

# **Representações para dados geográficos**

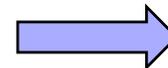
Lúbia Vinhas

# Geoprocessamento

Representa a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados espaciais, produzindo informações relevantes para tomada de decisão



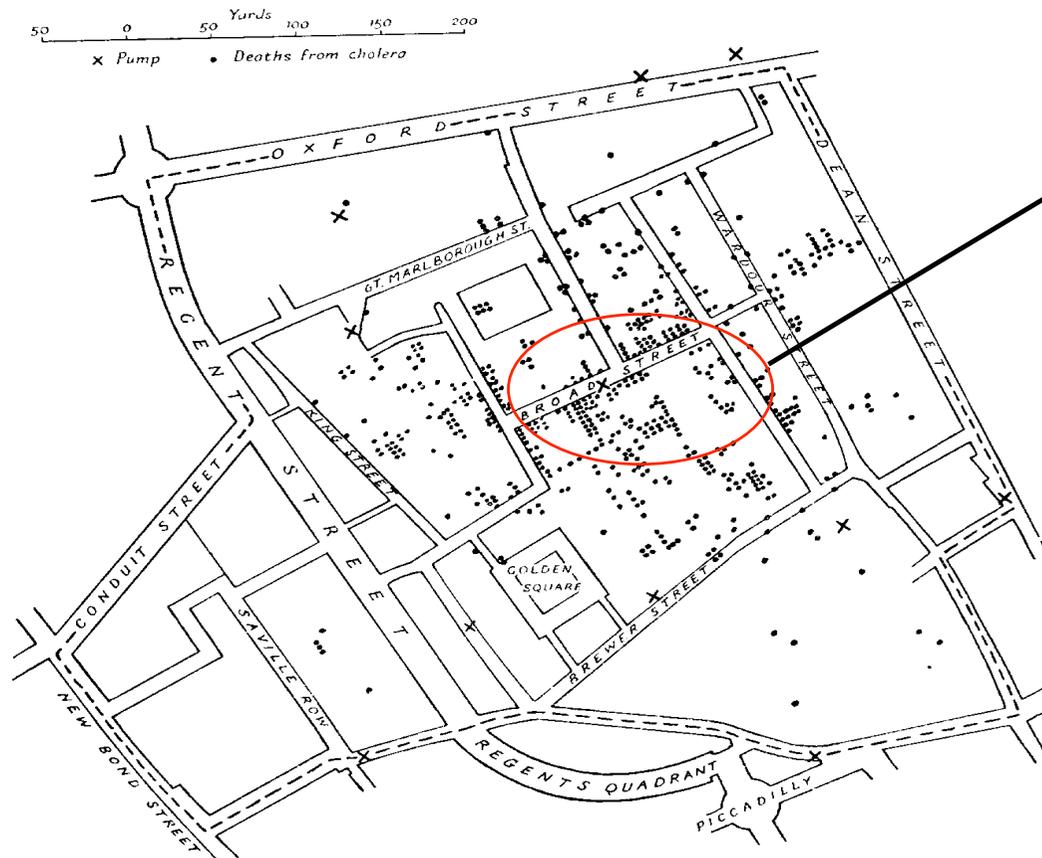
The screenshot shows the FOLHA.com website interface. At the top, there is a navigation menu with categories like NOTÍCIAS, PODER, MUNDO, MERCADO, COTIDIANO, ESPORTE, ILUSTRADA, CIÊNCIA, and TEC. A weather widget shows temperatures for SP (22°C) and RIO (27°C). A news ticker at the top reads "EM CIMA DA HORA Polícia mexicana prende traficante do cartel La Familia Michoacana". The main article is titled "Cidades atingidas por chuvas mapeiam áreas de risco, mas não têm projeto" and is dated 13/01/2011 - 09h29. Below the title, there is a "Recomendar" button and a social media share icon with the text "55 pessoas recomendam isso." The article text begins with "As três cidades da região serrana do Rio duramente atingidas pelas chuvas têm mapeamentos de áreas de risco concluídos desde 2008, mas tomaram poucas medidas concretas para evitar tragédias como a de ontem."



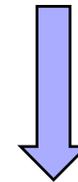
**Geoprocessamento**

# Exemplo pioneiro

Epidemia de cólera em Londres em 1854:



Mapa criado pelo Dr. John Snow mostrando um cluster de ocorrências ao redor do poço de fornecimento de água



Fechamento do poço coincide com o retrocesso da epidemia, corroborando hipótese da transmissão pela água

# Histórico

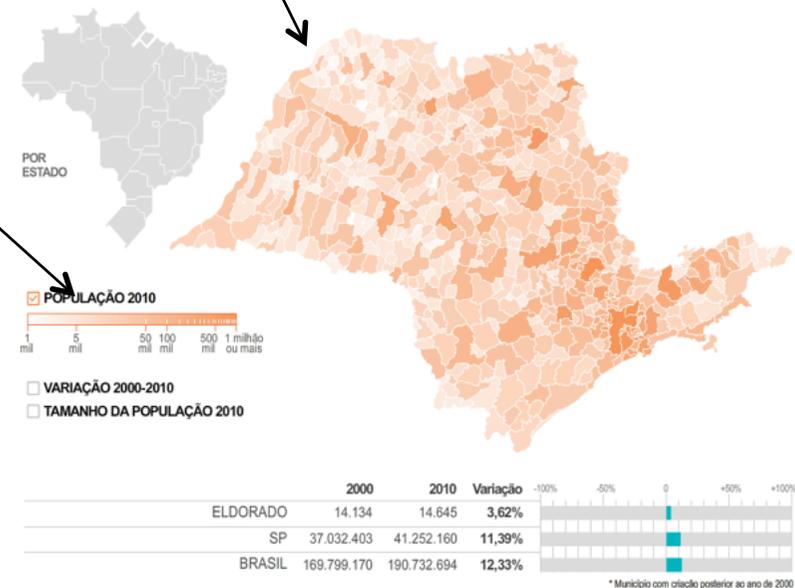
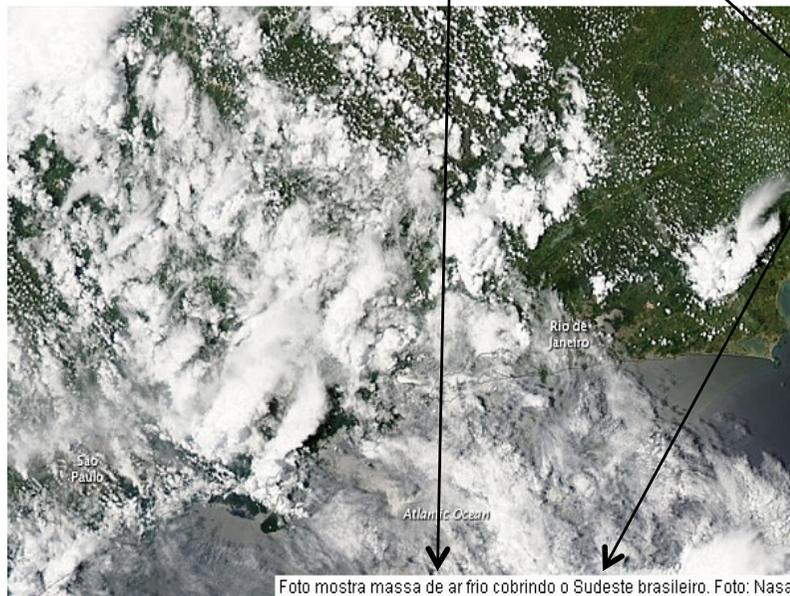
- **Anos 50:** redução de custos de produção e manutenção de mapas. Aplicações específicas foram desenvolvidas na Inglaterra (botânica) e nos EUA (tráfego)
- **Anos 60:** programa governamental no Canadá para inventário de recursos naturais
- **Anos 70:** criação da expressão Geographic Information System - GIS (SIG – Sistema de Informação Geográfica). Empresas começam a comercializar SIGs, alto custo e para computadores de grande porte
- **Anos 80:** computadores pessoais e estações de trabalho popularizam acesso aos SIG's. Criação de centros específicos como NCGIA marcam o estabelecimento do Geoprocessamento
- **Anos 90:** interesse em software livre de licença chega, aumentando uso dos SIG's
- **Anos 2000:** ênfase em acesso e publicação de dados no ambiente da Internet

# Dados Espaciais

- Dados que contém a uma localização espacial em algum sistema de referência. Contém informação sobre a localização, forma e as relações topológicas entre feições de interesse.
- Sistemas de Referência
  - São basicamente as diferentes perspectivas de um observador quanto a descrição de medidas (ex. posição) . Sistemas de coordenadas são as diferentes formas de descrever medidas sob essas perspectivas
- Dados Geográficos ou Geoespaciais
  - São aqueles onde o sistema de referência é a superfície da terra

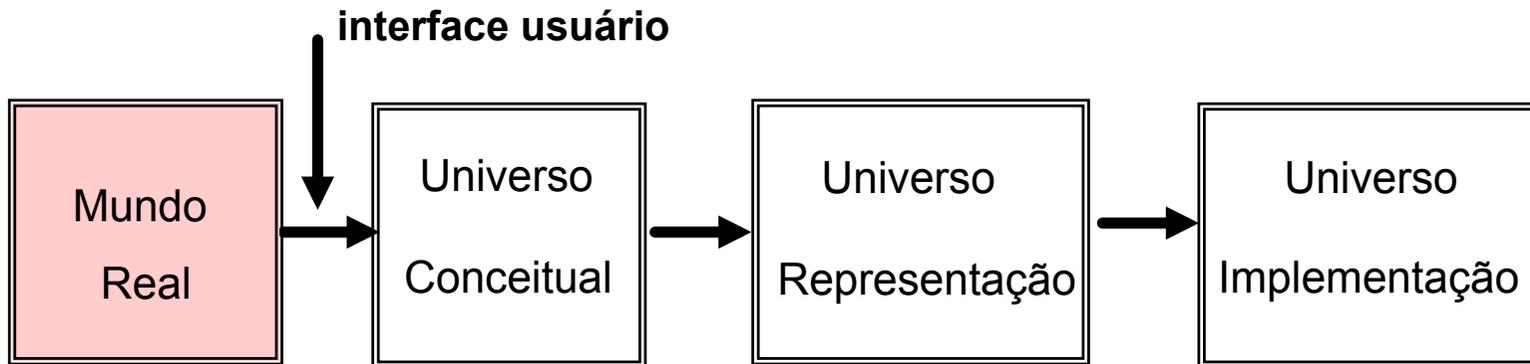
# Dados espaciais ou geográficos

Caracterizam-se por: **localização geográfica** (**onde** o fenômeno ocorre) e **atributos** (**descrição** do fenômeno)



# Paradigma de 4 universos

- Permite traduzir o mundo real para o ambiente computacional:
  - Mundo Real: fenômenos a serem representados (cadastro urbano, vegetação, solos)
  - Universo Conceitual: distinção entre classes formais de fenômenos contínuos e objetos individualizáveis (campos e objetos)
  - Universo de Representação: diferentes representações geométricas (matrizes e vetores)
  - Universo de implementação: estruturas de dados e linguagens de programação (*R-tree* e *Quad-tree*)



# Universo do Mundo Real

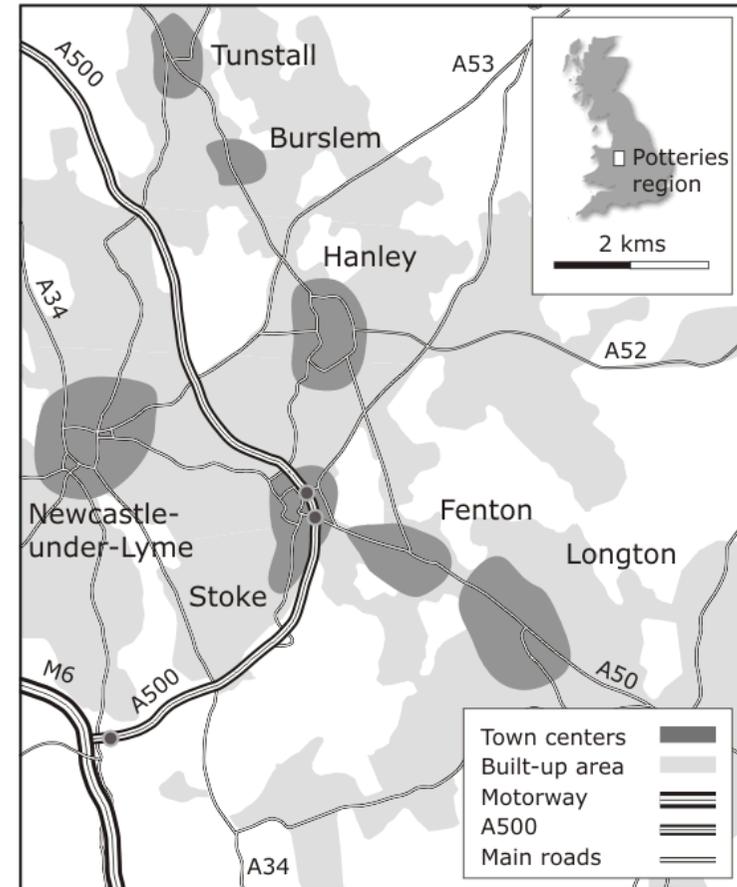
- Geoprocessamento manipula dados de naturezas e fontes distintas
- São organizados na forma de **camadas** ou **mapas**. Um mapa é um modelo simplificado da realidade. Uma representação, em escala, de uma seleção de entidades abstratas relacionadas com a superfície da Terra
- Modelo que se interpõe entre a realidade e a base de dados de uma aplicação geográfica

# Exemplo camadas

“*The Potteries*” (“As cidades ceramistas”) conjunto de 6 cidades da Inglaterra com diversas indústrias relacionadas a cerâmica

A região se desenvolveu durante a revolução industrial inglesa

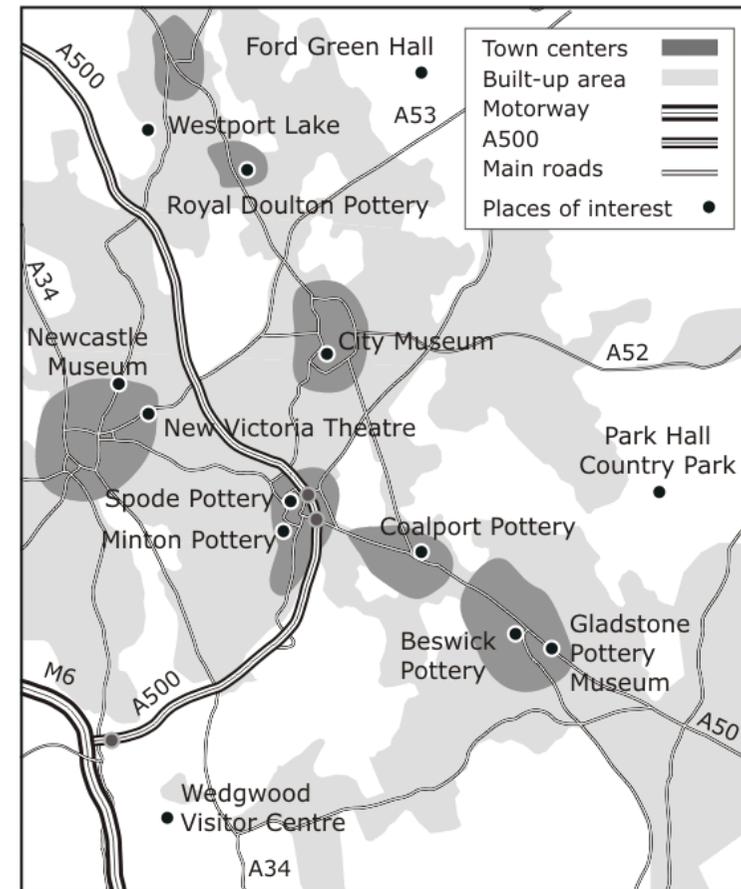
As comunidades locais produziam produtos de alta qualidade, mesmo em condições menos favoráveis



# Inventário de recursos

Dado o patrimônio cultural da área, a indústria local de turismo é significativa

**Camada com pontos de interesse cultural**, equipamentos de recreação presentes na região e combiná-los com detalhes de infraestrutura de transporte e hospedagem

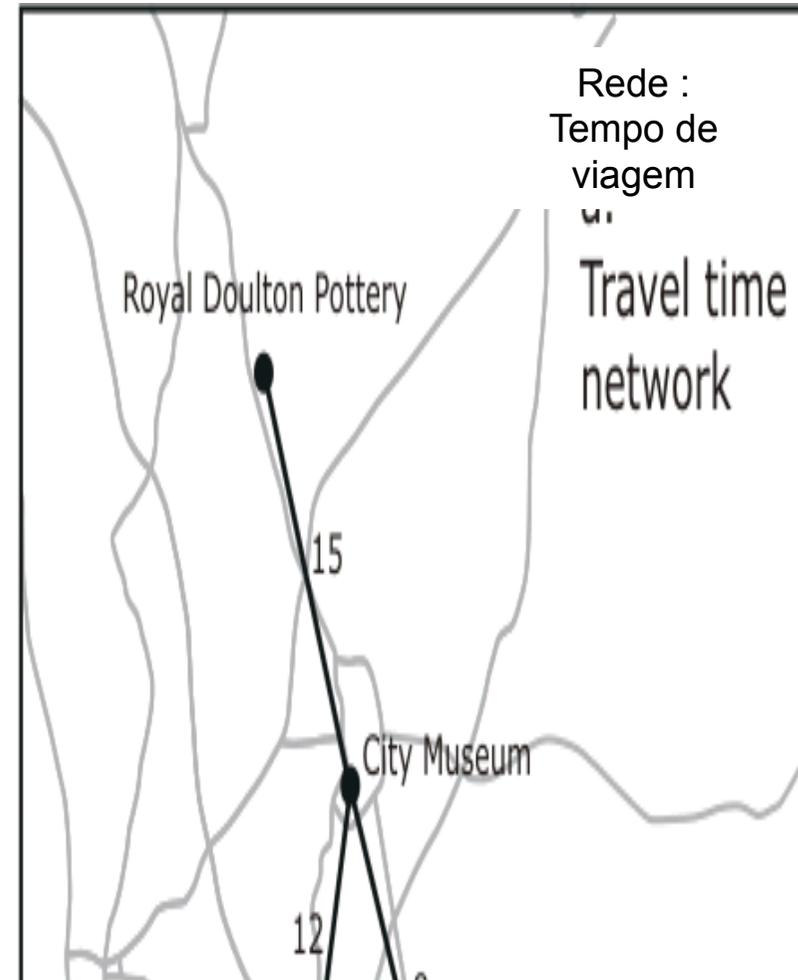


# Análises de redes

Deseja-se encontrar uma rota, usando as rodovias principais, para visitar cada cidade (e o Museu da Cidade) uma vez, minimizando o tempo de viagem

É necessário uma rede que diga o tempo de viagem entre as cidades.

Gerado a partir do tempo médio de viagem nas vias principais mostradas na **camada de rede viária**

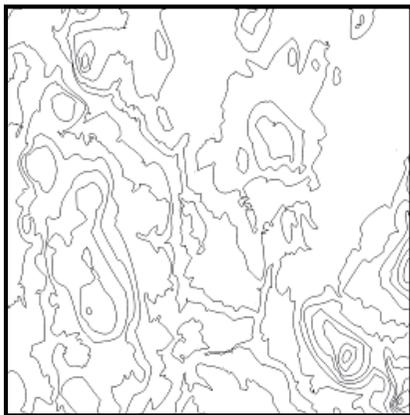


# Análises de terreno

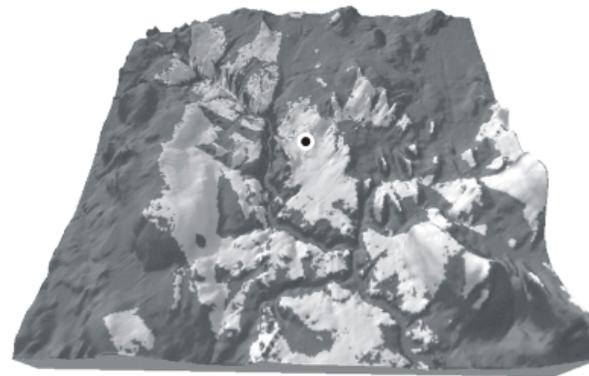
Comunidades locais estão interessadas no impacto visual causado pela possível abertura de novas minas de carvão

**Análise de visibilidade:** medida o tamanho da população local dentro de um ângulo de visada (um mapa de todos os pontos visíveis a partir de uma dada localização)

Análise de terreno é geralmente baseada em uma **camada com dados de elevação** em localizações pontuais



Isolinhas de altimetria



Projeção perspectiva a partir de um ponto de visada. Regiões mais escuras marcam as áreas que não estarão visíveis.

