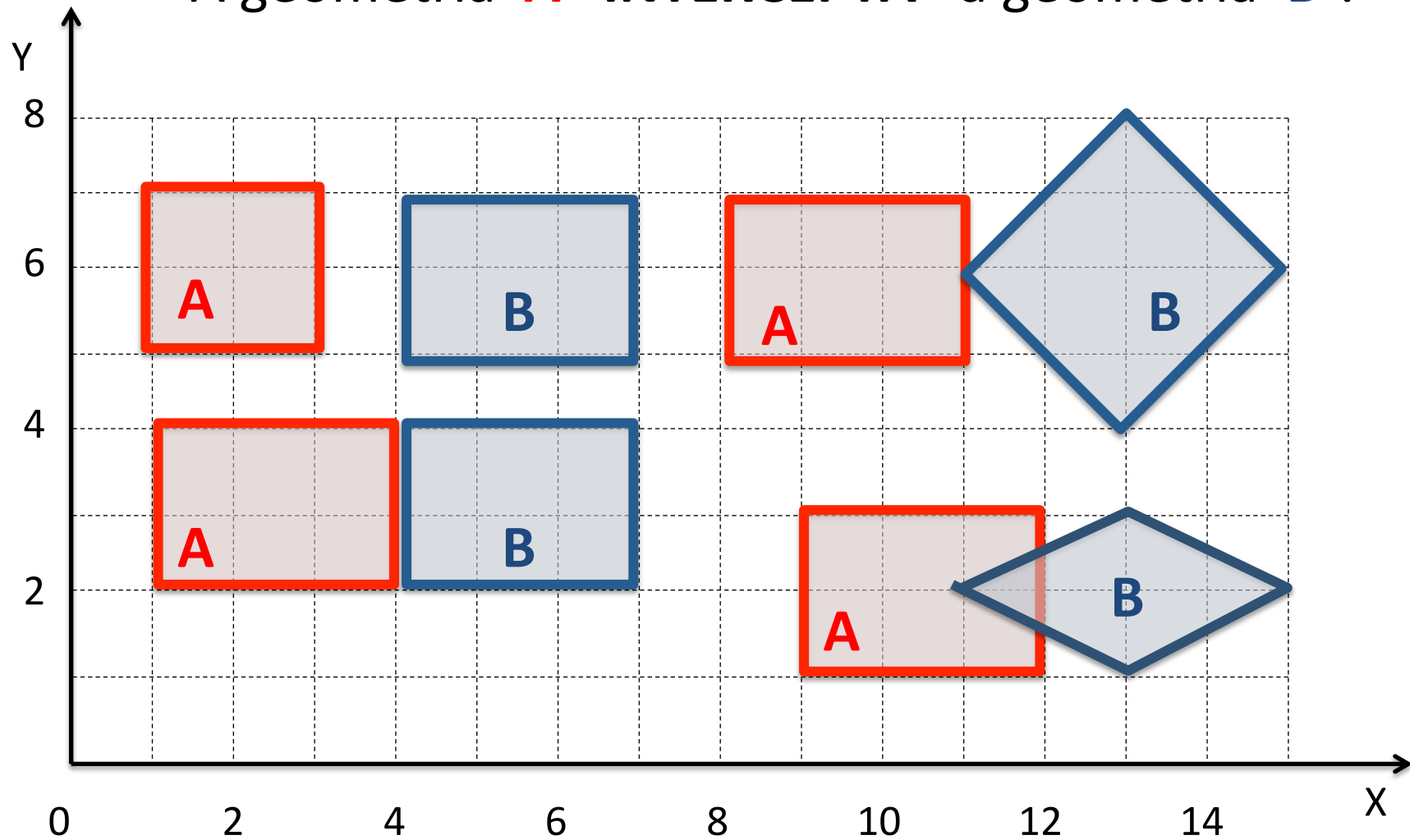
# Relacionamentos Espaciais: ST\_Equals

O geometria **A** É IGUAL A a geometria **B** ?



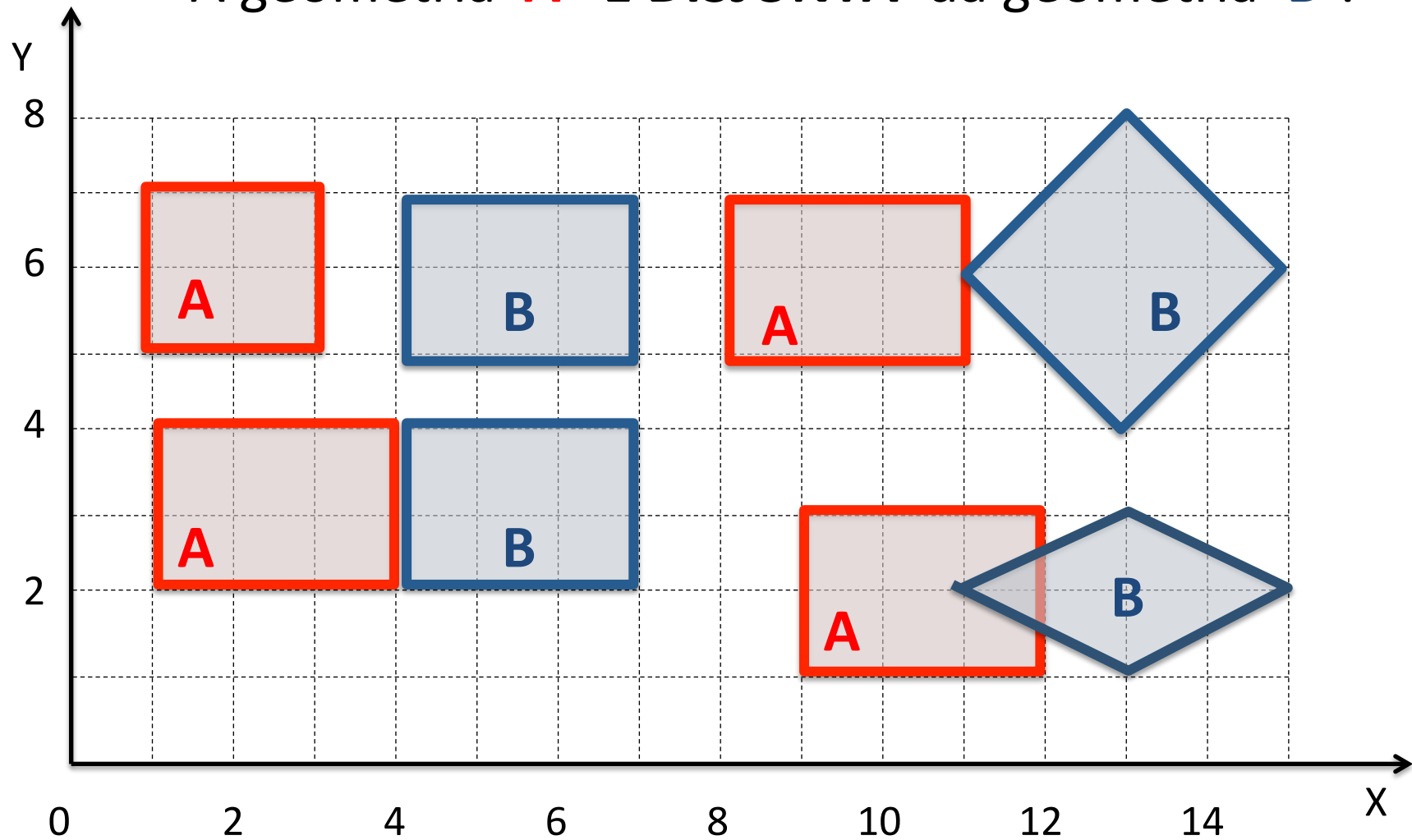
# Relacionamentos Espaciais: ST\_Intersects

A geometria **A** **INTERCEPTA** a geometria **B** ?



