Sistemas de Bancos de Dados Geoespaciais

Evolução das Tecnologias de Bancos de Dados

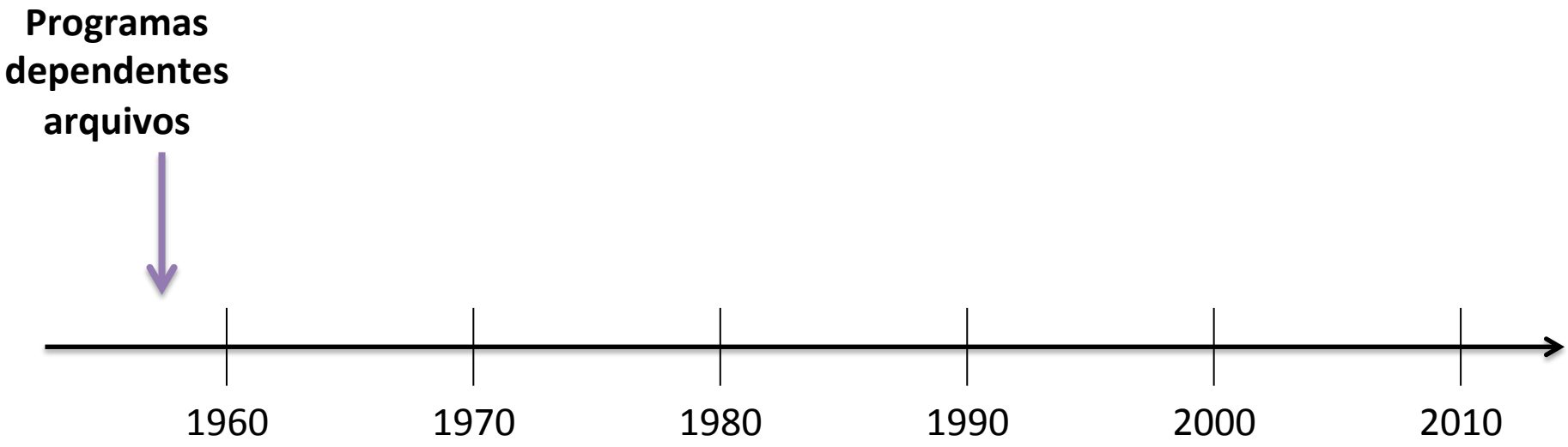
Dr. Gilberto Ribeiro de Queiroz

<gribeiro@dpi.inpe.br>

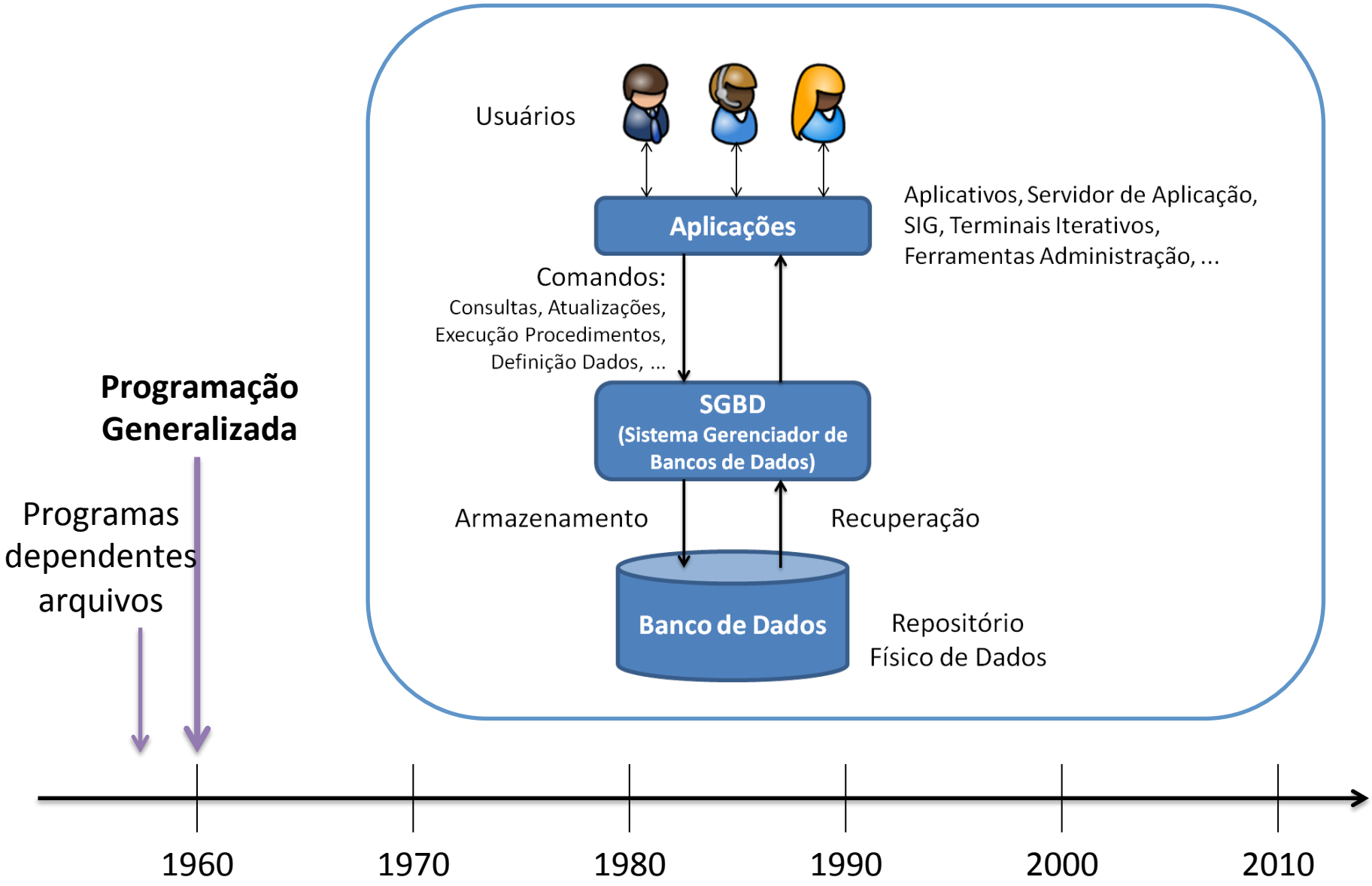
SGBD: uma tecnologia amplamente difundida

- A tecnologia de bancos de dados tem sido um componente fundamental em quase todos os tipos de aplicações:
  - Conta bancária: depósitos e saques
  - Reservas de passagens aéreas
  - Reservas em hotéis
  - Compras de livros, CDs, DVDs e outros bens (Amazon)
  - Busca por artigos em uma revista eletrônica (Transactions of GIS ou ACM digital library)
  - Sites de mapeamento: OpenStreetMap, GoogleMaps e Bing Maps

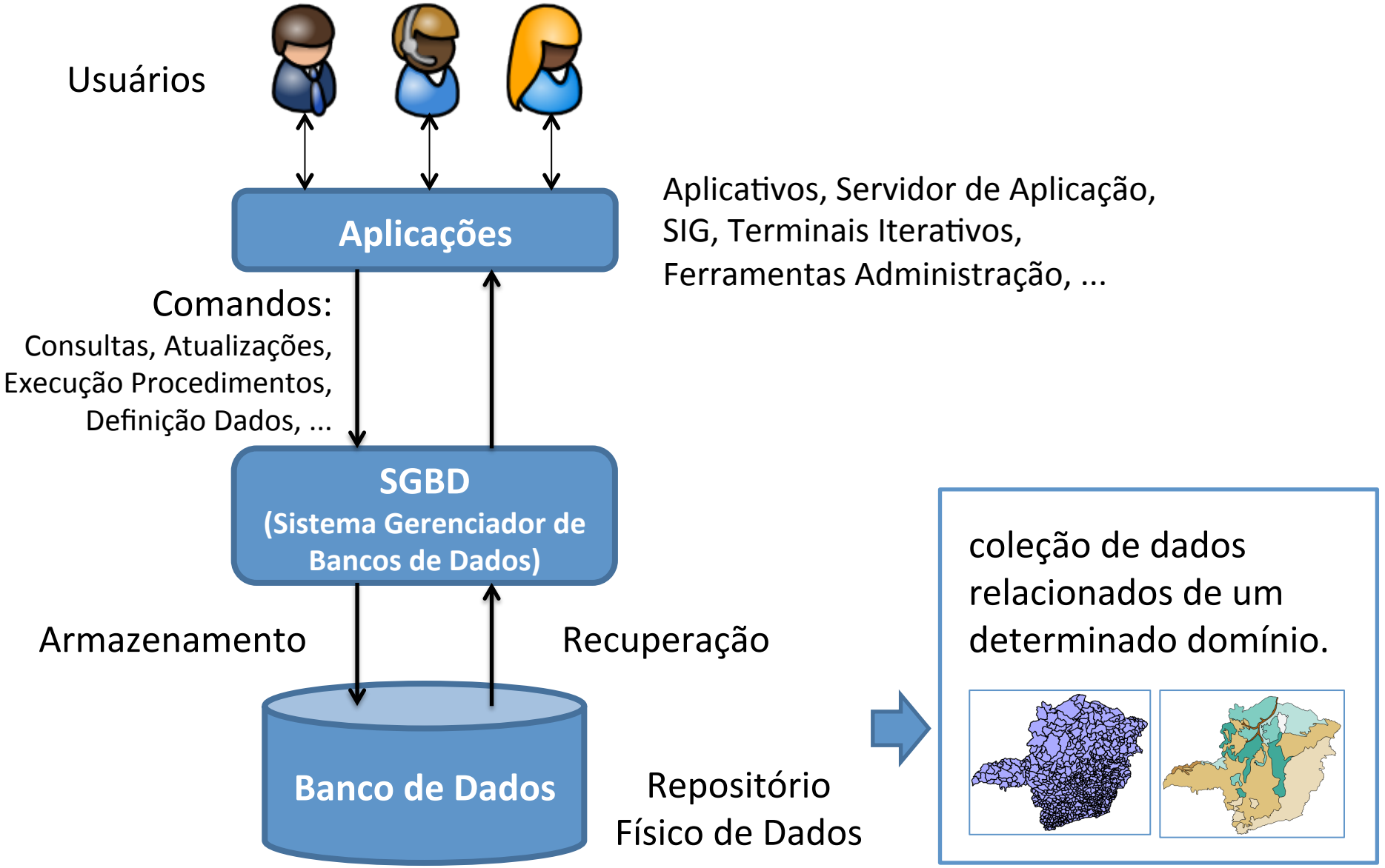
Evolução das Tecnologias de Bancos Dados



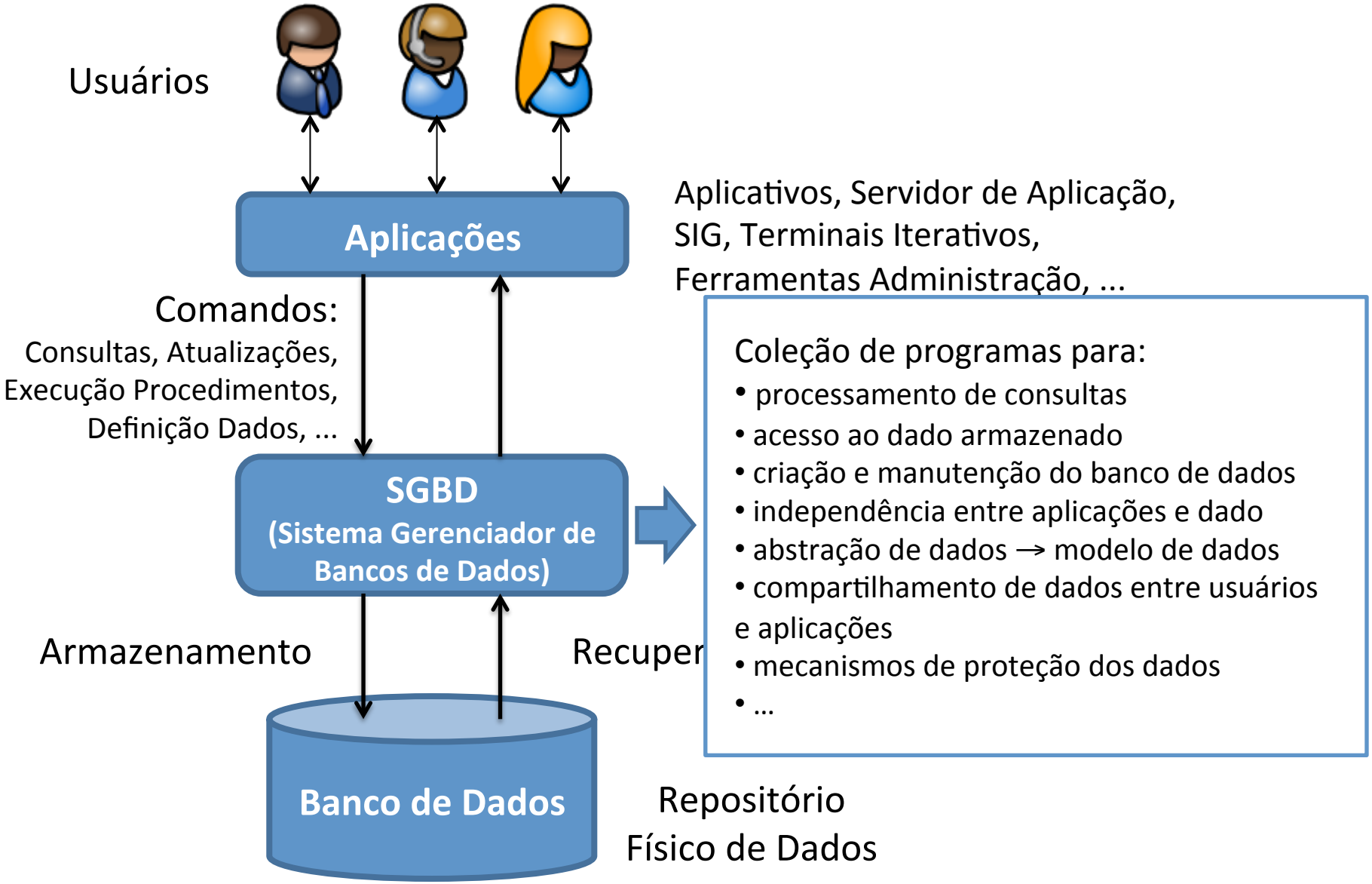
Evolução das Tecnologias de Bancos Dados



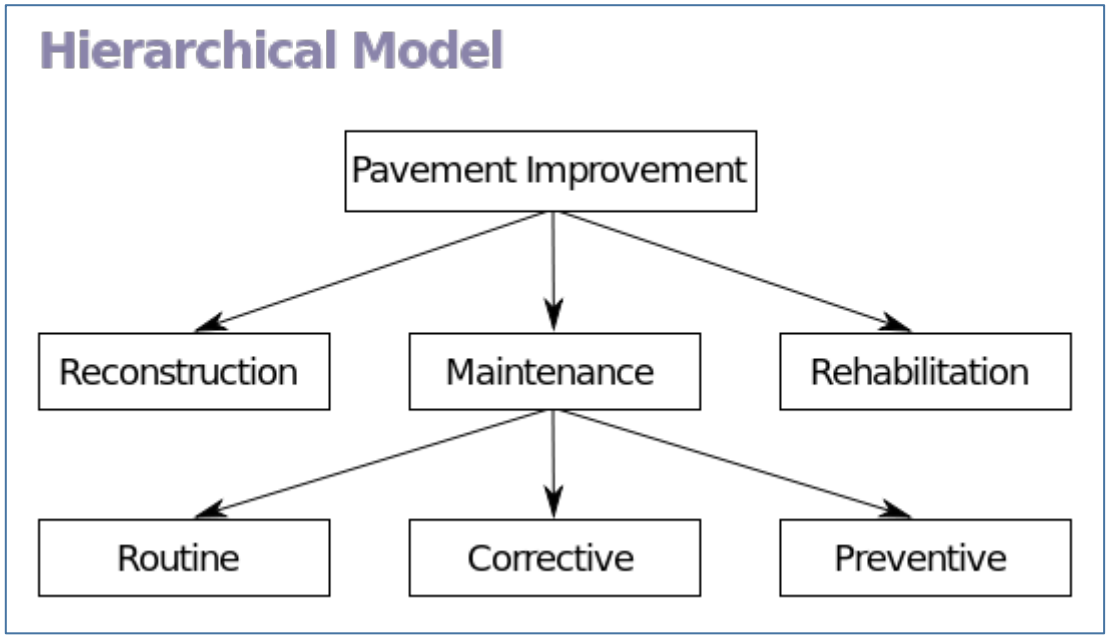
Sistemas de Bancos de Dados



Sistemas de Bancos de Dados



Evolução das Tecnologias de Bancos Dados



Fonte: Wikipedia

Programação Generalizada

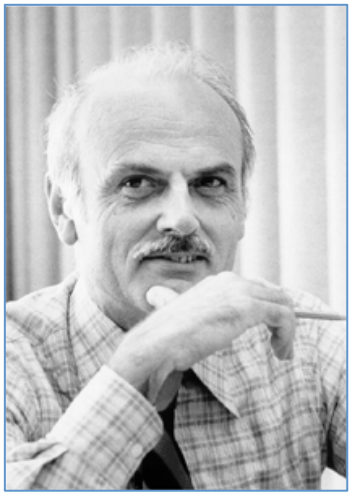
Programas dependentes arquivos

Modelo Banco Dados Hierárquico (IBM IMS)

