



**Where there is data smoke, there is business fire.**

— Thomas Redman

# Informação Georreferenciada

## Parte I

Prof. André Filipe de Moraes Batista, PhD.

# Motivação

- The Science of Where - Unlock Data's Full Potential



# Tópicos

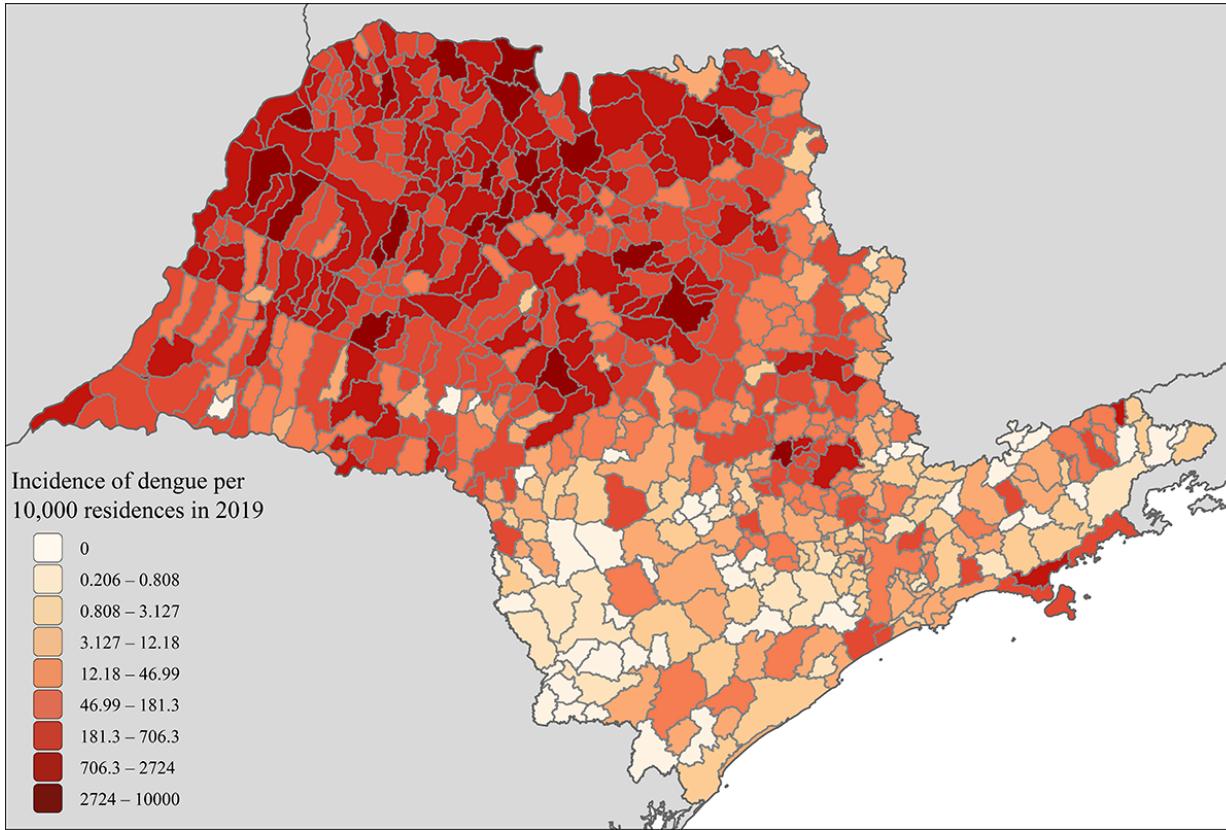
- Dados Espaciais e Geoprocessamento
- Perguntas Espaciais
- Desafios com os dados espaciais
- Representação computacional
- Sistemas de Coordenadas
- Mapas – Tipos e Escalas

# Dados Espaciais e Dados Georreferenciados

- Dados que não indicam apenas a variação de um atributo do fenômeno do estudo, mas também a **localização** dessa variação
- Importante diferenciar um dado espacial de um dado georreferenciado
  - Georreferenciado → Dados que possuem um atributo locacional vinculado a um sistema de referência baseado em coordenadas geográficas ou em coordenadas de projeção geográficas
  - Espacial → propriedade de dependência e influência entre vizinhos



# Perguntas Espaciais



**Quadro 1.2** – Exemplos de perguntas espaciais que podem dar início a procedimentos de análise geoespacial em SIG e categorias de análise geoespacial a que estão associadas. Na coluna das perguntas espaciais, em itálico, estão destacadas palavras geográficas cujo significado equivale a um mapa.

Pergunta espacial	Categoria de análise geoespacial				
	Localização	Distribuição	Associação	Interação	Mudança
<i>Onde</i> ocorrem casos de dengue?	X				
<i>Até que distância</i> deste local os casos de dengue ocorrem?		X			
<i>Existe regularidade na distribuição espacial</i> dos casos de dengue em São Paulo?		X			
<i>Por que o padrão espacial da distribuição</i> dos casos de dengue exibe regularidade?			X		
<i>Que tipo de distribuição estatística</i> se ajusta à ocorrência de casos de dengue no Brasil?		X			
<i>Onde estão os limites</i> da ocorrência de casos de dengue?	X	X			
<i>Por que seus limites restringem sua distribuição?</i>	X		X		
<i>Que variáveis socioeconômicas</i> estão associadas espacialmente aos casos de dengue em São Paulo?			X		
<i>Os casos de dengue</i> ocorrem agrupados em regiões ou clusters de municípios?	X	X			
<i>Por que os casos de dengue</i> estão espacialmente associados à alta taxa de ocupação domiciliar urbana?			X		
<i>Os casos de dengue</i> sempre ocorreram neste mesmo lugar?					X
<i>Por que os casos de dengue</i> têm se espalhado com esta tendência espacial no oeste de São Paulo?				X	X

Fonte: Ferreira, Marcos Cesar. *Iniciação à análise geoespacial*. Editora UNESP, 2016.

# Desafios com dados espaciais

- Falácia Ecológica:
  - Deduzir o comportamento do indivíduo a partir da análise de dados agregados. Conclusões sobre o comportamento individual devem se basear em dados individuais!
- Problema de Unidade de Área Modificável (MAUP)
  - Resultados de análise de dados agregados dependem da definição do critério usado para a agregação espacial dos dados

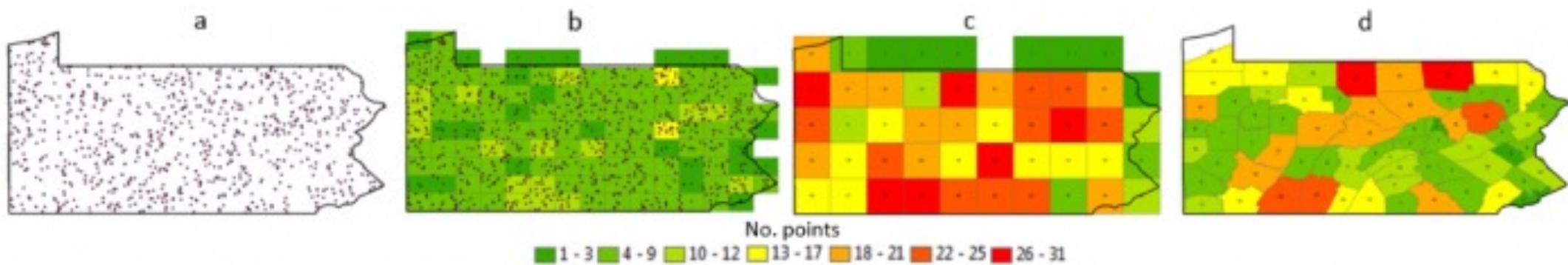
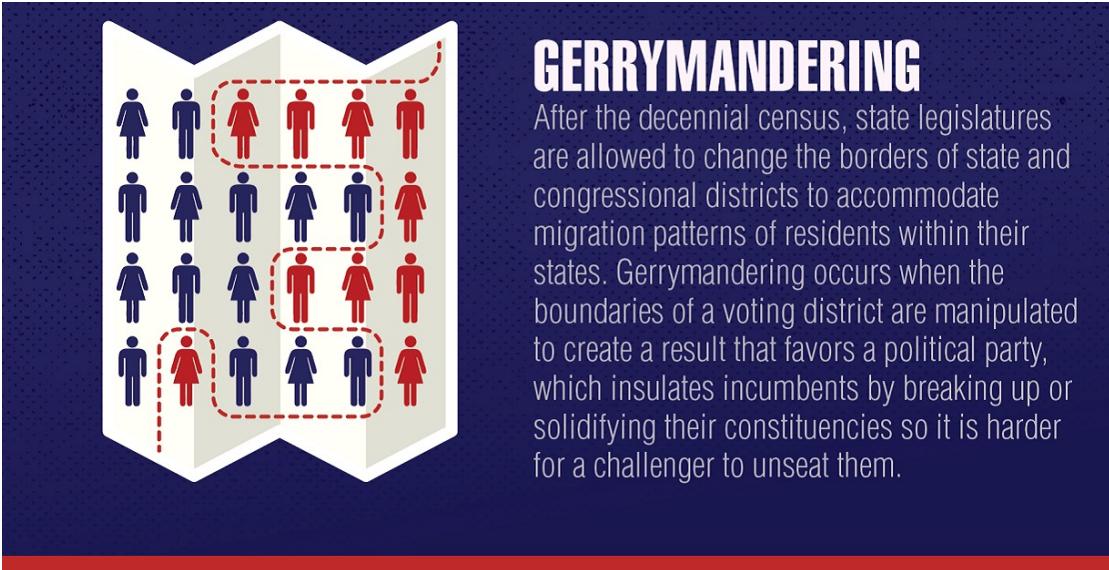


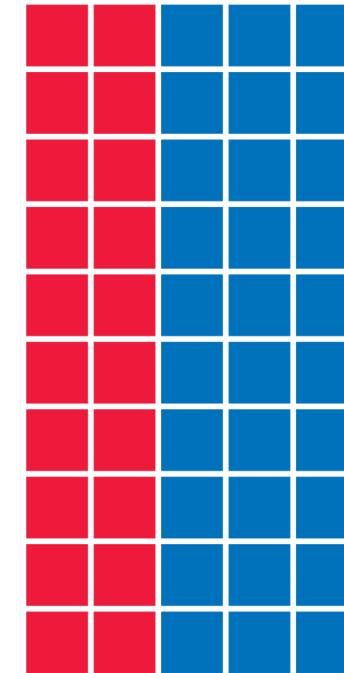
Imagen: Blanford, © Penn State University

# Exemplo MAUP

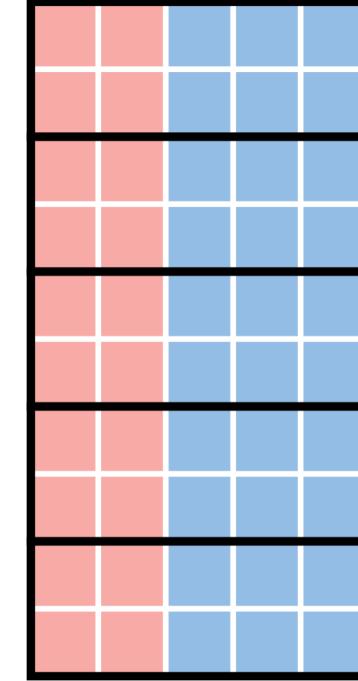
## GerryMandering



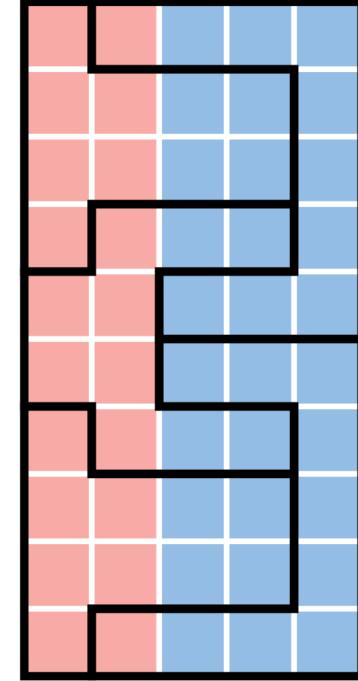
## HOW TO STEAL AN ELECTION



50 PRECINCTS  
60% BLUE  
40% RED



5 DISTRICTS  
5 BLUE  
0 RED  
BLUE WINS

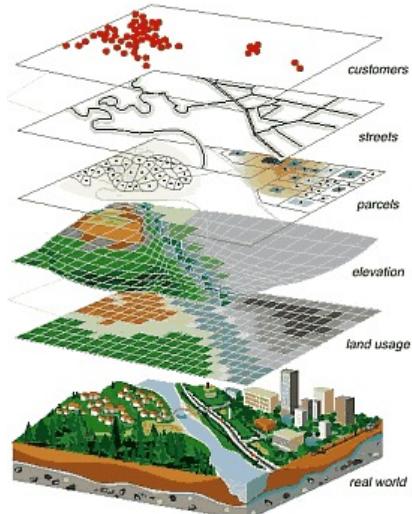


5 DISTRICTS  
3 RED  
2 BLUE  
RED WINS

# Geoprocessamento

- Trata-se do processamento informatizado de dados georreferenciados
- Termo amplo, normalmente engloba técnicas de: **coleta, armazenamento, tratamento, análise e integração** de informações espaciais
- Normalmente este procedimento acontece nos **Sistemas de Informação Geográfica – SIGs**
  - Programas de computador que permitem de análise de dados georreferenciados, levando em conta a localização dos dados e os atributos relacionados à eles
- Precisamos, portanto, saber como representar o mundo real de uma maneira computacional
  - Dessa forma, também é necessário ter alguns conhecimentos básicos de cartografia

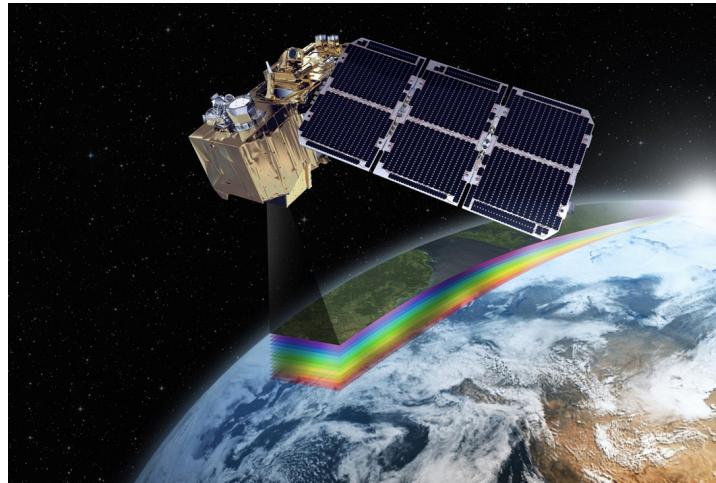
# Coleta de Dados Espaciais



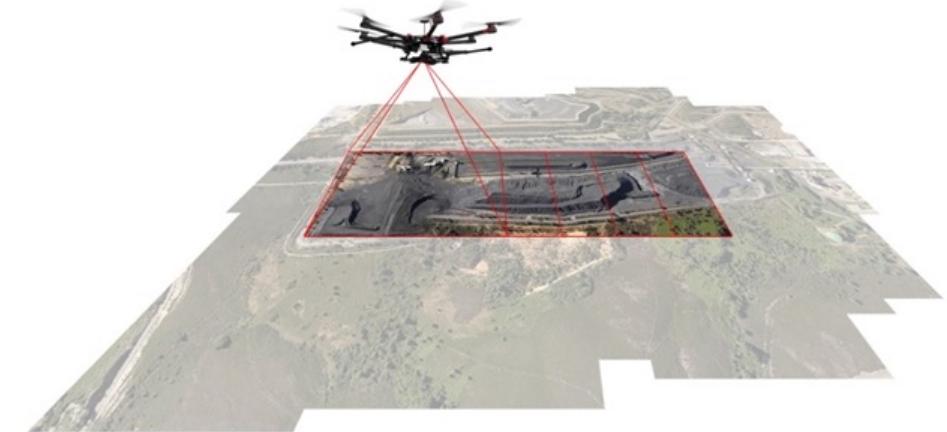
Cartografia digital



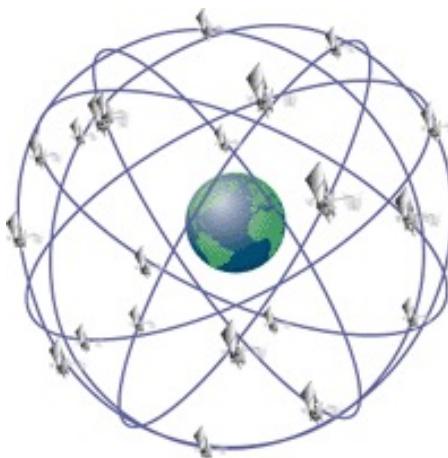
Topografia



Sensoriamento Remoto



Fotogrametria

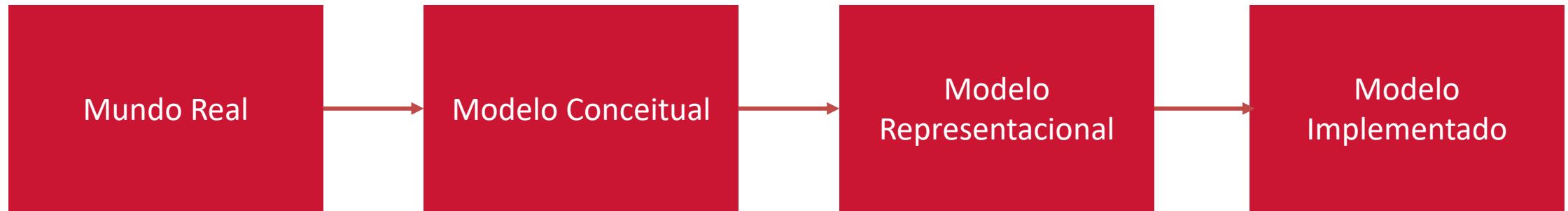


GPS



Dados Alfanuméricos (Censo)

# Processo de Representação Computacional



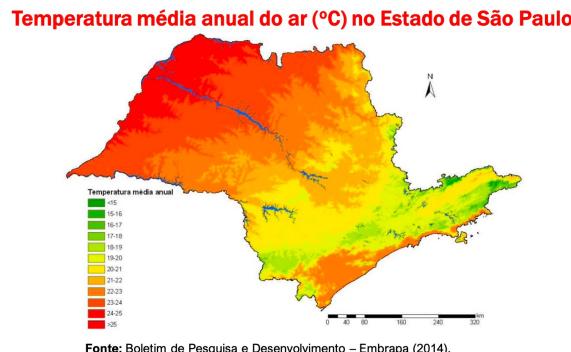
- Mundo Real: lote, tipos de solos, residências, florestas, etc
- Conceitual: campos contínuos, objetos discretos
- Representação: estruturas de dados – matrizes e vetores
- Implementação: código em linguagem de computador

# Representação **Modelo Conceitual**

- Objetos vs. Campos
  - Objetos discretos: espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis



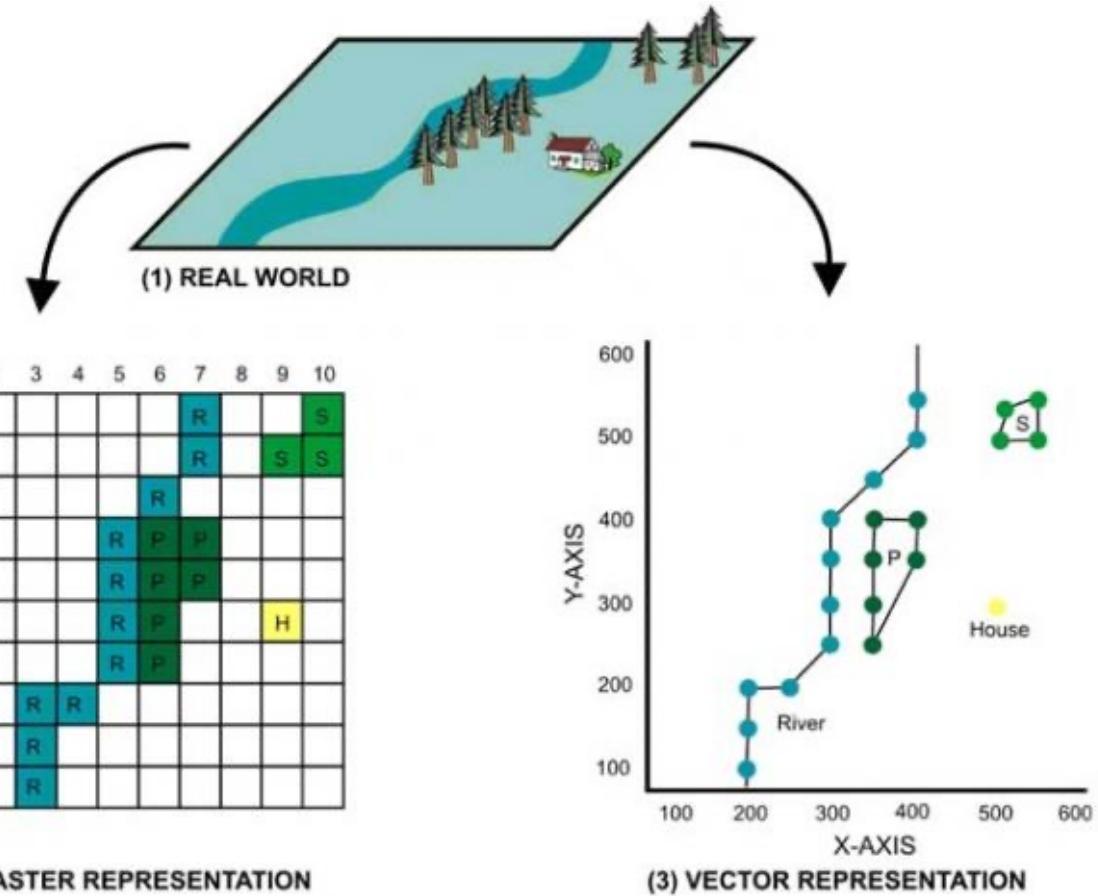
- Campos contínuos: espaço geográfico como uma superfície contínua
    - Para cada ponto da região temos um valor distinto
    - Pouco uso para fenômenos socioeconômicos



# Representação

## Modelo Representacional

- Dados espaciais têm dois formatos de representação
  - Raster/Matricial**
    - Baseado em uma estrutura de grade de células
    - Formatos comuns: GeoTIFF, HDF5
  - Vector/Vetorial**
    - Parecido com um mapa de linhas
    - Formatos comuns: GeoJSON, shapefile, JPEG2000



# Modelo Representacional

- É possível trabalhar com camadas vetoriais e matriciais juntas
- Vetorial
  - Preserva relacionamentos topológicos
- Matricial
  - Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço (elevação, temperatura, etc.)

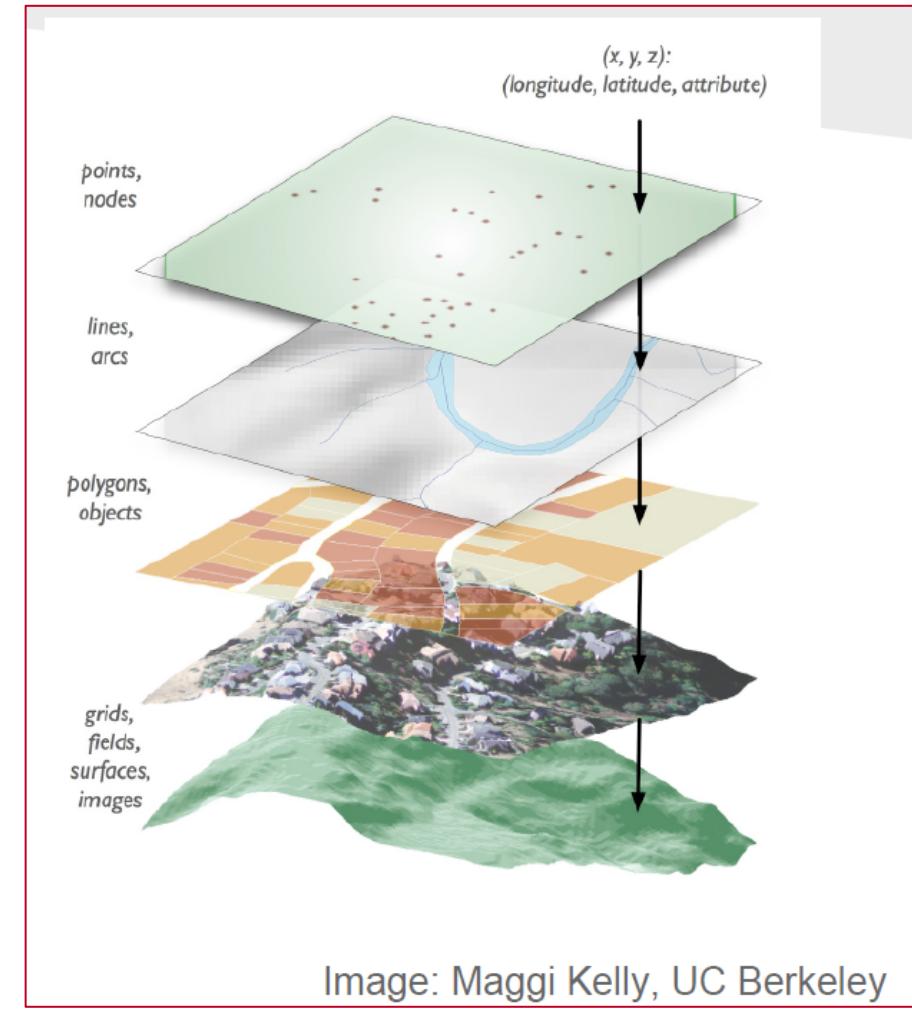
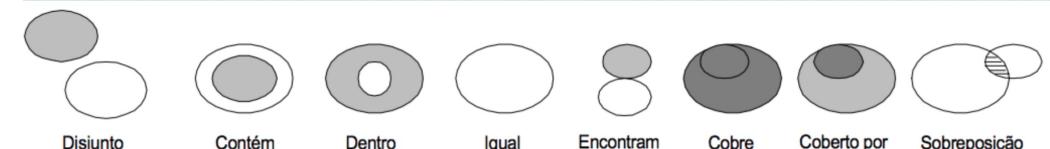
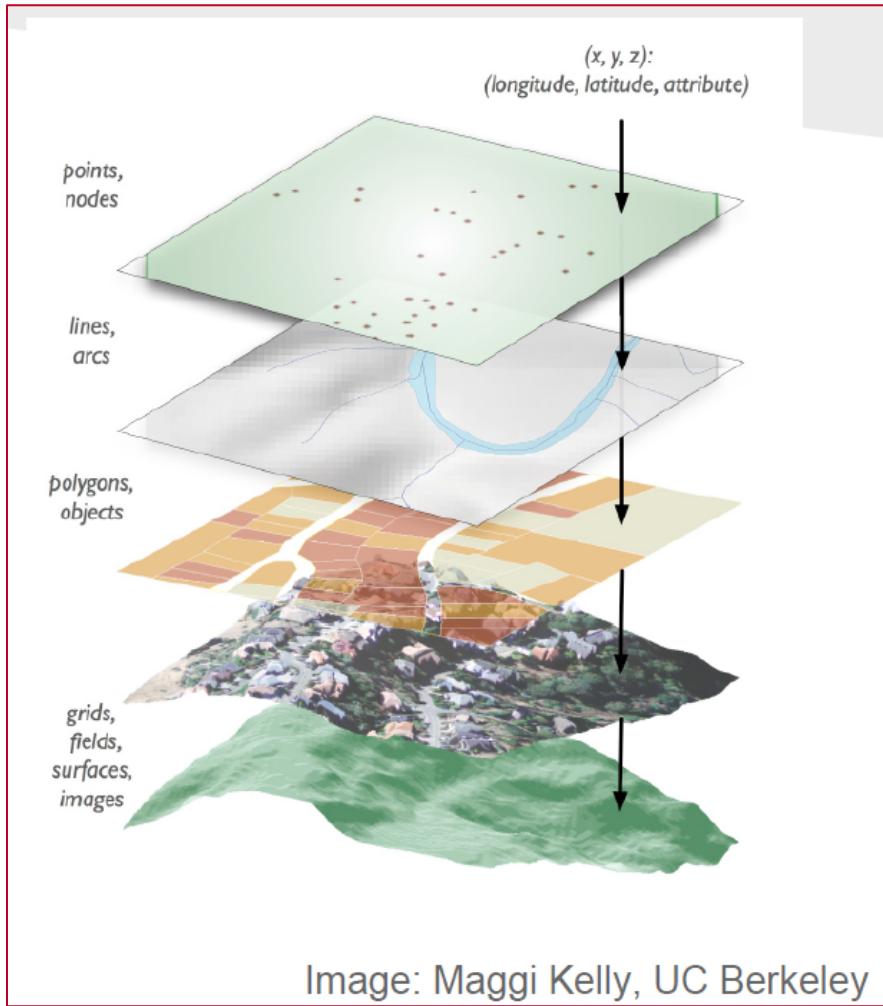


Image: Maggi Kelly, UC Berkeley

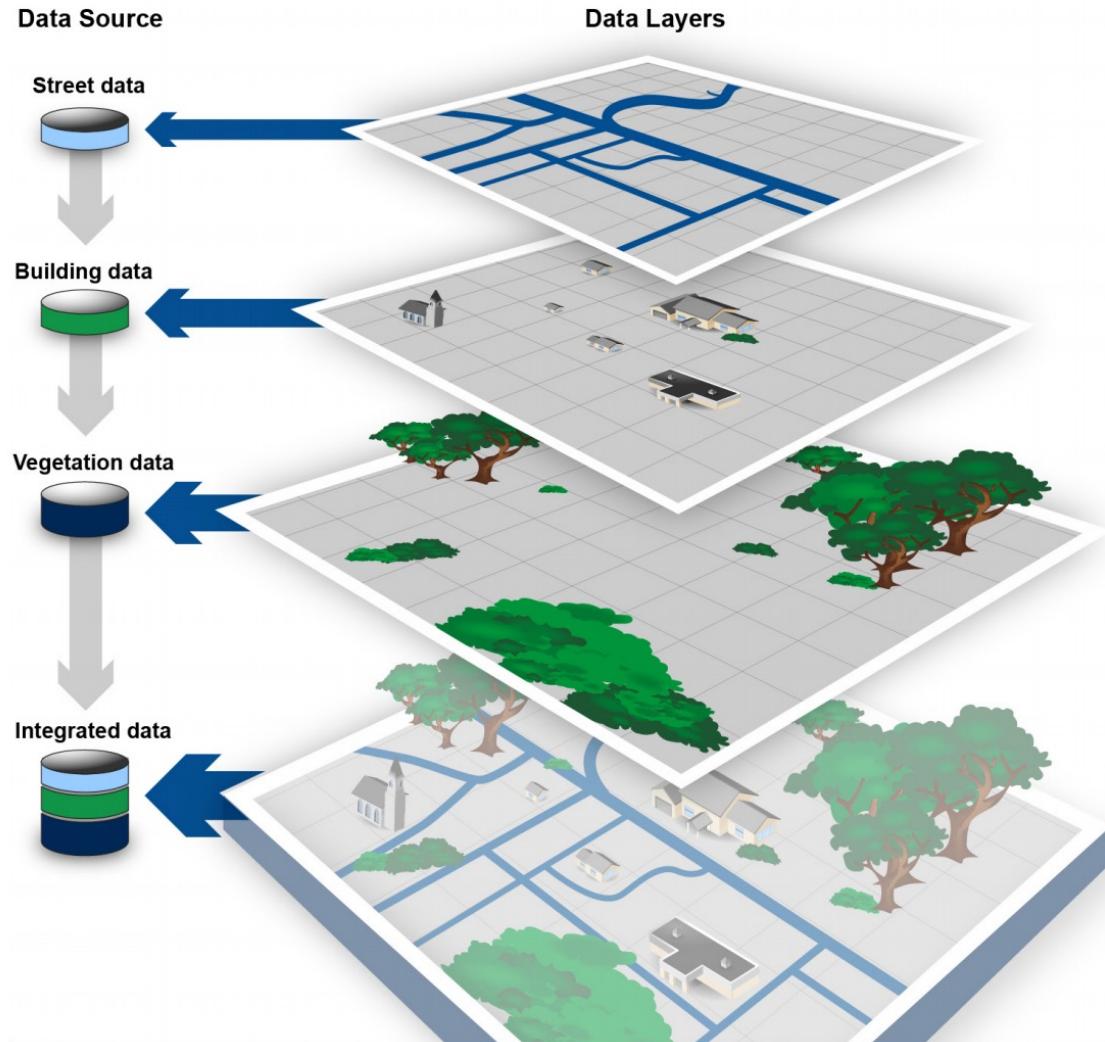
Relacionamentos topológicos:



# Modelo Representacional



**Figure 1: Visual Representation of Data Themes in a Geographic Information System**



Source: GAO. | GAO-15-193

# Dados vetoriais

## Representações comuns

- O mundo é representado a partir de três elementos:

- Pontos
- Linhas
- Polígonos



# Dados vetoriais

## Representações comuns

- O mundo é representado a partir de três elementos:

- Pontos
- Linhas
- Polígonos

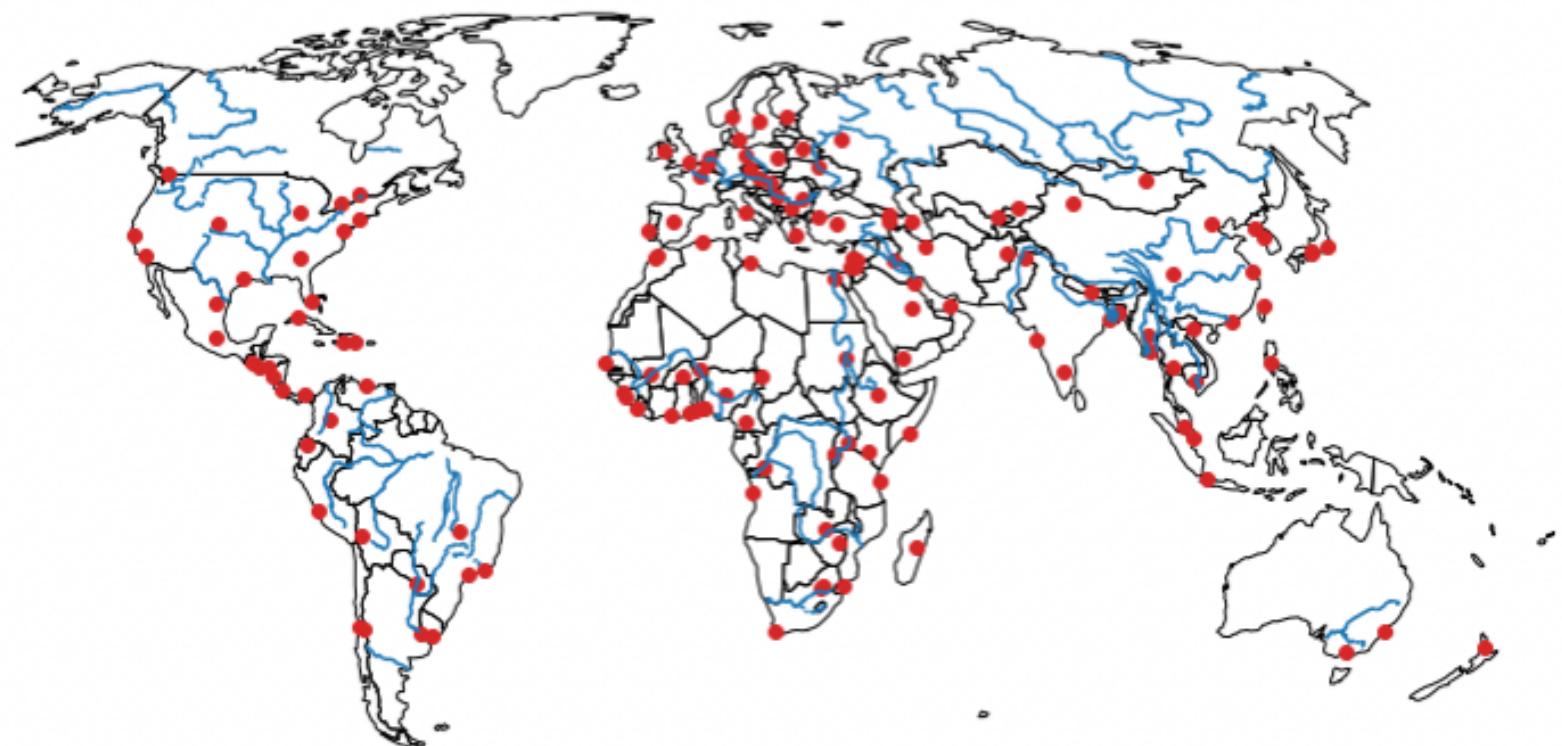


# Dados vetoriais

## Representações comuns

- O mundo é representado a partir de três elementos:

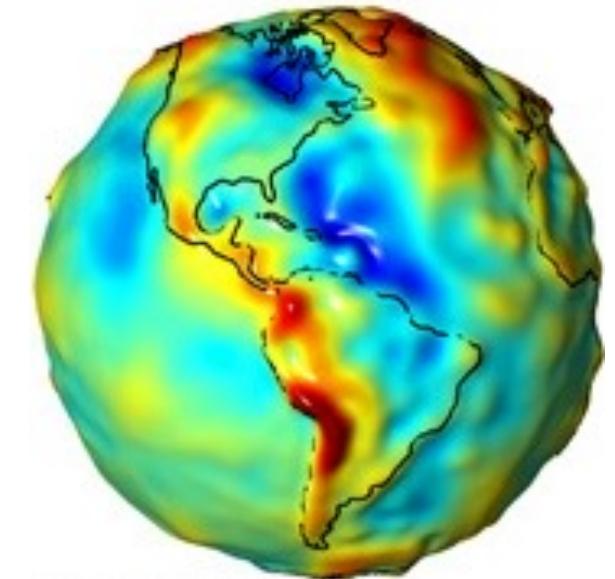
- Pontos
- Linhas
- Polígonos



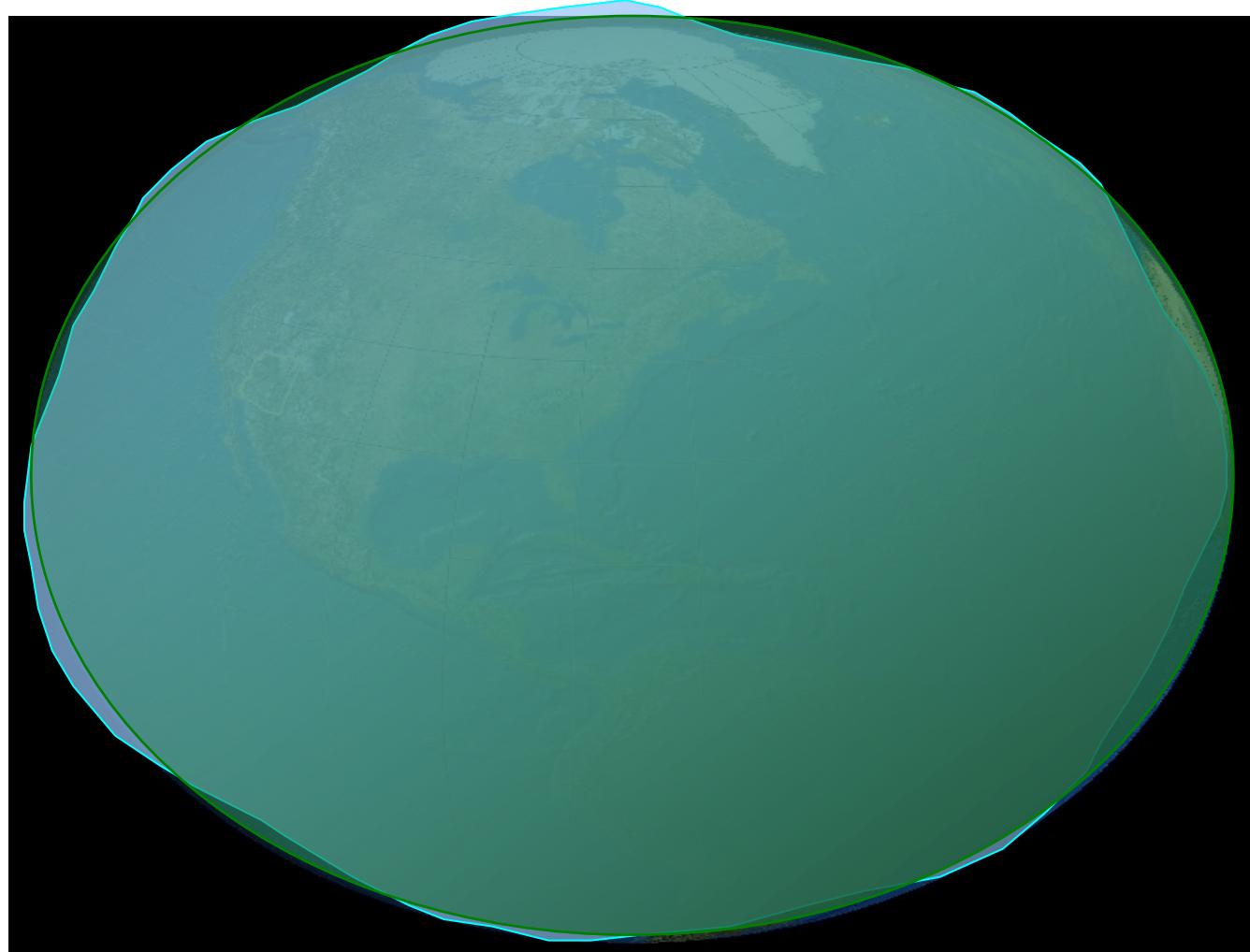
# Dados Espaciais

## Como referenciar o ONDE?

- Para estabelecer localizações na superfície terrestre é necessário trata-la matematicamente
- Este é um dos objetos de estudo da Geodésia
  - Ciência que se encarrega da determinação da forma e das dimensões da Terra
  - Geóide
    - Superfície de igual gravidade, formada pelo nível médio dos mares em repouso, supostamente prolongado por sob os continentes
    - É preciso buscar um modelo mais simples para representar a Terra → uma elipse!



"A Terra"



# Dados Espaciais

## Elipsóide

- Ao girar em torno de seu eixo menor, uma elipse forma um volume achatado nos pólos: o elipsóide de revolução
- É a figura matemática que mais se aproxima da forma do geóide

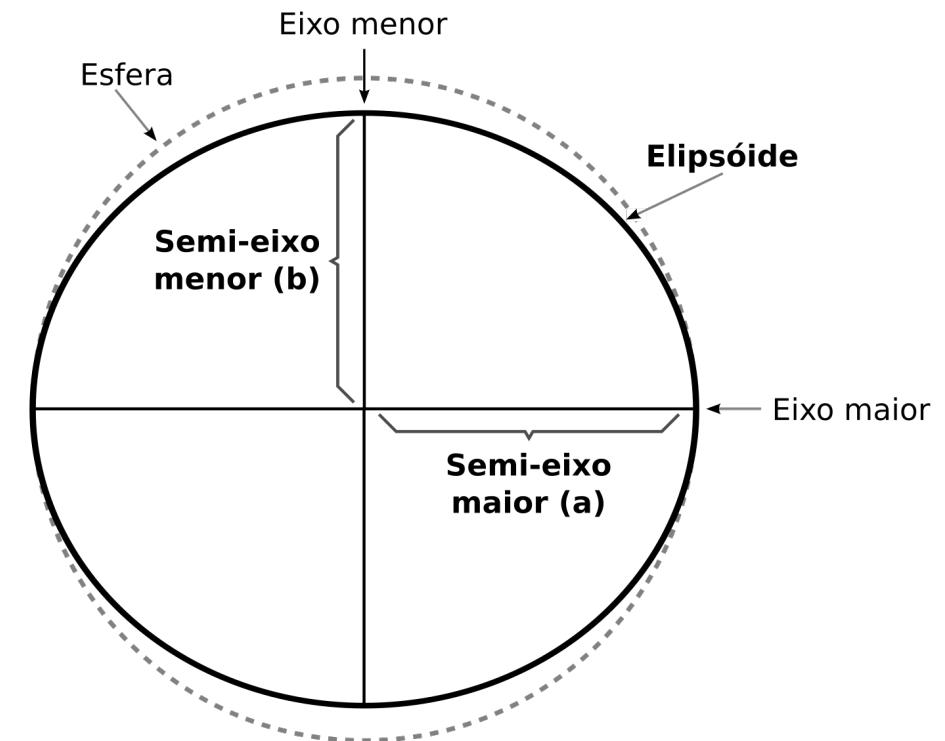
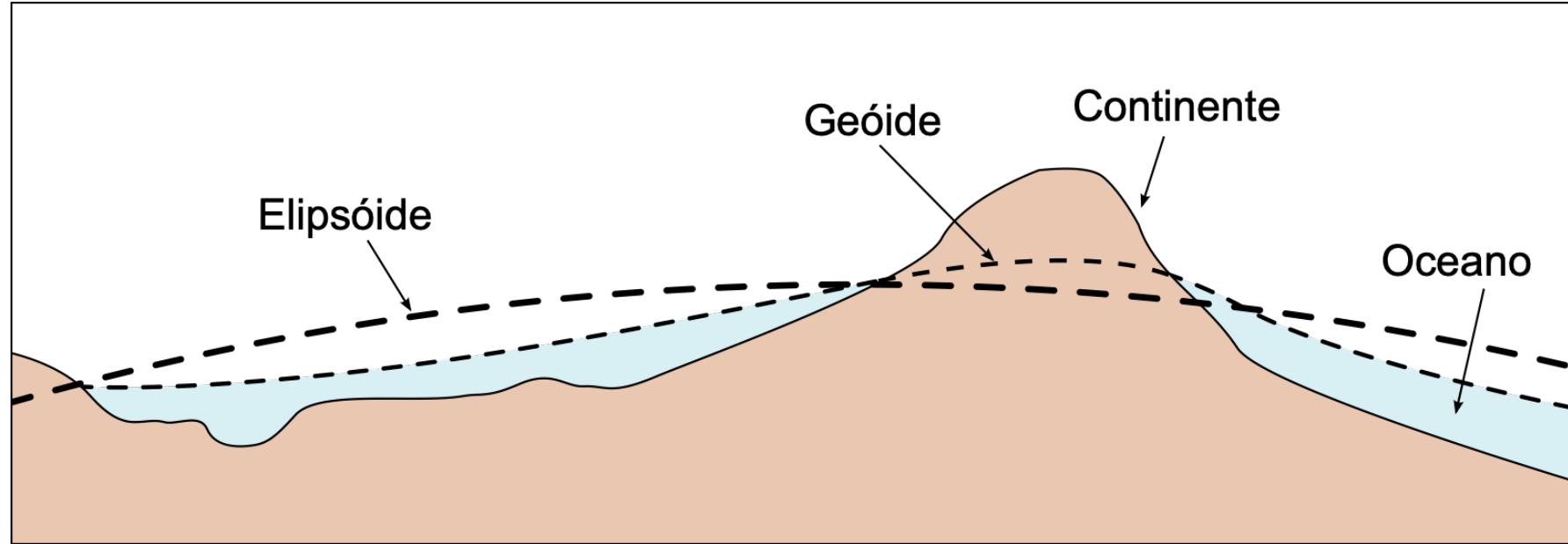


Imagen – Carlos Grohmann - USP

# Elipsóide de Referência

## DATUM

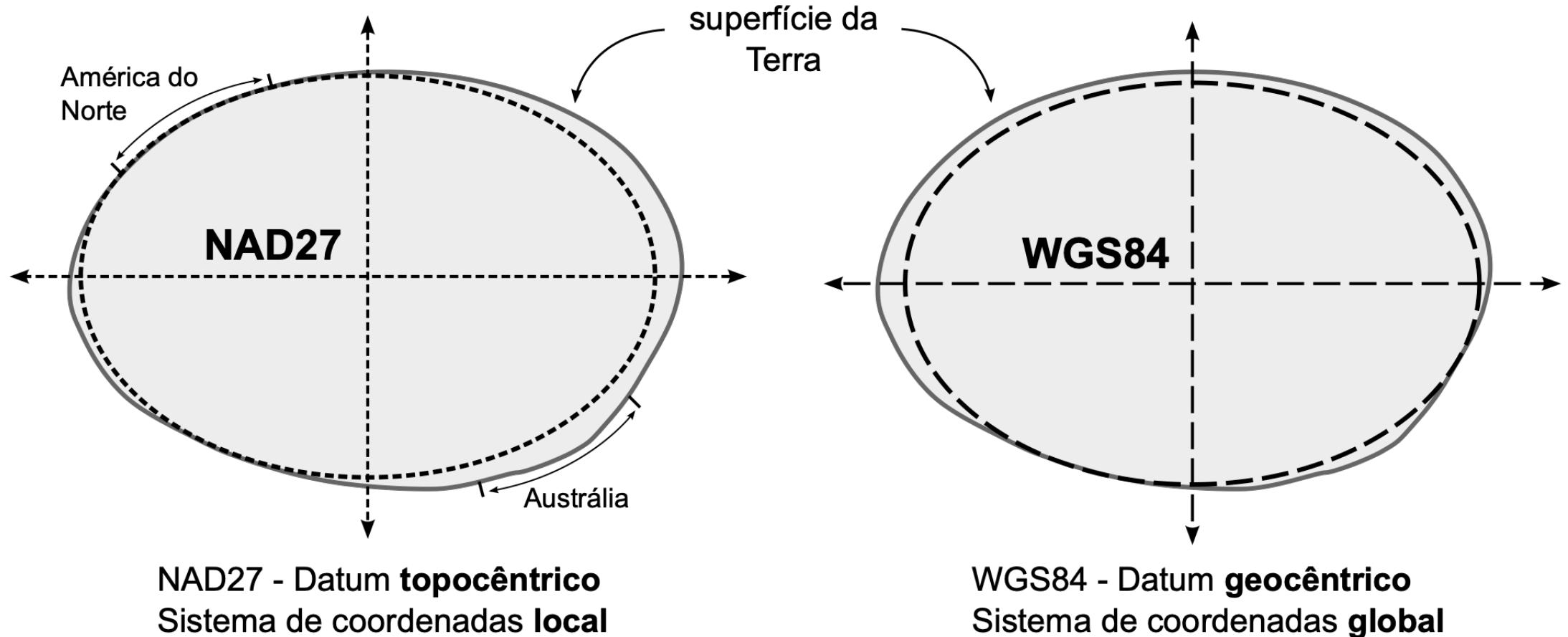


- Há diversos elipsóides de referência
  - Cada país adotou um elipsóide como referência para os trabalhos geodésicos e topográficos que mais se aproxima do geóide na região considerada

Imagen – Carlos Grohmann - USP

# Elipsóide de Referência

## DATUM



# DATUM

Datum	Região de uso	Origem	Elipsóide
WGS 84	Global	Centro de massa da Terra	WGS 84
NAD 83	América do Norte, Caribe	Centro de massa da Terra	GRS 80
ED 50	Europa, África (norte)	Potsdam	Internacional 1924
SAD 69	América do Sul	Chuá	SGR 67
SIRGAS	América da Sul	Centro de massa da Terra	GRS 80

Elipsóide	Semi-eixo maior (m)	Semi-eixo menor (m)	Achatamento
Clarke 1866	6 378 206,4	6 356 583,8	1/294,9786982
Internacional 1924	6 378 388,0	6 356 911,9	1/297,0
GRS 1980	6 378 137,0	6 356 752,3141	1/298,257222101
WGS 1984	6 378 137,0	6 356 752,3142	1/298,257223563
SGR 1967	6 378 160,0	6 356 776,0	1/298,25
Esfera (6371 km)	6 371 000,0	6 371 000,0	$\infty$

## Como se localizar?

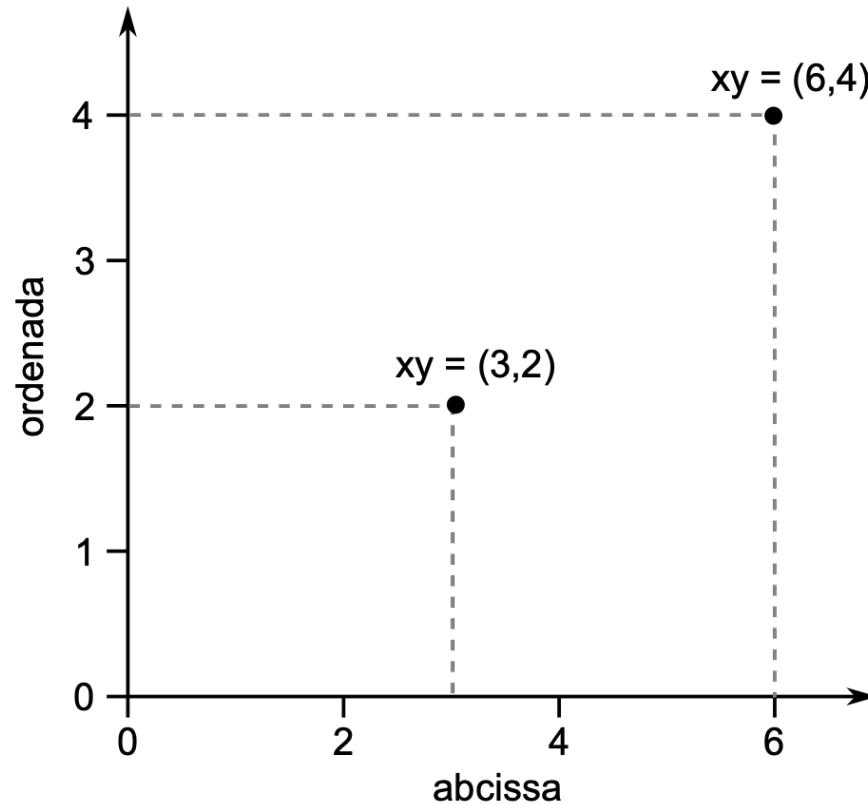
1. Adotar um modelo matemático da Terra – Datum Geodésico (SAD-69, WGS 84, SIRGAS 2000, etc)
2. Adotar um sistema capaz de localizar qualquer lugar na terra: um **sistema de coordenadas**



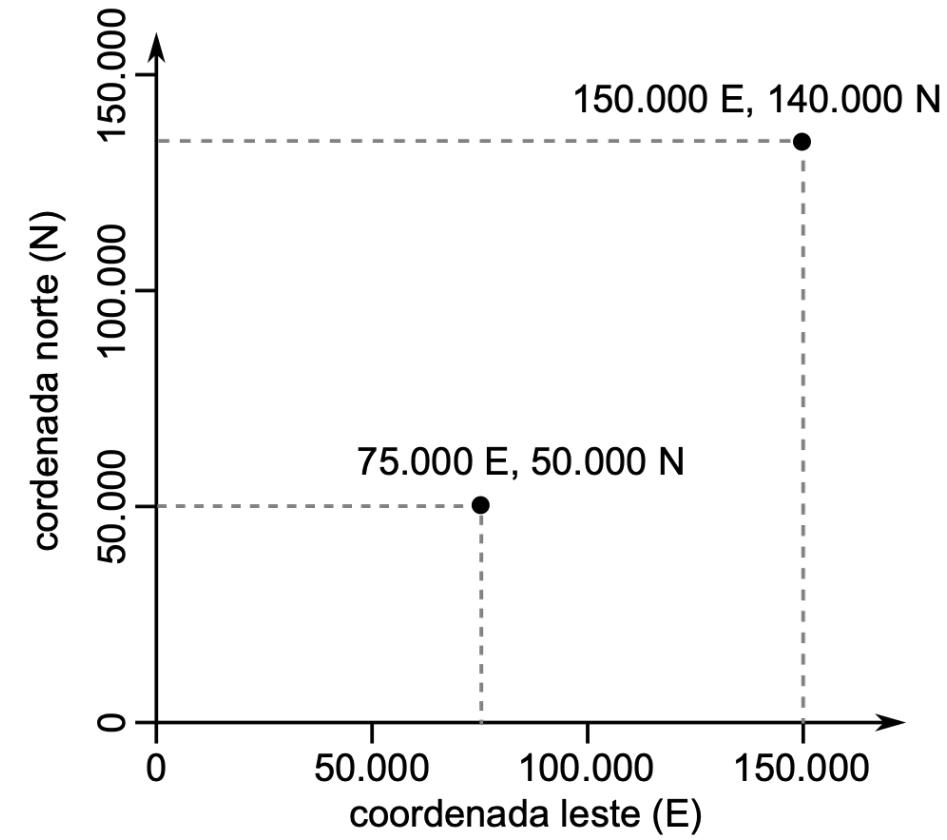
# Sistemas de Coordenadas

## Coordenadas Planas

**Gráfico cartesiano (XY)**



**Coordenadas planas (metros, milhas etc)**



# Sistemas de Coordenadas

## Coordenadas Esféricas

- **Meridianos:** semi-círculos gerados a partir da interseção de planos verticais que contém o eixo Terrestre
  - Meridiano de Greenwich é denominado meridiano de origem
- **Paralelos:** círculos cujo plano é perpendicular ao eixo dos pólos
  - Equador é o paralelo que divide a Terra em dois hemisférios (paralelo de origem)
- **Longitude:** Distância angular entre o lugar e o meridiano de origem
- **Latitude:** Distância angular entre o lugar e o plano do Equador

