



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INovações e COMunicações
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Curso de Verão em Geoinformática e Geospatial Data Science

Imagens de Sensoriamento Remoto

Lubia Vinhas

Coordenação de Observação da Terra – CGOBT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE



Satélites artificiais
que orbitam a Terra,
em órbita baixa (até
2000 km), que
carregam sensores
para medir
diferentes
características da
superfície terrestre.

Observação do planeta por satélite

Grandes extensões do planeta podem ser sistematicamente observadas

Dados de outros fontes podem ser precisamente relacionados entre si

Extremamente importante para estudos ambientais por exemplo

Imagens são um insumo cada vez mais utilizado em diversas outras áreas do setor produtivo

Imagens de sensoriamento remoto tem características particulares

www.earthobservations.org



162 satélites de observação da Terra em vôo

<http://database.eohandbook.com/>

The screenshot shows the homepage of 'THE CEOS DATABASE' for the 'CEOS eesa' project, updated for 2019. The top navigation bar includes links for Home, Database, EO Handbook, Missions Table Index, Instruments Table Index, Measurements Overview Timelines, Other Agencies Climate, Google Custom Search, and a search icon.

The main content area is titled 'CEOS EO HANDBOOK – CATALOGUE OF SATELLITE MISSIONS'. It features a filter section with dropdown menus for Agency (INPE), Status (Current+Future), Launch Year (From 2005), EOL Year (All 2020), and Display (10 Results Per Page). To the right are Keyword Filtering, Mission Name, Instrument Name, Applications, and Repeat Cycle fields. Below the filters are three buttons: 'Apply Filter', 'Reset Filter', and 'Export to Excel'.

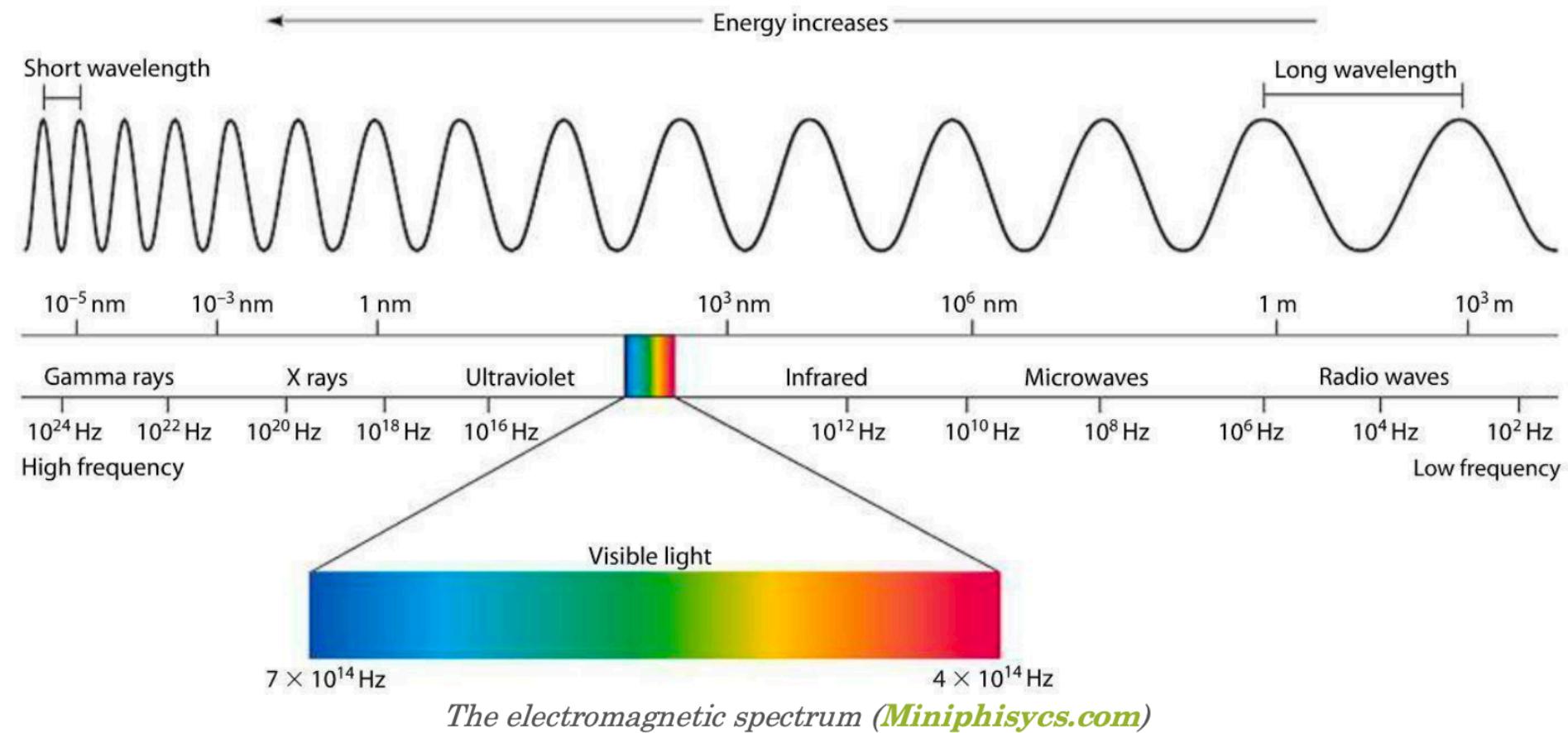
The data table lists three satellite missions:

Mission	Agency	Status	Launch date	EOL date	Applications	Instruments	Orbit details & URL
AMAZONIA-1 Amazonia 1	INPE	Approved	Dec 2020	Dec 2023	Earth resources, environmental monitoring, land surface.	WFI-2 (Amazonia-1)	Type: Sun-synchronous Altitude: 752 km Period: 99.9 mins Inclination: 98.4 deg Repeat cycle: 26 days LST: 10:30 Longitude (if geo): Asc/desc: Descending Links: mission site data access
CBERS-4 China Brazil Earth Resources Satellite - 4	INPE / CRESDA	Currently being flown	06 Dec 2014	Dec 2019	Earth resources, environmental monitoring, land surface.	DCS, IRS, MUX, PAN (CBERS), WFI-2	Type: Sun-synchronous Altitude: 778 km Period: 100.3 mins Inclination: 98.5 deg Repeat cycle: 26 days LST: 10:30 Longitude (if geo): Asc/desc: Descending Links: mission site
CBERS-4A China Brazil Earth Resources Satellite - 4	INPE / CRESDA	Planned	2019	2024	Earth resources, environmental monitoring, land surface.	DCS, IRS, MUX (CBERS-4A), WFI (CBERS-4A), WPM	Type: Sun-synchronous Altitude: 629 km Period: 97.3 mins Inclination: 97.9 deg Repeat cycle: 31 days LST: 10:30 Longitude (if geo): Asc/desc: Descending Links: mission site



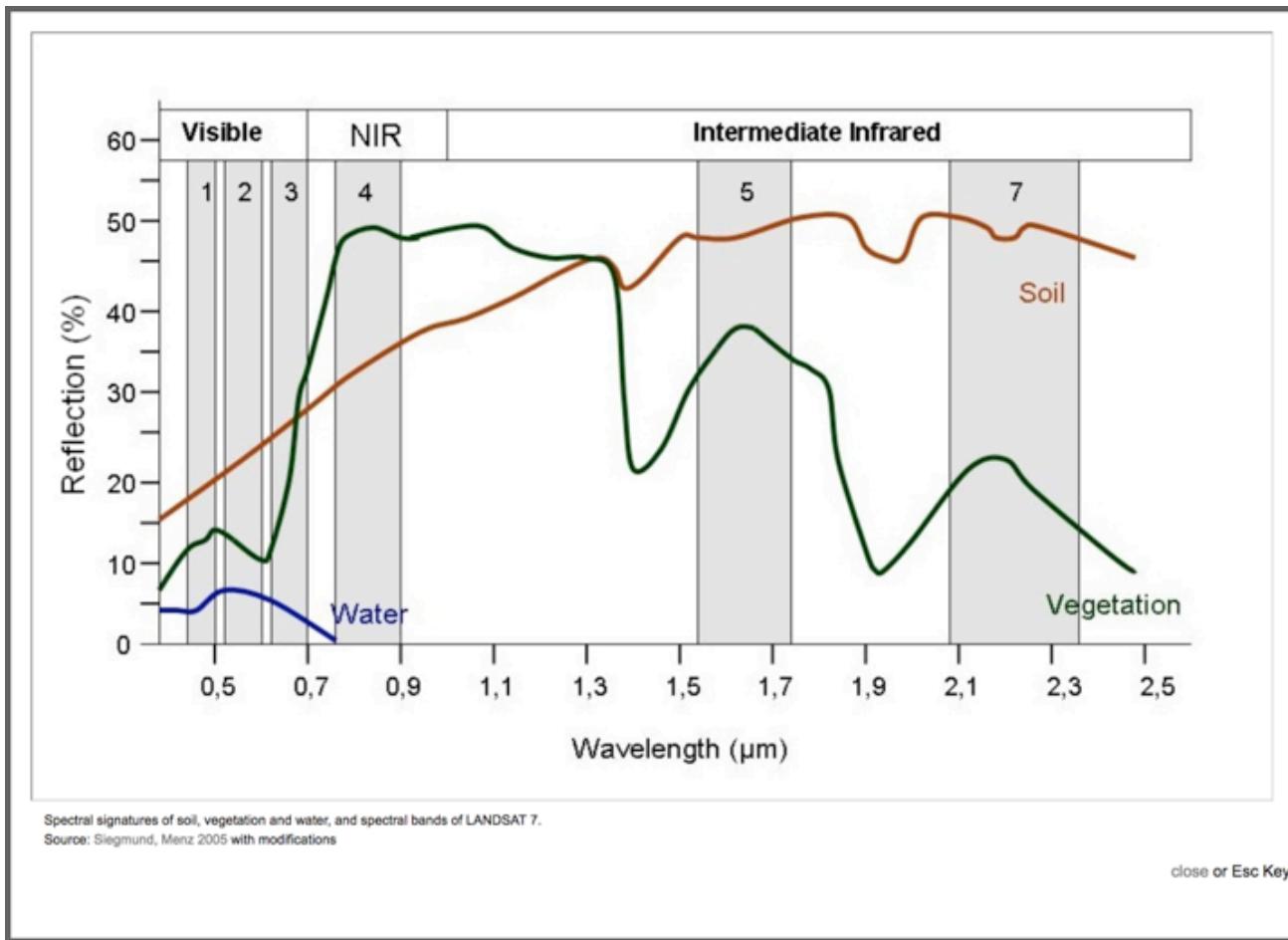
https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a004000/a004070/earthObsFleet_with_landsat8_1080p60.mp4