1960 1970 1980 1990 2000 2010

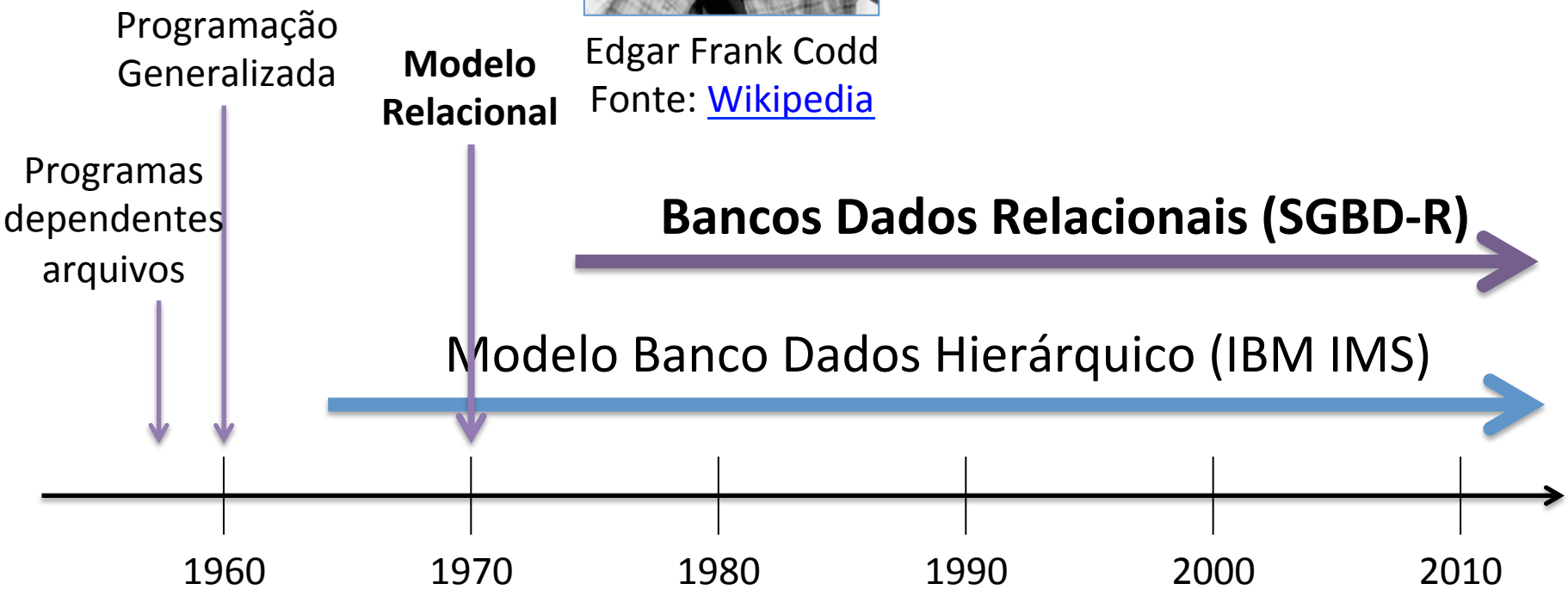
Evolução das Tecnologias de Bancos Dados

ACM Turing Award (1981)

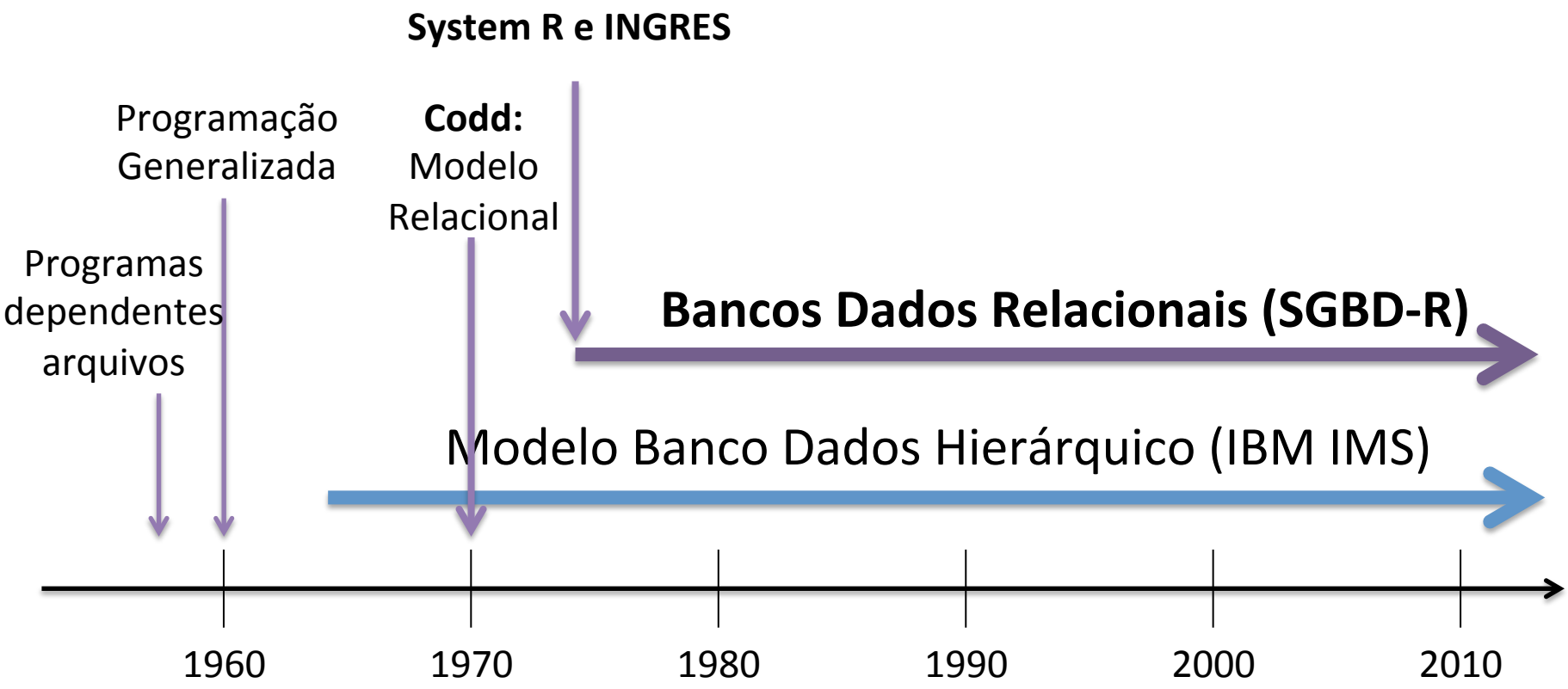


Edgar Frank Codd
Fonte: Wikipedia

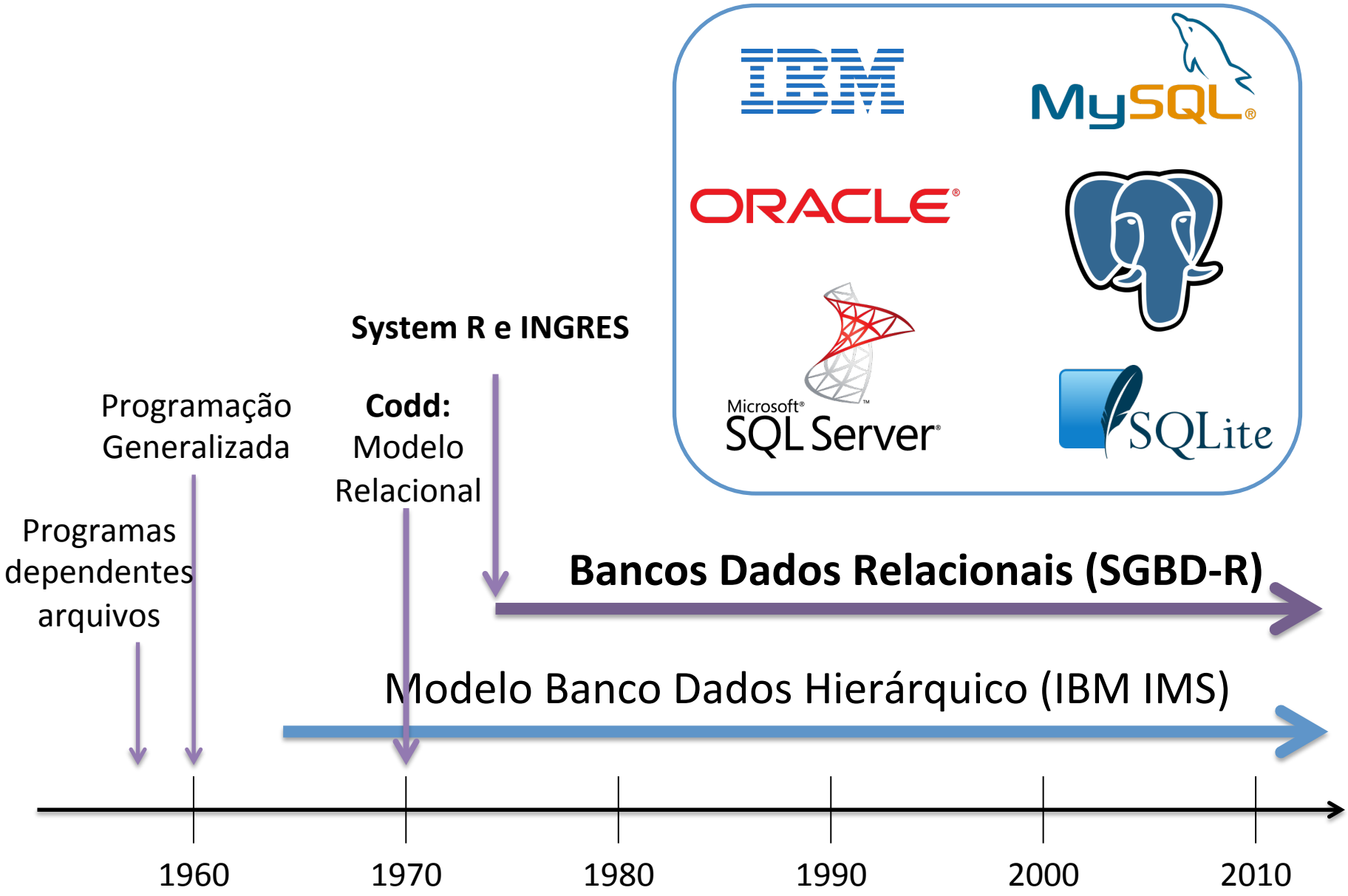
E. F. Codd. 1970. ***A relational model of data for large shared data banks***. Communications of the ACM, v. 13, n. 6, June 1970, pp. 377-387.



Evolução das Tecnologias de Bancos Dados



Evolução das Tecnologias de Bancos Dados



Quais são os principais conceitos em bancos de dados relacionais?

Relação (ou Tabela)

- Um banco de dados relacional é organizado em uma coleção de relações (ou tabelas) possivelmente relacionadas entre si.

Tabela →
Colunas →
Linha →

paises			
id	**nome**	**populacao**	**fronteira**
1	Alemanha	82.000.000	
2	Brasil	190.000.000	
...	...	...	...

Esquema Tabela

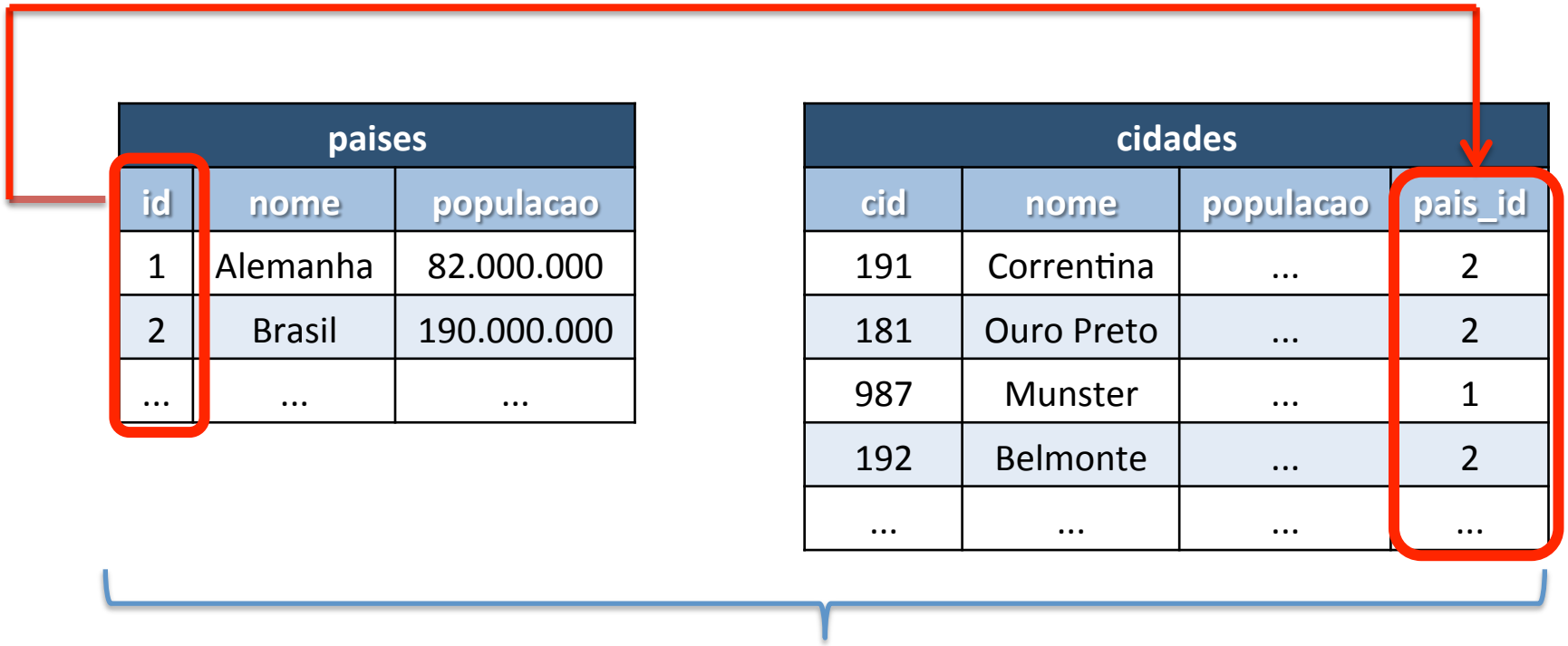
Instância

Modelo Relacional

- Toda tabela (ou relação) possui um nome:
  - Em geral, esse nome é único dentro de um mesmo banco de dados.*
- As colunas de uma tabela são também chamadas de:
  - campos, domínios ou atributos.
- Cada coluna possui um nome e deve ter um tipo de dado associado:
  - Numérico, Cadeia de Caracteres, Data e Hora, Geométrico.
- As linhas também são conhecidas por:
  - tuplas ou registros.

* Conforme veremos mais adiante os SGBD-R podem relaxar esta afirmação com o uso de esquemas (ou *namespaces*)

Relacionamentos entre tabelas



paises

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

cidades

cid	nome	populacao	pais_id
191	Correntina	...	2
181	Ouro Preto	...	2
987	Munster	...	1
192	Belmonte	...	2
...	...	...	...

paises_ x_cidades

pid	p_nome	p_populacao	cid	c_nome	c_populacao
2	Brasil	190000000	191	Correntina	...
2	Brasil	190000000	181	Ouro Preto	...
1	Alemanha	82000000	987	Munster	...
2	Brasil	190000000	192	Belmonte	...
...			...	...	...

Chave Primária (Primary Key)

- Campo ou conjunto de campos cujos valores identificam unicamente cada linha de uma tabela.

Chave Primária

paises		
id	**nome**	**populacao**
1	Alemanha	82.000.000
2	Brasil	190.000.000
...	...	...

Chave Primária

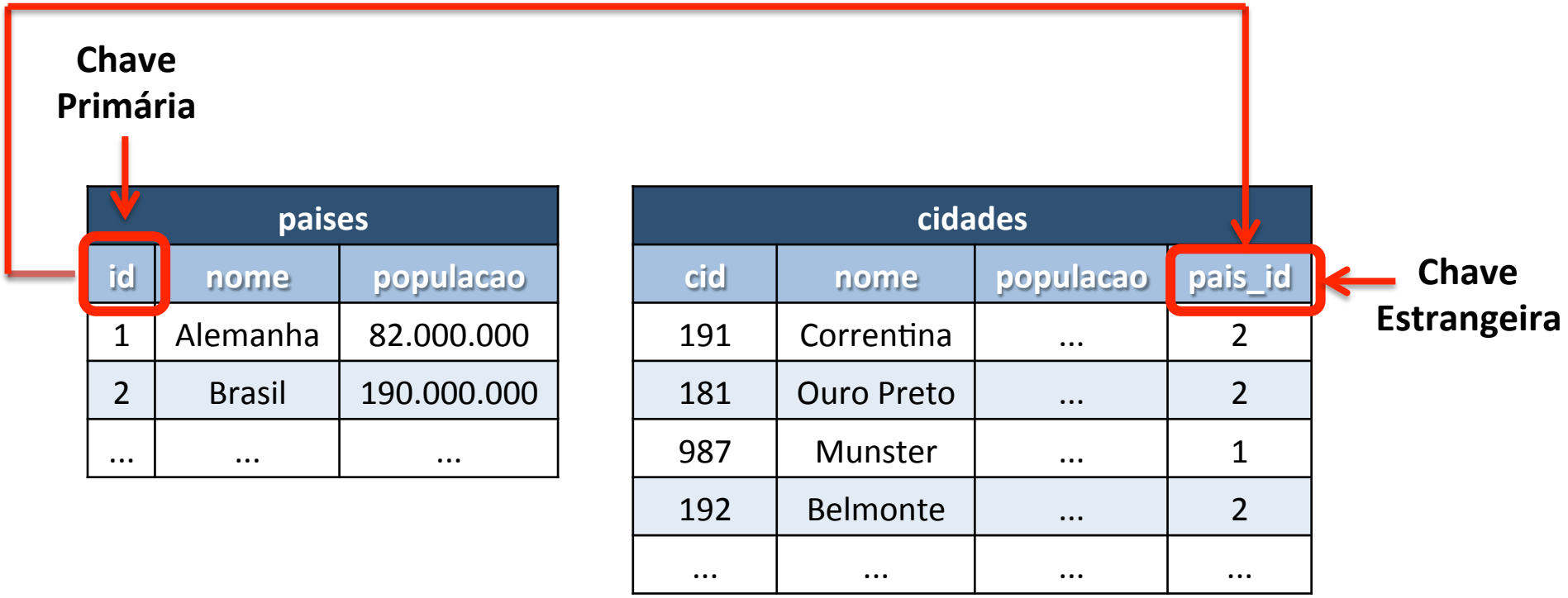
cidades			
cid	**nome**	**populacao**	**pais_id**
191	Correntina	...	2
181	Ouro Preto	...	2
987	Munster	...	1
192	Belmonte	...	2
...	...	...	...

Chave Primária Composta

cliente_telefone		
ncid	**fone**	**tipo**
1	555-7654	residencial
1	345-9876	comercial
2	888-7777	residencial

Chave Estrangeira (Foreign Key)

- Coluna ou combinação de colunas, cujos valores aparecem necessariamente na chave primária de uma outra tabela*.