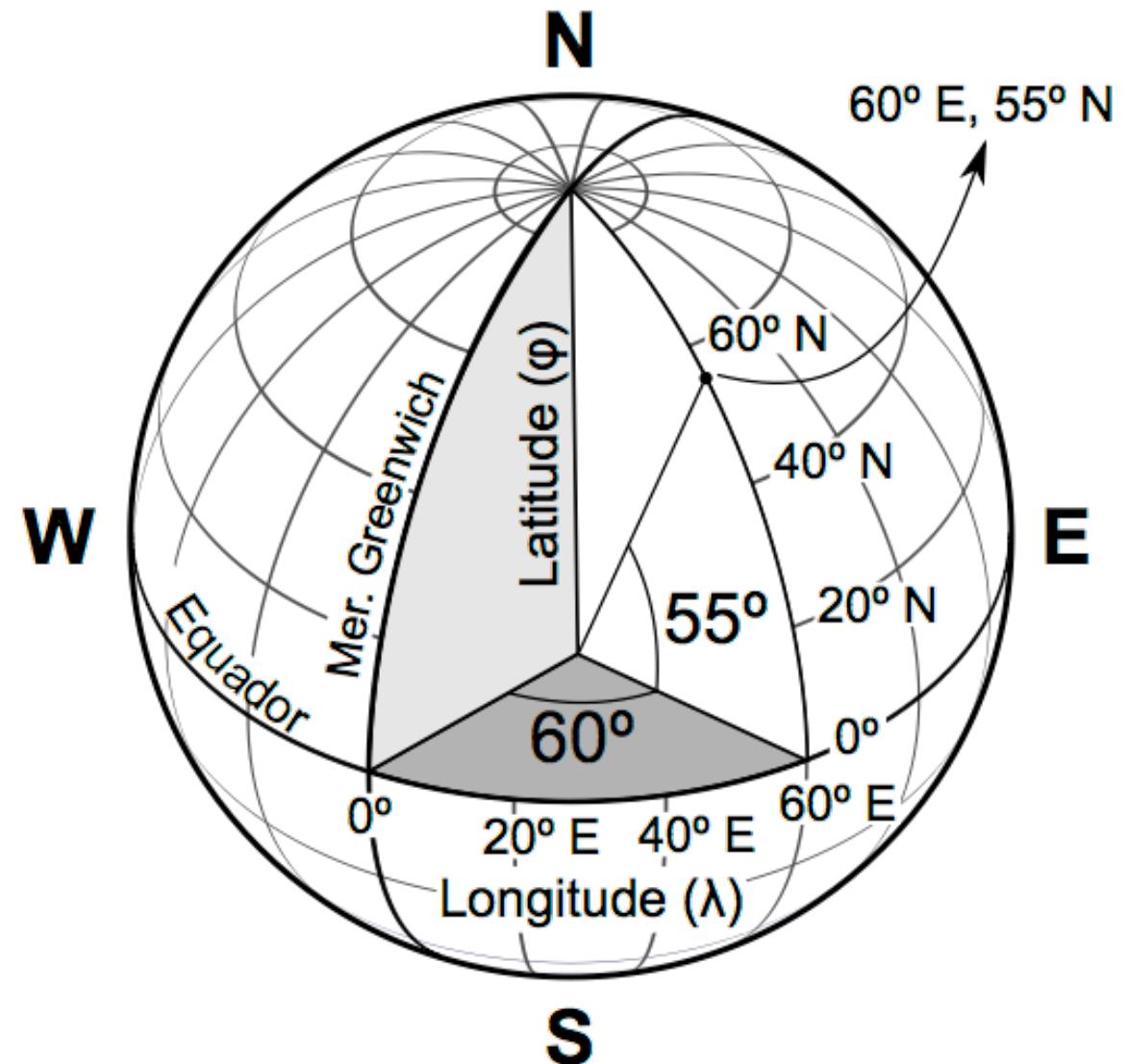


Imagen – Carlos Grohmann - USP

# Sistemas de Coordenadas



Vídeo: <http://gsp.humboldt.edu/olm/Lessons/GIS/01%20SphericalCoordinates/>

# Sistemas de Coordenadas

## Conversão Sexagesimal → Graus Decimais (e vice-versa)

- Sexagesimal → Graus Decimais

$45^{\circ}31'57''W$

$$45 + \frac{31'}{60} + \frac{57''}{3600} = 45 + 0.516666 + 0.015833$$

$-45.5325$  (coord. W e S têm valores negativos)

- Graus Decimais → Sexagesimal

$-45.5325^{\circ} \rightarrow 45^{\circ}$

$$0.5325 \times 60 = 31.95 \rightarrow 31'$$

$$0.95 \times 60 = 57 \rightarrow 57''$$

$-45.5325^{\circ} = 45^{\circ}31'57''W$

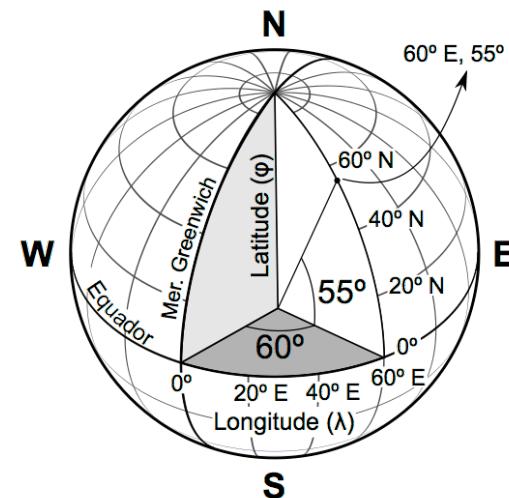


Imagen – Carlos Grohmann - USP

# Sistema de Coordenadas

## Precisão das Coordenadas

### Accuracy and Precision in Geographic Coordinates

Accuracy describes how close a measured value is to the true or accepted value.



Precision describes how close a set of measured values are to each other.



Geographic accuracy measures how close a set of coordinates is to the real world feature they describe.

Indication of hemisphere:

Negative latitude values are south of the equator

Negative longitude values are west of the prime meridian

- 1 2 2 . 1 2 3 4 5 6 7 8 9

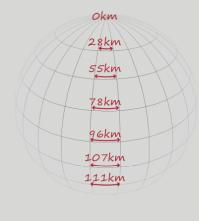
Measures up to 1000km  
What continent am I on?

up to 111km  
What state am I in?

this is why we don't use  
geographic coordinates for measuring

Distance of 1° of longitude  
between 0° and 90° north:

Longitude	
0°	111.320 km
15°	107.551 km
30°	96.486 km
45°	78.847 km
60°	55.800 km
75°	28.902 km
90°	0.000 km



David Medeiros - davidmed@stanford.edu - Stanford Geospatial Center, 2015

up to 11.1km  
Distance between Oakland and SF

up to 110m  
about the length of a football field

up to 1.1km  
1/2 the length of the Golden Gate bridge

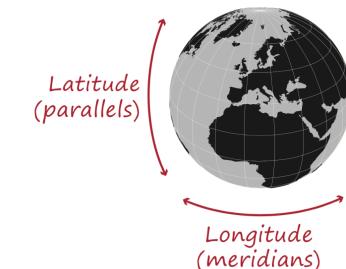
up to 11m  
identify a parcel of land (comparable to uncorrected consumer GPS unit)

up to 0.11m (about 4 inches)  
precise enough to measure detailed structures and landscape changes

up to 1cm (about 1/2 inch!)  
if you're mapping stuff to the half inch you're awesome

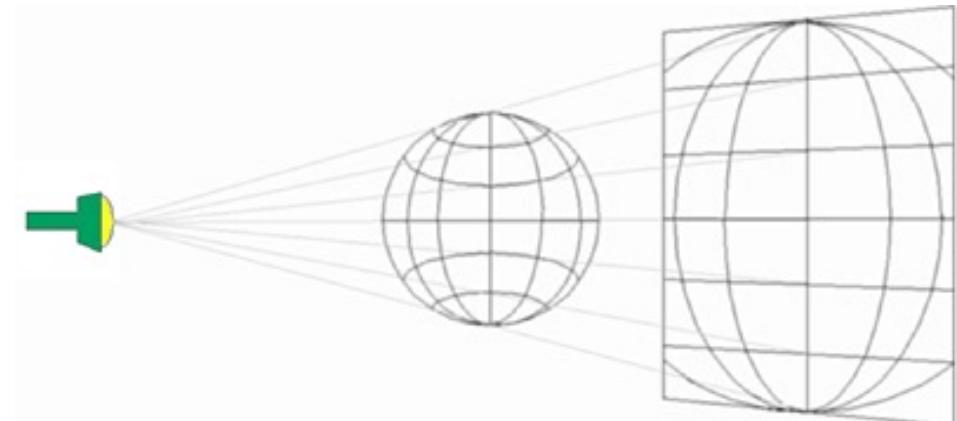
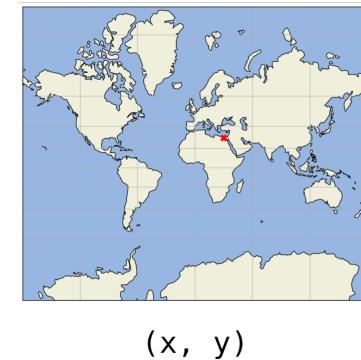
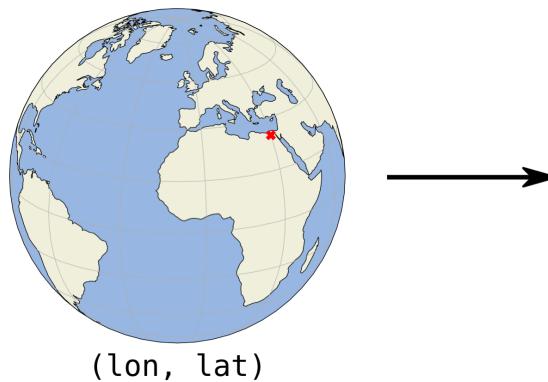
0.1mm (width of a human hair)  
what the hell are you mapping?

This is usually good enough!



# Sistemas de Coordenadas

- Latitude e Longitude de um local determinam as coordenadas geográficas do mesmo
- Excelente para georreferenciamento
- Mas, e quando estamos lidando com uma superfície plana? Um mapa? O que fazemos?



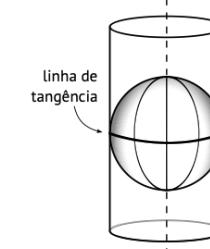
- Precisamos de um método a qual cada ponto da superfície terrestre corresponda a um ponto no mapa

# Projeções cartográficas

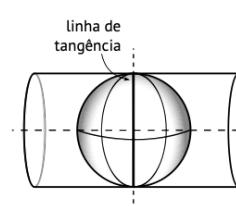
## Deformações são inevitáveis

- Projeção Conforme
  - Mantêm ângulos (forma), mas não tamanhos
- Projeção Equidistante
  - Mantêm distância, mas deforma áreas e ângulos
- Projeção Equivalente
  - Mantêm áreas, mas distorce as formas

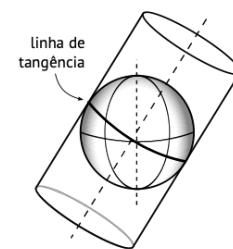
Cilíndricas



**Equatorial ou Normal:**  
eixo do cilindro paralelo  
ao eixo da Terra



**Transversa:**  
eixo do cilindro perpendicular  
ao eixo da Terra

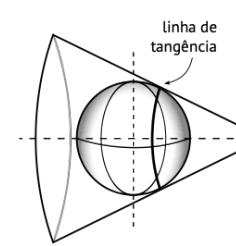


**Oblíqua:**  
eixo do cilindro inclinado em  
relação ao eixo da Terra

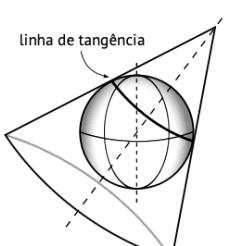
Cônicas



**Normal:**  
eixo do cone paralelo  
ao eixo da Terra

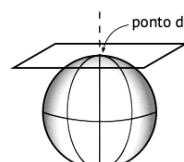


**Transversa:**  
eixo do cone perpendicular  
ao eixo da Terra

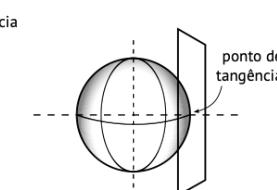


**Oblíqua:**  
eixo do cone inclinado em  
relação ao eixo da Terra

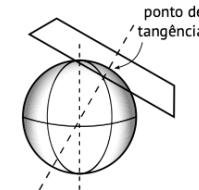
Planas (azimutais)



**Polar:**  
plano tangente ao pólo



**Equatorial:**  
plano tangente ao equador



**Oblíqua:**  
plano tangente em um  
 ponto qualquer

## Exemplos

### Projeção planar equidistante

- As distâncias e direções são válidas para qualquer ponto a partir do centro do mapa

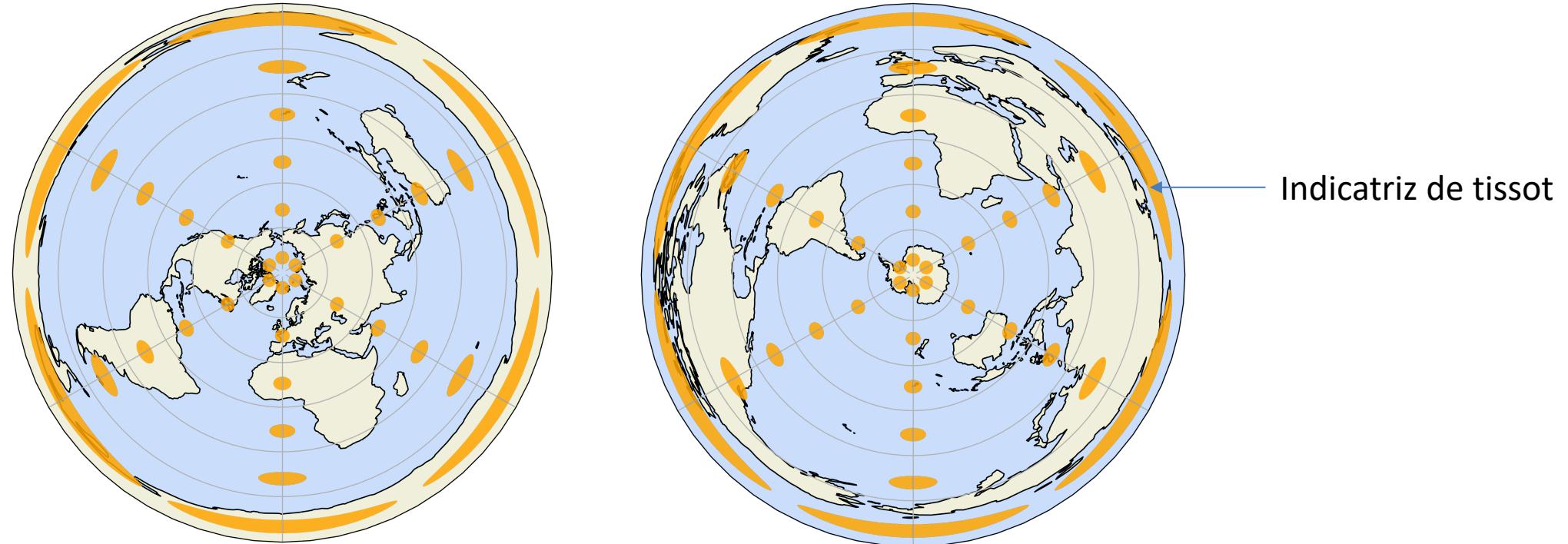


Imagen – Carlos Grohmann - USP

## Exemplos

### Projeção Cônica Conforme de Lambert

- As distâncias e direções são válidas para qualquer ponto a partir do centro do mapa