Sensores ópticos



Objetos podem absorverem luz em certos comprimentos de onda e refletir em outros, dependendo do matéria que são feitos. Por exemplo, **plantas absorvem** luz **azul** e **vermelha**, e **refletem** luz **verde**.

Resposta espectral de alvos típicos

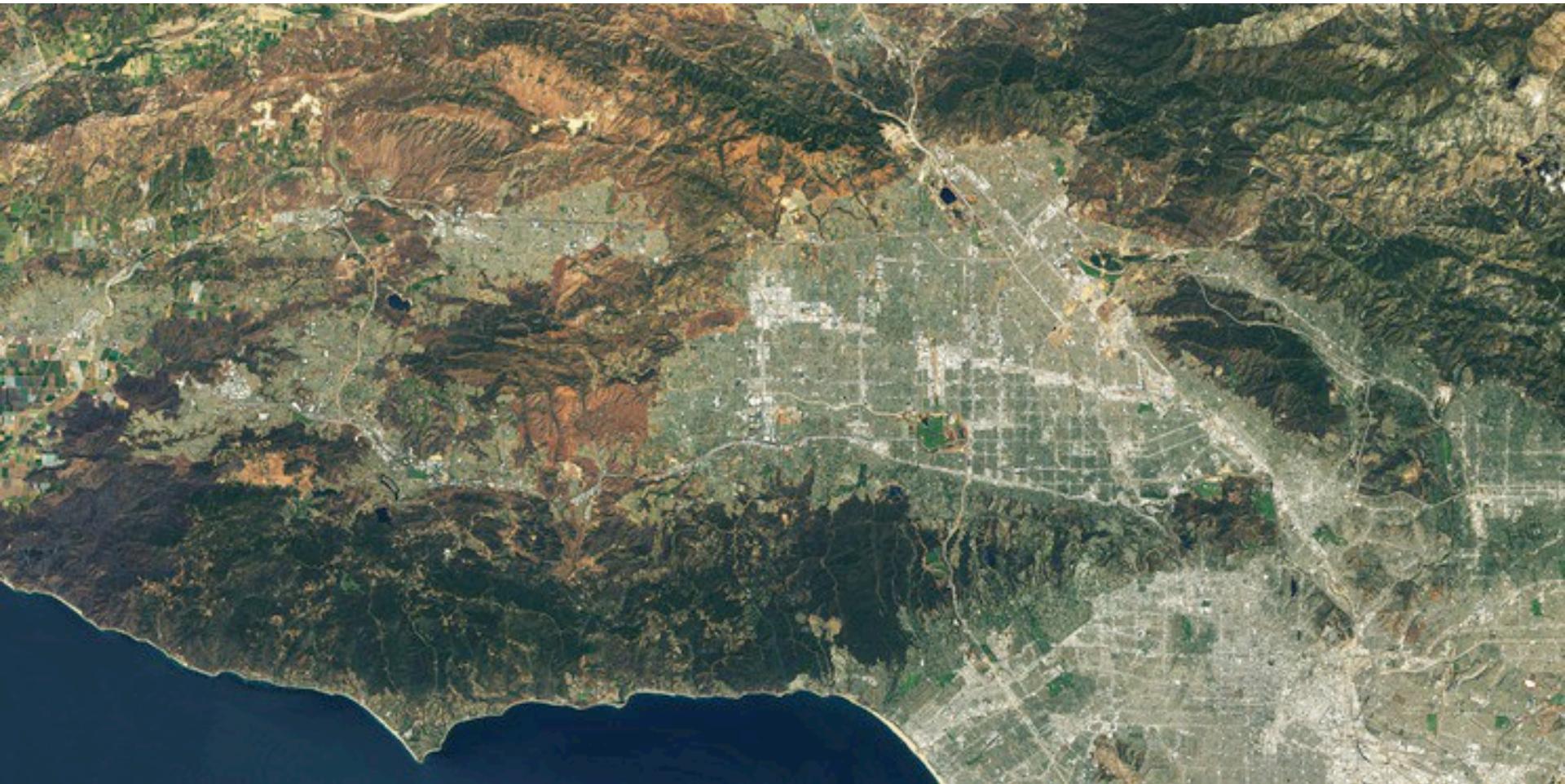


Cada objeto tem sua própria assinatura espectral, como mostrado desse esquema para água, solo exporto e vegetação

Exemplo: bandas do satélite Sentinel-2

BAND		WAVELENGTH (min-max in micrometers)
Band 1	Coastal Aerosol	0.421 – 0.457
Band 2	Blue	0.439 – 0.535
Band 3	Green	0.537 – 0.582
Band 4	Red	0.646 – 0.685
Band 5	Vegetation red edge	0.694 – 0.714
Band 6	Vegetation red edge	0.731 – 0.749
Band 7	Vegetation red edge	0.768 – 0.796
Band 8	NIR (near infrared)	0.767 – 0.908
Band 8a	NIR (near infrared)	0.848 – 0.881
Band 9	Narrow NIR	0.931 – 0.958
Band 10	Cirrus	1.338 – 1.414
Band 11	SWIR (Short wave infrared)	1.539 – 1.681
Band 12	SWIR (Short wave infrared)	2.072 – 2.312

