



Sistema de Referência de Coordenadas

Édipo Henrique Cremon

edipo.cremon@inpe.br

SER-350-3 & CAP395
Introdução à Geoinformática

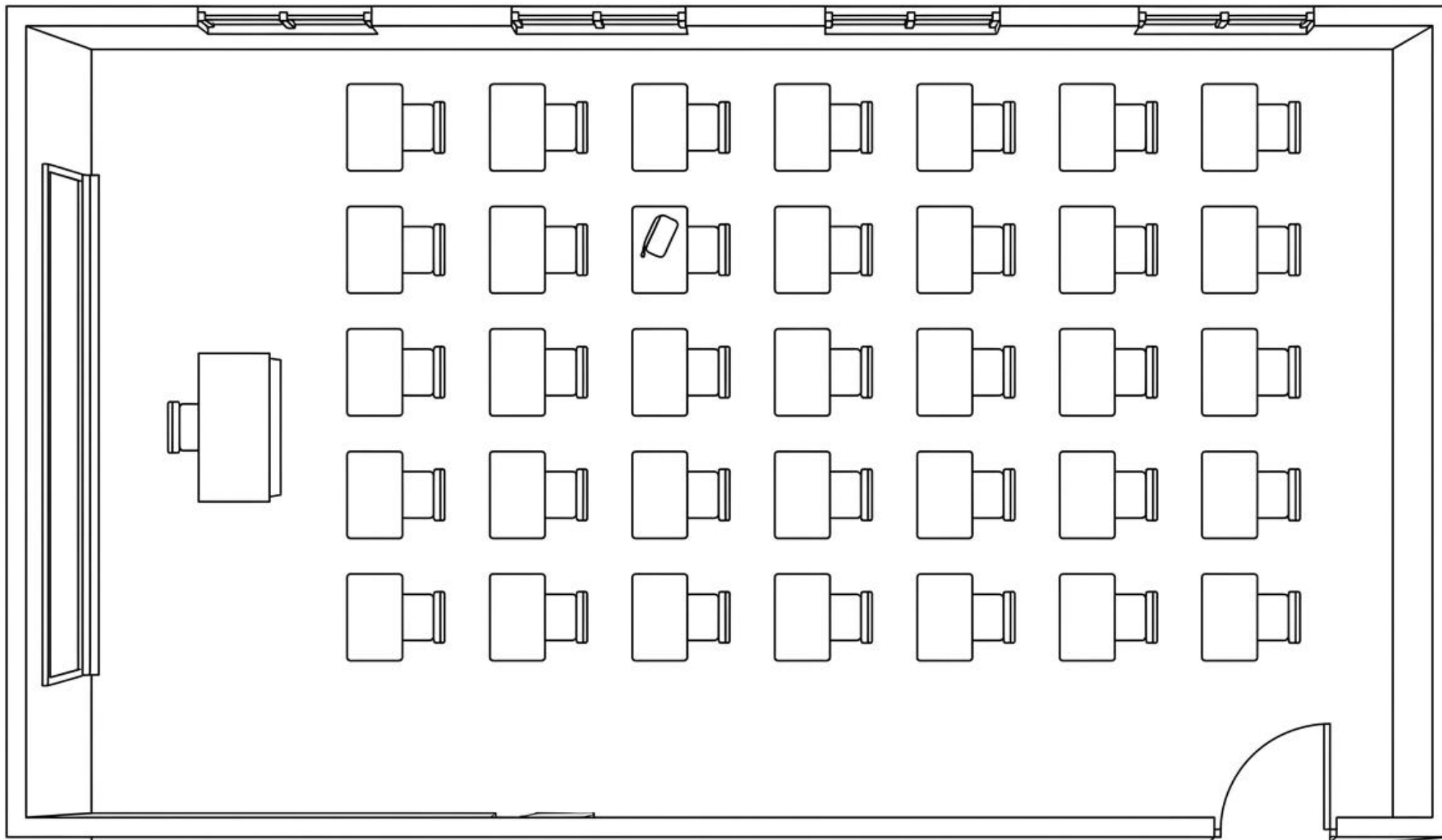
Onde está o estojo?



Um aluno esqueceu um estojo na sala de aula e foi embora da instituição de ensino.

Um colega teria aula na mesma sala.

Como o aluno que esqueceu o estojo poderia orientar o colega a achar o estojo nesta sala?



Onde está o estojo?



A questão central

→ **Referencial**

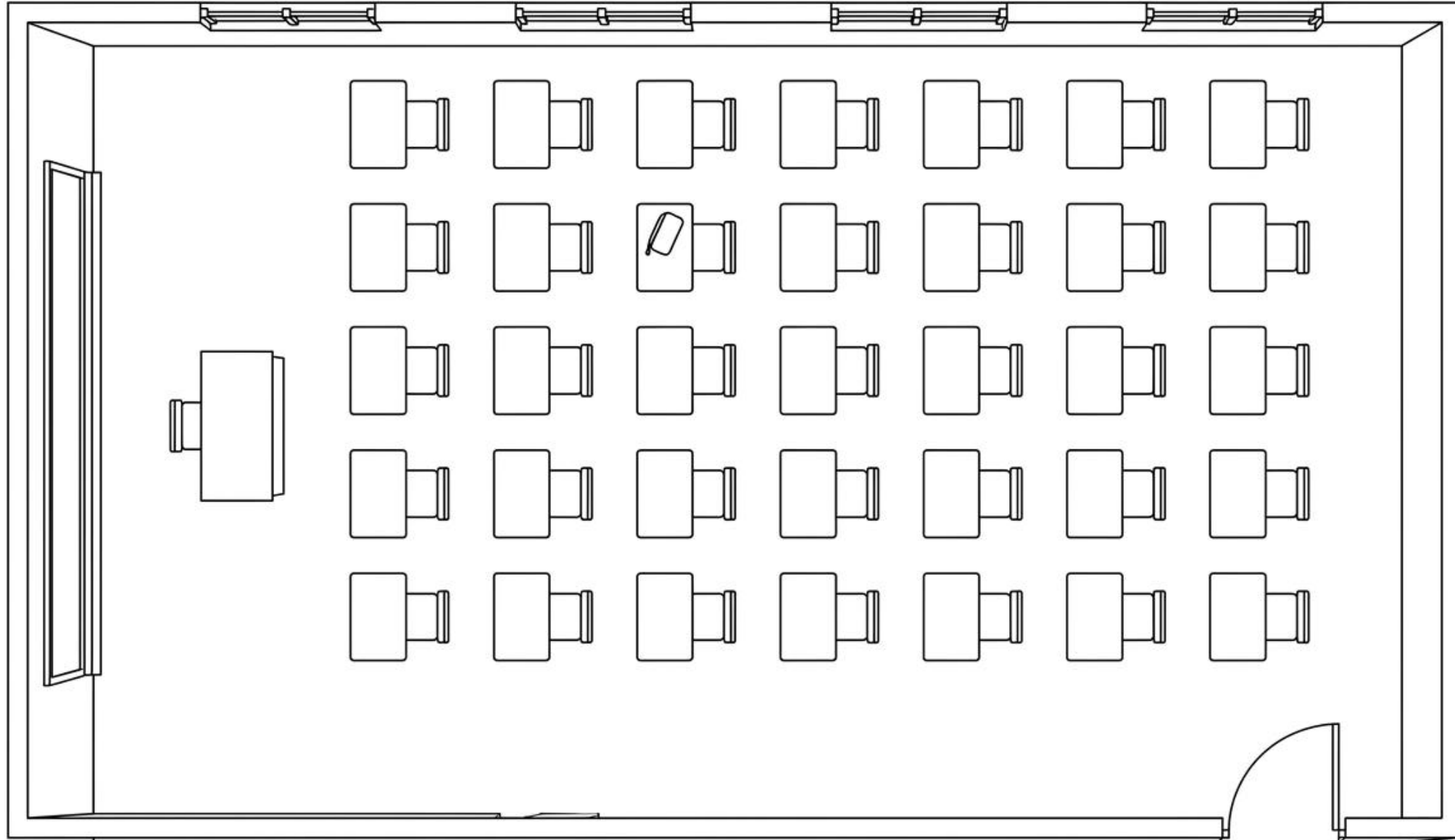
Precisamos de um ponto de origem conhecido por todos.

→ **Eixos**

Direções (fileiras x colunas) que definem o espaço.

→ **Unidades**

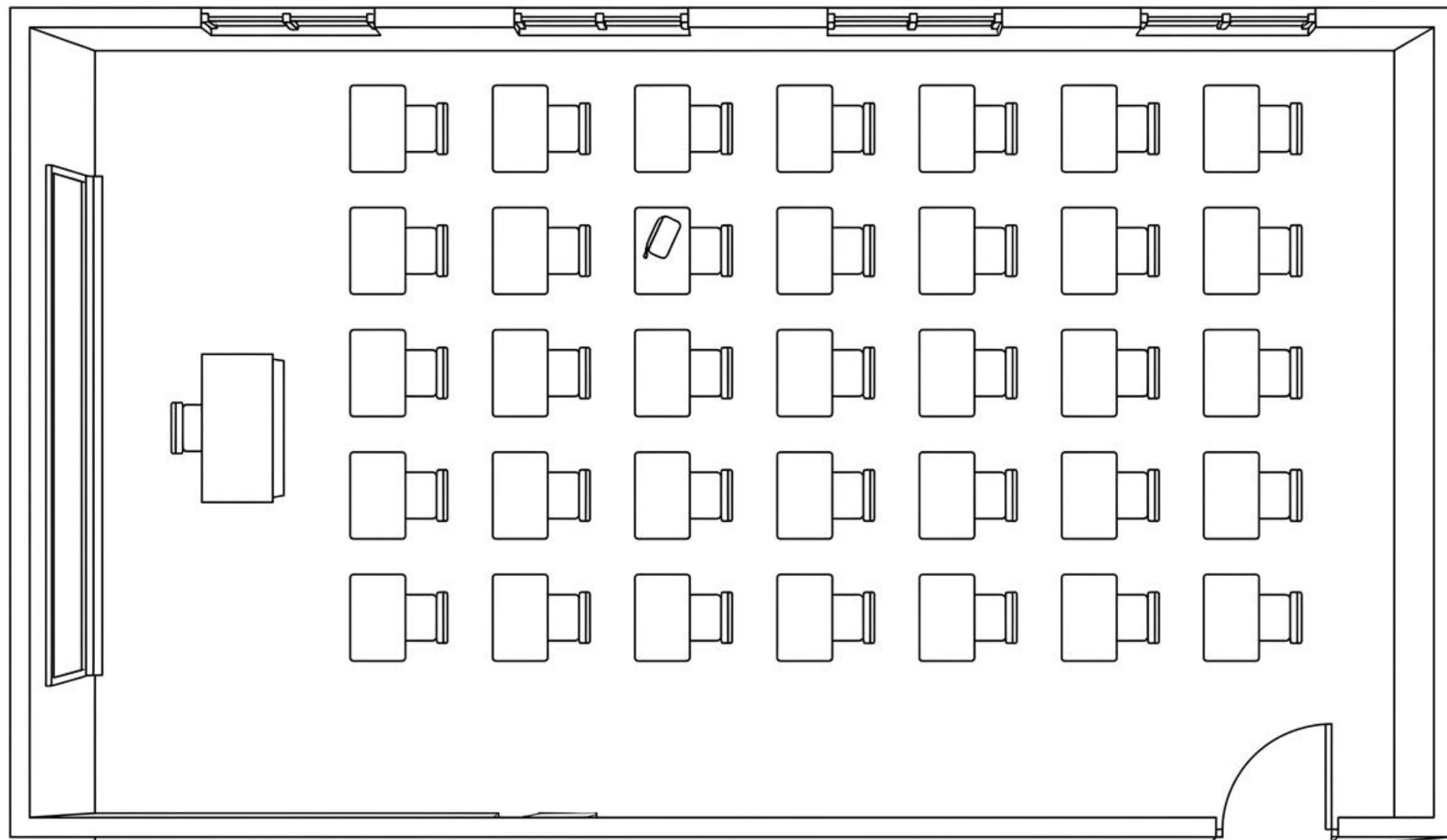
Uma medida comum: número de cadeiras, metros, graus...



Onde está o estojo? 🔍

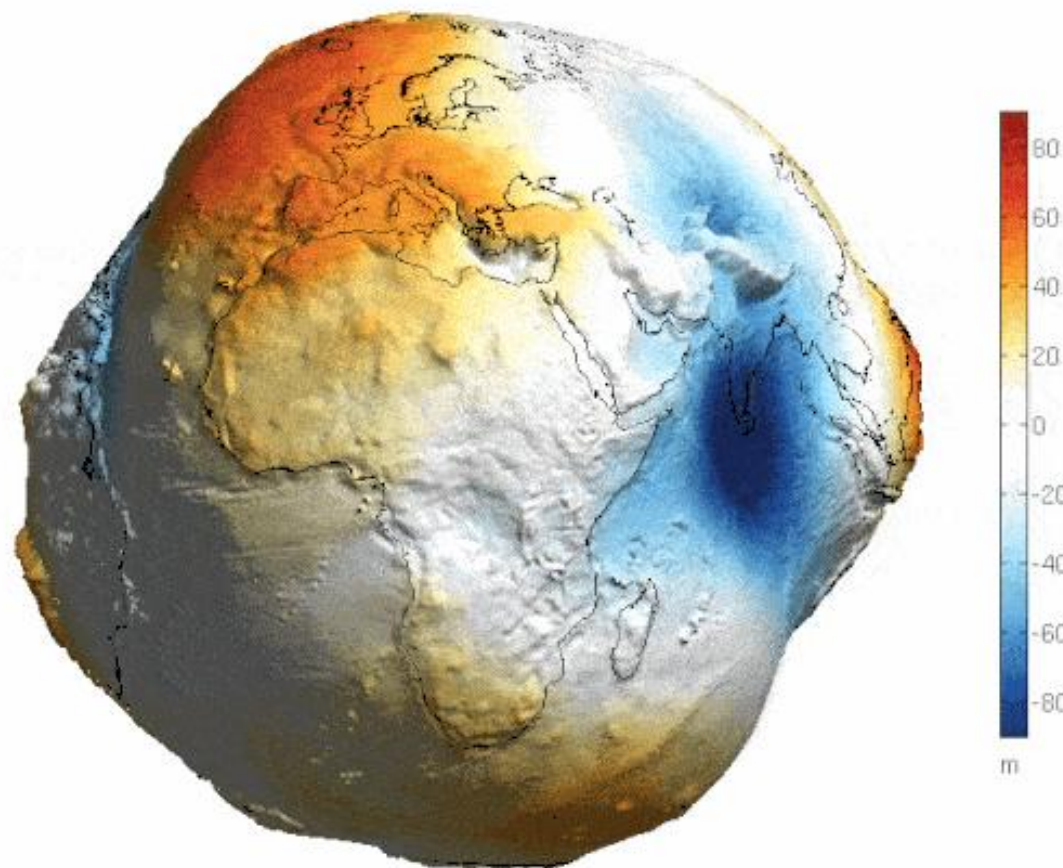


Esse exemplo cotidiano revela a essência de um **Sistema de Referência de Coordenadas (SRC)**: toda localização no espaço depende de uma origem, eixos e unidades claramente definidos.