*uma chave estrangeira não precisa ter o mesmo nome do que a chave primária correspondente na outra tabela (apenas o mesmo domínio)

Álgebra Relacional

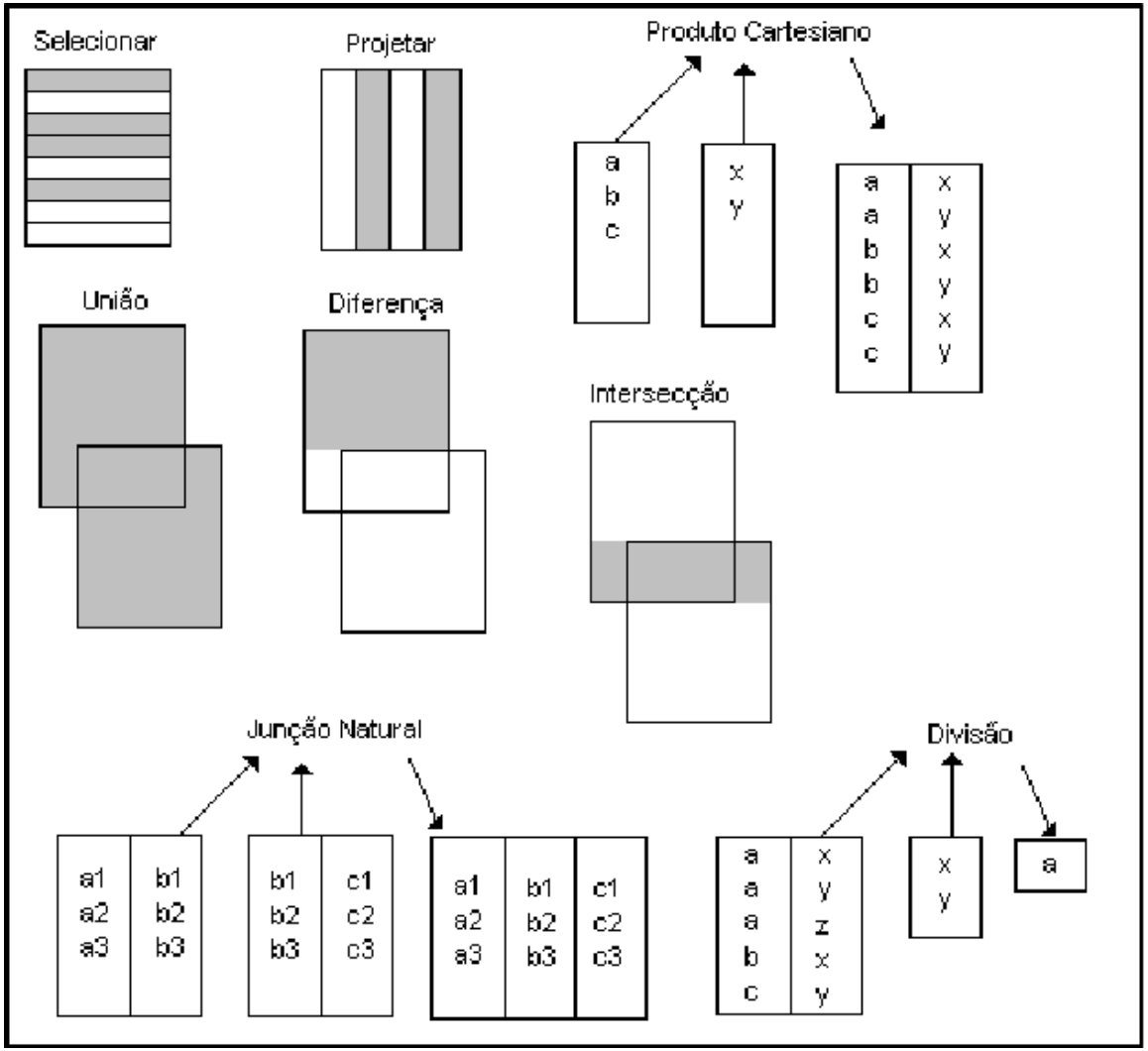
- Linguagem formal de consulta.

- Conjunto de operações que usam uma ou mais relações como entrada e geram uma nova relação de saída:
  - operação (R_1) → R_n
  - operação (R_1, R_2) → R_n

- Operações básicas:
  - Operações unárias: seleção, projeção.
  - Operações binárias: produto cartesiano, junção, interseção, união e diferença.

- Os operadores podem ser combinados de forma a realizar operações mais complexas.

Álgebra Relacional: Operadores



Fonte: C. J. Date (1993)

Álgebra Relacional: Seleção

- Este operador seleciona tuplas (linhas) de uma relação que satisfazem um certo predicado ou condição.

- Exemplo: para a relação “paises”, selecionar as tuplas cuja população seja maior que 100.000.000.

paises		
id	**nome**	**populacao**
1	Alemanha	82.000.000
2	Brasil	190.000.000
...	...	...

Tabela de Entrada

$$\sigma_{populacao \geq 10^8}(paises)$$

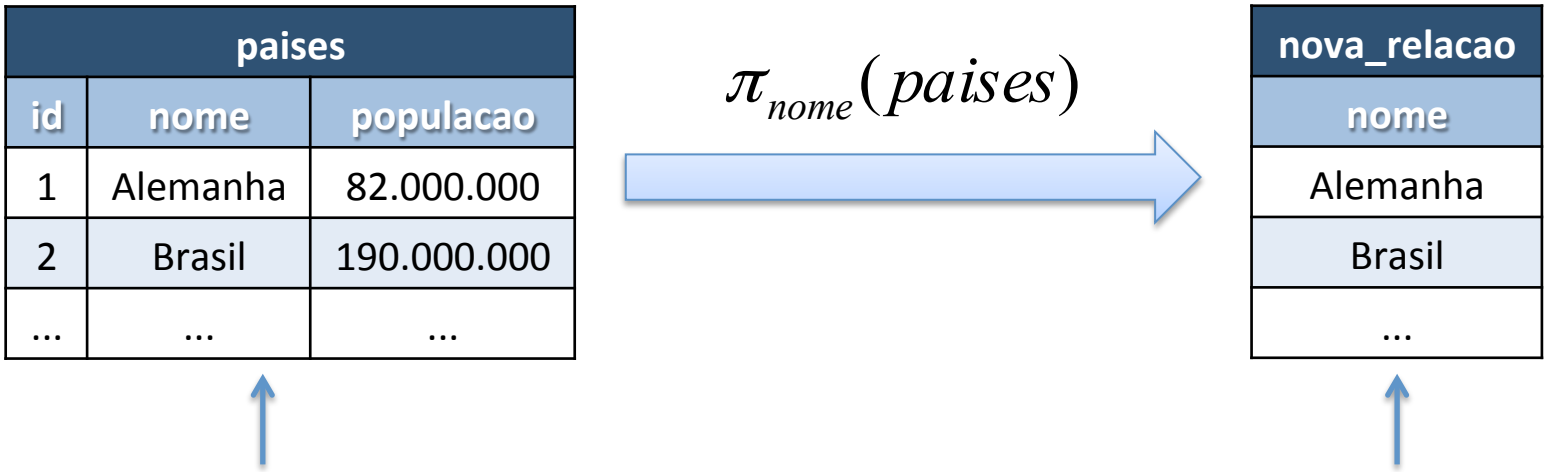
nova_relacao		
id	**nome**	**populacao**
2	Brasil	190.000.000
...	...	...

Tabela de Saída

Álgebra Relacional: Projeção

- Este operador gera uma nova relação contendo apenas as colunas desejadas de uma relação de entrada.

- Exemplo: projetar o atributo nome sobre a relação “paises”.



Álgebra Relacional: Produto Cartesiano

- Este operador gera uma nova relação formada pela combinação de todas as tuplas de duas relações de entrada.

$$(paises) \times (cidades)$$

nova_relacao						
id	**nome**	**populacao**	**cid**	**nome**	**populacao**	**pais_id**
1	Alemanha	82000000	191	Correntina	...	2
1	Alemanha	82000000	181	Ouro Preto	...	2
1	Alemanha	82000000	987	Munster	...	1
1	Alemanha	82000000	192	Belmonte	...	2
2	Brasil	190.000.000	191	Correntina	...	2
2	Brasil	190.000.000	181	Ouro Preto	...	2
2	Brasil	190.000.000	987	Munster	...	1
2	Brasil	190.000.000	192	Belmonte	...	2
...	...	...	...	...	...	...

Álgebra Relacional: Junção (Join)

- Produto cartesiano seguido de uma seleção.

$$(paises)\theta(cidades) \Leftrightarrow \sigma_{paises.id=cidades.pais\_id}(paises \times cidades)$$

nova_relacao						
id	**nome**	**populacao**	**cid**	**nome**	**populacao**	**pais_id**
1	Alemanha	82000000	987	Munster	...	1
2	Brasil	190.000.000	191	Correntina	...	2
2	Brasil	190.000.000	181	Ouro Preto	...	2
2	Brasil	190.000.000	192	Belmonte	...	2
...	...	...	...	...	...	...

Linguagem de Consulta: SQL

- O modelo relacional (Codd, 1970) é a base para linguagens de alto nível:
  - Álgebra/Cálculo Relacional → Linguagem Declarativa → ISO/SQL (Structured Query Language)

```
CREATE TABLE paises
(
  id          INT4 PRIMARY KEY,
  nome        VARCHAR(50),
  populacao   INT4
);
```

Definição Dados

paises		
id	nome	populacao

Manipulação Dados

```
INSERT INTO paises
      VALUES (1, 'Alemanha', 82000000)

INSERT INTO paises
      VALUES (2, 'Brasil', 190000000)
```

Manipulação Dados

paises		
id	nome	populacao
1	Alemanha	82.000.000
2	Brasil	190.000.000
...	...	...

Linguagem de Consulta: SQL

- O modelo relacional (Codd, 1970) é a base para linguagens de alto nível:
  - Álgebra/Cálculo Relacional → Linguagem Declarativa → ISO/SQL (Structured Query Language)

paises		
id	**nome**	**populacao**
1	Alemanha	82.000.000
2	Brasil	190.000.000
...	...	...

Consulta
(Não-Procedural)

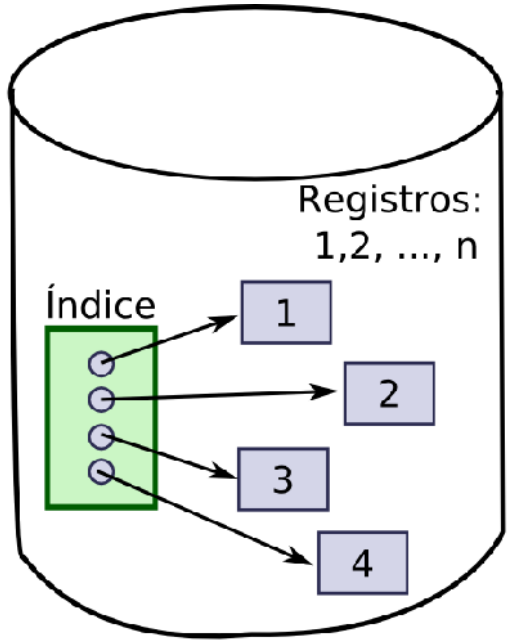
```
SELECT nome
 FROM paises
WHERE populacao > 80000000
```

Nota: stored procedures ou procedural languages: PL/SQL, T-SQL, PL/pgSQL

Métodos de Acesso (Indexação)

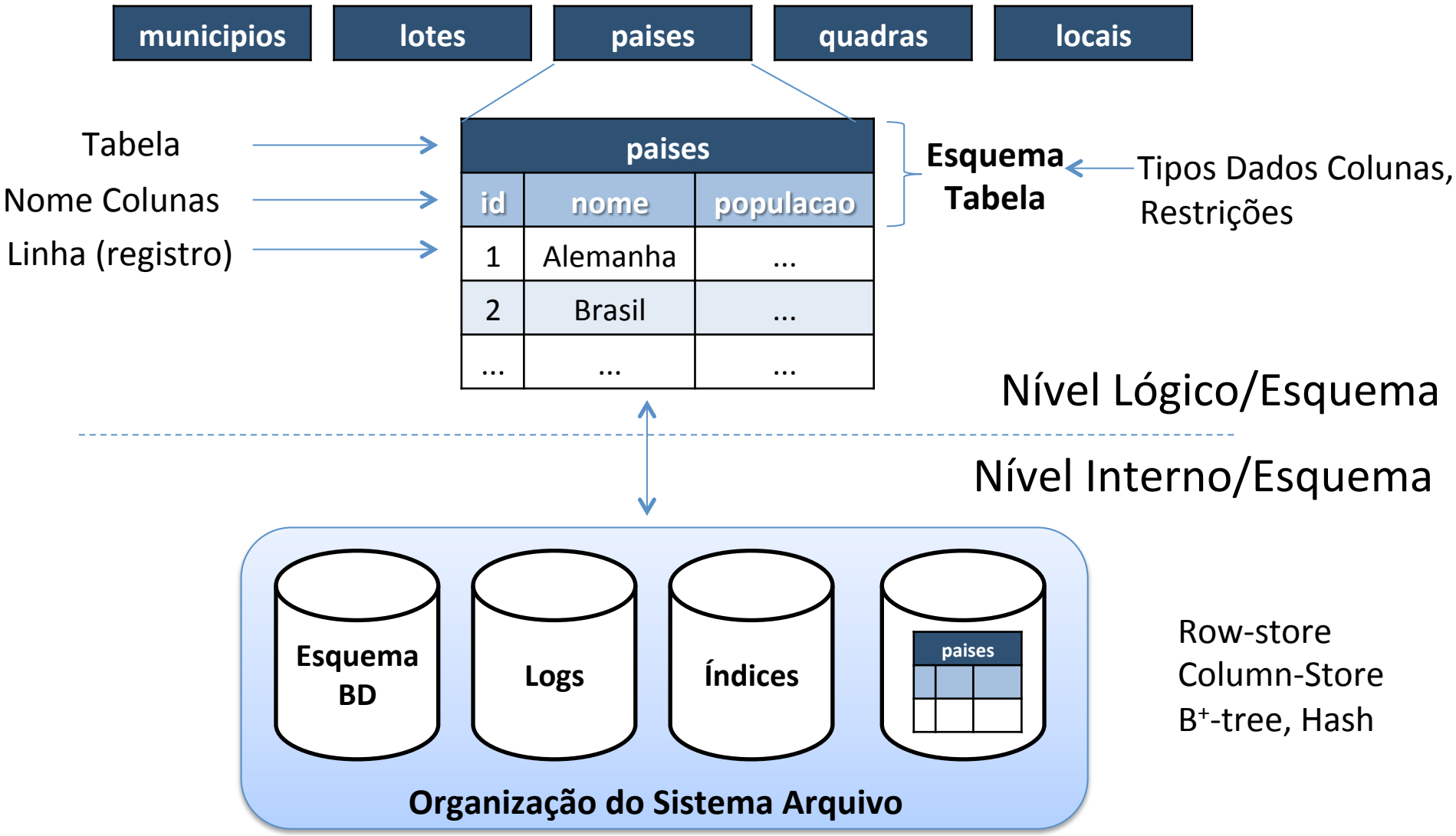
- Problema: Como processar de forma eficiente as consultas?
  - Através do uso de estruturas de dados conhecidas como Índices ou Métodos de Acesso;

- Os índices reduzem o conjunto de objetos a serem verificados durante o processamento das consultas:
  - Normalmente, uma consulta envolve apenas uma pequena parcela do banco de dados;
  - Neste caso, percorrer todo o banco pode ser bastante ineficiente;
  - Portanto, um plano de execução eficiente para a consulta tipicamente considera a existência de índices.



Registros de um arquivo e o índice associado a este arquivo

Independência Física dos Dados



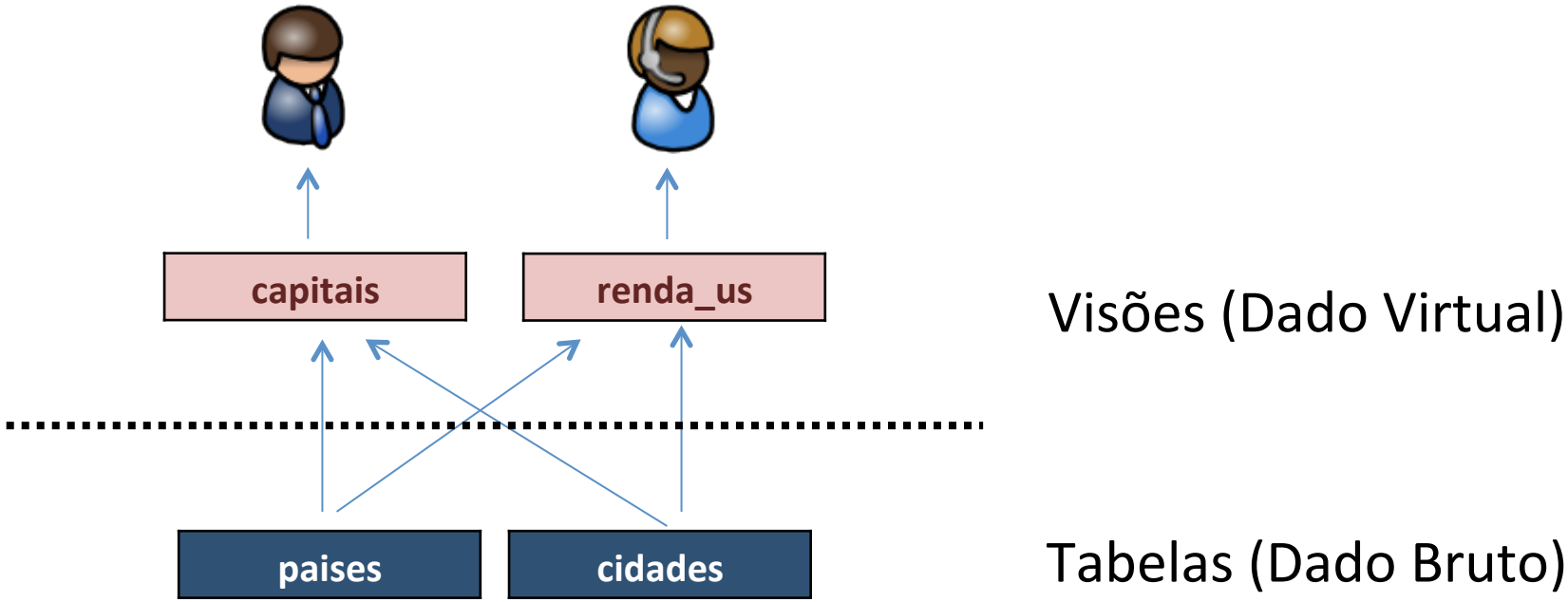
Fonte: Adaptado de Gray (1996)

Como a independência física é alcançada?

- Esquema do Banco de Dados:
  - Uma característica fundamental de um SGBD-R é que ele não contém apenas os dados brutos sobre o domínio de interesse;
  - Todo SGBD-R mantém a definição ou descrição da estrutura do banco de dados (*self-describing*);
  - Essas informações são mantidas no catálogo do sistema (ou dicionário do sistema) e são denominadas de metadados do banco de dados.
  - Na prática os SGBD-R armazenam essas informações de definição em tabelas do próprio sistema (tabelas de metadado ou tabelas do catálogo).
- O modelo de dados relacional fornece para as aplicações uma abstração independente da representação física dos dados.