Los Angeles, CA, USA – Composição colorida Bandas 2(R), 3(G) e 4(B), Landsat

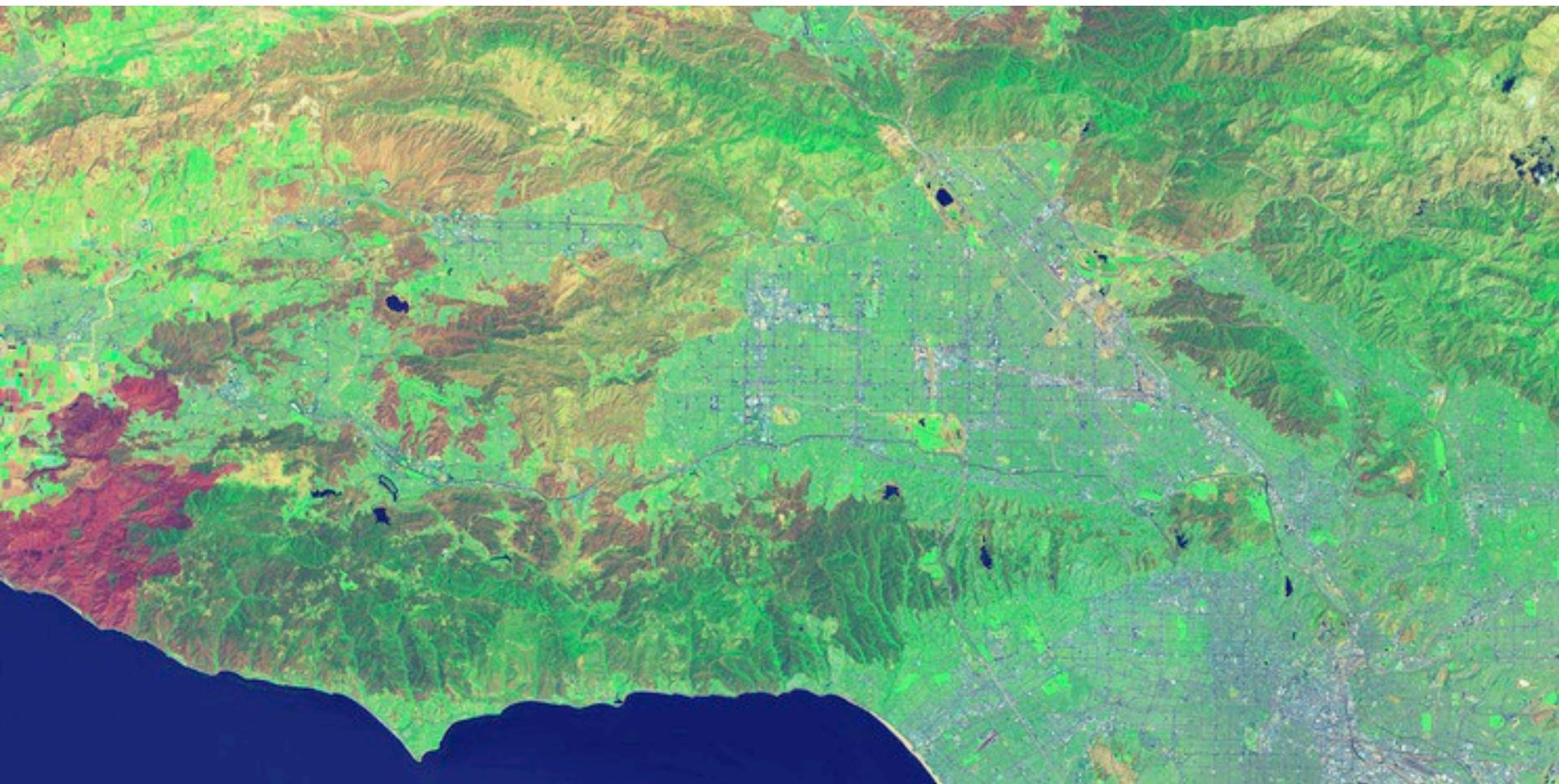


Fonte: <https://blog.mapbox.com/putting-landsat-8s-bands-to-work-631c4029e9d1>

Los Angeles, CA, USA – Banda R (NIR), Landsat



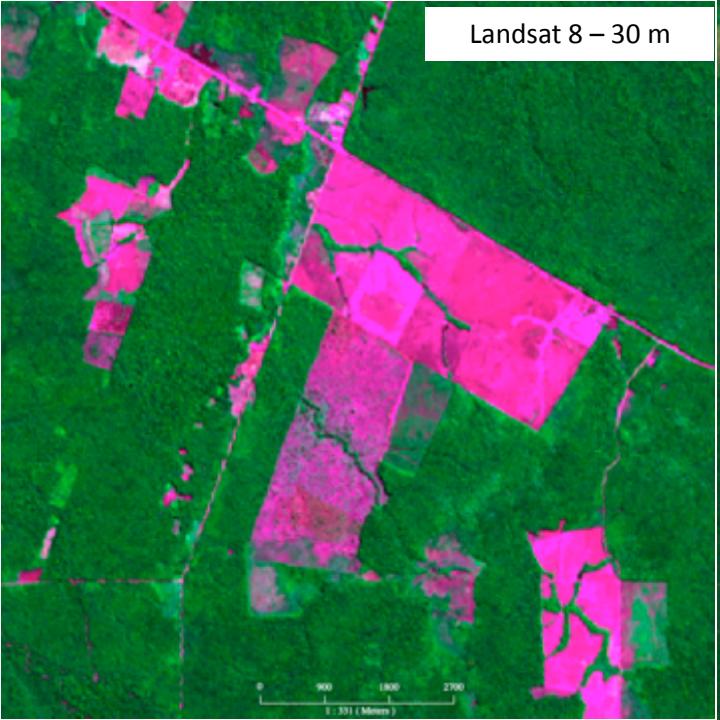
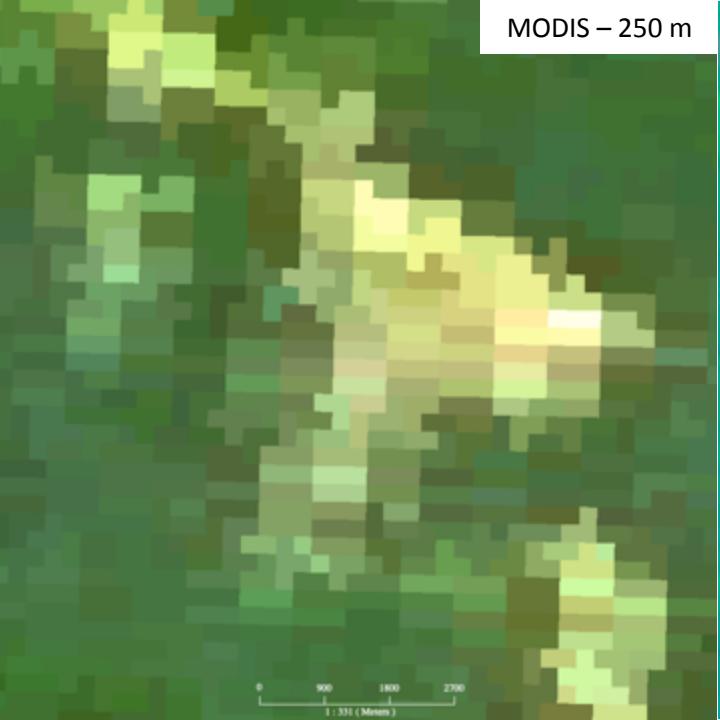
Los Angeles, CA, USA – Composição colorida Bandas 7 SWIR (R), 5(G) e 1(B), Landsat



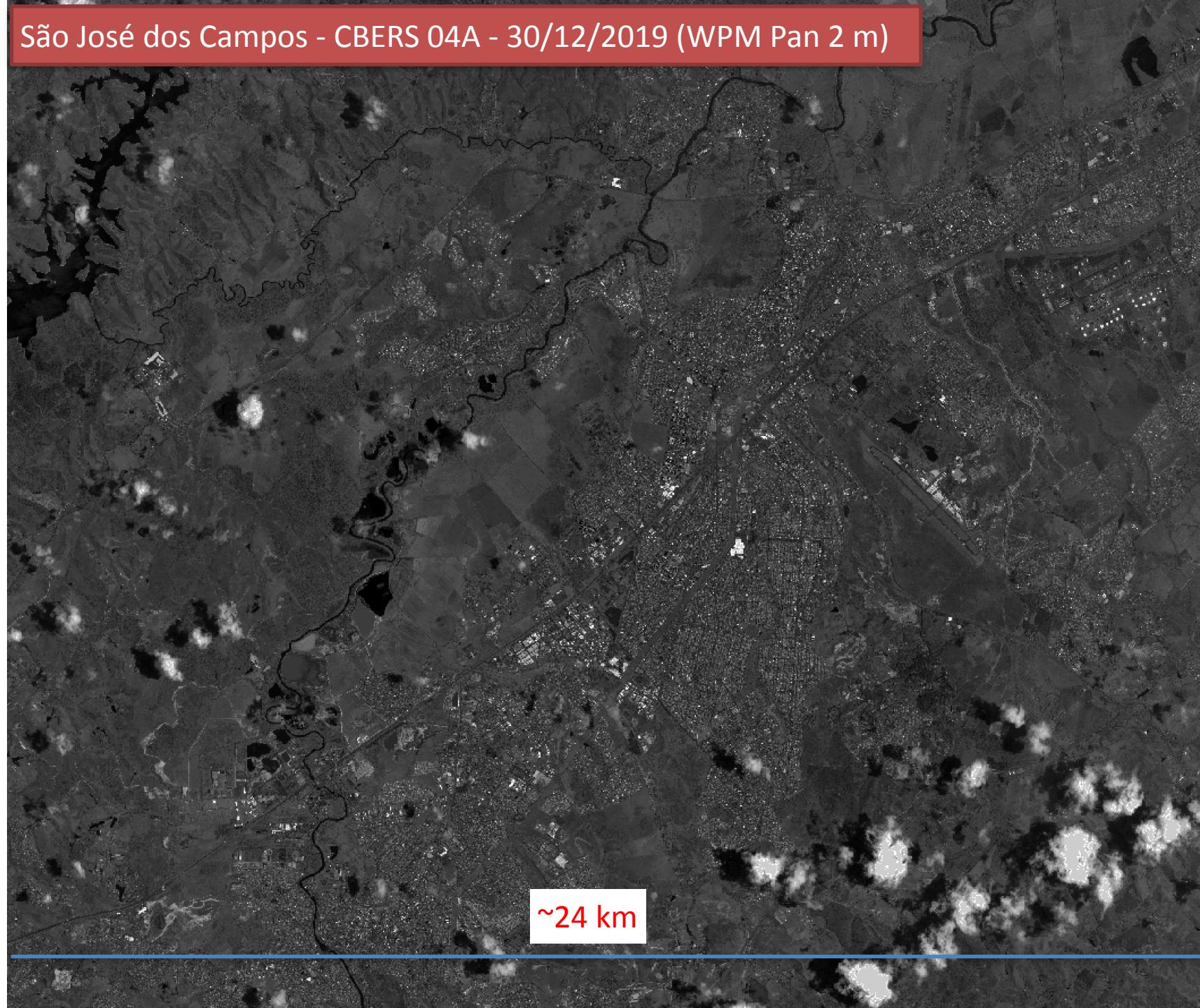
Pequena prática

1. Vá para <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser>
2. Clique em Start Exploring
3. Na lupa do canto superior, digite um local de sua preferência: São José dos Campos
4. Vá para a caixa de busca e escolha imagens e datas
5. Exercite a visualização

Efeito de resoluções espaciais



São José dos Campos - CBERS 04A - 30/12/2019 (WPM Pan 2 m)



~24 km

São José dos Campos - CBERS 04A - 30/12/2019 (WPM Pan 2 m)



São José dos Campos - CBERS 04A - 30/12/2019 (WPM Pan 2 m)



A grayscale satellite image showing a dense urban area, likely São José dos Campos, captured by the CBERS 04A satellite on December 30, 2019, using the WPM Pan sensor with a resolution of 2 meters per pixel. The image displays a complex network of streets, buildings, and infrastructure. A white rectangular box highlights a specific area in the lower right quadrant, which is labeled with the text "≈0,7 km".