A forma física da Terra

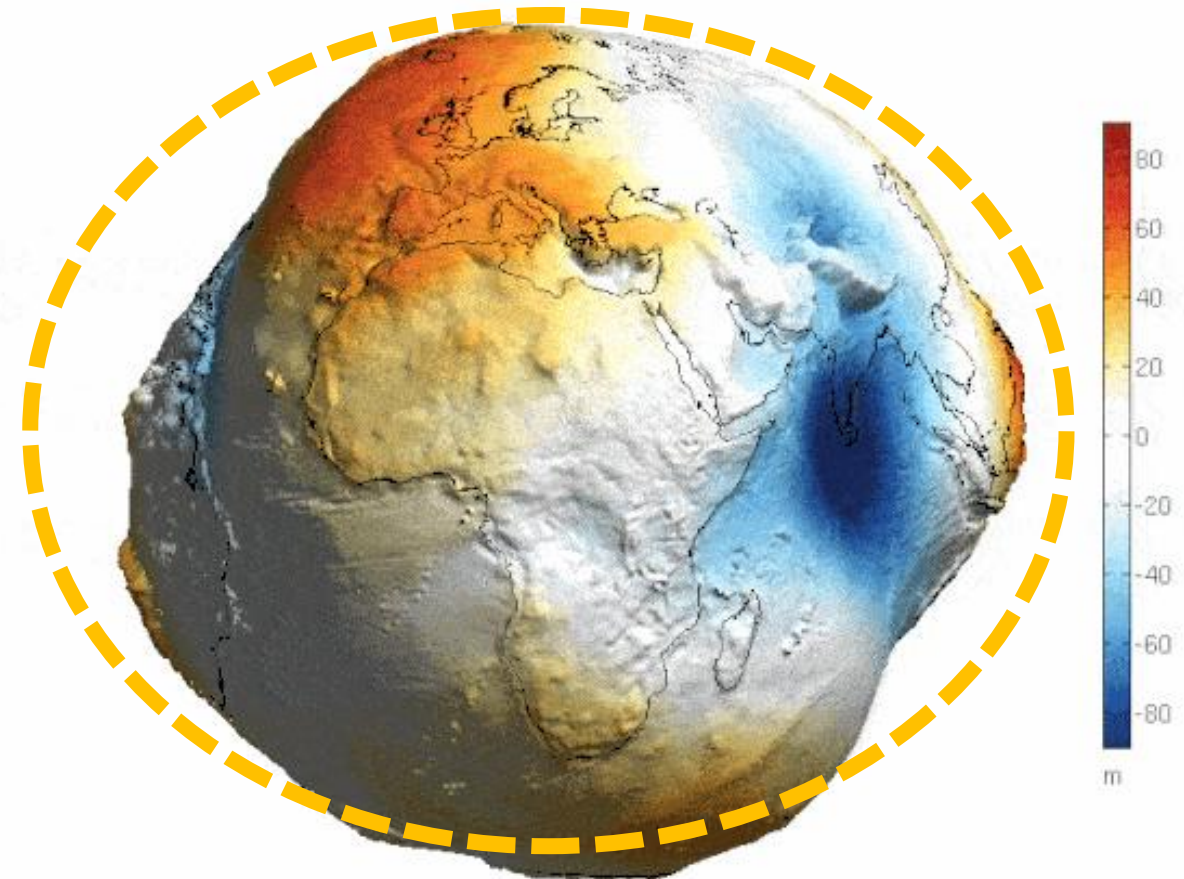
- A Terra não é uma esfera. A forma física da Terra é considerada como geóide.
- O geóide é a superfície equipotencial do campo gravitacional terrestre que coincide com o nível médio dos oceanos, ou seja, é a superfície que a água parada assumiria se os oceanos se estendessem por debaixo dos continentes, sem marés, correntes ou ventos. É a referência física para altitudes em relação “ao nível do mar” .



Geoid height (EGM2008, nmax=500)

A Terra como um elipsóide

- O geóide não tem fórmula fechada, é medido empiricamente por satélites (como o GRACE e o GOCE) e descrito por modelos numéricos como o EGM2008.
- A esfera não é a representação geométrica mais próxima do geóide. A melhor representação seria de um elipsoide (elipse convolucionada).



Geoid height (EGM2008, nmax=500)

A Terra como um elipsóide

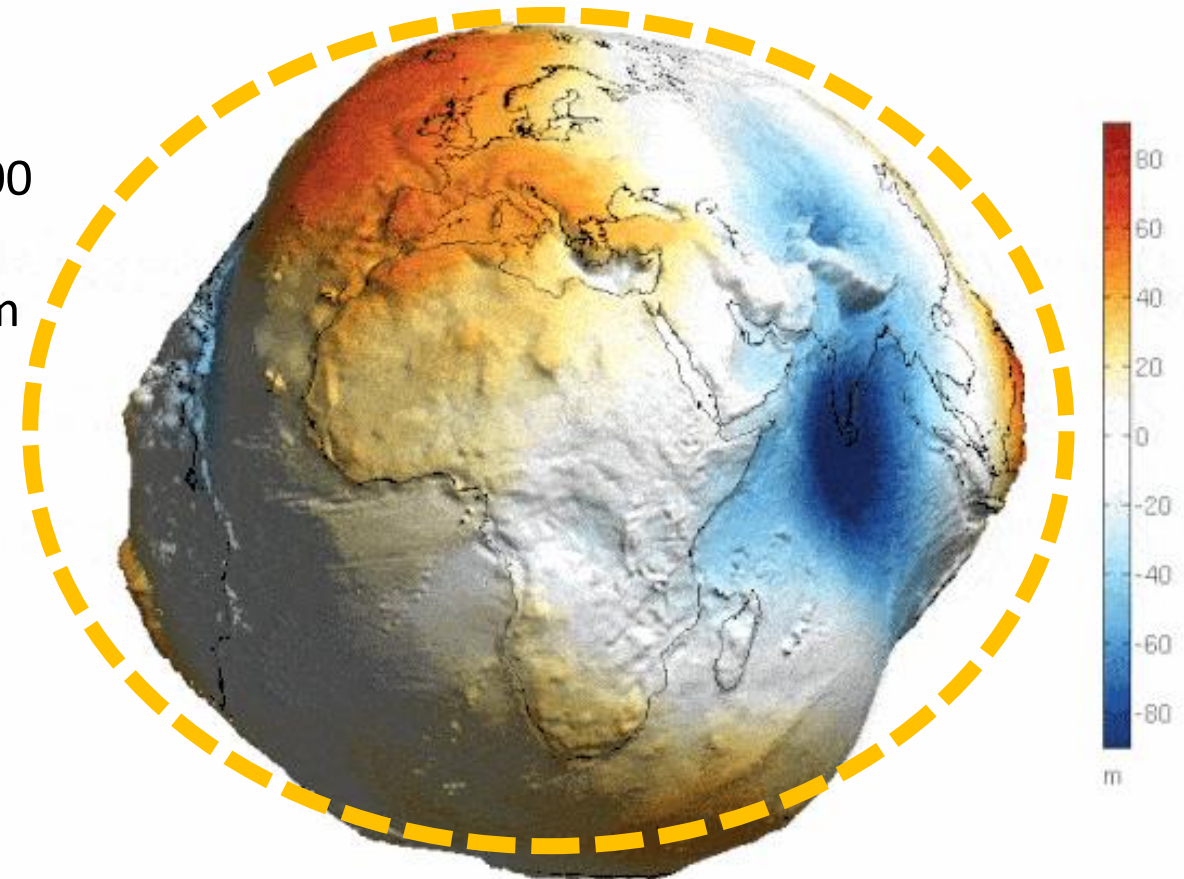
Os parâmetros que definem um elipsoide são:

- Semieixo maior (equatorial): $a = 6.378.137,000$ m
- Semieixo menor (polar): $b \approx 6.356.752,3141$ m
- Achatamento: $f = 1 / 298,257222101$

$$f = \frac{(a - b)}{a}$$

Os números acima são do elipsoide GRS80

A diferença entre equador e polo é de cerca de 21 km — menos de 0,4% do raio, mas crítica para qualquer medição de precisão.



Geoid height (EGM2008, nmax=500)

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Sistema de Coordenadas define uma origem, eixos e unidades para que qualquer ponto no espaço ganhe um “endereço numérico”. Não faz nenhuma afirmação sobre a Terra -> poderia descrever uma sala, um planeta fictício, qualquer coisa.

Exemplos: o sistema cartesiano (X, Y, Z), o sistema geográfico (latitude, longitude, altitude), uma projeção UTM (Easting, Northing).

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Um **datum** define a forma e o tamanho da Terra (por meio de um elipsoide de revolução), além de sua orientação e posição no espaço. Ele serve como a base matemática sobre a qual todas as coordenadas são calculadas.

Plural de Datum é “data”

Um datum é composto por:

- um **elipsoide de referência** (modelo matemático da Terra);
- um **ponto de origem** ou conjunto de parâmetros de translação/rotação que ancora o elipsoide à superfície real da Terra (ou ao seu centro de massa, no caso de datums geocêntricos);
- e, em alguns casos, um **geoide de referência** para altitudes ortométricas.

Exemplos clássicos:

- **WGS 84** (*World Geodetic System 1984*) — usado pelo GNSS/GPS e pelo Google Maps. É geocêntrico: sua origem é o centro de massa da Terra.
- **NAD 83** (*North American Datum 1983*) — usado nos EUA e Canadá para levantamentos nacionais.
- **SIRGAS 2000** — o datum oficial do Brasil desde 2015, alinhado ao WGS 84.
- **SAD 69** (*South American Datum 1969*) — antigo datum brasileiro, ancorado em Chuá, Minas Gerais.

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



O elipsoide é apenas uma peça do datum!

O **elipsoide** é um modelo matemático da forma da Terra. Ele não tem localização no espaço.

O **datum** pega esse elipsoide e o posiciona e orienta no espaço, ancorando-o à Terra real. Para isso, ele precisa de mais informações além da forma:

Origem: onde fica o centro do elipsoide no espaço físico?

Orientação: para onde aponta seu eixo de rotação?

Realização: qual rede de estações físicas (com coordenadas medidas) materializa esse sistema?

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Época de realização do datum

Como as placas tectônicas se movem continuamente (1–3 cm/ano na placa Sul-Americana), as coordenadas de um ponto mudam com o tempo — mesmo dentro do mesmo datum.

A época de realização congela as coordenadas em um instante específico, tornando o sistema reproduzível e comparável.

Exemplos:

SIRGAS 2000 → época 2000.4 (meados do ano 2000)

WGS 84 (G1150) → época 2001.0

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Época de realização do datum

Name	Implementation date		Epoch	Accuracy
	GPS Broadcast Orbits	NGA Precise Ephemeris		
WGS 84	1987	1 Jan 1987		1-2 meters
WGS 84 (G730)	29 Jun 1994	2 Jan 1994	1994.0	10 cm/component rms
WGS 84 (G873)	29 Jan 1997	29 Sep 1996	1997.0	5 cm/component rms
WGS 84 (G1150)	20 Jan 2002	20 Jan 2002	2001.0	1cm/component rms
WGS 84 (G1674)	8 Feb 2012	7 May 2012	2005.0	<1cm/component rms
WGS 84 (G1762)	16 Oct 2013	16 Oct 2013	2005.0	<1cm/component rms
WGS 84 (G2139)	28 Mar 2021	3 Jan 2021	2016.0	<1cm/component rms
WGS 84 (G2296)			2024.0	

[https://earth-info.nga.mil/php/download.php%3Ffile%3DWGS%252084\(G2296\).pdf](https://earth-info.nga.mil/php/download.php%3Ffile%3DWGS%252084(G2296).pdf)

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Datum horizontal

Define a referência para posições planimétricas — latitude e longitude. Especifica o elipsoide e sua orientação em relação à Terra, permitindo localizar pontos na superfície terrestre nas direções norte-sul e leste-oeste.

Exemplos: SIRGAS 2000, SAD 69, WGS 84.