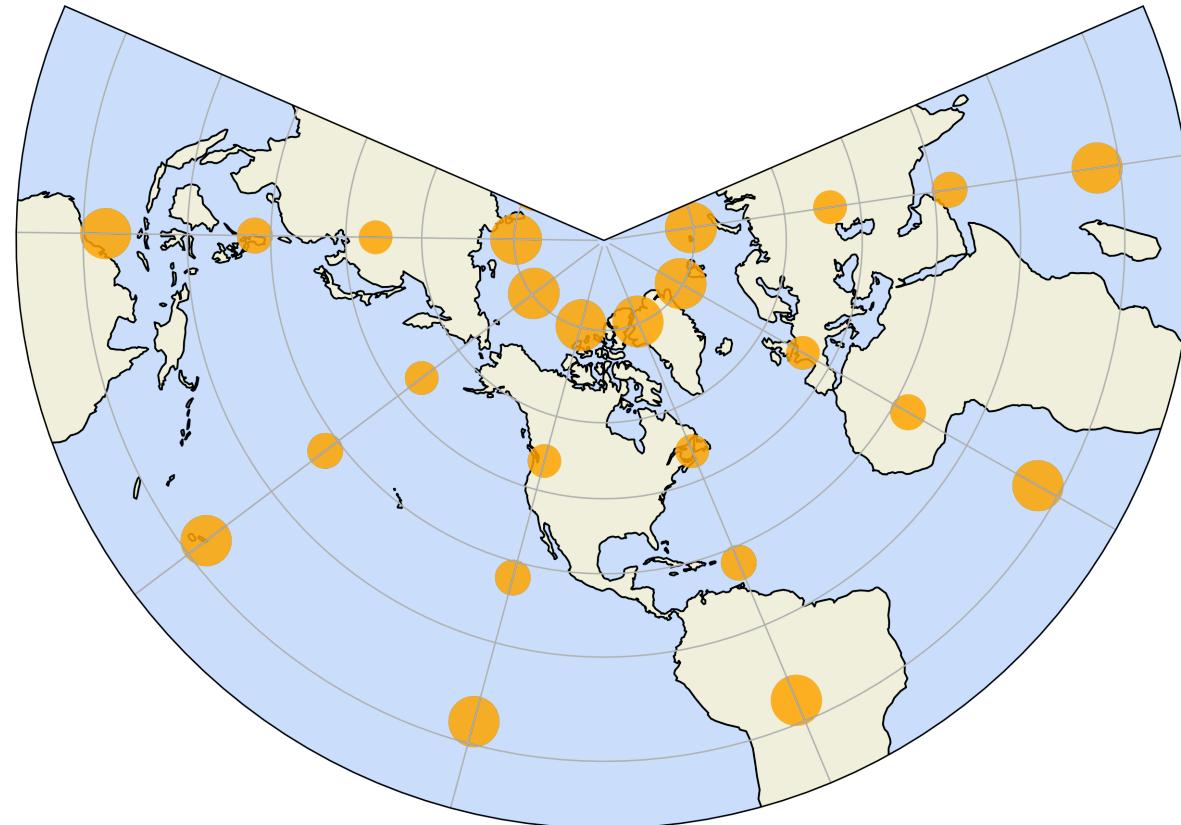


Imagen – Carlos Grohmann - USP

# Exemplos

## Projeção Conformal de Mercator

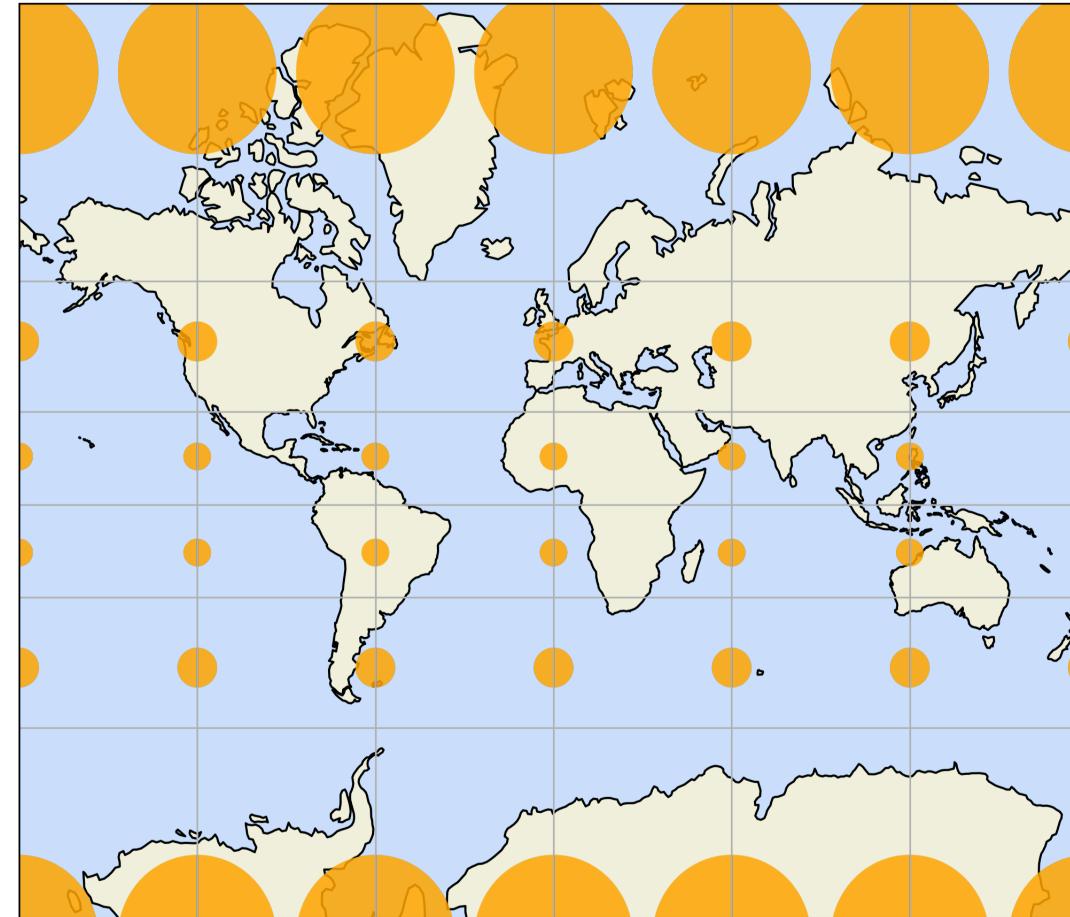


Imagen – Carlos Grohmann - USP

# Exemplos

## Projeção Cilíndrica Equidistante

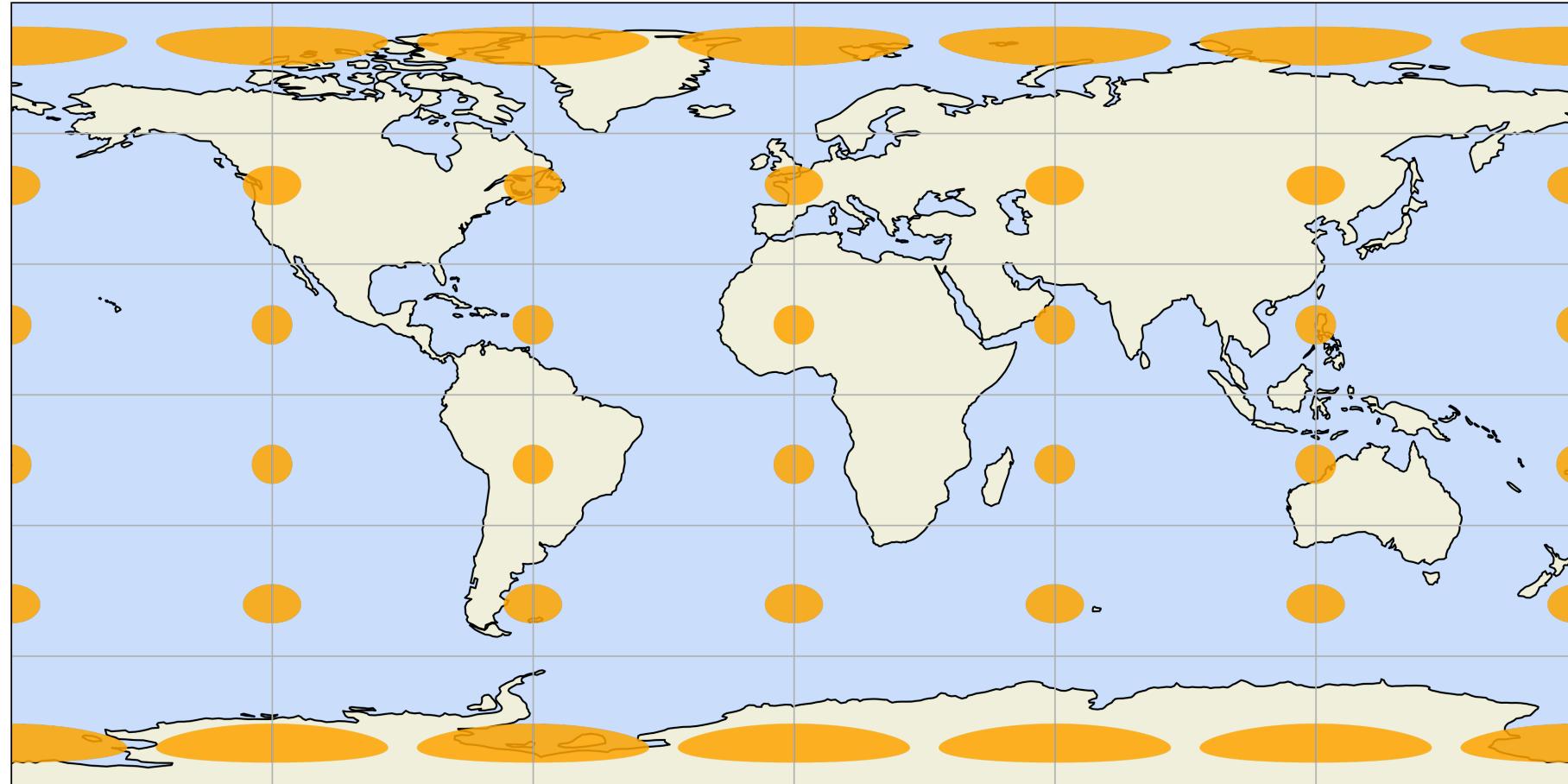


Imagen – Carlos Grohmann - USP

## Exemplos

### Projeção de Robinson

- Não é conformal, nem igual-área. Foi usada pela National Geographic Society para seus mapas-mundi

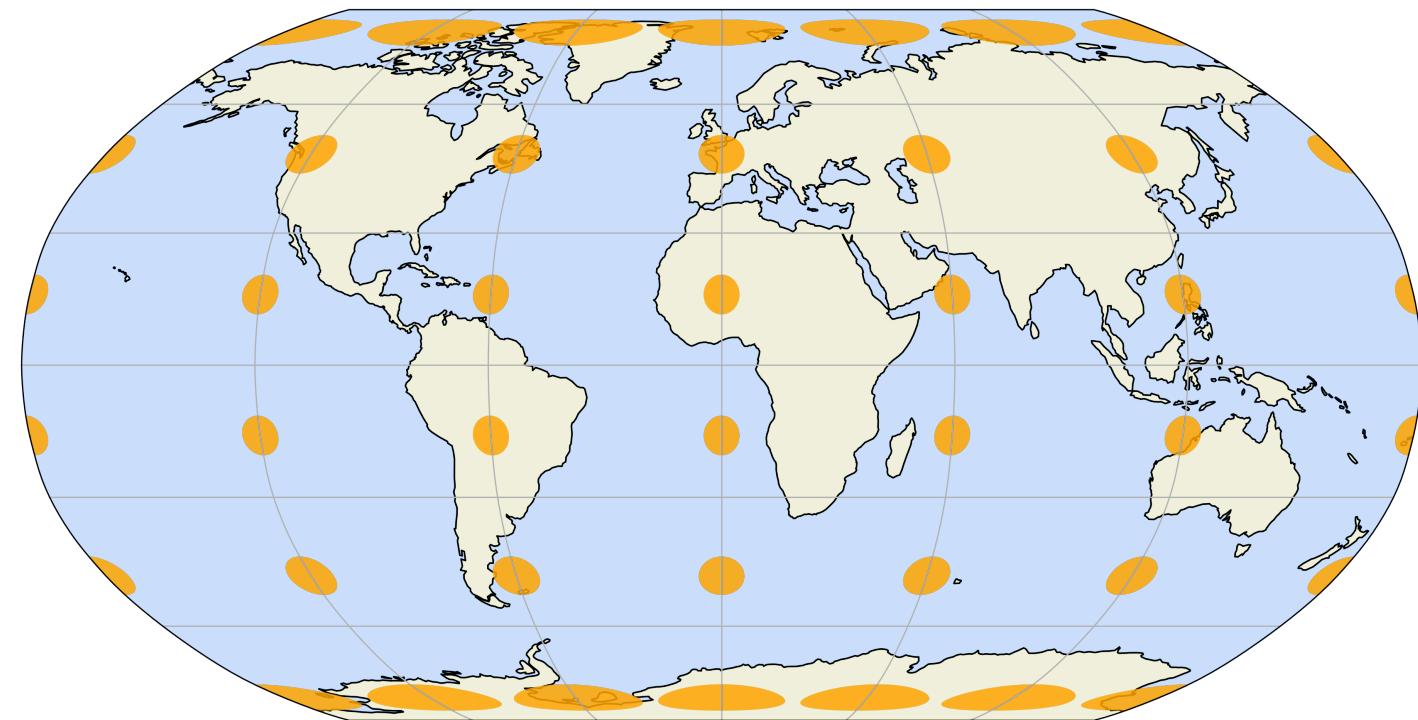
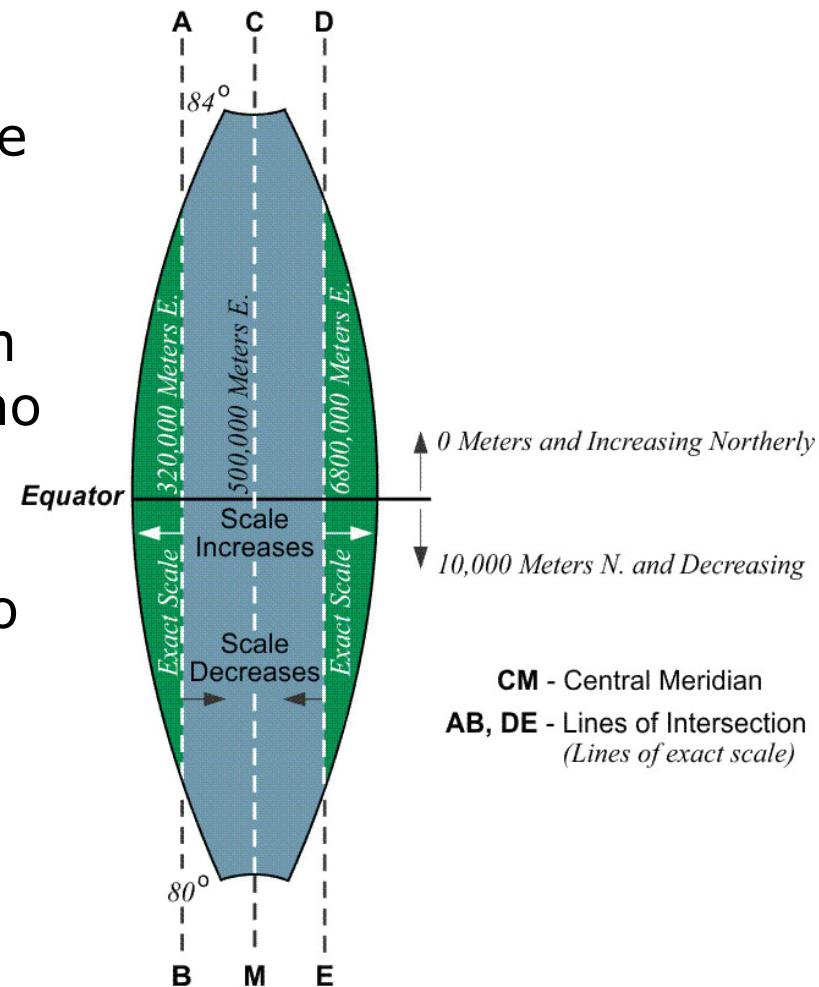


Imagen – Carlos Grohmann - USP

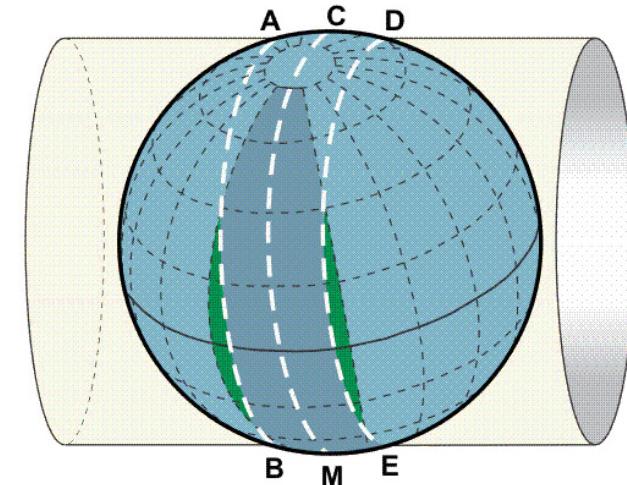
# Projeção Universal Transversa de Mercator

## UTM

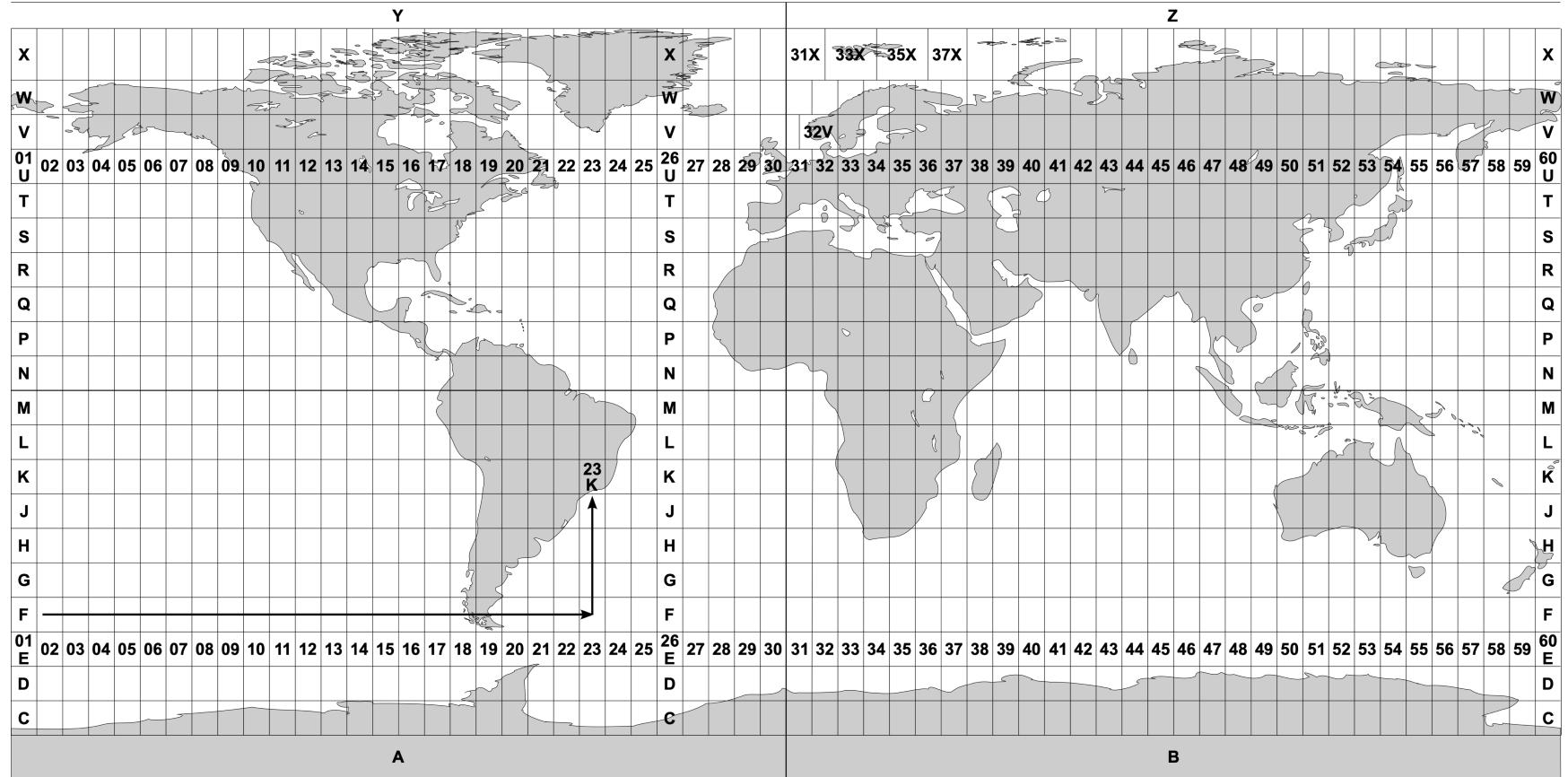
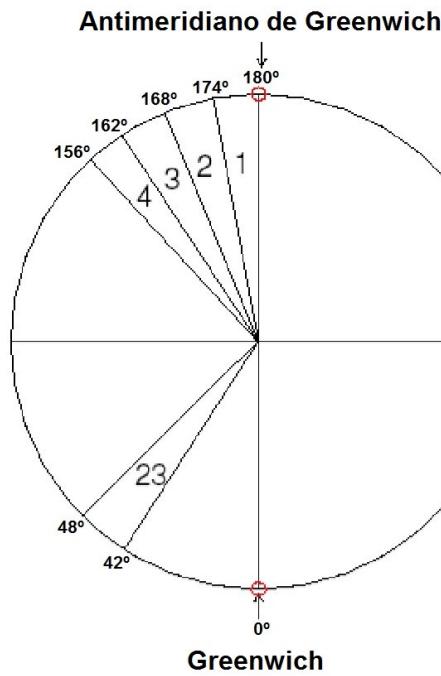
- Divide a Terra em 60 zonas de  $6^{\circ}$  de longitude entre as latitudes  $80^{\circ}\text{S}$  e  $84^{\circ}\text{N}$
- Cada zona é mapeada por um cilindro transverso centrado no seu meridiano central
- Capaz de mapear áreas extensas com pouca distorção