# Sobreposição de camadas

Determinar o potencial de diferentes  
localizações para a extração de areia e  
cascalho

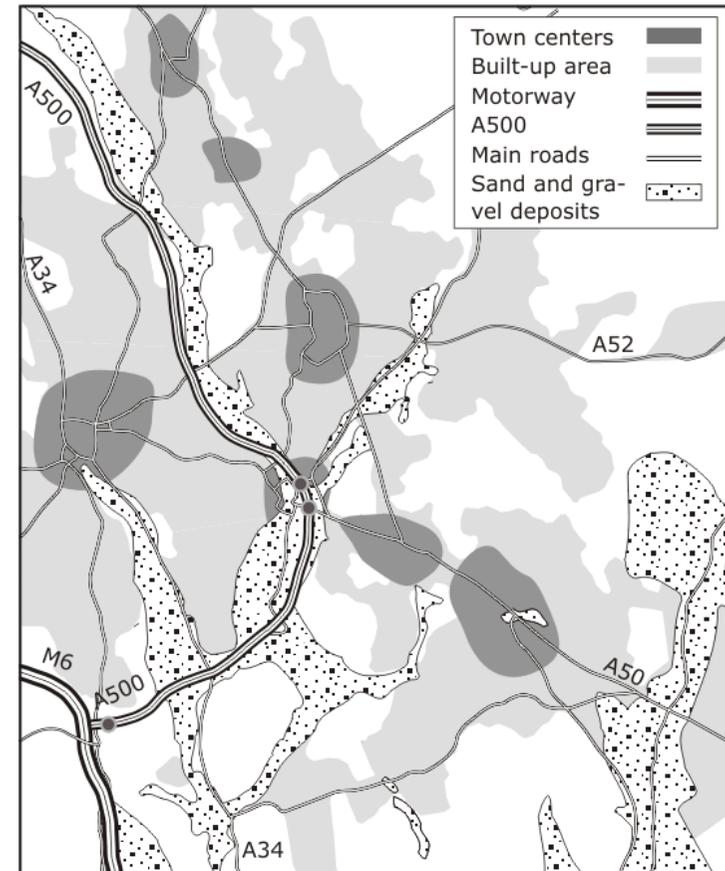
Apresentar e analisar camadas de:

Geologia

Estrutura urbana

Lençol freático

Zoneamento

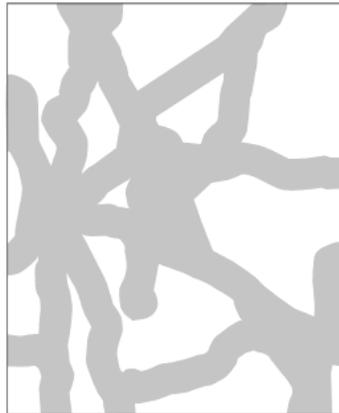


Localização dos depósitos de areia e cascalho

# Sobreposição de camadas

**Consulta:** encontre as localizações que estão a 0.5 km de uma rodovia principal, em uma área não construída, com depósitos de areia/cascalho

0.5 km buffer das  
rodovias principais



Depósitos  
conhecidos de areia  
e cascalho

Áreas escuras  
indicam áreas não  
construídas



Interseção das 3  
camadas resultando  
nas áreas que atendem  
a consulta

# Análises de localização

## Alocação de hospitais na área das *Potteries*

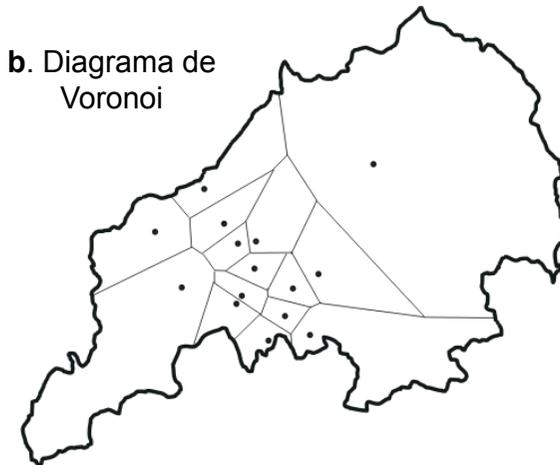
Construa a vizinhança dos hospitais existentes, baseado nas suas posições e os tempos de viagem até elas

É então possível suportar melhor decisões sobre o fechamento, realocação ou a criação de um hospital

a. Isolinhas de mesma distância



b. Diagrama de Voronoi



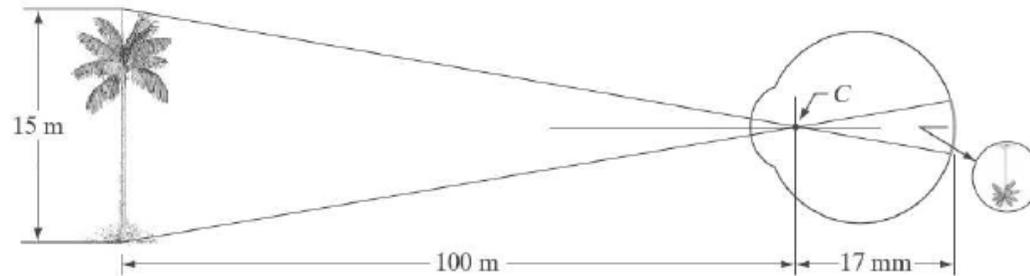
# Tipos de mapas

- Mapas **Temáticos**: informações **qualitativas** sobre o espaço. Ex: Mapa de uso do solo ou Mapa de vegetação
- Mapas **Numéricos**: informações **quantitativas** sobre o espaço. Ex: Grade com valores de altimetria
- Mapas **Cadastrais**: informações sobre objetos discretos do mundo. Ex: Lotes urbanos com sua localização e seus atributos.
- Mapa de **Redes**: informações sobre objetos discretos que forma redes. Ex. Rede elétrica (postes e linhas de transmissão)
- **Imagens**: informações numéricas obtidas por sensores remotos. Ex: Fotografias aéreas, imagens de satélites e radares

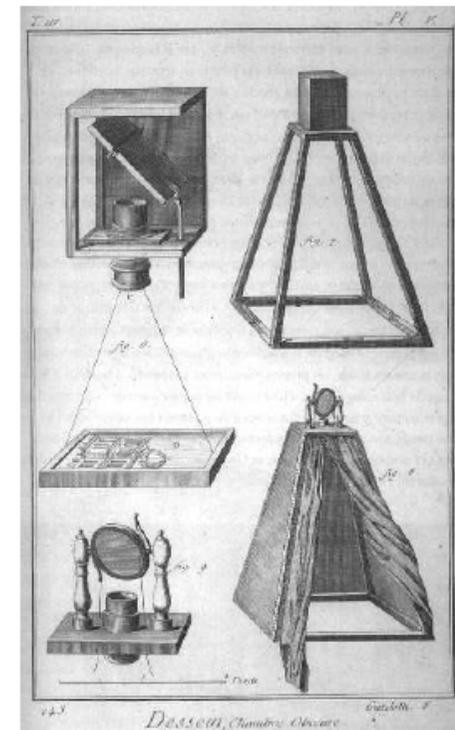
**IMAGENS**

# Aprisionar a luz

- Câmera de orifício (*pinhole camera*)
  - Século 4 AC – gregos
  - Século 10 DC – Ibn al-Haytham
- Câmera escura (*dark chamber*)
  - Giovanni Battista Della Porta, 1558



(G&W-07)



(Wiki-08)

# Fotografia

---

- Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833)
- Heliografia (gravar com o sol)



*View from the Window  
at Le Gras (1826)*



## Primeira imagem digital (?)

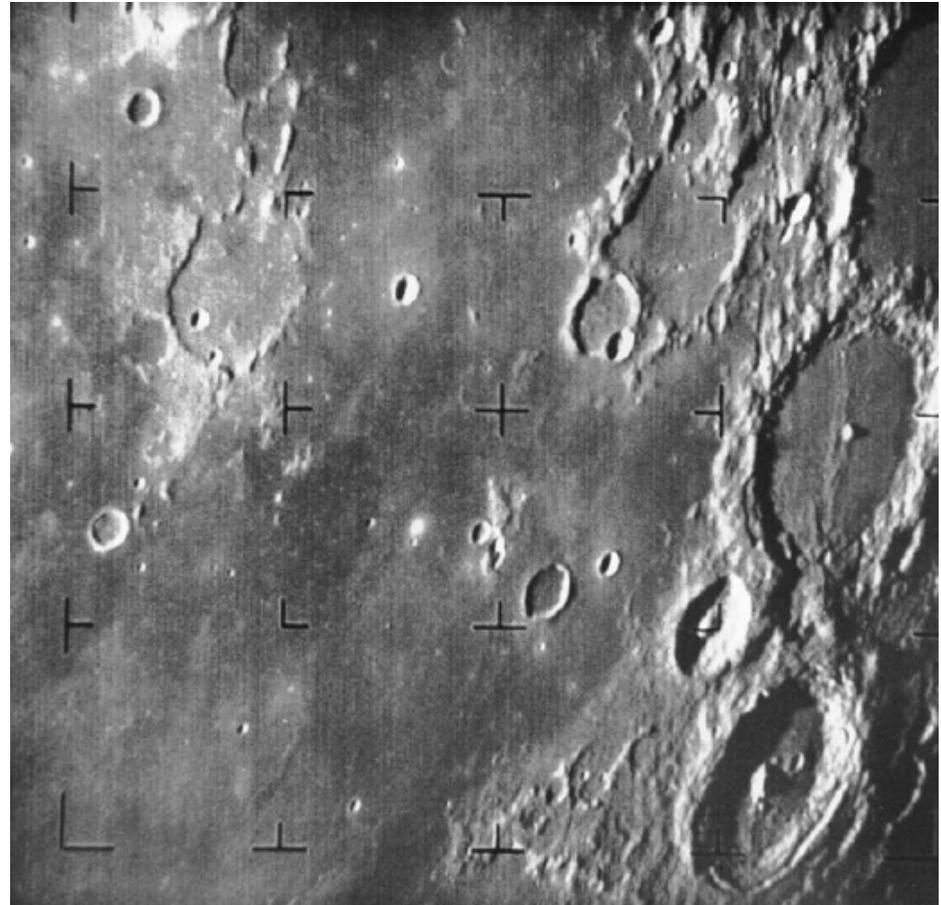
---

- Russel Kirsch - 1957
- Standards Eastern Automatic Computer (SEAC),
- National Bureau of Standards (NBS)  
( Hoje: National Institute of Standards and Technology – NIST ).
- 176×176 píxeis e 5cm × 5cm



# O início do processamento digital de imagens

- Anos 60
- Computadores suficientemente poderosos
- Programa espacial americano
- JPL – Jet Propulsion Laboratory
- Imagens da Lua pelo Ranger-7



*Ranger-7 (jul, 1969)*

# Satélites

- LANDSAT 80, 60 / 30 / 15 m
- SPOT-5 20 / 10 m , 5 / 2.5 m
- Ikonos 4 / 1 m
- Quickbird 2.4 / 0.6 m
- WorldView-1 0.5 m
- WorldView-2 1.84 / 0.46 m
- GeoEye-1 1.65 / 0.41 m (ex-Orb view)
- CBERS 2B / 20m, 80 m

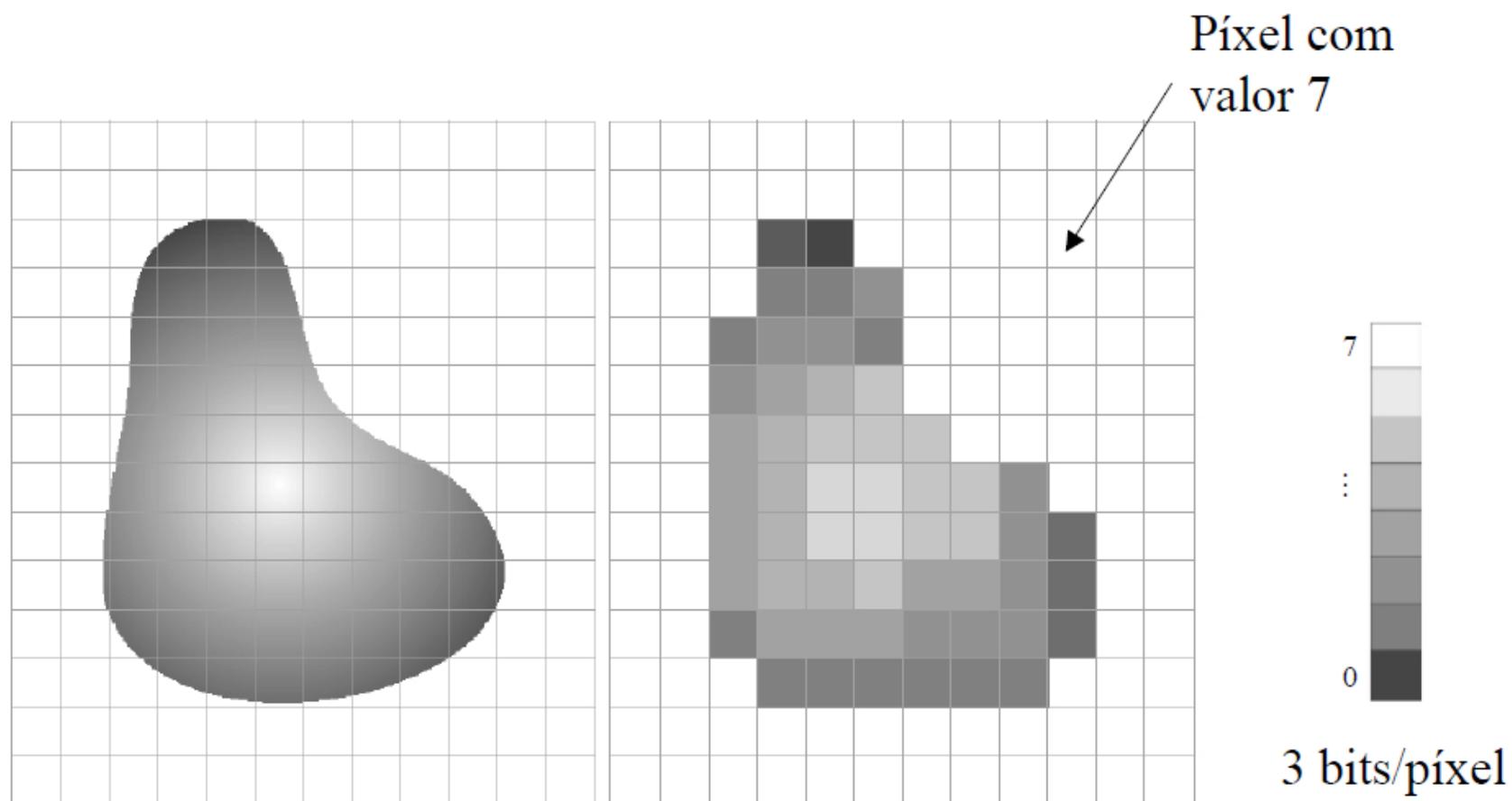
[landsat.gsfc.nasa.gov/](http://landsat.gsfc.nasa.gov/)

<http://www.spot.com/home>



Spot-5 2.5 m Trípoli

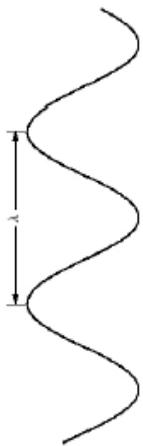
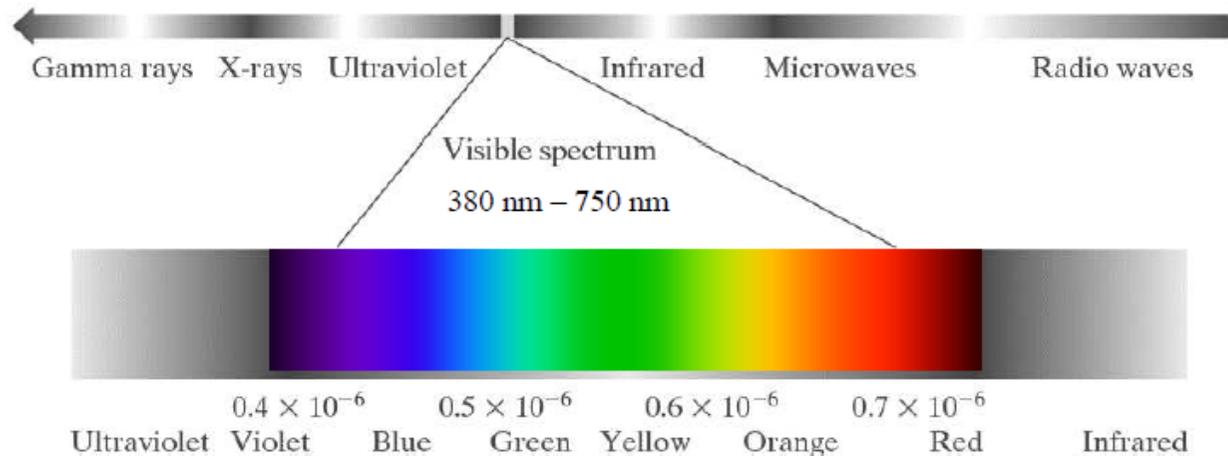
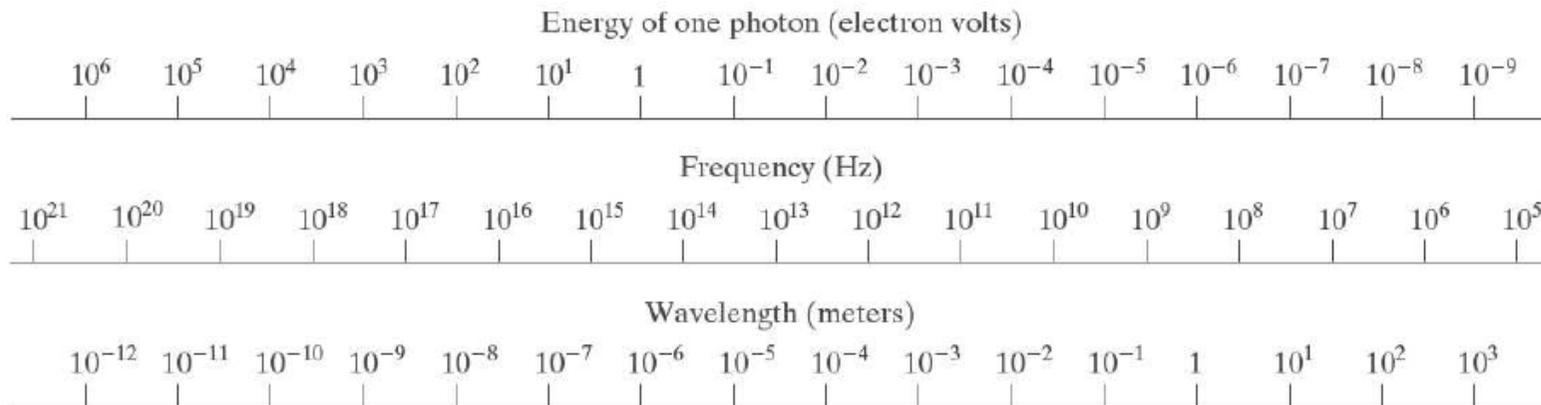
# Aquisição de Imagens



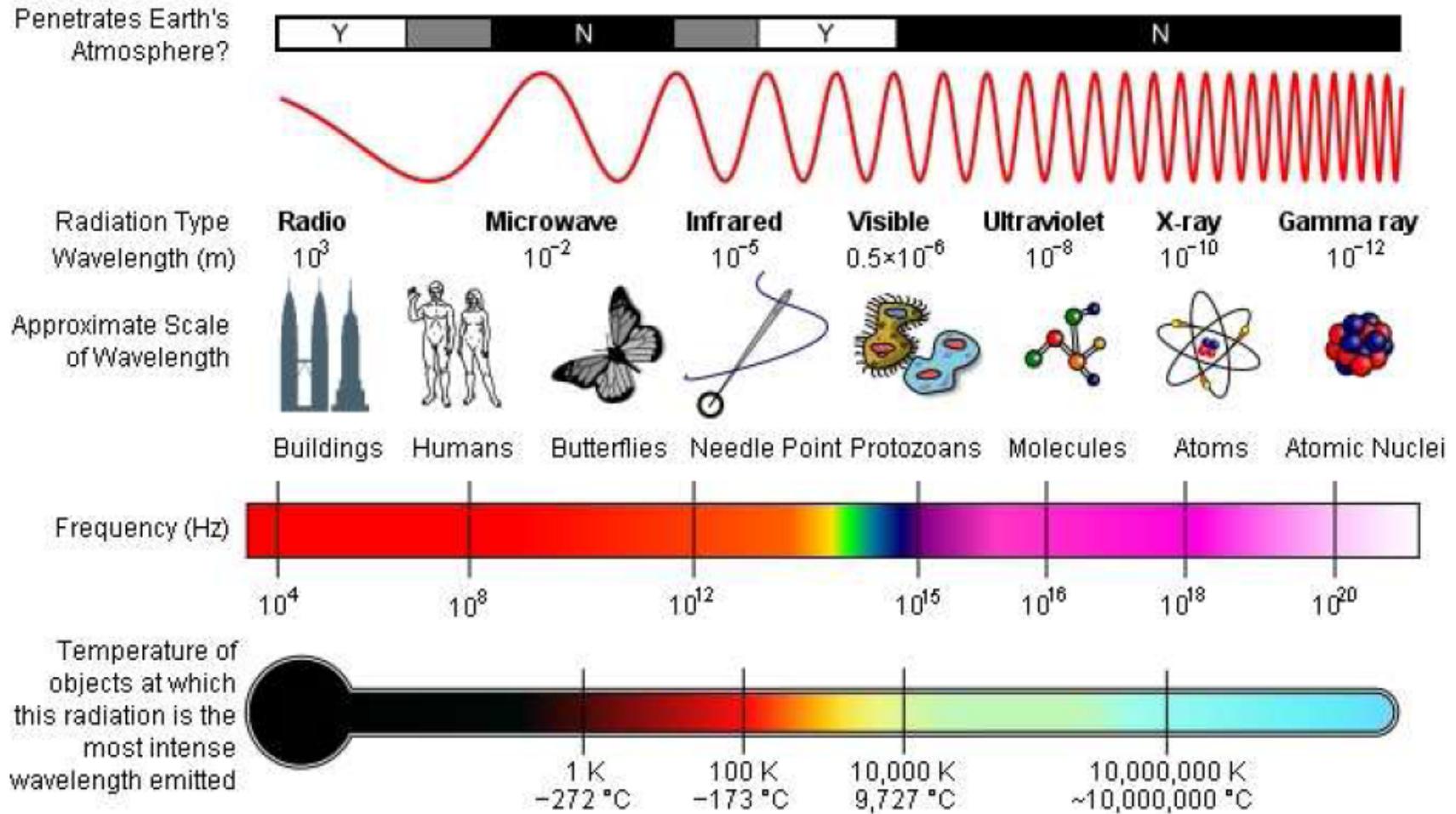
Níveis de quantização típicos: 1, 8, 11 bits / píxel