Visões (Views)

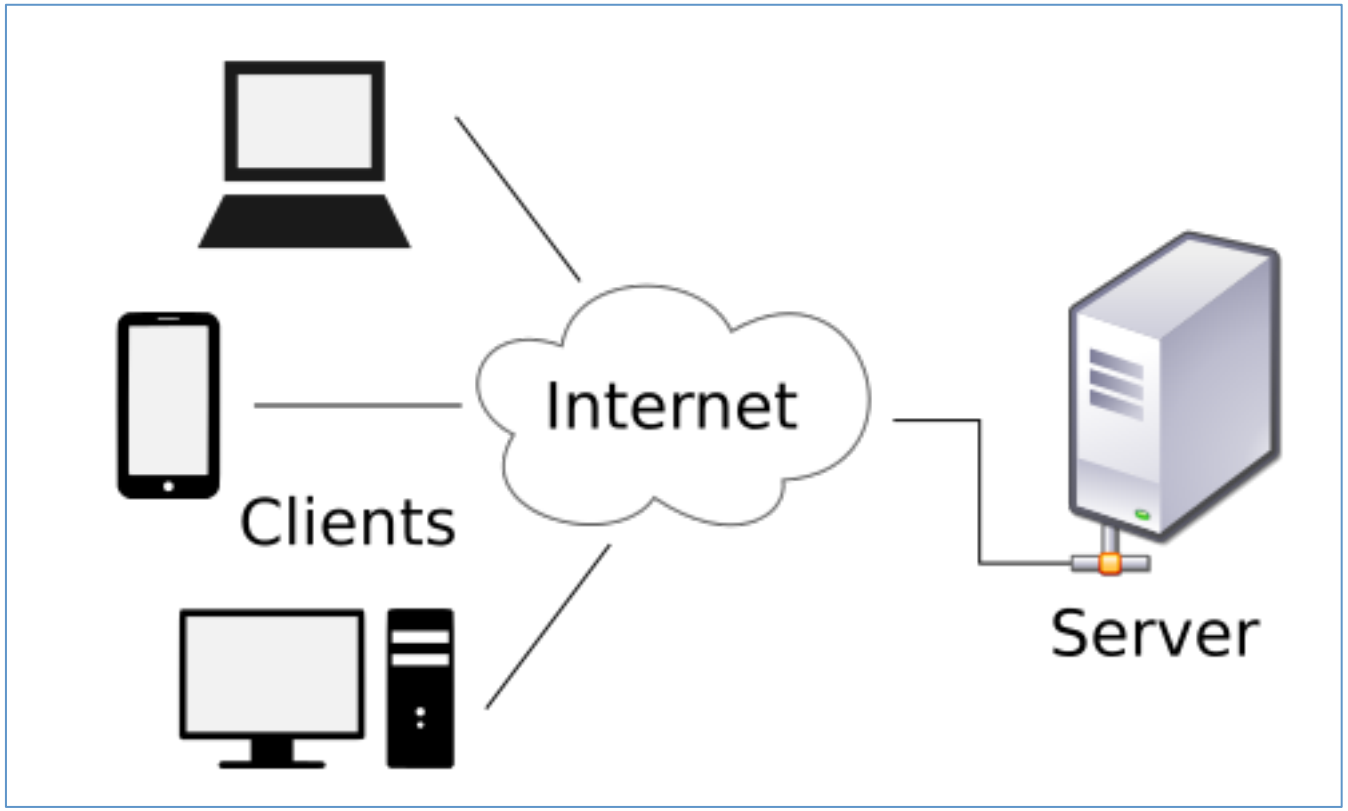
- Muitas vezes pode ser necessário fornecer diferentes perspectivas do banco de dados dependendo do usuário. Uma visão (ou view) pode ser:
  - um subconjunto dos dados do banco de dados
  - pode conter dados derivados do banco de dados



Arquiteturas de SGBD-R

- Cliente/Servidor
- Embutido (ou embarcado)
- Em memória (In-memory)
- Paralelos/Distribuídos
- Armazenamento Linha x Coluna

Arquiteturas de SGBD-R: Cliente Servidor

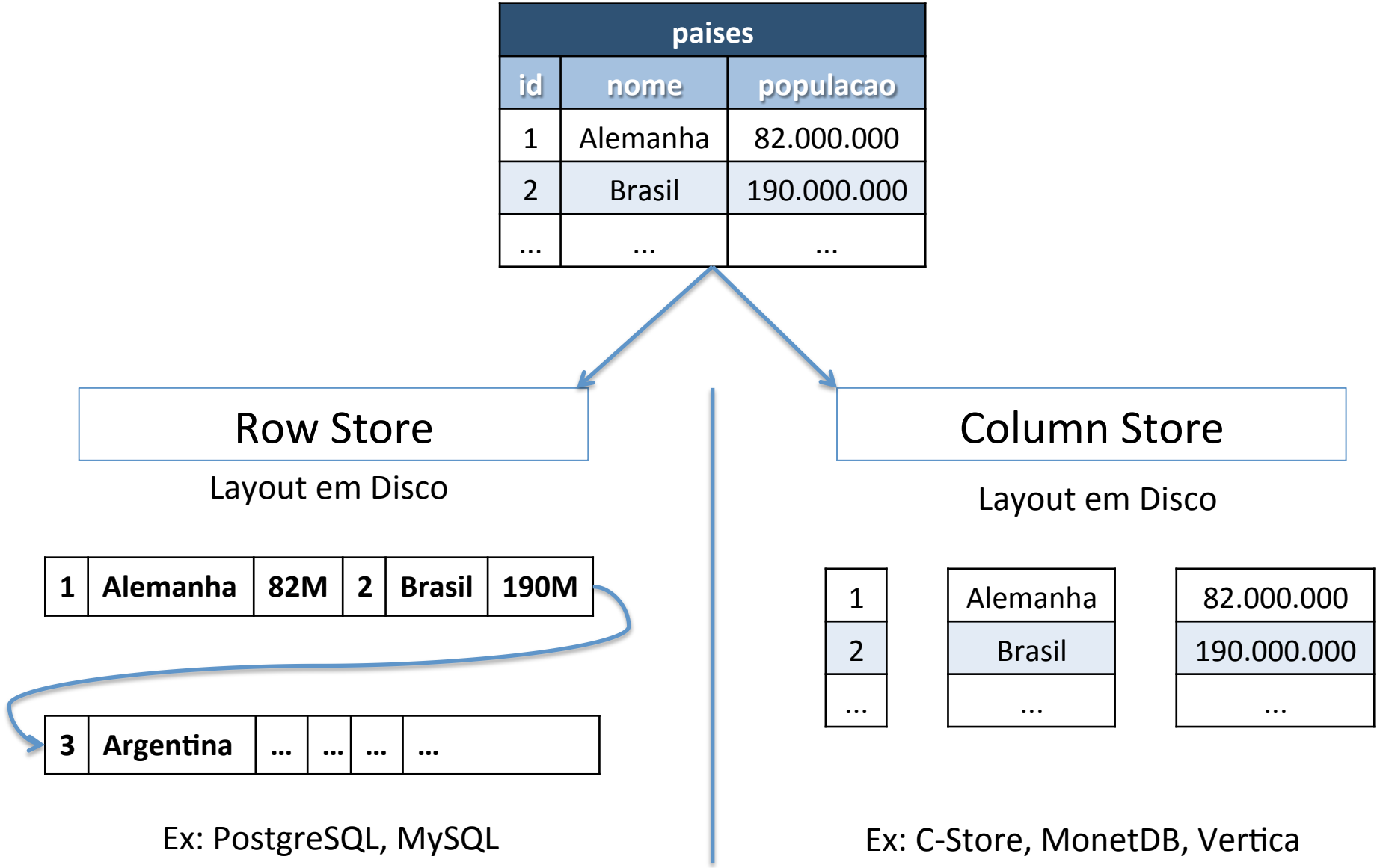


Fonte: Wikipedia

Arquiteturas de SGBD-R: Embedded

```c
#include <sqlite3.h>

int main(int argc, char** argv) {
    int rc = sqlite3_open("/opt/data/mydb.sqlite", &db);

    if(rc) {
        fprintf(stderr, "Can't open database: %s\n", sqlite3_errmsg(db));
        sqlite3_close(db);
        return EXIT_FAILURE;
    }

    rc = sqlite3_exec(db, "Select * from tabela", callback, 0, &zErrMsg);

    if( rc!=SQLITE_OK ){
       char* zErrMsg = 0;
      fprintf(stderr, "SQL error: %s\n", zErrMsg);
      sqlite3_free(zErrMsg);
    }

    sqlite3_close(db);
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

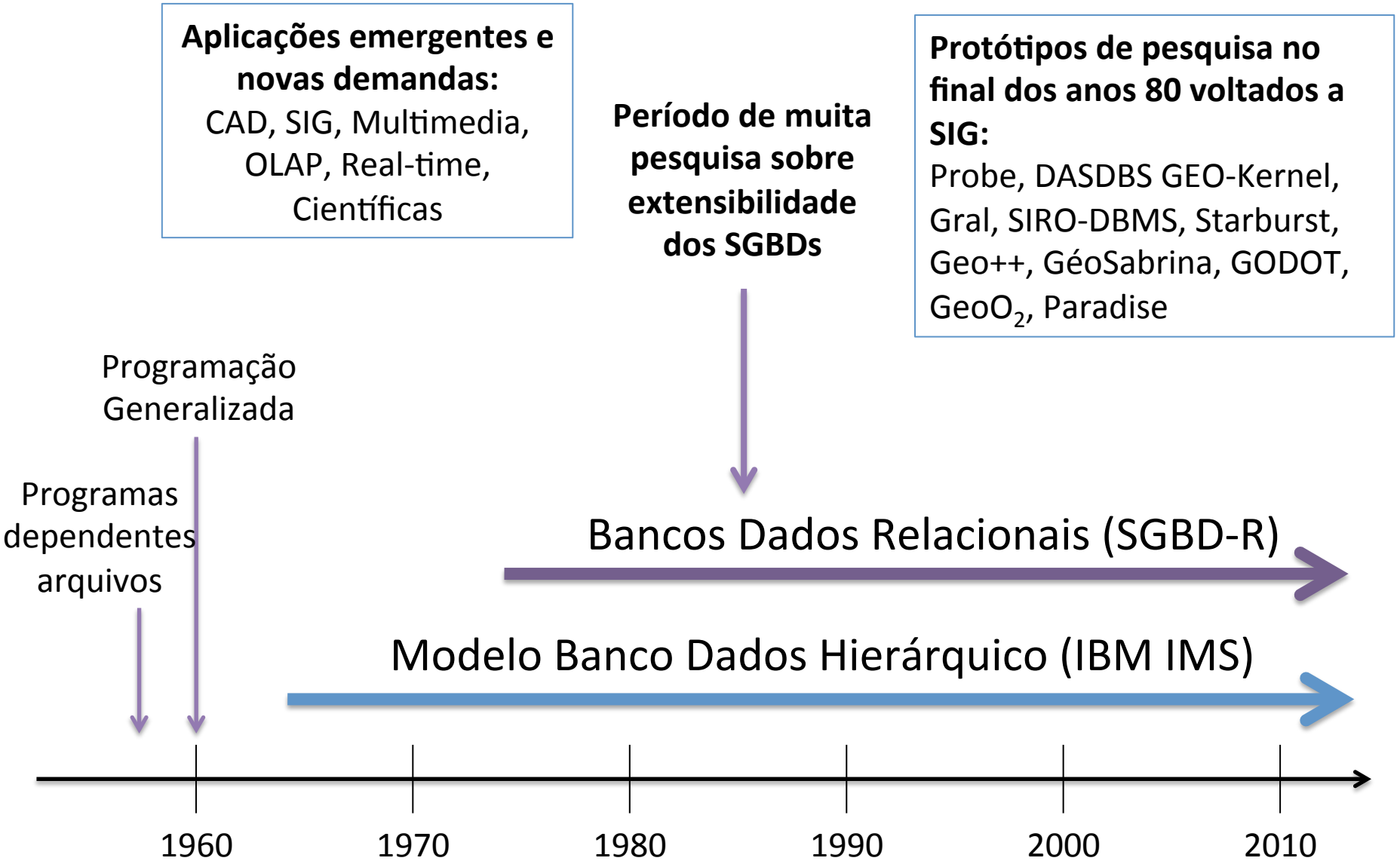
Arquiteturas de SGBD-R: row x column store



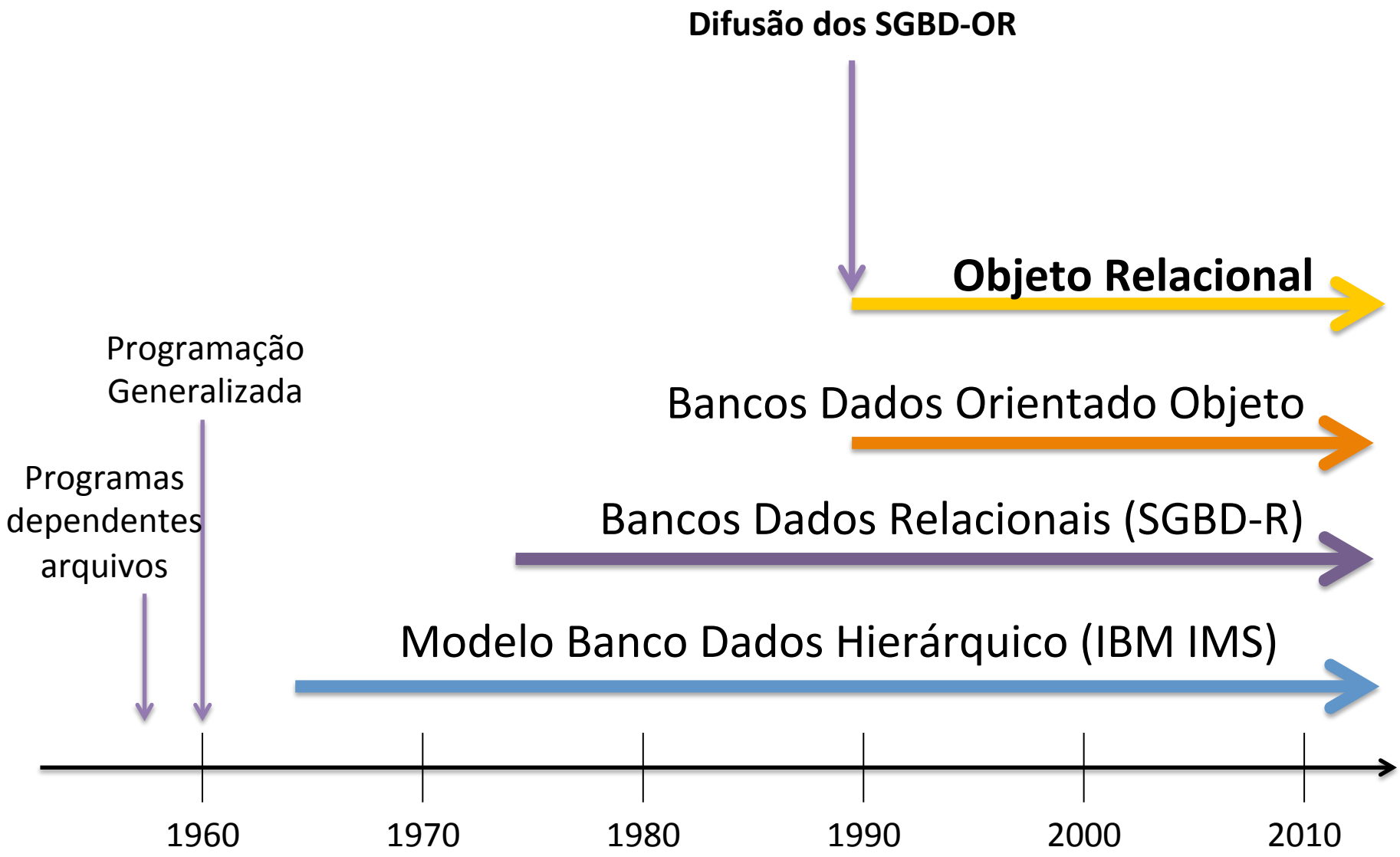
Outros Conceitos Importantes

- Projeto de bancos de dados:
  - Modelo Entidade-Relacionamento (ER).
- Normalização:
  - Evitar anomalias com o projeto do banco de dados.
- Transações (ACID).
- Gatilhos (Trigger).
- Procedimentos Armazenados (Stored Procedure).

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

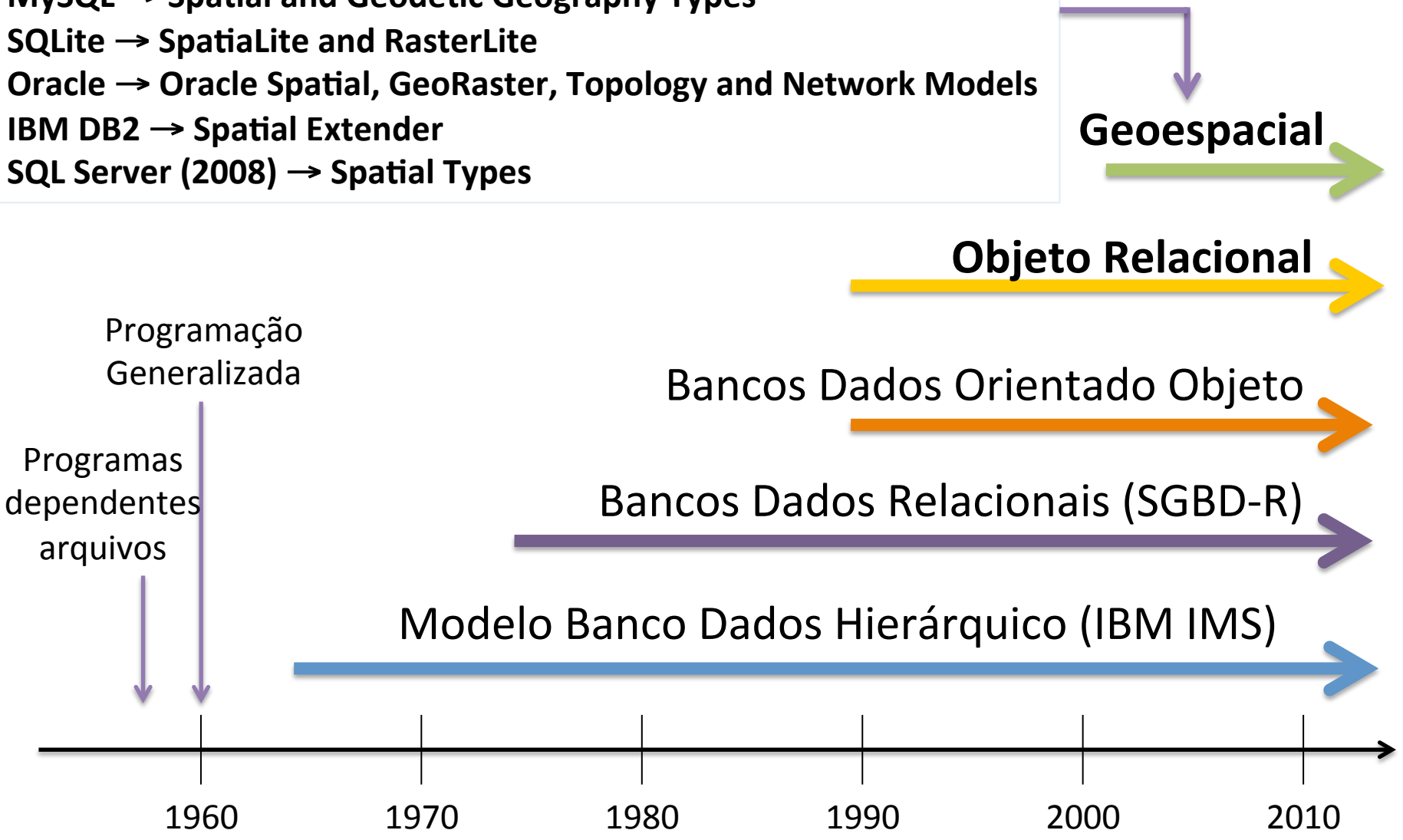
SGBD-OR: UDTs mais Complexos

