

# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Transportes – PTR

Laboratório de Topografia e Geodésia – LTG

## PTR 5003 – Fundamentos de Informações Espaciais





# CONCEITO DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS I

- A disciplina PTR5003 – Fundamentos de Informações Espaciais está baseada nas seguintes ciências, a saber:

- Geodésia e Topografia
- Aerofotogrametria
- Cartografia
- Sensoriamento Remoto
- Astronomia

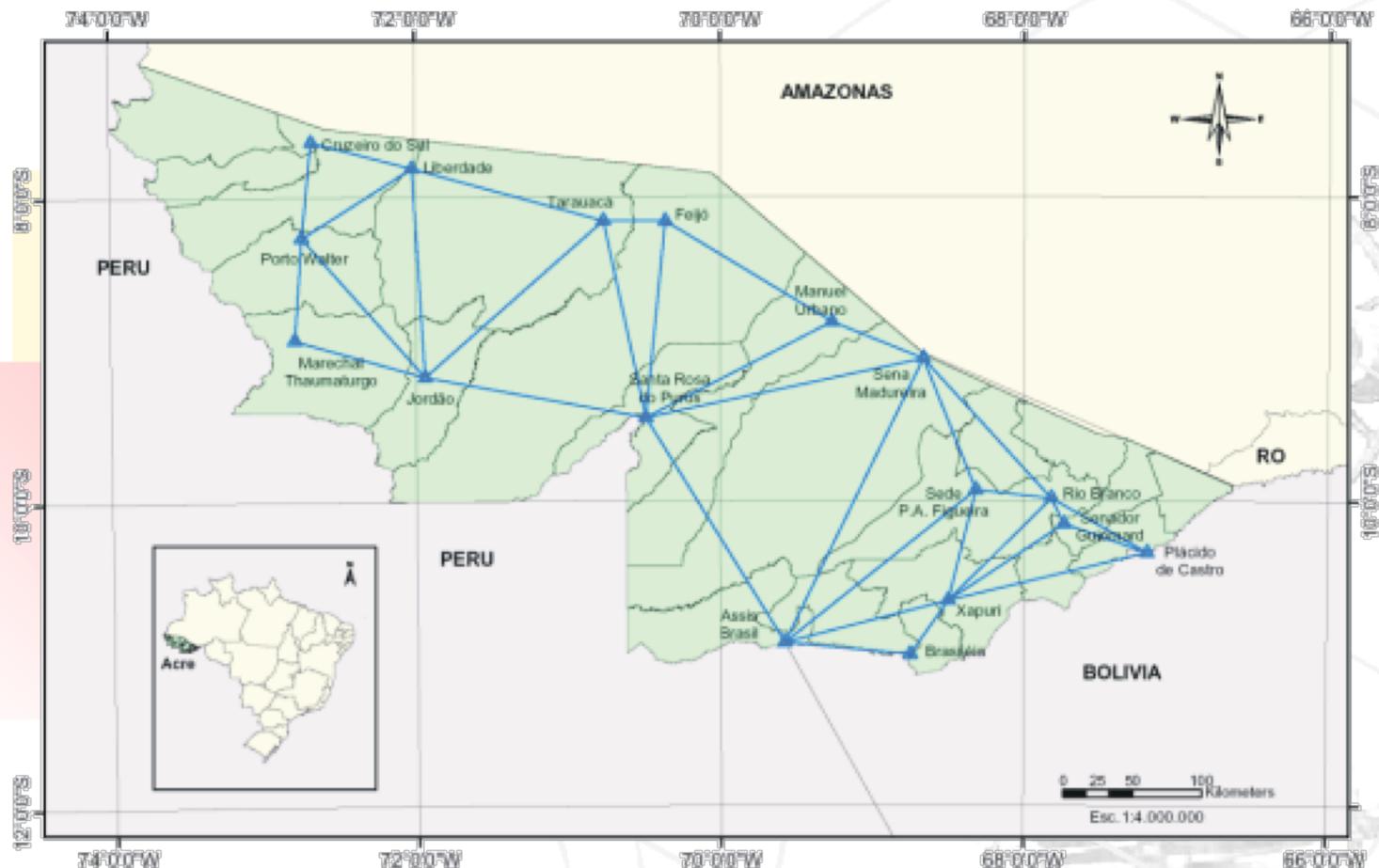
# CONCEITO DE TOPOGRAFIA

- **Topografia** é o conjunto dos princípios, técnicas e convenções utilizadas para a determinação do contorno, das dimensões e da posição relativa de pontos sobre a superfície da terra ou no seu interior (minas, túneis, galerias, etc).

Consiste na arte de medir distâncias entre pontos, ângulos entre direções e locar pontos a partir de ângulos e distâncias observadas usando um ponto com coordenadas predeterminadas como referência.

# DEFINIÇÃO DE GEODÉSIA

- **Geodésia** é a ciência que estuda a forma e as dimensões da Terra, a posição de pontos sobre sua superfície e a modelagem do campo gravitacional.



# DEFINIÇÃO DE GEODÉSIA

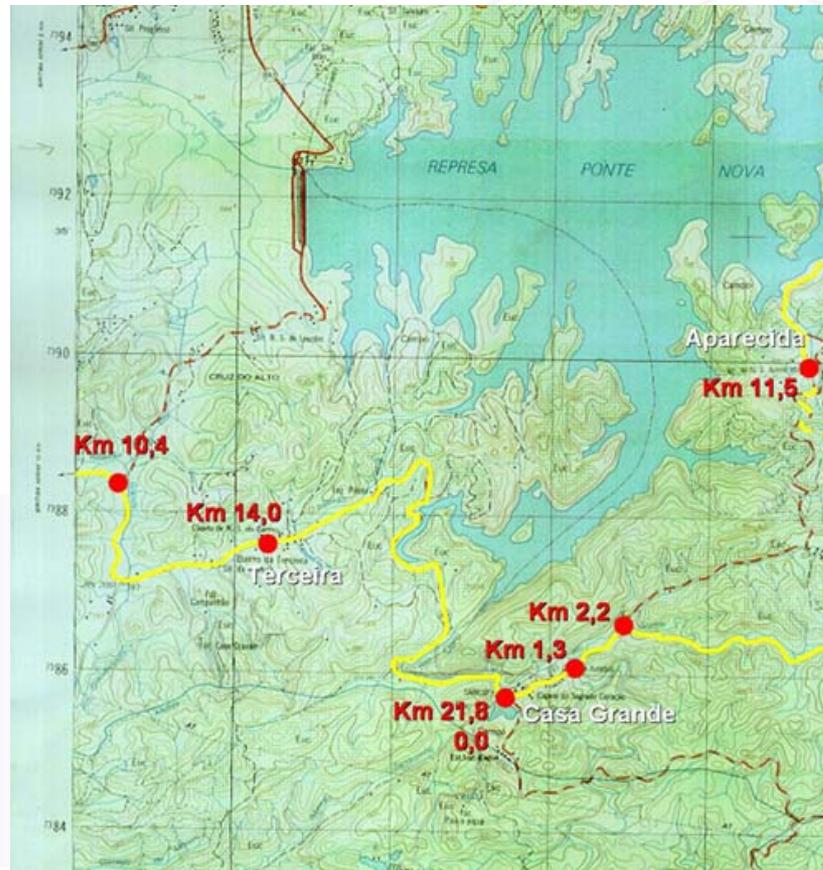
- A Geodésia, no passado era dividida em:
  - Geodésia Geométrica
  - Geodésia Física
  - Geodésia Espacial
- Hoje, há uma grande relação entre estas divisões tornando a separação sem sentido.
- Modernamente a Geodésia tem três objetos:
  - a geometria e as deformações da Terra,
  - os parâmetros de orientação da Terra no espaço
  - e o campo de gravidade (geoide).



# DEFINIÇÃO DE CARTOGRAFIA

É a arte e a técnica da representação dos acidentes geográficos da superfície da Terra.

- Visa o planejamento e a visão de conjunto, utilizando escalas menores (menos detalhes) em um sistema de projeção.



# DEFINIÇÃO DE AEROFOTOGRAMETRIA

É técnica de produção de mapas ou cartas por meio de fotografias aéreas com emprego da estereoscopia.



# DEFINIÇÃO DE SENSOREAMENTO REMOTO

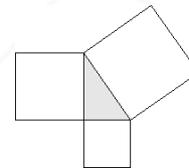
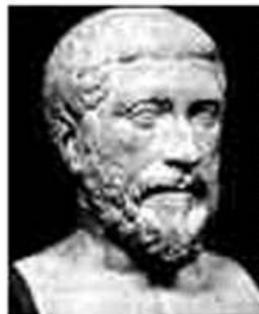
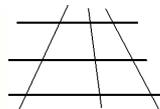
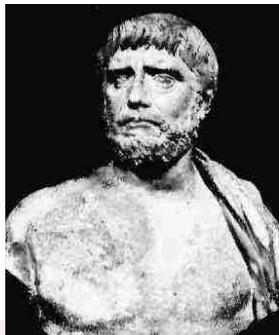
- É a técnica que utiliza sensores a bordo de satélites artificiais para a obtenção de imagens digitais da superfície da Terra através das diversas faixas do espectro eletromagnético.