≈0,7 km

Resolução temporal (revisão)

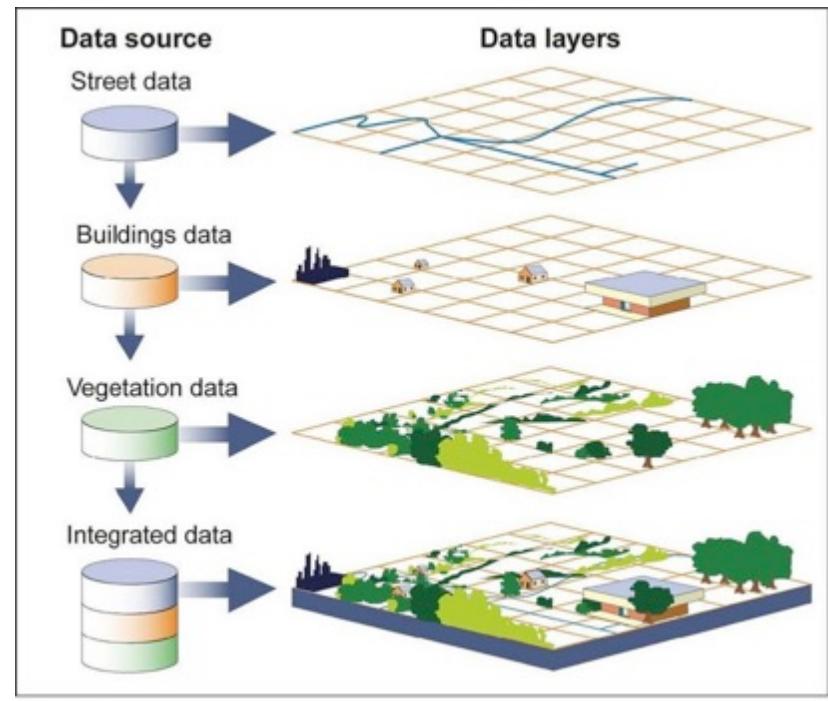


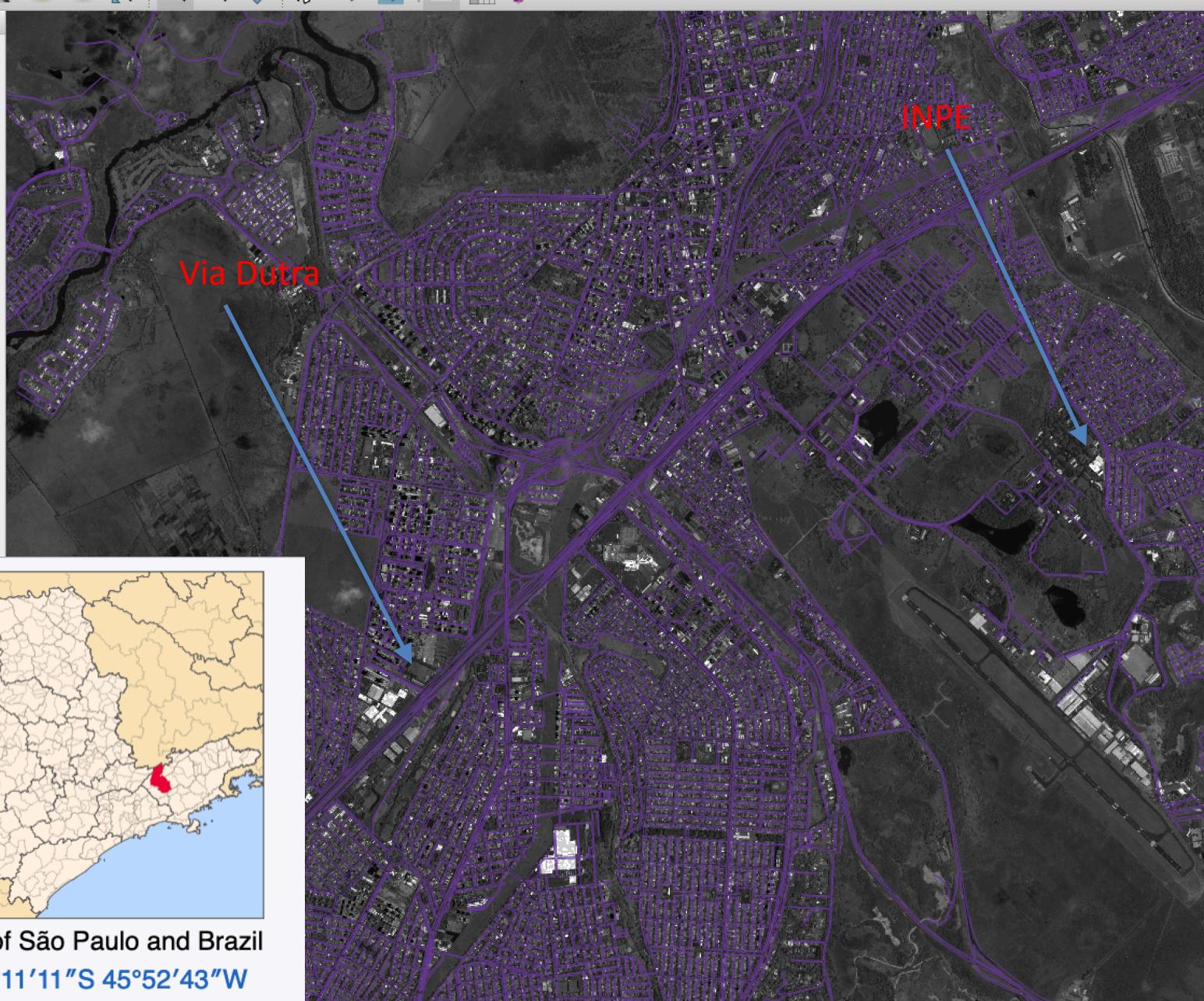
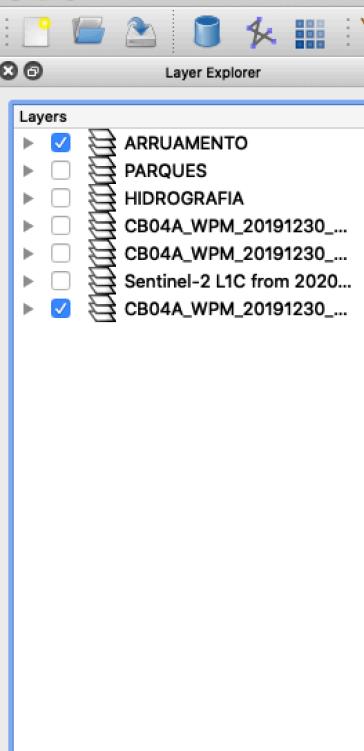
Pequena prática

1. Vá para <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser>
2. Crie uma conta
3. Clique em Start Exploring
4. Entre com a sua conta
5. Busque pela cidade de Brumadinho
6. Localize a Barragem 1 e o Córrego do Feijão
7. Faça um “time lapse” antes e depois do desastre
8. Aconteceu em janeiro de 2019

Camadas

- Tradicionalmente as aplicações geográficas organizam os seus dados 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





Selected rows: 0



EPSG:32723

E(X): 408770 N(Y): 7429308

DMS

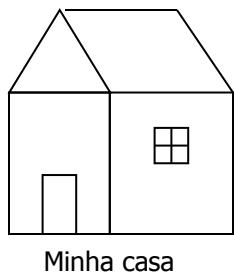
Lat: -23° 14' 34.53" Long: -45° 53' 30.45"

Captura de Tela

Sistemas De Referência Espacial

Natureza dos dados espaciais

- Dados espaciais caracterizam-se especificamente pelo atributo da **localização geográfica** estabelecida quando:
 - possível descrevê-lo em relação a outro objeto cuja posição seja conhecida
 - possível descrevê-lo em um certo **sistema de coordenadas**



Minha casa
Long: $45^{\circ} 53' 24.00''$ O
Lat: $23^{\circ} 11' 74.01''$ S

Moro abaixo e a
esquerda da Torre
Eiffel



Torre Eiffel
Long: $2^{\circ} 17' 54.01''$ L
Lat: $48^{\circ} 53' 33.24''$ N

Conceitos de Geodésia

A **Geodésia** é a ciência que se encarrega da determinação da forma e das dimensões da Terra

Antigamente acreditava-se que a Terra era uma esfera.

Evolução da Física e Gravimetria chegou-se a conclusão de que a terra era achatada, ou um elipsóide (achatamento definido por gravimetria)

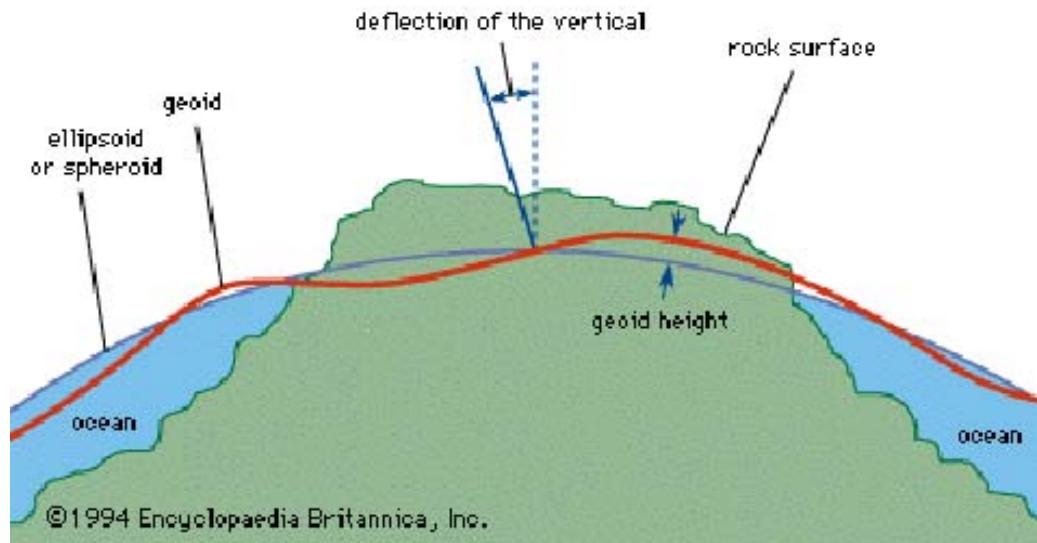
Século XIX – Legendre e Gauss provaram que estava havendo um erro quanto a forma da Terra. Concluíram que a Terra não era uma elipsóide mudando novamente o conceito da figura da Terra, mais tarde este novo conceito foi chamado de **Geóide**