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Datum vertical

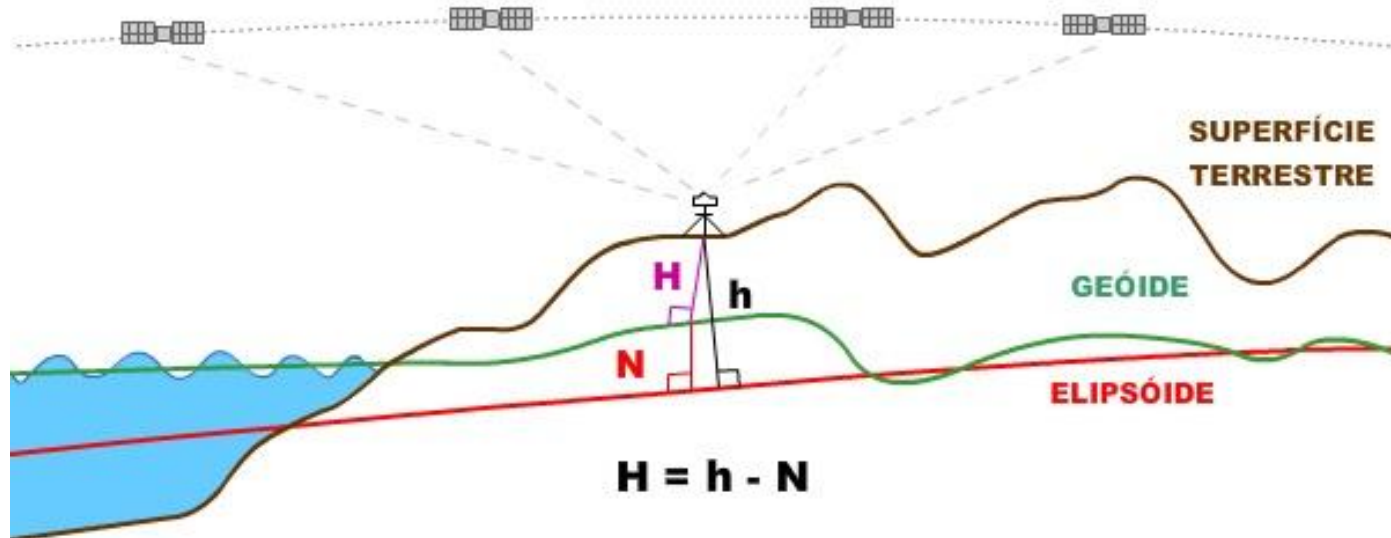
Define a referência para altitudes. É materializado por modelos geoidais — ou por uma aproximação local dele, estabelecida a partir do nível médio do mar observado em um marégrafo de referência durante um período prolongado.

No Brasil, o datum vertical é o de Imbituba (SC), baseado em observações maregráficas de 1949 a 1957, com um datum complementar em Santana (AP) para a Amazônia.

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Datum vertical



<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html?=&t=sobre>

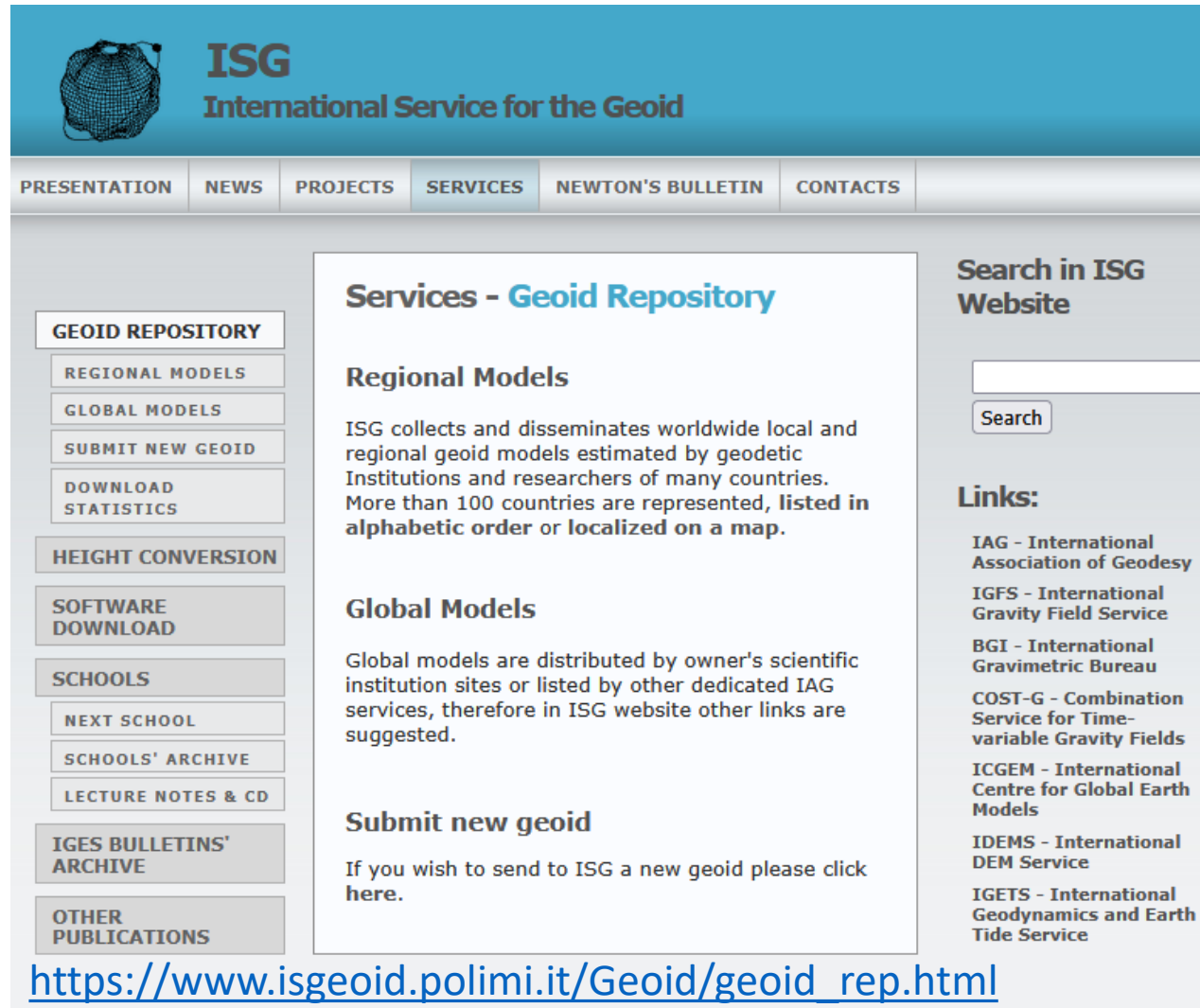
As altitudes obtidas por sistema de posicionamento por satélites (GNSS) são dadas em altitudes elipsoidais, ou seja, altura em relação ao elipsoide

Para converter de altitude elipsoidal para altitude ortométrica é necessário um modelo geoidal (ou nivelamento geométrico combinado com GNSS)

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Datum vertical



ISG
International Service for the Geoid

PRESENTATION NEWS PROJECTS SERVICES NEWTON'S BULLETIN CONTACTS

Services - Geoid Repository

Regional Models

ISG collects and disseminates worldwide local and regional geoid models estimated by geodetic Institutions and researchers of many countries. More than 100 countries are represented, **listed in alphabetic order or localized on a map.**

Global Models

Global models are distributed by owner's scientific institution sites or listed by other dedicated IAG services, therefore in ISG website other links are suggested.

Submit new geoid

If you wish to send to ISG a new geoid please click [here.](#)

https://www.isgeoid.polimi.it/Geoid/geoid_rep.html

Search in ISG Website

Search

Links:

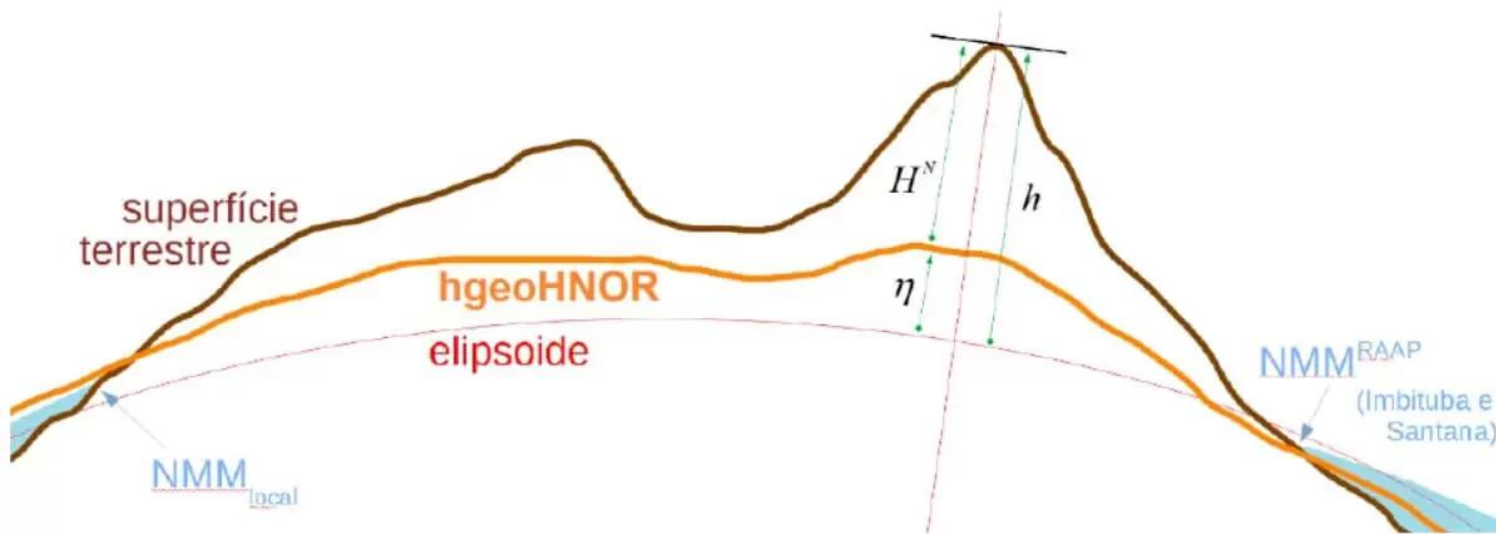
- IAG - International Association of Geodesy
- IGFS - International Gravity Field Service
- BGI - International Gravimetric Bureau
- COST-G - Combination Service for Time-variable Gravity Fields
- ICGEM - International Centre for Global Earth Models
- IDEMS - International DEM Service
- IGETS - International Geodynamics and Earth Tide Service

Os modelos geoidais estão disponíveis no formato “.isg” que abre direto no QGIS.

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Datum vertical



<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101841.pdf>

Recentemente o IBGE adotou um modelo de conversão de altitudes denominado hgeoHNOR2020.

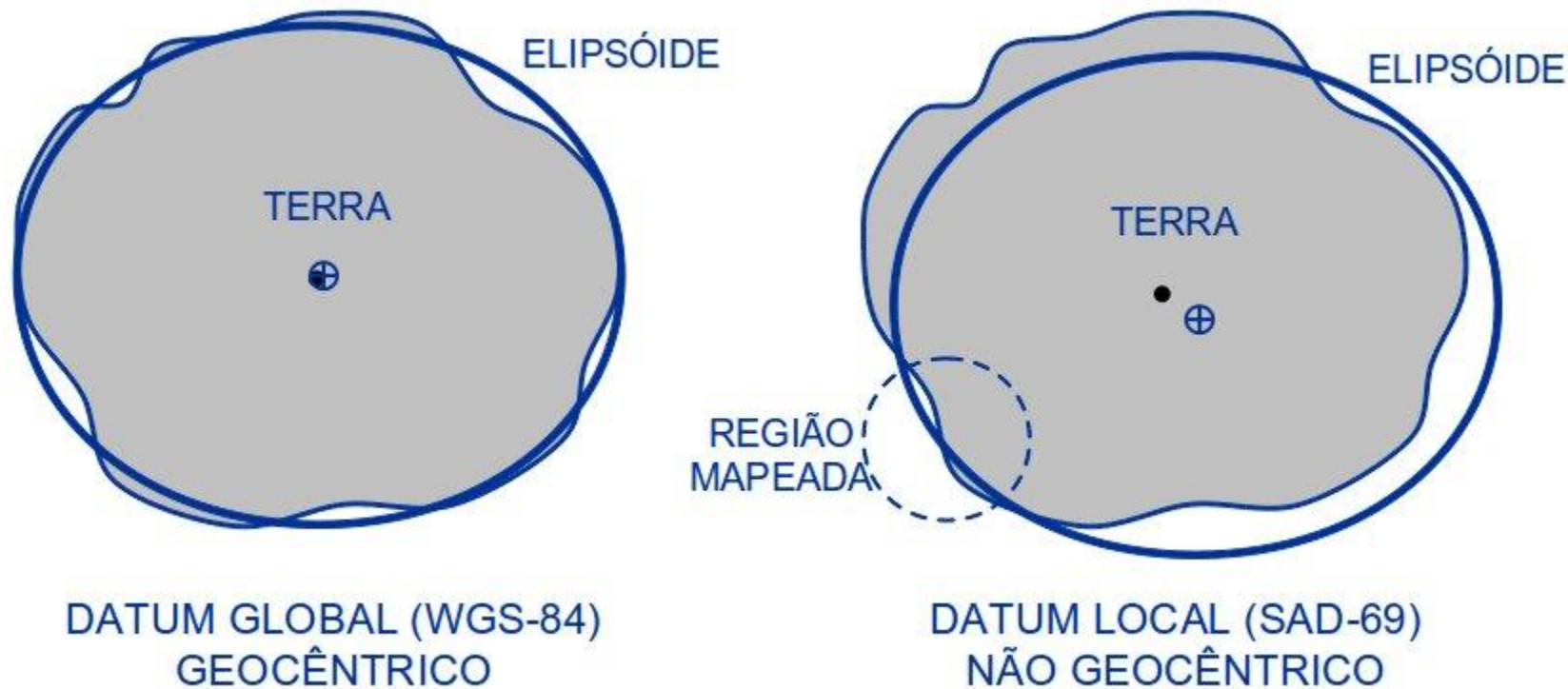
Não é um modelo geoidal.

A altitude obtida dessa conversão Não é denominada altitude ortométrica, mas sim altitude normal.

Componente Metodológico	Detalhamento Técnico
Insumo Principal	Estações SAT-RN (Conexão GNSS-Nivelamento)
Técnica Estatística	Colocação por Mínimos Quadrados (CMQ)
Tratamento de Dados	Análise de resíduos entre h (elipsoidal) e H_N (normal)
Referencial Geodésico	SIRGAS2000
Referencial Vertical	REALT-2018 (Datum Imbituba e Santana)

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?

Datum global vs. datum local



Datum global (WGS-84): origem coincide com o centro de massa da Terra (geocêntrico). O elipsóide é ajustado ao geóide de forma global.