CM - Central Meridian  
AB, DE - Lines of Intersection  
(Lines of exact scale)

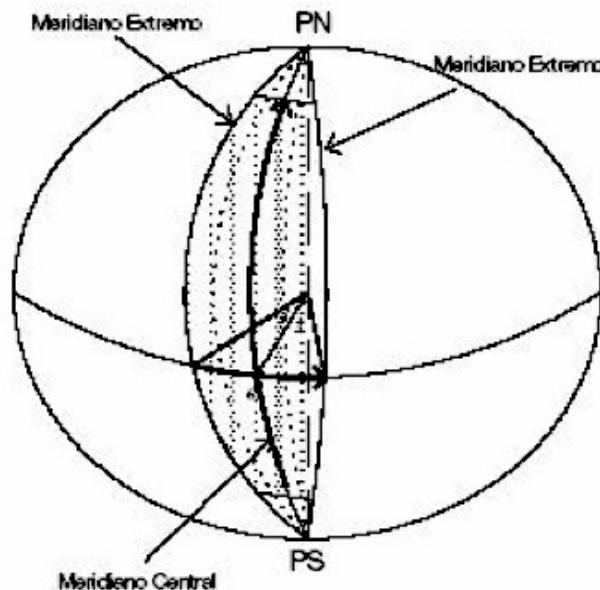


# UTM



# UTM

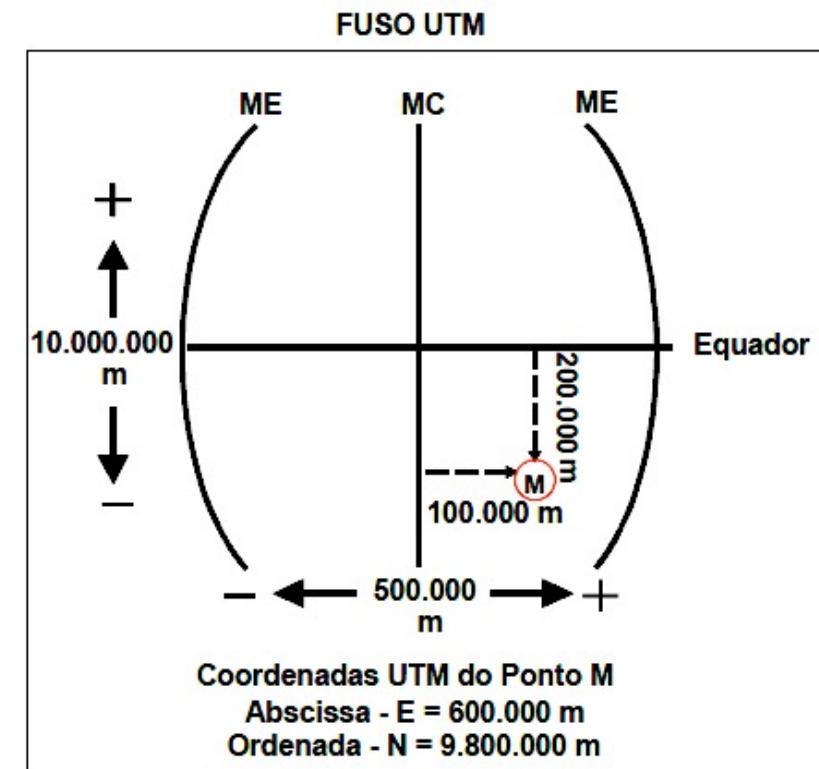
- Cada fuso possui um meridiano central, com 3 graus para cada lado
- Origem: cruzado do equador (10.000.000 ou 0 m) com o MC (500.000 m) de cada fuso



**Convenção Internacional:**

E → abscissa – no Equador

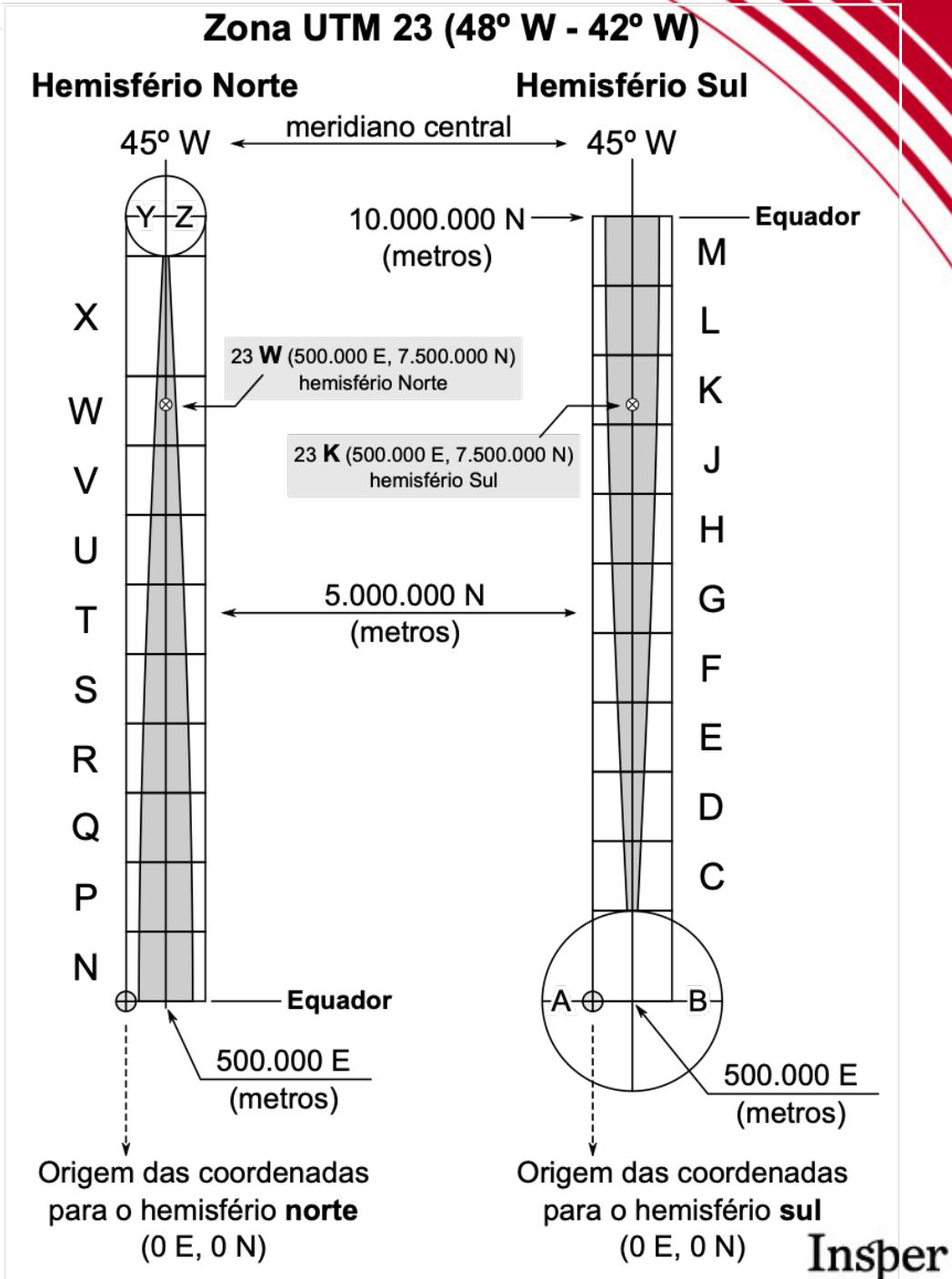
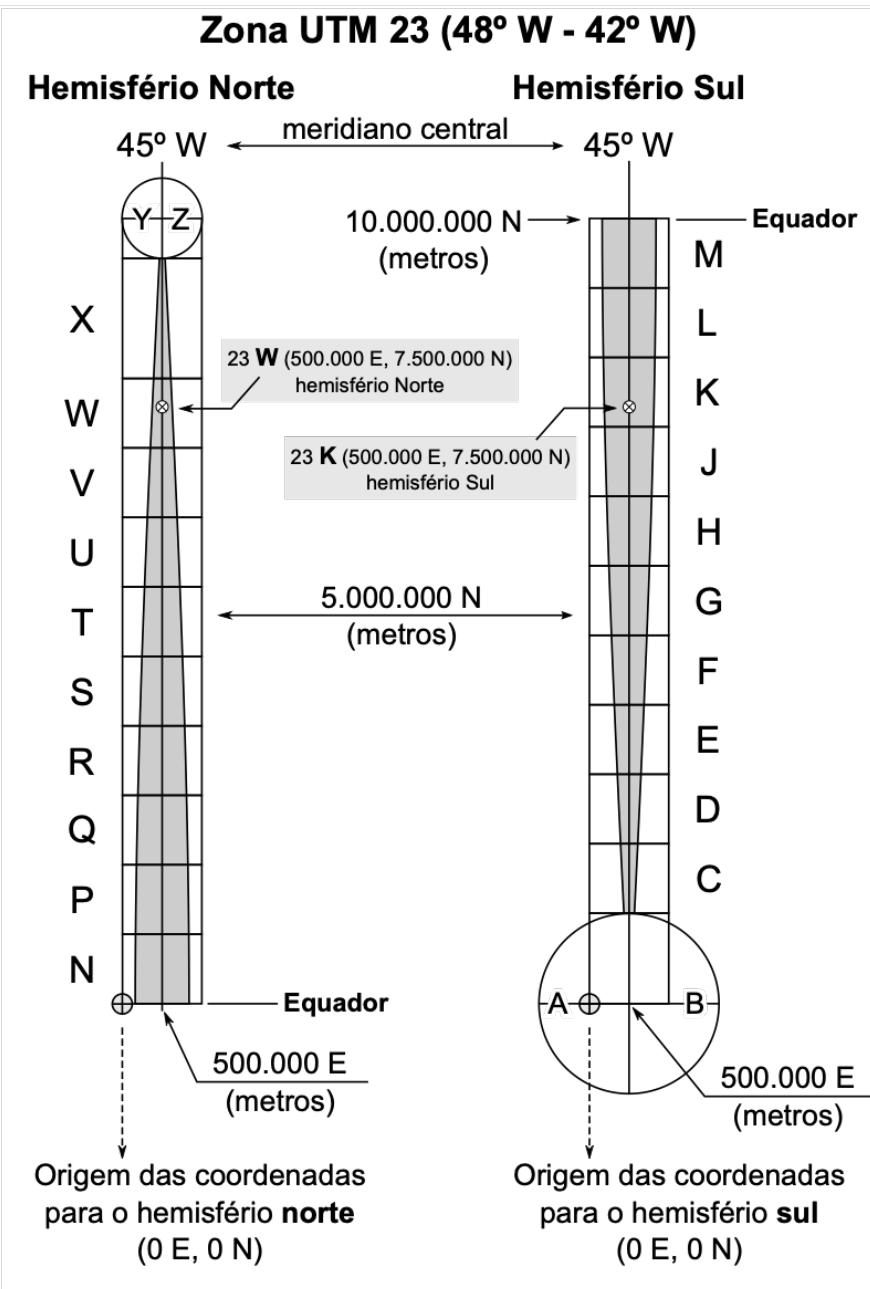
N → ordenada – no MC



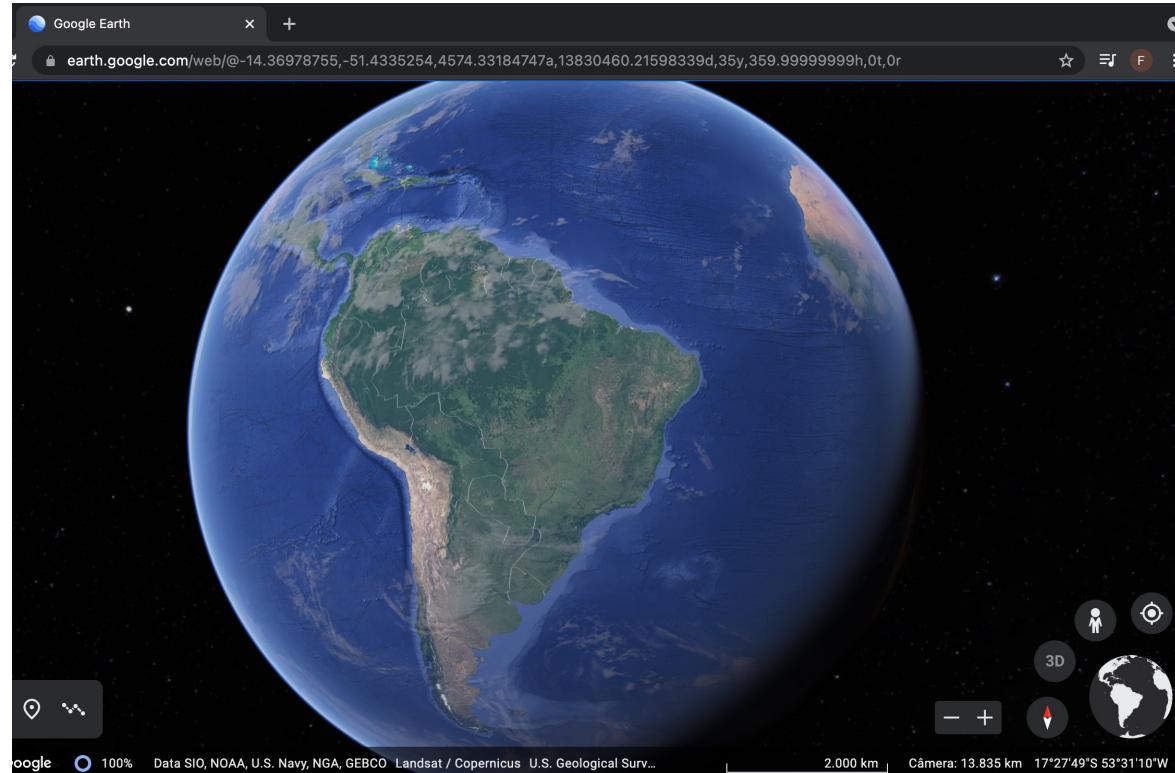
# UTM



# UTM Cuidados!

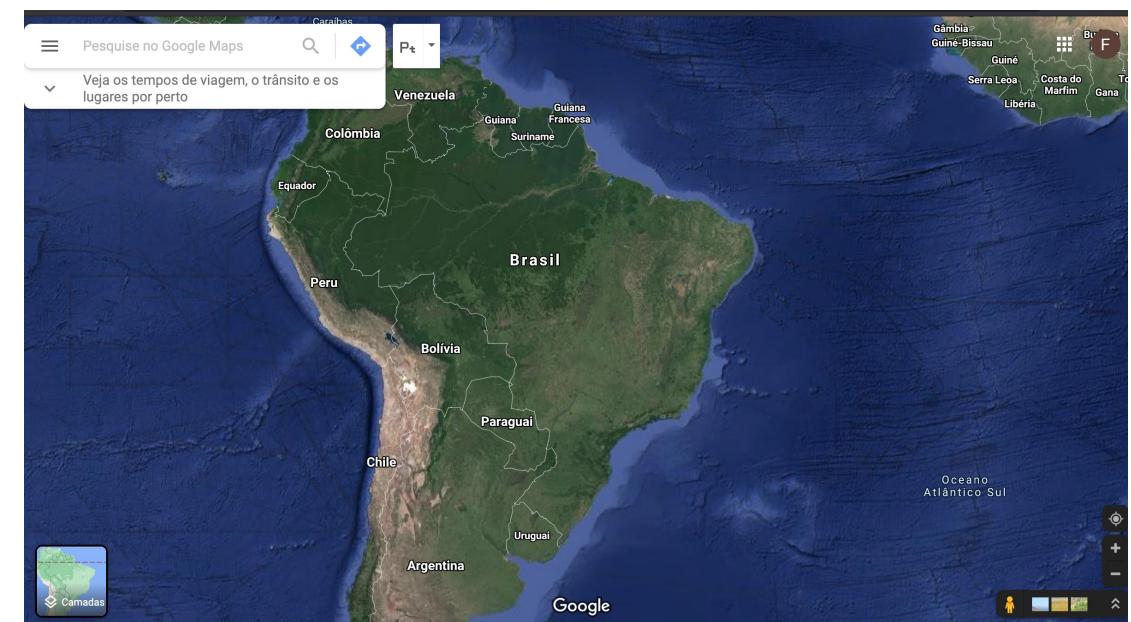


# Coordenadas Geográficas vs. Coordenadas Projetadas



Google Earth → sistema de coordenadas geográficas com datum WGS84 (EPSG:4326)

EPSG:4326 → sistema de coordenadas na superfície de uma esfera ou elipsoide de referência



Google Maps → sistema de coordenadas projetado, no datum WGS84 (EPSG:3857)

EPSG:3857 → sistema de coordenadas projetado da superfície de uma esfera ou elipsoide para uma superfície plana

# Coordenadas Geográficas vs. Coordenadas Projetadas

<https://epsg.io/>

## EPSG:4326

WGS 84 -- WGS84 - World Geodetic System 1984, used in GPS

### Attributes

Unit: degree (supplier to define representation)

Geodetic CRS: WGS 84

Datum: World Geodetic System 1984

Ellipsoid: WGS 84

Prime meridian: Greenwich

Data source: OGP

Information source: EPSG. See 3D CRS for original information source.

Revision date: 2007-08-27

Share on: [Twitter](#) [Pinterest](#)

[Transform](#)[Get position on a map](#)

Center coordinates

0.00000000 0.00000000

WGS84 bounds:

-180.0 -90.0  
180.0 90.0

## EPSG:3857

WGS 84 / Pseudo-Mercator -- Spherical Mercator, Google Maps, OpenStreetMap, Bing, ArcGIS, ESRI

This is projected coordinate system used for rendering maps in Google Maps, OpenStreetMap, etc. For details see Tile system.

Alternatives codes : 900913 3587 54004 41001 102113 102100 3785

### Attributes

Unit: metre

Geodetic CRS: WGS 84

Datum: World Geodetic System 1984

Ellipsoid: WGS 84

Prime meridian: Greenwich

Data source: OGP

Information source: Microsoft.