```
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;
...
```

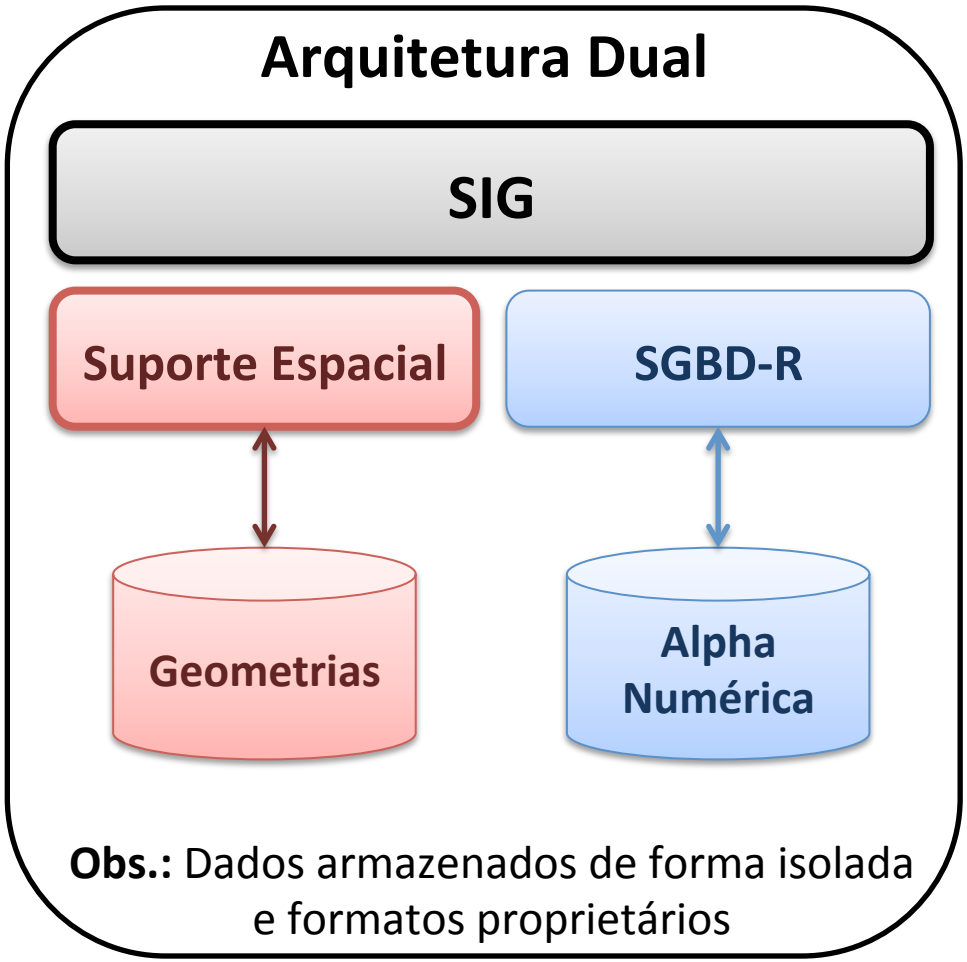
Evolução das Tecnologias de Bancos Dados

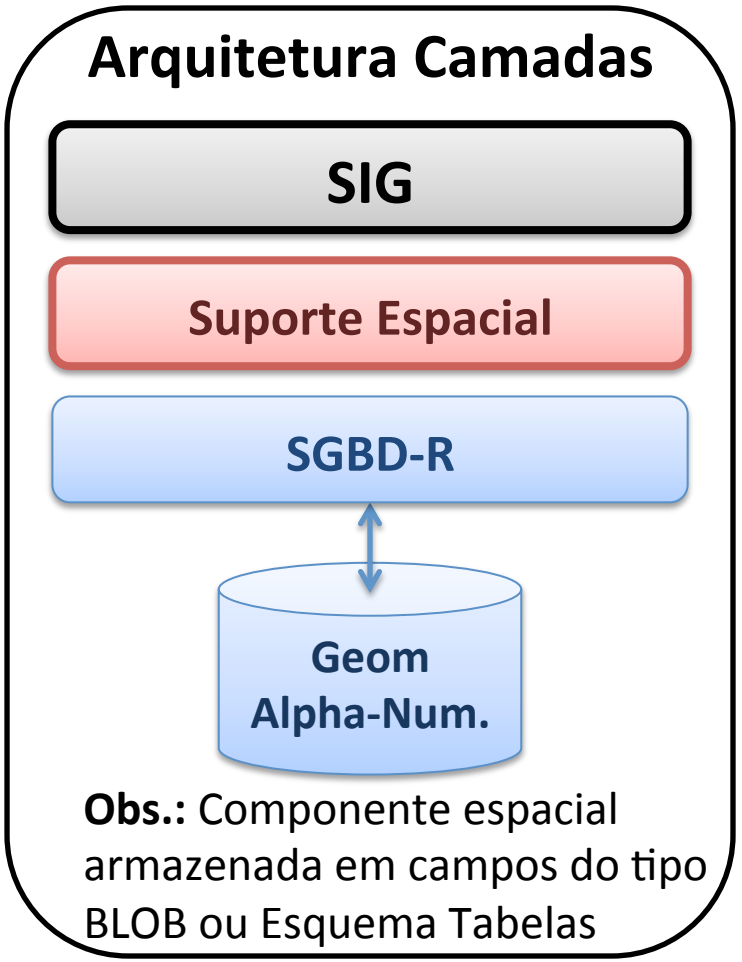
PostgreSQL → PostGIS
MySQL → Spatial and Geodetic Geography Types
SQLite → SpatiaLite and RasterLite
Oracle → Oracle Spatial, GeoRaster, Topology and Network Models
IBM DB2 → Spatial Extender
SQL Server (2008) → Spatial Types



SIG e SGBD-R

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





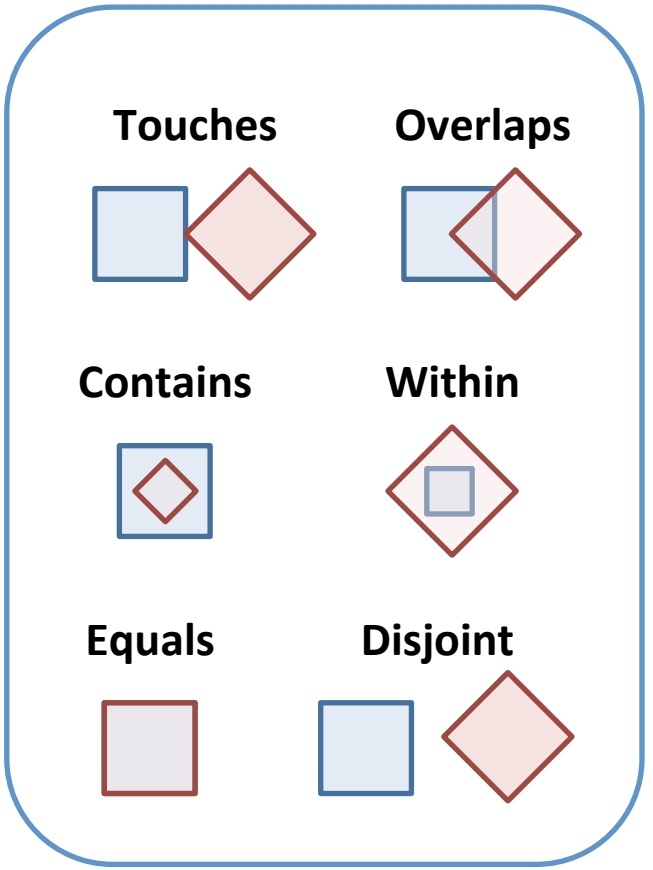
SIG e SGBD-R: Como passou a ser esta integração?

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

Tabelas com feições: geometrias vetoriais

paises			
id	**nome**	**populacao**	**fronteira**
1	Alemanha	82.000.000	
2	Brasil	190.000.000	
...	...	...	...

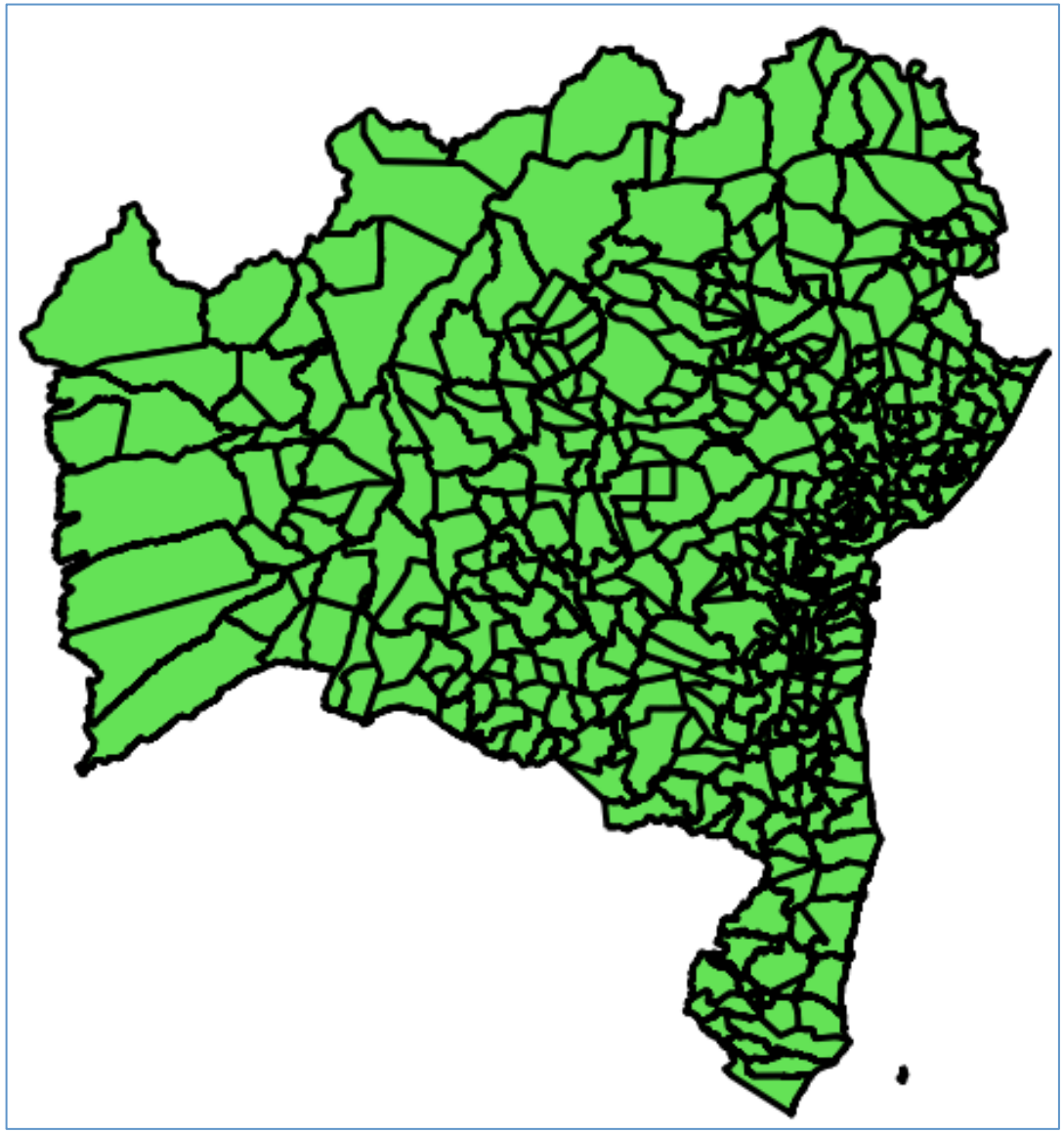
Operações espaciais



SGBD-R com Suporte Espacial

Exemplo: PostGIS Geometry

Tabela: ba_municipios



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

Tabela: terras_indigenas

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

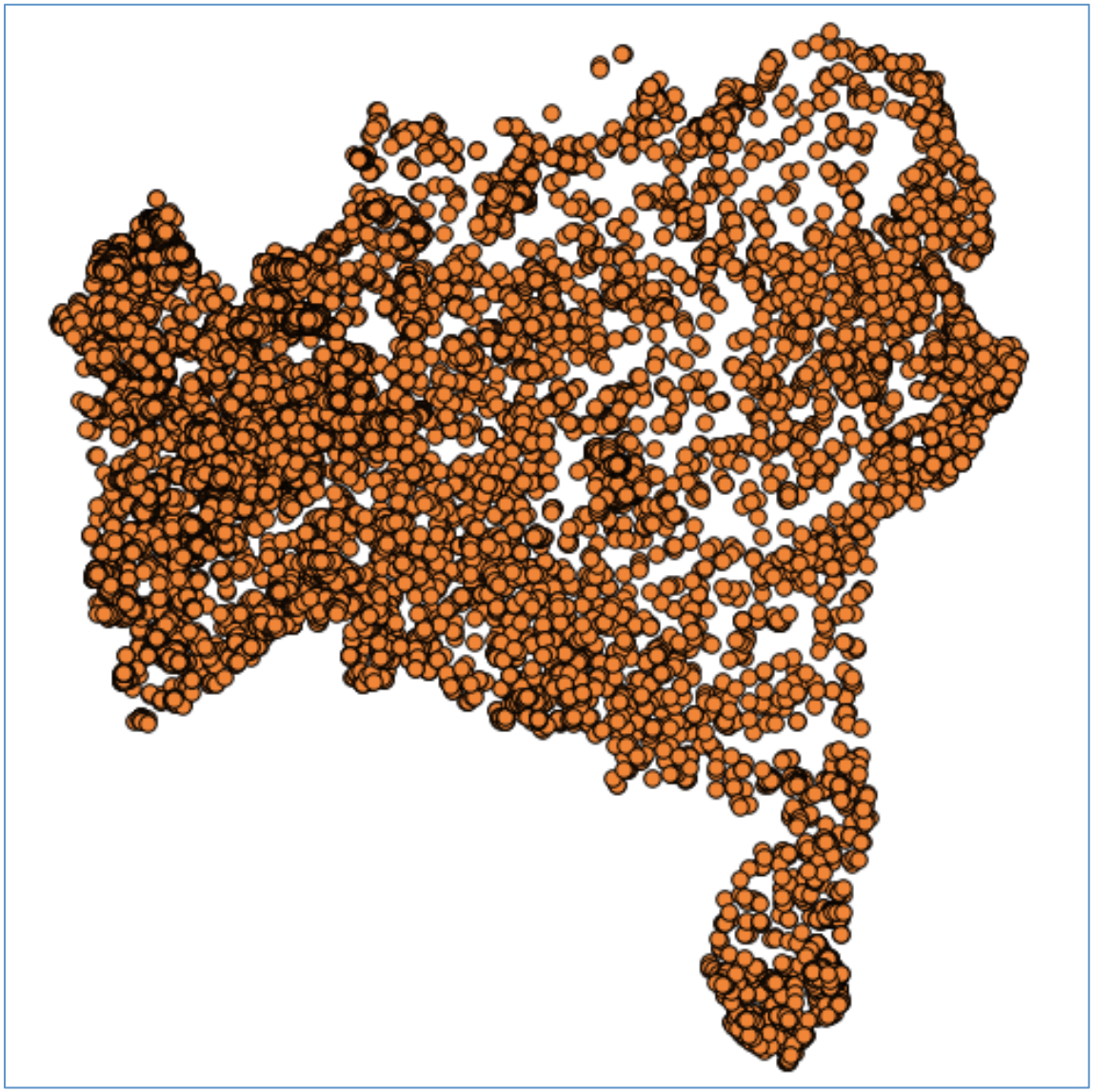
- **Pergunta:** Quais as áreas de terras indígenas na Bahia?

```
SELECT m.gid, m.nome_munic, t.nometi
  FROM ba_municipios m, terras_indigenas t
 WHERE ST_Intersects(m.geom, t.geom)
```

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 Cabráli	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 Cabráli	Mata Medonha
27	311	Porto Seguro	Imbiriba

Tabela: focos



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

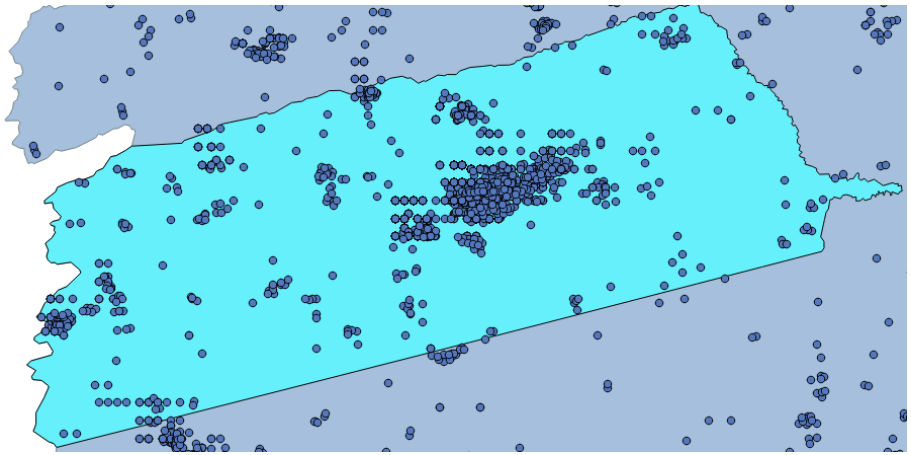
Codificação dos caracteres :
LATIN1

Fonte do dado:
INPE

Consulta Espacial

- **Pergunta:** Em qual município da Bahia foi detectado maior número de focos?