Conceitos de Geodésia

Geodésia trata da determinação das dimensões e da forma da Terra

Geóide é aceito como figura matemática da Terra

Superfície equipotencial do campo gravitacional da Terra que mais se aproxima do nível médio dos mares

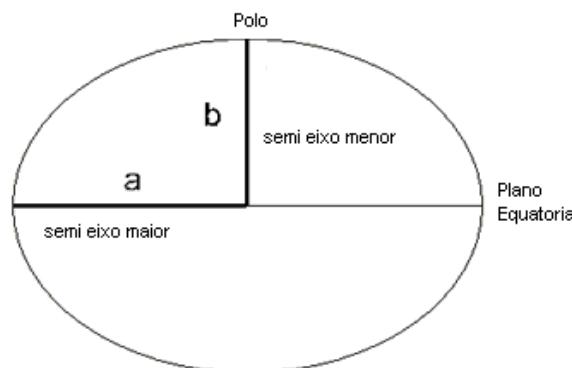


Conceitos de Geodésia

Na prática o geóide não é conhecido globalmente: faltam estações gravimétricas em todo planeta e equações complexas

Surge uma superfície de referência mais adequada à Terra real, ou seja, tratável matematicamente: **Elipsóide de Referência** ou Terra Cartográfica

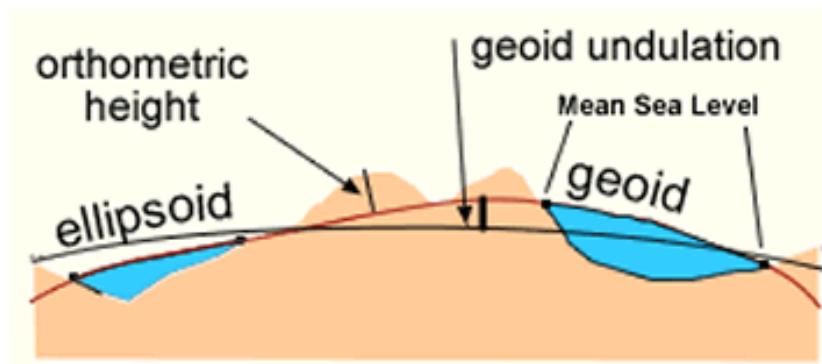
Um elipsóide é caracterizado por seus semi-eixos maior (raio Equatorial) e menor (achatamento dos polos)



Datum planimétrico

É composto por uma superfície de referência posicionada em relação à Terra real;

O procedimento prático de estabelecer uma referência geodésica começa com a seleção arbitrária de um ponto conveniente para o datum e de sua representação na superfície de um elipsóide escolhido

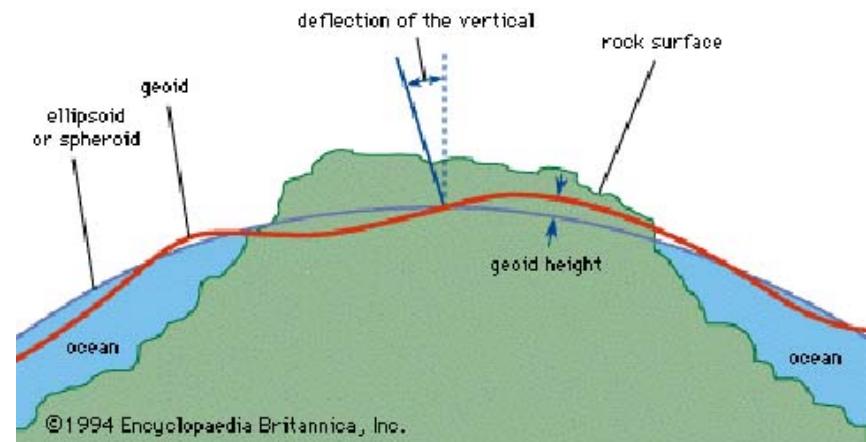
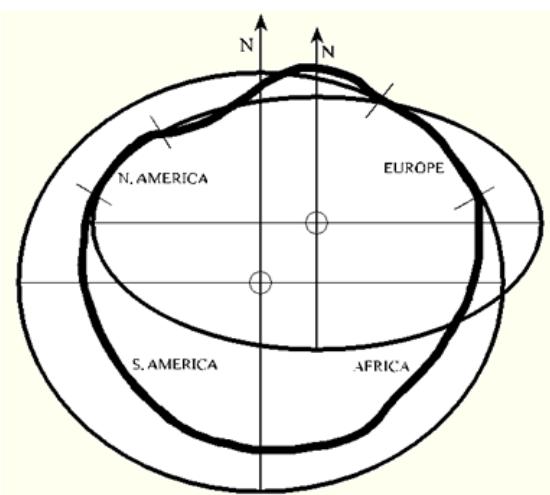


Datum planimétrico

Seleciona-se o elipsóide de referência mais adequado à região

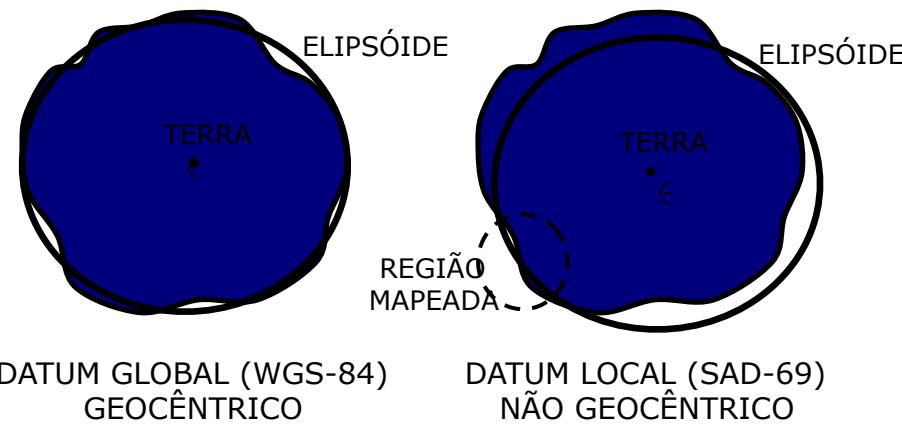
Posiciona-se o elipsóide em relação à Terra real – preservando o paralelismo entre o eixo de rotação da Terra e do elipsóide

Escolhe-se um ponto central (origem) no país ou região e faz-se a anulação do desvio da vertical



Datum planimétrico

Pode ser global (o centro do elipsóide coincide com o centro de massa da Terra) ou local (o centro do elipsóide está deslocado do centro da Terra)

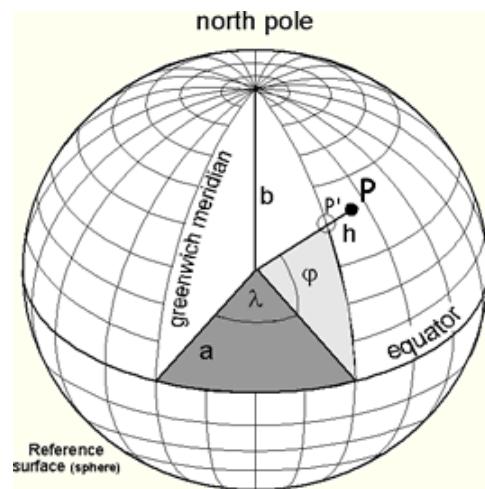


Mensagem importante: as Coordenadas Geográficas, dependem de um Datum planimétrico, pois ele define a referência para os meridianos e paralelos.

Sistema de coordenadas geográficas

Latitude geodésica ou geográfica

ângulo entre a normal à superfície de referência (elipsóide ou esfera), no ponto em questão, e o plano do equador. Varia de 0° a 90° (norte ou sul)



Longitude geodésica ou geográfica

ângulo entre o meridiano que passa pelo ponto e o meridiano origem (Greenwich, por convenção).
Varia 0° a 180° (leste e oeste)

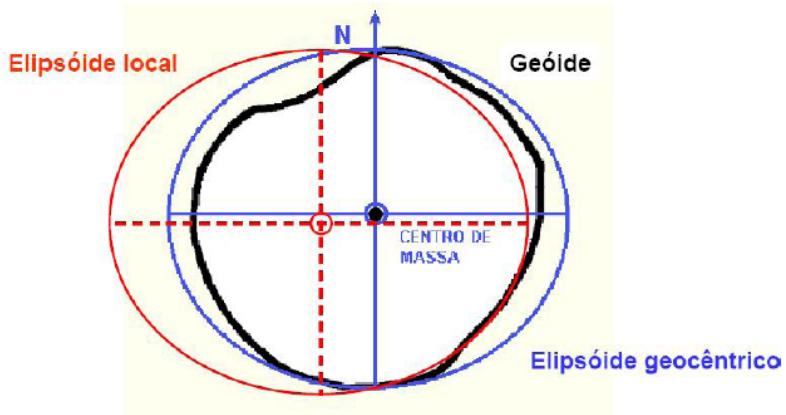
φ – latitude geodésica (graus)
 λ – longitude geodésica (graus)
 h – altitude elipsoidal (metros)

Datum usados no Brasil

- Legalmente:
 - **SAD69** - South American Datum 1969
 - **SIRGAS2000** - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
- Também é comum encontrar cartas topográficas que referem-se à **Córrego Alegre**, o antigo Datum brasileiro
- 25 de fevereiro de 2005: SIRGAS2000 foi oficialmente adotado como o novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN)
- Foi também definido um período de transição, não superior a 10 anos, onde o sistema novo (SIRGAS2000) e os antigos (SAD 69, Córrego Alegre) poderão ser utilizados concomitantemente.
- Depois de passado o período de transição, o SIRGAS2000 será o único sistema geodésico de referência legalizado no país.