Revision date: 2015-11-25

Share on: [Twitter](#) [Pinterest](#)

[Transform](#)[Get position on a map](#)

Center coordinates  
0.00 -0.00

Projected bounds:  
-20026376.39 -20048966.10  
20026376.39 20048966.10

WGS84 bounds:  
-180.0 -85.06  
180.0 85.06

World between 85.06°S and 85.06°N.

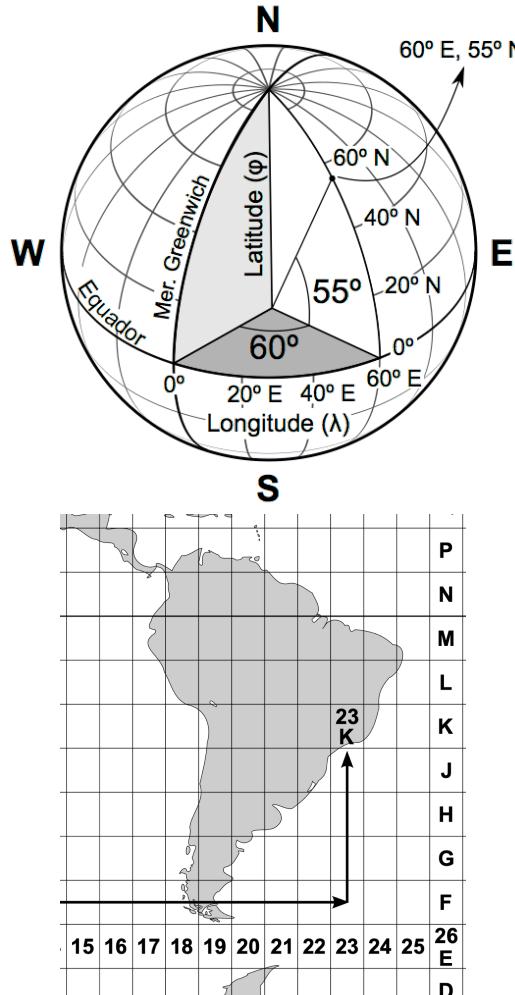
Google Earth → sistema de coordenadas geográficas com datum WGS84 (EPSG:4326)

EPSG:4326 → sistema de coordenadas na superfície de uma esfera ou elipsoide de referência

Google Maps → sistema de coordenadas projetado, no datum WGS84 (EPSG:3857)

EPSG:3857 → sistema de coordenadas projetado da superfície de uma esfera ou elipsoide para uma superfície plana

# Encontrando o Insper



Reproduza o mapa em <https://www.geoplaner.com/>

# Atenção Data Harvesting



- Dois conjuntos de dados podem diferir no **datum** (modelo de formato da terra), sistema de projeção cartográfica (transformação matemática de angulos para superficies planas) e **sistemas de coordenadas**
- Cuidado ao integrar conjuntos de dados espaciais!

# Resumo Gráfico

- Datum
  - Qual fruta usar para representar a Terra?



- Projeção Cartográfica
  - Como se dará a visualização planar da Terra?



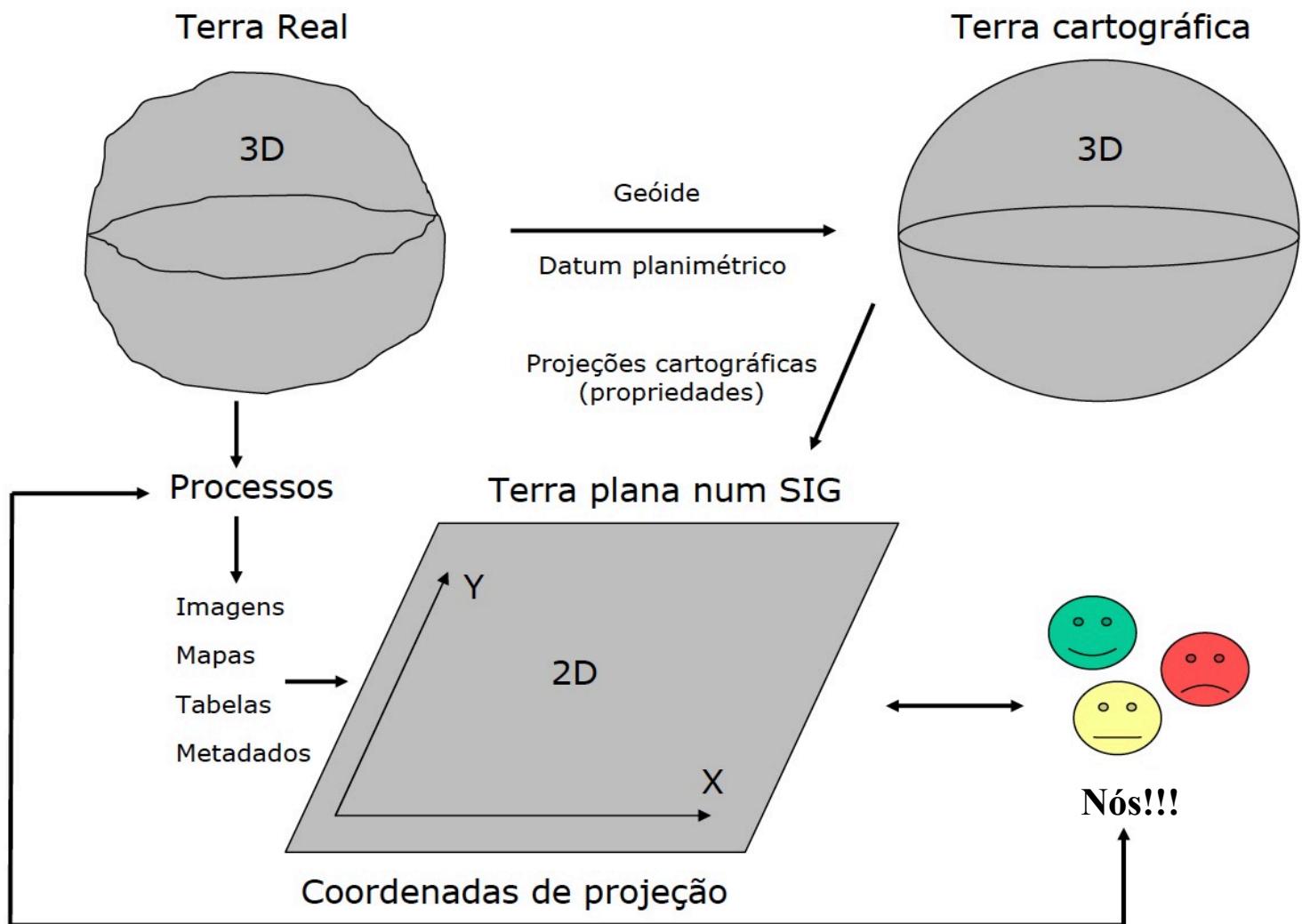
# PROJ

- PROJ é uma biblioteca de código-aberto para armazenar dados de diferentes sistemas de coordenadas
- É possível em uma string armazenar as informações de um sistema de coordenada de referência como:

+proj=utm +zone=18 +datum=WGS84 +units=m +ellps=WGS84

- proj = projeção utilizada, no caso UTM
- zone = zona do UTM, no caso 18
- datum = modelo de formato da Terra, WGS-84
- units = unidade de medida, no caso metros
- ellips = modelo de elipsóide , WGS-84

# Resumo Gráfico

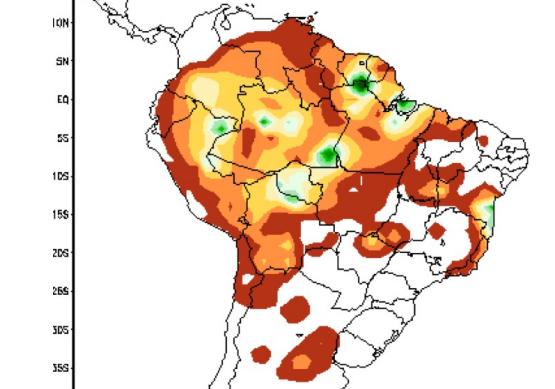
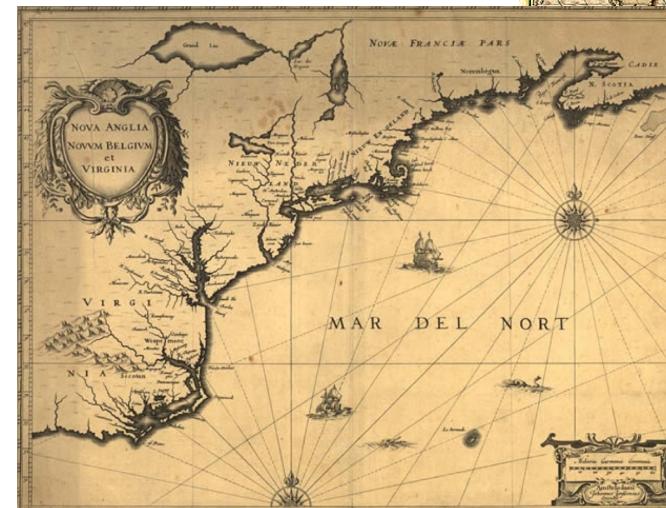
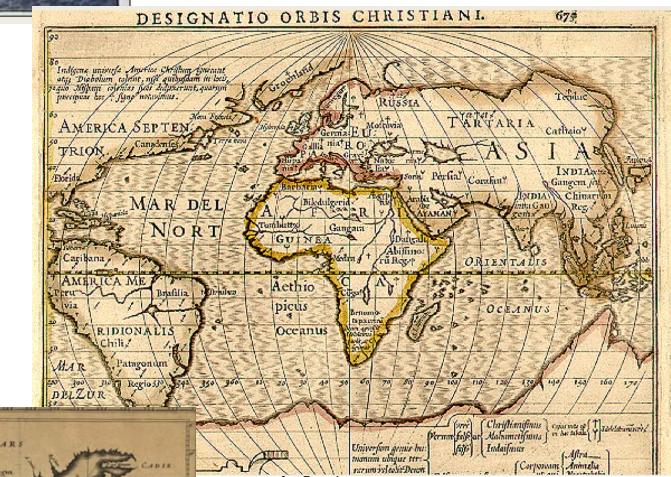


Fonte: Júlio D'Alge

# Geoprocessamento

## Mapas

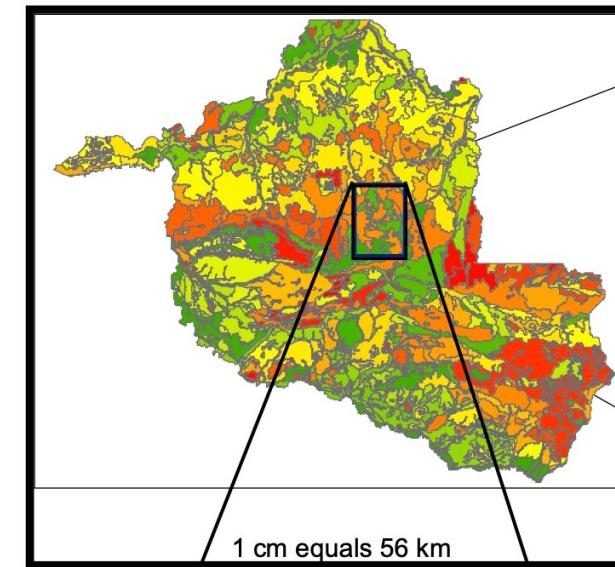
- Mapa
  - Para Marbes & Pequet, 1990:
    - Mecanismo analógico de armazenamento para dados espaciais que representam graficamente uma superfície plana, os acidentes físicos e culturais da superfície em uma dada escala
  - Mapas são produtos de uma cadeia de operações que vão desde o planejamento da coleta da observação e coleta de dados até o armazenamento e análise dos mesmos



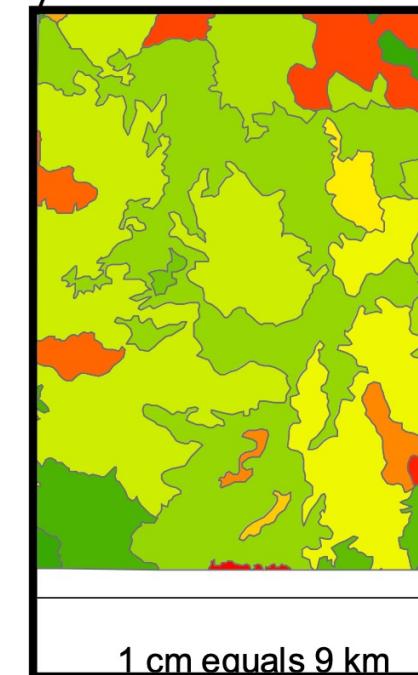
# Mapas

## Escala Cartográfica

- Grau de redução espacial indicativo do comprimento utilizado para representar a maior unidade de medida
- Razão entre distância no mapa e superfície terrestre representada pelo mesmo (exemplo 1:1000)
- $E = d/D$ 
  - $d$  = distância medida no mapa
  - $D$  = distância real
- Quanto maior a escala, menor é a área representada e maior é nível de detalhamento



1 cm equals 56 km

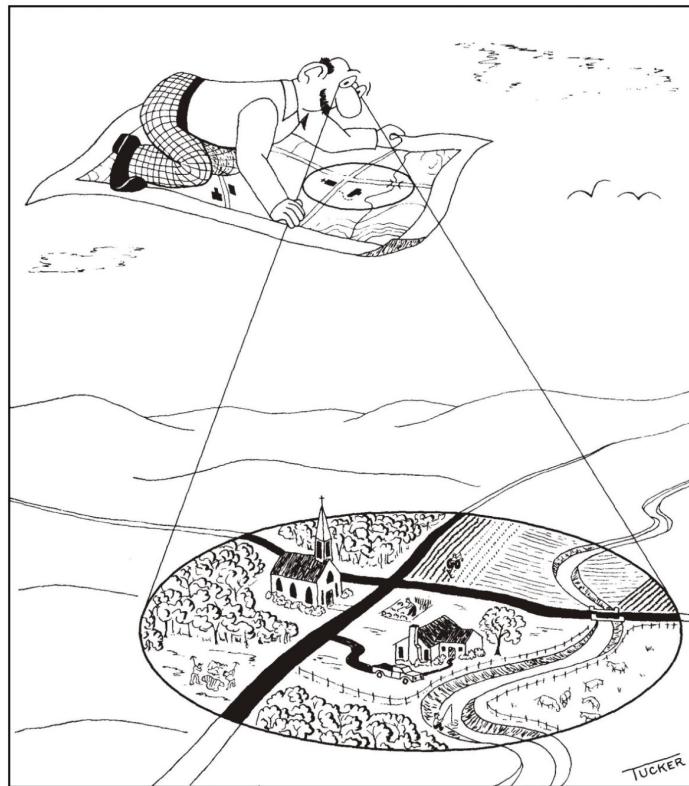


1 cm equals 9 km

# Mapas

## Escala Cartográfica

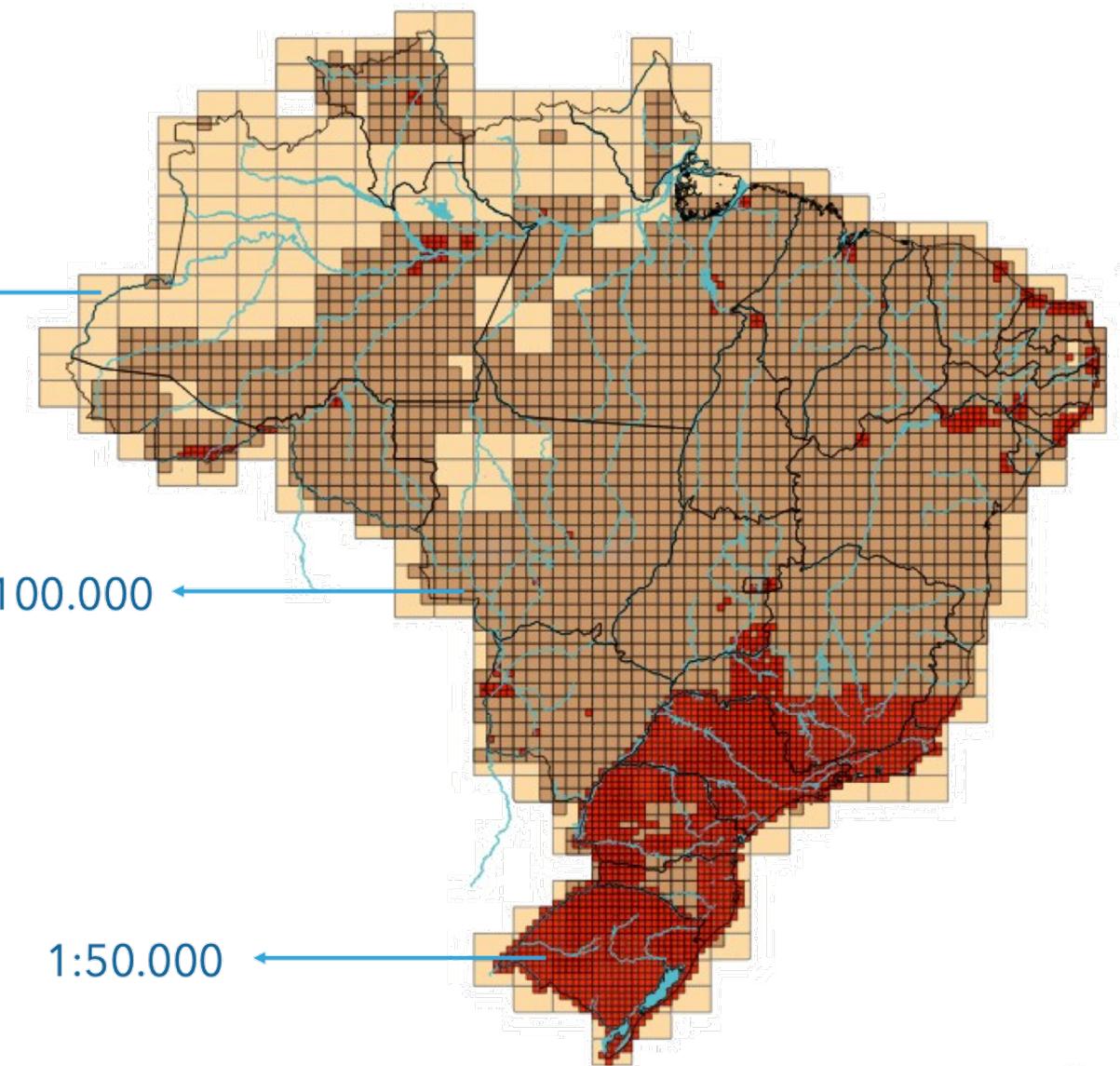
- Quanto maior a escala, menor é a área representada e maior é nível de detalhamento