# Relacionamentos Espaciais: ST\_Disjoint

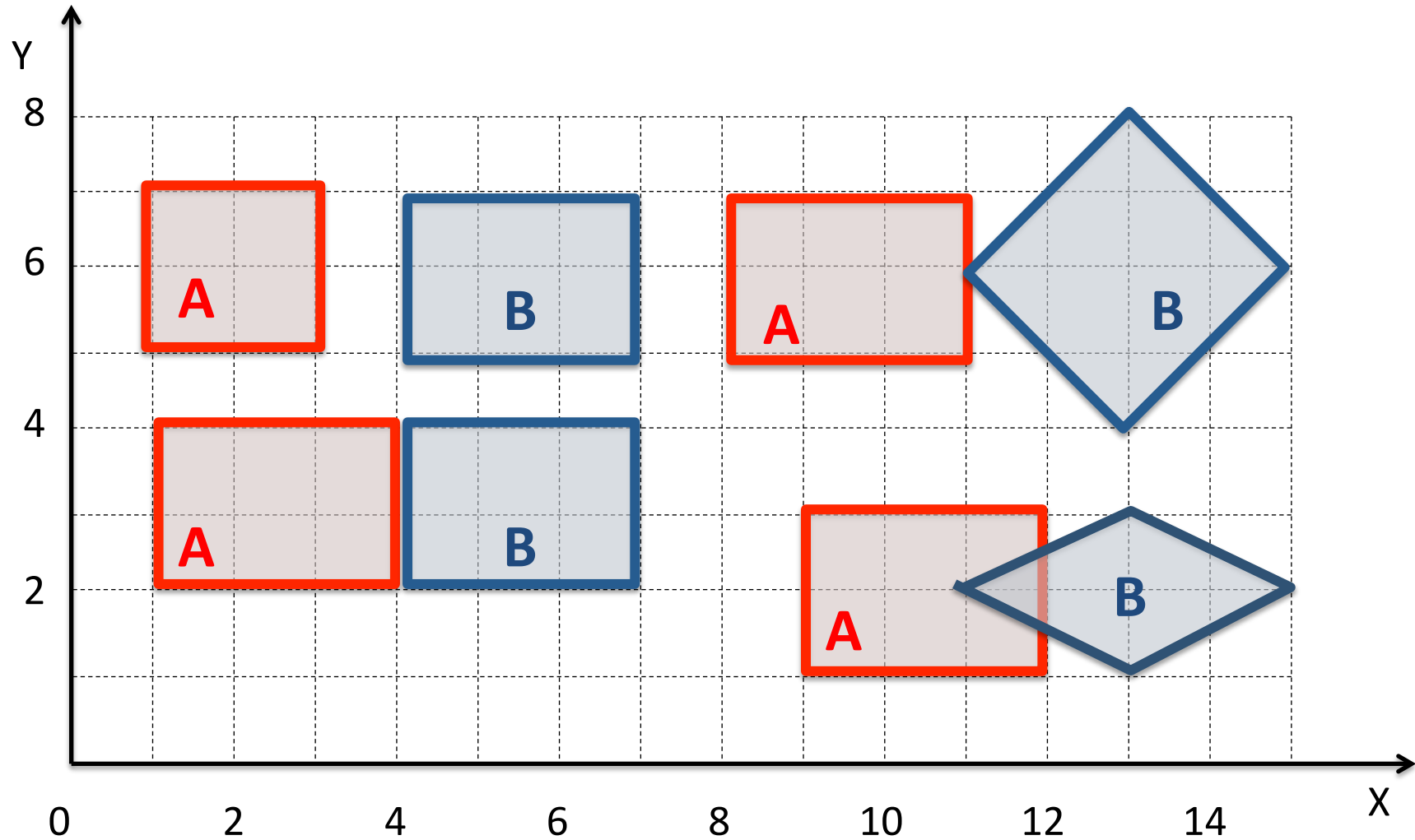
A geometria **A** É DISJUNTA da geometria **B** ?





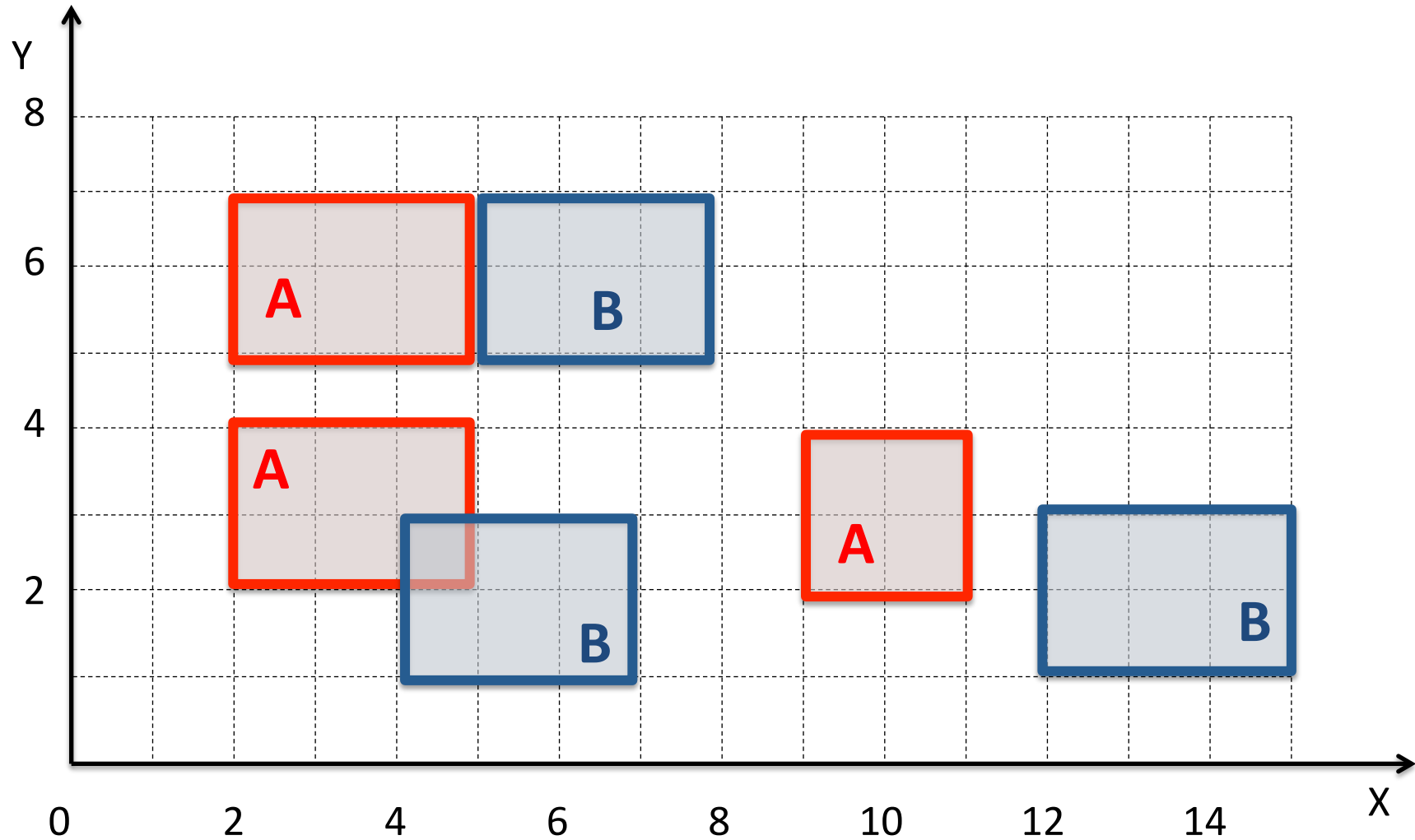
# Relacionamentos Espaciais: ST\_Relate

Qual o relacionamento espacial entre as geometrias **A** e **B** ?