Datum usados no Brasil

- Diferenças entre o SAD69 e o SIRGAS2000:
 - SAD69 é um sistema de referência topocêntrico que tem como referência um ponto na superfície da Terra
 - SIRGASS2000 é geocêntrico que tem como referência um ponto no centro de massa da Terra
 - SIRGASS2000 atende a uma necessidade de compatibilização com o sistema de posicionamento GPS, que também é geocêntrico

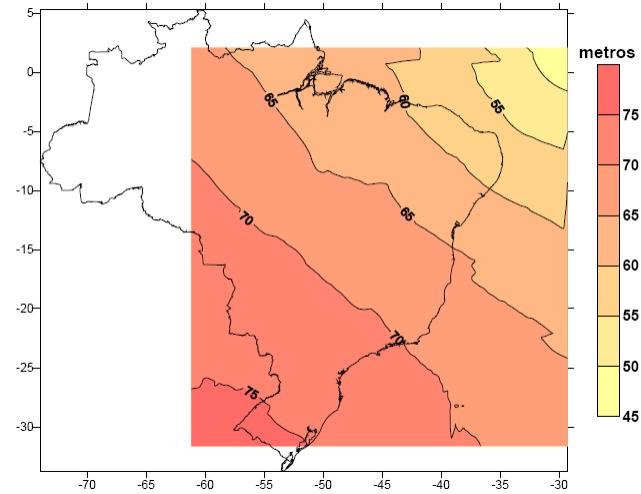
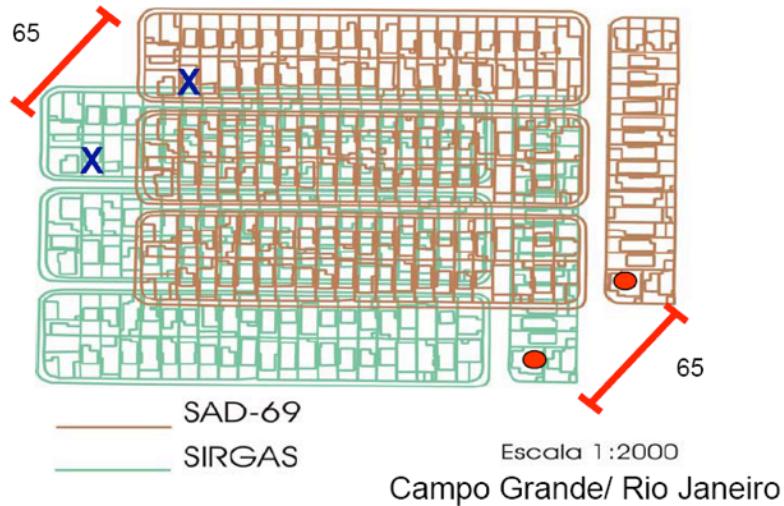


Outros Datum

- Locais
 - SAD69, Córrego Alegre, NAD27, Indian...
- Globais
 - WGS84, SIRGAS, NAD83...
- WGS84 e SIRGAS200 são praticamente idênticos, pois utilizam o mesmo elipsóide de referência (GRS80), com alguns centímetros de diferença no valor do achatamento.

Erros de Posicionamento

- Dados em coordenadas geodésicas, em diferentes Datum, podem gerar erros de posicionamento
- Por exemplo, um mapeamento realizado em SAD69 e outro em SIRGAS2000 não podem ser mostrados no mesmo mapa sem que seja feito algum tratamento



Fonte: <http://www.pign.org/PIGN3/Portugues/cadastral.htm>

(relatório do Projeto demonstração 2)

Erros de Posicionamento

- De SIRGAS200 para SAD69 : ~65 metros no território brasileiro
- De SIRGAS2000 para WGS84: nenhum
- De Córrego Alegre para SAD69: <= 60 metros

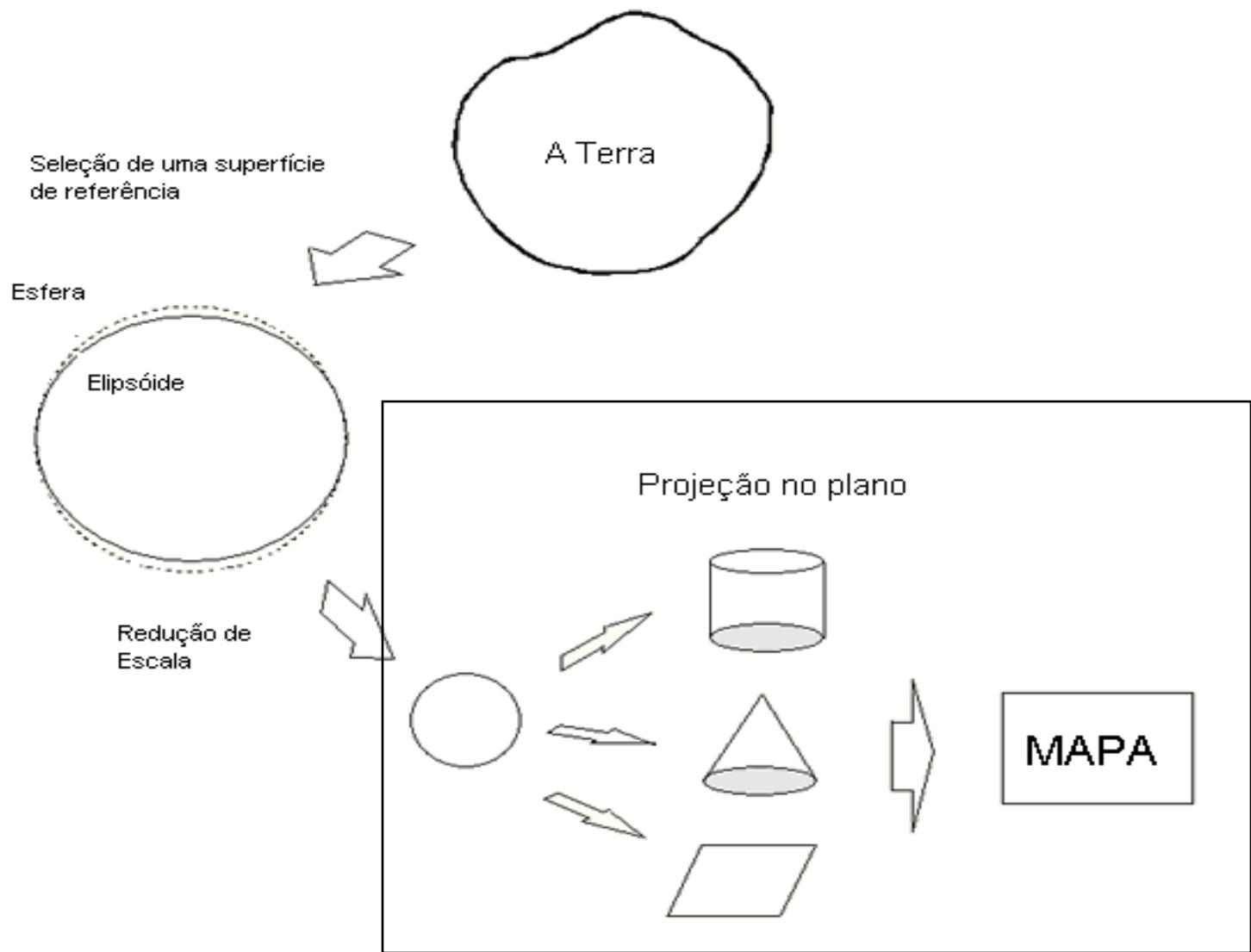
SOLUÇÃO:

- lembre que a variação das coordenadas geográficas afeta a exatidão de sua base de dados
- use um SIG que saiba levar em conta essa variação de coordenadas
- saiba o que está medindo com um receptor GPS
- tenha cuidado com dados compartilhados (importação e exportação)

No mapa a Terra é plana



Processo de criação de um mapa



Projeções Cartográficas

- Impossível representar uma superfície curva num plano sem deformação, por isso apareceu o conceito de Superfície de Projeção
- Superfície de Projeção é uma superfície desenvolvível no plano, capaz de representar um sistema plano de meridianos e paralelos sobre o qual pode ser desenhada uma representação cartográfica (carta, mapa, planta)