# Espectro Eletromagnético

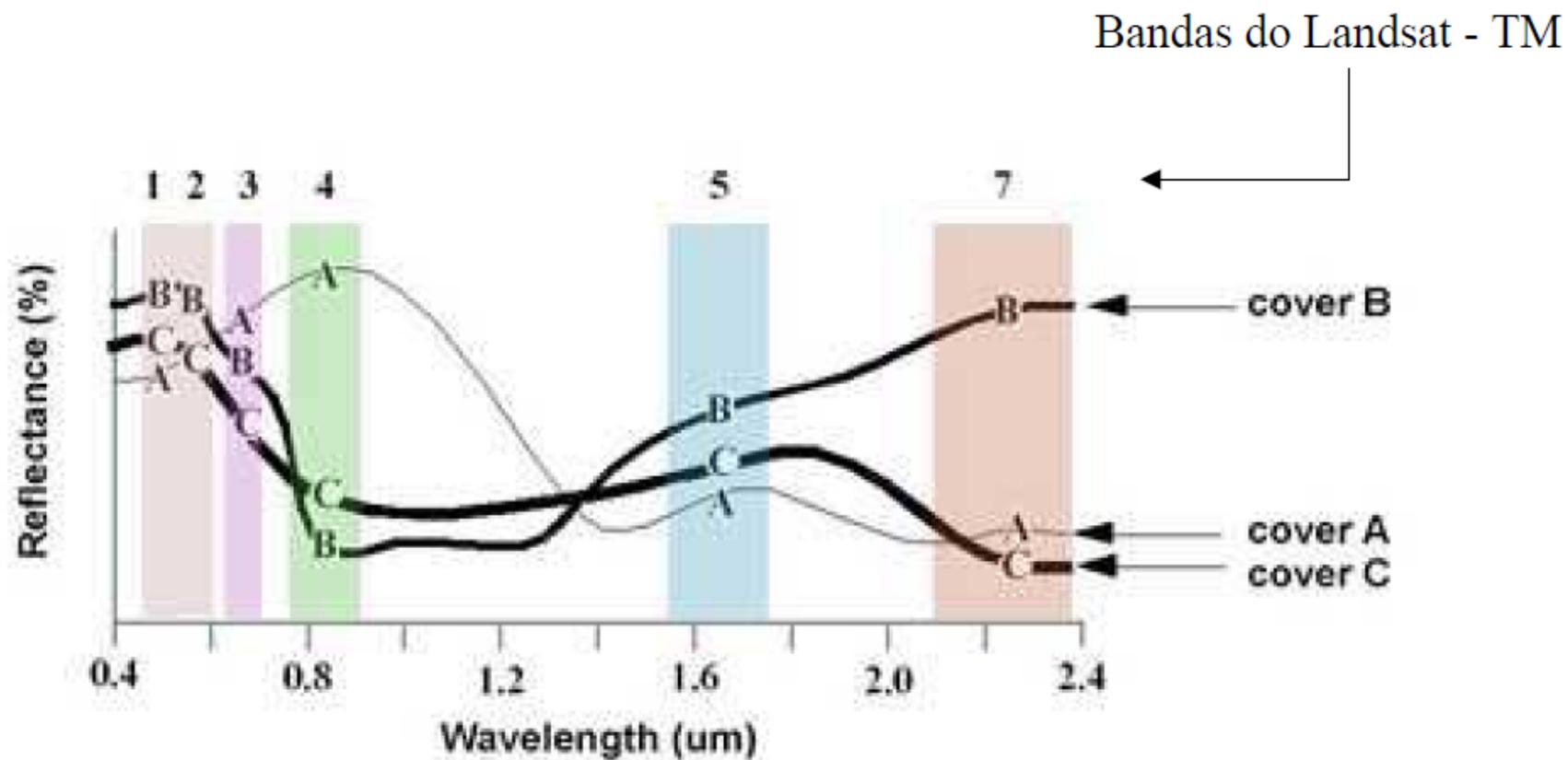
- 



# Espectro Eletromagnético



# Curvas Espectrais



# Escala dos Tons de Cinza

- LANDSAT-5 Washington-DC band 4



Infravermelho  
próximo

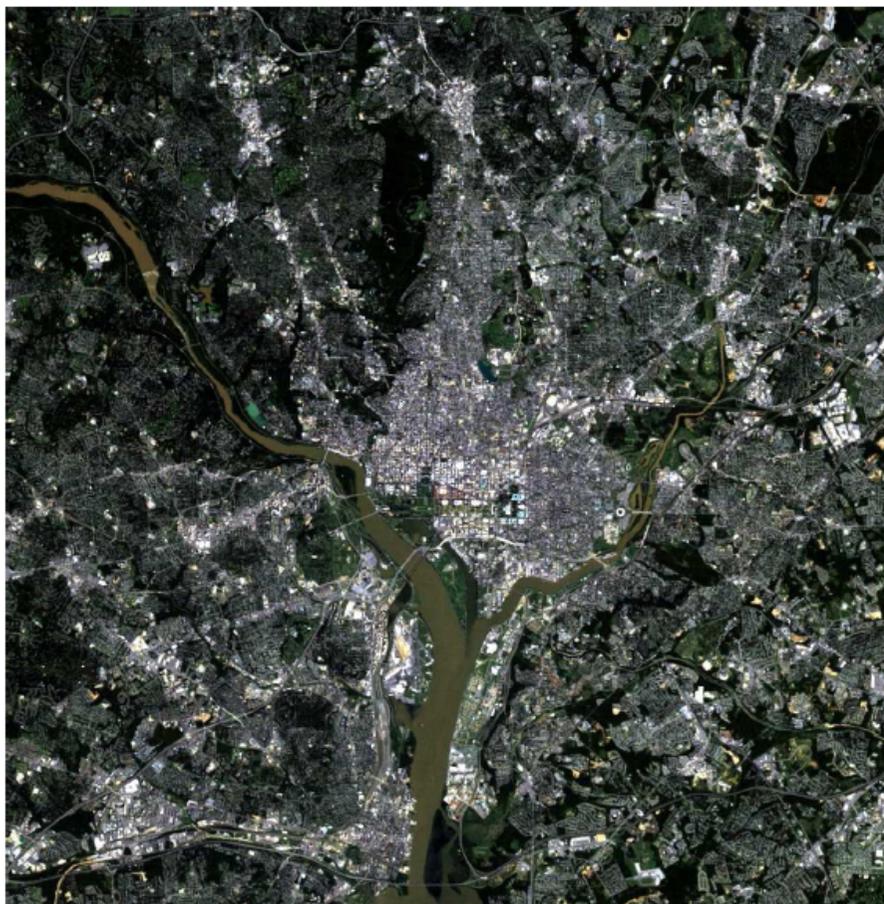
0.76-0.90  $\mu\text{m}$

(8 bits/píxel)

(G&W-08)

# Colorado (True Color)

- LANDSAT-5 Washington-DC (R,G,B) => (3,2,1)



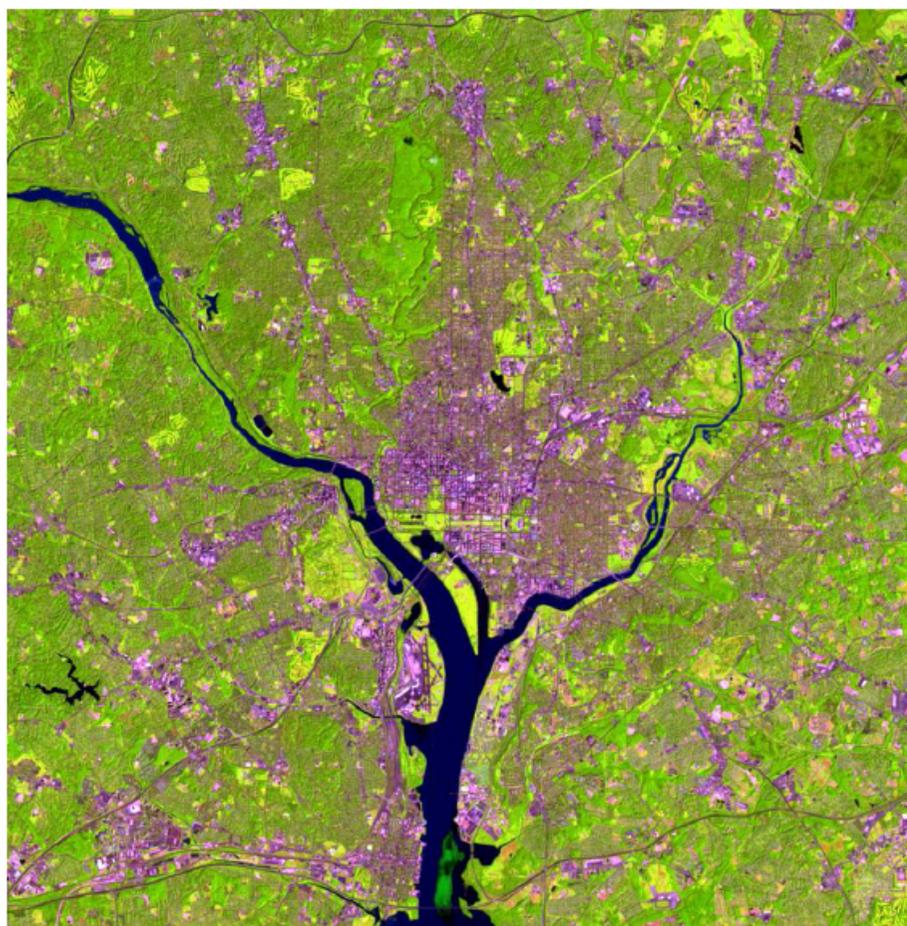
R Vermelho

G Verde

B Azul

# Colorida (Falsa Cor)

- LANDSAT-5 Washington-DC (R,G,B) =>(5,4,3)



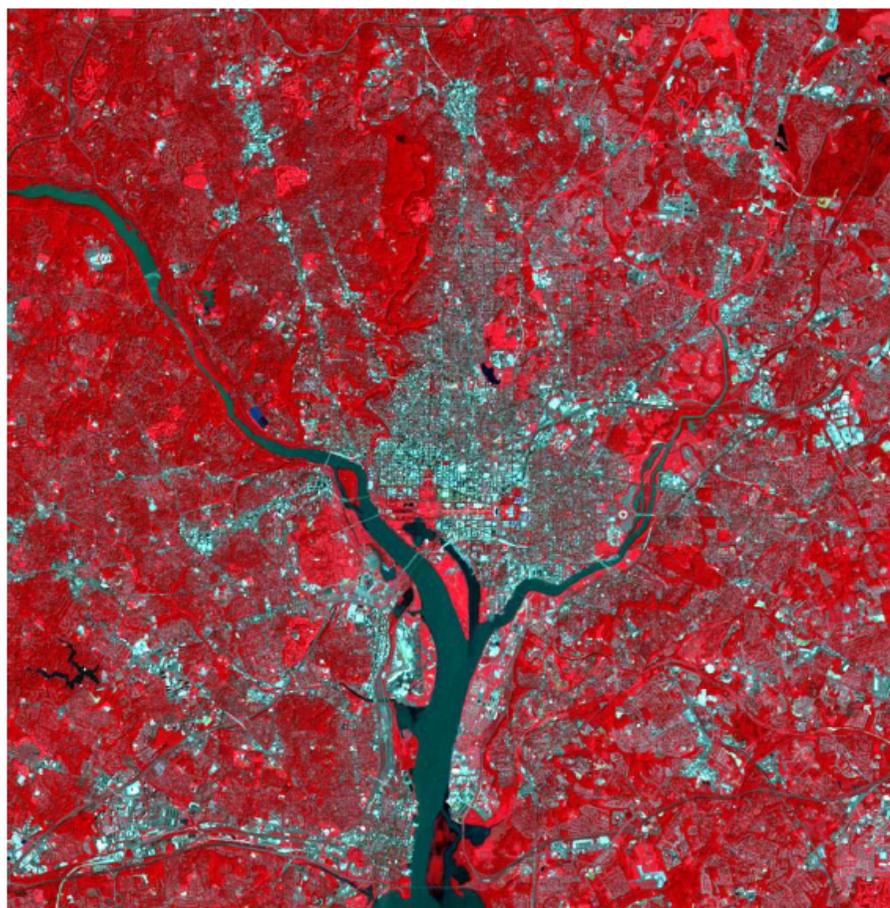
R Infravermelho  
médio

G Infravermelho  
próximo

B Vermelho

# Colorida (Falsa Cor)

- LANDSAT-5 Washington-DC (R,G,B) => (4,3,2)



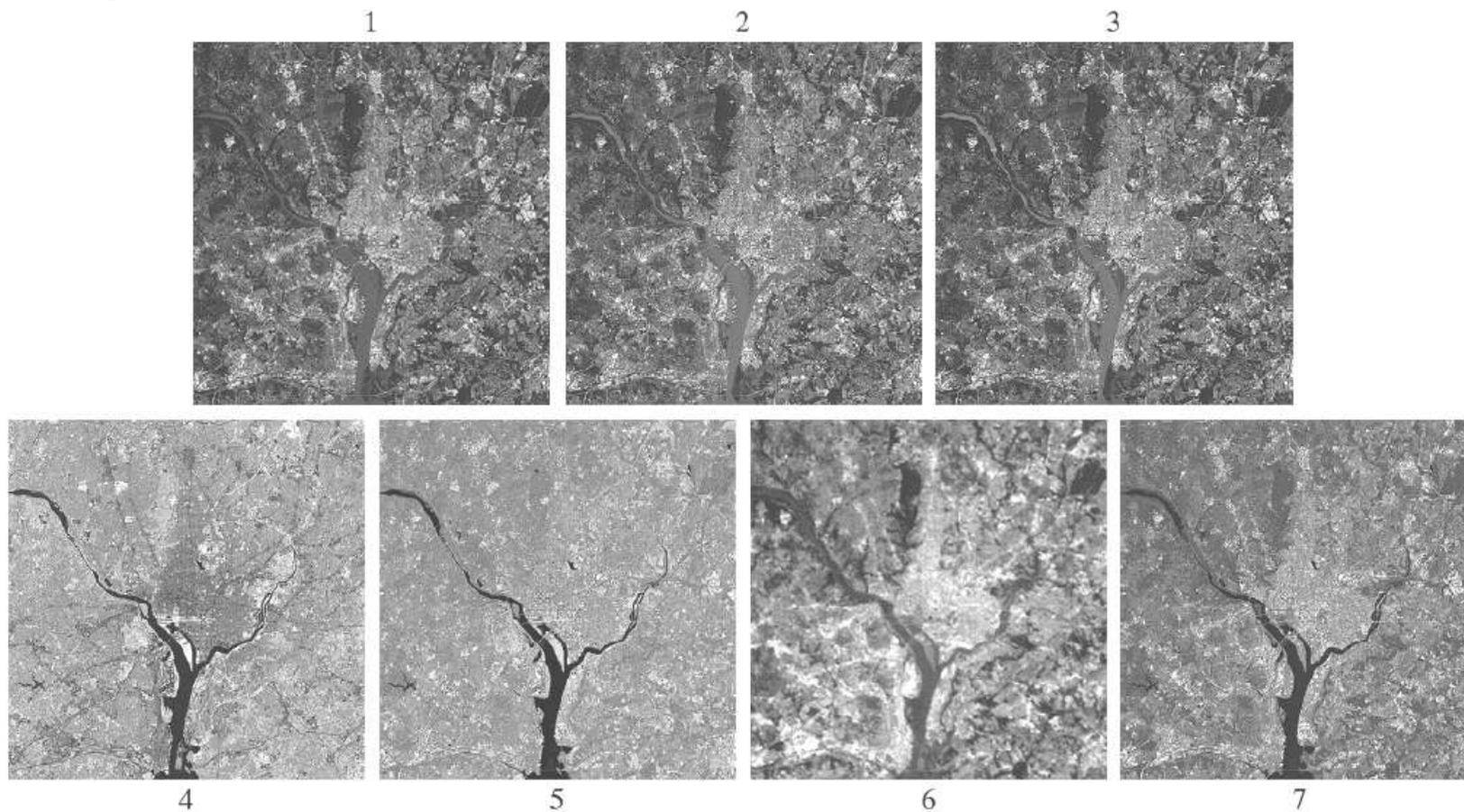
R Infravermelho  
próximo

G Vermelho

B Verde

# Multispectral

- Imagem LANDSAT-TM



# Multispectral

- Bandas LANDSAT-TM

Band No.	Name	Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Characteristics and Uses
1	Visible blue	0.45–0.52	Maximum water penetration
2	Visible green	0.52–0.60	Good for measuring plant vigor
3	Visible red	0.63–0.69	Vegetation discrimination
4	Near infrared	0.76–0.90	Biomass and shoreline mapping
5	Middle infrared	1.55–1.75	Moisture content of soil and vegetation
6	Thermal infrared	10.4–12.5	Soil moisture; thermal mapping
7	Middle infrared	2.08–2.35	Mineral mapping

# Temática (pseudo-cor)

- Imagem em pseudo-cor (mapeamento de tom de cinza para cor)



Quickbird pan+multispectral  
(0.6/2.4m)

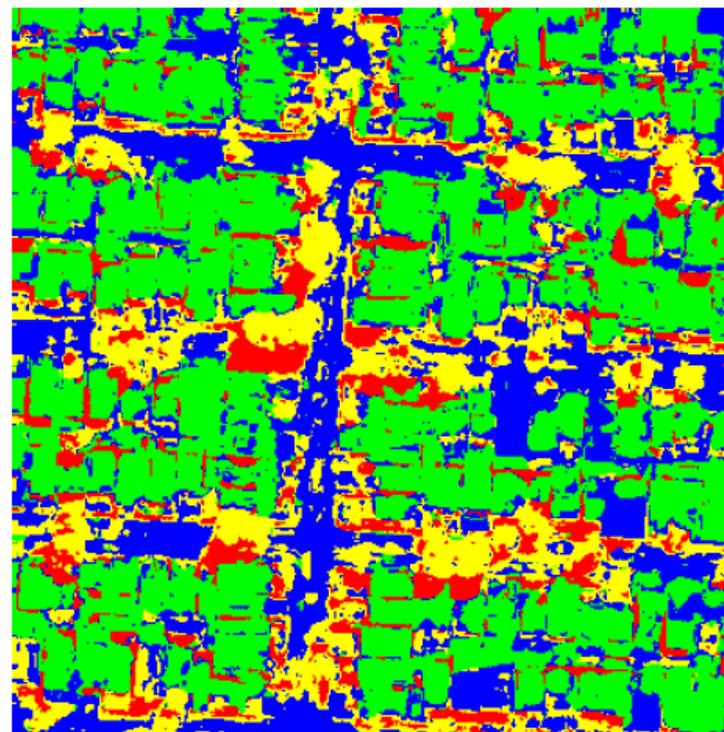
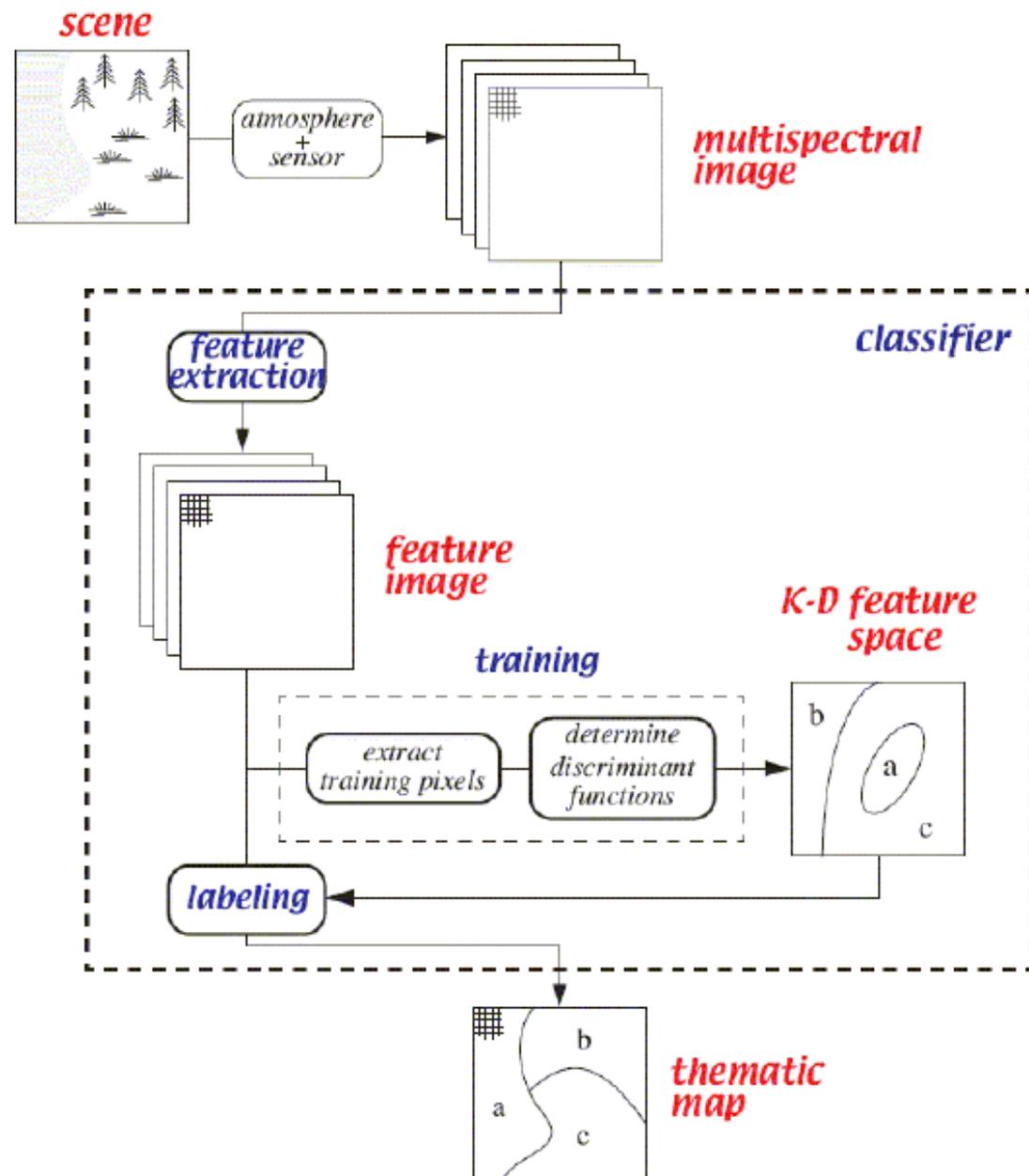


Imagem temática  
(classificação maxver)

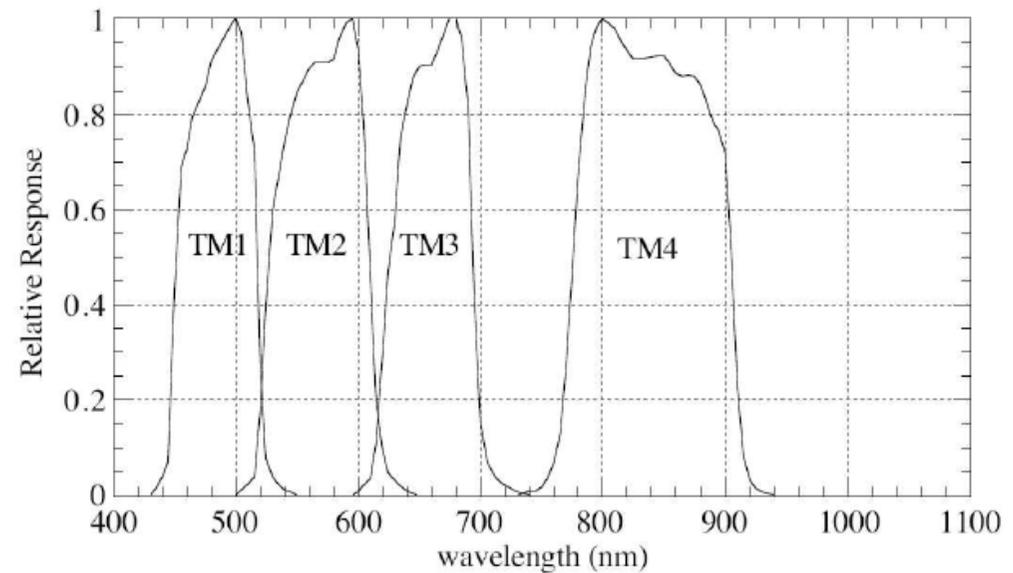
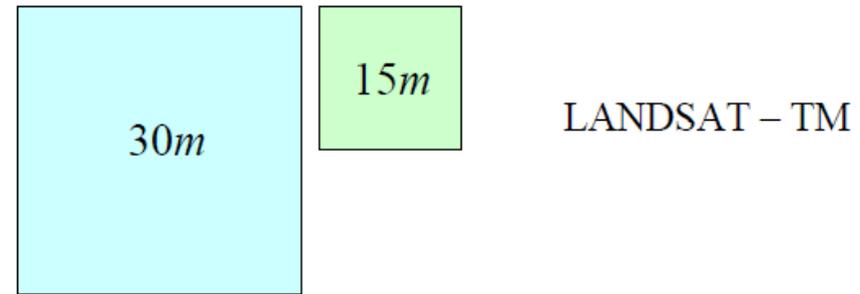
## Data flow in classification



(Schowengerdt, 97)

# 4 dimensões de resolução

- Espacial
- Espectral
- Radiométrica
- Temporal



# CBERS-2B



Imagem da Câmera CCD de alta resolução de Manaus

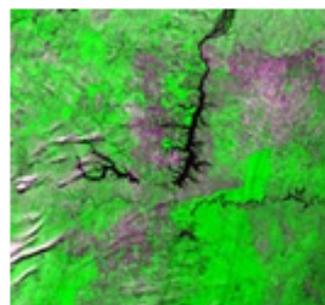


Imagem do WFI (Represa de Itaipu)



A cabeça óptica do WFI

## Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD

Bandas espectrais	0,51 - 0,73 $\mu\text{m}$ (pan) 0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$ (azul) 0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$ (verde) 0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (vermelho) 0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$ (infravermelho próximo)
Campo de Visada	8,3°
Resolução espacial	20 x 20 m
Largura da faixa imageada	113 km
Capacidade de apontamento do espelho	$\pm 32^\circ$
Resolução temporal	26 dias com visada vertical (3 dias com visada lateral)
Frequência da portadora de RF	8103 MHz e 8321 MHz
Taxa de dados da imagem	2 x 53 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	43 dBm

## Características do Imageador de Amplo Campo de Visada WFI

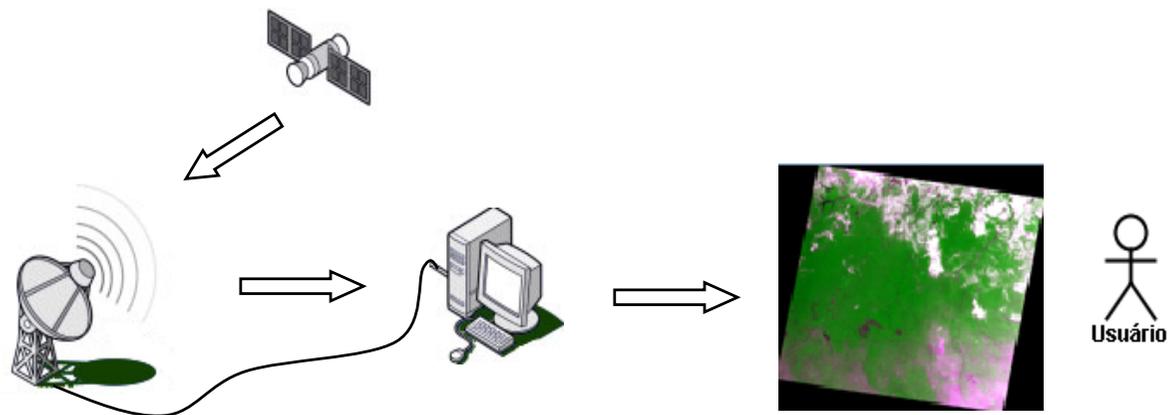
Bandas espectrais	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (vermelho) 0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$ (infra-vermelho)
Campo de Visada	60°
Resolução espacial	260 x 260 m
Largura da faixa imageada	890 km
Resolução temporal	5 dias
Frequência da portadora de RF	8203,35 MHz
Taxa de dados da imagem	1,1 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	31,8 dBm

# Georreferenciamento

- Trata da aplicação de transformações geométricas para corrigir as distorções inerentes ao processo de aquisição da imagem
- Fontes de distorções geométricas (sensores MSS, TM, HRV, AVHRR, WFI)
  - rotação da Terra (skew)
  - distorções panorâmicas (compressão)
  - curvatura da Terra (compressão)
  - arrastamento da imagem durante uma varredura
  - variações de altitude, atitude e velocidade do satélite

# Georeferenciamento

- Para que possam ser integradas a base geográfica as imagens devem passar por vários níveis de processamento para corrigir as distorções radiométricas e geométricas
  1. Com correção radiométrica
  2. Com correção de sistema (radiométrica + boresishts + atitude + efemérides)
  3. Georreferenciada (sistema + pontos de controle 2D)
  4. Ortoretificada (sistema + pontos de controle 2D + DTM)



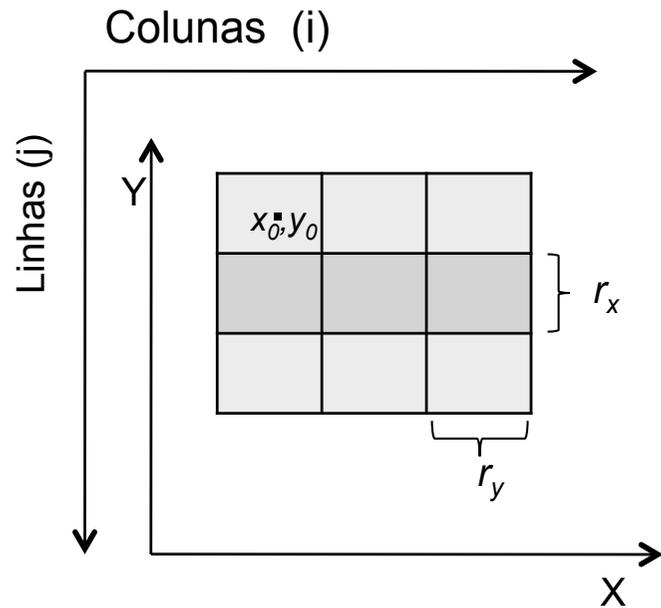
# Georeferenciamento

- Exemplo de como diferentes produtores de imagens chamam seus níveis de processamento

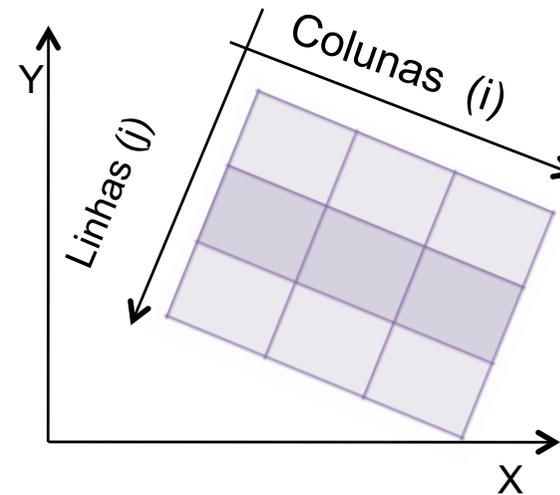
Satélite	Correção			
	Radiométrica	Sistema	Georrefenciada	Ortorretificada
SPOT	1A	2A	2B	3
Landsat	0	1R	1G	1P (precision)
CBERS	1	2	3	4

- Atualmente as imagens são distribuídas com correção > 2, porém a necessidade de integrar imagens antigas, ou devido a problemas nos parâmetros do satélite, muitas vezes os usuários tem que fazer algumas correções geométricas.

# Como representar o georeferenciamento?



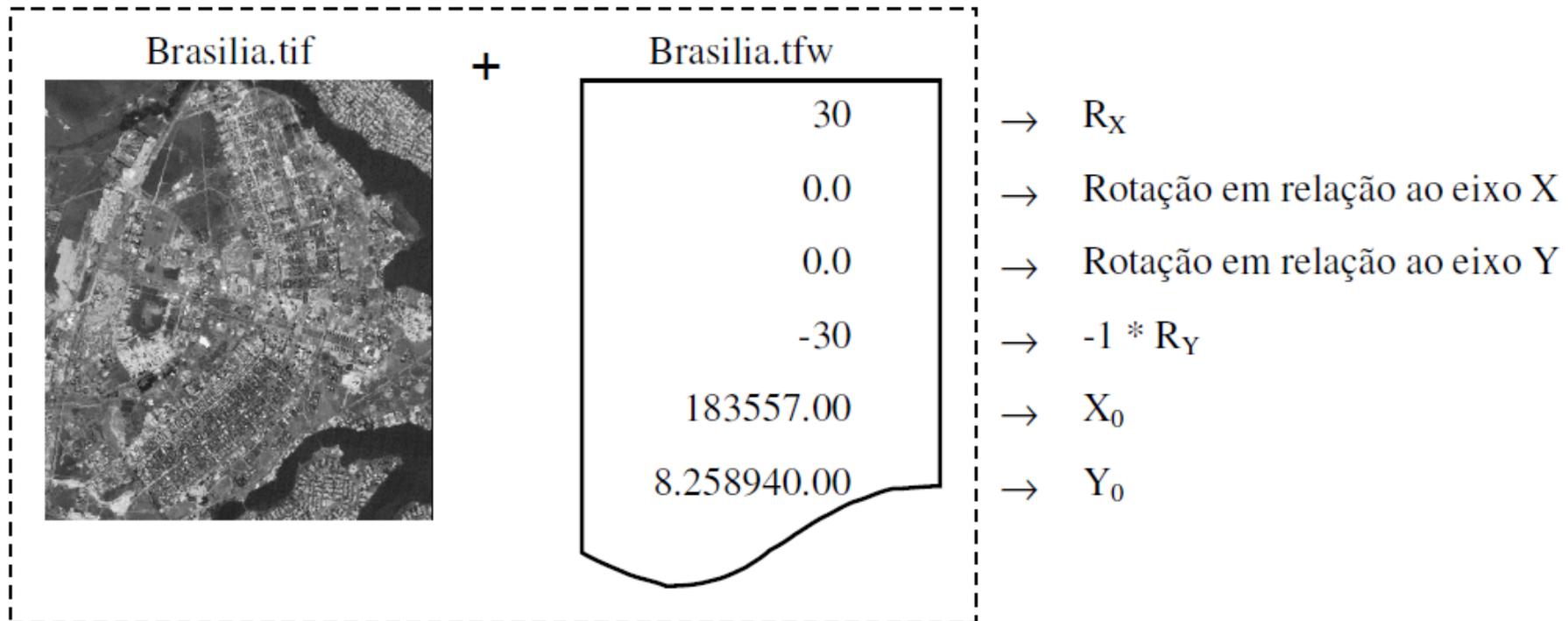
$$x = x_0 + i * r_x$$
$$y = y_0 + j * r_y$$



$$x = x_0 + i * r_x + j * r_y$$
$$y = y_0 + j * r_y + i * r_x$$

\*  $r_y$  deve ser considerada negativo

# Como representar o georeferenciamento?



# Como representar o gerefenciamento?

brasil.ia.tif

- SRS=...
- Res X=...
- Res Y=...
- PCs = [...]



Geo TAGs

Imagem

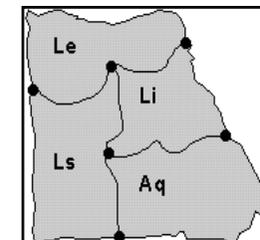
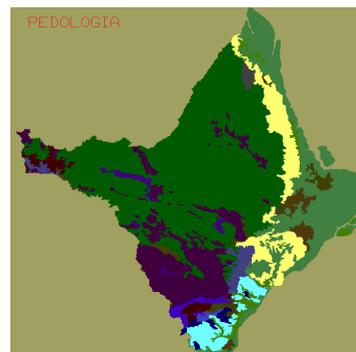
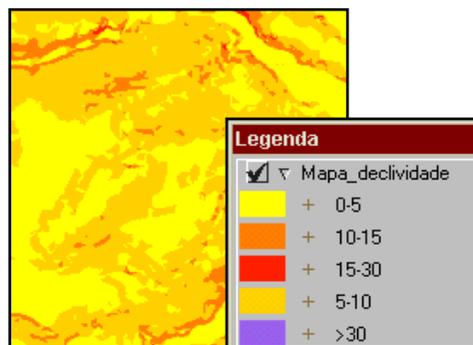
# Georeferenciamento

- As imagens são distribuídas em formatos que **podem** conter informações sobre seu georeferenciamento:
  - **GeoTiff**: contém as informações de localização (retângulo envolvente, resolução X e Y) e de projeção no próprio arquivo
  - **Tiff + Tfw**: contém as informações de localização (retângulo envolvente, resolução X e Y)
  - **JPEG + JGW**: contém as informações de localização (retângulo envolvente, resolução X e Y)

Arquivos TIFF puro, TIFF+TFW e GeoTIFF tem extensão “.tif”. Portanto fique atento: não é porque está em formato TIFF que a imagem está georeferenciada

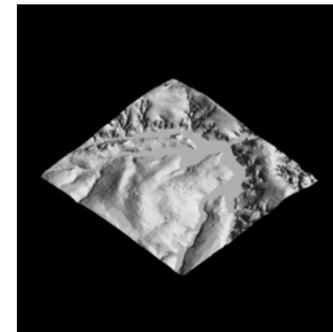
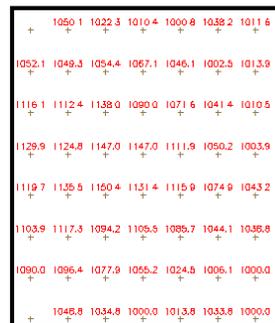
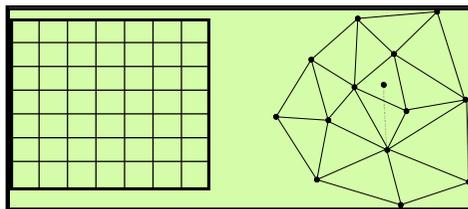
# Mapas temáticos

- Distribuição espacial qualitativa da grandeza ou atributo em estudo
- Os valores da grandeza podem ser
  - nominal: lista de valores. Ex. possíveis classes de vegetação em um mapa de vegetação {floresta, cerrado, desmatamento}
  - ordinal: escala de medida. Ex. fatias de declividade {0-5%, 5-10%, 10-15%, 15-30%, >30%}



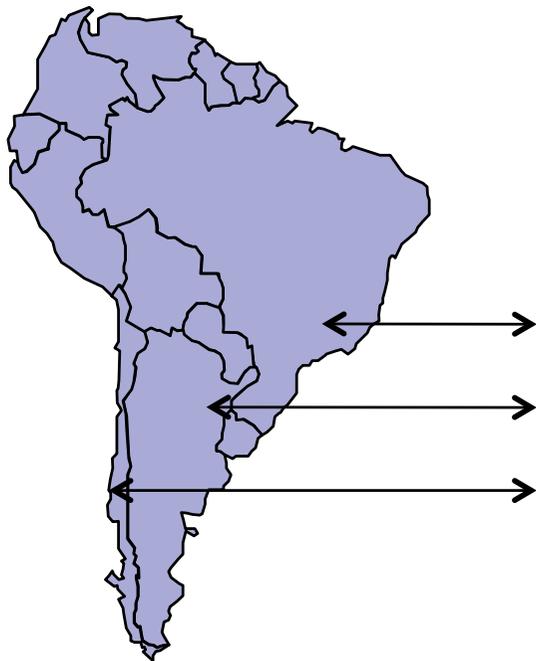
# Mapas Numéricos (MNT)

- Distribuição espacial quantitativa da grandeza em estudo
- Os valores da grandeza podem ser:
  - intervalo dentro de uma referência arbitrária. Ex. Altimetria, batimetria, temperatura em graus Celsius
  - razão: referência natural. Ex. Peso
- Localização espacial pode ser representada por grades regulares ou triangulares