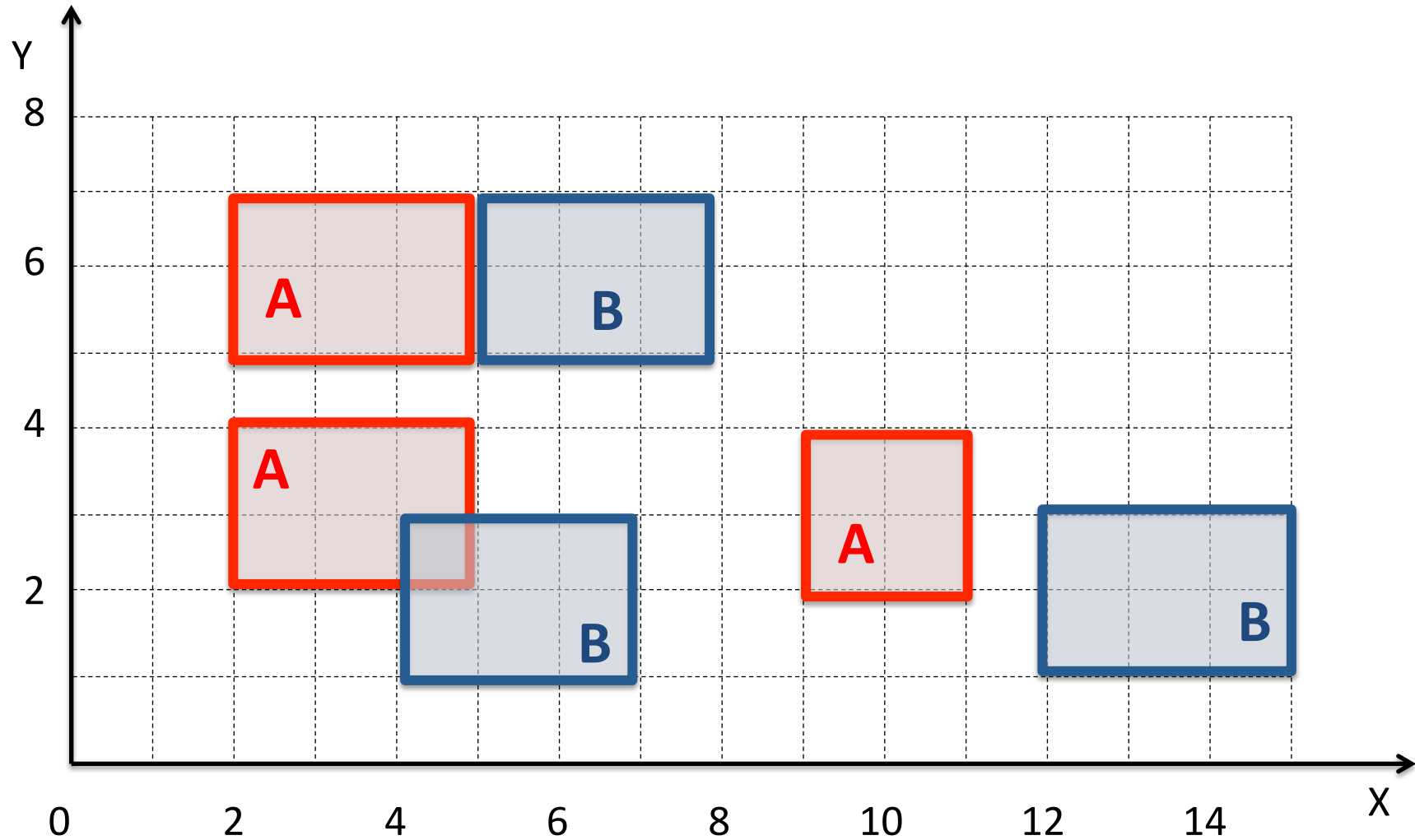
# Overlay/Set: ST\_Intersection

Qual o resultado da interseção entre as geometrias **A** e **B** ?



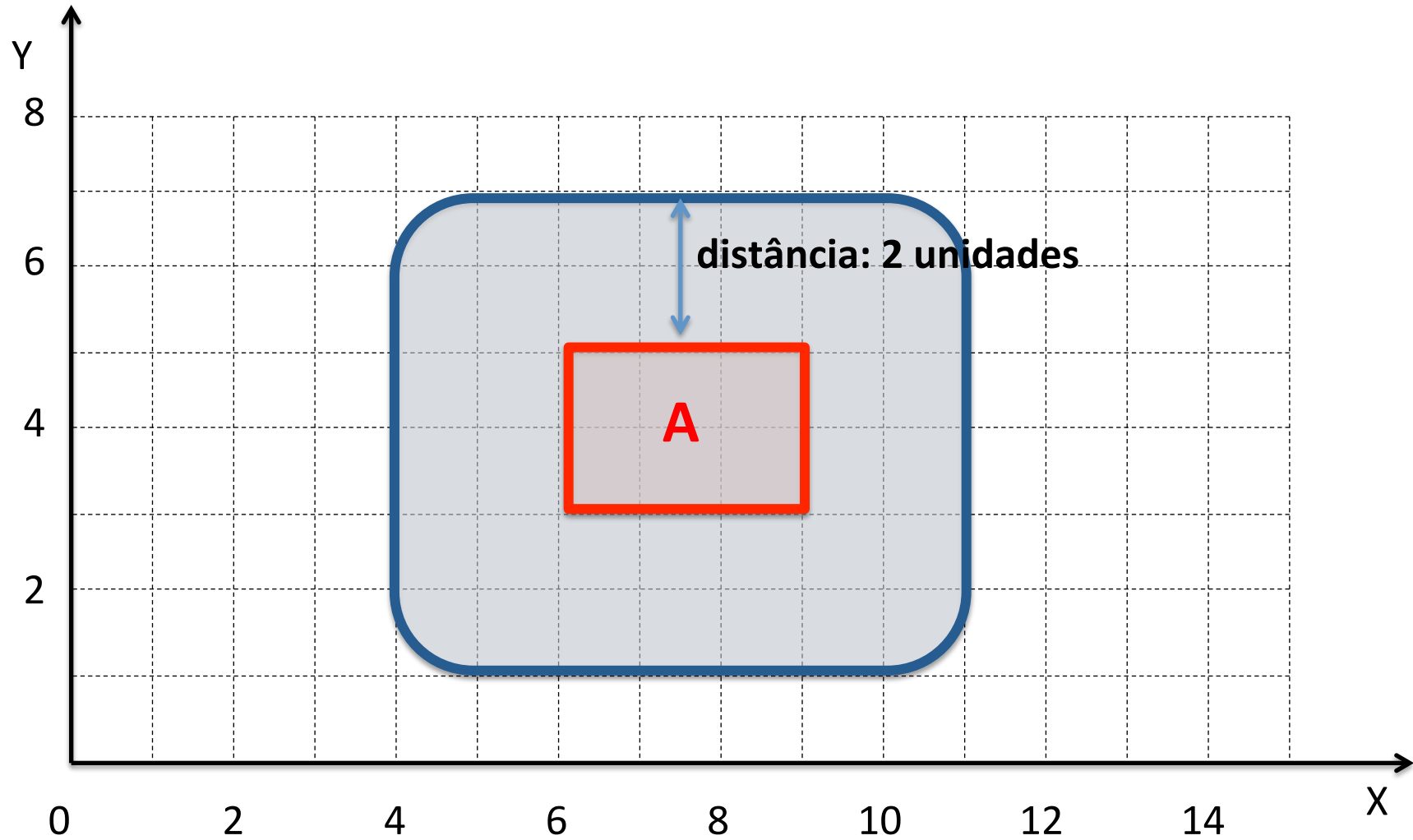
# Overlay/Set: ST\_Union

Qual o resultado da união entre as geometrias **A** e **B** ?



# ST\_Buffer

Gerar um buffer de 2 unidades ao redor da geometria **A**.