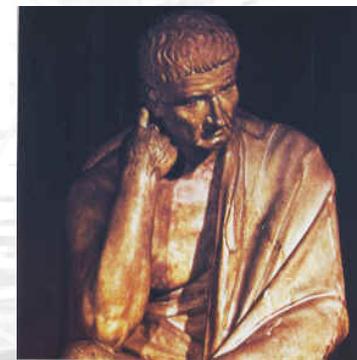
## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: A ESFERA

- **Tales de Mileto (630-545 a.C.), Pitágoras de Samos (571-497 a.C.) e Hiparco (190-126 a.C.)** defendiam a esfericidade da Terra e o fato da mesma girar em torno do Sol (heliocentrismo), fato que não prevaleceu.



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

- variação no aspecto do céu estrelado com a latitude;
- sombra circular da Terra nos eclipses da Lua;
- tendência das partículas a se dirigirem para um ponto central do universo, quando competem entre si adquirindo a forma esférica.





## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: A ESFERA

- **Eratóstenes** nasceu em Cirene - (276-194 a.C) realizou a primeira determinação do raio da Terra com valor de 39.556,96 estádias  $\cong$  6.210 km. Isso indica um erro, na determinação do raio, inferior a 2%.
- Em resumo, devido aos Gregos prevaleceram conceitos: úteis na época, mas errôneos: a forma esférica da Terra e o sistema geocêntrico.

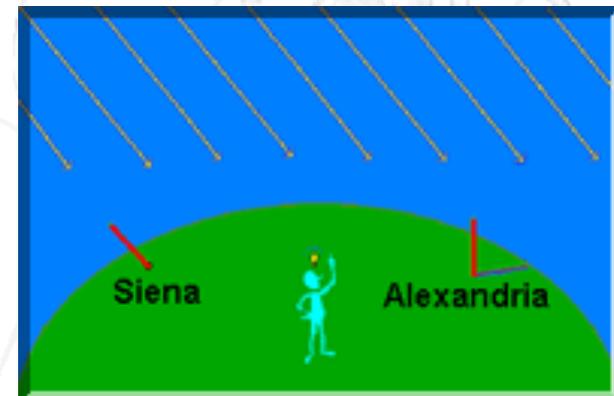
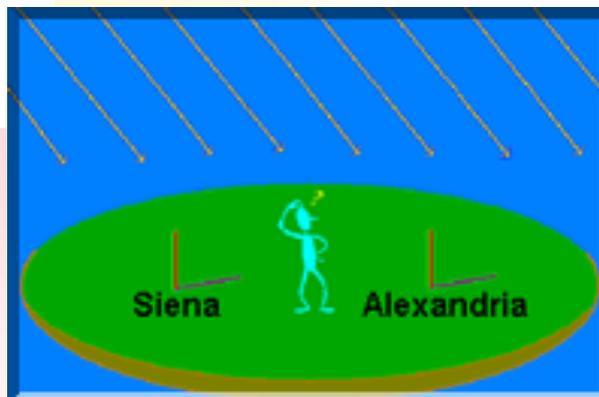
Newton (sec. XVII) corrigiu o primeiro propondo outra forma (elipsóide) e Copérnico (sec. XV) o segundo, voltando ao sistema heliocêntrico.





## FORMA DA TERRA: Determinação do raio

- **ERATÓSTENES** viveu no Egito. Era bibliotecário-chefe da famosa Biblioteca de Alexandria, e foi lá que encontrou, num velho papiro, indicações de que ao meio-dia de cada 21 de junho na cidade de Siena, 800 km ao sul de Alexandria, uma vareta fincada verticalmente no solo não produzia sombra.
- Para alguns nada de útil porém, não para um homem observador como Eratóstenes havia algo de interessante. Ele percebeu que o mesmo fenômeno não ocorria no mesmo dia e horário em Alexandria e pensou:

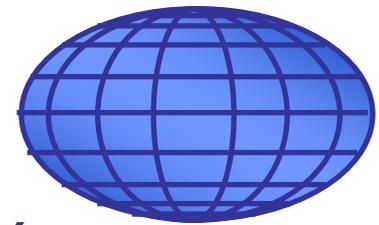


Se o mundo é plano como uma mesa, então as sombras das varetas têm de ser iguais. Se isto não acontece é porque a Terra deve ser curva!

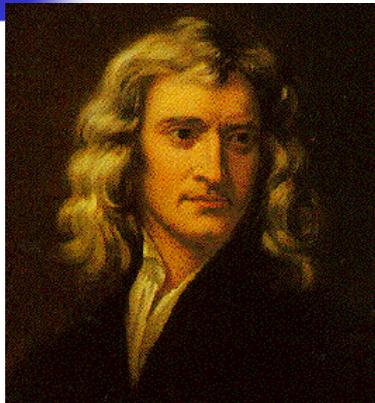


## FORMA DA TERRA: Determinação do raio





## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O ELIPSÓIDE



- **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 elipsoide de revolução, consequência da da força centrífuga oriunda da rotação em torno do eixo dos Polos.

■ O Elipsoide de rotação é definido por:

- Semi-eixo maior =  $a = c$

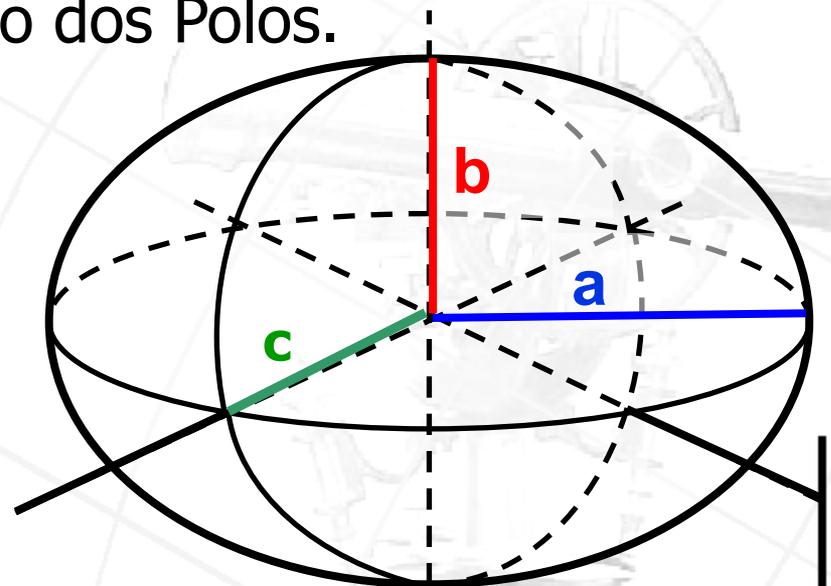
- Semi-eixo menor =  $b$

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

- 

- Excentricidade =  $e = \frac{c}{a}$

$$c^2 = a^2 - b^2 \text{ ou seja, é outro } c$$

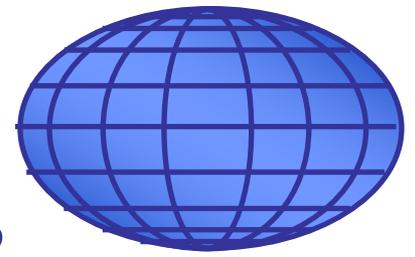




## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O ELIPSOIDE



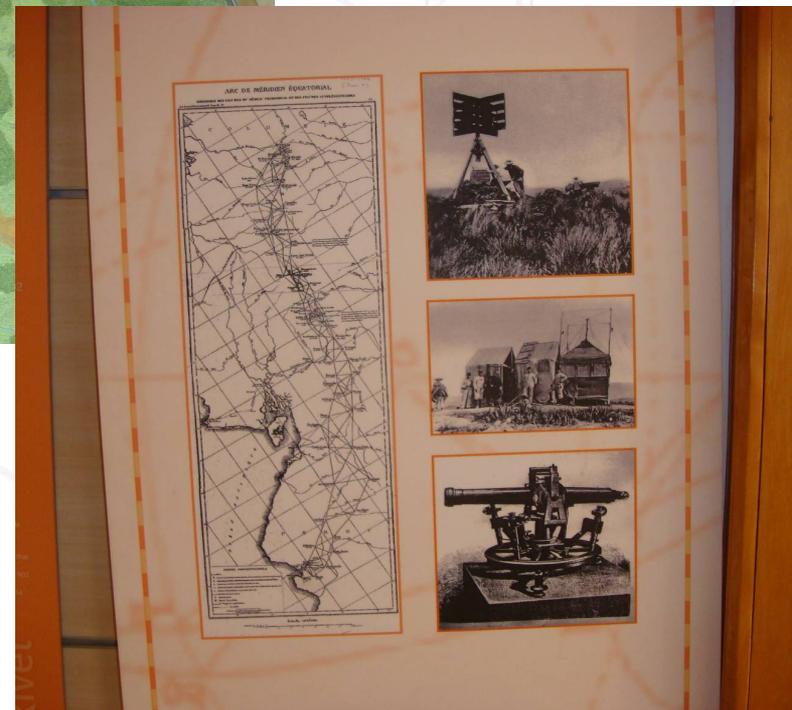
- Na França em 1666 foi criada a Academia Real de Ciências. Sob a direção dos Cassinis (Dominique e Jacques).
- Jean\_Felix Picard realizou em 1668 uma primeira triangulação, entre Dunkerque e Collioure, completada pelos irmãos Cassini (1683-1715). O resultado, em função de erros, foi estranho: o comprimento do arco de meridiano de 1º diminuía na direção norte.
- Para sanar a dúvida, foram organizadas as famosas expedições francesas, uma na Lapônia e outra no então Vice-Reino do Peru, hoje o Equador.
- Os resultados das expedições confirmaram a teoria de Isaac Newton.