Projeções Cartográficas

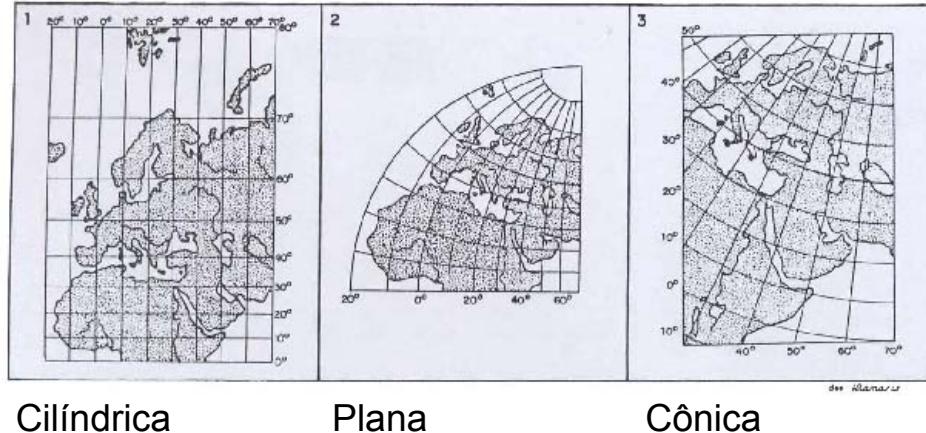
- Uma projeção cartográfica determina a correspondência matemática biunívoca entre os pontos da esfera (ou elipsóide) e sua transformação num plano
- Sistemas de projeção resolvem as equações:
(x e y – coordenadas planas, ϕ, λ –coordenadas geográficas)

$$x = f_1(\phi, \lambda) \quad y = f_2(\phi, \lambda)$$

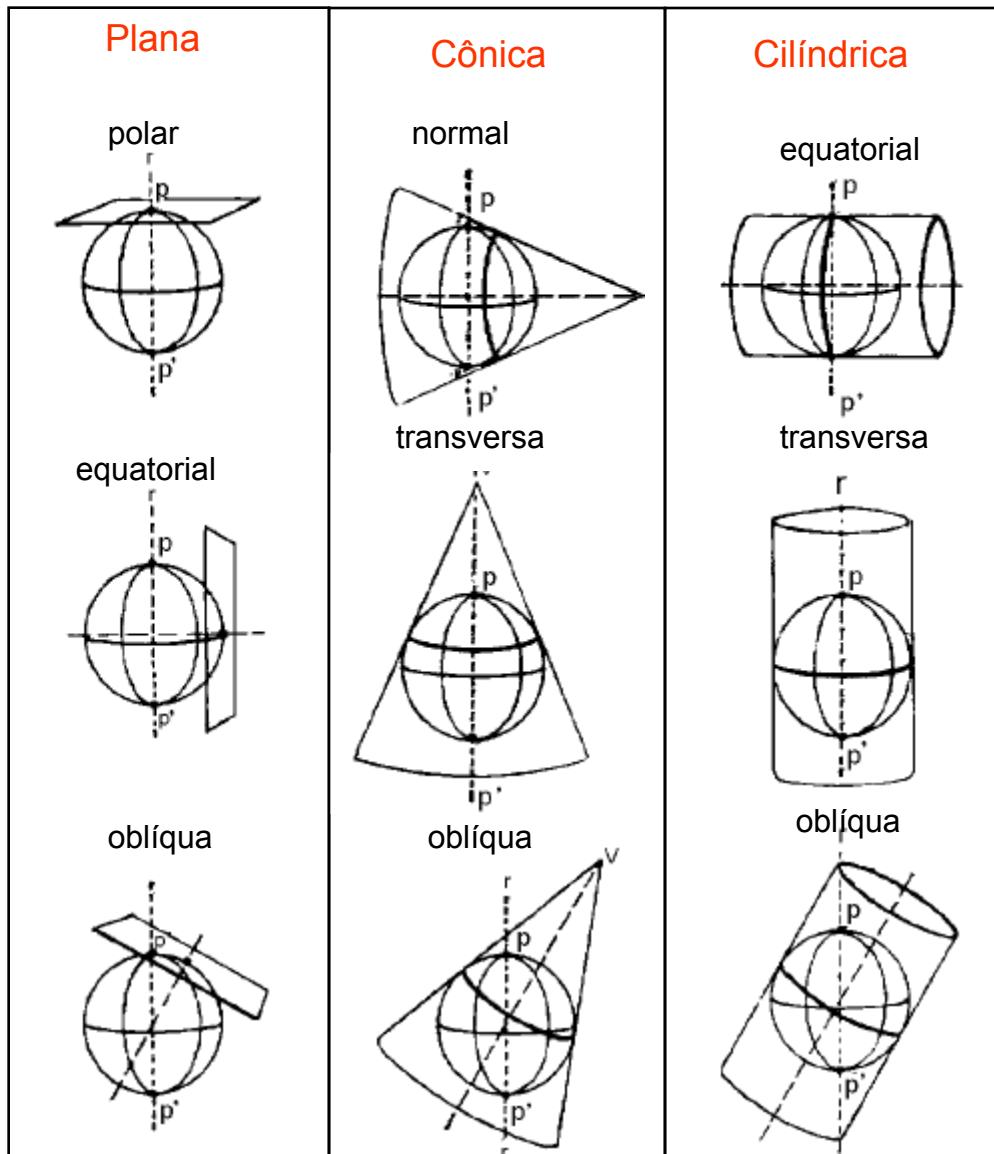
$$\lambda = g_1(x, y) \quad \phi = g_2(x, y)$$

Projeções cartográficas

- Impossível representar uma superfície curva num plano sem deformação. Por isso, existem diferentes classes de projeção, que causam diferentes distorções e por isso tem diferentes aplicações
- Uma mesma área sob diferentes projeções geram mapas diferentes



Classes de projeção



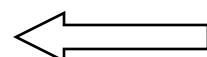
Equidistantes:
preservam distâncias

Equivalentes:
preservam áreas

Conformes: preservam
ângulos



Quanto as propriedades

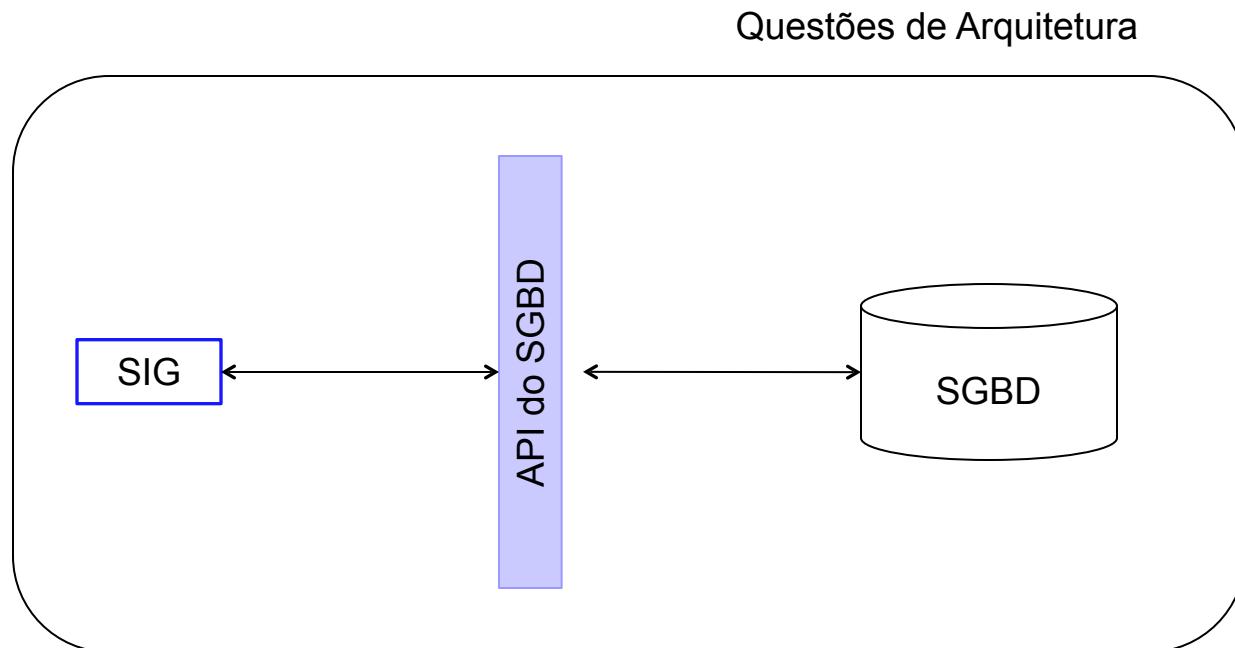


Quanto a superfície
de projeção

Geoprocessamento

Geoprocessamento: **disciplina** que trata da manipulação de dados geográficos.

SIG: **sistema computacional** usado para materializar as técnicas de geoprocessamento



Como descrever um SRS?

1. Qual seu nome?
2. Qual é o Datum?
3. É geográfico?
 - a. Qual a unidade angular?
 - b. Qual o meridiano padrão?
 - c. Qual o paralelo de latitude 0?
4. É projetado?
 1. Qual a unidade linear?
 2. Qual a projeção?
 3. Quais os parâmetros da projeção?