1:250.000

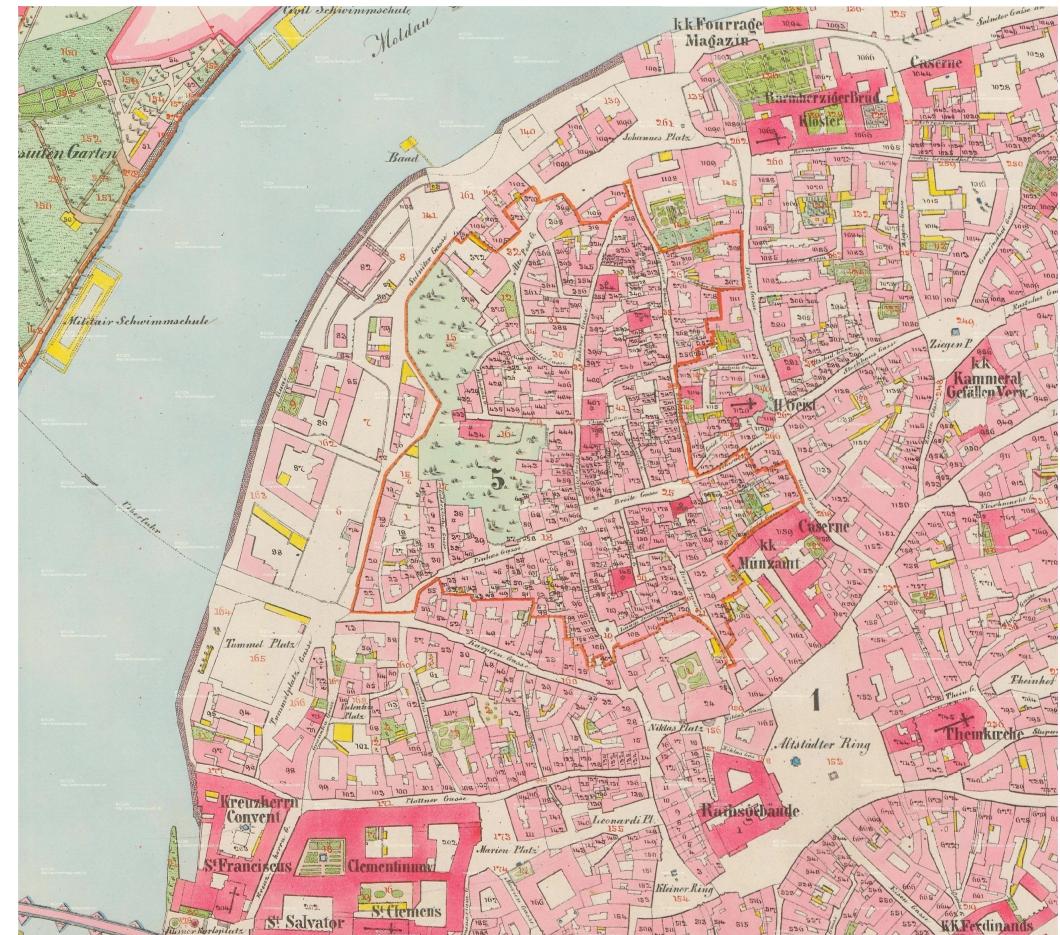
1:100.000

1:50.000



# Tipos de Mapas e suas escalas habituais

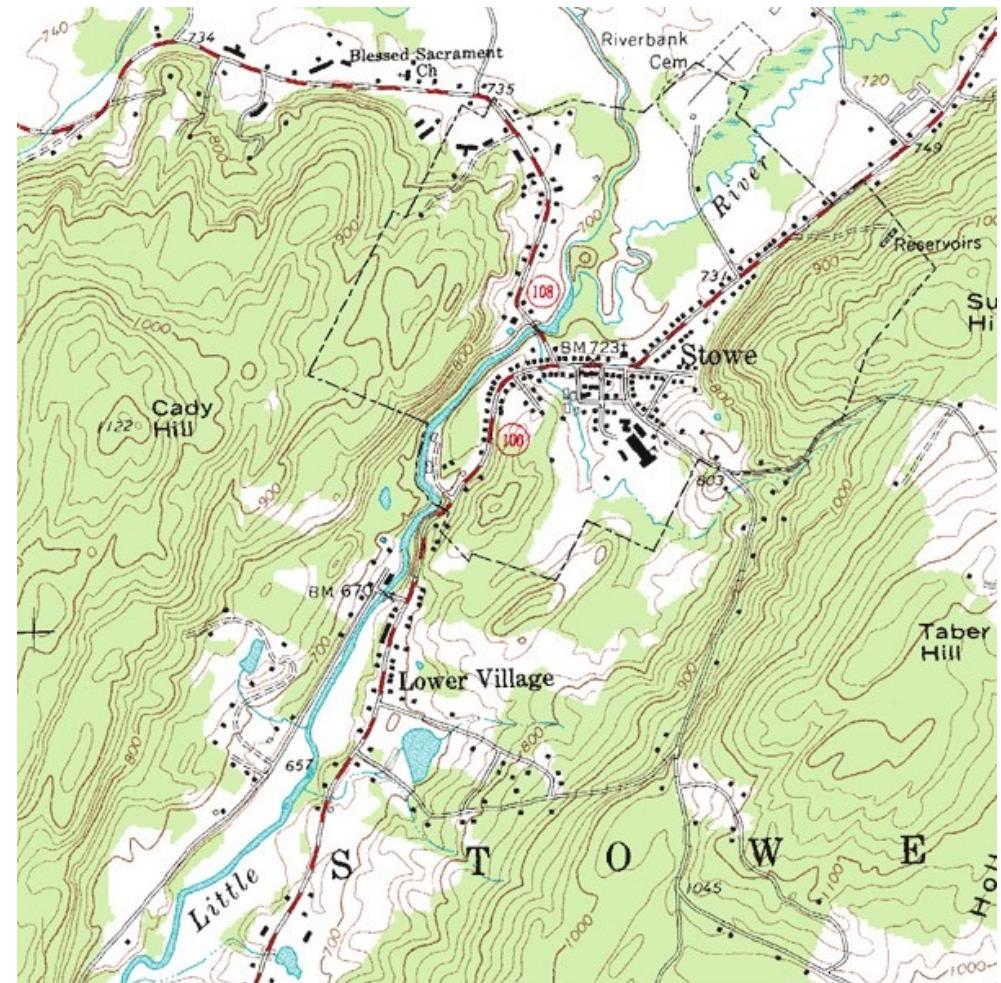
- Geral – Base cartográfica para aplicações gerais.
    - Cadastral → até 1:25.000, Grande escala. Grandes detalhes. Representa cidades e regiões metropolitanas



Adaptado de Carlos Grohmann - USP

# Tipos de Mapas e suas escalas habituais

- Geral – Base cartográfica para aplicações gerais.
  - Topográfico → 1:25.000 a 1:250.000. Normalmente obtidas por aerolevantamentos. Relevos e elementos planimétricos (estradas) são bem representados



Adaptado de Carlos Grohmann - USP

# Tipos de Mapas e suas escalas habituais

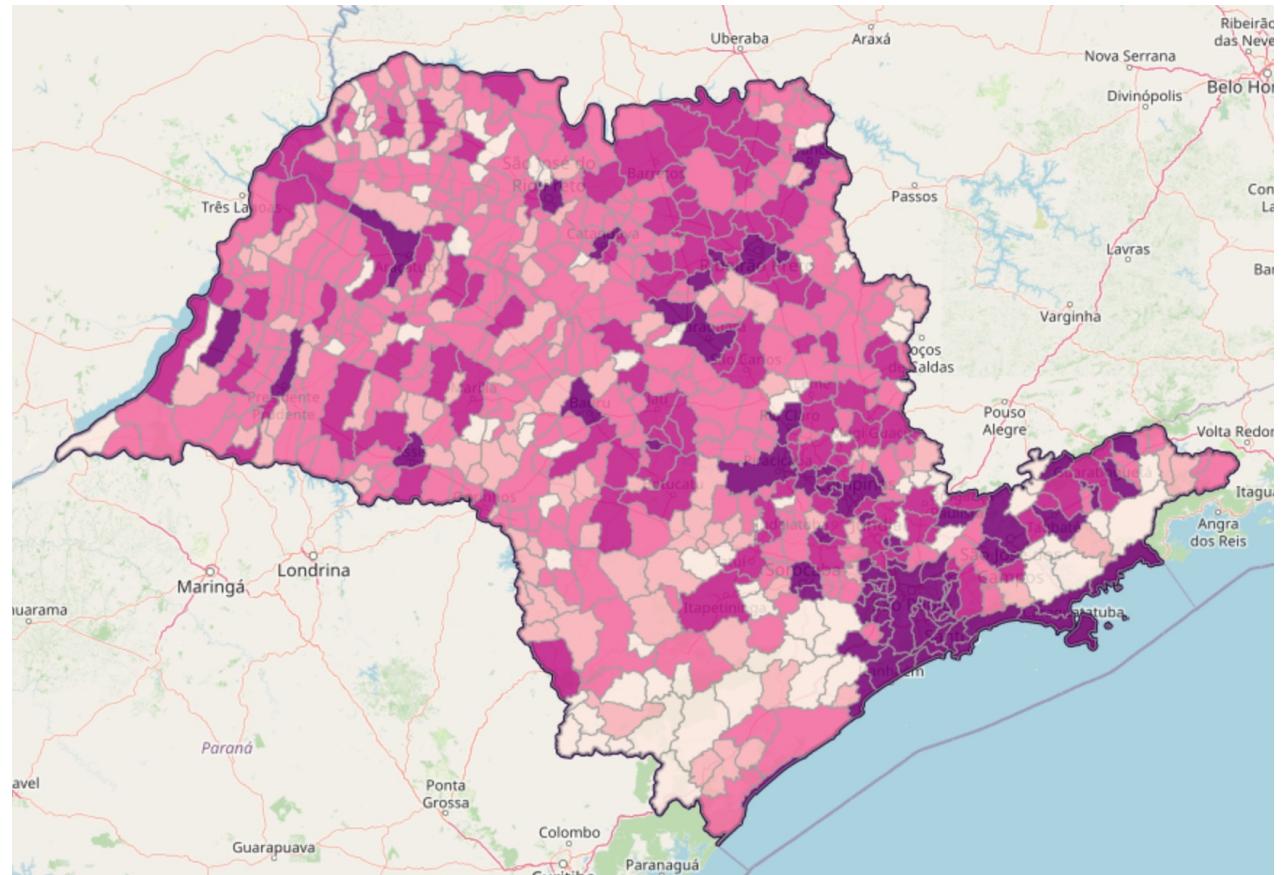
- Geral – Base cartográfica para aplicações gerais.
    - Geográficos → 1:1.000.000 e menor. Detalhes planimétricos e altimétricos generalizados e representados por símbolos



Adaptado de Carlos Grohmann - USP

# Tipos de Mapas e suas escalas habituais

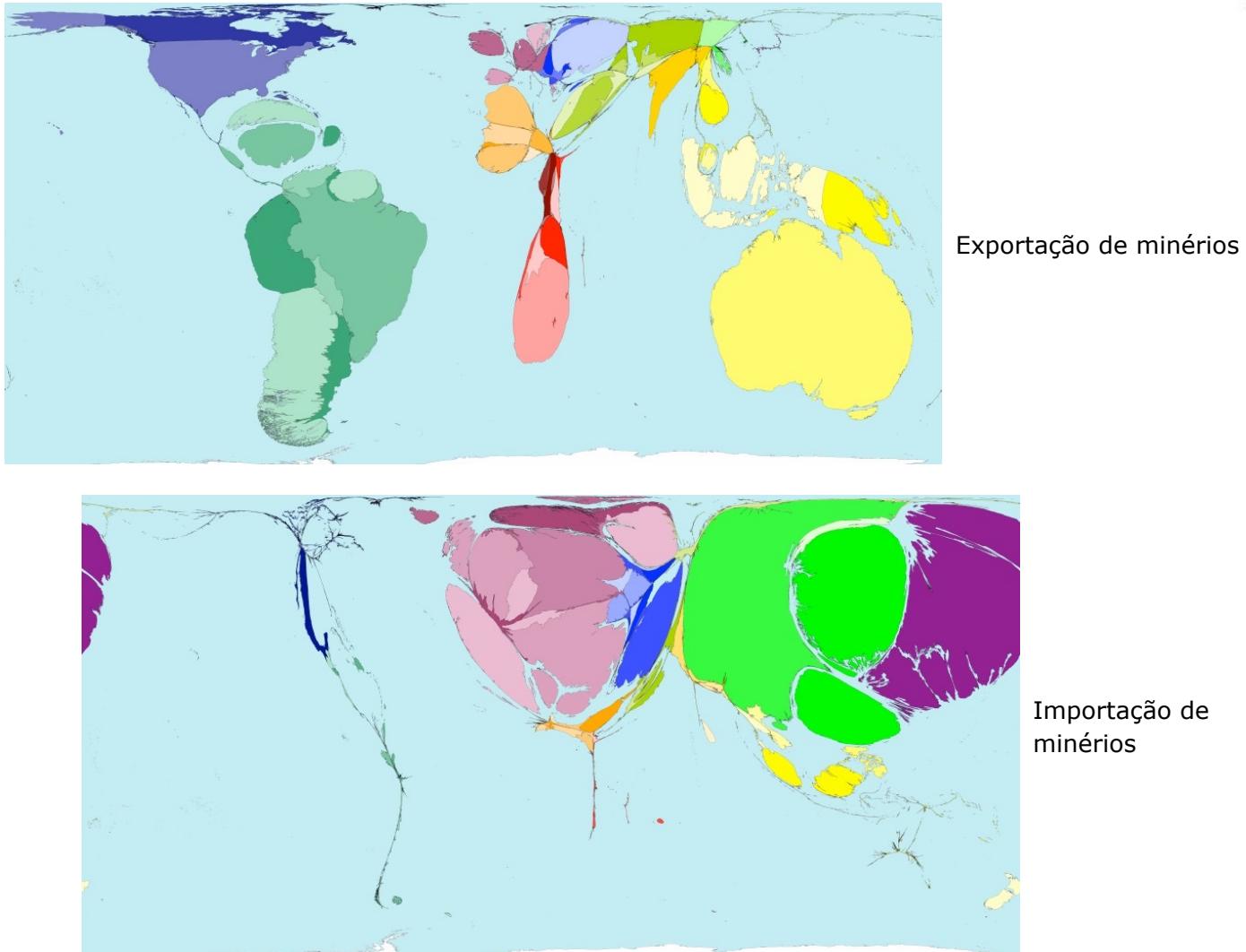
- Temático – Qualquer escala, tema específico, necessários para pesquisas sócio-econômicas, de recursos naturais e ambientais
  - Coroplético → valor numérico de algum aspecto específico de uma área (e.g., densidade populacional) é indicado por uma escala de cores ou padrões gráficos



Adaptado de Carlos Grohmann - USP

# Tipos de Mapas e suas escalas habituais

- Temático – Qualquer escala, tema específico, necessários para pesquisas sócio-econômicas, de recursos naturais e ambientais
  - **Cartograma** (áreas) – mapas de valor-por-área. A área de regiões é substituída por variável temática



Adaptado de Carlos Grohmann - USP

# Recomendação

**GEOSPATIAL REVOLUTION**

wpsu  
PENN STATE

Home About Resources Support

Copiar link

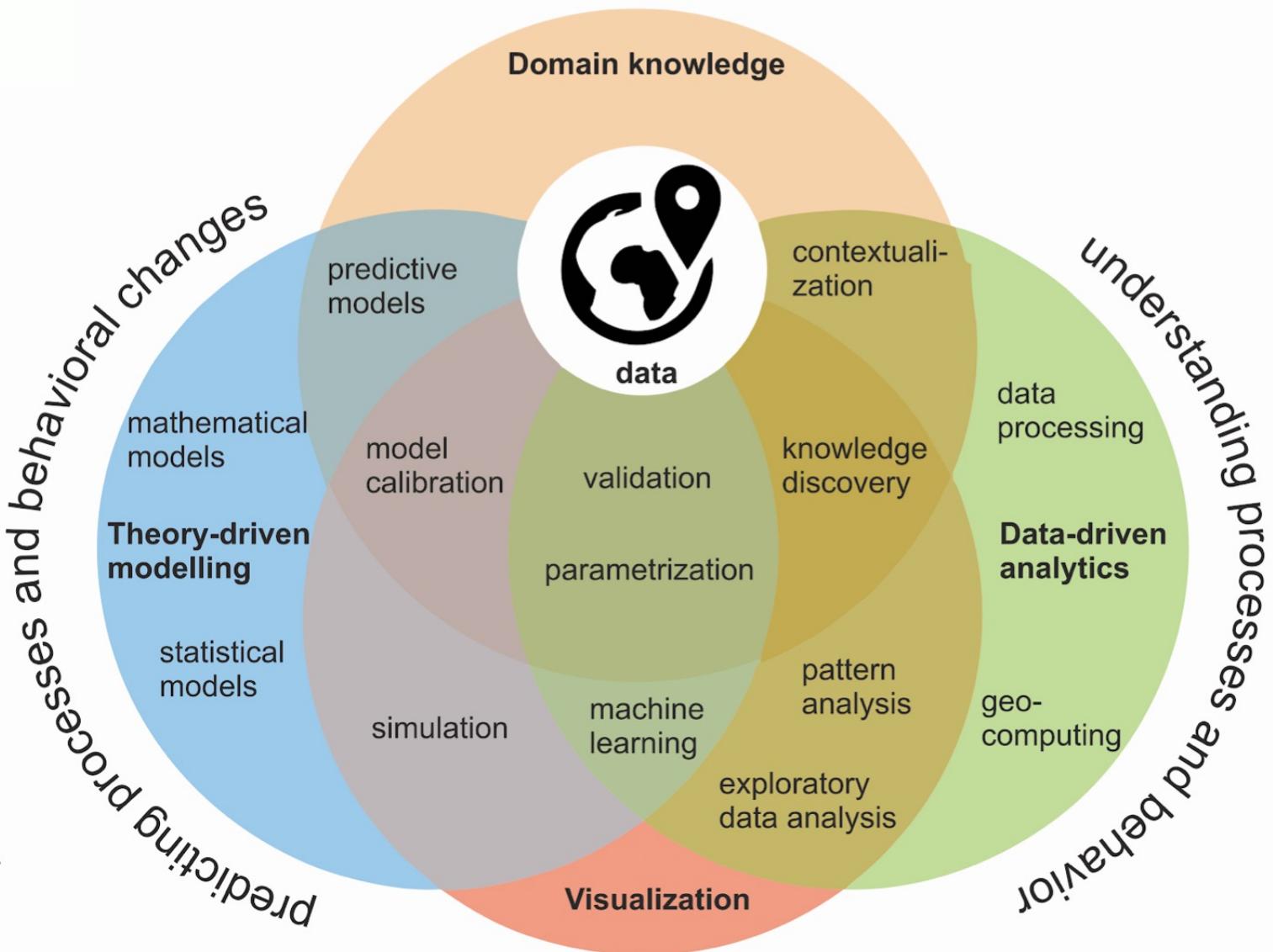
Penn State Health

Ep. 5 Trailer: Geospatial Revolution: Mapping the Pandemic

Episode 5 Trailer Episode 1 Episode 2 Episode 3 Episode 4 Series Trailer

<https://www.geospatialrevolution.psu.edu/>

# Spatial Data Science



*Modified after Dodge (2019).*

# Insper