# EXPEDIÇÕES FRANCESAS AO EQUADOR



Triangulação para a  
medição do arco de  
meridiano  
Quito, Equador





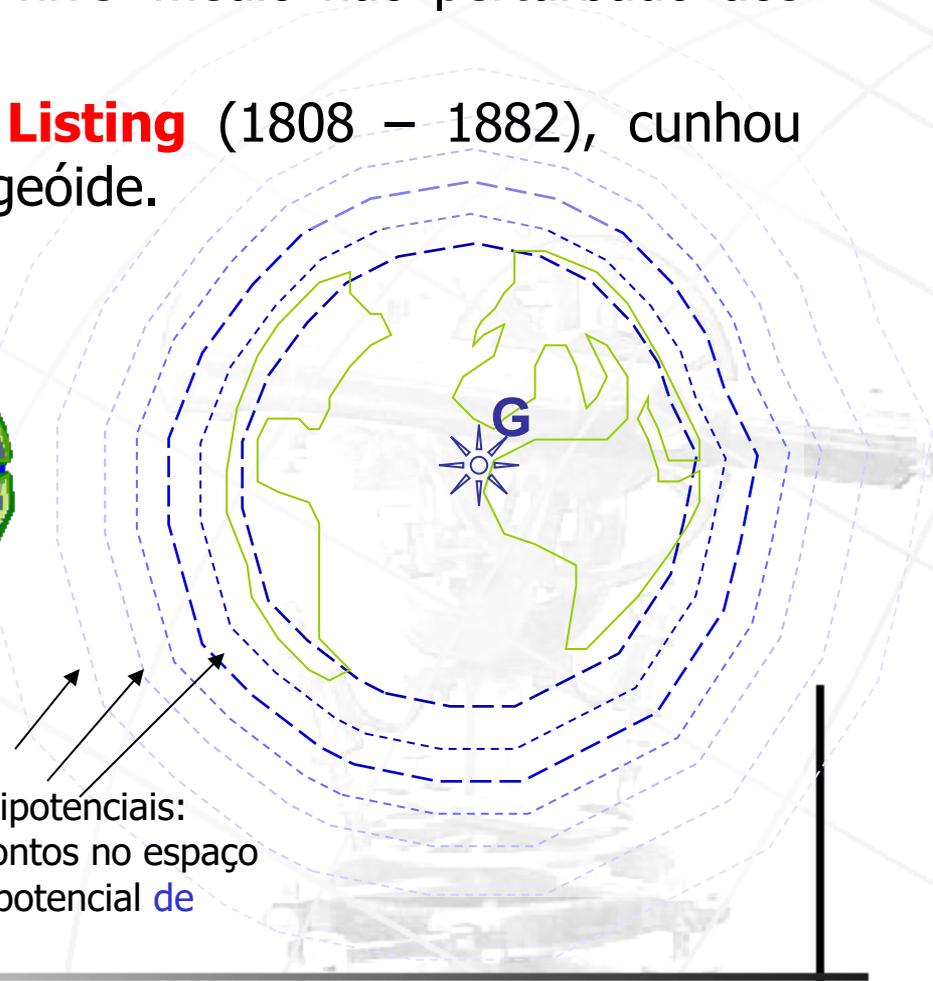
## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O GEOIDE



- **Johann Carl Friedrich 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.



- **Johann Benedikt Listing** (1808 – 1882), cunhou em 1873 a palavra geóide.



Superfícies equipotenciais:  
conjunto de pontos no espaço  
com o mesmo potencial de  
gravidade

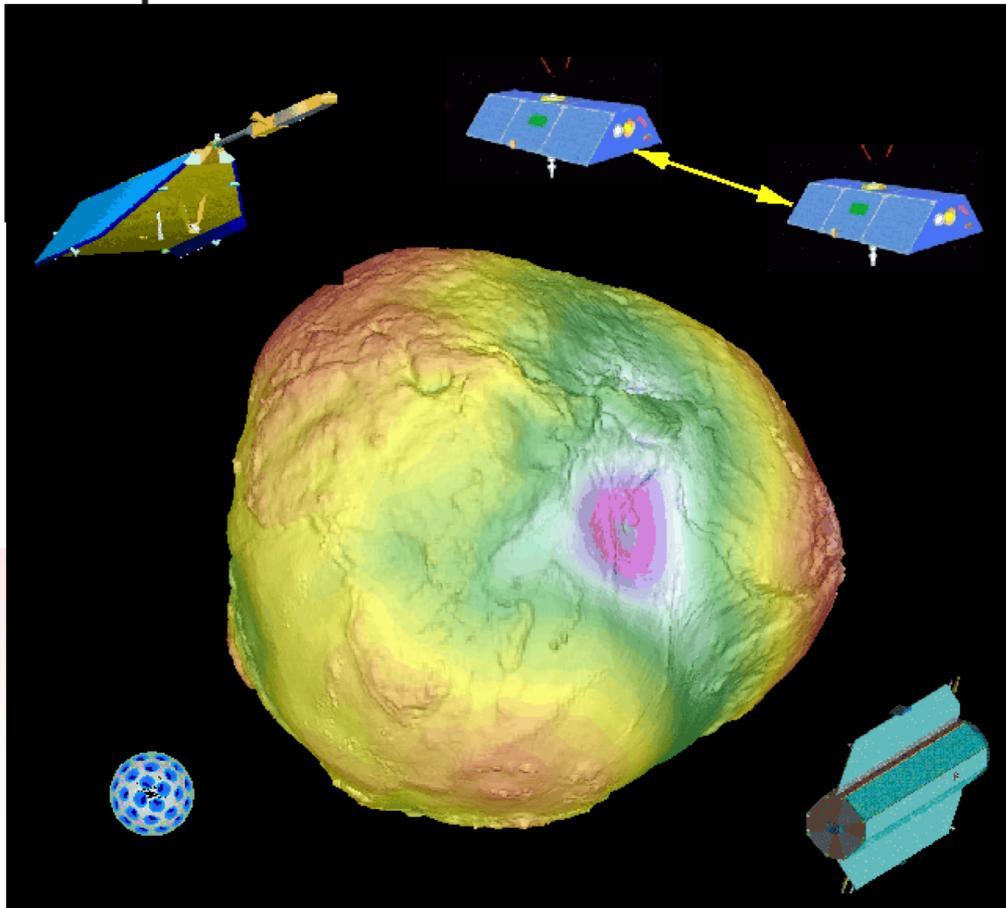


# EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O GEOIDE



O Geoide é um corpo com uma distribuição não – homogênea de massa. As heterogeneidades são pequenas. Por isso, sua superfície é **levemente** irregular.

Em todos os pontos da superfície geoidal, o potencial de gravidade é constante ( $W_0$ ). A referida superfície pode ser materializada através dos marégrafos.