```
SELECT m.gid, m.nome_munic, COUNT(*) AS num_focos
  FROM ba_municipios m, focos f
 WHERE ST_Contains(m.geom, ST_Transform(f.geom, 4674))
GROUP BY m.gid, m.nome_munic
ORDER BY num_focos DESC
 LIMIT 1
```



R.

Correntina	2045

Consulta Espacial

- **Pergunta:** Algum foco de incêndio foi detectado em terras indígenas?

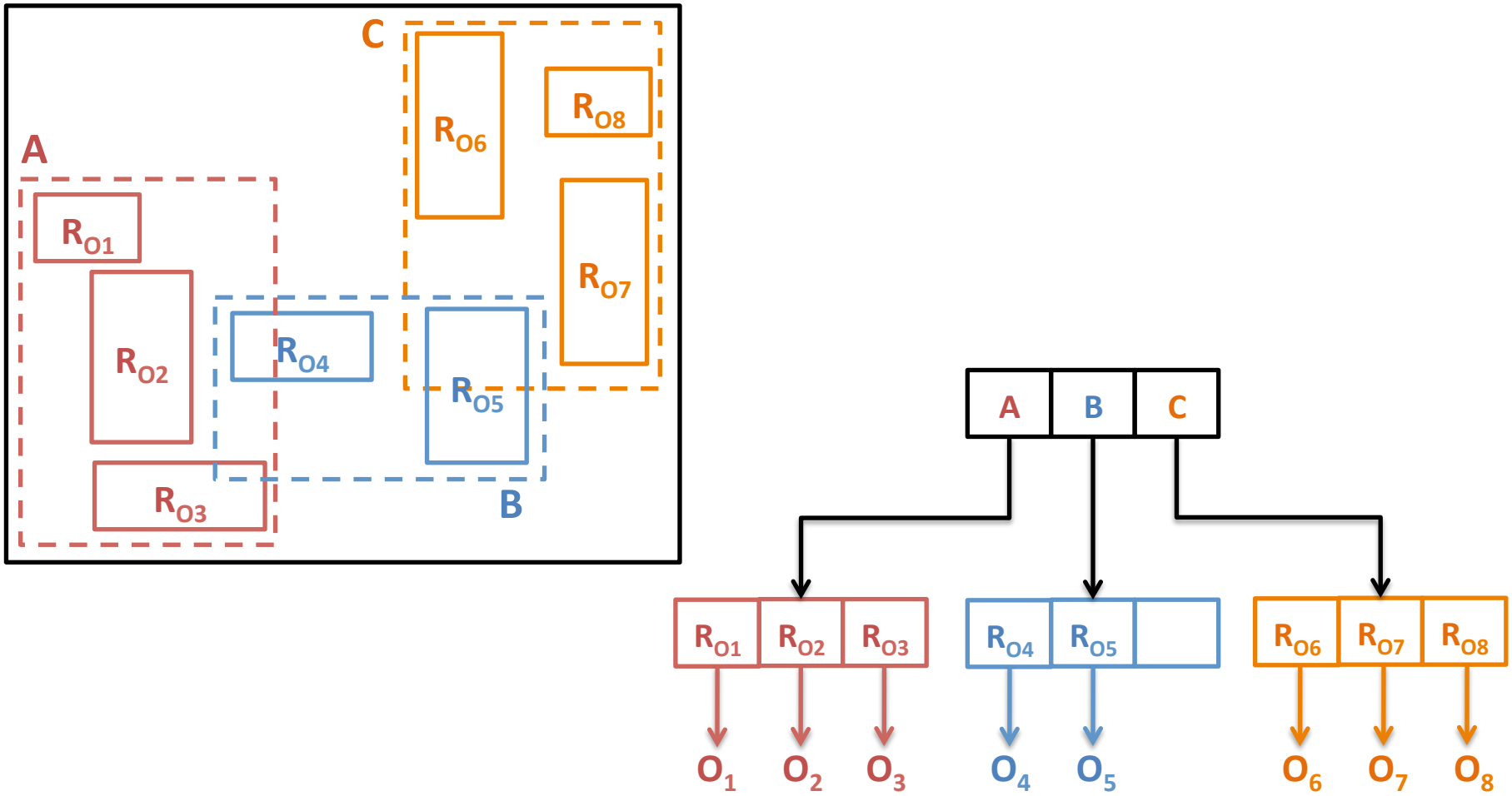
```
SELECT t.gid, MAX(nometi), COUNT(*) AS num_focos
  FROM terras_indigenas t, focos f
 WHERE ST_Contains(t.geom, ST_Transform(f.geom, 4674))
GROUP BY t.gid
```

	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

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

Índices Espaciais (Árvores-R, Quadtrees, Fixed-Grid)

Exemplo: R-Tree:



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

Discussão: Como Armazenar e Gerenciar Dados Matriciais?

Solução 1: Usando um SGBD-R com suporte matricial

PostGIS Raster

Oracle GeoRaster

Solução 1: Usando um SGBD-R com suporte matricial

PostGIS Raster 

Oracle GeoRaster

PostGIS Raster

Raster (Matricial - Células Multibandas)

Visão do espaço na forma de uma grade retangular,
com células contendo uma ou mais valores numéricos

PostGIS Raster

- O projeto do PostGIS Raster possibilita trabalhar com vários casos de uso com imagens:
  - Armazém de imagens (possivelmente não relacionados)
  - Tiles:
    - Regulares ou irregulares (pode ter missing tiles)
  - *in db* x *out db storage*

- Novas visões com metadados das imagens:
  - raster_columns
  - raster_overviews

PostGIS Raster → SQL

- Table creation:

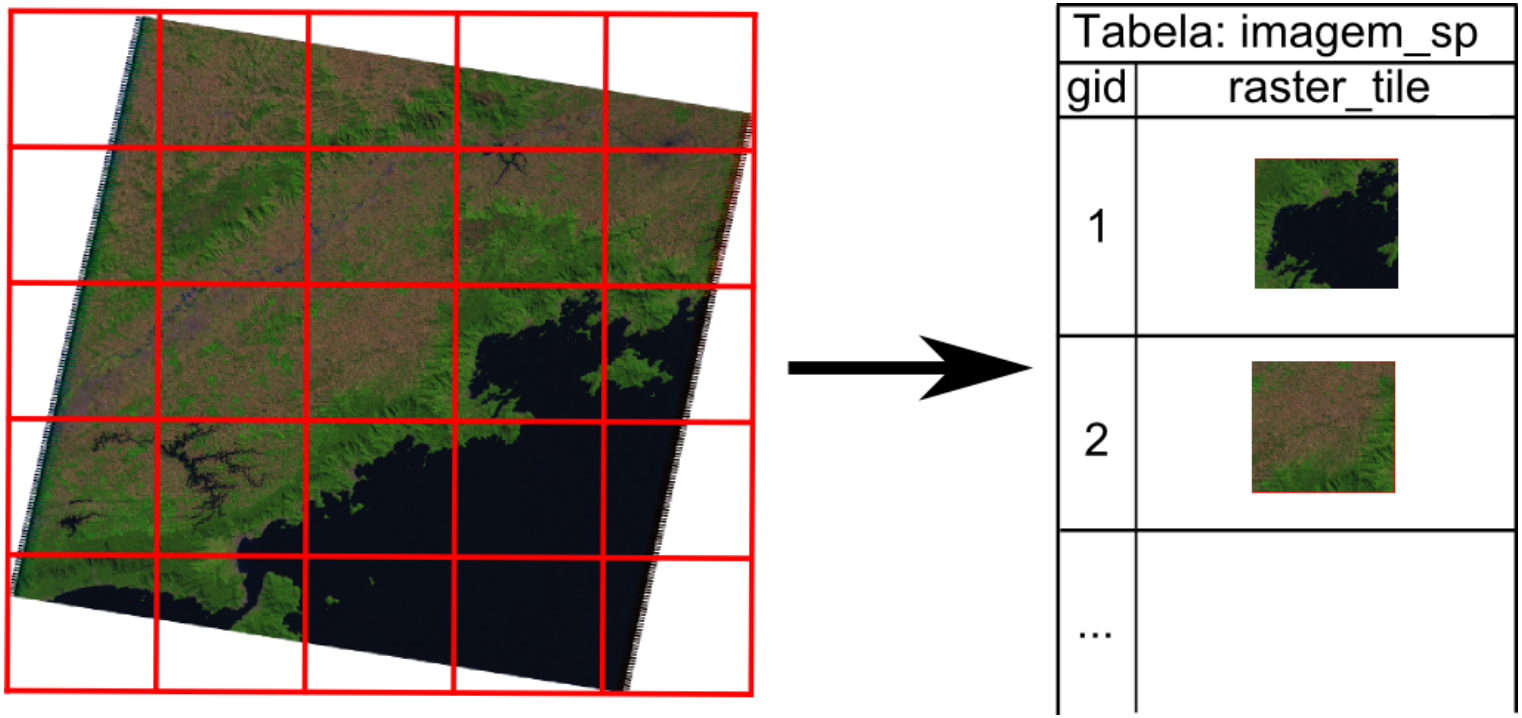
```
CREATE TABLE raster_table
( rid SERIAL PRIMARY KEY,
  rast RASTER
);
```

- Spatial index creaton:

```
CREATE INDEX spidx_table_col ON raster_table
                USING gist(ST_ConvexHull(raster-col));
```

Organizando uma imagem em blocos (Tiles)

- Uma estratégia muito comum dos SIG é particionar uma imagem em blocos durante o armazenamento.
- O PostGIS raster suporta esta estratégia de armazenamento.



Carregando um raster para o banco:

raster2pgsql

raster2pgsql

- Ao executar o comando:

```
$ raster2pgsql -?
```

- recebemos uma mensagem informando a versão da GDAL:

```
RELEASE: 2.1.6 GDAL_VERSION=111 (r13384)
```

- A sintaxe básica deste comando é:

```
raster2pgsql [<options>] <raster>[ <raster>[ ...]]
[[<schema>.]<table>]
```

- Múltiplos rasters podem ser especificados usando: * , ?.

Importando a imagem bahia.tif

```
$ raster2pgsql -c -C -P -r -s 31984 -I –M
 -t 128x128 bahia.tif
 public.img_bahia > img_bahia.sql
```

- Onde:
  - -s 31984
  - -c: criar uma nova tabela e populá-la;
  - -C: aplicar algumas constraints;
  - -r: aplicar constraints de blocagem regular;
  - -t: tile size;
  - -I: criar índice espacial sobre a coluna raster;
  - -M: executar vacuum analyze na tabela raster.

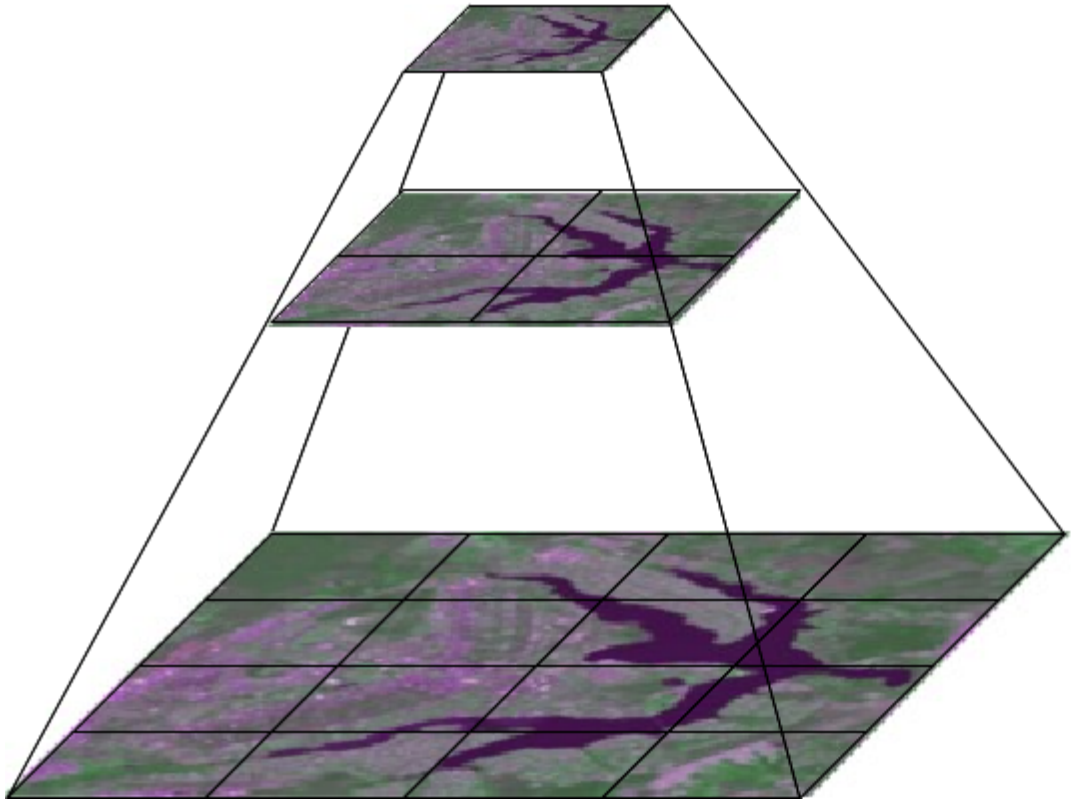
- Importar para o banco:

```
$ psql –U postgres -d bdgcurso –f img_bahia.sql
```

Visualizando tabelas raster com o Quantum GIS

Overviews (Pirâmides/Multi-resolução)

- Parâmetro raster2pgsql: `-l 2,4`



$R_2 = R \times 2^2$

$R_1 = R \times 2^1$

$R_0 = R \times 2^0$

Importando imagens com multiresolução

```
$ raster2pgsql -c -C -P -r -s 31984 -I -M
 -t 128x128 -l 2,4,8,16 bahia.tif
 public.img_bahia_mr > img_bahia_mr.sql
```

- Importar para o banco:

```
$ psql –U postgres -d bdgcurso –f img_bahia_mr.sql
```

Processamento de Imagens no SGBD