# Overlay/Set: ST\_Transform

- Coordenadas:
  - Latitude: -12
  - Longitude: -54
  - Datum: SAD/69
  - SRID: 4618
  
- Converter para:
  - Lat/Long – WGS-84: 4326
  - Lat/Long – SIRGAS-2000: 4674
  - Policonica SAD/69: 29101

# Alterando o SRID de uma Coluna Geométrica

```
ALTER TABLE nome-tabela  
ALTER COLUMN geom TYPE GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326)  
USING ST_SetSRID(geom, 4326)
```

Ou

```
ALTER TABLE nome-tabela  
ALTER COLUMN geom TYPE GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326)  
USING ST_Transform(geom, 4326)
```

- Obs.: Veja também a função POPULATE\_GEOMETRY\_COLUMNS

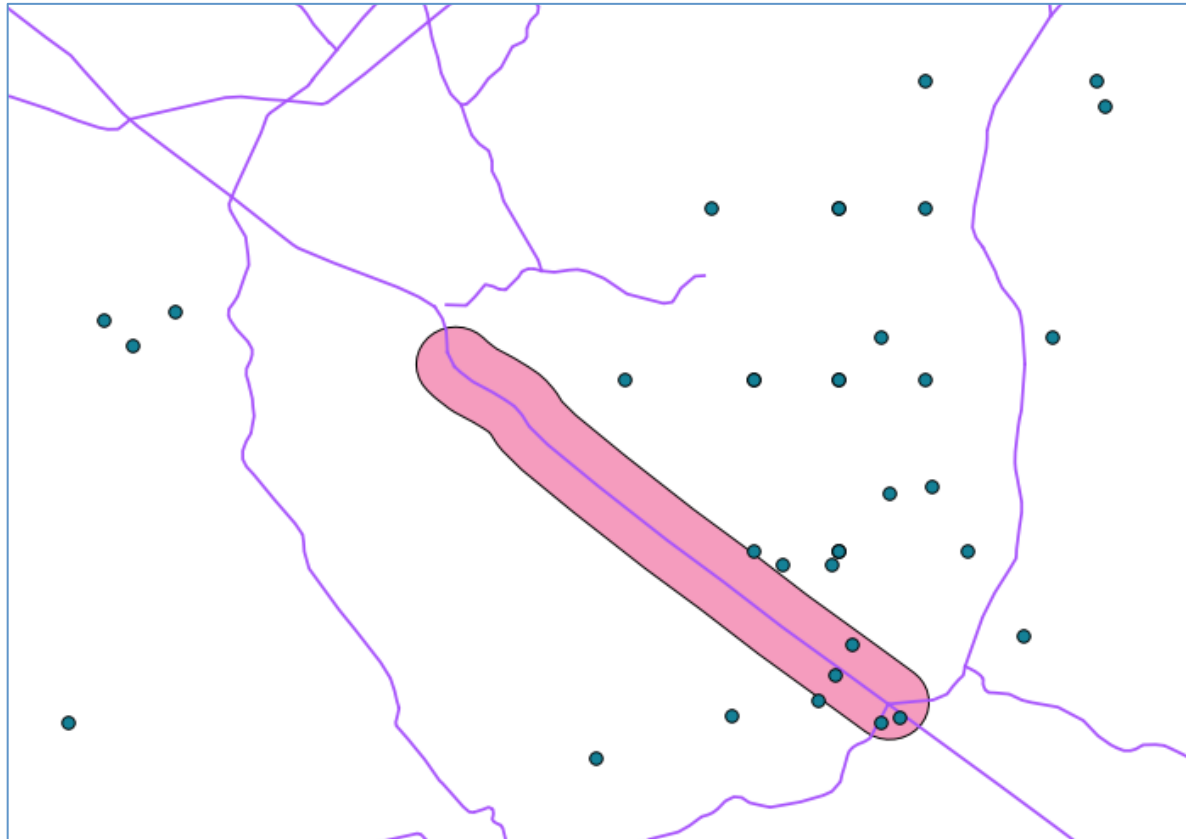
# Consultas Espaciais: Junção Espacial

- **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:

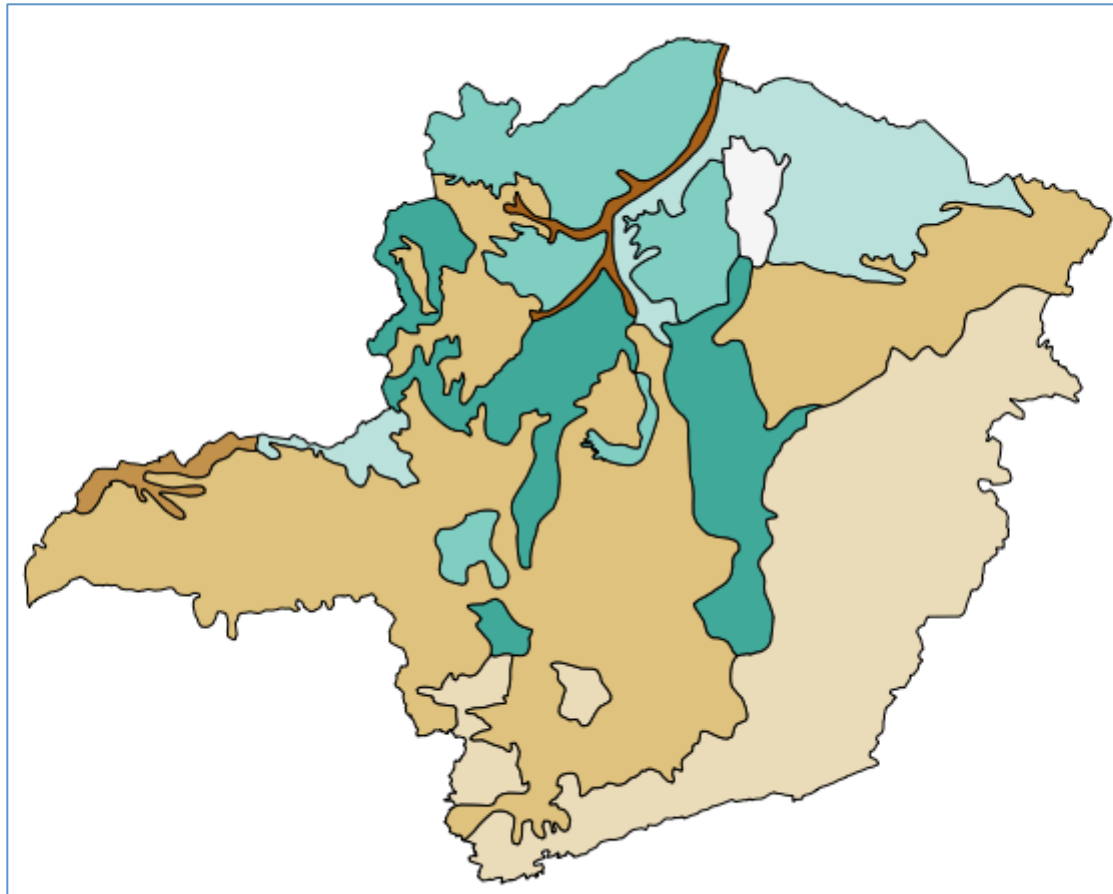
$D_1$  = focos

$D_2$  = trechos rodoviários

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



# Importar o dado de aptidão agrícola de MG



**Arquivo:**

dados/shp/mg\_aptidao\_agricola

**Tipo de dado:**

Poligonos (21)

**Sistema de Referência Espacial:**

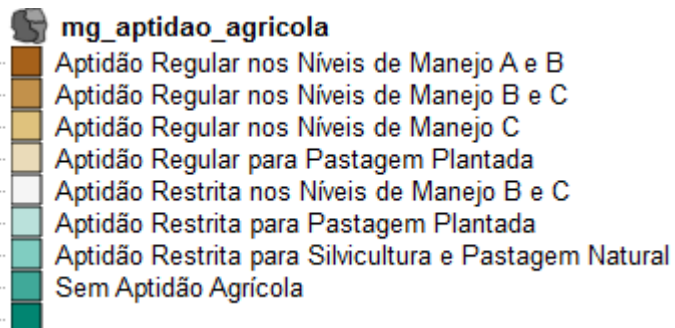
4618 => Lat/Long SAD/69

**Nome da tabela a ser criada:**

mg\_aptidao

**Codificação dos caracteres :**

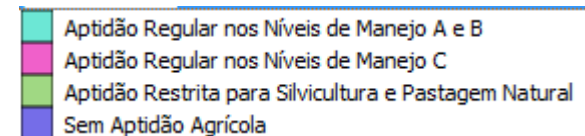
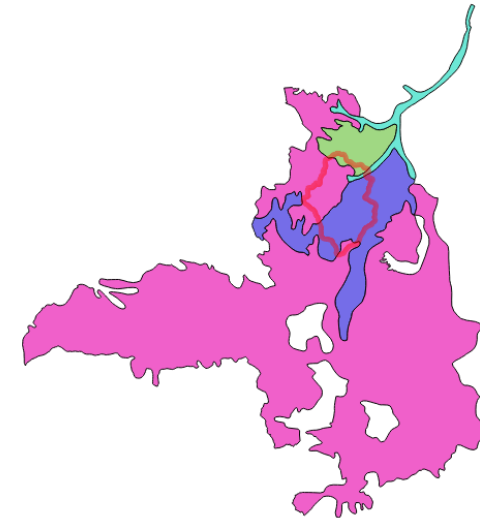
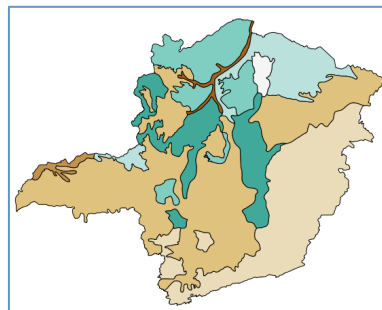
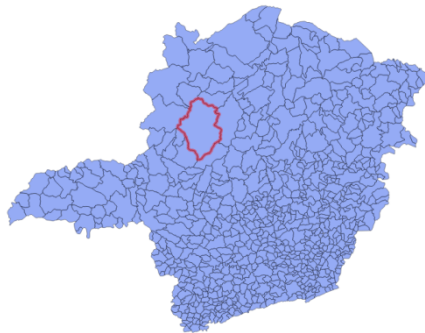
LATIN1