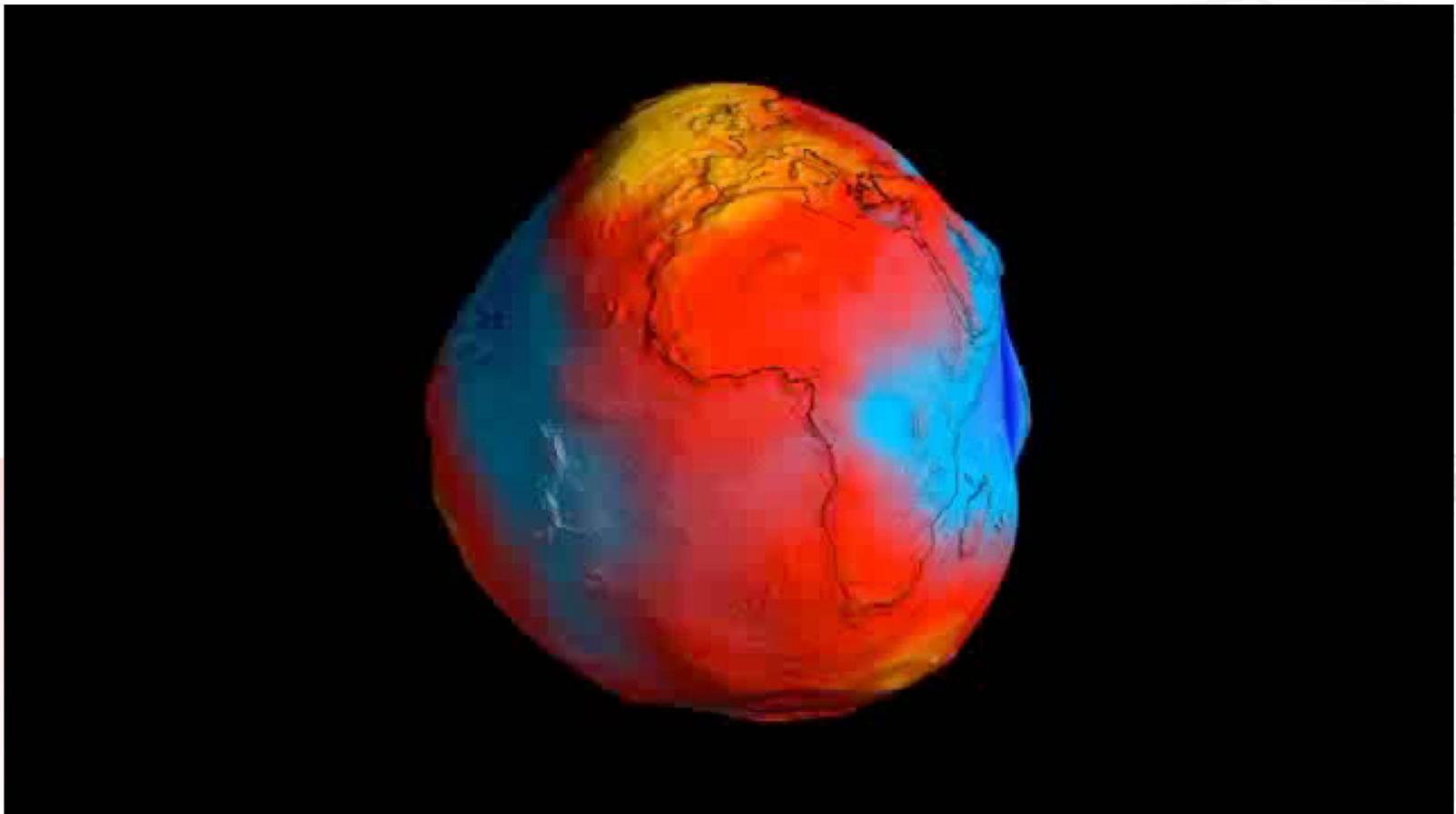


Fonte: GFZ Alemanha



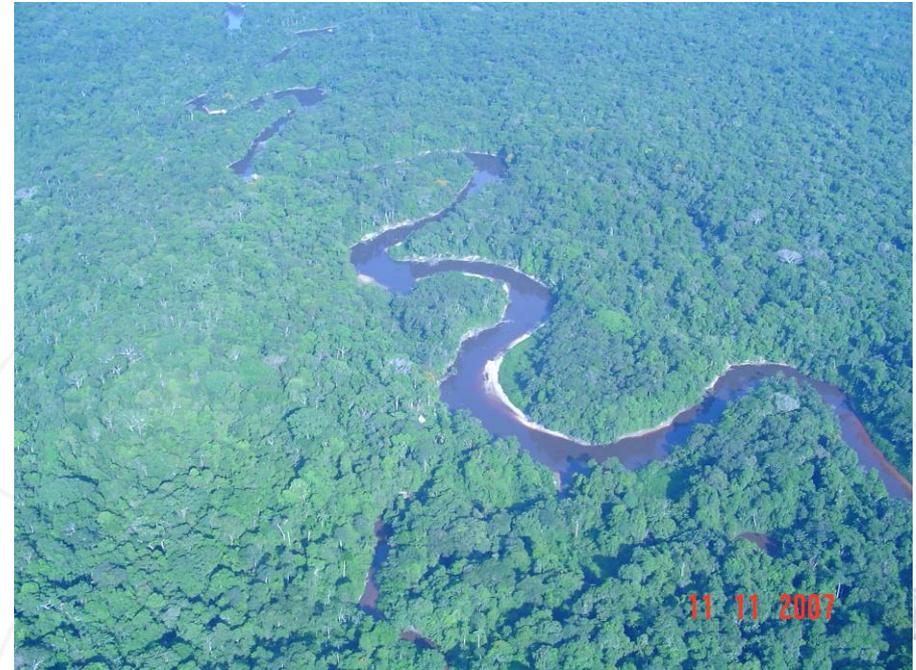
## EVOLUÇÃO DA FORMA DA TERRA: O GEOIDE

Modelo de Geóide obtido a partir dos dados do satélite GOCE (31/03/2011)



Fonte: ESA

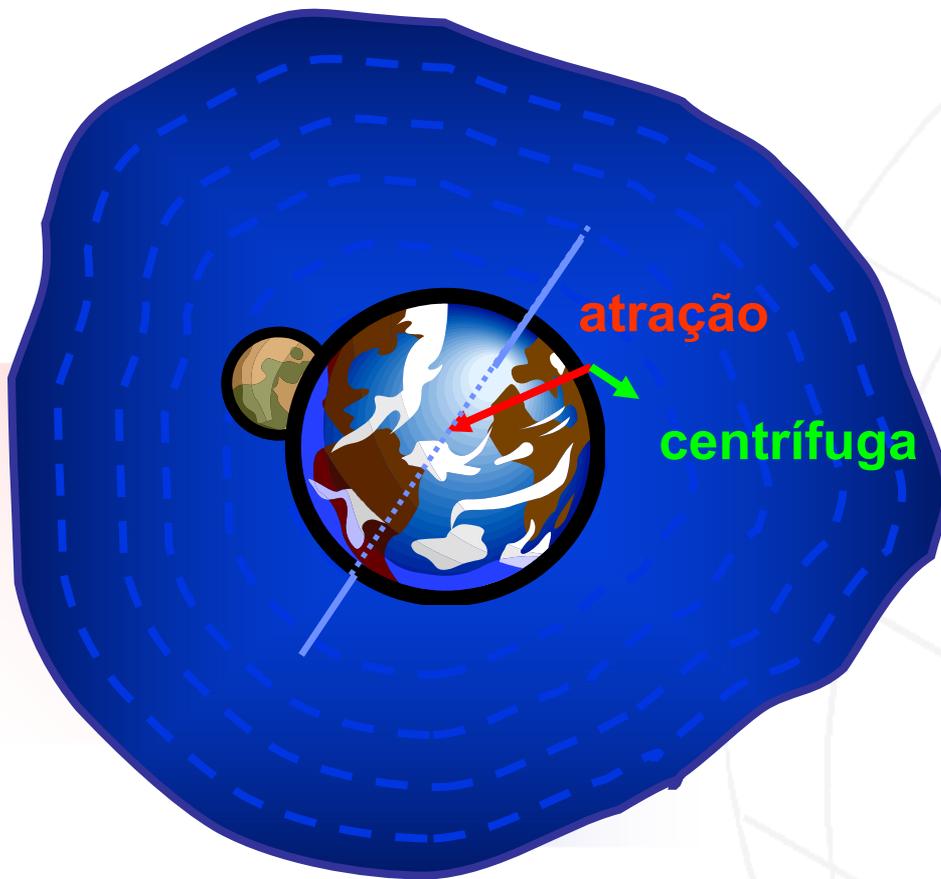
# IRREGULARIDADES NA FORMA DA TERRA



Os Andes e a Amazônia sugerem uma ideia completamente oposta de massa. O primeiro caso insinua mais massa do que o segundo. Entretanto, as duas regiões tem quantidades semelhantes de massa. Daí a razão da forma da superfície geoidal ser pouco irregular. A razão é a isostasia.

## A FORMA DA TERRA – FORÇAS PERTINENTES

Um objeto **sobre ou próximo** da superfície da Terra está sujeito, entre outras, a duas forças: atração (ou gravitacional) e centrífuga. A resultante **das duas** é a **força de gravidade**.