Como descrever um SRS?

```
GEOGCS["WGS 84",
  DATUM["WGS_1984",
    SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563]],
  PRIMEM["Greenwich",0],
  UNIT["degree",0.01745329251994328]]
```

```
PROJCS["WGS 84 / UTM zone 23S",
  GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["WGS_1984",
      SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563],
      PRIMEM["Greenwich",0],
      UNIT["degree",0.01745329251994328]],
    UNIT["metre",1],
    PROJECTION["Transverse_Mercator"],
    PARAMETER["latitude_of_origin",0],
    PARAMETER["central_meridian",-45],
    PARAMETER["scale_factor",0.9996],
    PARAMETER["false_easting",500000],
    PARAMETER["false_northing",10000000],
    AXIS["Easting",EAST],
    AXIS["Northing",NORTH]]
```

Como descrever um SRS?

```
GEOGCS["WGS 84",
  DATUM["WGS_1984",
    SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
      AUTHORITY["EPSG","7030"]],
      AUTHORITY["EPSG","6326"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.01745329251994328,
      AUTHORITY["EPSG","9122"]],
    AUTHORITY["EPSG","4326"]]
```

```
PROJCS["WGS 84 / UTM zone 23S",
  GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["WGS_1984",
      SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
        AUTHORITY["EPSG","7030"]],
        AUTHORITY["EPSG","6326"]],
      PRIMEM["Greenwich",0,
        AUTHORITY["EPSG","8901"]],
      UNIT["degree",0.01745329251994328,
        AUTHORITY["EPSG","9122"]],
        AUTHORITY["EPSG","4326"]],
      UNIT["metre",1,
        AUTHORITY["EPSG","9001"]],
      PROJECTION["Transverse_Mercator"],
      PARAMETER["latitude_of_origin",0],
      PARAMETER["central_meridian",-45],
      PARAMETER["scale_factor",0.9996],
      PARAMETER["false_easting",500000],
      PARAMETER["false_northing",10000000],
      AUTHORITY["EPSG","32723"],
      AXIS["Easting",EAST],
      AXIS["Northing",NORTH]]
```

SRS ID
EPSG – European Petroleum Survey
Group

Voltando ao exemplo

3 pessoas foram ao campo, com diferentes equipamentos, para localizar 2 pontos de interesse e voltaram com as seguintes medições:

	PESSOA 1		PESSOA 2		PESSOA 3	
	X	Y	X	Y	X	Y
P2	-42.3591666667	-23.3194444444	770061.694961	7418652.21437	1189337.72907	-2627767.87227
P3	-43.0166666667	-29.5347222222	692193.800396	6731129.17863	1063065.76762	-3318803.38603

Qual delas fez as medições certas?

Resposta:

não posso avaliar sem saber em qual Sistema de Referência Espacial estão esses números.

Voltando ao exemplo

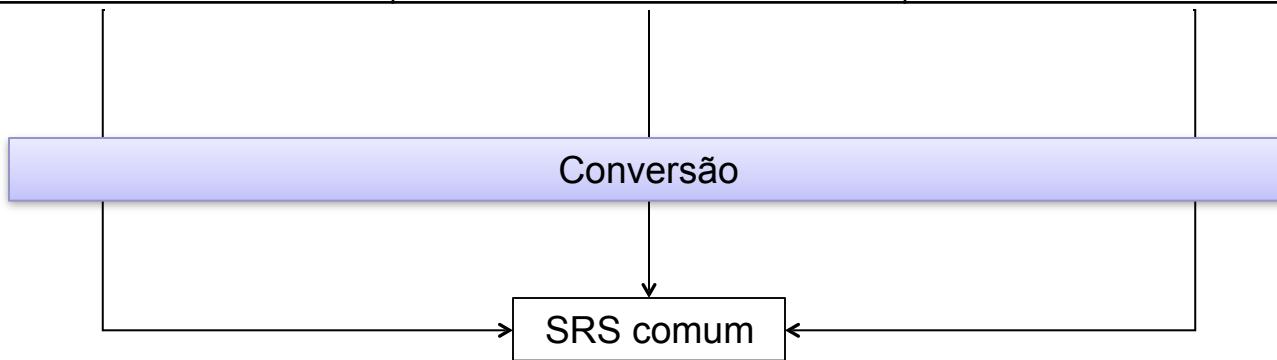
	PESSOA 1		PESSOA 2		PESSOA 3	
	X	Y	X	Y	X	Y
P2	-42.3591666667	-23.3194444444	770061.694961	7418652.21437	1189337.72907	-2627767.87227
P3	-43.0166666667	-29.5347222222	692193.800396	6731129.17863	1063065.76762	-3318803.38603
	SRID = 4623		SRID = 32723		SRID = 29101	

Qual delas fez as medições certas?

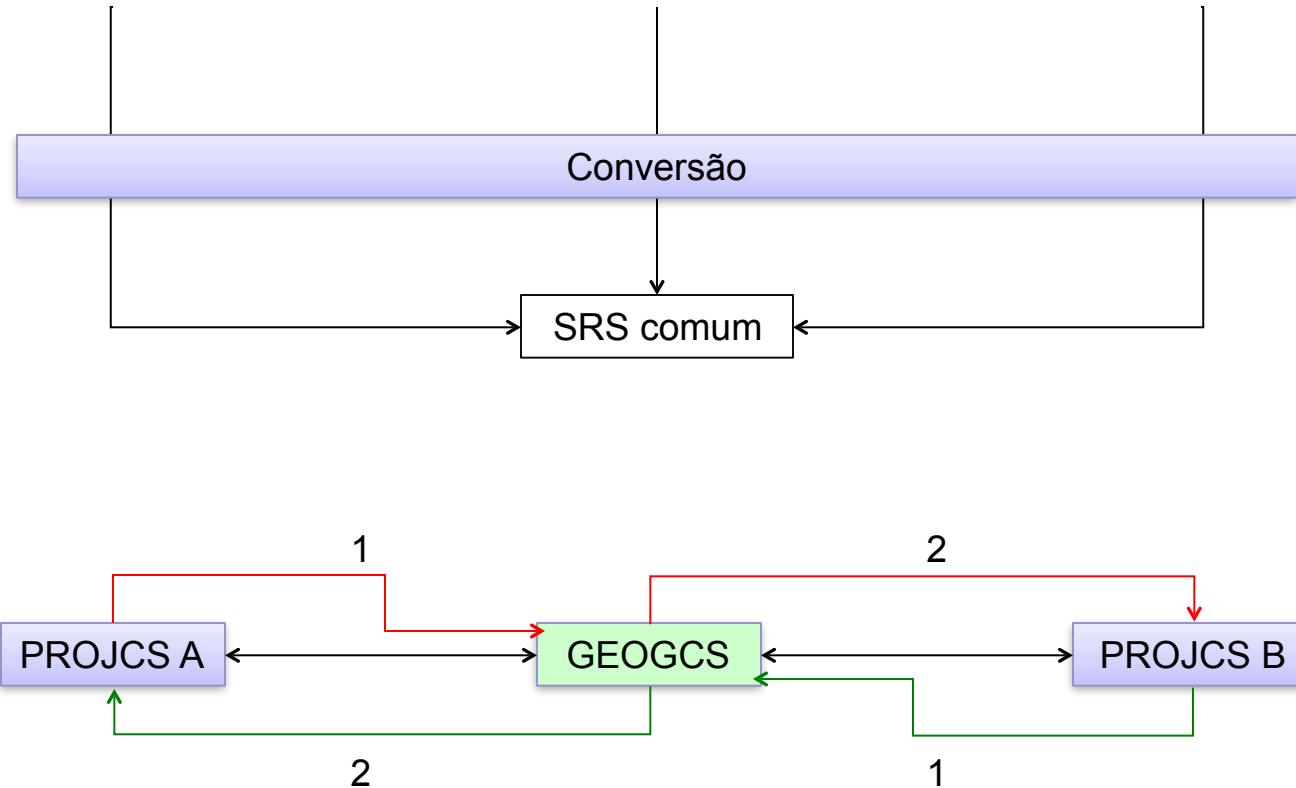
Neste caso, todas estão corretas. Todas se referem a mesma localização, mas medidas em sistemas de referência espacial diferentes.

Conversão de coordenadas

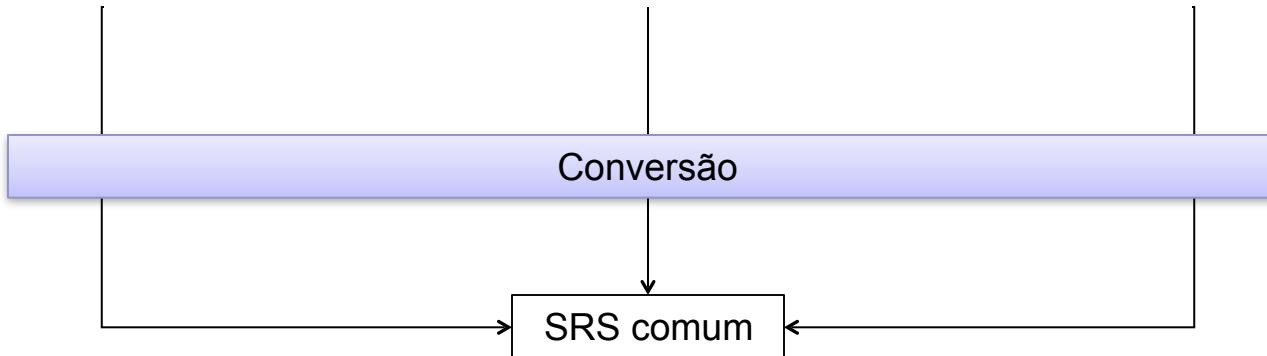
	PESSOA 1		PESSOA 2		PESSOA 3	
	X	Y	X	Y	X	Y
P2	-42.3591666667	-23.3194444444	770061.694961	7418652.21437	1189337.72907	-2627767.87227
P3	-43.0166666667	-29.5347222222	692193.800396	6731129.17863	1063065.76762	-3318803.38603
SRID = 4623		SRID = 32723		SRID = 29101		



Conversão de coordenadas



Conversão de coordenadas



PROJ.4 - Cartographic Projections Library