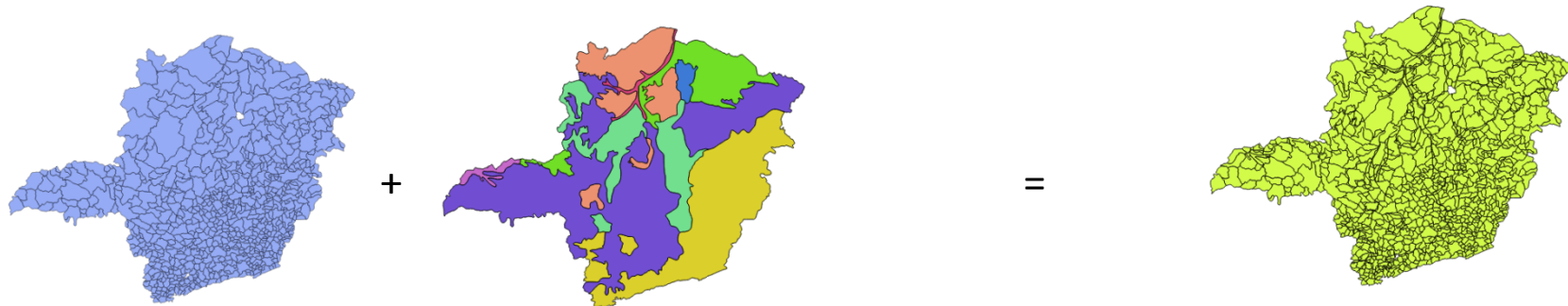
# Consulta Espacial

- **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?



# Consulta Espacial

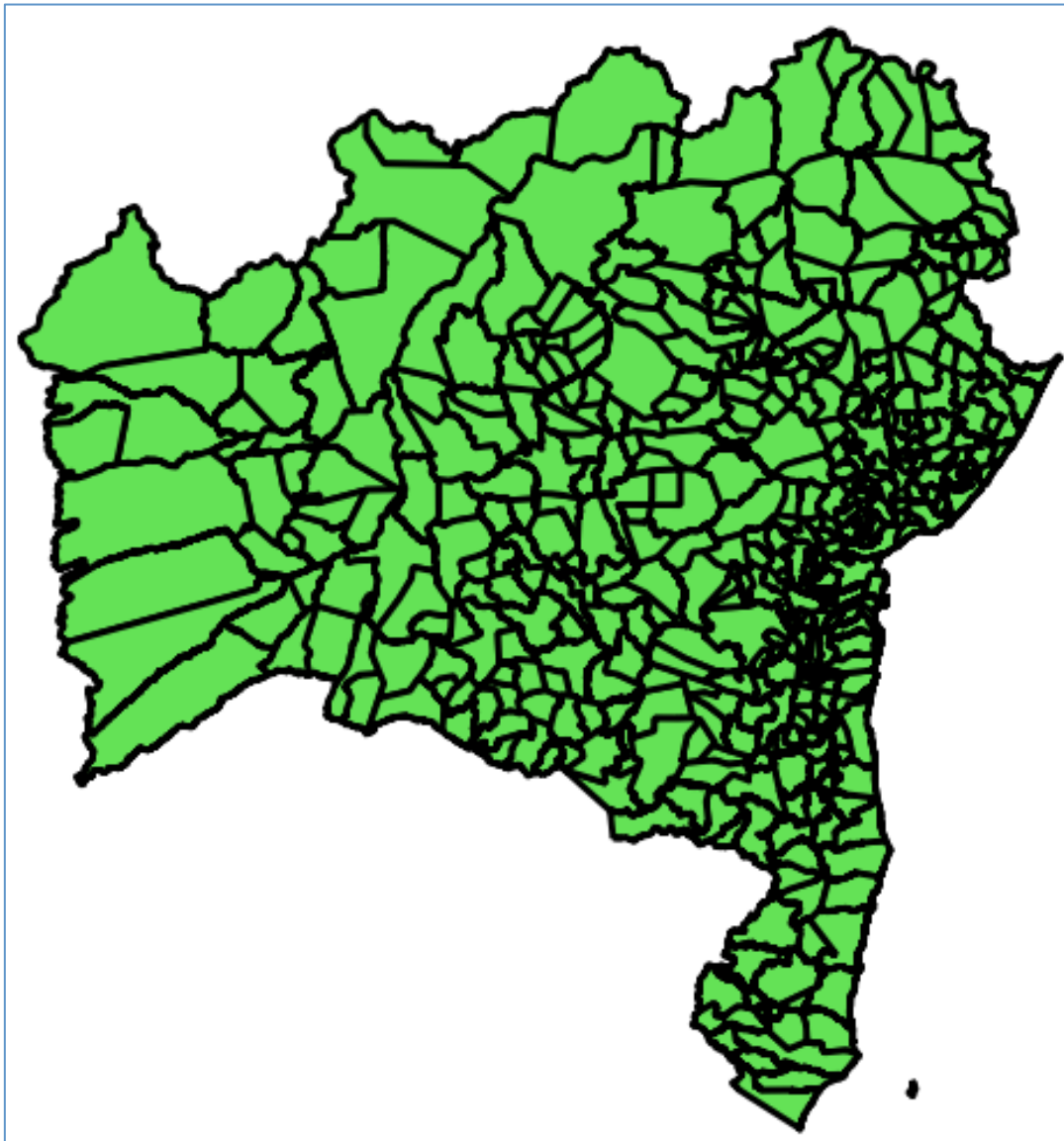
- **Pergunta:** Quais as áreas de aptidão agrícola de cada município de Minas Gerais?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?
- Crie uma nova tabela com o resultado e visualize no Quantum GIS.



# 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 :**

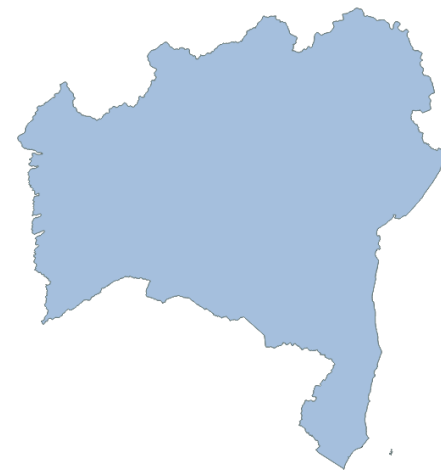
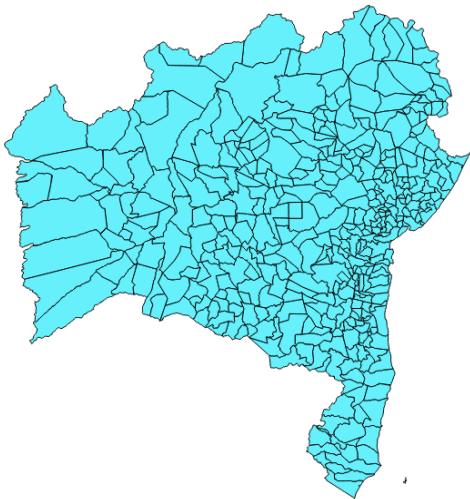
LATIN1

**Fonte do dado:**

IBGE

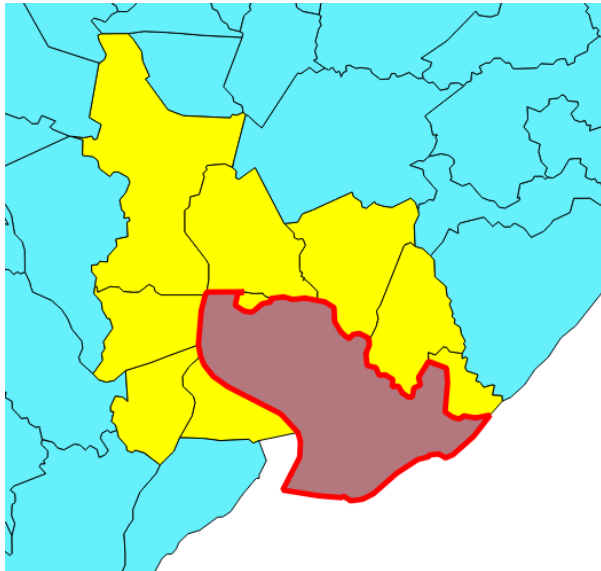
# Consulta Espacial

- **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?

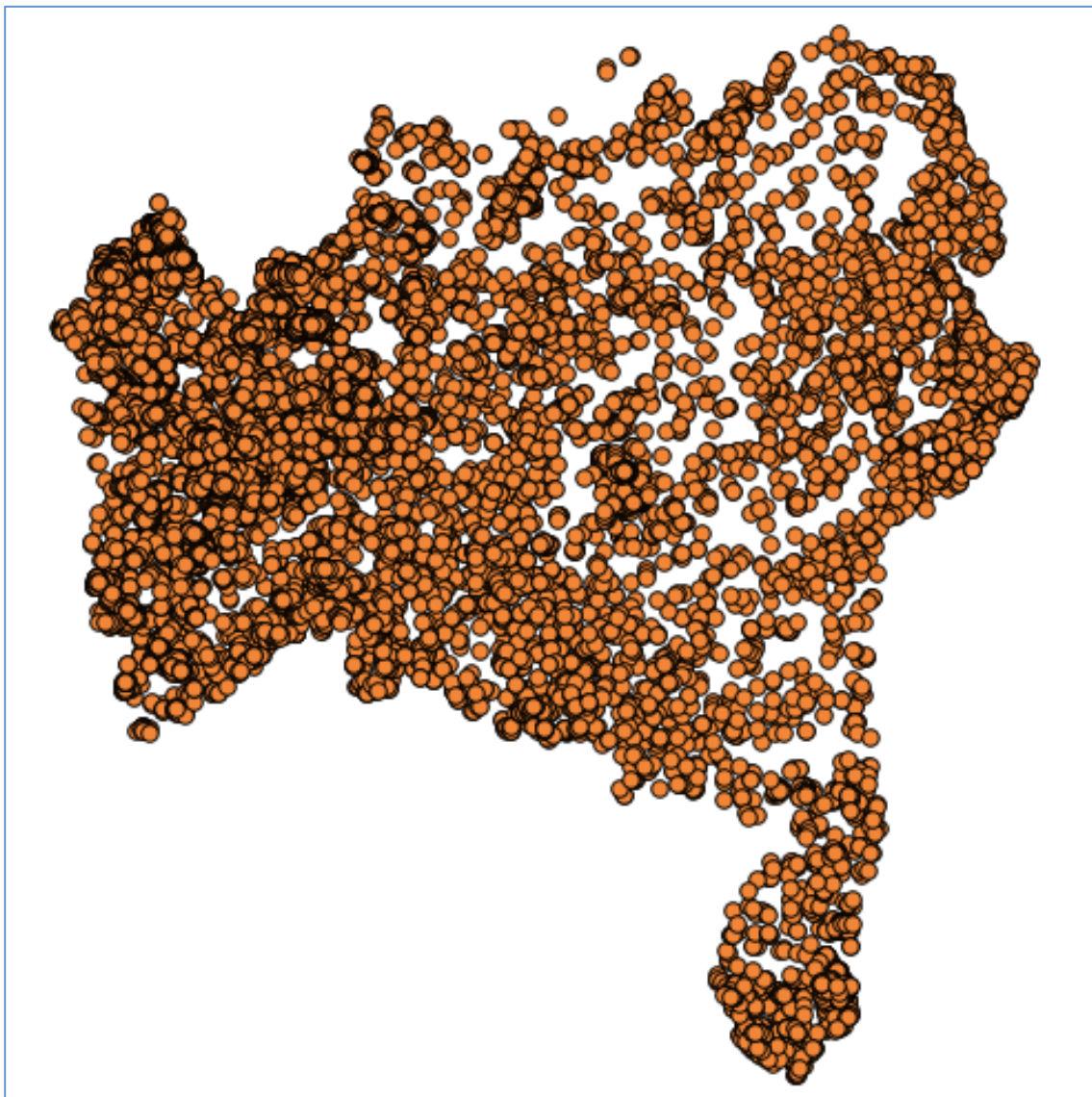


1	Salvador	Candeias
2	Salvador	Itaparica
3	Salvador	Lauro de Freitas
4	Salvador	Madre de Deus
5	Salvador	Salinas da Margarida
6	Salvador	Santo Amaro
7	Salvador	São Francisco do Conde
8	Salvador	Saubara
9	Salvador	Simões Filho

# 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

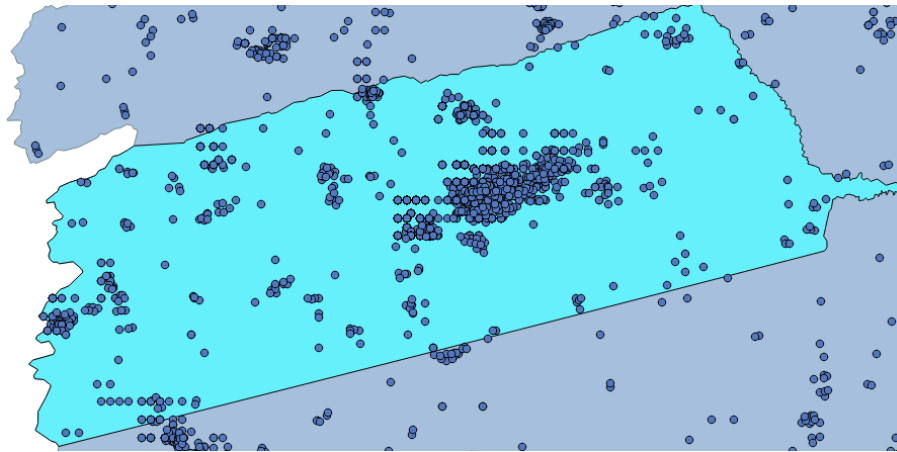
**Fonte do dado:**

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?

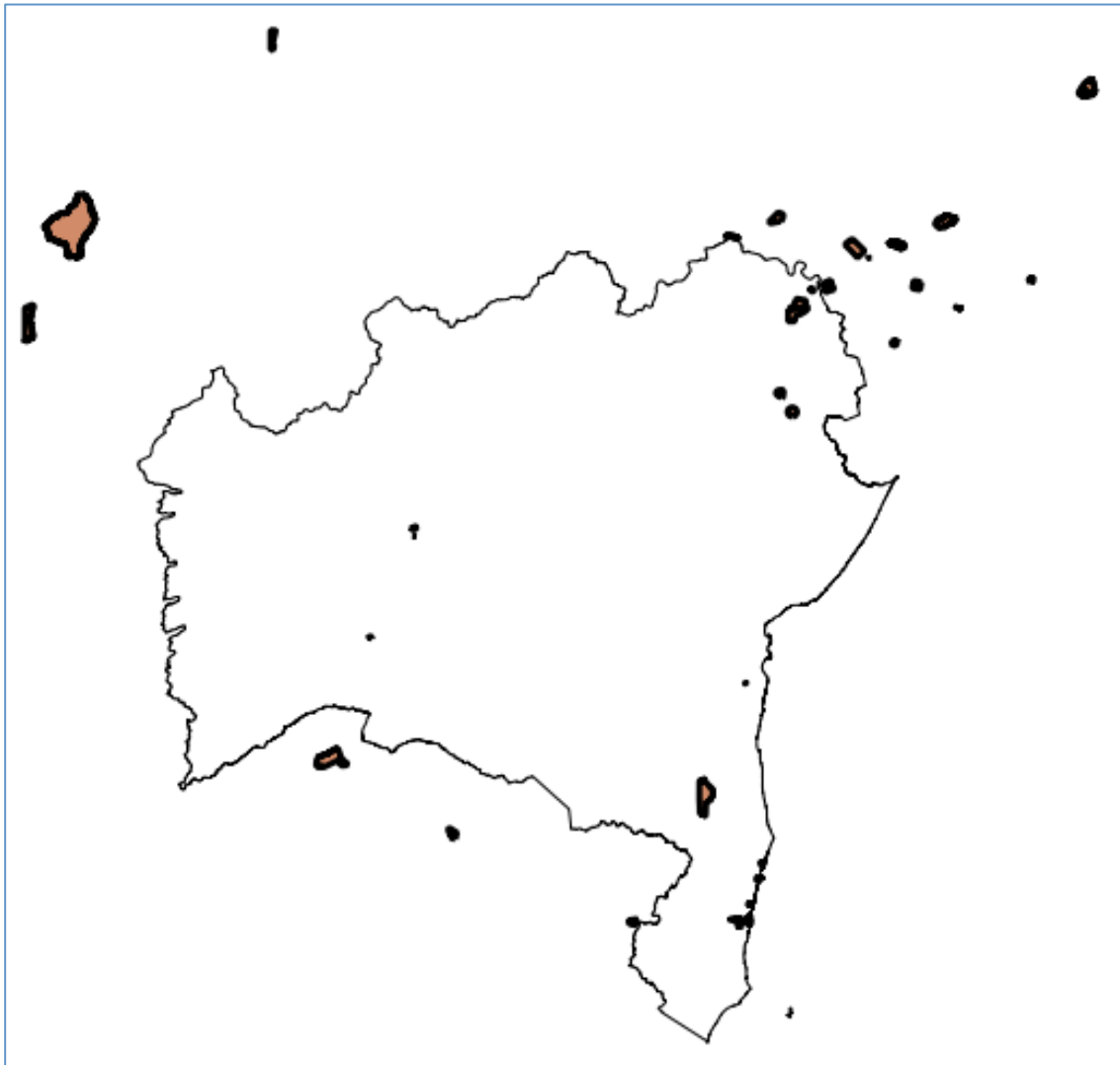


R.

Correntina
------------

2045
------

# 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 essa consulta SQL?

1	159	Ibotirama	Ibotirama
2	159	Ibotirama	Barra
3	269	Muquém de São Fran	Barra
4	371	Serra do Ramalho	Vargem Alegre
5	72	Camamu	Fazenda Bahiana
6	33	Banzaê	Kiriri
7	318	Quijingue	Kiriri
8	327	Ribeira do Pombal	Kiriri
9	394	Tucano	Kiriri
10	127	Euclides da Cunha	Massacara
11	70	Camacan	Caramuru/Paraguass
12	184	Itaju do Colônia	Caramuru/Paraguass
13	293	Pau Brasil	Caramuru/Paraguass
14	312	Potiraguá	Caramuru/Paraguass

15	313	Prado	Águas Belas
16	311	Porto Seguro	Barra Velha
17	311	Porto Seguro	Coroa Vermelha
18	339	Santa Cruz Cabrali	Coroa Vermelha
19	139	Glória	Pankararé
20	294	Paulo Afonso	Pankararé
21	333	Rodelas	Pankararé
22	139	Glória	Brejo do Burgo
23	294	Paulo Afonso	Brejo do Burgo
24	333	Rodelas	Brejo do Burgo
25	139	Glória	Kantaruré
26	339	Santa Cruz Cabrali	Mata Medonha
27	311	Porto Seguro	Imbiriba

# Consulta Espacial

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

	nome character varying(80)	num_focos bigint
1	Caramuru/Paraguass	2
2	Massacara	1
3	Pankararé	1
4	Kiriri	2
5	Águas Belas	7
6	Brejo do Burgo	1
7	Barra Velha	31

# 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 :**

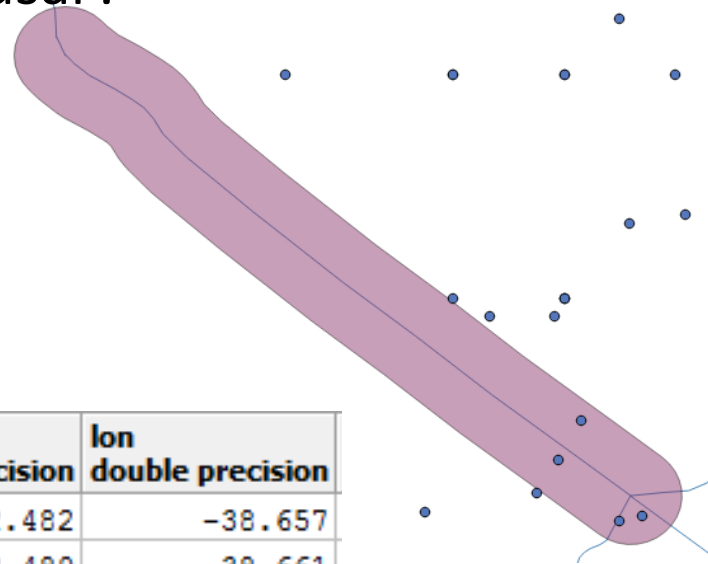
LATIN1

**Fonte do dado:**

IBGE

# Consulta Espacial

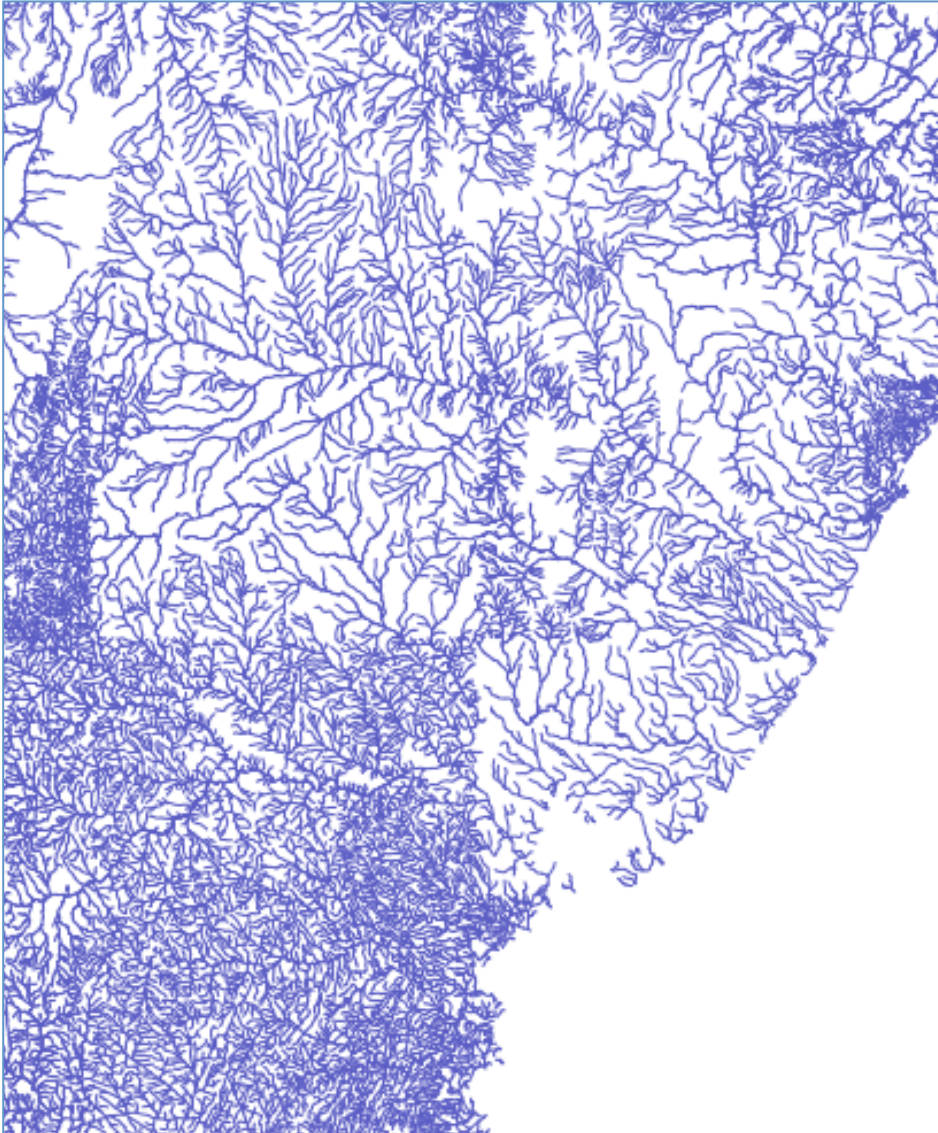
- **Pergunta:** Algum foco de incêndio foi detectado num raio de 1000 metros do trecho rodoviário de código GEODB\_OID 17420?
- Qual operador espacial devemos usar?
- Como fica nossa consulta SQL?



	gid integer	id character varying(30)	lat double precision	lon double precision
1	639	S122855038392520130111123500	-12.482	-38.657
2	1788	S122920038393920130206131000	-12.489	-38.661
3	1993	S123000038390020130210184500	-12.5	-38.65
4	2264	S122956038384520130213131500	-12.499	-38.646



# 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 :**

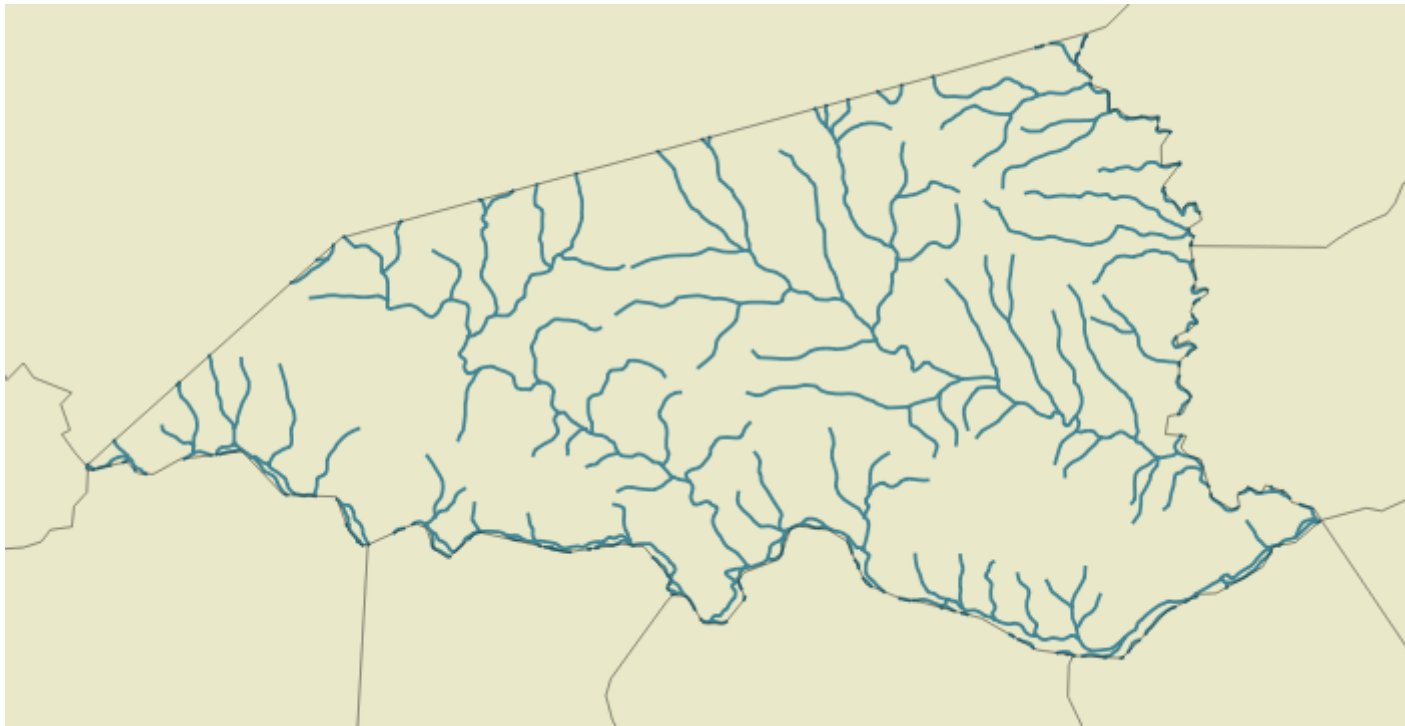
LATIN1

**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?





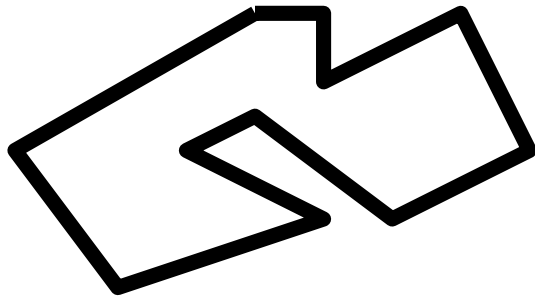
# Consulta Espacial

- **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?

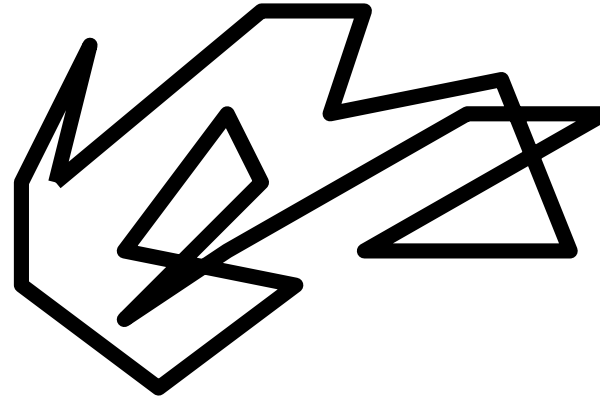
	<b>cumprimento double precision</b>
<b>1</b>	646.606073819042

# Conferindo a Integridade dos Dados

- Como conferir a integridade dos dados?



Válido



Inválido

Usar o operador **ST\_Isvalid**

# 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'
```

# Referências

# Livros

- M. Casanova, G. Câmara, C. Davis, L. Vinhas, G. Ribeiro (Editores). ***Bancos de Dados Geográficos***. São José dos Campos, MundoGEO, 2005.
- Philippe Rigaux, Michel Scholl and Agnès Voisard. 2001. ***Spatial Databases with Application to GIS***. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.

# Artigos

- Ralf Hartmut Güting. 1994. ***An introduction to spatial database systems***. The VLDB Journal, v. 3, n. 4, 357-399, October 1994.
- GOODCHILD, M. F. ***Citizens as sensors: the world of volunteered geography***. GeoJournal (2007) 69:211–221.
- O. Guenther and A. Buchmann. 1990. ***Research issues in spatial databases***. SIGMOD Rec. 19, 4 (December 1990), 61-68.
- Claudia Bauzer Medeiros and Fatima Pires. 1994. ***Databases for GIS***. SIGMOD Rec. 23, 1 (March 1994), 107-115.

# Artigos

- M. Egenhofer and J. Herring. ***Categorizing Binary Topological Relations Between Regions, Lines, and Points in Geographic Databases***. Technical Report, Department of Surveying Engineering, University of Maine, 1990.
- M. Egenhofer and R. Franzosa. ***Point-Set Topological Spatial Relations***. International Journal of Geographical Information Systems 5 (2): 161-174, 1991.
- M. Egenhofer. ***Reasoning about Binary Topological Relations***. Second Symposium on Large Spatial Databases, Zurich, Switzerland. O. Gunther and H.-J. Schek (eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 525, Springer-Verlag, pp. 143-160, August 1991.
- Eliseo Clementini, Paolino Di Felice, and Peter van Oosterom. 1993. ***A Small Set of Formal Topological Relationships Suitable for End-User Interaction***. In *Proceedings of the Third International Symposium on Advances in Spatial Databases (SSD '93)*, David J. Abel and Beng Chin Ooi (Eds.). Springer-Verlag, London, UK, UK, 277-295.



# Especificações e Padrões

- 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.***

# Manuais

- PostGIS: <http://postgis.net/>
- O Sistema UTM:  
<http://www.carto.eng.uerj.br/cgi/index.cgi?x=utm.htm>