Datum local (SAD-69, Córrego Alegre): origem arbitrária em um ponto físico do território. O elipsóide é ajustado localmente para minimizar erros na região mapeada.

Consequência prática: o mesmo ponto físico tem coordenadas diferentes em datums diferentes. No Brasil, a diferença entre SAD-69 e SIRGAS-2000 pode chegar a 65 metros.

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



Os sistemas de referência adotados no Brasil

- **Córrego Alegre:** datum histórico, elipsóide de Hayford 1924, ponto origem no vértice Córrego Alegre (MG).
 - latitude = $19^{\circ} 50' 14,91''$ S e longitude = $48^{\circ} 57' 41,98''$ W
- **SAD-69 (South American Datum 1969):** elipsóide GRS67, ponto origem no vértice Chuá (MG). Ainda presente em muitos mapas antigos.
 - latitude = $19^{\circ} 50' 14,91''$ S e longitude = $48^{\circ} 57' 41,98''$ W
- **SIRGAS2000:** datum geocêntrico, usando o elipsoide GRS80. Coincidente com WGS-84 para fins práticos. Adotado oficialmente em 25/02/2005.
 - Ao invés de um ponto, é formado por uma rede de pontos

Ao receber dados geoespaciais de outras fontes, sempre verificar o datum. Ignorar isso pode resultar em erros de dezenas a centenas de metros no posicionamento.

O que é um Sistema de Referência de Coordenadas?



SIRGAS2000

WGS84 e SIRGAS2000: são a mesma coisa?

- Para fins práticos em projetos de geoinformática no Brasil, sim: a diferença entre WGS84 e SIRGAS2000 é inferior a 1 metro, negligenciável na maioria das aplicações.
- Detalhe técnico para quem quiser aprofundar: WGS84 passou por várias realizações (G730, G873, G2139...) e hoje é compatível com o ITRF* em nível centimétrico. SIRGAS2000 é a densificação sul-americana do ITRF.

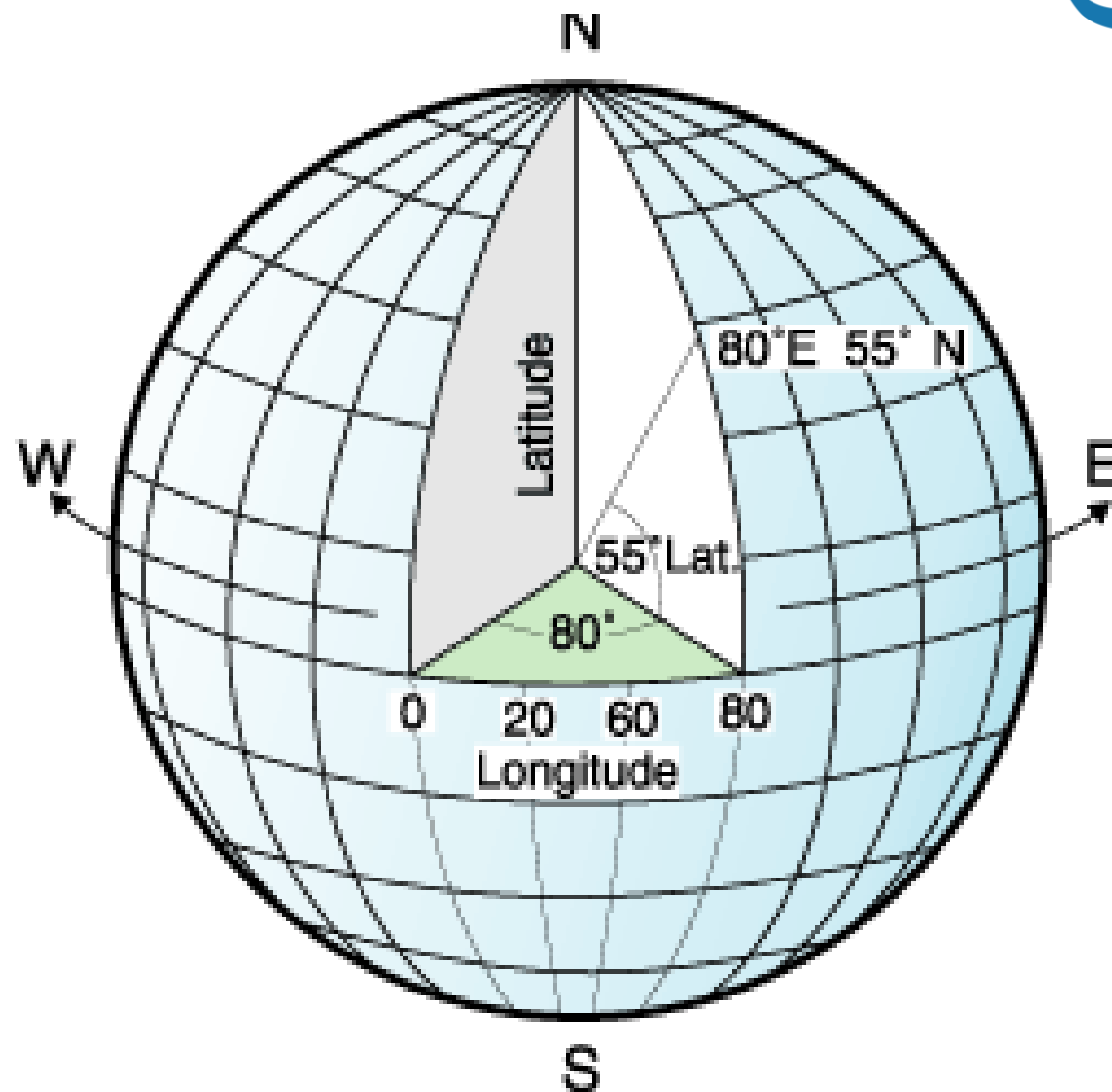
No Brasil, dados GNSS/GPS modernos estão em WGS84/SIRGAS2000. Ao integrar com dados antigos (mapas pré-2005), atenção ao datum original.

*ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) é o sistema de referência científico de máxima precisão

A Terra como uma esfera

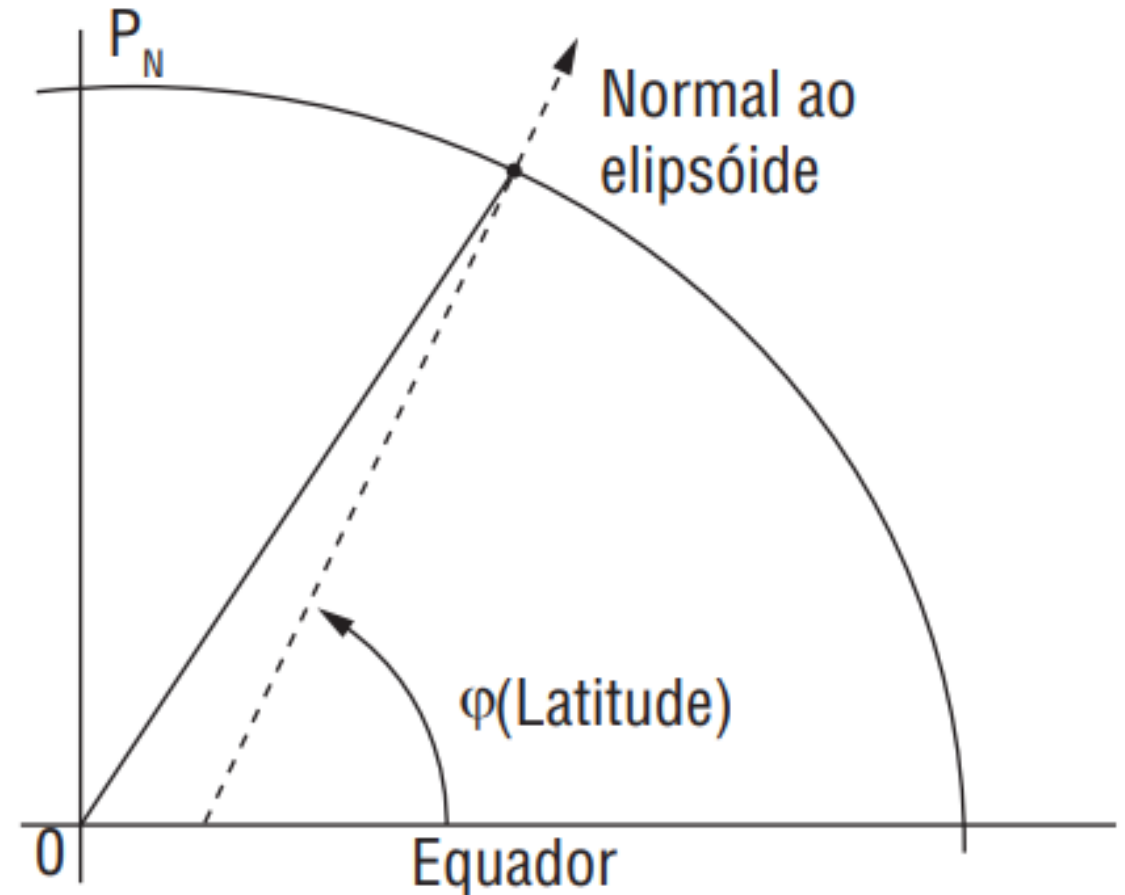


- Considerando a Terra como uma esfera, poderíamos dividi-la em paralelos e meridianos;
- Qualquer posição da Terra poderia ser determinada por esse paralelos (latitude) e meridianos (longitude);
- Latitude seria a medida angular formada entre o Equador e um ponto com origem no centro da esfera;
- Longitude seria a medida angular formada entre o Meridiano de Greenwich e um ponto com origem no centro da esfera.



A Terra como um elipsóide

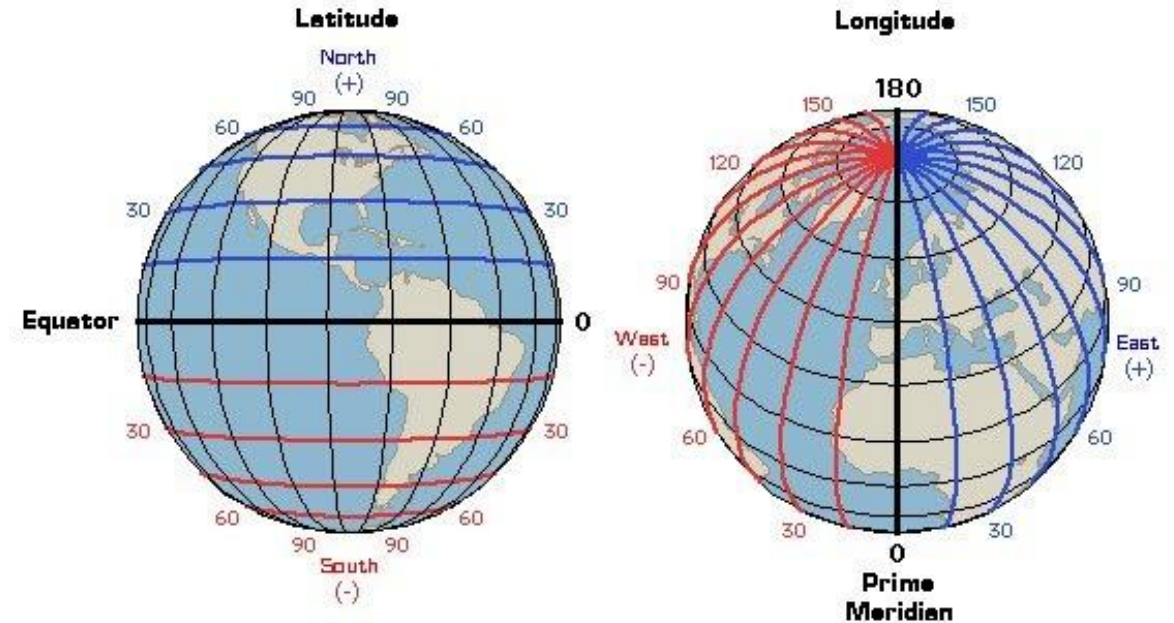
- Considerando a Terra como um elipsoide, a latitude de um local é o ângulo que uma linha vertical perpendicular ao elipsoide deste local faz com o plano do Equador.
- Oposto ao modelo esférico da Terra, as normais ao elipsoide nos vários lugares não são todas coincidentes com o centro da Terra.