# Mapas cadastrais

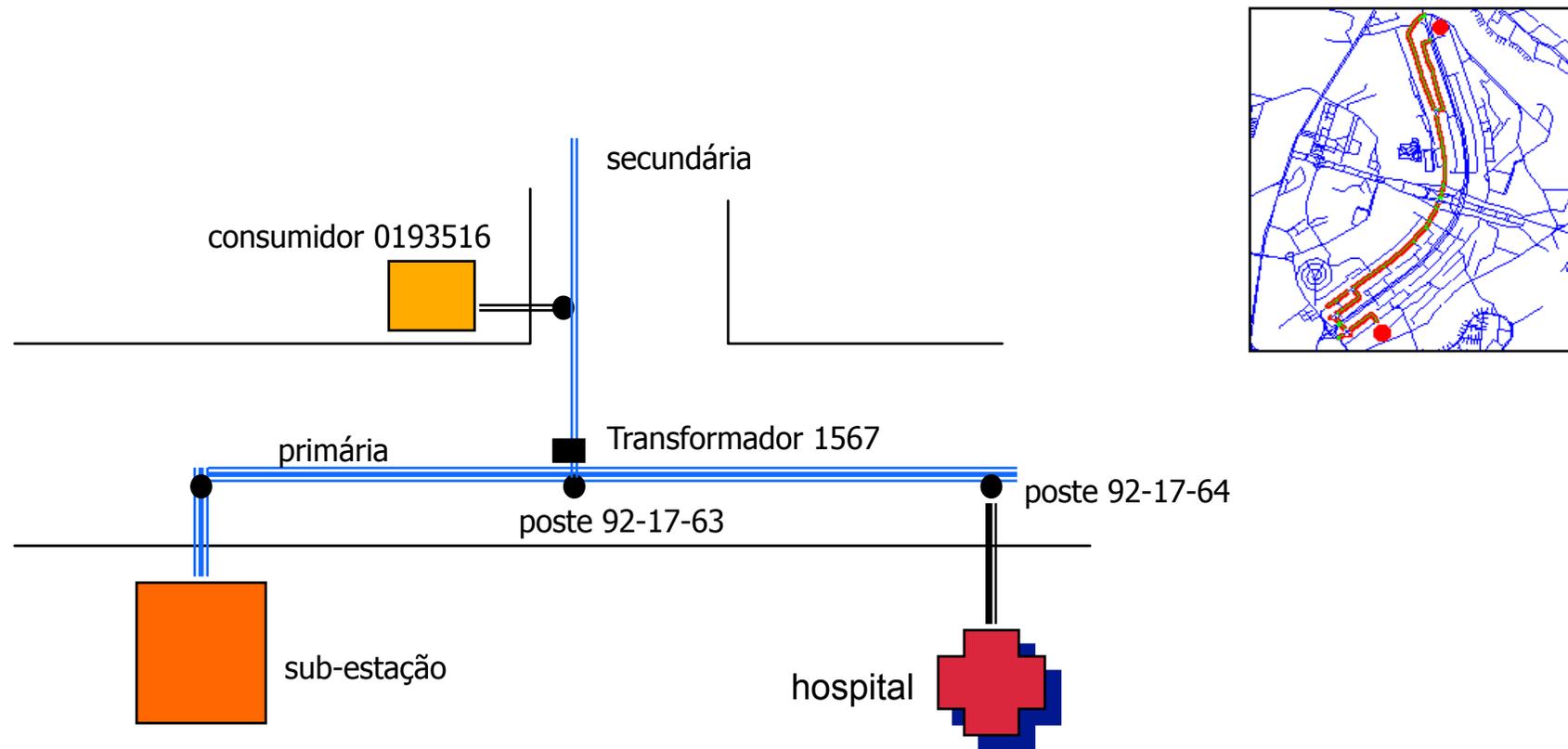
- Contém informações sobre **objetos discretos** do mundo
- Exemplos: cadastros de países, de lotes, de propriedades rurais



País	PIB (US\$bn)	Pop (milhões)
Brasil	350	159
Argentina	295	34
Chile	45	14

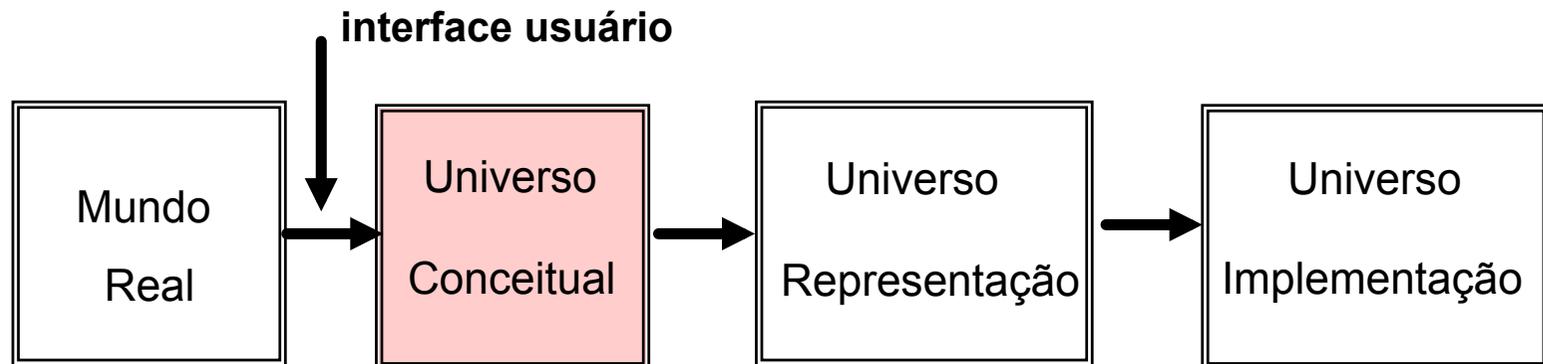
# Mapas de rede

- Contêm objetos cuja referência geográfica está associada a nós ou arcos que formam uma **topologia de rede**



# Paradigma de 4 universos

- Permite traduzir o mundo real para o ambiente computacional :
  - Mundo Real: fenômenos a serem representados (cadastro urbano, vegetação, solos)
  - Universo Conceitual: distinção entre classes formais de fenômenos contínuos e objetos individualizáveis (campos e objetos)
  - Universo de Representação: diferentes representações geométricas (matrizes e vetores)
  - Universo de implementação: estruturas de dados e linguagens de programação (*R-tree* e *Quad-tree*)



# Universo conceitual: campo ou geo-campo

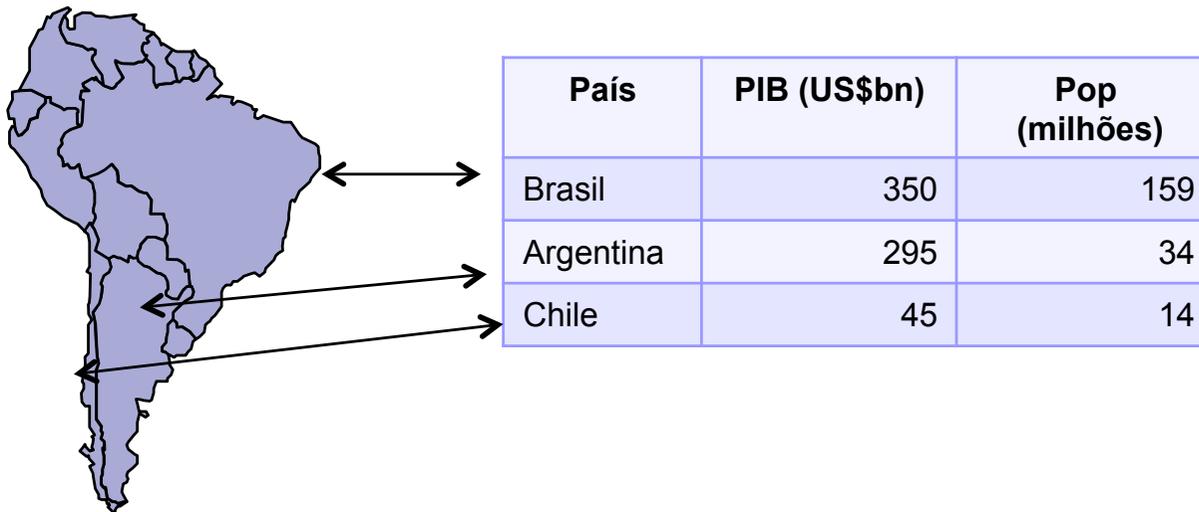
- Geo-Campo:  $f = [R, A, \lambda]$ , onde:  $R \subset \mathfrak{R}^2$ ,  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  é um conjunto atributos e  $\lambda: R \rightarrow A$  mapeia pontos de  $R$  para valores em  $A$
- Representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a  $R$ , num dado tempo  $t$
- Se o contra-domínio  $A$  de  $f$  é um conjunto enumerável temos um dado temático. Ex. Mapa de cobertura vegetal
- Se o contra-domínio  $A$  de  $f$  é um conjunto de valores contínuos  $(-\infty$  a  $+\infty)$  temos um dado numérico. Ex. mapa de aeromagnetometria
- Imagens são uma especialização de dados numérico

# Definições auxiliares

- Região Geográfica (R) - uma superfície qualquer pertencente ao espaço geográfico, que pode ser representada num plano vetorial ou reticulado, dependente de uma projeção cartográfica
- Plano de informação - suporte para a representação geográfica de diferentes tipos de dados geográficos
  - É o lugar geométrico de um conjunto de dados geográficos - um geo-campo ou um mapa de geo-objetos
- Banco de Dados Geográficos - composto por conjuntos de planos de informação, um conjunto de geo-objetos e um conjunto de objetos não-espaciais

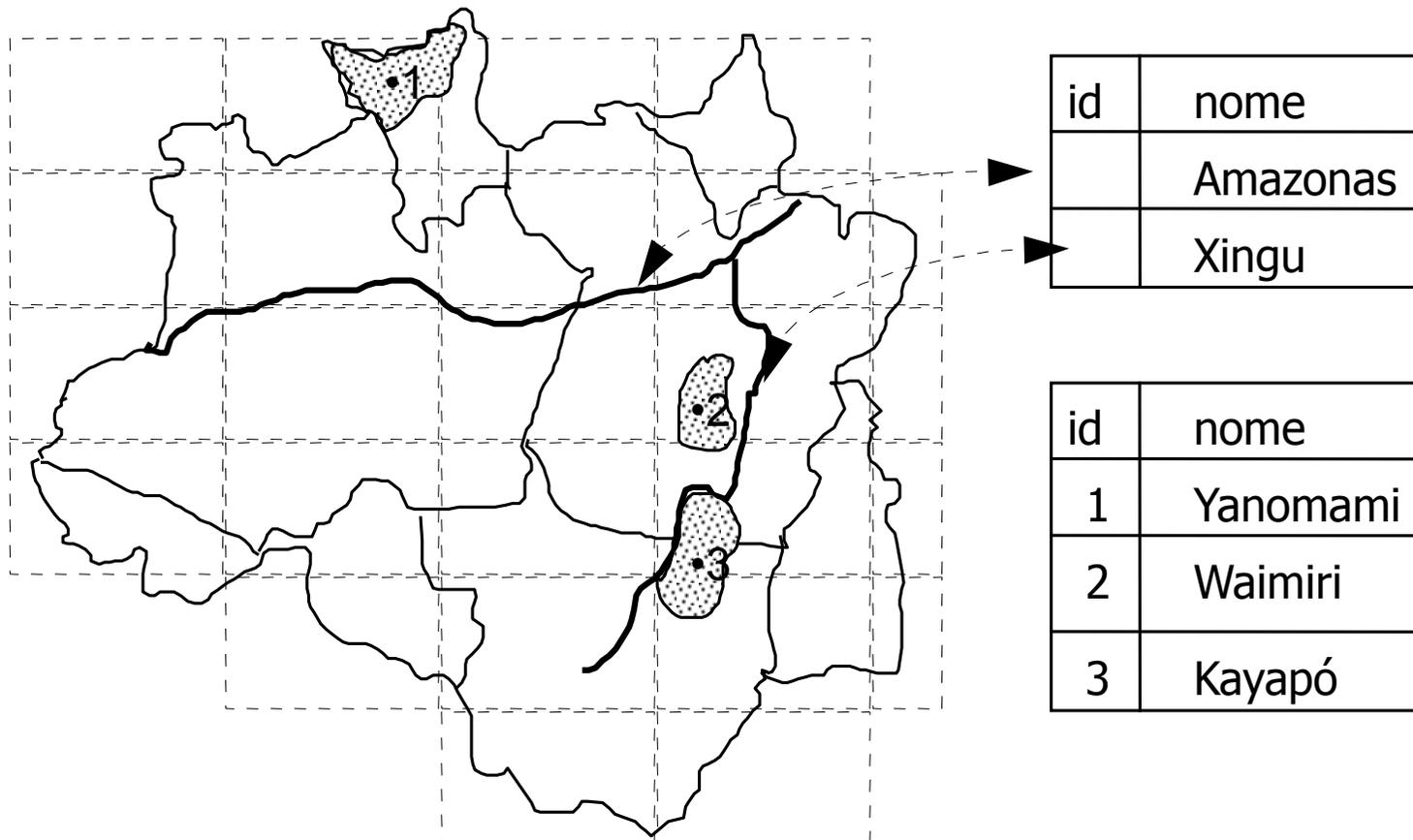
# Universo conceitual: objeto ou geo-objetos

- Dadas as regiões geográficas  $R_1, R_2, \dots, R_n$  ( $R_i \subset \mathfrak{R}^2$ ) e o conjunto de atributos convencionais  $\{A_1, \dots, A_n\}$
- Um *Geo-Objeto*  $go = [r_1, r_2, \dots, r_n, a_1, a_2, \dots, a_n]$ , onde  $r_i \subseteq R_i$  é uma parte de uma região geográfica  $R_i$  e  $a_i \in A_i$  é um valor particular do atributo  $A_i$
- É um elemento único que possui atributos não-espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas



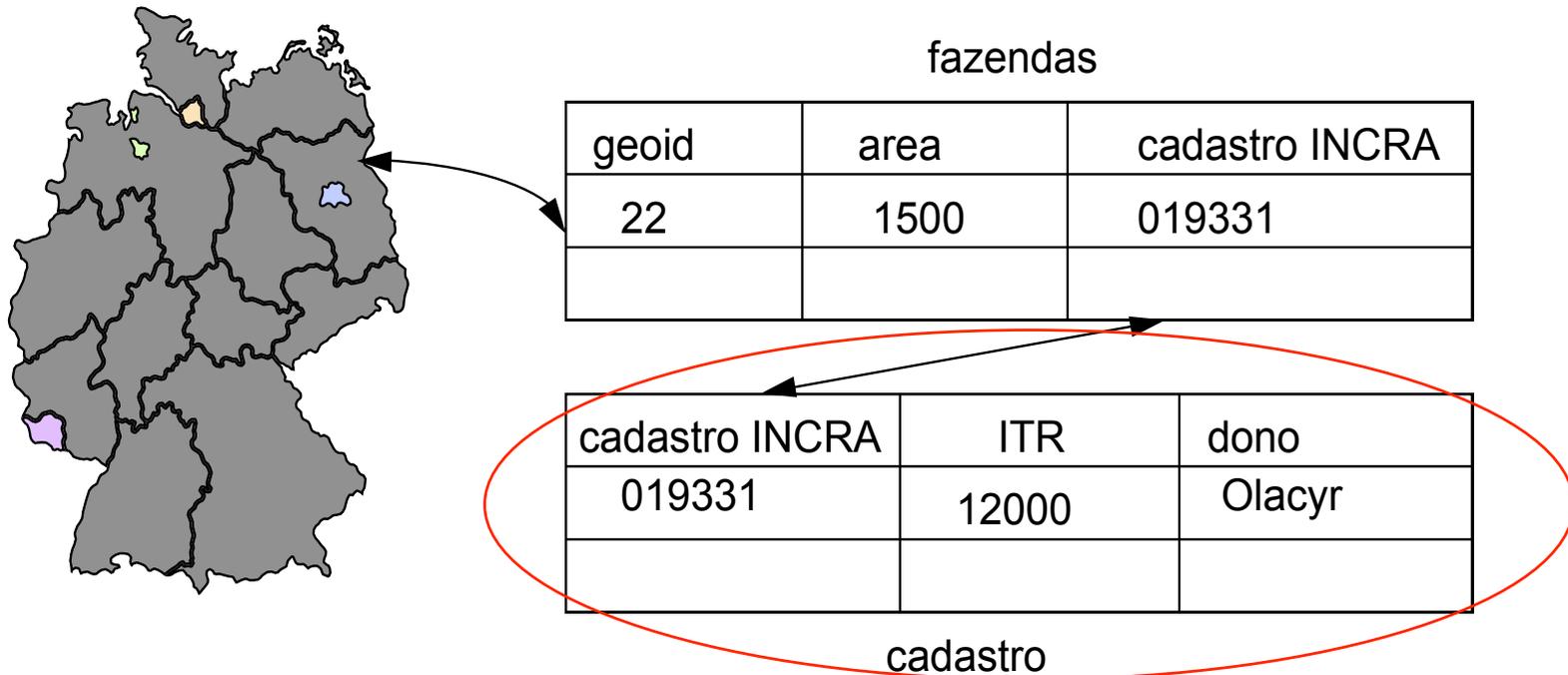
# Geo-objetos

- Um geo-objeto pode possuir múltiplas representações dependendo da projeção cartográfica, escala ou instante de tempo



# Universo conceitual: objetos não-espaciais

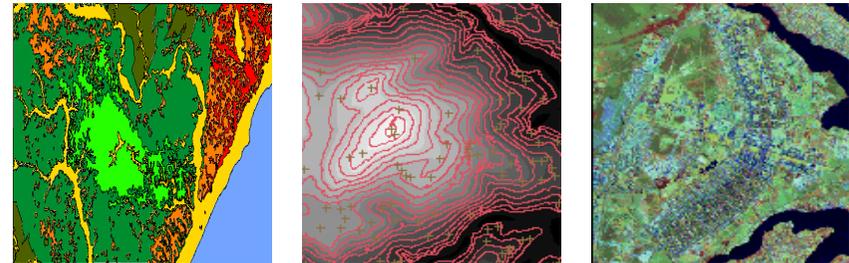
- Um objeto não-espacial é um objeto que não possui localizações espaciais associadas
- Informações não georeferenciada agregada a uma aplicação geográfica



# Resumo do universo conceitual

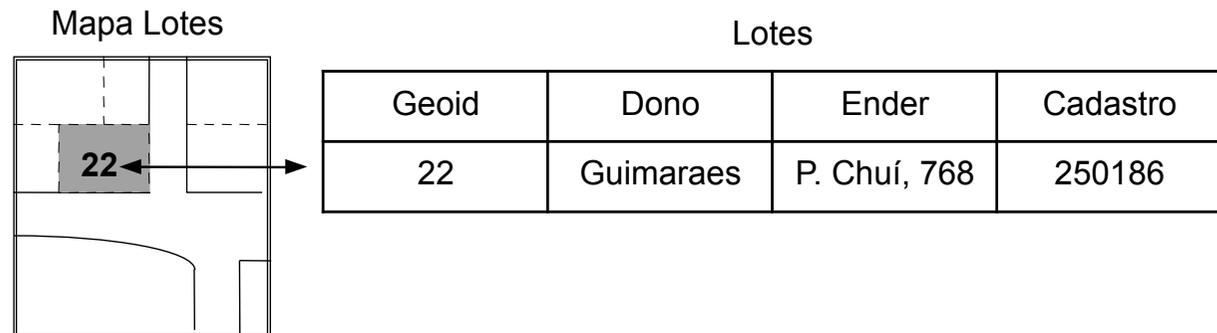
- Campos ou geo-campos (variáveis geográficas contínuas)

- Temático
- Numérico
- Imagem



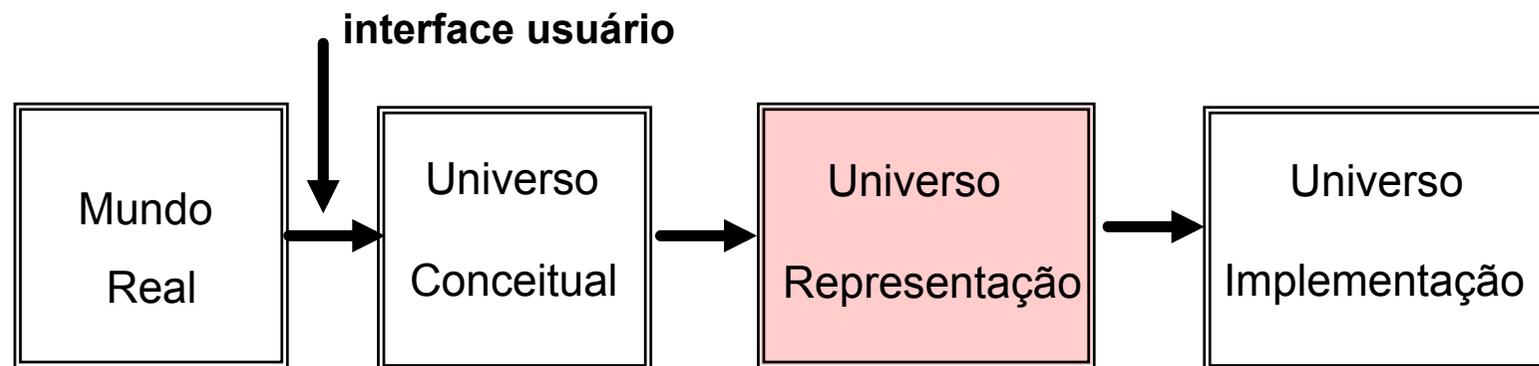
- Objetos ou geo-objetos (variáveis geográficas discretas)

- Cadastral
- Redes



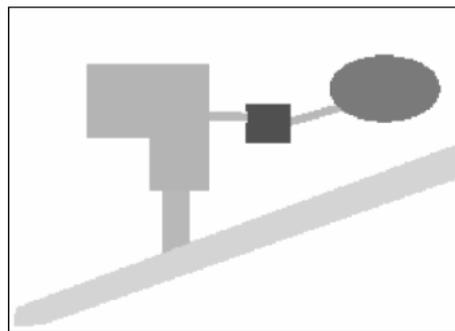
# Paradigma dos 4 universos

- Permite traduzir o mundo real para o ambiente computacional :
  - Mundo Real: fenômenos a serem representados (cadastro urbano, vegetação, solos)
  - Universo Conceitual: distinção entre classes formais de fenômenos contínuos e objetos individualizáveis (campos e objetos)
  - Universo de Representação: diferentes representações geométricas (matrizes e vetores)
  - Universo de implementação: estruturas de dados e linguagens de programação (*R-tree* e *Quad-tree*)

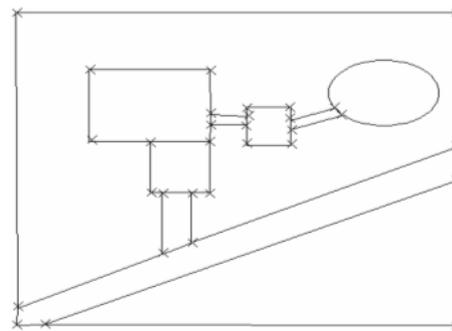


# Universo de Representação

- Define as possíveis formas de representar no mundo digital os modelos do universo conceitual. Podem ser de dois tipos:
  - Vetoriais
  - Matriciais



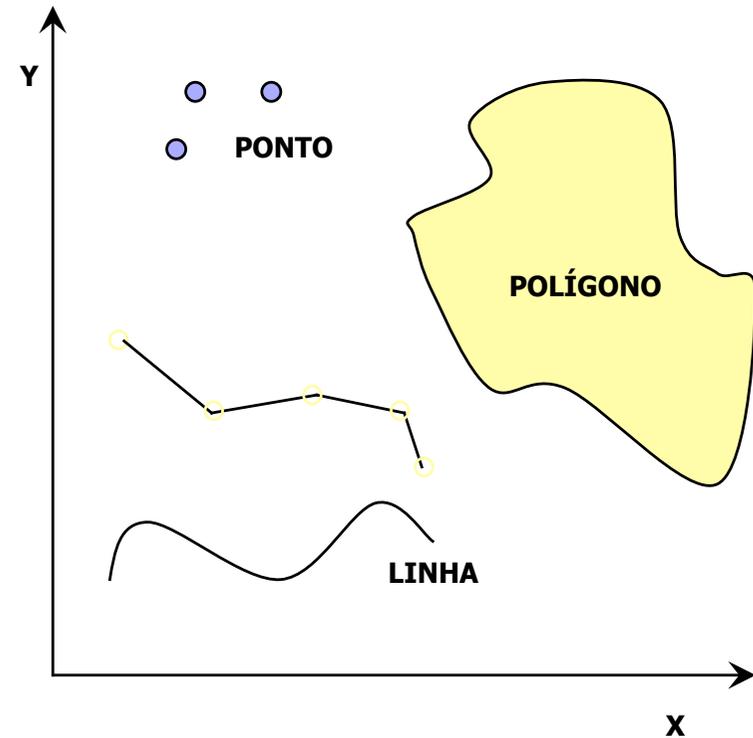
(a) matricial



(b) vetorial

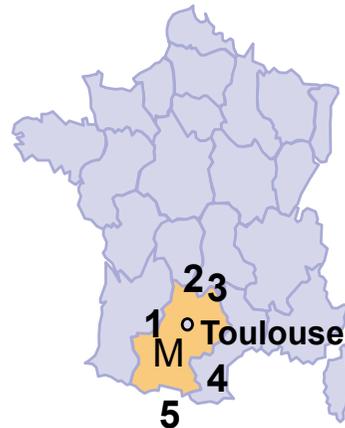
# Representação vetorial

- A localização e a aparência gráfica dos objetos são representadas por um ou mais pares de coordenadas que formam elementos gráficos
- Elementos da representação vetorial podem ser compostos



# Representação vetorial

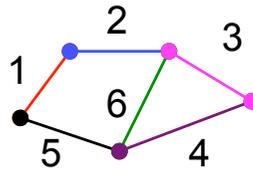
- Componentes de uma representação vetorial: ponto, linha, região
  - Ex: Região  $M=\{1,2,3,4,5\}$ , formada pelas linhas 1, 2, 3, 4 e 5



- Topologia:** descreve relações espaciais entre objetos, que são invariantes a rotação e translação
  - Ex. Toulouse fica **Dentro** da região M

# Representação vetorial

- Topologia Arco-Nó
  - Representa uma rede linear conectada
  - Nó: representa a intersecção entre linhas, são os pontos iniciais e finais
  - Linhas são conectadas



- Topologia Arco-Nó-Polígono
  - Representa elementos gráficos do tipo área ou partições do espaço



# Comparação entre representações

- Vetorial

- preserva relacionamentos topológicos
- associa atributos a elementos gráficos
- melhor exatidão e eficiência de armazenamento

- Matricial

- fenômenos variantes no espaço
- adequado para simulação e modelagem
- processamento mais rápido e simples
- maior gasto em armazenamento

# Arquivos que suportam representações vetoriais

- Binários

- Shapefile: \*.shp + \*.shx + \*.dbf [+ \*.prj]

- ...

- ASCII

- MID/MIF: \*.mid + \*.mif

- Comma Separated Values: \*.csv (apenas para pontos)

- Geographic Markup Language: \*.gml

- ArcInfo Generated: \*.arcgen

- GeoJSON

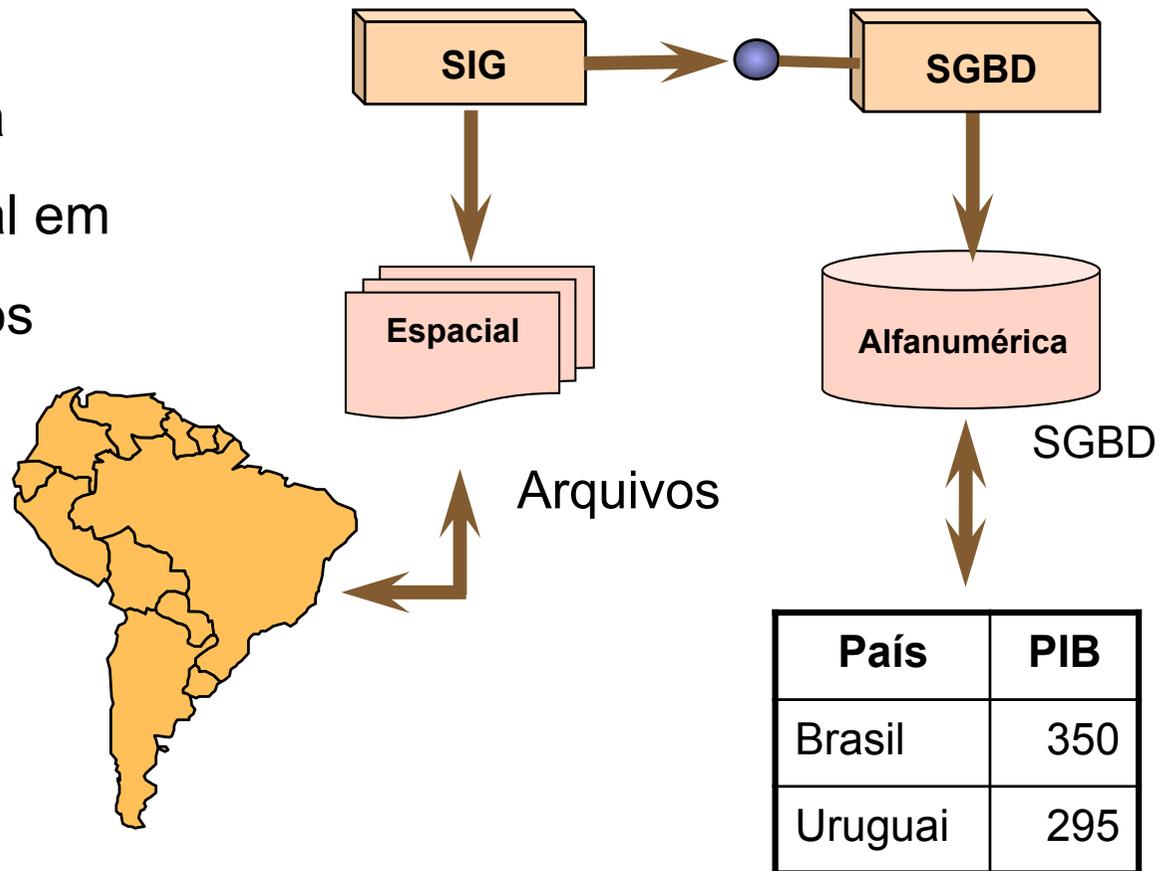
- ...

# **ARQUITETURAS PARA APLICAÇÕES GEOGRÁFICAS**

# Arquitetura Dual

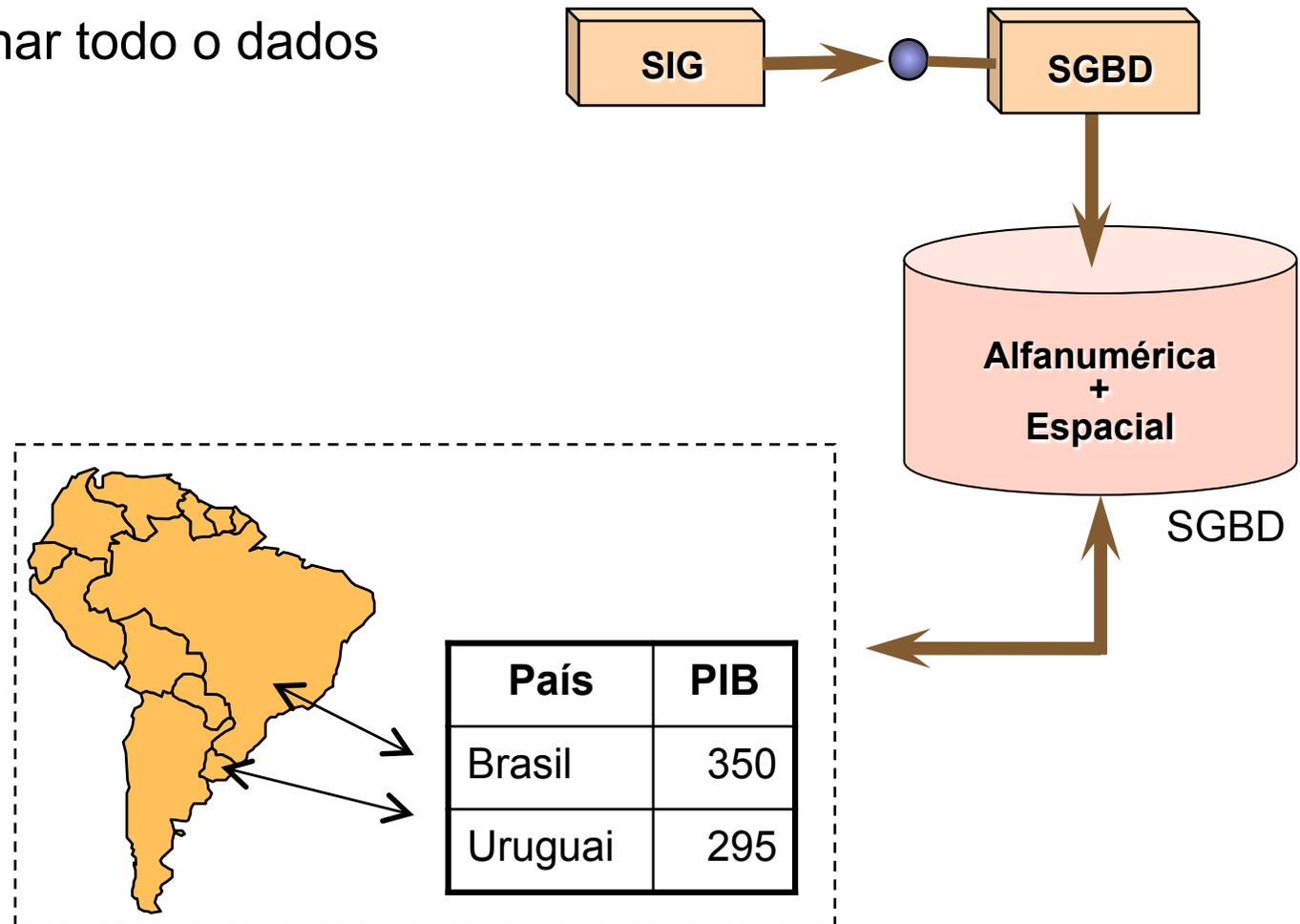
SGBD: armazena componente alfanumérica

Arquivos: armazenam a componente espacial em formatos proprietários

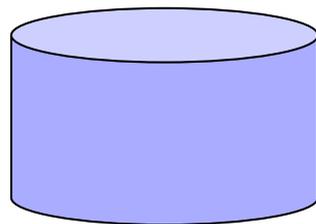
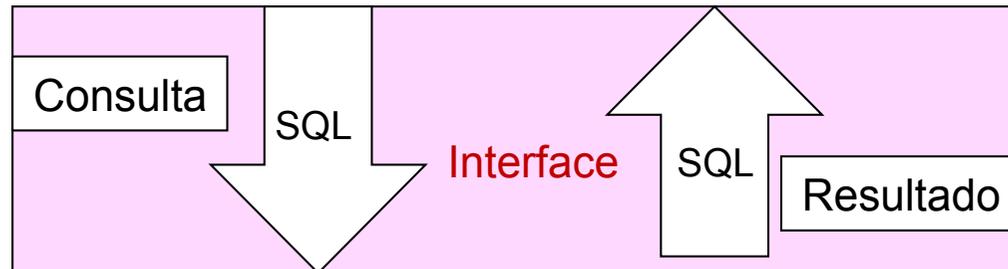


# Arquitetura Integrada

SGBD: armazenar todo o dados geográfico

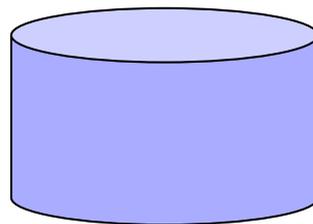
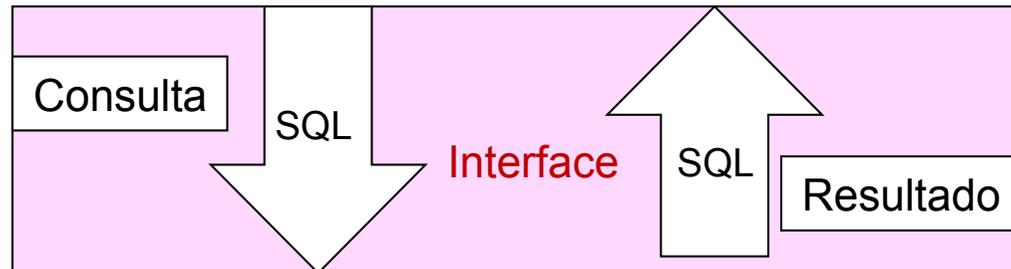


# Interfaces para bancos de dados



Banco de Dados Relacional

# Interfaces para bancos de dados

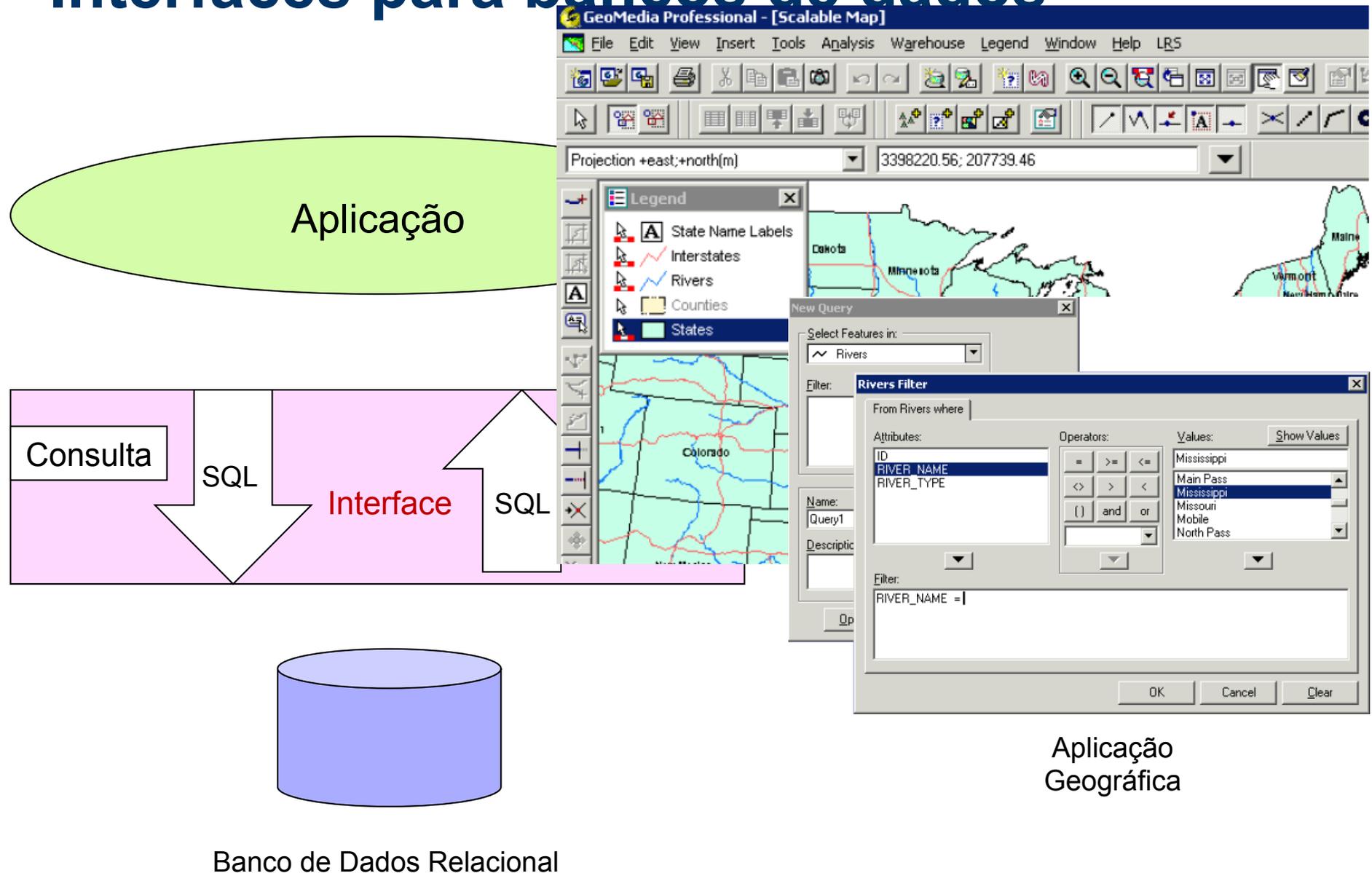


Banco de Dados Relacional

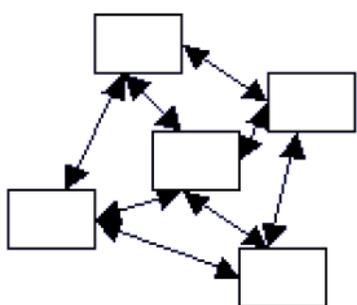


Formulário

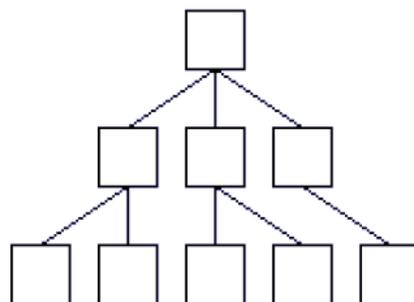
# Interfaces para bancos de dados



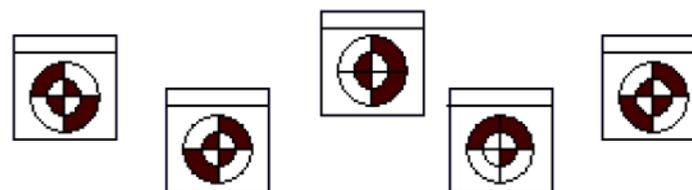
# Tipos de SGBD



Rede



Hierárquico



Objeto

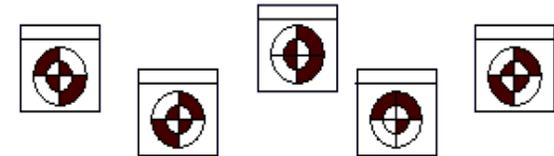
P-Id	Nome	Sobrenome	Cidade	Cidade	População	Renda
1	Lais	Costa	SJC	SJC	1000000	32244
2	Maria	Silva	SP	...	...	...

Relacional

# Tipos de SGBD

P-Id	Nome	Sobrenome	Cidade	Cidade	População	Renda
1	Lais	Costa	SJC	SJC	1000000	32244
...	...	...	...	...	...	...

Relacional



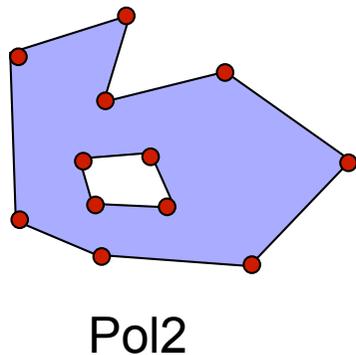
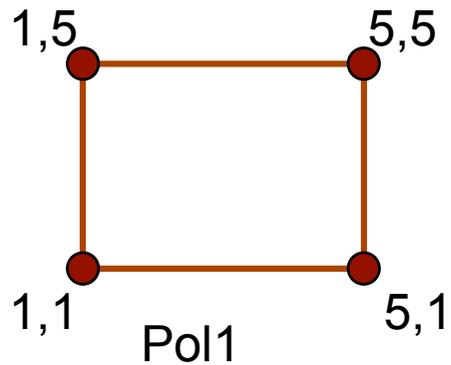
Objeto

ID	XY	DF	ER
56		XXX	
45		YYY	
...	...	...	...

Objeto-Relacional

# Como armazenar um polígono em um SGBD-R?

**Alternativa 1:** tabelas de pontos (x,y)



Poligonos

id	num_coords	num_holes
pol1	4	0
pol2	12	1

Pts\_pol

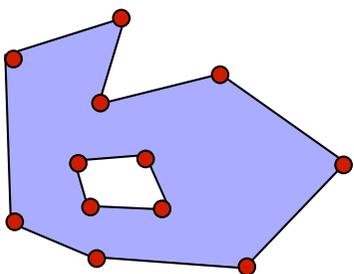
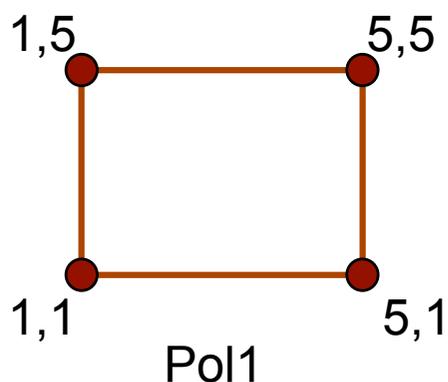
id	pt
pol1	1
pol1	2
pol1	3
pol1	4
pol1	5

Pontos

id	x	y
1	1	5
2	5	5
3	5	1
4	1	1
5	1	5

## Como armazenar um polígono em um SGBD-R?

**Alternativa 2:** campo longo binário (BLOB), uma sequência de bits sem significado para o banco



Poligonos

id	num_coords	num_holes	poligono
pol1	4	0	(xy, xy, xy...)
pol2	12	1	(xy, xy, xy...)

Tipo BLOB



# Arquitetura Integrada - SGBD Relacional

## Vantagens

Facilidade na manutenção de integridade entre a componente espacial e alfanumérica

Uso dos recursos do SGBD:

transação, recuperação de falhas, controle de acesso concorrente, etc.

## Desvantagens

Perda de semântica dos dados espaciais

Limitações da SQL para manipular BLOBs

Métodos de acesso e otimizados de consulta devem ser implementados pelo SIG

# Extensões espaciais

SGBD-OR são estendidos para suportar:

**Tipos de dados espaciais:** polígono, ponto, linha, etc;

**Operadores e funções** utilizados na SQL para manipular dados espaciais (consultas e junção)

**Métodos eficientes de acesso** aos dados espaciais

Exemplos:

Proprietários

Oracle Spatial

IBM DB2 Spatial Extender

Livres de licença

PostGIS

Extensão espacial para MySQL

# Consultas espaciais

*Quais são os estados da região NE?*

```
SELECT nomeest, UF  
FROM estados  
WHERE regiao= 'NE';
```

Não espacial

*Encontre estados que tocam (fazem fronteira) com o estado de Minas Gerais?*

```
SELECT nomeest FROM estados e1, cidades e2  
WHERE (e1.nomeest = 'Minas Gerais' AND  
       e2.nomeest <> 'Minas Gerais' AND  
       DISTANCE (e1.geometry, e2.geometry) < 100)
```

Espacial

# Operações e consultas espaciais

Unárias, com resultado **Booleano**:

*São José dos Campos é convexo? V ou F*

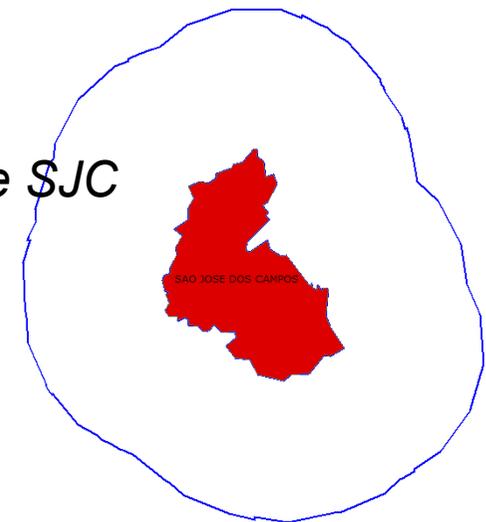


Unárias com resultado **Escalar**:

*Qual a área do município de SJC?*

Unária com resultado **Espacial**:

*Determine um buffer de 100 kms sobre o município de SJC*



# Operações e consultas espaciais

Binárias com resultado **Booleano** (predicados espaciais)

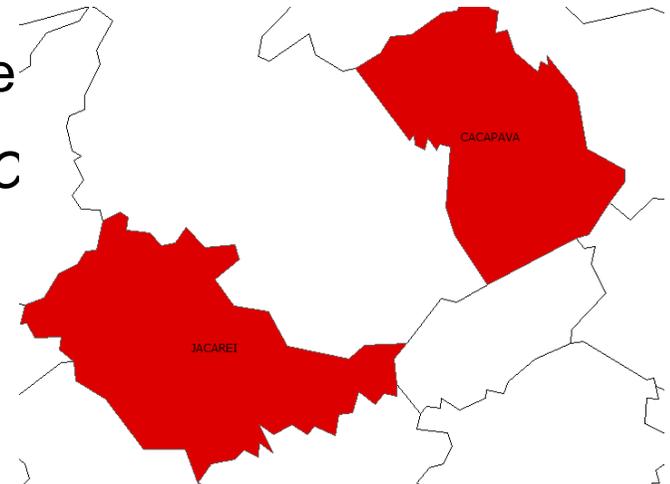
*Caçapava é vizinha de Jacareí?*

Binárias com resultado **Escalar**

*Qual a distância entre a sede de Jacareí e a sede de Caçapava?*

Binárias com resultado **Espacial** (operações de

*Quais os trechos da Rod. Dutra que cruzam SJC*

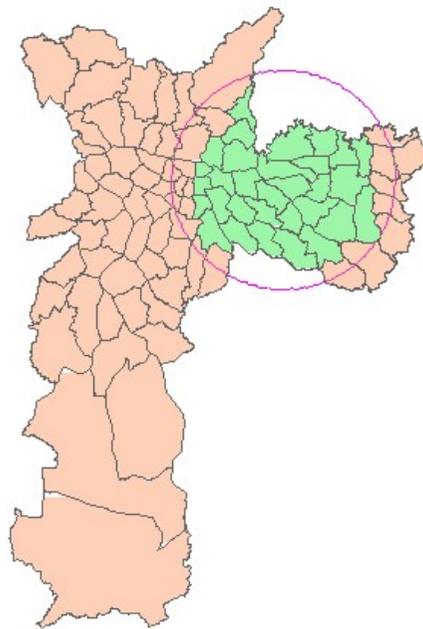


# Seleção espacial

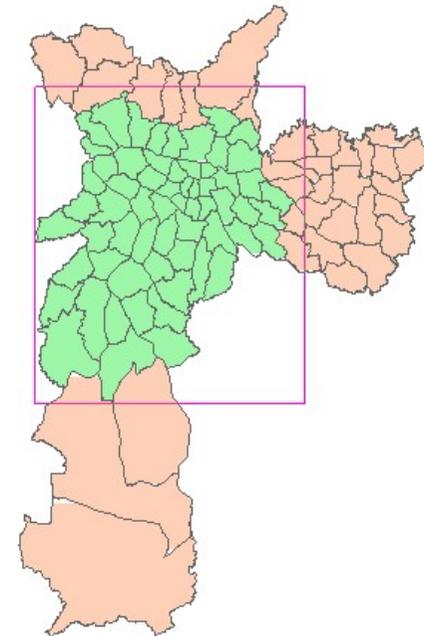
Dados um conjunto de objetos espaciais  $\mathbf{D}$  e um predicado de seleção espacial  $p$  sobre atributos espaciais dos objetos em  $\mathbf{D}$ , determine todos os objetos em  $\mathbf{D}$  cujas geometrias satisfazem  $p$ .



Seleção por ponto



Seleção por região



Seleção por janela

# Junção espacial

Dados dois conjuntos de objetos espaciais  $D_1$  e  $D_2$  e um predicado de seleção espacial  $\theta$  determine todos os pares  $(d_1, d_2) \in D_1 \times D_2$  cujas geometrias satisfazem  $\theta$ .

Ex: Para cada via selecione as escolas que estão a uma distância menor ou igual a 1km.



# Predicados Topológicos

Freqüentemente utilizados nas consultas espaciais para analisar informações.

Definem restrições baseadas no relacionamento espacial entre os objetos.

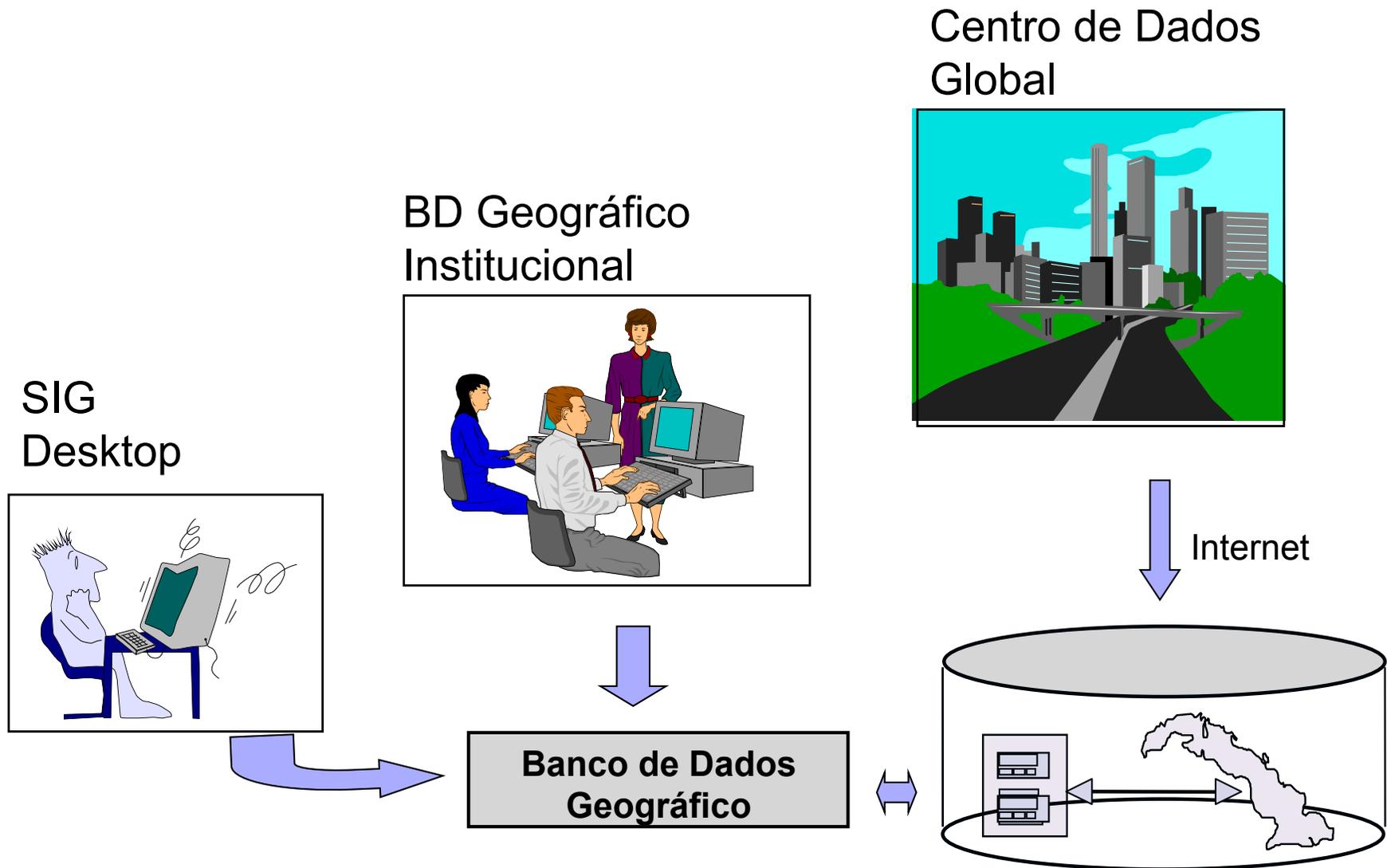
Aparecem em consultas como:

Cristalina e Paracatu são vizinhas?

O trecho em vermelho da BR-040 cruza quais municípios?



# Explorar novas arquiteturas





# Open Geospatial Consortium

- Consórcio entre companhias, universidade e agências governamentais
- Objetivo: promover o desenvolvimento de tecnologias que facilitem a interoperabilidade entre sistemas envolvendo informação geo-espacial
- Os produtos do trabalho do OGC são apresentados sob forma de especificações de interfaces e padrões de intercâmbio

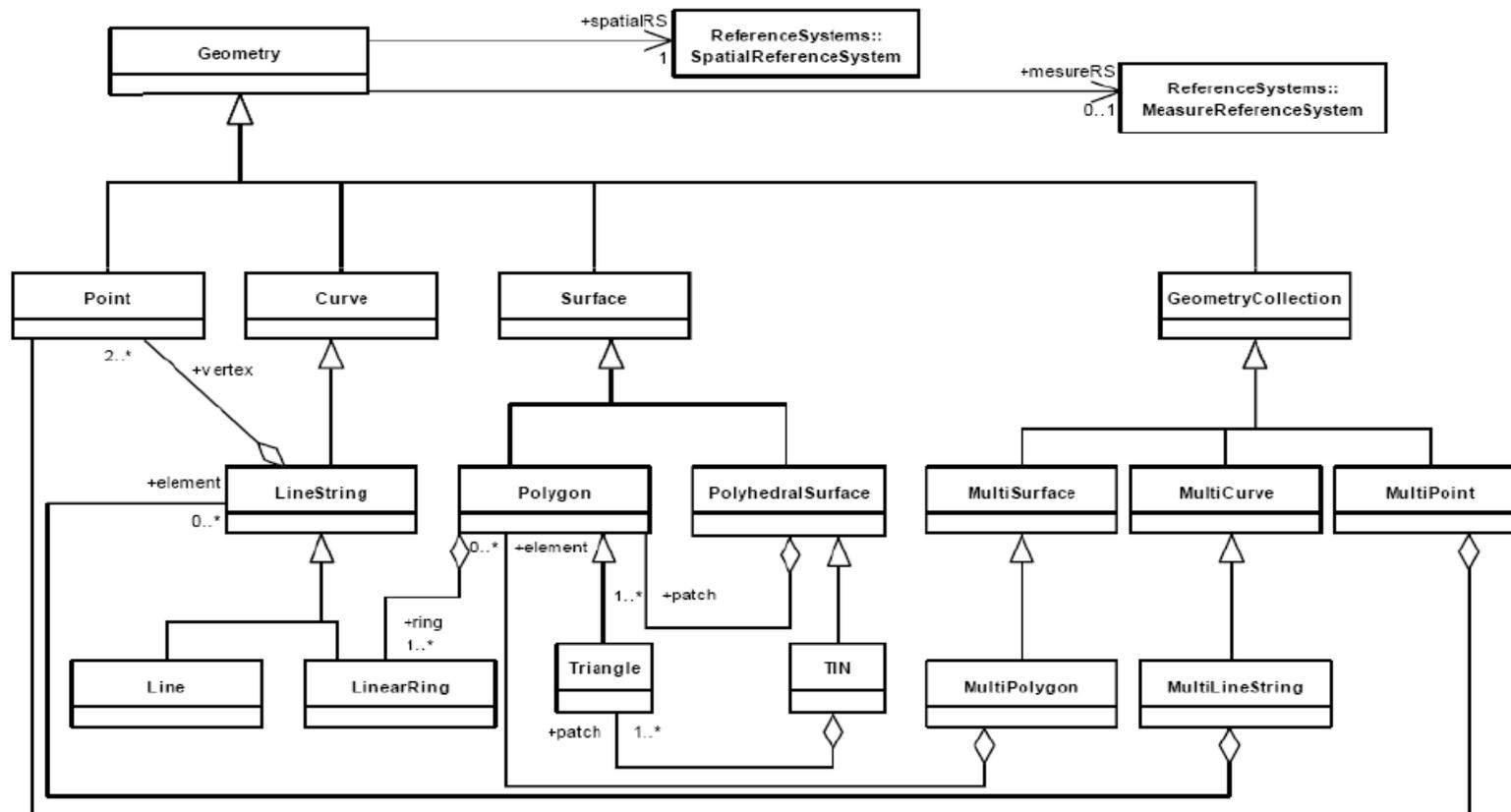


# Open Geospatial Consortium

- Algumas especificações OGC:
  - GML (Geography Markup Language): intercâmbio de dados
  - OWS (OGC Web Service): especificações de serviços WEB
    - WFS: Web Feature Service
    - WMS: Web Map Server
  - SFSQL (Simple Feature Specification For SQL): especificações sobre o armazenamento e recuperação de dados espaciais em SGBD's OR

# OpenGIS - SFSQL

Tipos de geometrias vetoriais:



# WKT – Well Known Text for geometry

- Gramática que define como representar textualmente todas as diferentes instâncias de geometrias. Exemplos:

Geometry Type	Text Literal Representation	Comment
Point	<code>Point (10 10)</code>	a Point
LineString	<code>LineString ( 10 10, 20 20, 30 40)</code>	a LineString with 3 points
Polygon	<code>Polygon ((10 10, 10 20, 20 20, 20 15, 10 10))</code>	a Polygon with 1 exteriorRing and 0 interiorRings

# WKT

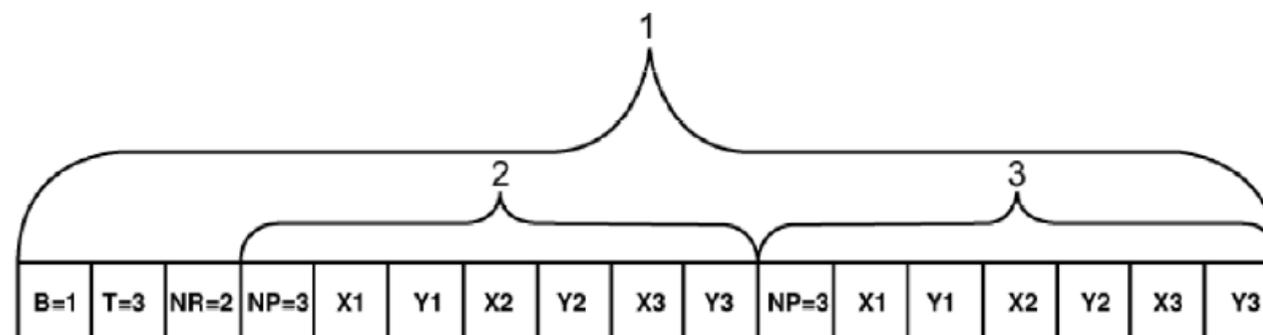
Multipoint	MultiPoint ((10 10), (20 20))	a MultiPoint with 2 points
MultiLineString	MultiLineString ( (10 10, 20 20), (15 15, 30 15) )	a MultiLineString with 2 linestrings
MultiPolygon	MultiPolygon ( ((10 10, 10 20, 20 20, 20 15, 10 10)), ((60 60, 70 70, 80 60, 60 60 )) )	a MultiPolygon with 2 polygons
GeomCollection	GeometryCollection ( POINT (10 10), POINT (30 30), LINESTRING (15 15, 20 20) )	a GeometryCollection consisting of 2 Point values and a LineString value
PolyhedralSurface	PolyhedralSurface Z ( ((0 0 0, 0 0 1, 0 1 1, 0 1 0, 0 0 0)), ((0 0 0, 0 1 0, 1 1 0, 1 0 0, 0 0 0)), ((0 0 0, 1 0 0, 1 0 1, 0 0 1, 0 0 0)), ((1 1 0, 1 1 1, 1 0 1, 1 0 0, 1 1 0)), ((0 1 0, 0 1 1, 1 1 1, 1 1 0, 0 1 0)), ((0 0 1, 1 0 1, 1 1 1, 0 1 1, 0 0 1)) )	A polyhedron cube, corner at the origin and opposite corner at (1, 1, 1).

# WKT

Tin	<pre>Tin Z ( ((0 0 0, 0 0 1, 0 1 0, 0 0 0)), ((0 0 0, 0 1 0, 1 0 0, 0 0 0)), ((0 0 0, 1 0 0, 0 0 1, 0 0 0)), ((1 0 0, 0 1 0, 0 0 1, 1 0 0)), )</pre>	A tetrahedron (4 triangular faces), corner at the origin and each unit coordinate digit.
Point	<pre>Point Z (10 10 5)</pre>	a 3D Point
Point	<pre>Point ZM (10 10 5 40)</pre>	the same 3D Point with M value of 40
Point	<pre>Point M (10 10 40)</pre>	a 2D Point with M value of 40

# WKB – Well Known Binary for geometry

- Versão binária para representar as geometrias. Pode ser usada na especificação do armazenamento



Key

1 WKB Polygon

2 ring 1

3 ring 2

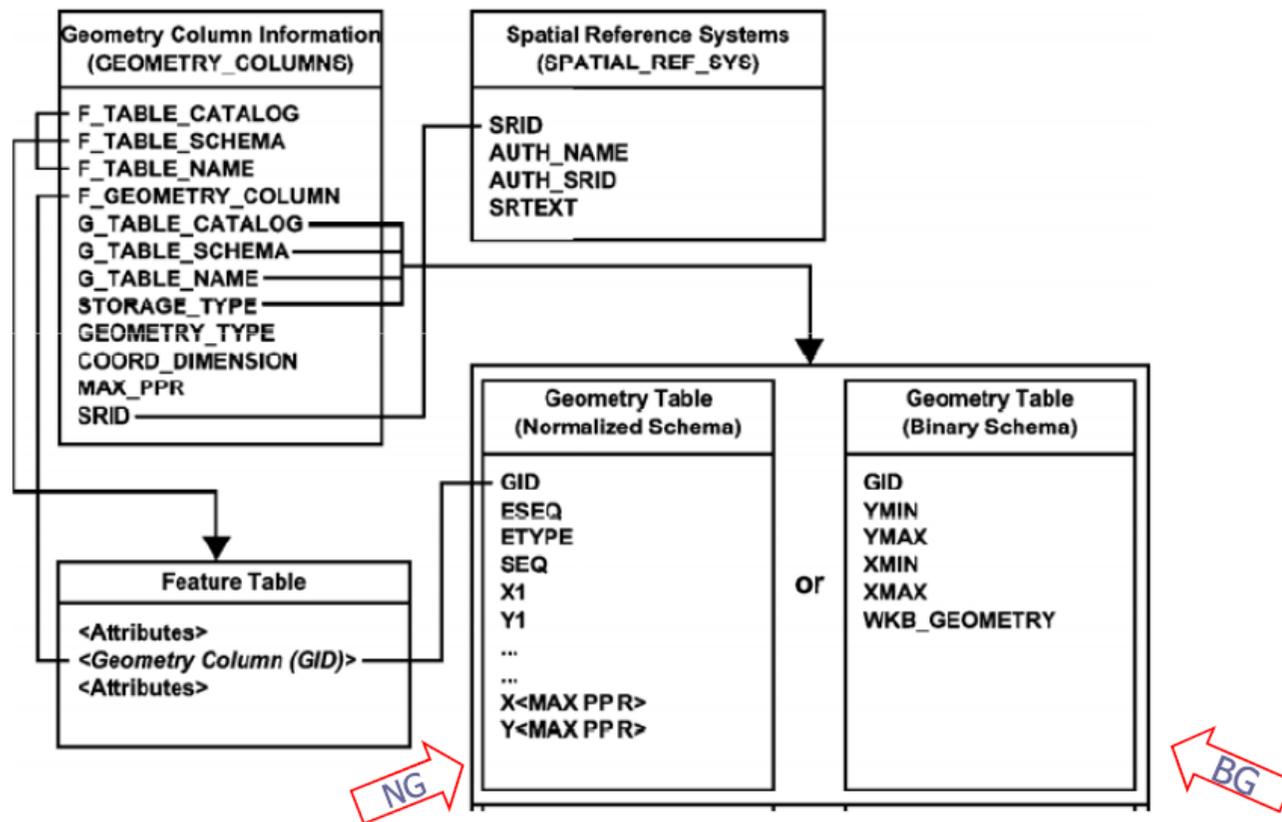
Figure 25: Well-known Binary Representation for a geometric object  
in NDR format (**B** = 1)  
of type Polygon (**T** = 3)  
with 2 LinearRings (**NR** = 2)  
each LinearRing having 3 points (**NP** = 3)

# Códigos para as geometrias

Type	Code	Type	Code	Type	Code	Type	Code
Geometry	0	Geometry Z	1000	Geometry M	2000	Geometry ZM	3000
Point	1	Point Z	1001	Point M	2001	Point ZM	3001
LineString	2	LineString Z	1002	LineString M	2002	LineString ZM	3002
Polygon	3	Polygon Z	1003	Polygon M	2003	Polygon ZM	3003
MultiPoint	4	MultiPoint Z	1004	MultiPoint M	2004	MultiPoint ZM	3004
MultiLineString	5	MultiLineString Z	1005	MultiLineString M	2005	MultiLineString ZM	3005
MultiPolygon	6	MultiPolygon Z	1006	MultiPolygon M	2006	MultiPolygon ZM	3006
GeometryCollection	7	GeometryCollection Z	1007	GeometryCollection M	2007	GeometryCollection ZM	3007
CircularString	8	CircularString Z	1008	CircularString M	2008	CircularString ZM	3008
CompoundCurve	9	CompoundCurve Z	1009	CompoundCurve M	2009	CompoundCurve ZM	3009
CurvePolygon	10	CurvePolygon Z	1010	CurvePolygon M	2010	CurvePolygon ZM	3010
MultiCurve	11	MultiCurve Z	1011	MultiCurve M	2011	MultiCurve ZM	3011
MultiSurface	12	MultiSurface Z	1012	MultiSurface M	2012	MultiSurface ZM	3012
Curve	13	Curve Z	1013	Curve M	2013	Curve ZM	3013
Surface	14	Surface Z	1014	Surface M	2014	Surface ZM	3014
PolyhedralSurface	15	PolyhedralSurface Z	1015	PolyhedralSurface M	2015	PolyhedralSurface ZM	3015
TIN	16	TIN Z	1016	TIN M	2016	TIN ZM	3016

# OpenGIS - SFSQL

## Esquema de metadatos



# OpenGIS - SFSQL

- Tipos de geometrias vetoriais - exemplos:

- Criar uma tabela para armazenar os municípios de São Paulo:

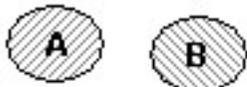
```
CREATE TABLE municípiossp
(
  cod          INTEGER,
  nomemunicp  VARCHAR(255) NULL,
  populacao   REAL
  geometria   POLYGON);
```

- Criar uma tabela para armazenar os rios de São Paulo:

```
CREATE TABLE drenagemsp
(
  cod          INTEGER,
  nomerio     VARCHAR(255) NULL,
  geometria   LINestring);
```

# OpenGIS - SFSQL

- Spatial SQL:
  - Operadores topológicos baseados na matriz de 9-Interseções estendida dimensionalmente (DE-9IM) : touches, equals, overlaps, disjoint, intersects, contains, insides, covers, coveredBy.

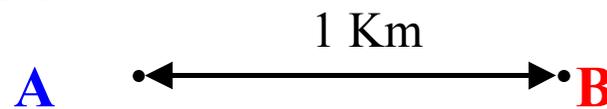
 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & -\emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & -\emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} -\emptyset & -\emptyset & -\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>disjoint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

# Relações Espaciais

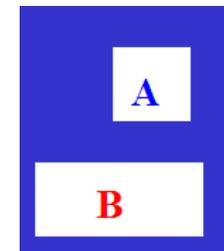
**Relações topológicas:** contém, cruza, etc.



**Relações métricas**

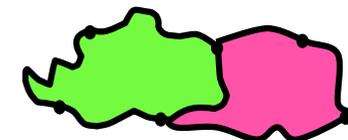
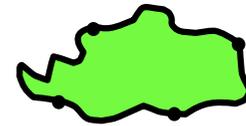


**Relações direcionais:** ao norte, ao sul, etc.



# Relações Topológicas

- Relações topológicas são definidas usando conceitos de topologia como interior e borda
- Por exemplo:
  - A borda de uma região consiste de um conjunto de curvas que separa a região do resto do espaço de coordenadas
  - O interior de uma região consiste de todos os pontos da região que não correspondem a sua borda
- Considerando isso, duas regiões são:
  - Adjacentes se elas compartilham um parte da borda mas não compartilham nem um ponto do seu interior



# Relações Topológicas

- Matriz de 4-interseções para relacionamentos topológicos entre regiões
- Definida com base na matriz de interseção entre a borda e o interior de duas regiões A e B

$$\begin{pmatrix} b(A) \cap b(B) & b(A) \cap i(B) \\ i(A) \cap b(B) & i(A) \cap i(B) \end{pmatrix}$$

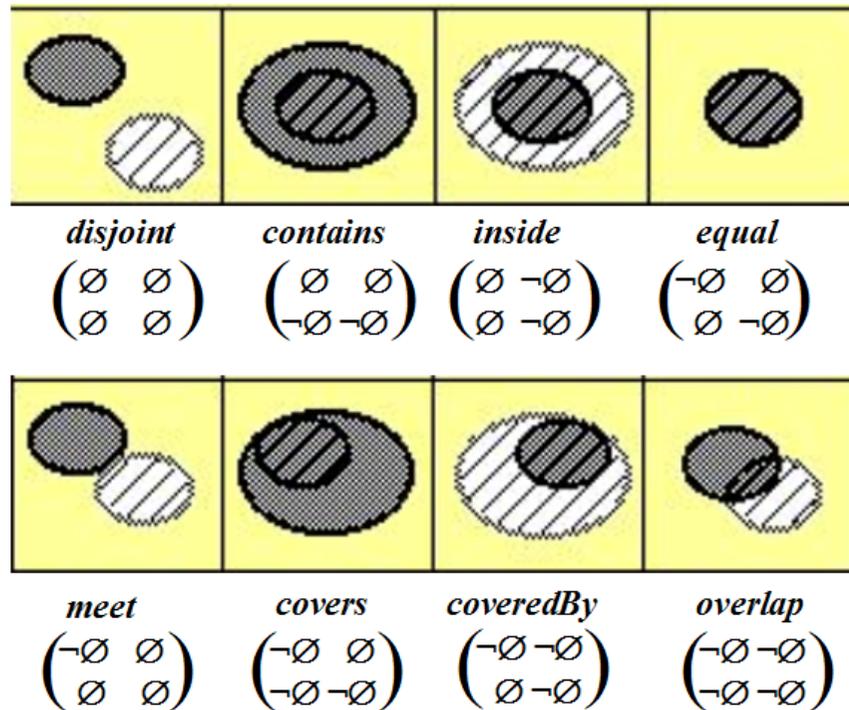
- Cada entrada da matriz é vazia ou não vazia. Exemplo:

$$\begin{pmatrix} \neg \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$$



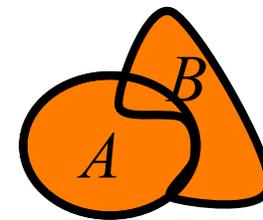
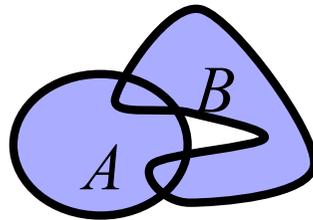
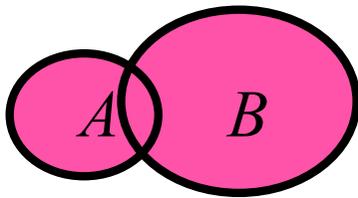
# Matriz de 4-intersecções (Egenhofer)

- De todas as possíveis configurações que podem ser obtidas associando valores vazio/não vazio para cada entrada da matriz, 8 delas são possíveis para regiões sem buracos



# Pros e contras

- Modelo simples e bem aceito
- Não distingue entre duas situações conceitualmente distintas. Exemplo:

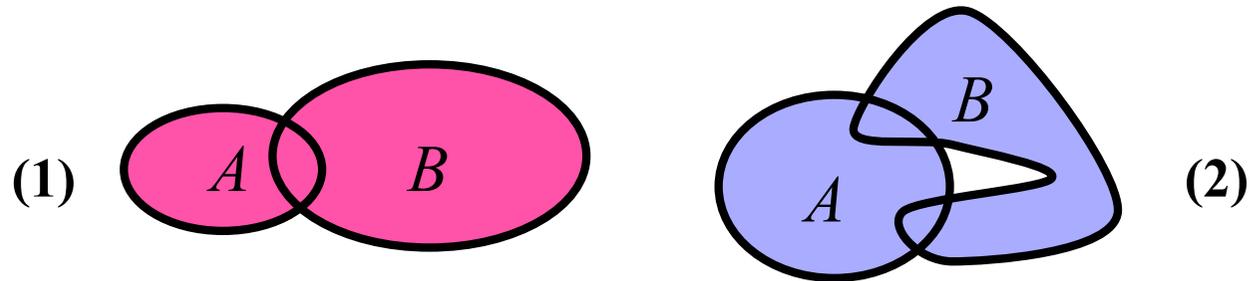


- Todas as 3 situações correspondem a mesma matriz

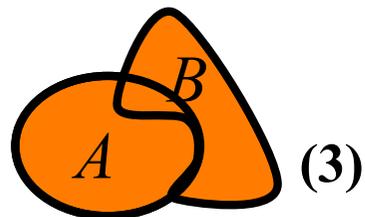
$$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$$

# Extensão possível

- Usar valores diferentes na matriz. Por exemplo:
  - o número de componentes conectados nas intersecções pode ser usado para distinguir entre (1) and (2)



- adicionar a dimensão de cada componente pode distinguir o caso (3)

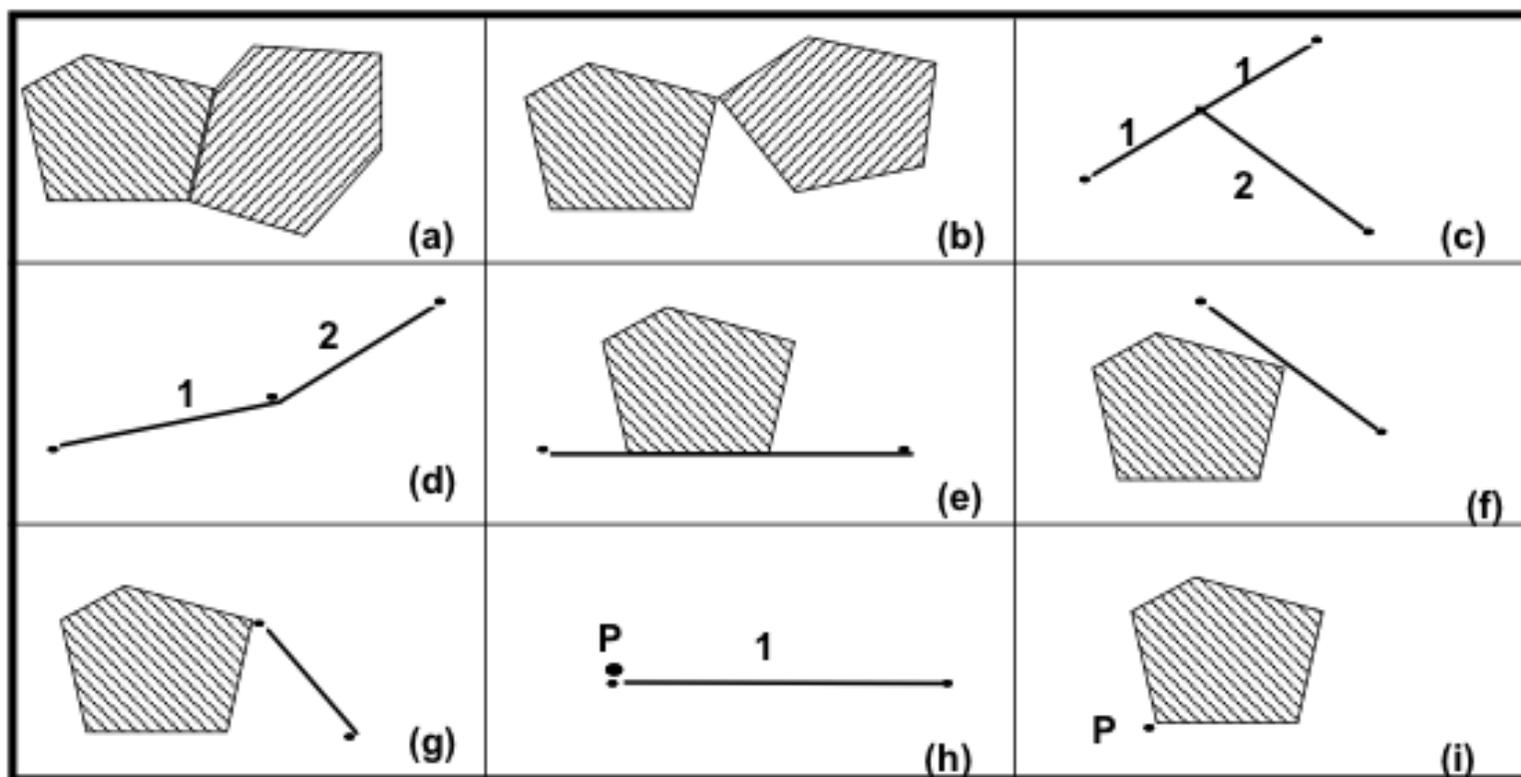


# Matriz de 9-interseções de Egenhofer

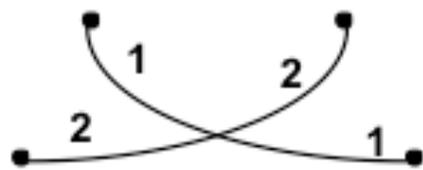
- Matriz de 9-interseções para relacionamentos topológicos entre conjuntos genéricos de entidades espaciais (não apenas região/região): considera interior, borda e exterior
- As entradas da matriz podem ser vazio/não-vazio ou outras propriedades como visto anteriormente

$$\begin{pmatrix} b(A) \cap b(B) & b(A) \cap i(B) & b(A) \cap e(B) \\ i(A) \cap b(B) & i(A) \cap i(B) & i(A) \cap e(B) \\ e(A) \cap b(B) & e(A) \cap i(B) & e(A) \cap e(B) \end{pmatrix}$$

# Toca – única interseção é nas bordas

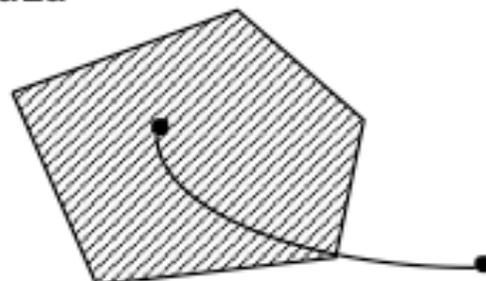


**cruza**



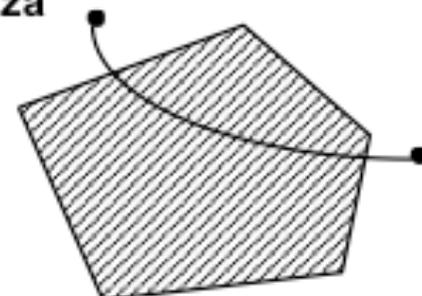
(a)

**cruza**



(b)

**cruza**



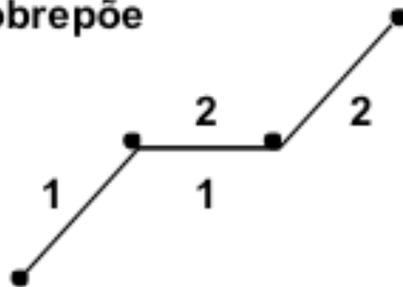
(c)

**sobrepõe**



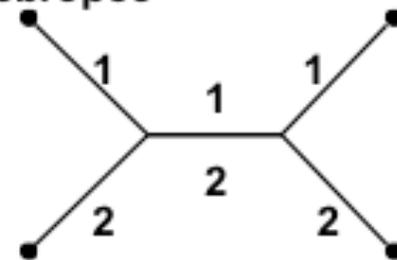
(d)

**sobrepõe**



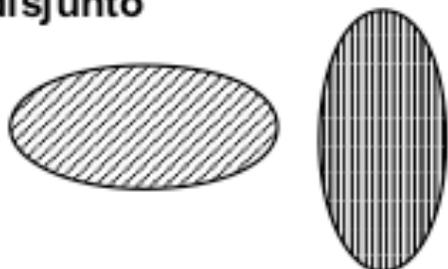
(e)

**sobrepõe**



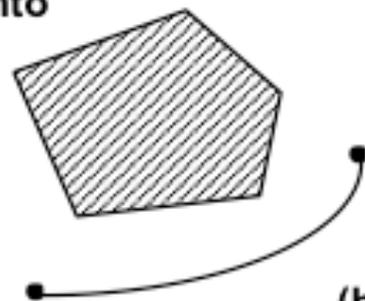
(f)

**disjunto**



(g)

**disjunto**



(h)

**disjunto**



(i)

# OpenGIS - SFSQL

- Spatial SQL:

- Outros operadores: `distance`, `buffer`, `convexHull`,  
`intersection`, `union`, `difference`, `area`, `centroid` **e**  
`pointOnSurface`

# OpenGIS - SFSQL

- Spatial SQL - Exemplos:

- Encontre todos os municípios de SP que são vizinhos do município de São Paulo:

```
SELECT d2.nomemunicp
FROM municipiossp d1, municipiossp d2
WHERE TOUCHES(d1.geometria, d2.geometria)
AND (d2.nomemunicp <> 'SAO PAULO')
AND (d1.nomemunicp = 'SAO PAULO');
```

# OpenGIS - SFSQL

- Spatial SQL - Exemplos:

- Encontre todos os municípios de SP que estão num raio de 3Km do rio X:

```
SELECT nomemunicp
FROM      municípiossp, drenagemsp
WHERE    INTERSECTS
        (BUFFER(drenagemsp.geometria, 3000),
        municípiossp.geometria)
AND      drenagemsp.numerio = 'X';
```

# Próximo passo...

- Exercitar o uso de uma extensão espacial, usando o PostGIS.