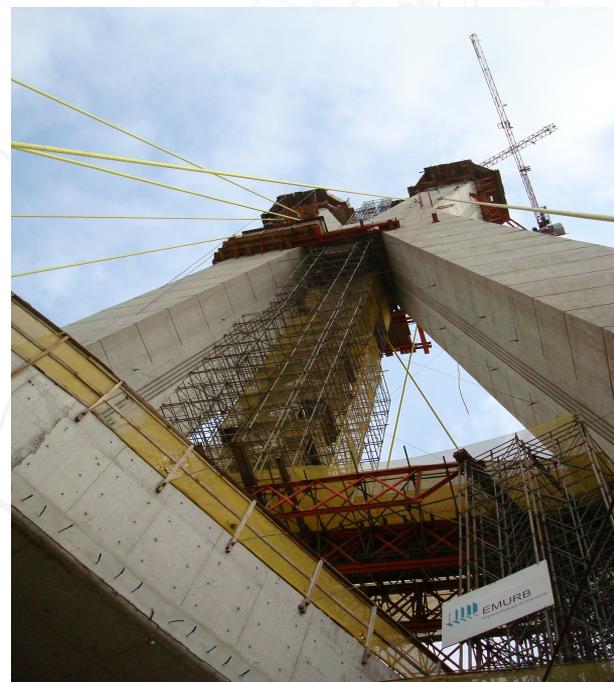


**Campo gravitacional** é o conjunto de pontos do espaço sujeito à força gravitacional.

**Campo de gravidade** é o conjunto de pontos do espaço sujeito à força de gravidade.

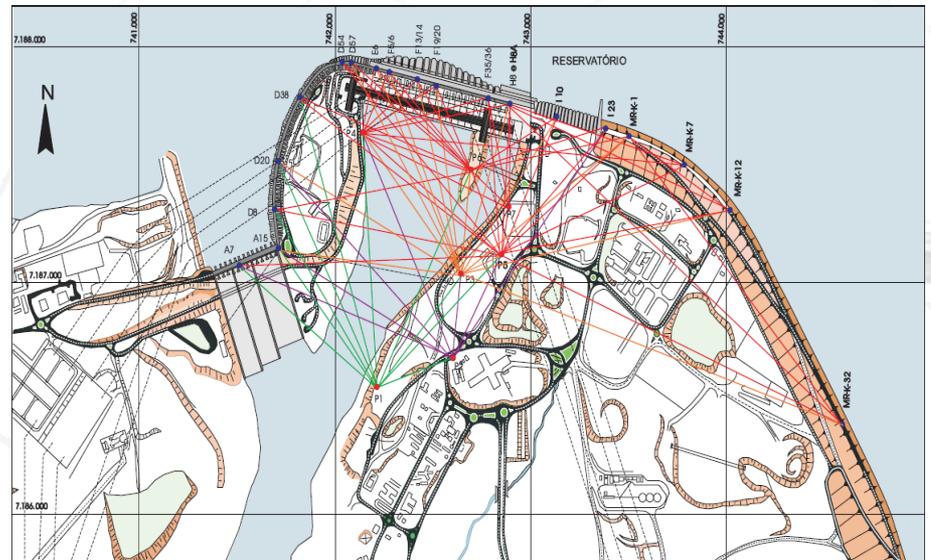
# A GEODESIA E A ENGENHARIA

A Engenharia exige cada vez mais da Topografia e da Geodesia. As grandes estruturas precisam ser locadas (posicionadas) com precisão. Por exemplo, a construção da ponte estaiada exigiu um posicionamento preciso do mastro. Por outro lado, o tabuleiro é construído por segmentos (aduelas) que precisam igualmente ser posicionados com muita precisão.



# A GEODESIA E A ENGENHARIA

Finalmente as grandes estruturas precisam ser monitoradas para detectar eventual deslocamento ou deformação. Para tanto entram os sensores civis e os equipamentos geodésicos: estação total (medem ângulo e distância) ou receptor GPS.



# A GEODESIA E A ENGENHARIA

Grandes edificações precisam ser locadas com precisão e monitoradas de modo sistemático.



# SISTEMA GEODÉSICO

Anteriormente à Era Espacial, o sistema geodésico de referência era estabelecido através de observações astronômicas, das redes de triangulação ou, com menos rigor, das poligonais eletrônicas, conduzidas a partir de um ponto origem e da adoção de um elipsóide. Era o chamado Datum Geodésico.

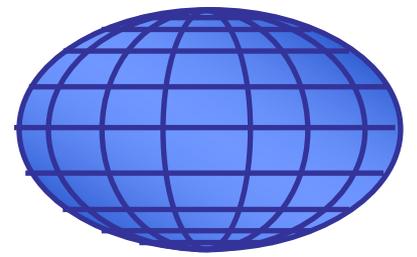
- **Datum Geodésico Horizontal (DGH) adota:**
  - Elipsóide de referência: fixação e orientação no espaço.
  - Ponto origem: **com a atribuição** de coordenadas geodésicas, altura geoidal e um azimute de partida.
  - **Sistema Geodésico definido:** define-se o sistema geodésico através da escolha do DGH.
- **Sistema Geodésico materializado:** Os marcos de referência e respectivas coordenadas definem sua materialização.

# SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

Data (**plural de datum**) utilizados no Brasil:

- **Até 1979**
  - **Origem: Córrego Alegre**
  - **Elipsóide: Hayford (internacional)**
  - **a(semi-eixo maior) = 6.378.388 m**
  - **$e^2 = 0,00672267$**
  - **achatamento:  $1/f = 1/297$**
  
- **Após 1979**
  - **Origem: Chuá SAD-69**
  - **Elipsóide: GRS 1967 (UGGI67).**
  - **a = 6 378 160 m**
  - **$e^2 = 0,0066946053$**
  - **achatamento:  $1/f = 1/298,25$**
  
- **Desde 25/02/2005 o Brasil adota:**
  - **SIRGAS 2000 (materialização- 2000) – época 2000,4**
  - **Elipsóide GRS 80**
  - **a = 6 378 137 m**
  - **achatamento =  $1/f = 1/298,25722101$**

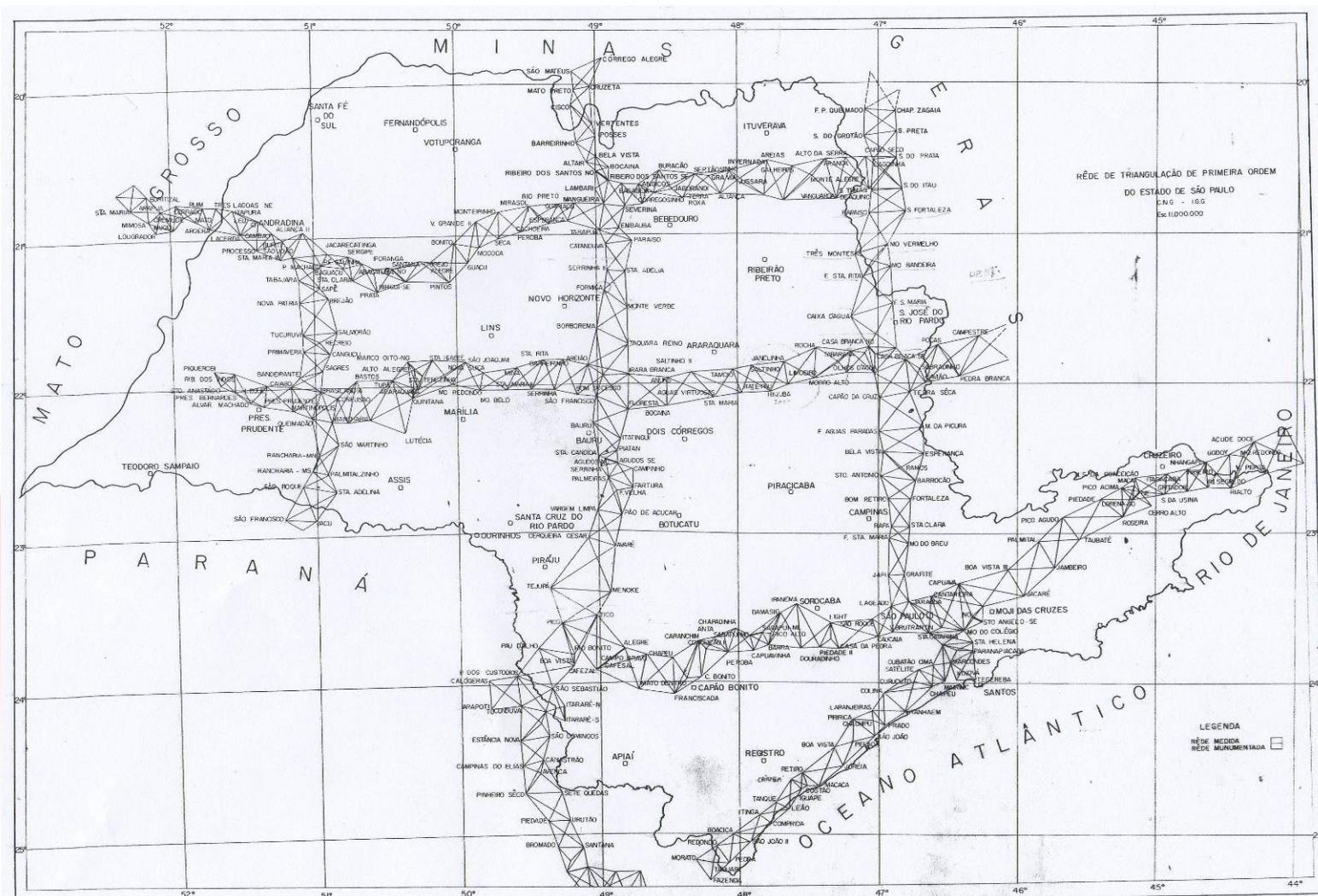
**Obsevação:**  
O mapeamento de São Paulo e de diversas áreas do Brasil continua referido ao Córrego Alegre.