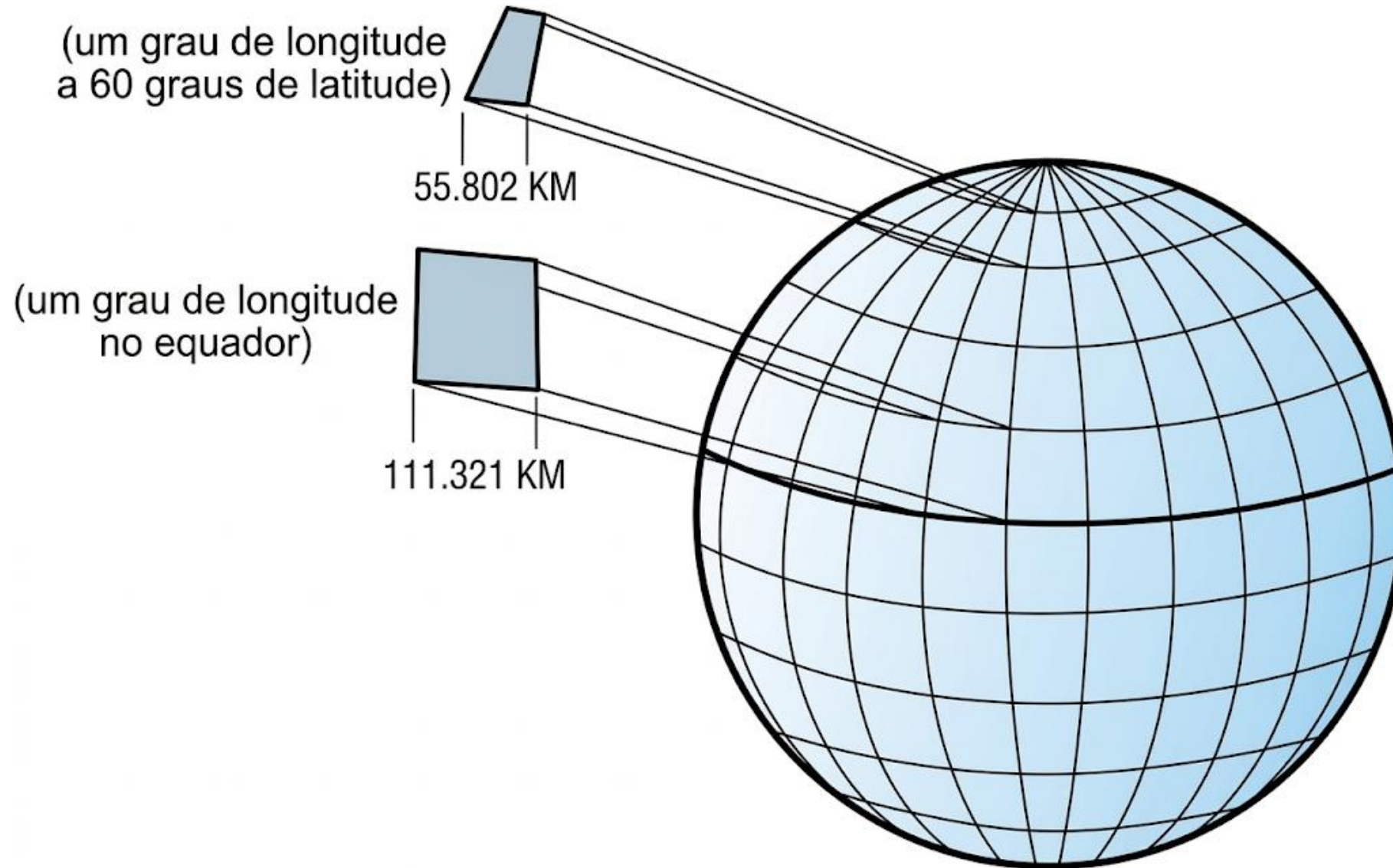
Sistema de coordenadas geográficas/geodésicas



- Como unidade de medida, cada grau é composto de 60 minutos e cada minuto é composto de 60 segundos.
- As medidas são em graus minutos e segundos (DMS) ou em graus decimais (DD). Por exemplo, $49^{\circ}30'00''$ é igual a 49.5° .



Sistema de coordenadas geográficas/geodésicas

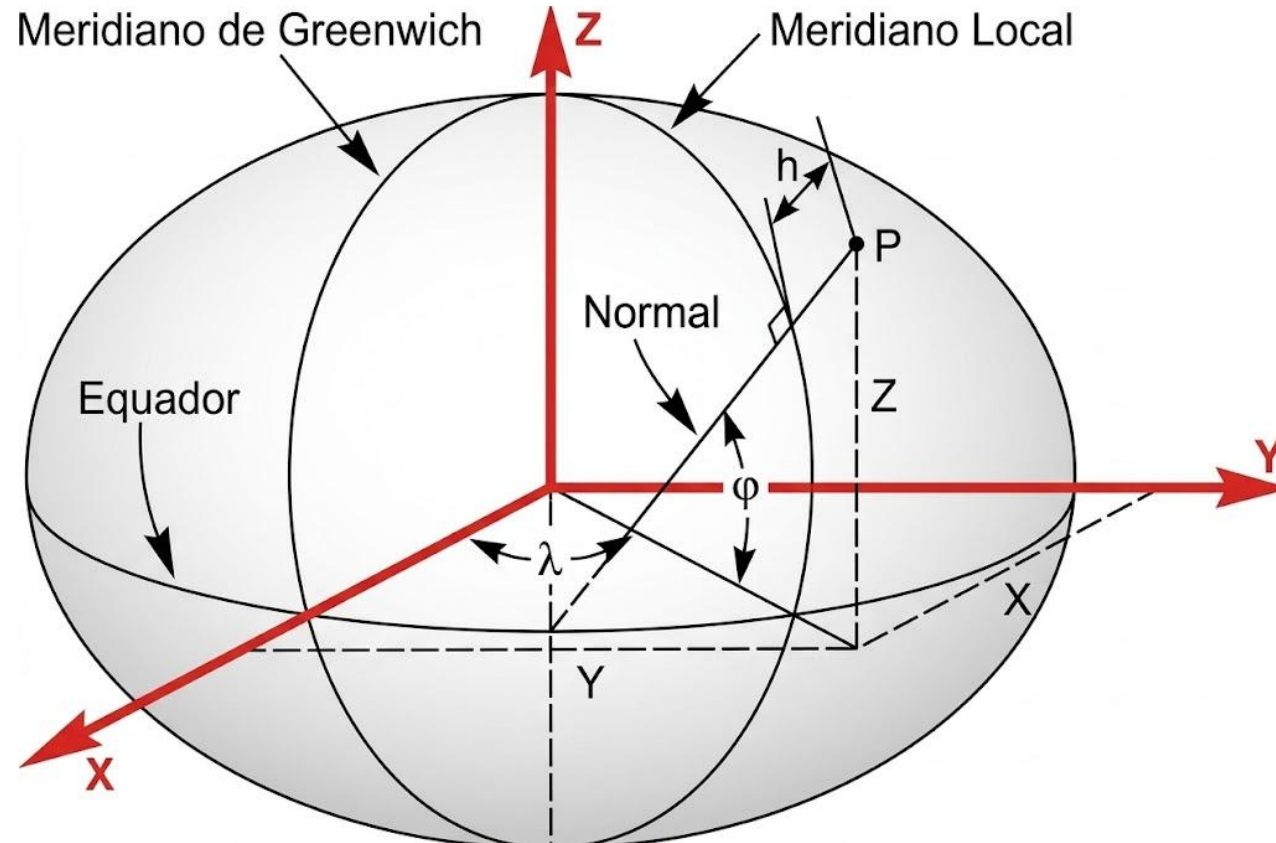


Sistema de coordenadas cartesianas geocêntricas



Três eixos ortogonais com origem no centro de massa da Terra. O eixo Z aponta para o polo norte, X para longitude 0° no Equador, Y para longitude 90° . Usadas internamente pelo GNSS/GPS.

A unidade de medidas é em metros.



Sistema de coordenadas planas (projetadas)



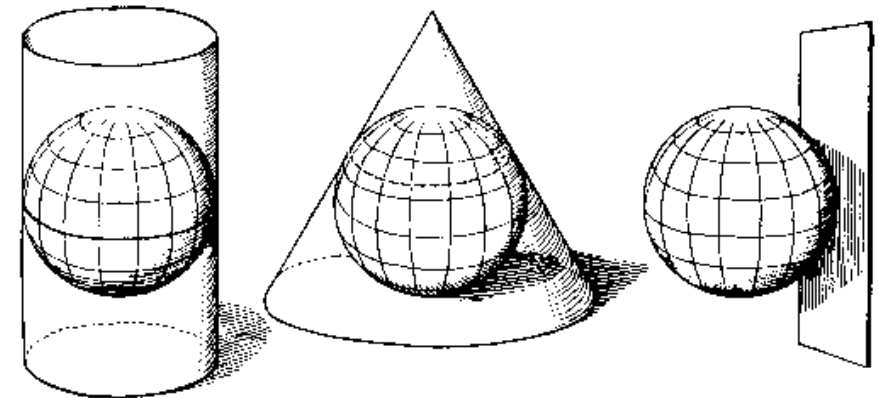
- Como um sistema de coordenadas geográfica/geodésica corresponde a medidas angulares, fica difícil calcular distâncias ou áreas sobre medidas angulares
- O recurso matemático para isso é trabalhar com sistema de coordenadas planas

Sistema de coordenadas planas (projetadas)

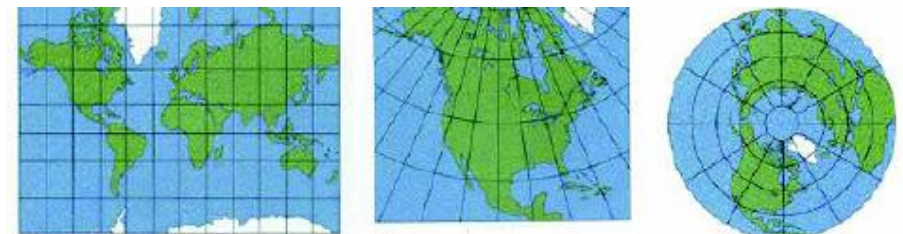


- É uma representação plana da superfície curva da Terra, obtida por meio de uma transformação matemática chamada projeção cartográfica.
- Ao contrário dos sistemas de coordenadas geográficas, que expressam posições em graus (latitude e longitude), as coordenadas planas são expressas em unidades lineares — geralmente metros —, o que facilita cálculos de distância, área e direção.

- Todo sistema de coordenadas planas é definido a partir de um datum geodésico de referência, de uma superfície de projeção (plano, cilindro ou cone) e de um conjunto de parâmetros que orientam a transformação.



- As coordenadas que aparecem nos mapas como "Northing" e "Easting".

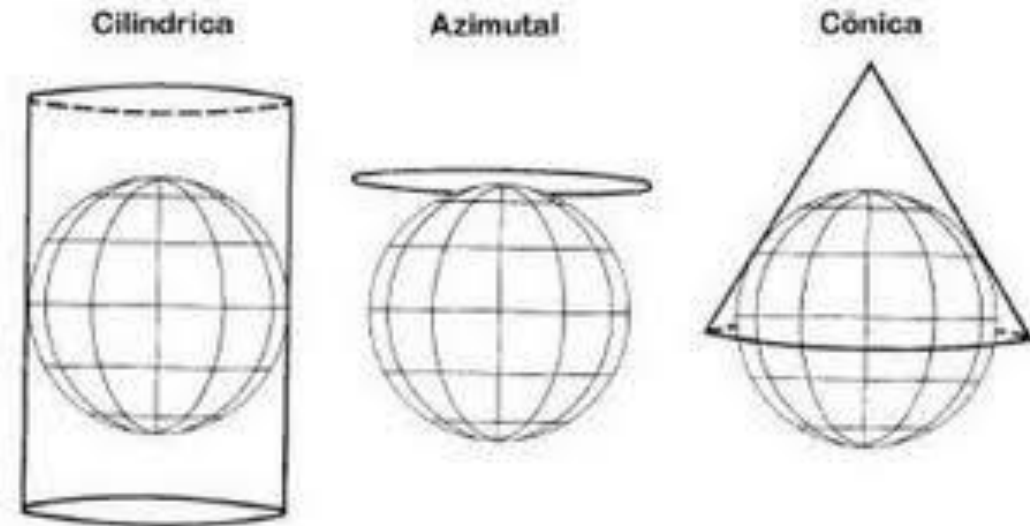


Sistema de coordenadas planas (projetadas)



- A dificuldade de se representar um elipsóide em um plano 2D fez com que surgisse os sistemas de projeção

- Classificação das projeções de acordo com o tipo de superfície de projeção



- Projetar é transformar coordenadas angulares (latitude - ϕ / longitude - λ) sobre uma superfície curva em coordenadas planas (X/Y) sobre um papel ou tela. Toda projeção introduz distorções. Nenhuma projeção pode preservar simultaneamente área, forma, distância e direção

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

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

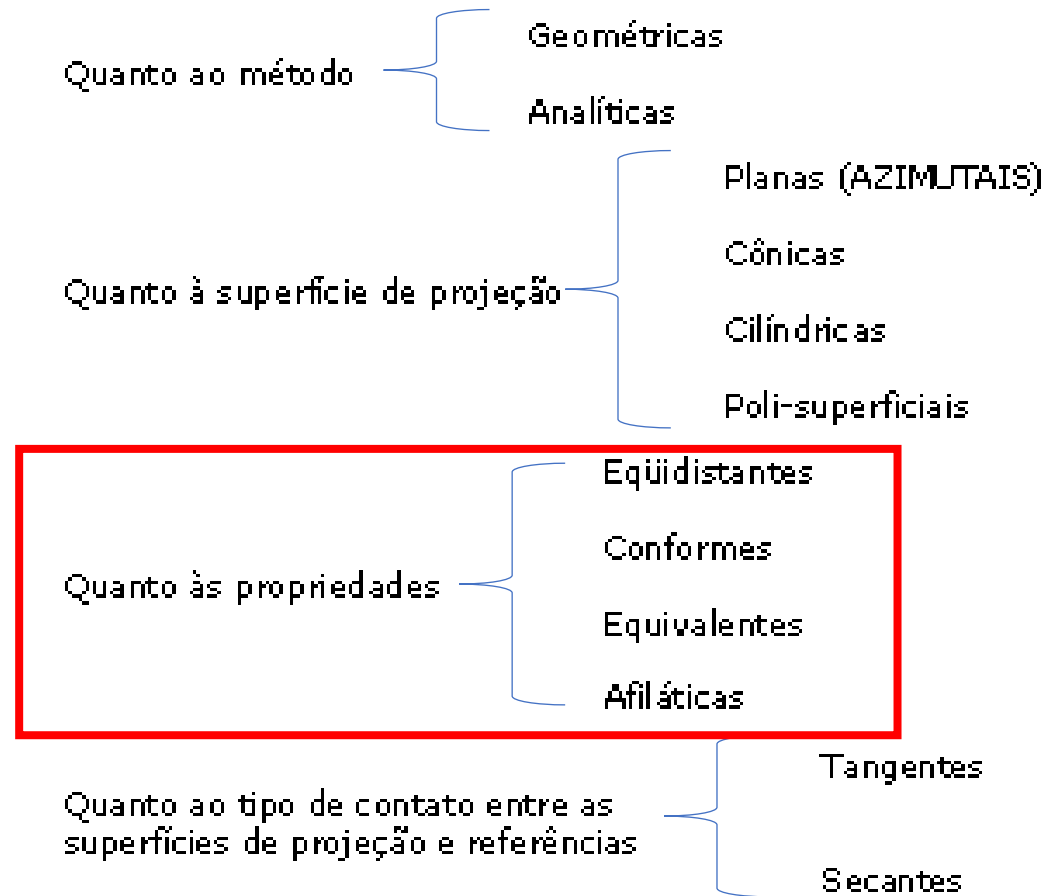
ϕ – Fi

λ – Lambda

Projeções cartográficas



Classificação:



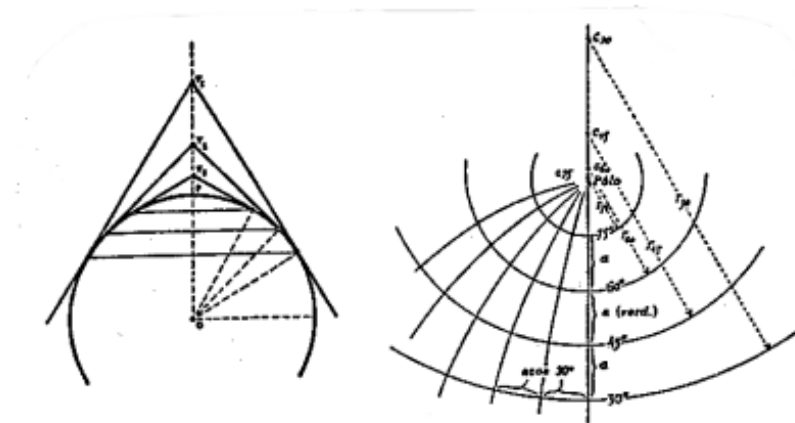
- **Equidistantes** - não apresentam deformações lineares para algumas linhas em especial, isto é, os **comprimentos são representados em escala uniforme**.
- **Conformes** - **Representam** sem deformação, todos os **ângulos** em torno de quaisquer pontos, e decorrentes dessa propriedade, não deformam pequenas regiões.
- **Equivalentes** - Têm a propriedade de **não alterarem as áreas**, conserva a mesma relação com a área de todo o mapa.
- **Afiláticas** - **Não possui nenhuma das propriedades** de equivalência, conformidade e equidistância, ou seja, as projeções em que as áreas, os ângulos e os comprimentos não são conservados.

Projeções cartográficas



Projeções mais usadas e aplicações:

Projeção policônica



Aplicações: Adequada para uso em países ou regiões de extensão predominantemente Norte-Sul e reduzida extensão Este-Oeste.

É amplamente utilizada nos EUA.

No BRASIL é utilizada em mapas da série Brasil, regionais, estaduais e temáticos.

Projeções cartográficas

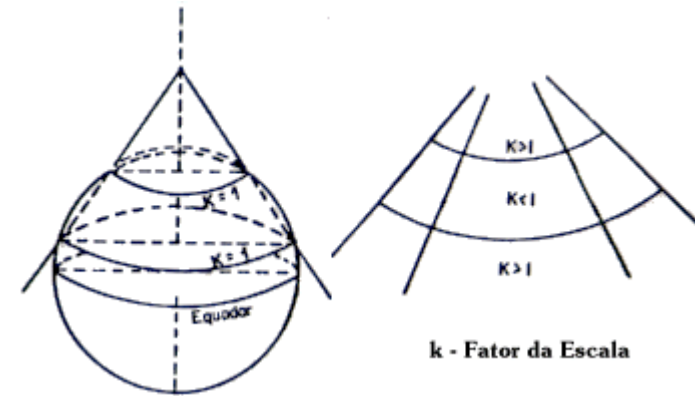


Projeções mais usadas e aplicações:

Projeção cônica normal de Lambert (com dois paralelos padrão)

Aplicações: A existência de duas linhas de contato com a superfície (dois paralelos padrão) nos fornece uma área maior com um baixo nível de deformação. Isto faz com que esta projeção seja bastante útil para regiões que se estendam na direção este-oeste, porém pode ser utilizada em quaisquer latitudes.

A partir de 1962, foi adotada para a Carta Internacional do Mundo, ao Milionésimo.



Projeções cartográficas

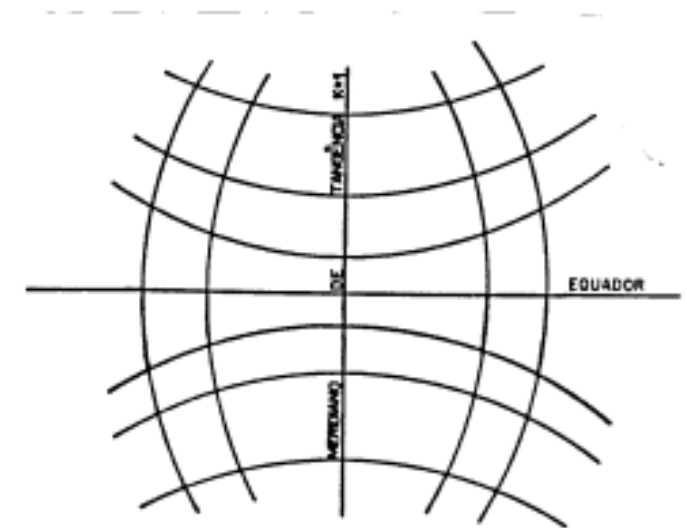
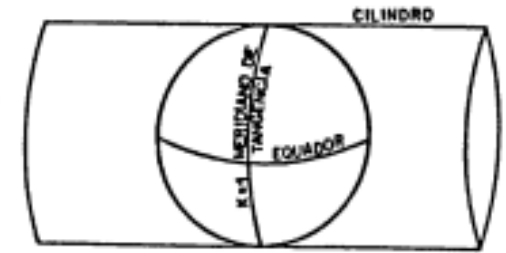


Projeções mais usadas e aplicações:

Projeção cilíndrica transversa de Mercator (Tangente)

Aplicações: Indicada para regiões onde há predominância na extensão Norte-Sul.

É muito utilizada em cartas destinadas à navegação.



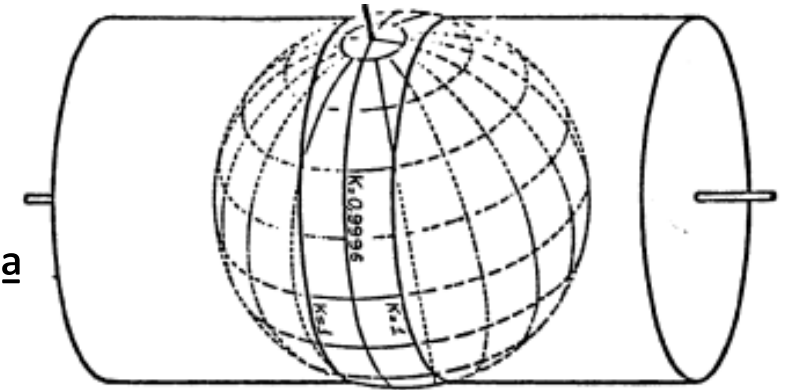
Projeções cartográficas



Projeções mais usadas e aplicações:

Projeção cilíndrica transversa de Mercator (Secante)

Projeção utilizada no **Sistema UTM** - Universal Transversa de Mercator desenvolvido durante a 2ª Guerra Mundial.



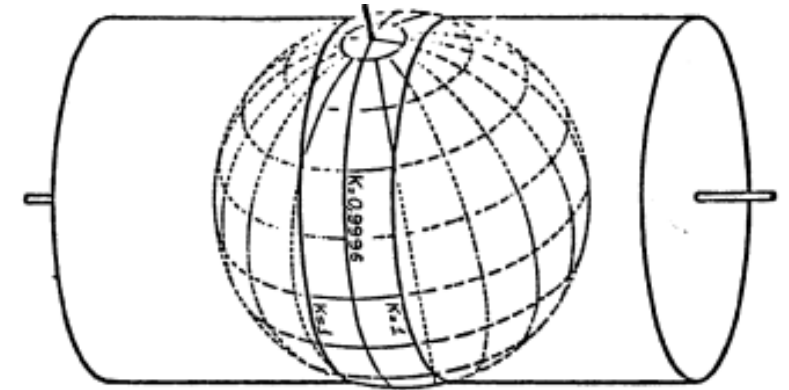
Este sistema é, em essência, uma modificação da Projeção Cilíndrica Transversa de Mercator.

Aplicações: Utilizado na produção das cartas topográficas do Sistema Cartográfico Nacional produzidas pelo IBGE e DSG.

Projeções cartográficas



Aplicações: Indicada para regiões de predominância na extensão Norte-Sul entretanto mesmo na representação de áreas de grande longitude poderá ser utilizada.



É a mais indicada para o mapeamento topográfico a **grande escala**, e é o Sistema de Projeção adotado para o Mapeamento Sistemático Brasileiro.

Projeções cartográficas – Sistema UTM

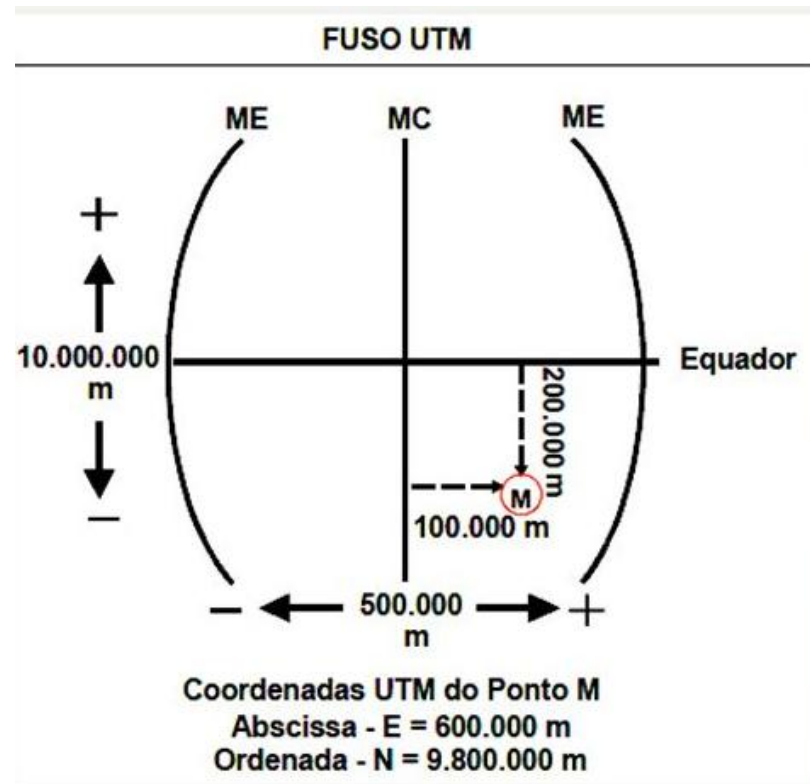
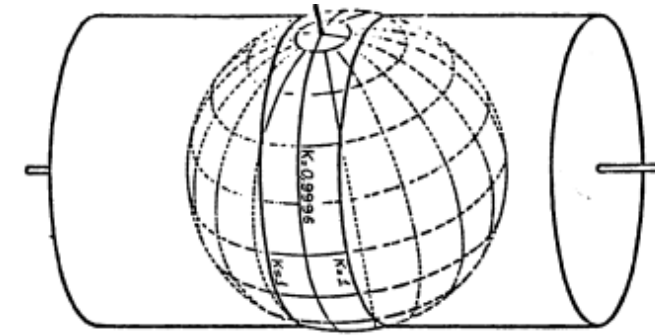
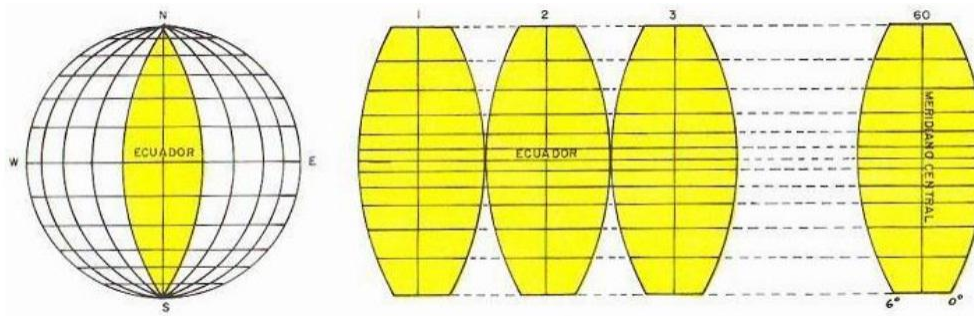


- Divide o elipsoide em fusos de 6° de longitude, ou seja, se necessitarmos mapear uma região que se distribua no sentido leste-oeste e esta extensão **ultrapasse 6°** , o sistema de projeção **UTM não pode mais ser utilizada**.
- O sistema de projeção UTM é utilizado no mapeamento de áreas com pouca extensão no sentido leste-oeste (menos que 6° de longitude);
- No Brasil, os mapas construídos **em escalas 1:250.000 e maiores** (por IBGE e DSG), se encontram em o sistema de projeção UTM. No mapeamento municipal também é utilizada o sistema de projeção UTM.



Projeções cartográficas – Sistema UTM

Fusos de 6° em 6°



0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC

Data: 29/04/2013

Atualização: 01/07/2023 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Ident. da Estação: SJSP

Código SAT: [91537](#)

Código Internacional: 41601M002

2. Informação sobre a localização

Cidade: São José dos Campos

Estado: São Paulo

Informações Adicionais: Pilar de concreto com formato cilíndrico, medindo 1,16 m de altura e com 0,29 m de diâmetro, está assentado em uma base de 1,00 m x 1,00 m x 0,80 m. Possui no topo um dispositivo de centragem forçada padrão UFRJ. Foi colocado a 0,20 m do topo, uma chapa de metal padrão IBGE na parte sudeste do marco, foi estampado: SAT- 91537. Próximo a uma cerca, a SE da portaria 1 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, na cidade de São José dos Campos - SP.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 23° 12' 25,67670"	Sigma:	0,002 m
Longitude:	- 45° 51' 42,25600"	Sigma:	0,003 m
Alt. Elip.:	605,088 m	Sigma:	0,016 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	4.084.802,4337 m	Sigma:	0,010 m
Y:	-4.209.560,3974 m	Sigma:	0,011 m
Z:	-2.498.056,9590 m	Sigma:	0,006 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	7.433.289,119 m		
UTM (E):	411.820,813 m		
MC:	-45		

https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rbmc/relatorio/Descritivo_SJSP.pdf



Projeções cartográficas – Sistemas TM



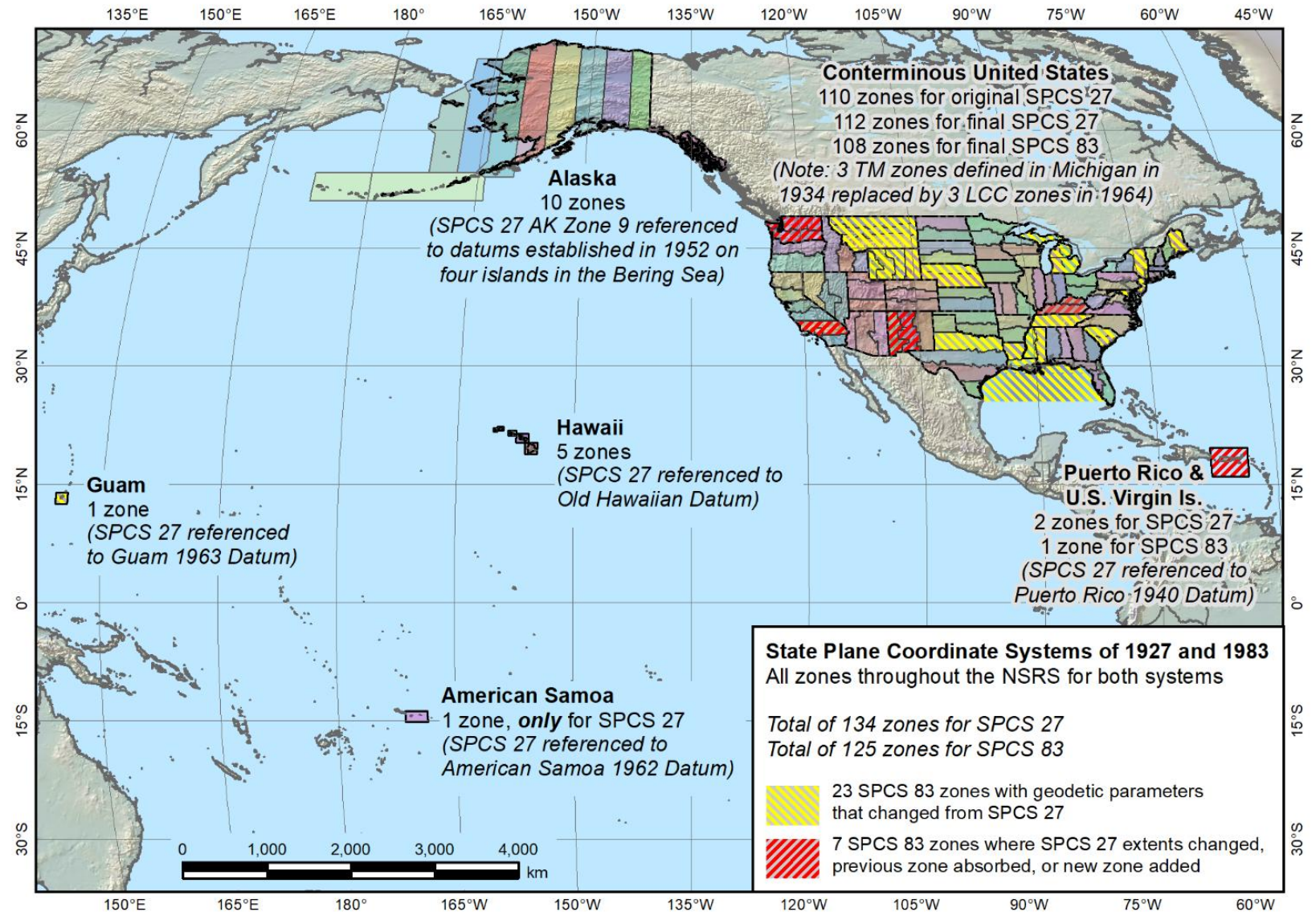
Além do UTM, há o RTM e o LTM...

Parâmetros	UTM	RTM	LTM
<i>K0 - fator de escala</i>	0,9996	0,999995	0,999995
<i>X0 – falso leste</i>	500.000	400.000	200.000
<i>Y0 - falso norte (hemisf. norte)</i>	0	0	0
<i>Y0 - falso norte (hemisf. sul)</i>	10.000.000	5.000.000	5.000.000
<i>Fuso</i>	6°	2°	1°
<i>lon0 – meridiano central</i>	6*F -183	2*F -181	1*F -180,5

Projeções cartográficas – nos EUA



- Sistema “state plane”
- > 120 projeções para cada estado dos EUA
- Estados maiores são divididos em mais de uma projeção
- XY mais próximo do plano



EPSG — Catálogo de Sistemas de Referência



- Banco de dados internacional de **Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC)**
- Cada CRS possui um **código único (EPSG code)**
 - Ex: **EPSG:4326** → WGS84 (geográfico)
 - Ex: **EPSG:31983** → SIRGAS2000 / UTM fuso 23S
- Define de forma padronizada:
 - Datum geodésico
 - Elipsoide
 - Sistema de coordenadas
 - Projeção e parâmetros
- Amplamente utilizado em:
 - SIG (QGIS, ArcGIS)
 - Bancos de dados geográficos (PostGIS)
 - Bibliotecas (GDAL/PROJ)

**EPSG não é a
projeção. É o
identificador de
um SRC completo**

O acrônimo EPSG vem de *European Petroleum Survey Group*, consórcio fundado em 1985 pela indústria do petróleo e visou padronizar dados geoespaciais em operações *offshore*. Em 2005 o grupo foi dissolvido e o registro passou ao IOGP (*International Association of Oil and Gas Producers*), onde é mantido até hoje. O nome "EPSG" permaneceu como referência ao catálogo. Veja mais sobre a história do EPSG em: <https://epsg.org/history.html>

EPSG — Catálogo de Sistemas de Referência



O portal <https://epsg.io/> (mantido pela MapTiler) é a interface mais prática para consultar o registro. Para cada código ele fornece: definição completa em WKT-CRS, string PROJ, área de validade com mapa e exportação para formatos como GeoJSON e SQL. Basta digitar o nome do SRC, o código ou a região de interesse.

Exemplo: acesse <https://epsg.io/31982> e veja todas as definições do SIRGAS 2000 / UTM zone 22S, incluindo a extensão geográfica de uso recomendado (longitudes 54°W–48°W, hemisfério sul).

```
-- Reprojeter geometria de WGS 84 para SIRGAS 2000 / UTM 22S
SELECT ST_Transform(geom, 31982)
FROM meu_dado
WHERE ST_SRID(geom) = 4326;
```

O registro EPSG é versionado (versão atual: 11.x) e recebe atualizações periódicas — novos datums regionais, correções e depreciações de códigos obsoletos. Manter o PROJ e o GDAL atualizados garante acesso às versões mais recentes do catálogo.

EPSG — Catálogo de Sistemas de Referência



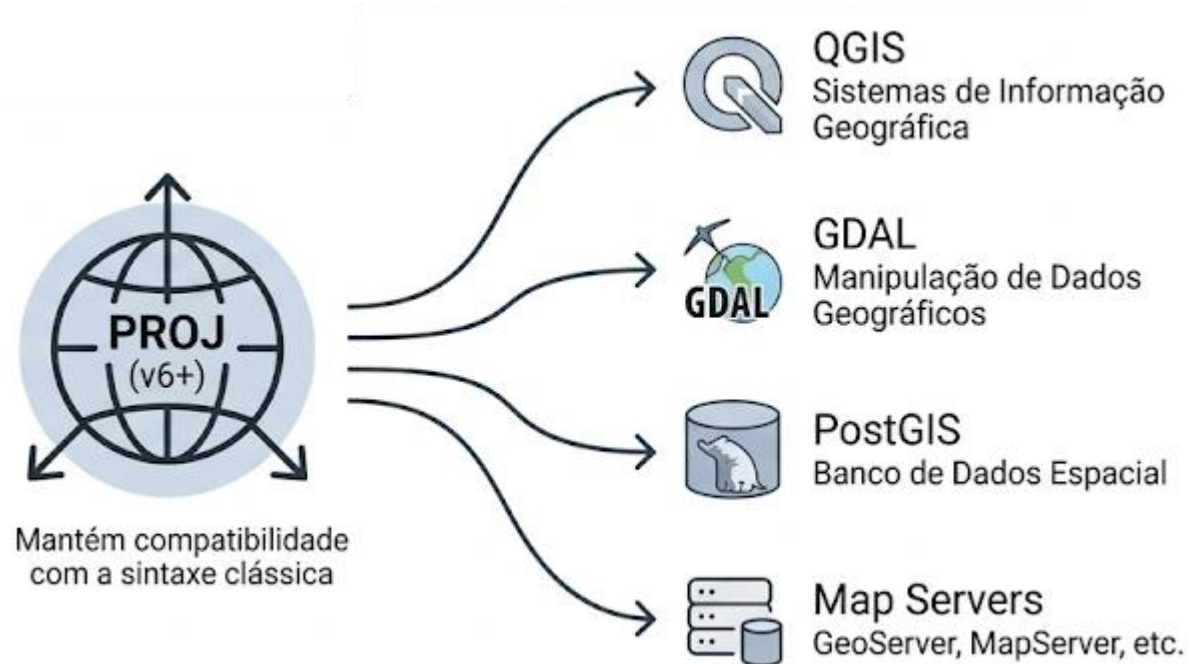
EPSG mais utilizados no Brasil:

Código EPSG	Nome do CRS	Coordenadas	Uso típico no Brasil
4326	WGS 84	Geográficas	GPS, web, dados globais
4674	SIRGAS 2000	Geográficas	Referencial oficial no Brasil (IBGE)
31983	SIRGAS 2000 / UTM zona 23S	Projetadas	Sudeste (SP, RJ)
31982	SIRGAS 2000 / UTM zona 22S	Projetadas	Centro-Oeste
31984	SIRGAS 2000 / UTM zona 24S	Projetadas	Nordeste
5880	SIRGAS 2000 / Albers Equal Area	Projetadas	Análises nacionais (área)
102033	South America Albers Equal Area (ESRI)	Projetadas	Estudos ambientais (ArcGIS)
3857	Web Mercator	Projetadas	Mapas web (Google, OSM)
10857	Brazil Data Cube Albers Equal Area	Projetadas	Cubo de dados (BDC/INPE)

PROJ — Motor de Transformação de Coordenadas



- PROJ é a biblioteca open-source mais utilizada no mundo para transformação de coordenadas entre sistemas de referência.
- Originalmente chamada PROJ.4, hoje evoluiu para PROJ (versão 6+), mantendo compatibilidade com a sintaxe clássica.
- É o motor por trás de softwares como QGIS, GDAL, PostGIS e diversos servidores de mapas.



PROJ — Motor de Transformação de Coordenadas



A String PROJ (formato clássico)

- É uma sequência de parâmetros no formato `+parametro=valor`, que define explicitamente a projeção, datum, elipsoide, unidades e outras propriedades.

```
+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80 +units=m +no_defs
```

Cada parâmetro tem um significado:

- `+proj=` → define o algoritmo de projeção (utm, merc, longlat, etc.)
- `+datum= / +ellps=` → define o datum ou elipsoide
- `+units=` → unidade do eixo (m, ft, graus)
- `+no_defs` → não usa definições padrão extras

Vantagens

- **Flexibilidade:** permite criar SRCs personalizados, mesmo sem código EPSG.
- **Transparência:** mostra exatamente quais parâmetros estão sendo aplicados, facilitando a auditoria.
- **Portabilidade:** a string pode ser usada diretamente em comandos `gdalwarp`, `ogr2ogr`, ou funções de bibliotecas.

Limitações

- A sintaxe clássica (PROJ.4) não suporta todas as nuances de datums modernos e transformações de alta precisão — para isso, o PROJ atual introduziu o formato **proj-strings** estendido e a integração com **WKT-2**.
- Uma *string* muito longa pode tornar o gerenciamento confuso em grandes projetos.

WKT-2 — Padrão moderno



- WKT-2 (*Well-Known Text version 2*) é um formato de texto estruturado, definido pela norma ISO 19162 e mantido pelo OGC (*Open Geospatial Consortium*).
- Substituiu o antigo WKT-1 (utilizado pelo ArcGIS e por versões iniciais da OGC), trazendo maior precisão para datums modernos, transformações e sistemas dinâmicos.
- É a representação oficial que os sistemas devem utilizar para trocar metadados de referência espacial de forma inequívoca.

Vantagens

Interoperabilidade total: qualquer software que siga os padrões OGC (QGIS, ArcGIS Pro, GeoServer, GDAL) interpreta exatamente o mesmo SRC.

Autossuficiência: contém todos os parâmetros necessários, sem depender de um banco de dados externo (como o catálogo EPSG).

Suporte a recursos avançados: permite descrever datums dinâmicos (com épocas), transformações compostas e sistemas de referência não-geocêntricos.

Limitações

Verboso: o texto é extenso e pouco prático para digitação manual ou uso em linha de comando direta.

Curva de aprendizado: sua estrutura hierárquica exige familiaridade com os conceitos de geodésia.

WKT-2 — Padrão moderno



Exemplo de notação WKT-2

```
PROJCRS["SIRGAS 2000 / UTM zone 22S",
  BASEGEOGCRS["SIRGAS 2000",
    DATUM["Sistema de Referencia Geocentrico para las AmericaS 2000",
      ELLIPSOID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
        LENGTHUNIT["metre",1]],
      PRIMEM["Greenwich",0,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
      ID["EPSG",4674]],
    CONVERSION["UTM zone 22S",
      METHOD["Transverse Mercator",
        ID["EPSG",9807]],
      PARAMETER["Latitude of natural origin",0,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8801]],
      PARAMETER["Longitude of natural origin",-51,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8802]],
      PARAMETER["Scale factor at natural origin",0.9996,
        SCALEUNIT["unity",1],
        ID["EPSG",8805]],
      PARAMETER["False easting",500000,
        LENGTHUNIT["metre",1],
        ID["EPSG",8806]],
      PARAMETER["False northing",10000000,
        LENGTHUNIT["metre",1],
        ID["EPSG",8807]]],
    CS[Cartesian,2],
    AXIS["(E)",east,
      ORDER[1],
      LENGTHUNIT["metre",1]],
    AXIS["(N)",north,
      ORDER[2],
      LENGTHUNIT["metre",1]],
    USAGE[
      SCOPE["Engineering survey, topographic mapping."],
      AREA["Brazil - between 54°W and 48°W, northern and southern hemispheres, onshore and offshore. In remainder of South America - between 54°W and 48°W, southern hemisphere, onshore and offshore."],
      BBOX[-54.18,-54,7.04,-47.99]],
      ID["EPSG",31982]]]
```

Exemplo de notação WKT e PROJ4 para a projeção UTM – Fuso 22 Sul – SIRGAS2000



WKT

```
PROJCRS["SIRGAS 2000 / UTM zone 22S",
  BASEGEOGCRS["SIRGAS 2000",
    DATUM["Sistema de Referencia Geocentrico para las AmericaS 2000",
      ELLIPSOID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
        LENGTHUNIT["metre",1]],
      PRIMEM["Greenwich",0,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
      ID["EPSG",4674]],
    CONVERSION["UTM zone 22S",
      METHOD["Transverse Mercator",
        ID["EPSG",9807]],
      PARAMETER["Latitude of natural origin",0,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8801]],
      PARAMETER["Longitude of natural origin",-51,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8802]],
      PARAMETER["Scale factor at natural origin",0.9996,
        SCALEUNIT["unity",1],
        ID["EPSG",8805]],
      PARAMETER["False easting",500000,
        LENGTHUNIT["metre",1],
        ID["EPSG",8806]],
      PARAMETER["False northing",10000000,
        LENGTHUNIT["metre",1],
        ID["EPSG",8807]]],
    CS[Cartesian,2],
    AXIS["(E)",east,
      ORDER[1],
      LENGTHUNIT["metre",1]],
    AXIS["(N)",north,
      ORDER[2],
      LENGTHUNIT["metre",1]],
    USAGE[
      SCOPE["Engineering survey, topographic mapping."],
      AREA["Brazil -
between 54°W and 48°W, northern and southern hemispheres, onshore and offshore. In remainder of South Amer
ica - between 54°W and 48°W, southern hemisphere, onshore and offshore."],
      BBOX[-54.18,-54.7,04,-47.99]],
      ID["EPSG",31982]]
```

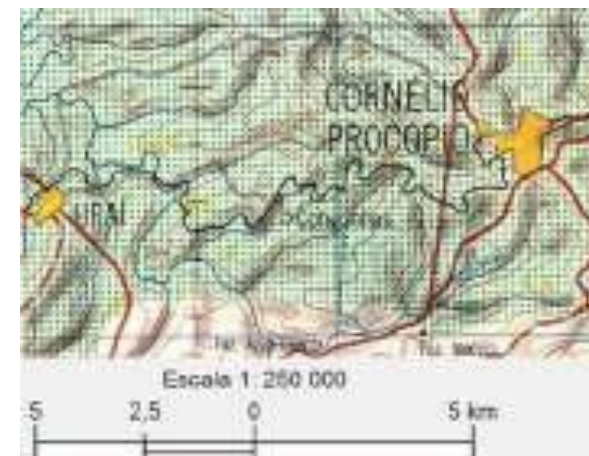
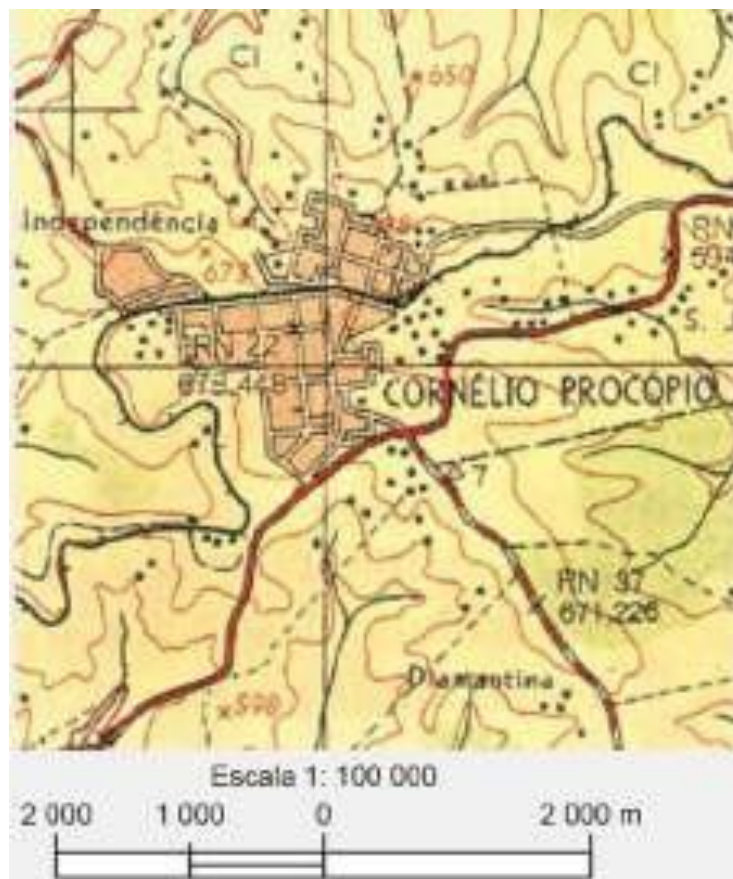
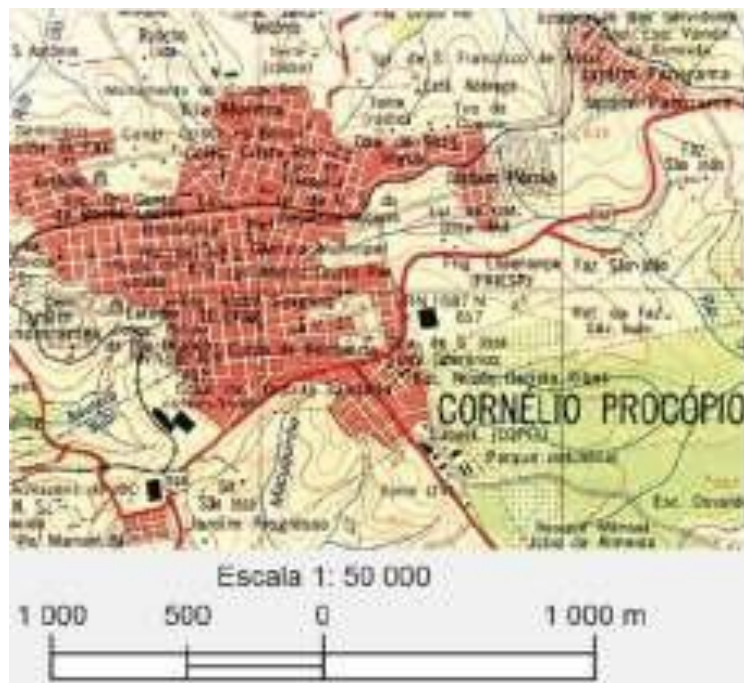
PROJ4

```
+proj=utm +zone=22 +south +ellps=GRS80
+towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs
```

Escala



Escala é a relação entre uma distância medida no mapa (ou tela) e a distância real correspondente no terreno. Expressa formalmente como uma razão: em escala 1:100.000, 1 cm representa 1 km no mundo real.



Dicas



Dicas



- O cruzamento de dados geoespaciais em SIG, em sua maior parte, exigem que os dados estejam com o mesmo SRC;
- A opção “on the fly” dos softwares do SIG permitem que você veja dados com SRC distintos no mesmo lugar, mas não garante seu correto cruzamento.

Se eu combino dados produzidos em diferentes escalas em SIG, qual é a escala de trabalho do meu produto final?

“A cadeia é tão forte quanto seu elo mais fraco.”

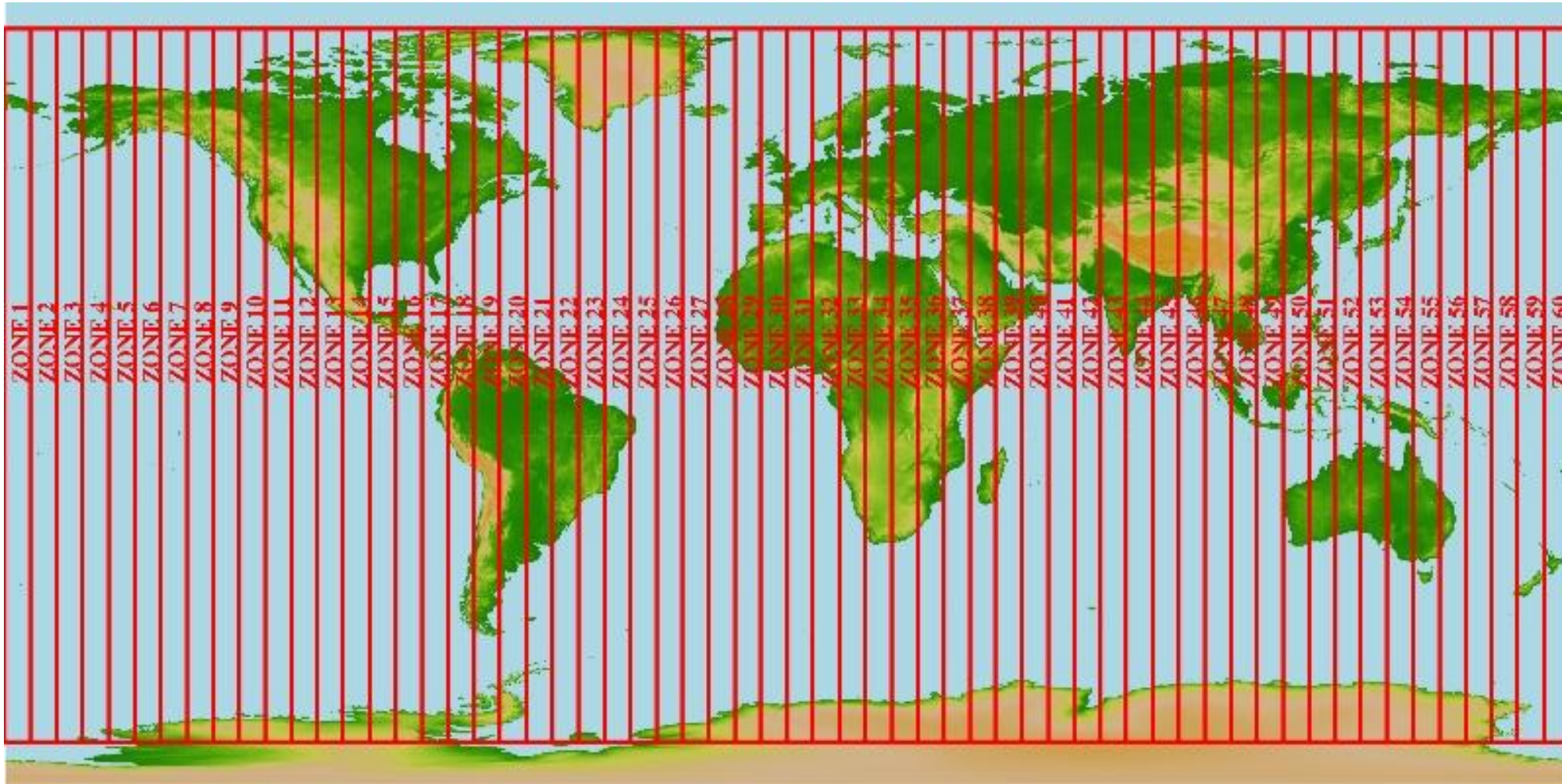
Provérbio de Thomas Paine/Arthur Conan Doyle

- Misturou 1:10.000 com 1:250.000
- 👉 Seu produto não pode ser interpretado como 1:10.000

Dicas



UTM não é projeção! É um sistema.



É preciso especificar o fuso e hemisfério... Exemplo: Projeção UTM – 22 Sul

Diferença entre planta, carta e mapa

Produto	Escala típica	Nível de detalhe	Característica principal	Uso comum
Planta	Grande (ex.: 1:500 – 1:5.000)	Muito alto	Representação precisa , sem generalização	Engenharia, cadastro, projetos
Carta	Média (ex.: 1:25.000 – 1:250.000)	Alto	Produto técnico e sistemático , com padronização	Trabalhos acadêmicos, planejamento
Mapa	Pequena (ex.: \leq 1:500.000)	Baixo	Representação generalizada e sintética	Ensino, análise temática

Na dúvida entre planta, carta ou mapa, utilize o termo produto cartográfico, que é genérico e tecnicamente adequado.

Para um produto cartográfico tecnicamente adequado, recomenda-se que **no mínimo** contenha:

- Título
- Escala (preferencialmente gráfica)
- Norte
- SRC completo (datum + projeção)
- Grade ou indicação de coordenadas
- Legenda
- Fonte dos dados
- Autor e data

E se eu quero fazer só um produto cartográfico (figura) para meu artigo?

Para um produto cartográfico tecnicamente adequado, recomenda-se que **no mínimo** contenha:

- Escala (gráfica)
- Norte
- Grade ou indicação de coordenadas (preferencialmente coordenadas geográficas)
- Legenda

Título, fonte, autoria podem ir na descrição da figura.

SRC na descrição da figura ou no texto.

Dicas



Coordenadas sem datum são como endereço sem cidade.
O número sozinho não localiza nada.



Material de apoio

IBGE. **Noções básicas de cartografia**. 1999

https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv8595_v1.pdf

Pebesma, E.; Bivand, R. (2023). **Spatial Data Science: With Applications in R (1st ed.)**.

314 pages. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9780429459016>

<https://r-spatial.org/book/>

Sampaio, T. V. M; Brandalize, M. C. B. **Cartografia geral, digital e temática**. Curitiba:

Universidade Federal do Paraná, Programa de

Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2018.

<https://docs.ufpr.br/~tonysampaio/Cartografia%20Geral%20Digital%20e%20Tematica.pdf>