

Conceitos de Geodésia

Prof. Tiago Badre Marino – Geoprocessamento
Departamento de Geociências – Instituto de Agronomia
UFRRJ



Sumário

CONCEITO DE GEODÉSIA

A FORMA DA TERRA

SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

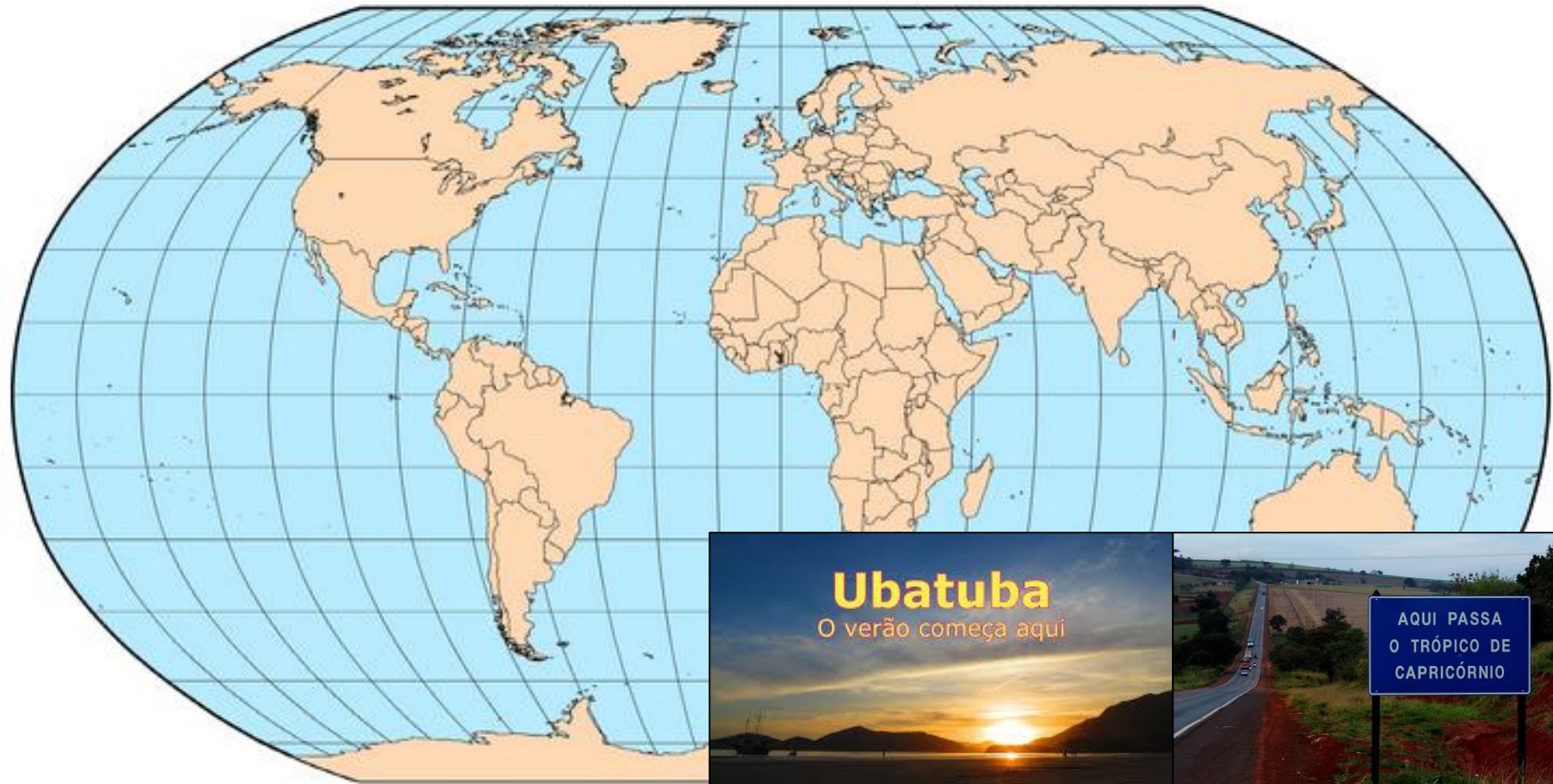
SISTEMAS DE COORDENADAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Introdução: Meridianos de Referência

- ❑ Localize no mapa: Linhas p/ latitude e longitude, Meridiano de Greenwich, Linha do Equador, Trópico de Câncer (+23,4378), Trópico de Capricórnio (-23,4378)
- ❑ Como crescem e decrescem a latitude e longitude (em graus) a partir de 0 graus?
- ❑ Quando é verão inicial no Brasil, onde está o Sol? E quando inicia no Hem. Norte?



Ubatuba

O verão começa aqui

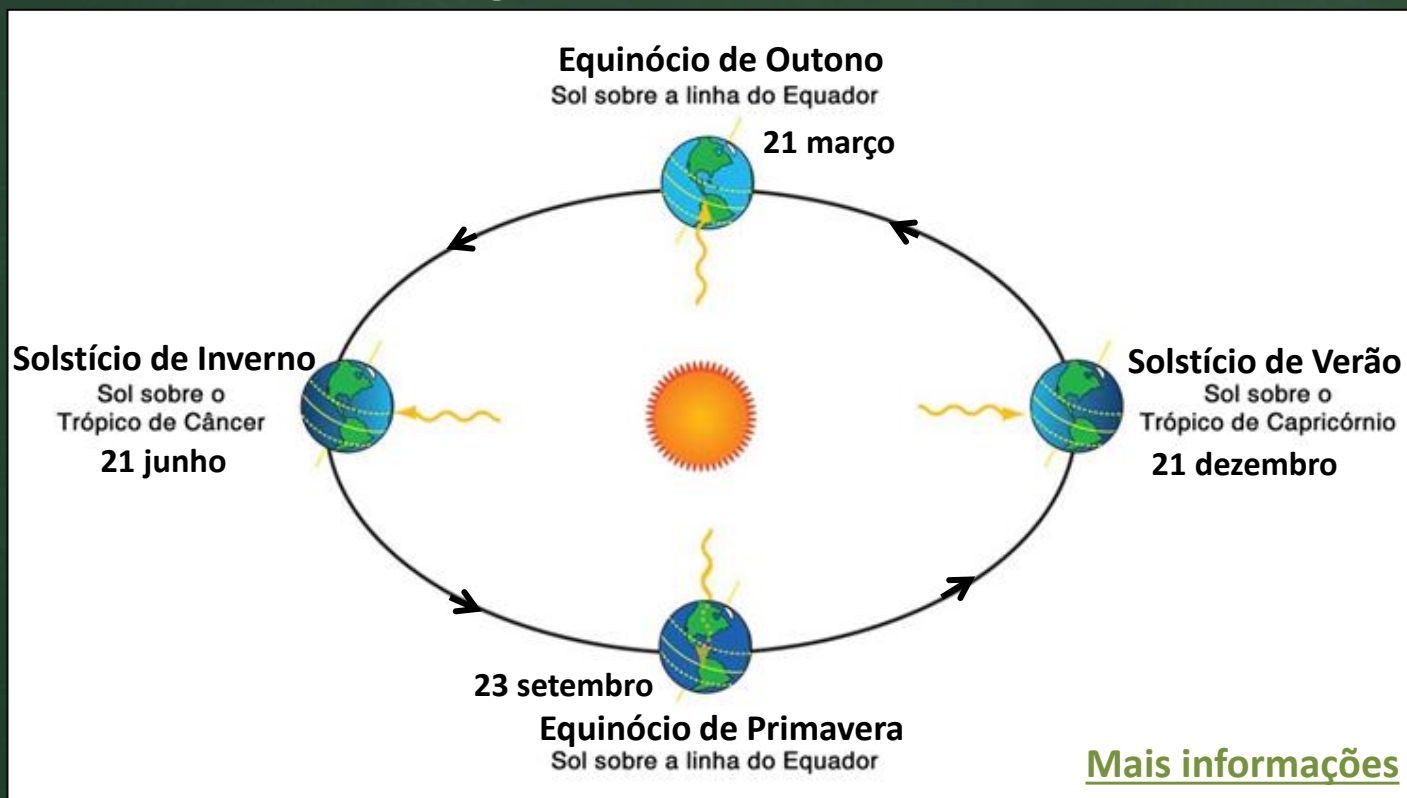
AQUI PASSA
O TRÓPICO DE
CAPRICÓRNIO

Movimentos Terra

[VÍDEO: Estações do Ano \(2 min\) \[LOCAL\] \[WEB\]](#)

[VÍDEO: Lua e Marés \(2 min\) \[LOCAL\] \[WEB\]](#)

- O que determina as estações do ano? R: Inclinação eixo em $23^{\circ} 27.30'$ (Trópicos)
- Quando ocorrem o solstício e o equinócio?
- Qual o dia mais longo do ano no Brasil? E o mais curto?

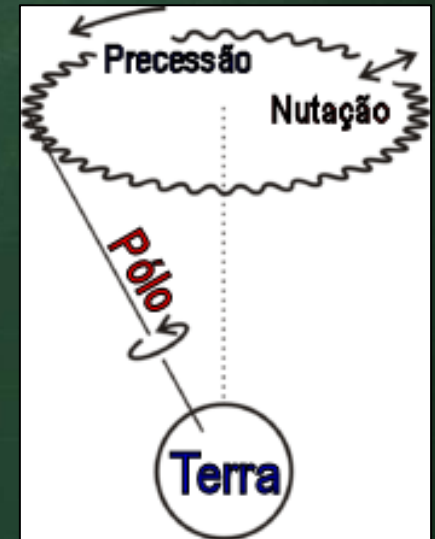
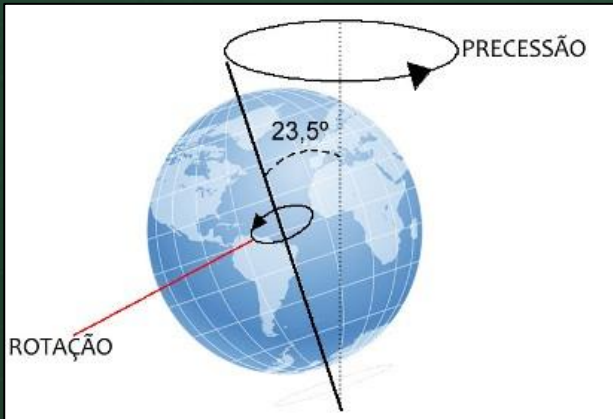


Supondo que hoje o pôr do Sol será às 18:40, a que horas o Sol irá se pôr amanhã?



Movimentos da Terra: Precessão e Nutação

- ❑ **Precessão:** É o movimento da Terra em torno de um eixo perpendicular ao plano de órbita terrestre e se assemelha ao **bamboleio de um pião**. Período: 25.800 anos.
- ❑ **Nutação:** É o movimento na forma de uma **pequena elipse** que o eixo de rotação descreve em torno de uma posição fixa em relação às estrelas. Como consequência a estrela atribuída como “estrela polar” é frequentemente alterada. Período: 18 anos e 7 meses.



Movimentos da Terra: Precessão e Nutação

Conceitos de Geodésia



Conceito de Geodésia



- ❑ **Geodésia:** ciência que estuda a forma e as dimensões da Terra, a posição de pontos sobre sua superfície e a modelagem do campo de gravidade.
- ❑ O termo geodésia também é usado em Matemática para a medição e o cálculo acima de superfícies curvas usando métodos semelhantes àqueles usados na superfície curva da terra.
- ❑ A **Geodésia Superior**, dividida entre a Geodésia Física e a Geodésia Matemática, trata de **determinar e representar** a figura da **terra em termos globais**;
- ❑ A **Geodésia Inferior**, também chamada Geodésia Prática **ou Topografia**, levanta e **representa partes menores da Terra** onde a superfície pode ser considerada “plana”.



Conceito de Geodésia

□ Do Rio a São Paulo:

- O odômetro do meu carro marca 400 Km.
- Distância medida em uma mapa em papel é de 320 Km.
- Distância medida através do Google Earth é de 366 Km.

O que é medida cartográfica?

O que é medida topográfica?

O que é medida geodésica?

Por que a discrepância entre as três medições?



A forma da Terra

Qual a forma da Terra?



A forma da Terra: Esférica



- ❑ Pitágoras de Samos (571-497 a.C) e Tales de Mileto (630-545 a.C.) defendiam a **esfericidade da Terra** e que a mesma **girava em torno do Sol** (Heliocentrismo), contrapondo Teo (“Deus é o centro do universo nada mais é maior que ele, tudo foi criado por Ele e tudo é dirigido por Ele.”).



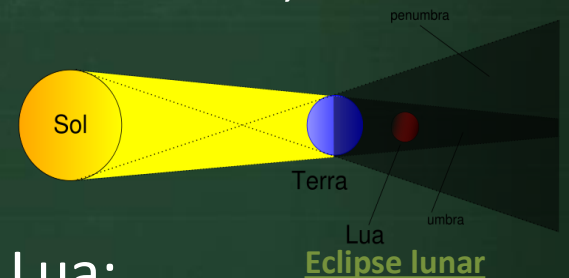
- ❑ **Aristóteles** (384-322 a.C.) apresentou argumentos para a esfericidade da Terra:

- **Variação das constelações em função da localidade;**
 - “Numa mesma noite, se a terra fosse plana, por mais que eu andasse do norte ao sul, eu enxergaria as mesmas constelações. Isto não ocorre.”



- **Sombra circular da Terra nos eclipses da Lua;**

<http://soalgunspensamentos.blogspot.com/2005/11/esfericidade-da-terra.html>



Sombra circular da Terra

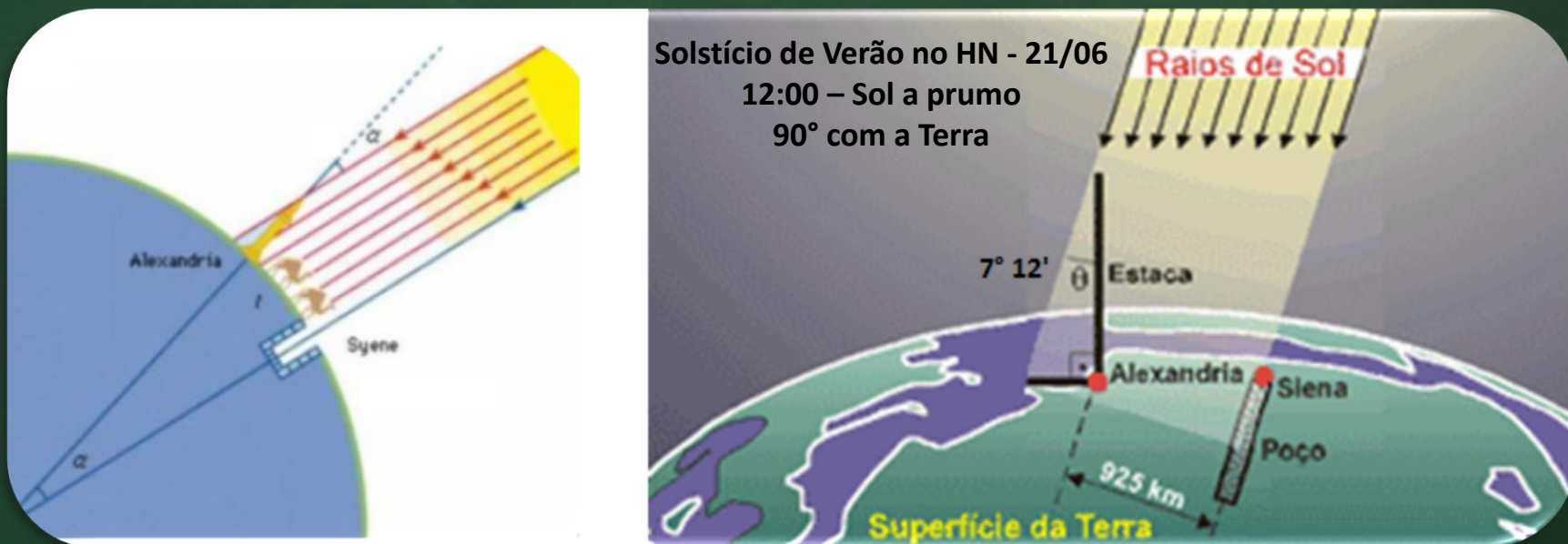
Conceitos de Geodésia



A forma da Terra: Esférica



- Eratóstenes (276-197 a.C) realizou a primeira determinação do **raio da Terra** igual a 39.556,96 estádias = **6.361 km**, com erro inferior a 1%! (medições atuais – 6.371 km)



Veja como Eratóstenes mediu o raio da Terra

$$7^{\circ} 12' - 925 \text{ km}$$
$$360^{\circ} - C \text{ km}$$

$$360^{\circ} / 7^{\circ} 12' = 50 \rightarrow C = 925 \times 50 = 46.250 \text{ Km} = \text{Perímetro da Terra (C)}$$

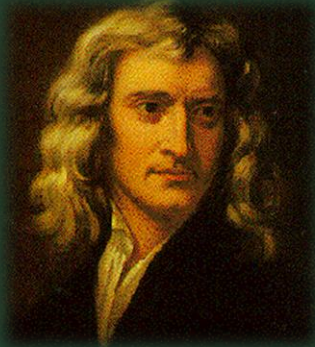
Erro: Ao contrário do que supunha Eratóstenes, as cidades de Alexandria e Siena não estão localizadas sobre o mesmo meridiano; há uma diferença de quase 3°

$$C = \alpha \times R = 2\pi R$$

Conceitos de Geodésia

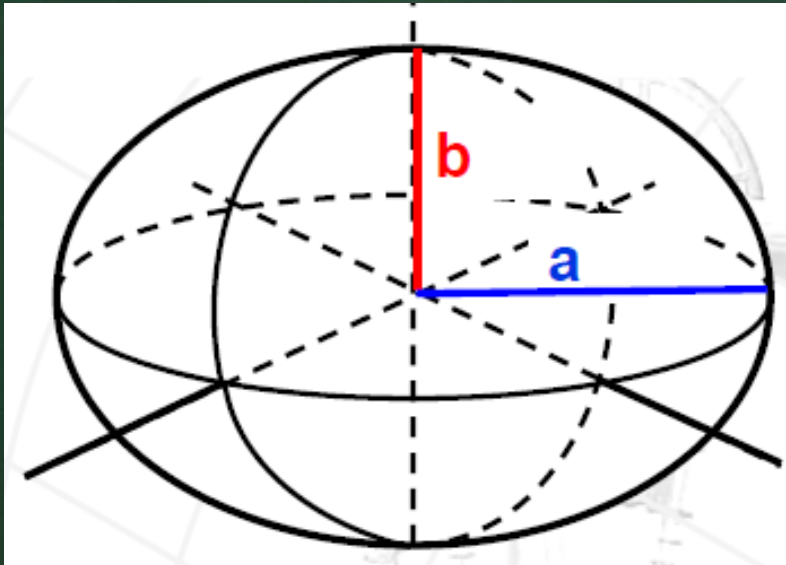


A forma da Terra: Elipsóide



Isaac Newton

□ Sir Isaac Newton (1642-1727) considerou a **forma da Terra** como uma figura geométrica gerada pela **rotação de uma elipse em torno do eixo menor**, chamada **elipsóide** de revolução. Definida por:



Elipsóide de revolução

- semi-eixo maior: a
- semi-eixo menor: b
- achatamento: $\alpha = \frac{(a - b)}{a}$
- excentricidade: $e = \frac{b}{a}$



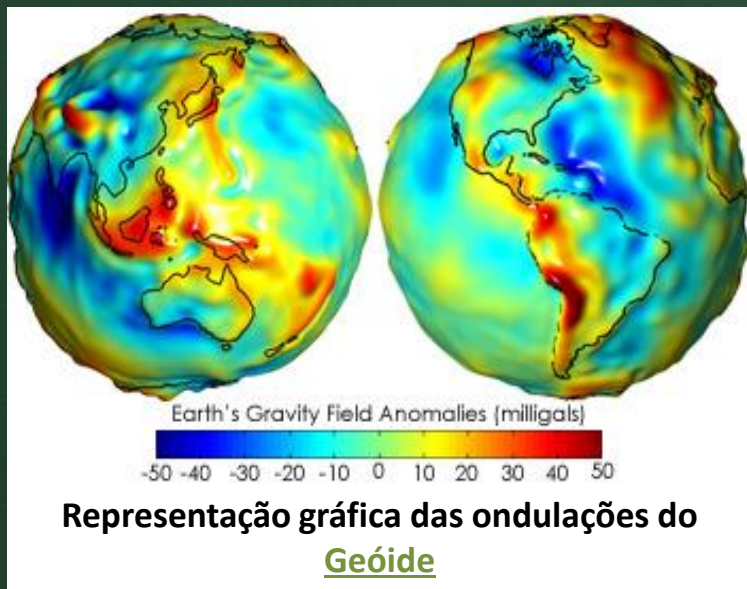
Forma da Terra: Geóide

[VÍDEO: Gravidade Oscilante da Terra \(12min\) \[LOCAL\] \[WEB\]](#)



Carl Friedrich Gauss

- ❑ Gauss (1777 - 1855) caracterizou a superfície **geoidal** como uma **superfície equipotencial** do campo de gravidade que coincide com o nível médio não perturbado dos mares (NMM).
- ❑ Materializado através dos marégrafos.
- ❑ Em **todos os pontos da superfície geoidal** o **potencial de gravidade** é o mesmo.



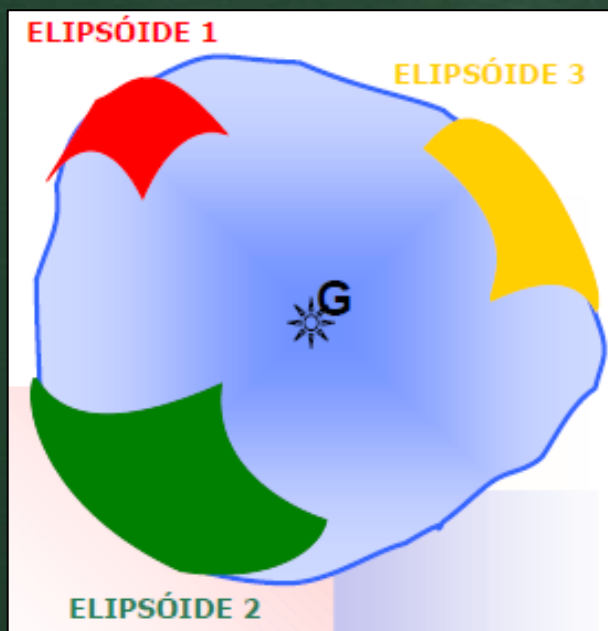
- ❑ Superfície irregular devido à não-homogeneidade de distribuição de massa (**distintas densidades e composições das formações rochosas**) Ex.: granito, basalto, cristalino (+ denso) *versus* rochas sedimentares (-denso) alteram o centro de gravidade e causam irregularidades do geóide.

Conceitos de Geodésia



Elipsóide

- ❑ Enquanto que a **superfície física** varia entre os **+8.850 m (Monte Everest)** e **-11.000 m (Fossa das Marianas)**, o **geóide varia** apenas cerca de **± 100 m** além da superfície do **elipsóide de referência**.
- ❑ Sendo a superfície **geoidal irregular**, **não é possível criar um modelo matemático** de coordenadas georreferenciadas.
- ❑ No entanto, é possível **adotar o modelo de Newton para descrever a superfície da Terra**. Ou seja, uma superfície elipsoidal que melhor se adapte ao geóide.

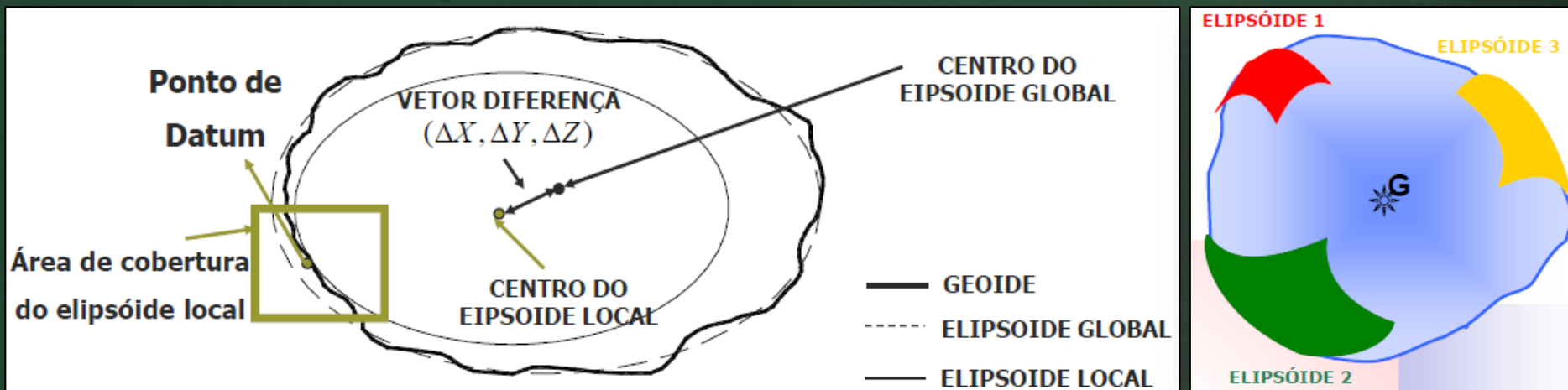


Elipsóides locais (Datum)

- ❑ O **elipsóide** é uma superfície de **fácil modelagem** matemática, **adequada para estabelecer um sistema de coordenadas**. A esfera é uma aproximação válida do elipsóide para levantamentos topográficos.
- ❑ **Cada região do globo define o elipsóide que melhor se adaptasse ao geóide local**.
- ❑ No momento, procura-se o elipsóide que melhor se ajuste ao geóide globalmente (GRS 80 até o momento).



Sistema Elipsoidal Local [VÍDEO: Datum \(2 min\) \[LOCAL\]\[WEB\]](#)



❑ Sistemas geodésicos buscam a **melhor correlação** entre o **geoide e o elipsoide**.

❑ **Elipsoide Local**

- Elegem um elipsoide de revolução que **melhor se encaixe** à superfície geoidal de uma dada região, estabelecendo a origem para as coordenadas geodésicas referenciadas a este elipsoide, através dos datum horizontal e vertical.

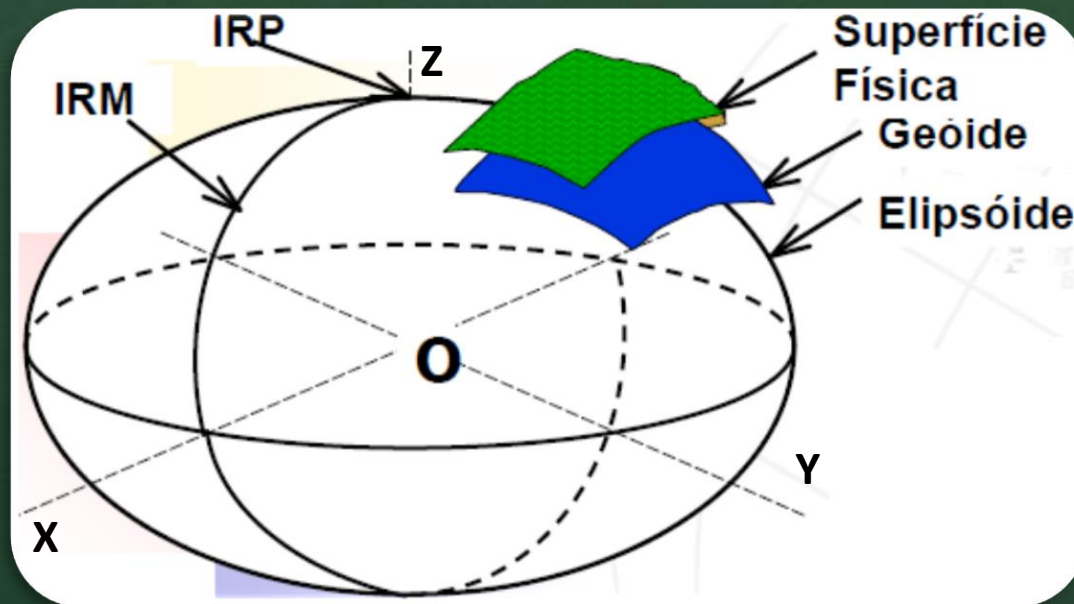
❑ **Ponto de Coincidência ou Vértice (Origem) do Datum**

- Ponto de referência onde há coincidência entre o elipsoide de revolução local e o geoide global.



Superfícies de referência

- ❑ **Superfície física:** limitante do relevo topográfico.
- ❑ **Superfície geoidal:** limitante do geóide.
- ❑ **Superfície elipsoidal:** limitante do elipsoide de referência.



IRP = Pólo Internacional de Referência

IRM = Meridiano Internacional de Referência ([Meridiano de Greenwich](#))



Altitudes e Datum no Brasil

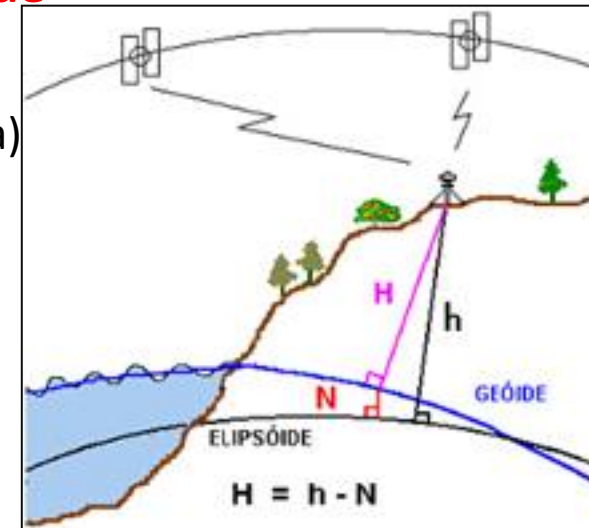
❑ **N: Ondulação geoidal – distância entre geoide e elipsoide**

❑ **h: Altitude elipsoidal (geométrica)**

- Distância entre o elipsoide e a superfície topográfica (física)
- **SEM** sentido físico – depende do elipsoide adotado
- Receptor GPS informa $\langle \phi_G, \lambda_G, h \rangle$

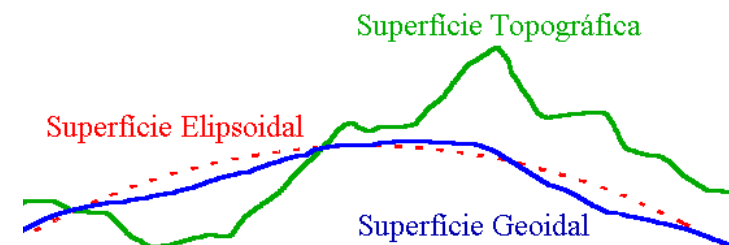
❑ **H: Altitude geoidal (ortométrica)**

- Distância entre o geoide e a superfície física
- **COM** sentido físico – independente do elipsoide adotado
- Altitude é a medida do desnível que existe entre qualquer ponto da superfície e o nível do mar.
- Para sua obtenção é necessário conhecer a ondulação do geoide (N) mediante técnicas GPS ou estações de nivelamento, datum vertical – marégrafos.
- Determinação altitude das cidades (“em relação ao nível mar”); utilizadas em obras de engenharia (mapeamento, água, saneamento, edificação...)



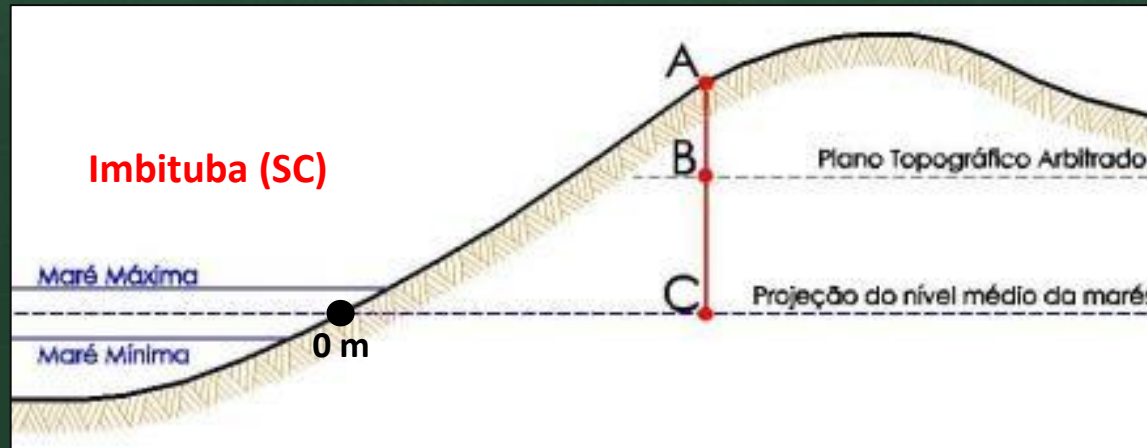
❑ **Datum Brasileiro:**

- Horizontal (X,Y): SIRGAS 2000
- Vertical (Z): Cota Zero = Imbituba (SC)



Datum Vertical: Nível Médio dos Mares

- ❑ NMM é o mesmo em qualquer lugar do mundo e é chamado de Nível Médio.
- ❑ A amplitude das marés é influenciável por vários fatores como as fases da Lua, movimentos e fenômenos da Terra...
- ❑ Assume-se o “ponto zero” (a origem das altitudes) determinado pelo ajuste das medições da marés entre marégrafos espalhados pelo mundo ([mais informações](#)).



Sistema Geodésico Brasileiro

- No Brasil, o Datum Horizontal utilizado para levantamentos topográficos **até 1979 era o de Córrego Alegre. A partir daquele ano** foi usado o **SAD69**.
 - Até 1979 – Datum Córrego Alegre:
 - Vértice de origem: Córrego Alegre (próximo a Uberaba - MG)
 - Elipsóide: Hayford (internacional - 1924)
 - a (semi-eixo maior) = 6.378.388 m | $e^2 = 0,00672267$
 - Após 1979 – DATUM South American Datum (SAD-69):
 - Vértice de origem: Chuá (próximo a Uberaba - MG)
 - Elipsóide: UGGI 1967 | $a = 6\ 378\ 160$ m | $e^2 = 0,0066946053$
 - Após 2015 – SIRGAS 2000
 - Datum Geocêntrico (origem no centro da Terra)
 - Elipsóide: GRS80
 - **Muito parecido ao WGS84 (Datum adotado pelo Google Maps, Earth, GPS)**



Sistema Geodésico Internacional – WGS 84

- ❑ Quarta versão do sistema de referência geodésico global estabelecido pelo Departamento de Defesa Americano (DoD).
- ❑ Desde 1960 com o objetivo de fornecer posicionamento e navegação em qualquer parte do mundo.
- ❑ Ele é o **sistema de referência das efemérides (posição dos astros)** operacionais do sistema **GPS**.
- ❑ No Brasil, os parâmetros de conversão entre SAD69 e WGS84 foram apresentados oficialmente pelo IBGE em 1989.
- ❑ **Sistema geocêntrico (elipsóide global)**, ao contrário do sistema topocêntrico do SAD69 (elipsóide local).



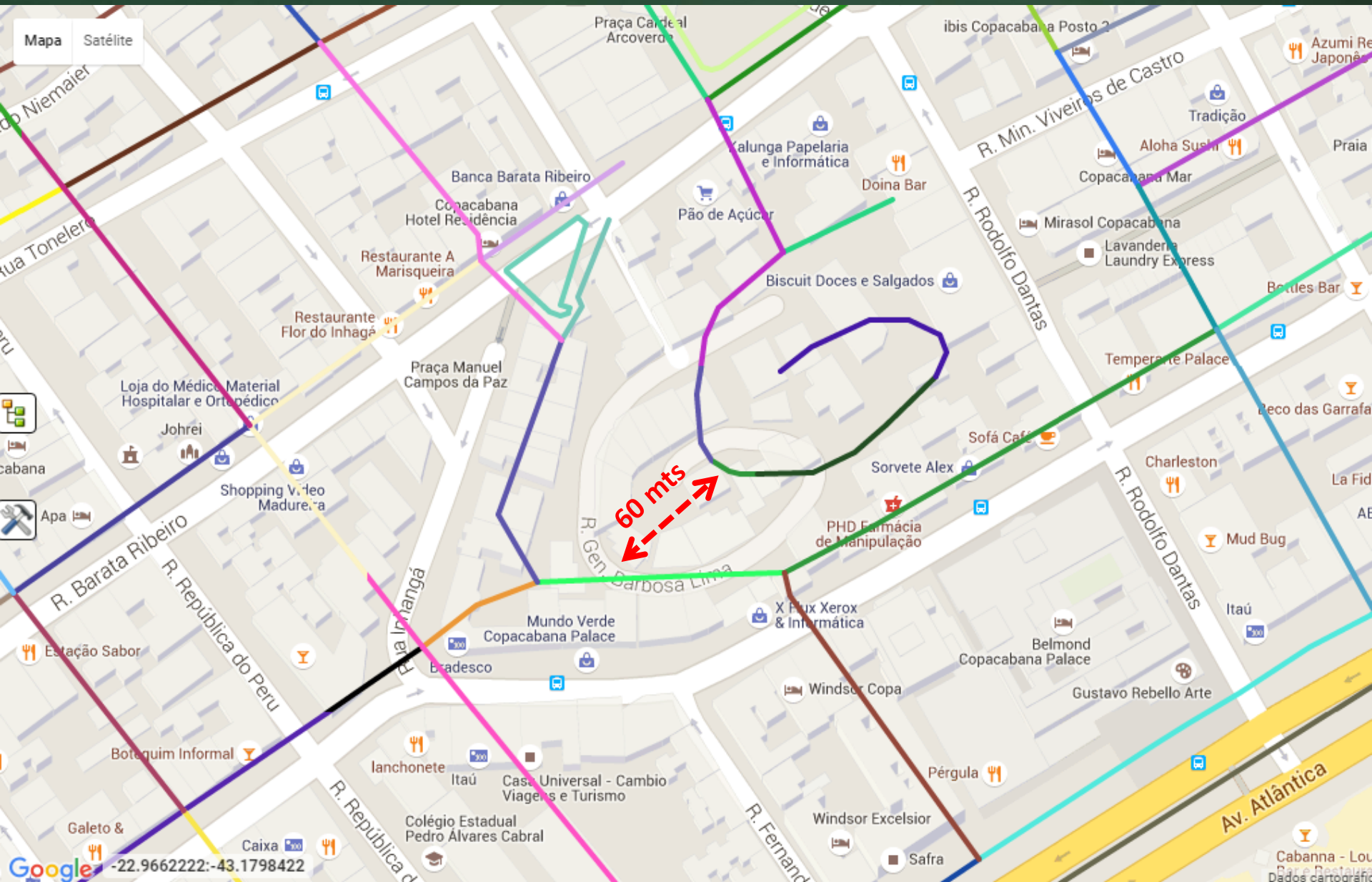
Rede SIRGAS – Continental - Américas

- ❑ SIRGAS 2000 – Sistema de Referências Geocêntrico das Américas
 - “O **SIRGAS 2000** compreende em um sistema geodésico de referência (sistema de coordenadas) que **permite a localização geográfica de precisão** de pontos na **América do Sul, Central e Norte.**”
- ❑ Atributos SIRGAS 2000:
 - Geodetic Reference System 1980 (GRS 80), **muito semelhante** ao Datum do **WGS 84**.
 - Diferença: SAD 69 X SIRGAS: 2014
 - SAD 69 é topocêntrica, ou seja, o ponto de origem e orientação está na superfície terrestre (Uberaba – MG).
 - SIRGAS 2000 é geocêntrica, ou seja, o ponto de origem é calculado no centro da Terra (geóide).
- ❑ Resolução do Presidente do IBGE N°1/2005:
 - **Altera a caracterização** do Sistema Geodésico Brasileiro, com período de transição de 10 anos, onde o SAD69 ainda poderá ser utilizado pela comunidade, com a recomendação de que **novos trabalhos sejam feitos já no novo sistema**.
 - **Após 2015, todos os trabalhos** georreferenciados **só terão validade legal se implementados usando o Datum SIRGAS 2000**.

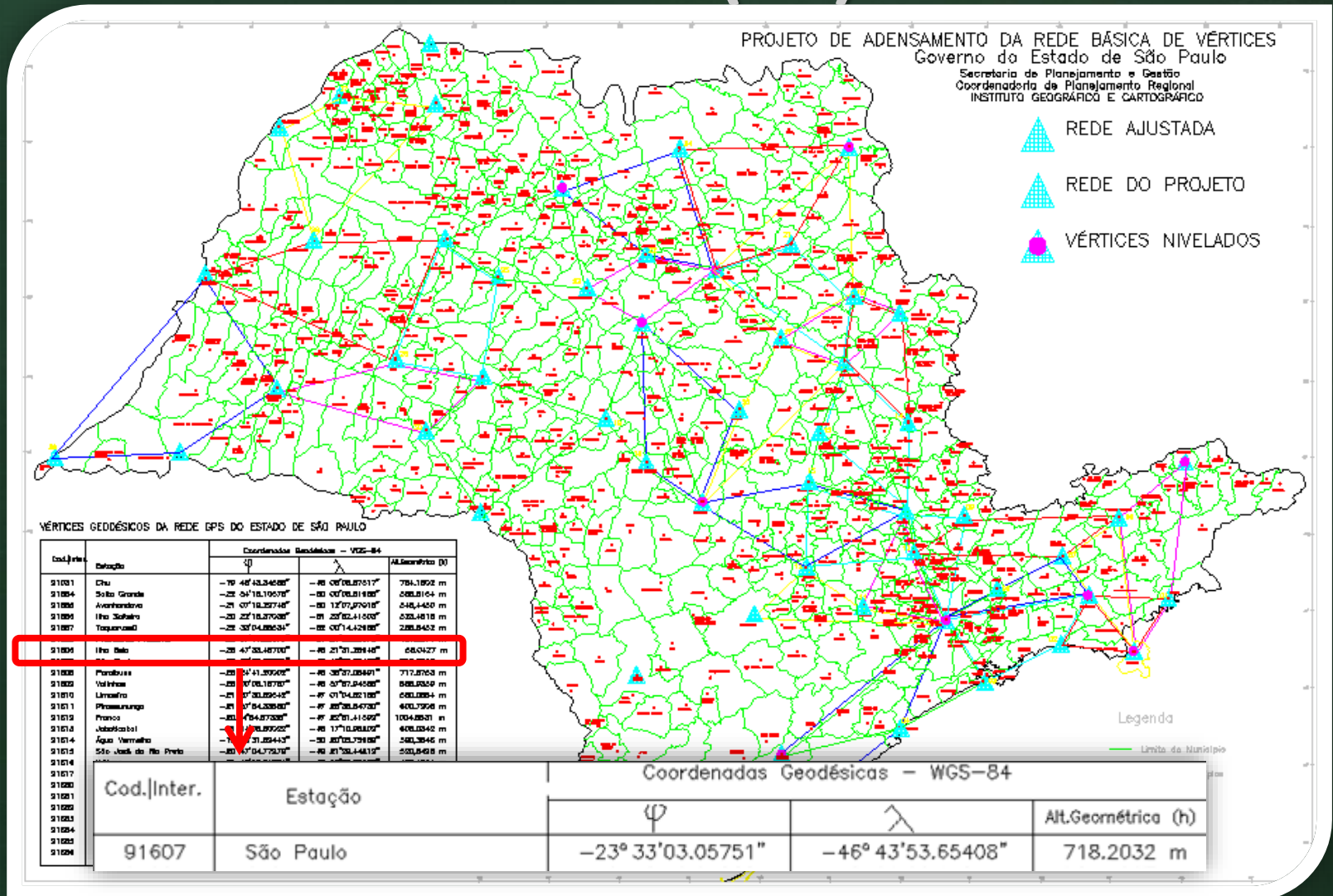


Efeitos da Incompatibilidade de Datum

☐ SAD69 (mapa de arruamento) x WGS84 (Google Maps)



Rede Geodésica Local (SP)



Exemplo de rede local: rede geodésica do estado de São Paulo

Conceitos de Geodésia



Exemplos de marcos geodésico



Mirante do Pasmado, Botafogo, Rio de Janeiro, RJ



Marco geodésico de Melriça em Vila de Rei, que marca o centro geográfico de Portugal.



Exemplo de uso de GPS diferencial sobre marco geodésico



Diferentes arquiteturas de marcos geodésicos



Marco geodésico para uso específico: "Proyecto Piramide de La Luna"

[Orientação do IBGE para construção de marcos geodésicos - PDF](#)

Conceitos de Geodésia



Estação :	93640	Nome da Estação :	93640	Tipo :	Estação Planimétrica - SAT
Município :	SEROPÉDICA			UF :	RJ
Última Visita:	16/8/2006	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	22° 46' 25,9804" S	Altitude Ortométrica(m)	21,93	Gravidade(mGal)	
Longitude	43° 41' 08,6887" W	Altitude Geométrica(m)	25,97	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão	
Origem	Ajustada	Data Medição	16/8/2006	Datum	
S Datum	SAD-69	Data Cálculo	28/6/2010	Data Medição	
A Data Medição	16/8/2006	Sigma Altitude Geométrica(m)		Data Cálculo	
D Data Cálculo	12/9/2006	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	
6 Sigma Latitude(m)	0,026			Anomalia Bouguer	
9 Sigma Longitude(m)	0,026			Anomalia Ar-Livre	
UTM(N)	7.480.903,156			Densidade	
UTM(E)	634.918,853				
MC	-45				
Latitude	22° 46' 27,7586" S	Altitude Ortométrica(m)	21,86	Gravidade(mGal)	
S Longitude	43° 41' 10,2193" W	Altitude Geométrica(m)	16,32	Sigma Gravidade(mGal)	
I Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão	
R Origem	Ajustada	Data Medição	16/8/2006	Datum	
G Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	28/6/2010	Data Medição	
A Data Medição	16/8/2006	Sigma Altitude Geométrica(m)	0,011	Data Cálculo	
S Data Cálculo	12/9/2006	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	
2 Sigma Latitude(m)	0,002			Anomalia Bouguer	
0 Sigma Longitude(m)	0,002			Anomalia Ar-Livre	
0 UTM(N)	7.480.857,561			Densidade	
0 UTM(E)	634.874,171				
MC	-45				

* Último Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996

** Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006

*** Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Localização

Área de pasto, 5,0 metros da parte leste da rua de acesso ao Instituto de Tecnologia, próximo a um canto de cerca, aproximadamente a 60,0 m e a 331° do prédio anexo 1 da zootecnia e aquém 0,12 km do prédio do Instituto de Tecnologia, Seropédica/RJ.

Descrição

Marco de concreto de formato cilíndrico, medindo 0,30 m de diâmetro por 1,30 m de altura sobre uma base quadrangular de 1,0 x 1,0 m salientando 0,10 m do solo, com um dispositivo de centragem forçada com rosca universal cravado em seu topo e uma chapa padrão ibge cravada lateralmente a 0,20 m do topo, lado oeste, onde está estampado SAT 93640.

Itinerário

Partir com 0 km da portaria principal de acesso ao Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, seguir para o interior deste, com 0,5 km passar em frente ao prédio p1, seguir em frente, com 0,9 km entrar a direita, com 1,1 km seguir a esquerda, passar em frente ao restaurante universitário, com 1,7 km passar em frente ao prédio 4z do Instituto de Zootecnia, seguir em frente, com 1,9 km chegar ao local da estação.

Observação

Conhecedores da estação e contatos: Prof. Luiz Guimarães e Prof. João Bahia.

Foto(s) :



Sistema de Coordenadas

❑ **Sistemas de Coordenadas** são usados para **definir a localização espacial** de domínios espaciais dos objetos.

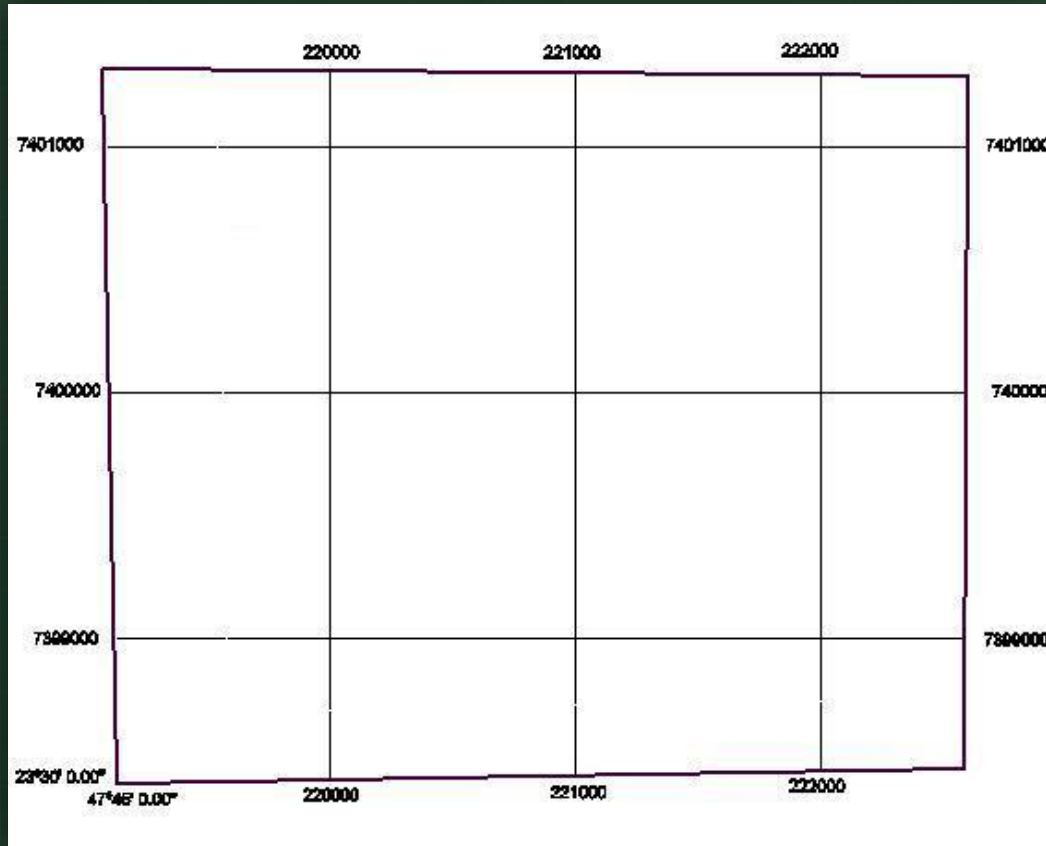
- Ex.: O sistema de projeção UTM apresenta um sistema de coordenadas métrico, cartesiano com origem no Equador para coordenadas N (norte = lat) e o meridiano central de cada zona, para coordenadas E (leste = long).

❑ **Sistema de Projeção Cartográfica** refere-se a um método, usado em mapeamentos, que envolve transformações matemáticas, pelas quais a superfície terrestre (curva) é representada numa superfície plana.

- Nas projeções, as distorções são conhecidas e controladas, porém, nenhum dos sistemas é isento desta limitação.



Sistema de Coordenadas: O Sistema Cartesiano



Exemplo de Sistema de Coordenadas Cartesianas: **UTM**

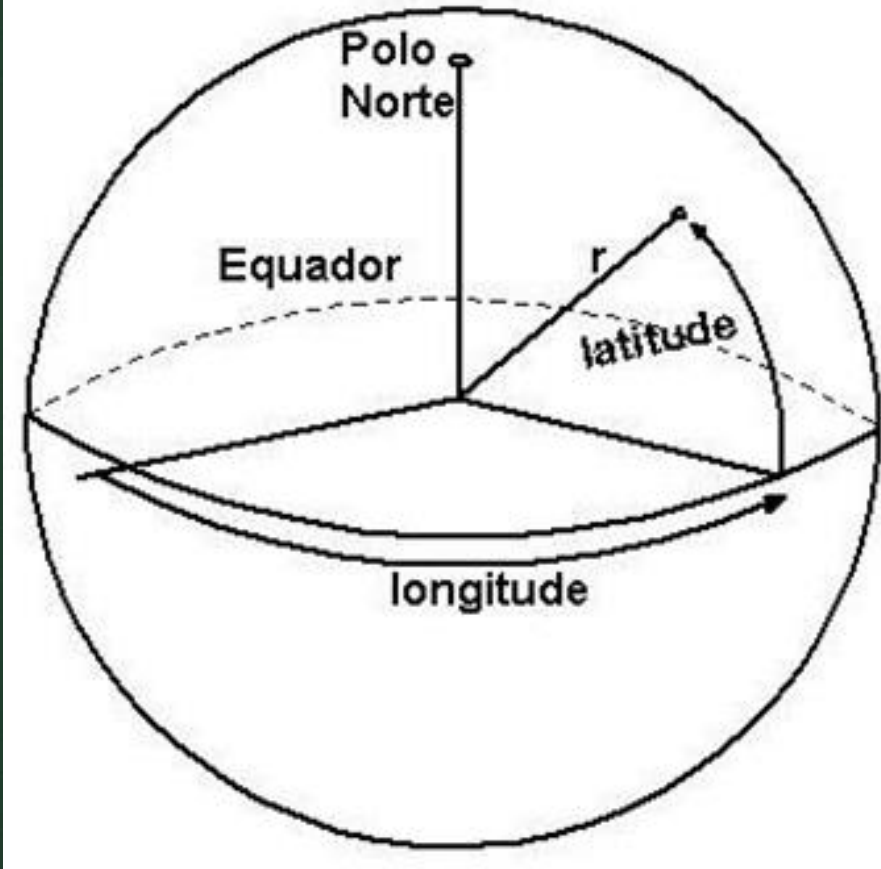
□ O **Sistema Cartesiano** é definido a partir de dois ou três eixos, com ângulos ortogonais num sistema métrico.

- Sistemas cartesianos bidimensionais são definidos pelos eixos x e y no plano.
- Sistemas cartesianos tridimensionais são definidos pelos eixos z, ortogonal aos outros dois eixos, x e y.



Sistema de Coordenadas: O Sistema Esférico

Coordenadas Esféricas



□ O **Sistema Esférico** usa dois ângulos de rotação e uma distância radial para especificar localizações numa superfície modelada da Terra, expressa em graus, minutos e segundos.

- **Longitude (λ):** definida pelo ângulo diedro formado pelo plano do Meridiano de Greenwich e pelo meridiano local.
- **Latitude (Φ):** ângulo que a vertical forma com sua projeção sobre o plano do Equador.

Exemplo de Sistema Esférico: **Coordenadas Geodésicas**



O Sistema Esférico – Formatos de Representação

- ❑ Grau Decimal: 20.259722222°
- ❑ Grau, Minuto, Segundo: $20^\circ 15' 35.00''$
- ❑ Conversão Decimal \rightarrow Grau, Minuto, Segundo
 - 1) Separando a parte inteira se obtém o grau (20°)
 - 2) Multiplica-se a parte decimal por 60 ($0,259722222 \times 60 = 15,583333$). Separa-se a parte inteira e obtém-se os minutos ($15'$)
 - 3) Multiplica-se novamente a parte decimal por 60 ($0,5833333 \times 60 = 35,00$ que corresponde aos segundos ($35''$))
 - 4) Temos assim: $20^\circ 15' 35''$.
- ❑ Conversão Grau, Minuto, Segundo \rightarrow Decimal
$$20^\circ 15' 35.00'' \rightarrow 20 + 15/60 + 35.00/60*60 =$$
$$20 + 0,2500 + 0,009722 =$$
$$20.259722222^\circ$$

- 1) Converta a coordenada geográfica -21.1234° para o formato “grau, minuto, segundo”
- 2) Converta a coordenada geográfica $10^\circ 25' 30''$ para o formato “grau decimal”

Sistema de Coordenadas – Projeções e Deformações

- ❑ Os mapas são **representações aproximadas** da superfície terrestre uma vez que não se pode passar de uma **superfície curva para uma superfície plana** sem que haja deformações.
- ❑ A **classificação** das projeções **depende do tipo de superfície adotada (cilindro, cone, poliedro)** e pelas propriedades de deformação que as caracterizam. Cada tipo de projeção se adéqua melhor a uma região do globo.
- ❑ **No Brasil (e na maior parte do mundo): Melhor projeção é a de Mercator** – cilíndrica e conforme (contém a Terra).



Sistema de Coordenadas – Projeção de Mercator

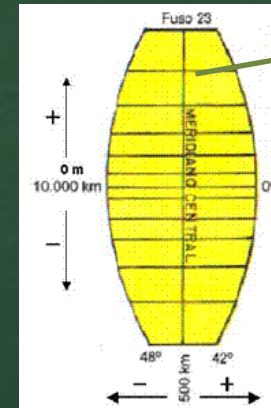
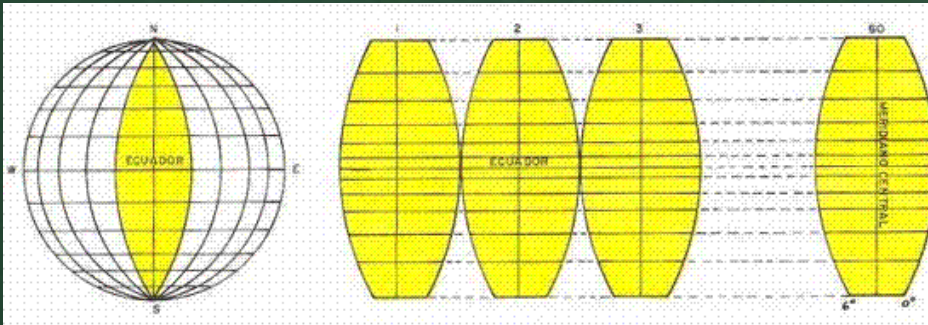
- ❑ Nesta projeção os meridianos e os paralelos são linhas retas que se cortam em ângulos retos.
- ❑ Corresponde a um tipo cilíndrico pouco modificado.
- ❑ Nela as regiões polares aparecem muito exageradas, inviabilizando as medições nestes locais. Aplicam-se então outros sistemas de projeção mais adequados aos pólos.

Mais informações em: http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/cursos_online/gvsig/a_projeo_utm.html



Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM)

- ❑ Cada fuso apresenta um único sistema plano de coordenadas, com valores que se repetem em todos os fusos.
- ❑ Assim, para localizar um ponto definido pelo sistema UTM, é necessário conhecer, além dos valores das coordenadas, o fuso ao qual as coordenadas pertençam, já que elas são idênticas de em todos os fusos.
- ❑ Para evitar coordenadas negativas, são acrescentadas constantes à origem do sistema de coordenadas:



Meridiano Central

Atividade: Abrir Google Earth e verificar propriedades da coordenadas UTM

- ❑ 10.000.000 m para a linha do Equador, referente ao eixo das ordenadas do hemisfério sul, com valores decrescentes nesta direção; 0 m para a linha do Equador, referente ao eixo das ordenadas do hemisfério norte, com valores crescentes nesta direção; e 500.000 m para o meridiano central, com valores crescentes do eixo das abscissas em direção ao leste.

[Clique aqui para mais detalhes](#)

Conceitos de Geodésia



Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM)

Território brasileiro compreendido entre os fusos 18 e 25



Conceitos de Geodésia



Sistema UTM – Algumas Questões

- As coordenadas UTM assumem valores negativos em alguma localidade para:
 - Latitude?
 - Longitude?
- Dado o par de coordenadas 7723300m : 480000m:
 - Qual valor representa a Latitude?
 - Quantos lugares na Terra apresentam este par de coordenadas?
- Como solucionar a ambiguidade acima?
- Quantos lugares na Terra apresentam LONG=500.000m?
- Quantos fusos são necessários para cobrir a Terra?



Exercício:



Dado: Resolução Espacial: 10m

Ponto A: 7475000m : 640000m

Calcule:

- 1) Lat e Long UTM do Ponto B?
- 2) Distância, em metros, de A a B (trajeto de livre escolha)
- 3) Área aproximada, em m^2 , do prédio (incluindo a área interna)



Referências Bibliográficas

- ❑ LOCH, Ruth E. Nogueira Cartografia. Representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Editora da UFSC, 2006.
- ❑ MIRANDA, J.I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. Embrapa Informática e Agropecuária, Brasília-DF. 2005.
- ❑ SILVA, Ardemírio de Barros. Sistemas de Informações Georreferenciadas. Conceitos e fundamentos. Editora da Unicamp, 1999.

❑ YouTube - Vídeo Aulas:

- 1) [Geografia - Projeções Cartográficas I: Mercator e Peters](#)
- 2) [Webinar Labgis/UERJ - Descomplique datum e projeção cartográfica no ambiente GIS \(20/03/2013\)](#)