## DIFERENTES ELIPSOIDES ADOTADOS NO BRASIL

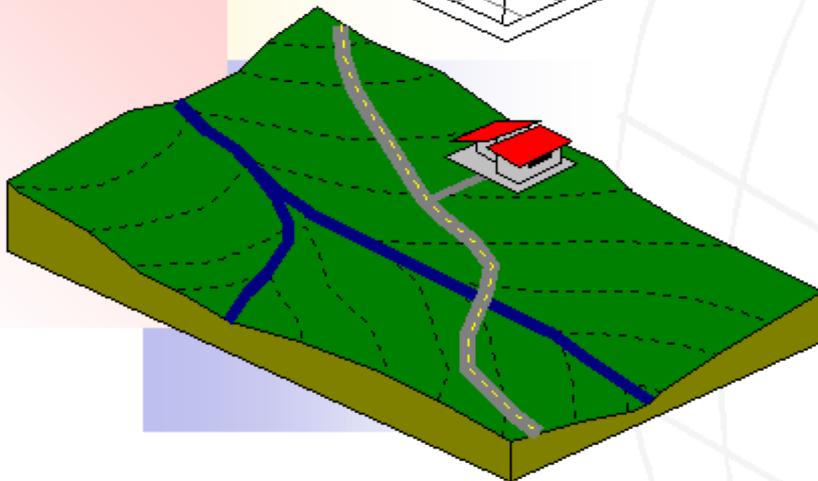
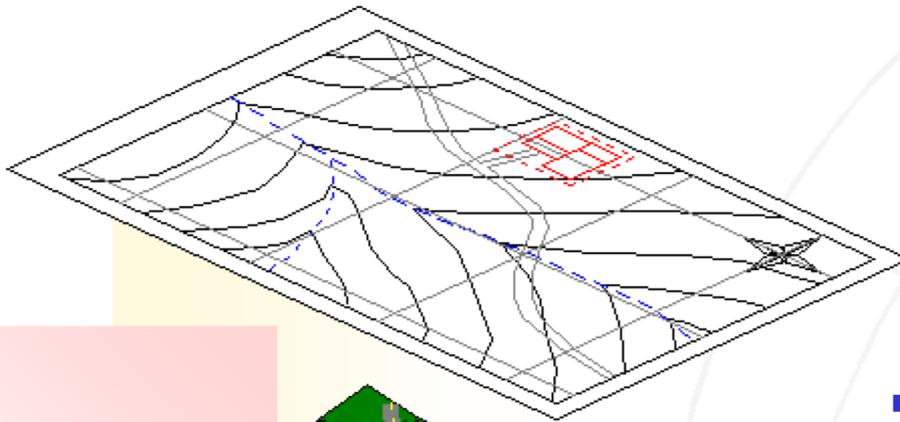
<b>Denominação usual</b>	<b>a (m)</b>	<b><math>\alpha</math></b>
Córrego Alegre	6.378.388	1/297
SAD-69	6.378.160	1/298,25
WGS-84	6.378.137	1/298,27
SIRGAS 2000	6.378.137	1/298,25722
Modelo Geopotencial	6.378.136,59	1/298,25722

# Rede de Triangulação: cadeia do Estado de São Paulo



# PLANO TOPOGRÁFICO

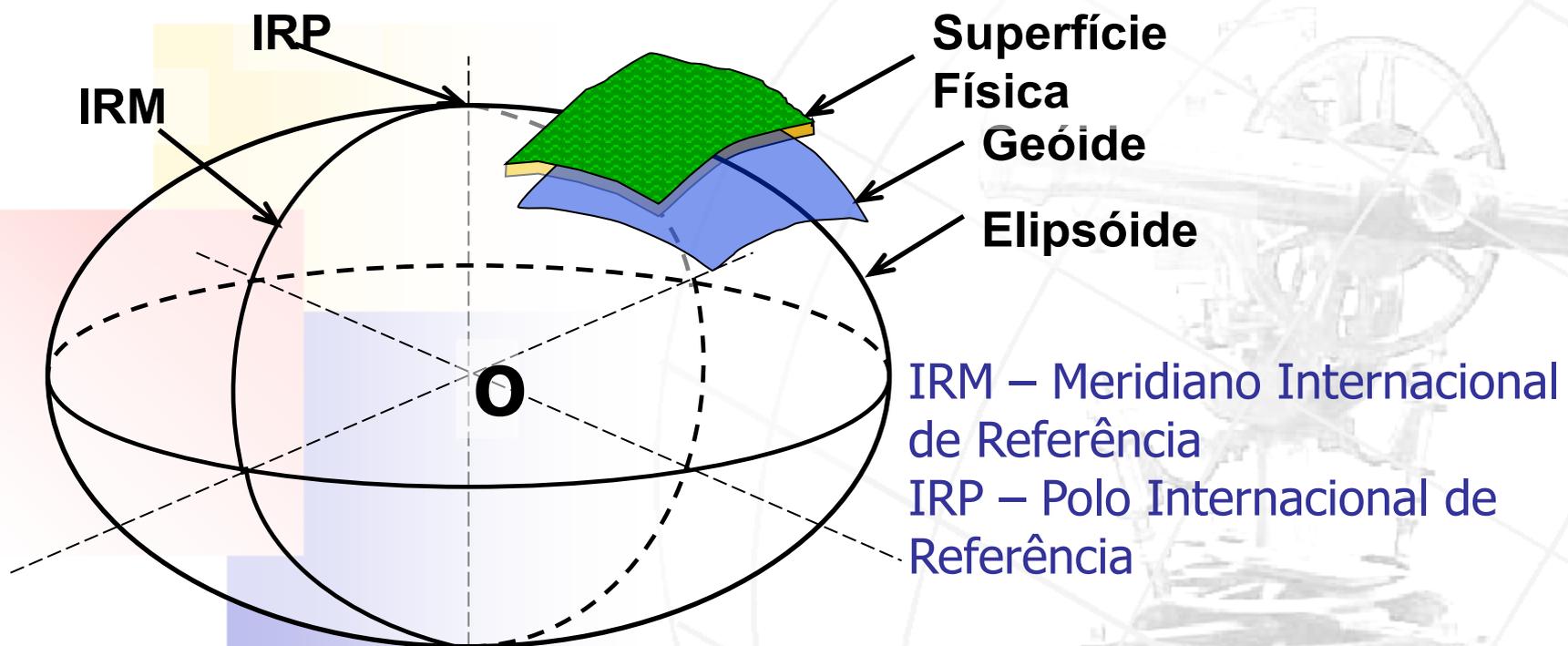
Plano topográfico é um plano horizontal, finito, tangente à superfície da Terra (esfera terrestre) e de dimensões limitadas ao campo topográfico.



- **Limite de 25 a 30km;**
- **O efeito da curvatura da Terra é desprezado, dentro de tais limites.**

# SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

- SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA
  - Superfície geoidal: limitante do geóide.
  - Superfície física: limitante do relevo topográfico
  - Superfície elipsoidal: limitante do elipsóide de referência.



# DIREÇÕES NO GEÓIDE E NO ELIPSÓIDE

- VERTICAL

- reta que passa por um ponto do espaço perpendicular à superfície geoidal.