```
-- Fazendo um clip da imagem CBERS
CREATE TABLE recorte_raster AS
   SELECT ST_Clip(rast,
          ST_Buffer(ST_Centroid(ST_Envelope(rast)), 100),
          false)
     FROM img_brasilia_cbers
     WHERE rid = 2100;
```

Discussão: Atualmente, não há um padrão bem definido para as extensões matriciais.

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

Armazenamento baseado em modelos topológicos.

Redes espaciais: roteamento, análise de fluxo.

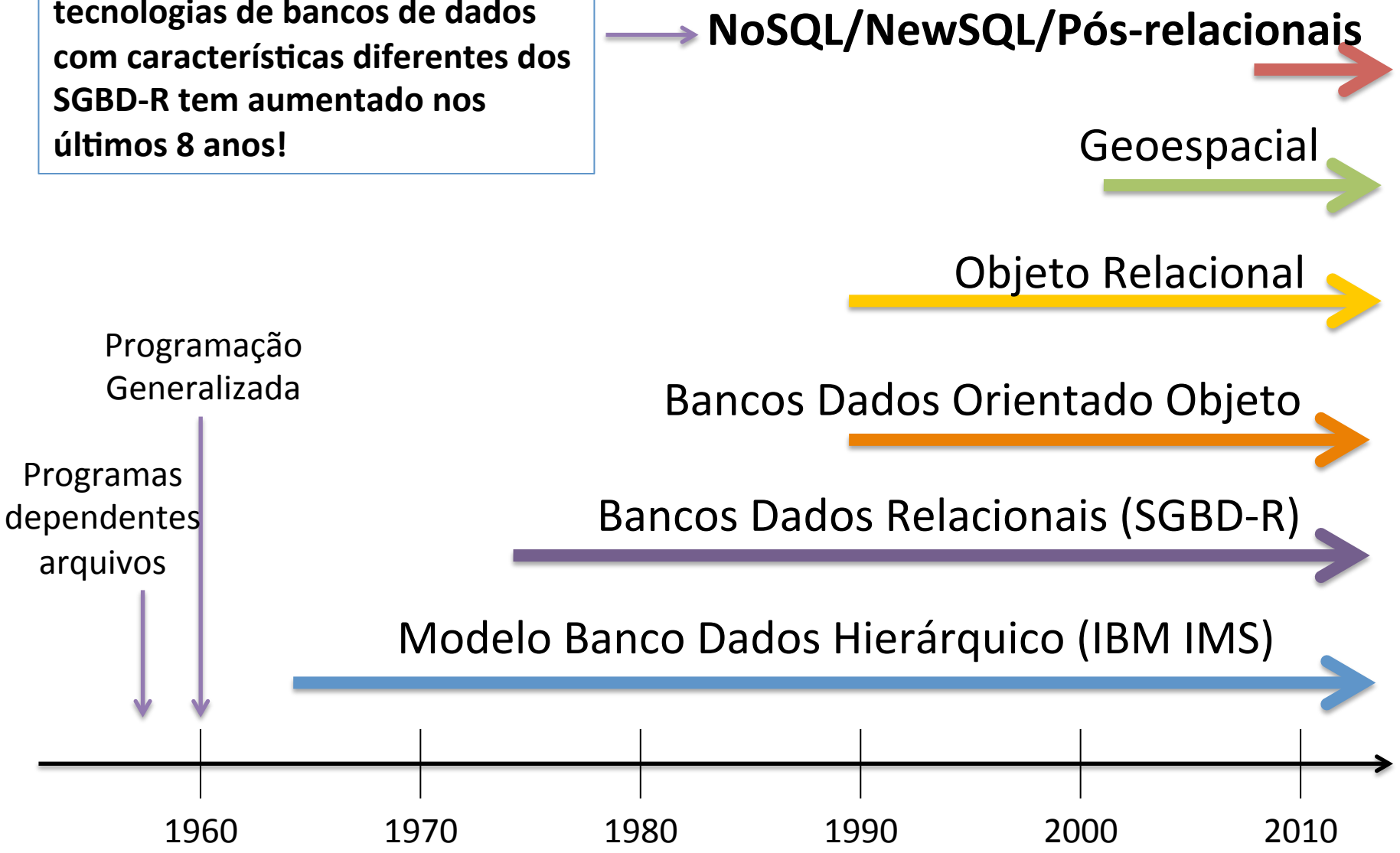
Bancos de Dados x Information Retrieval

- Bancos de dados → Informações estruturadas
  - Esquemas
  - SQL

- IR → mais voltado para informações não estruturadas como processamento de documentos e texto livre.
  - Web Search Engines
  - SVM (Support Vector Machines)

Evolução das Tecnologias de Bancos Dados

Interessante: o número de tecnologias de bancos de dados com características diferentes dos SGBD-R tem aumentado nos últimos 8 anos!



O “cardápio” de opções aumentou?

- *Sistemas Não-Relacionais* ou *Not Only SQL* ou *Pós-relacionais*:
  - http://nosql-database.org/
  - https://en.wikipedia.org/wiki/NoSQL

- Diferentes modelos de dados:
  - Document Oriented: MongoDB, CouchDB;
  - Column Stores: Cassandra;
  - Graph Databases: OrientDB, Neo4J;
  - Array Databases: SciDB, Rasdaman.

- Nem todos são baseados no paradigma de transações ACID.

- Escalabilidade: Horizontal x Vertical

Suporte Espacial em NoSQL

- MongoDB
- CouchDB
- Apache Solr
- Neo4J Spatial

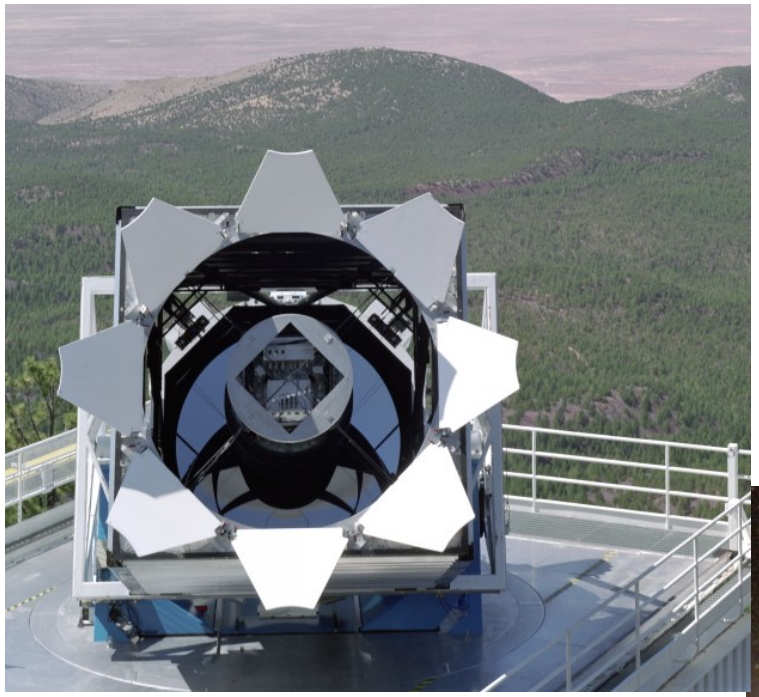
Reflexão: Existe algum problema com o projeto do suporte Raster dos atuais SGBD-R?

Como lidar com os requisitos de aplicações de EO que podem necessitar como entrada dados massivos?

Os dados utilizados em diversas áreas da Ciência encontram-se na forma de **Arrays**

Arrays = Matrizes

Imagens de Telescópios Astronômicos



The SDSS survey telescope
(Sacramento Mountains)

Fonte: The Sloan Digital Sky Survey

Sloan Digital Sky Survey / SkyServer

- Em operação desde 2000
- SDSS I e II (2000-2008):
  - 10 TiB raw data, 120 TiB processados
- SDSS III

Fonte: Takar (2013)

Messier 51, The Whirlpool Galaxy

Biologia: Genoma, Máquinas de Sequenciamento

Fonte: Schatz and Langmead (2013)

DNA -> blueprint for all living organisms

Genomics: Source of big data

Large dense matrix of floating point numbers

Analytics: Regression, Covariance, Biclustering, SVD, Statistics

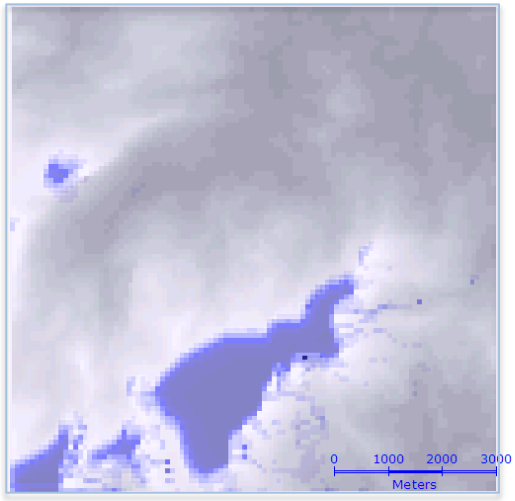
Fonte: Taft et al. (2013)

Some projects:

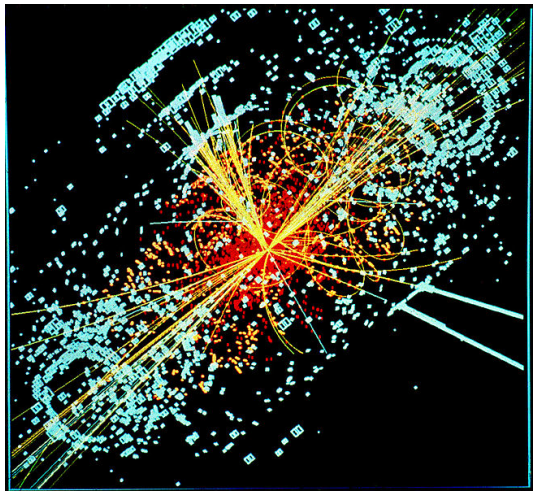
- ✓ The Human Genome Project (HGP)
- ✓ 1000 Genomes
- ✓ Stanford Microarray database

Simulação Computacional

Fonte: (Carneiro, 2006)

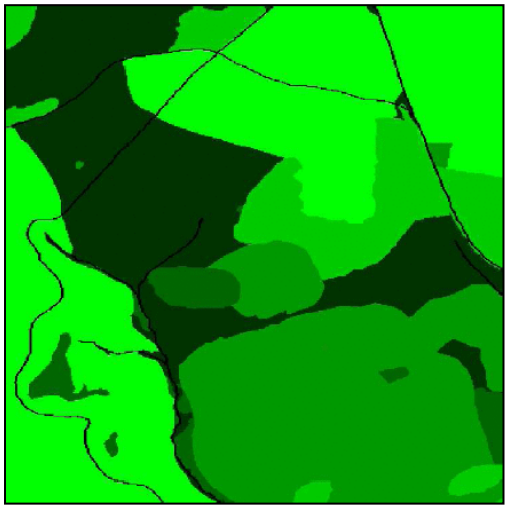


Fonte: Wikipedia

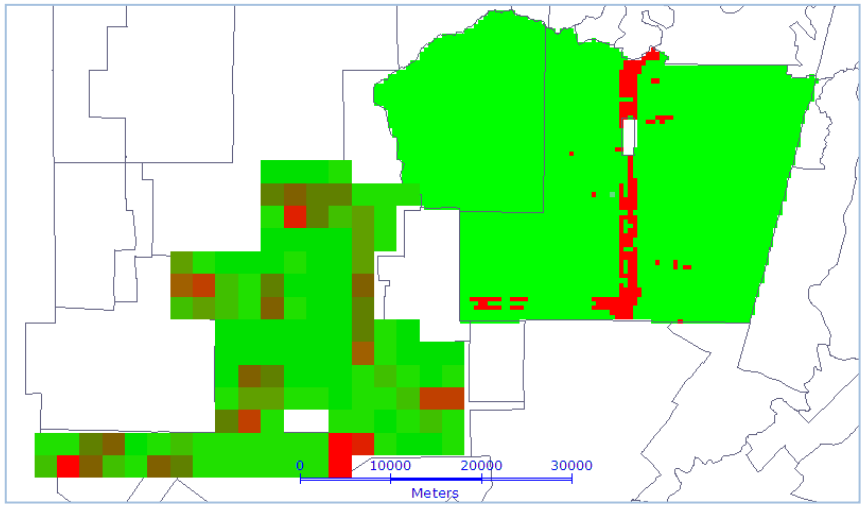


Simulated Large Hadron Collider CMS particle detector data depicting a Higgs boson produced by colliding protons decaying into hadron jets and electrons

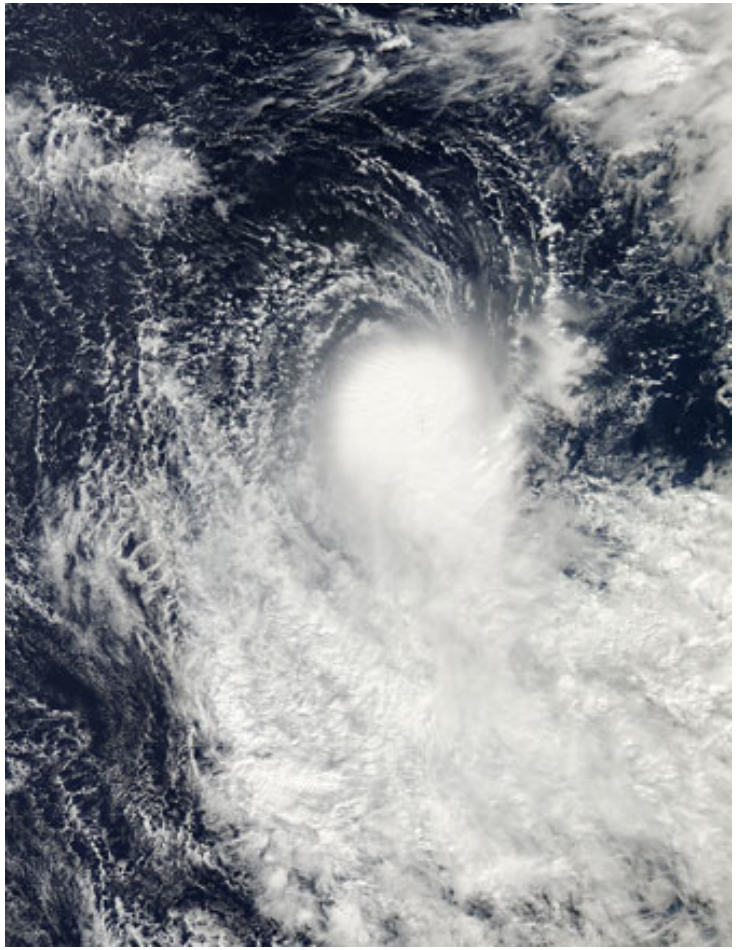
Fonte: (Almeida et al, 2008)



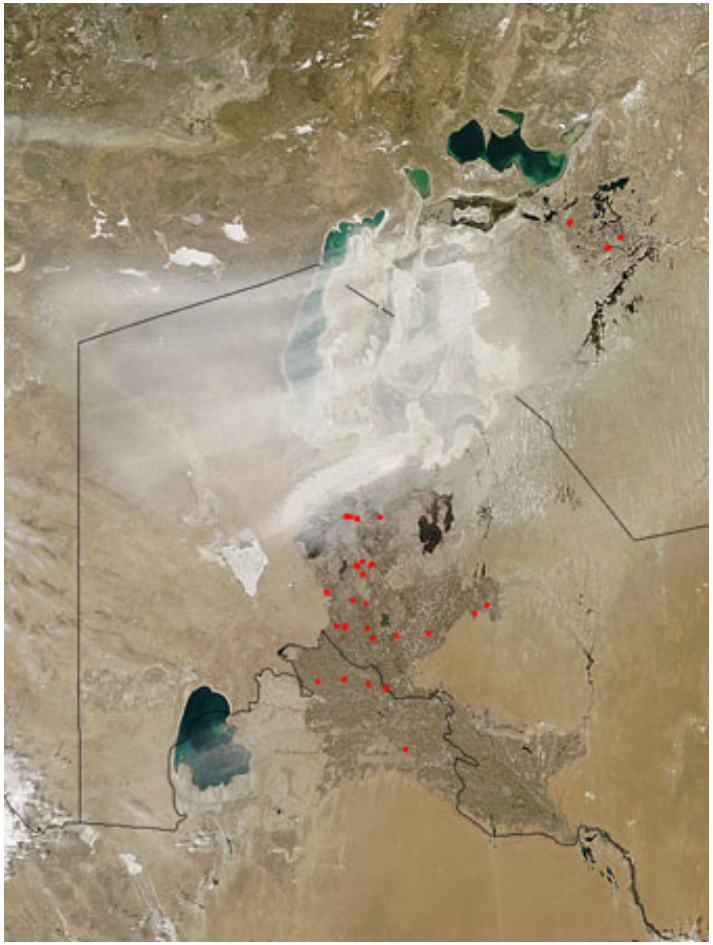
Fonte: (Carneiro, 2006)



Dados Geoespaciais: imagens de satélite



Tropical Cyclone Jack (24S) in the South Indian Ocean
Fonte: http://modis.gsfc.nasa.gov (Abril, 2014)



Spreading dust storm over the Aral Sea
Fonte: http://modis.gsfc.nasa.gov (Abril, 2014)

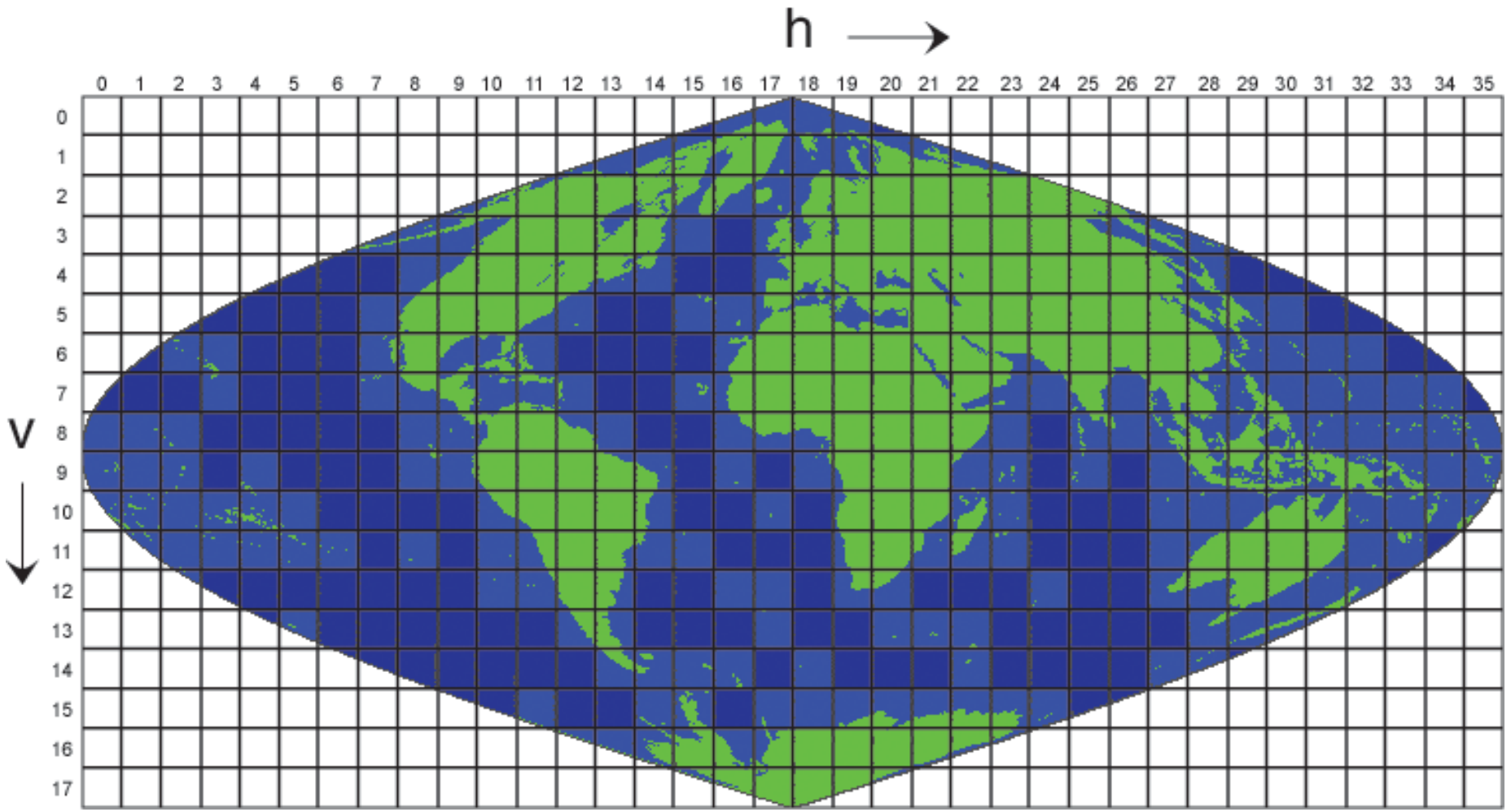
Arrays: A.K.A.

- Raster data
- Regularly gridded data
- Multi-Dimensional Discrete Data (MDD)
- Imagens
- Dados Matriciais

Estudo de Caso em EO

Dados do Sensor MODIS

MODIS: Grade Sinusoidal



Fonte: http://nsidc.org/data/modis/data_summaries/landgrid.html

Arquivos Originais → HDF

- Cada arquivo contém 12 *subdatasets* (ou bandas):
  - 11 bandas de 16-bits;
  - 1 banda de 8-bits (*pixel reliability*).
- Arquivos de tamanho variável: ~5 MiB → ~230 MiB
- Cada tile (cena) possui 4.800 x 4.800 pixels.
- Internamente os HDFs são organizados em blocos de 4.800 x 208 pixels.
- CRS:

```
+proj=sinu +lon_0=0 +x_0=0 +y_0=0 +a=6371007.181 +b=6371007.181
  +units=m +no_defs
```

- Resolução Temporal: 16-dias

Brasil → 30 Tiles

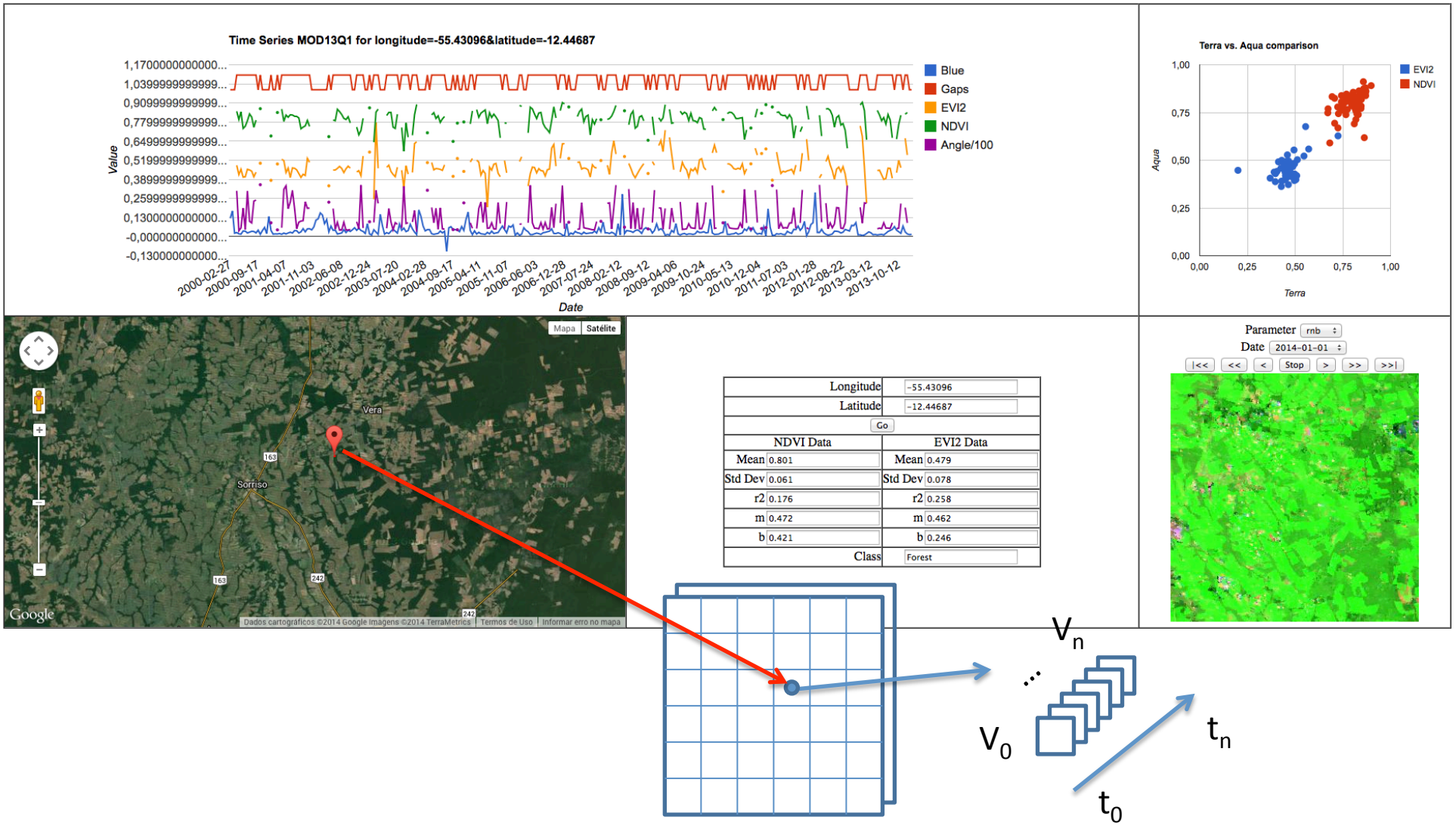
- Considerando 15 anos de observação.
- Para cada tile: 23 * 15 → 345 imagens.
- 30 tiles: 30 * 345 → 10.350 imagens.
- 1 imagem → 4800x4800 → 23.040.000 pixels.
- T_0 → 30-tiles → 691.200.000 pixels.
- 10.350 imagens: 238.464.000.000 pixels.
- Considerando apenas o atributo (banda) red-reflectance:

  238.464.000.000 x 2 bytes = 444.17 GiB

Exemplo: Mapa de Vegetação Global de Fevereiro de 2000 a Fevereiro de 2014

Fonte: NASA Earth Observatory (23 de Abril , 2014)

Exemplo: Time Series in Land Use and Land Cover Change (LUCC) Studies



Novas Tecnologias de Bancos de Dados para Dados Matriciais

Array Databases

"Arrays as first class citizens"

Solução 2: Usando um Array Database

rasdaman

SciDB

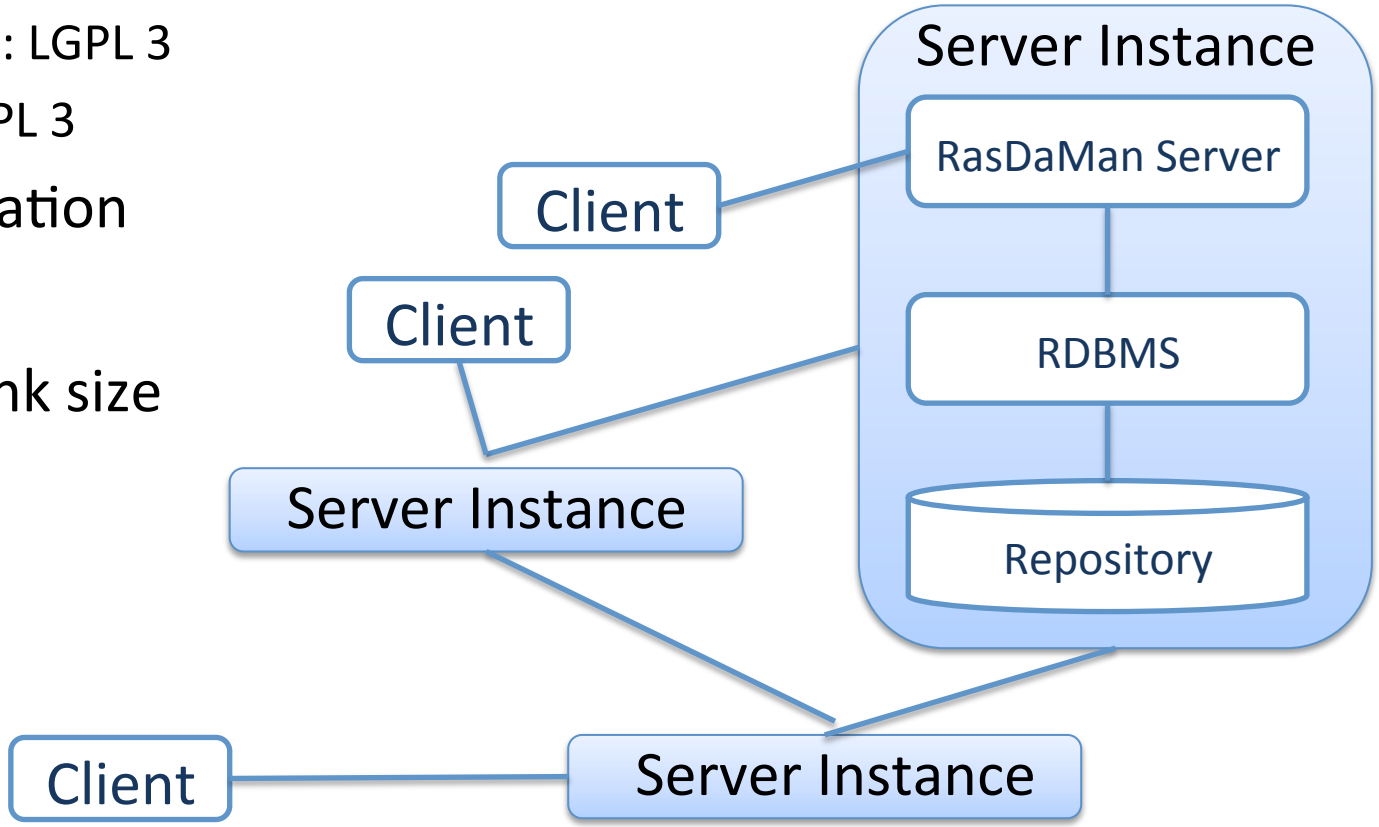
Raster **Da**ta **Ma**nager
(rasdaman)

Prof. Peter Baumann

Jacobs University, Computer Science, Bremen, Germany

rasdaman

- Domain-neutral Array Database System.
- Site: http://www.rasdaman.org
- License:
  - Client libraries: LGPL 3
  - Server side: GPL 3
- Server Federation
- OGC WCPS
- Variable chunk size



rasdaman → rasql

- Array Algebra → Embedded Query Language (SQL) → rasql
- Example:
  - "subtracting each MDD of collection mr2 from each MDD of collection mr where at least one difference pixel value is greater than 50":

```
select mr – mr2
  from mr, mr2
 where some_cells( mr – mr2 > 50 )
```

*from: rasdaman Query Language - rasdaman 9.0 – Available at: http://www.rasdaman.org

Solução 2: Usando um Array Database

rasdaman

SciDB 

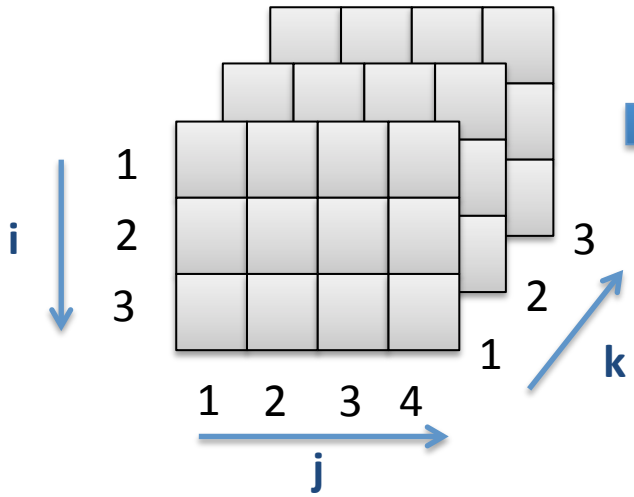
SciDB

"SciDB is an open-source analytical database oriented toward the data management needs of scientists."

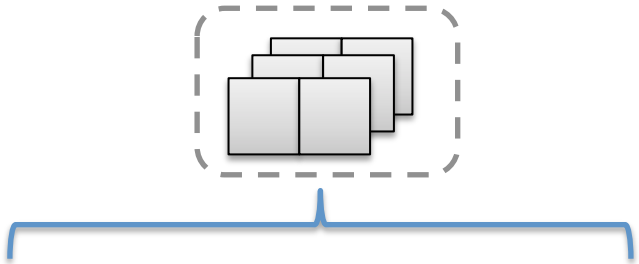
(Stonebraker et al., 2013)

Arrays, Dimensões, Atributos e Particionamento

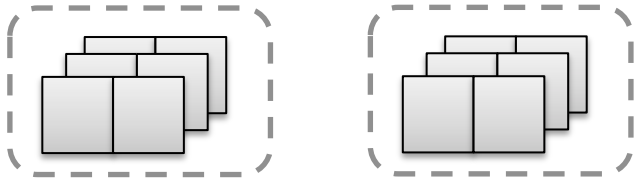
```
mod09q1
<attributes>
[j=1:4,2,1, i=1:3,1,1, t=1:*,3,0]
```



Array é dividido em chunks
chunk-size: 2 x 1 x 3



particionamento
vertical p/ atributo



chunk with
red data

chunk with
quality data

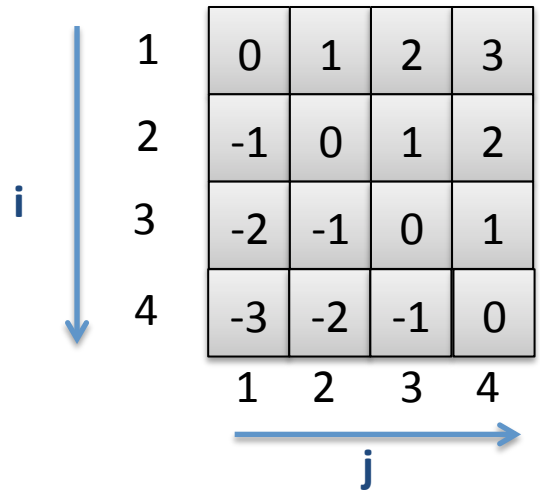
- ✓ Replicação
- ✓ Compressão
- ✓ Versionamento

Linguagens de Consulta: AQL e AFL

```
AQL% SELECT sqrt(v1) INTO a3
       FROM a1
      WHERE j = 1;
```

```
AQL% SELECT sum(v1) FROM a5 WHERE j = 1;
```

```
AFL% build(<v2:double>[j=1:4,2,1, y=1:4,2,1],
           j - i);
```

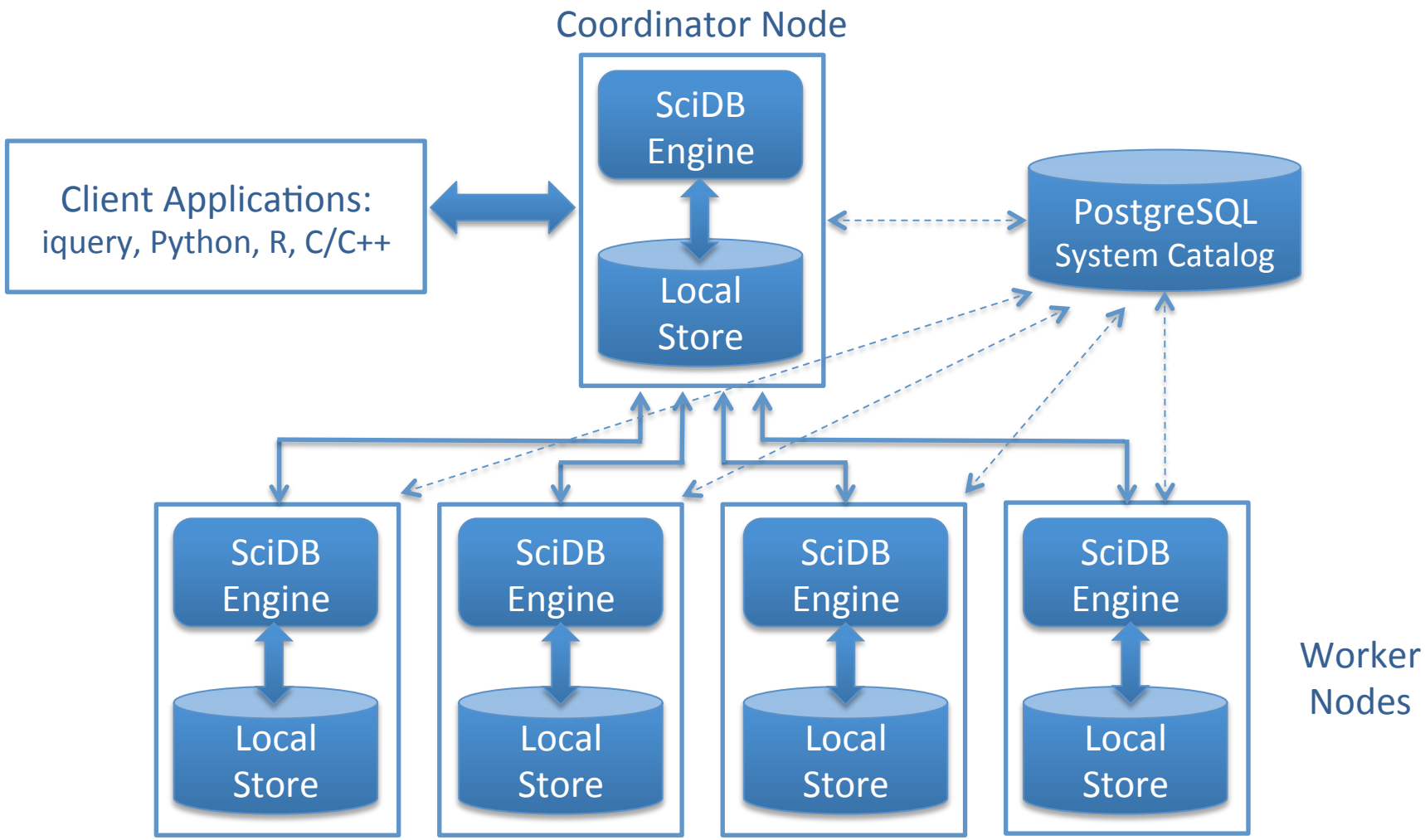


Integração com ambientes estatísticos e de álgebra linear

- R

- ScaLAPACK — Scalable Linear Algebra PACKage

Arquitetura



Source: Adapted from PARADIGM4

Behind SciDB

- Founders: Mike Stonebraker, Andy Palmer, David DeWitt, Kian-Tat Lim, Jacek Becla

  Science Advisory Board:

  - "... we have spent a large amount of time talking to scientists about their requirements from a data management system (see the "Use Cases" section of the scidb.org website) ..." Seering et al. (2012).

- Large Synoptic Survey Telescope (LSST) project:
  - Extreme Large Databases (XLDB)

- Intel Science and Technology Center for Big Data:

  http://istc-bigdata.org

- The develop team:

  Company: Paradigm4

O que não se tem no SciDB?

- Loader de matrizes multidimensionais.
- As matrizes não tem um sistema de referencia espacial associado.
- As células não possuem informações de resolução.
- Não existem operadores espaciais como clipping c/ uma máscara vetorial.
- Não se tem um suporte a definição de metadados dos arrays. (Embora o catálogo esteja no PostgreSQL!)

Referências

Livros

- ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. ***Fundamentals of database systems***. Addison Wesley, 2006. 1139p.

- DATE, C. J. ***An introduction to database systems***. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1991.

Artigos

- E. F. Codd. 1970. ***A relational model of data for large shared data banks***. *Communications of the ACM, v.* 13, n. 6, June 1970, pp. 377-387.

- Chen, P. ***The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data***. ACM Transactions on Database Systems, vl. 1, n. 1. March 1976, pp. 9-36.

- GRAY, J. ***Evolution of Data Management***. IEEE Computer 29(10): 38-46, 1996.

- Vijlbrief, T., and P. van Oosterom. ***The GEO++ System: An Extensible GIS***. Proc. 5th Intl. Symposium on Spatial Data Handling, Charleston, South Carolina, 1992, 40-50.

Artigos

- STONEBRAKER, M.; BROWN, P.; POLIAKOV, A.; RAMAN, S. ***The architecture of SciDB***. In Proceedings of the 23rd international conference on Scientific and statistical database management (SSDBM'11), Judith Bayard Cushing, James French, and Shawn Bowers (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011, 1-16.

- TAFT, R.; VARTAK, M.; SATISH, N. R.; SUNDARAM, N.; MADDEN, S.; STONEBRAKER, M. ***Genbase: a complex analytics genomics benchmark***. Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory Technical Report, MIT-CSAIL-TR-2013-028, November 19, 2013.

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***.

Slides

- NAUGHTON, J. F. ***DBMS Research: First 50 Years, Next 50 Years***. Kynote speaker' slides at ICDE 2010. Disponível em: http://pages.cs.wisc.edu/~naughton/naughtonicde.pptx. Acesso: Abril de 2013.

Convite:

Curso de Bancos de Dados Geográficos 2015