- NORMAL

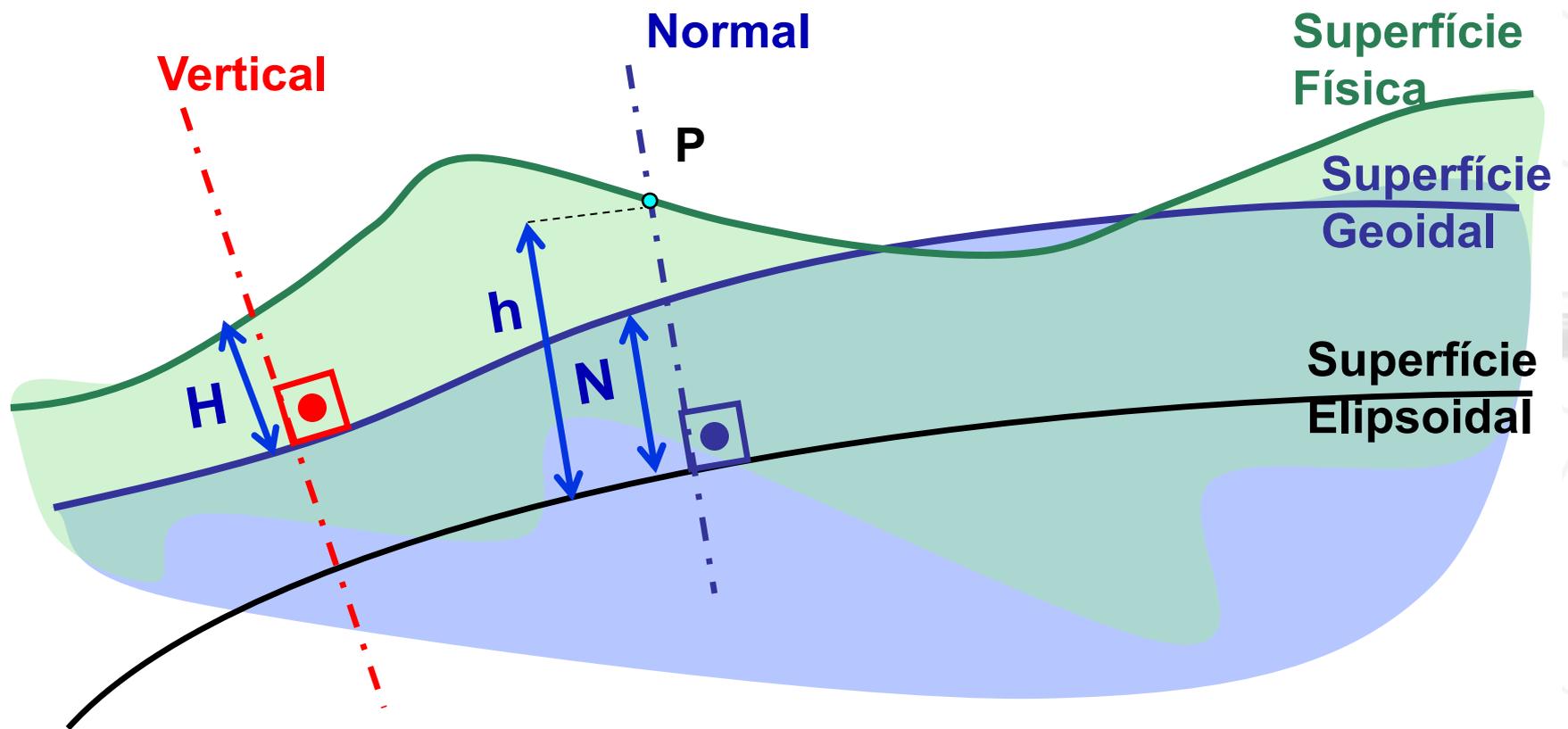
- reta que passa por um ponto do espaço perpendicular à superfície elipsoidal.

# SEPARAÇÃO ENTRE SUPERFÍCIES

- ALTITUDE ORTOMÉTRICA (H)
  - distância entre a superfície geoidal e a superfície física medida ao longo da vertical.
- ALTURA GEOIDAL (N)
  - distância entre a superfície elipsoidal e a geoidal medida ao longo da normal.
- ALTITUDE GEODÉSICA OU GEOMÉTRICA (h)
  - distância entre a superfície elipsoidal e o ponto espacial P, medida ao longo da normal.

# SEPARAÇÃO ENTRE SUPERFÍCIES

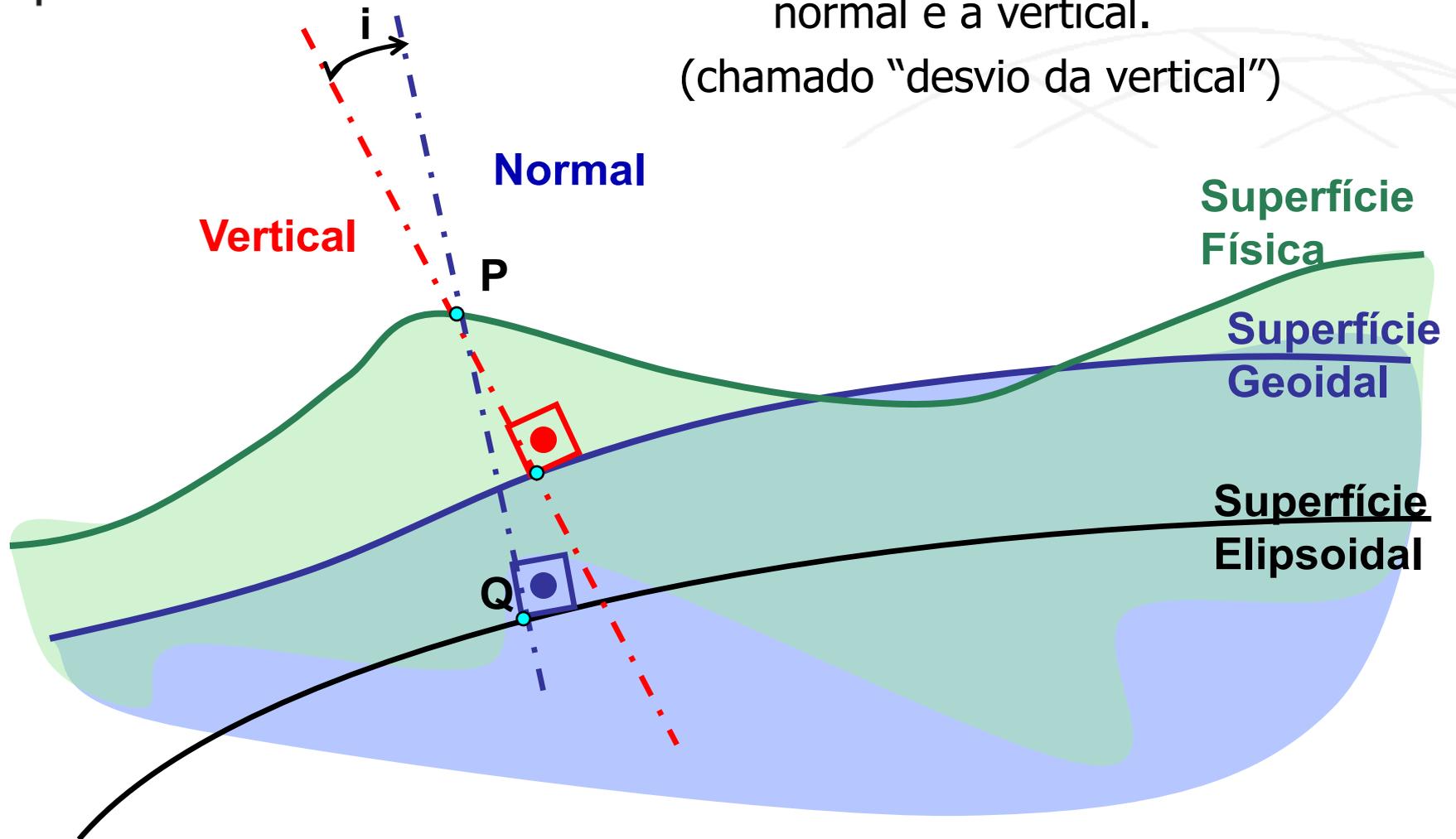
- Vertical, normal e superfícies de referência



# DESVIO DA VERTICAL

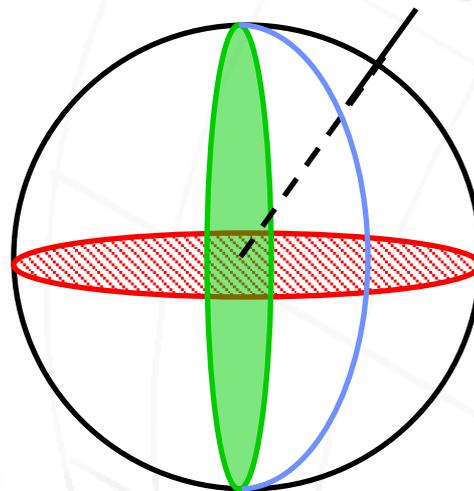
$i$ : desvio angular entre a normal e a vertical.

(chamado "desvio da vertical")



# COORDENADAS ASTRONÔMICAS

- LATITUDE ASTRONÔMICA
  - ângulo que a vertical forma com sua projeção sobre o plano do equador.
- LONGITUDE ASTRONÔMICA
  - ângulo diedro formado pelo plano do meridiano astronômico de Greenwich e pelo plano do meridiano astronômico local.



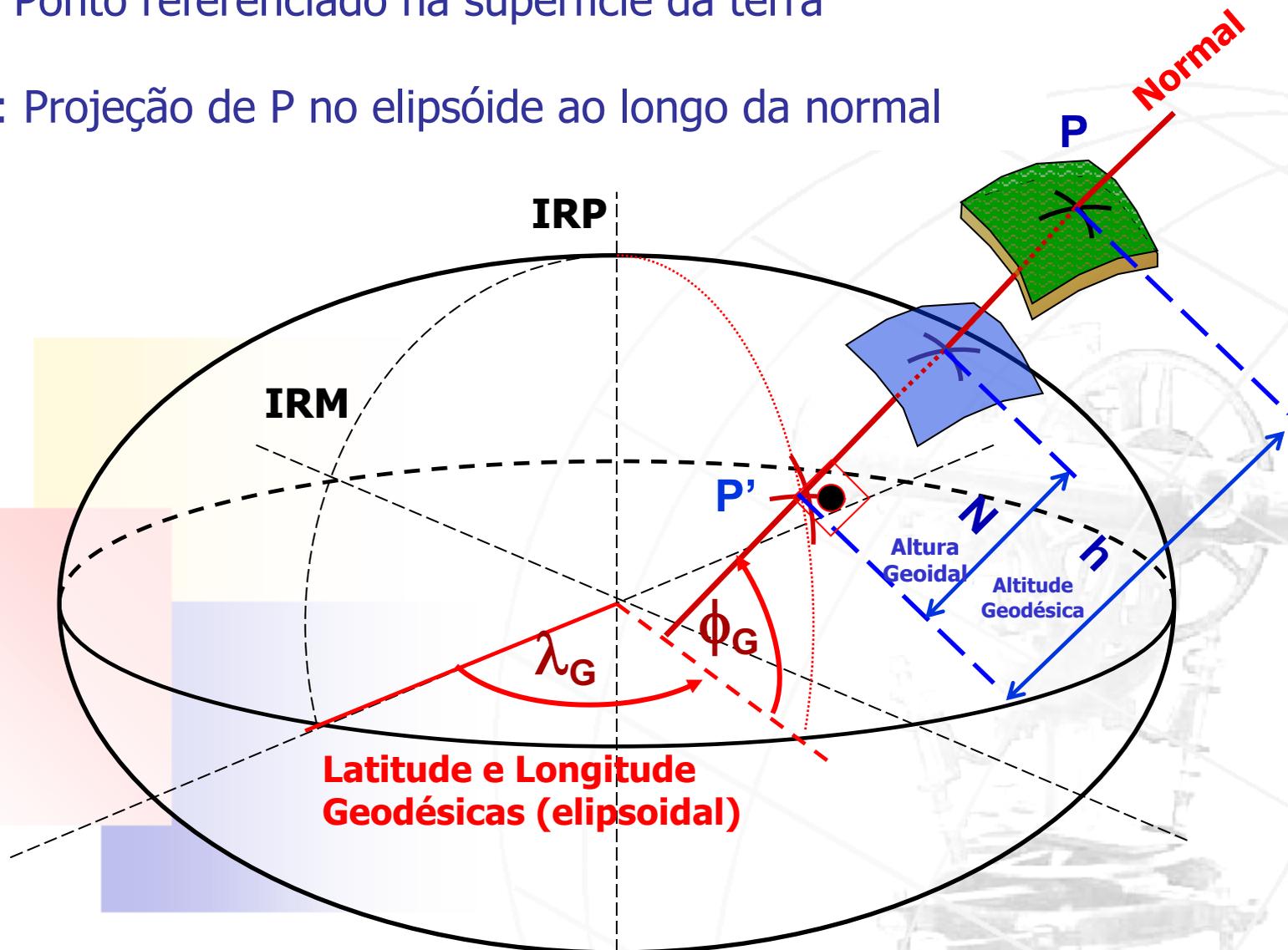
# COORDENADAS GEODÉSICAS

- LATITUDE GEODÉSICA OU ELIPSÓIDICA
  - ângulo que a normal forma com sua projeção sobre o plano do equador -  $\phi_G$ .
- LONGITUDE GEODÉSICA OU ELIPSÓIDICA
  - ângulo diedro formado pelo plano do meridiano geodésico de referência e pelo plano do meridiano geodésico local -  $\lambda_G$ .

# COORDENADAS GEODÉSICAS

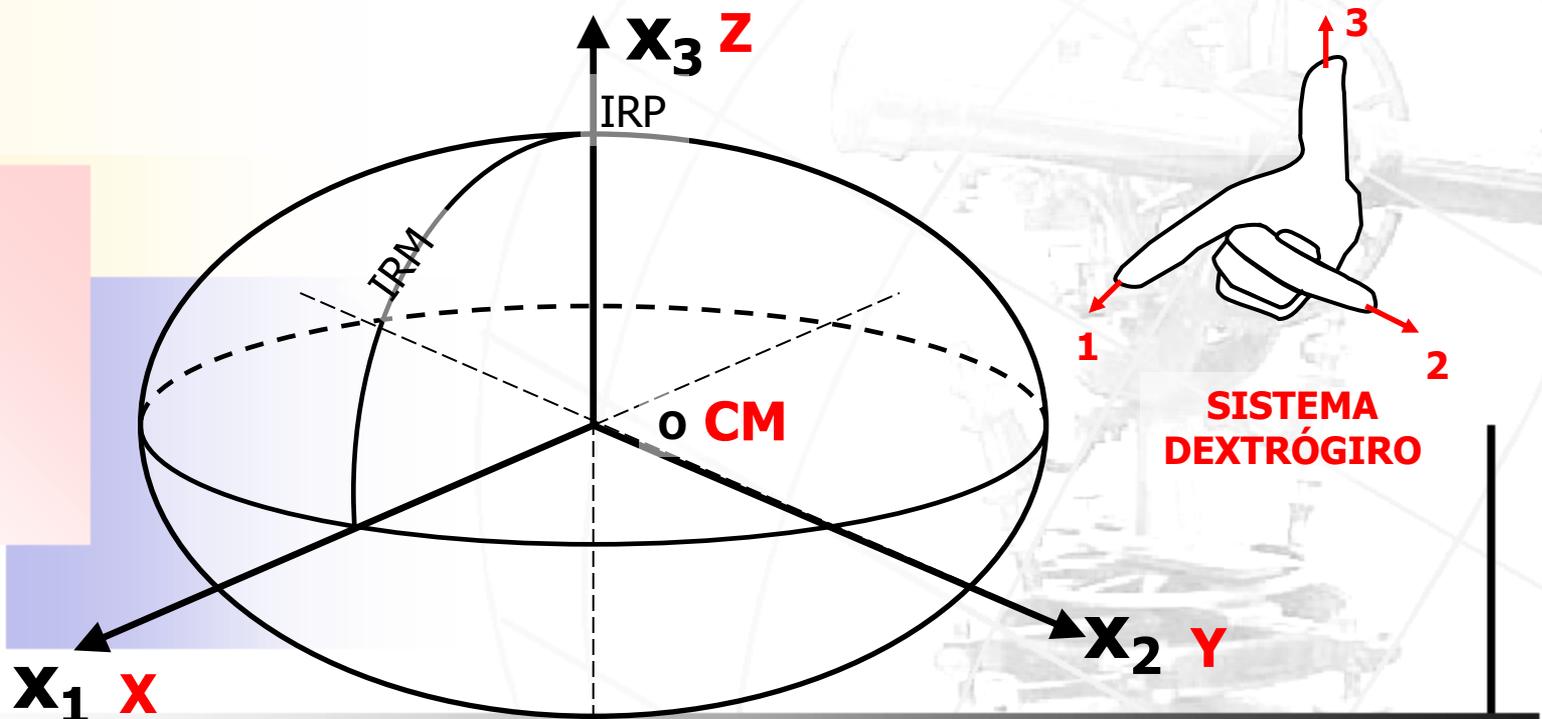
P: Ponto referenciado na superfície da terra

P': Projeção de P no elipsóide ao longo da normal



# SISTEMA DE REFERÊNCIA TERRESTRE

- Sistema cartesiano de referência terrestre
  - Origem: centro de massa da Terra
  - O eixo X é orientado na direção do IRM
  - O eixo Z é orientado na direção do IRP
  - O eixo Y a  $90^\circ$  de OX completando um sistema dextrógiro (orientado pela "regra da mão direita" )



## IDE – INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS

- Em 27 de novembro de 2008 através do Decreto No. 6.666 (DOU de 28/11/2008), pg.57) foi instituída a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) e definida como:
  - Conjunto integrado de tecnologias; políticas; mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento; padrões e acordos, necessário para facilitar e ordenar a geração, o armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal.