

# Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Transportes – PTR

Laboratório de Topografia e Geodésia – LTG

**PTR 2202 – Informações Espaciais**



# PTR-2202

## INFORMAÇÕES ESPACIAIS II



Denizar Blitzkow

Edvaldo Simões da Fonseca Jr.

Jorge Pimentel Cintra

Nicola Paciléo Netto

### **Colaboradores**

André Rodrigues

Caio Marcelo Ferreira Santos

Cláudio Alessandro Cervelin

Virgínia da Silva Gante

# 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 predeterminadas.

- Ciências afins: Geodésia, Cartografia, Fotogrametria, Sensoriamento remoto e Astronomia.

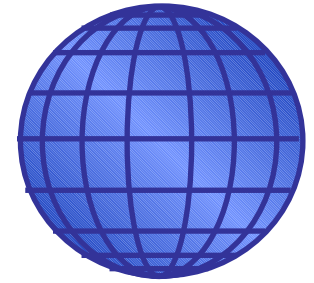
# CONCEITO DE GEODÉSIA

- **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.
- Divisão: Geodésia Geométrica, Geodésia Física e Geodésia Espacial.

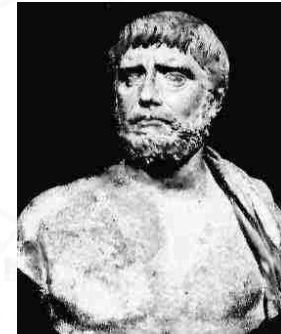
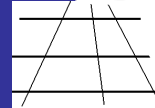
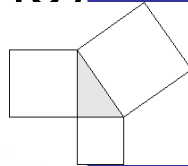
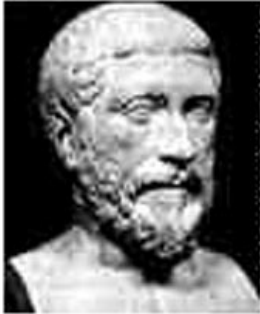


# FORMA DA TERRA

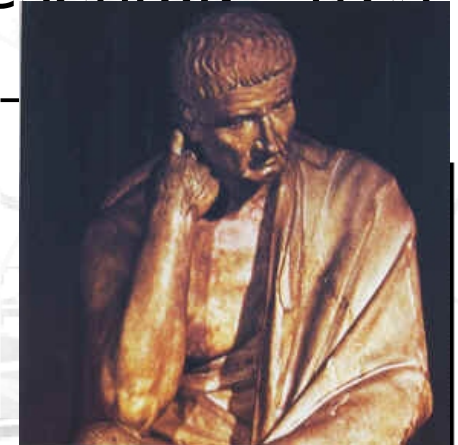
## A Terra Esférica



- Pitágoras de Samos (571-497 a.C) e Tales de Mileto (630 -545 a.C.) defendiam a esfericidade da Terra e que a Terra girava em torno do Sol (heliocentrismo).

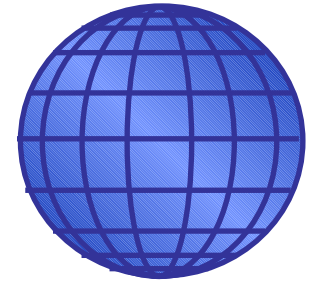


- Aristóteles (384 -322 a.C.) apresentou três argumentos para a esfericidade da Terra:
  - variação no aspecto do céu estrelado com a latitude;
  - sombra circular da Terra nos eclipses da Lua;
  - tendência das partículas a se dirigirem para um ponto central do universo, quando competem entre si adquirindo a forma esférica.



# FORMA DA TERRA

## A Terra Esférica

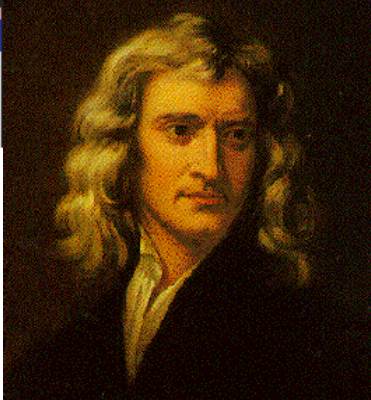
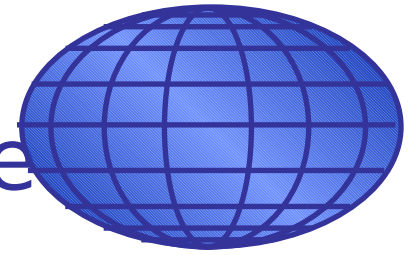


- **Erastóstenes** (276-197 a.C) realizou a primeira determinação do raio da Terra igual a 39.556,96 estádias = 6.210 km, com erro inferior a 2%.



# FORMA DA TERRA

## A Terra como 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 elipsóide de revolução, efeito da rotação planetária sobre sua distribuição de massa.

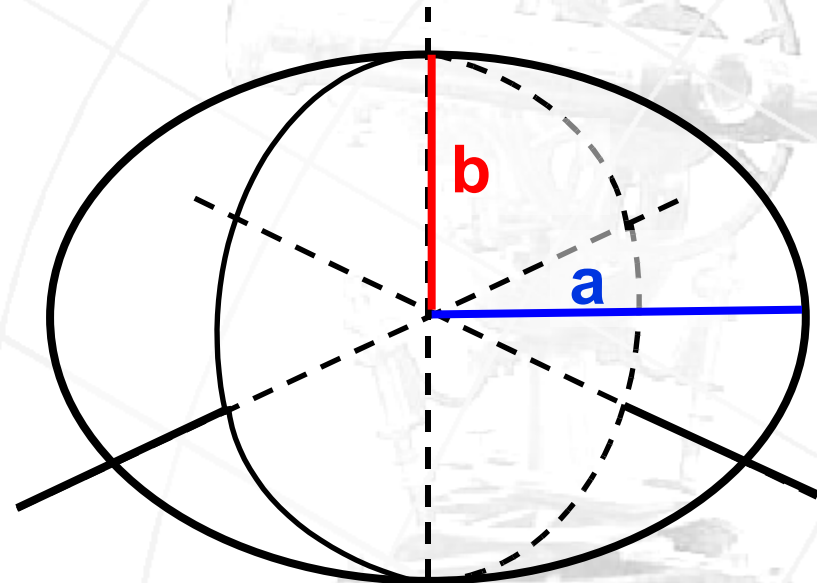
■ O Elipsóide de rotação é definido por:

- semi-eixo maior **a**

- semi-eixo menor **b**

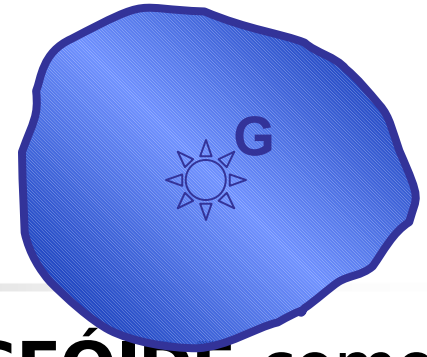
- achatamento  $\alpha$  ou  $f = \frac{(a-b)}{a}$

- excentricidade  $e = \frac{b}{a}$

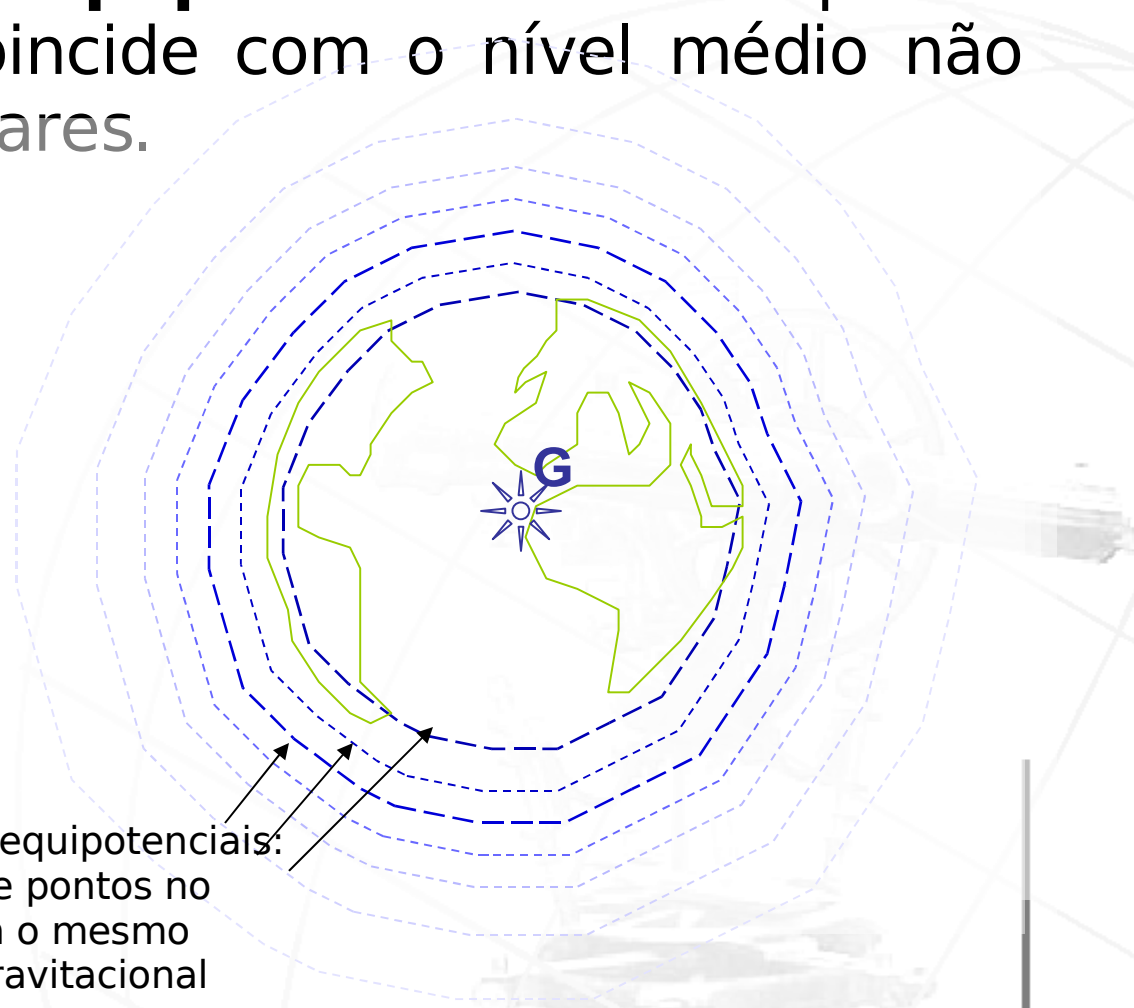


# FORMA DA TERRA

## A Terra como Geóide



- Gauss** (1777 - 1855) caracterizou o **GEÓIDE** como uma **superfície equipotencial** do campo de gravidade que coincide com o nível médio não perturbado dos mares.

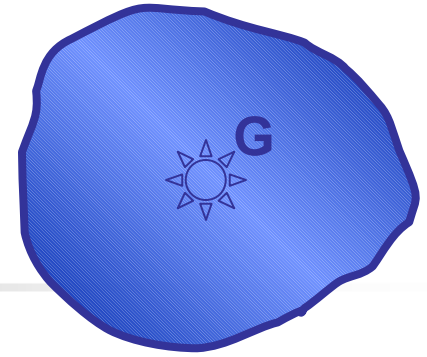


Superfícies equipotenciais:  
conjunto de pontos no  
espaço com o mesmo  
potencial gravitacional

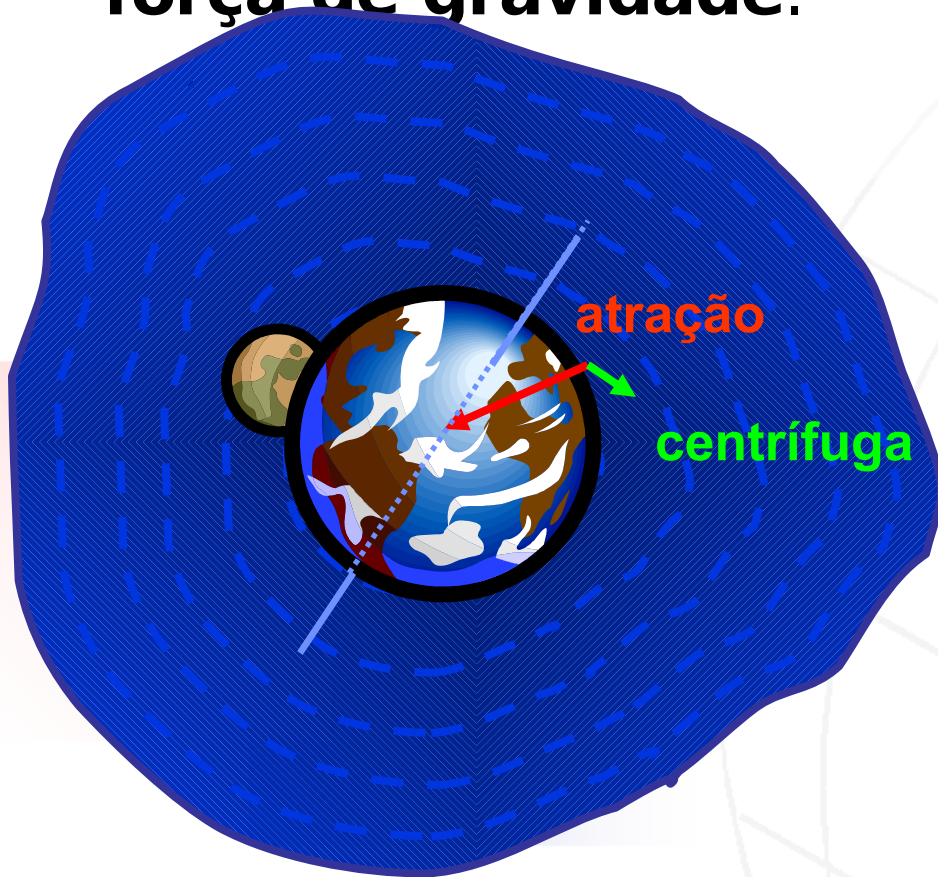


# A FORMA DA TERRA

## A Terra como Geóide



Um objeto em repouso sobre a superfície da Terra está sujeito a duas forças: atração (ou gravitacional) e centrífuga. A resultante 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.

# FORMA DA TERRA

## A Terra como Geóide

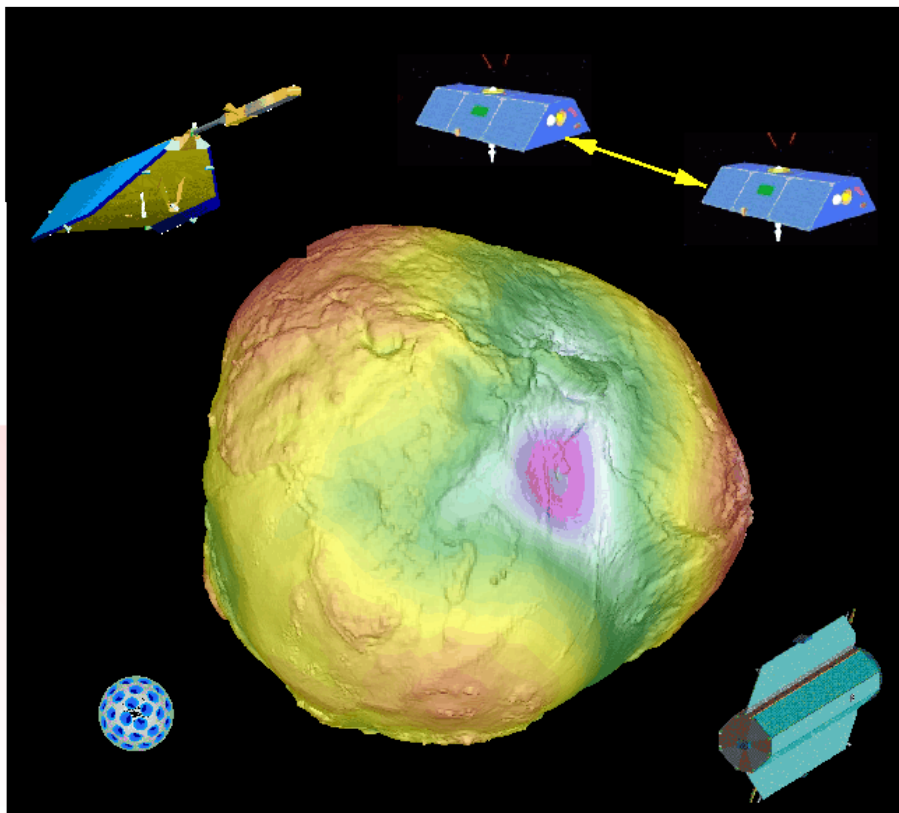
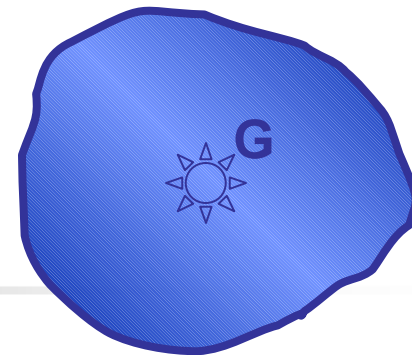


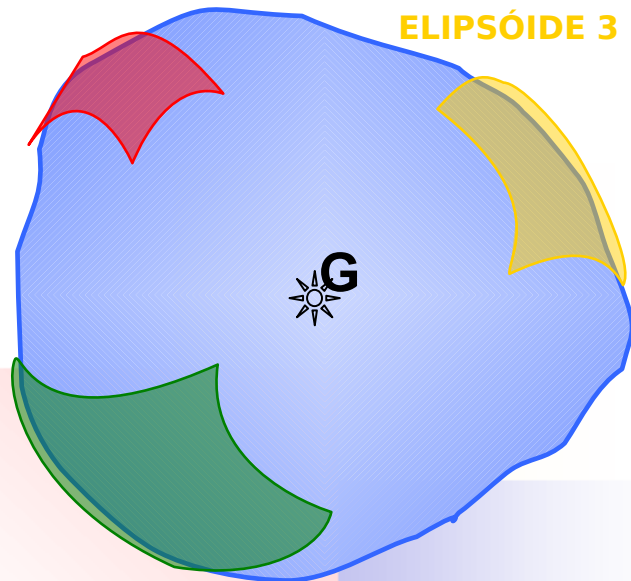
Figura do GFZ

- Geóide: materializado através dos marégrafos.
- Superfície levemente irregular devido à não-homogeneidade de distribuição de massa.
- Em todos os pontos da superfície geoidal, o potencial de gravidade é o mesmo.

# ELIPSÓIDE e GEÓIDE

ELIPSÓIDE 1

ELIPSÓIDE 3



ELIPSÓIDE 2

Para uma modelagem matemática da superfície da Terra, adota-se uma superfície elipsoidal que melhor se adapte à superfície geoidal na região de interesse.

Cada região do globo define o elipsóide que melhor se adaptasse ao geóide para estabelecer o Datum local.

O elipsóide é uma superfície matemática, adequada para estabelecer um sistema de coordenadas.

A esfera é uma aproximação válida do elipsóide para levantamentos topográficos.

# D.G.H. SISTEMA GEODÉSICO

Ao assumir, para uma região, um elipsóide conveniente para o relevo da superfície geoidal nesta região, e definir um sistema de coordenadas geodésicas baseadas neste elipsóide, é estabelecido um Datum Geodésico.

- **Datum Geodésico Horizontal (DGH)** adota:
  - Elipsóide de referência: fixação e orientação no espaço.
  - Ponto origem: atribui 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:** sua materialização são os marcos de referência e suas

# SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

Data (plural de datum) utilizados no Brasil:

▪ **Até 1979**

- **Origem: Córrego Alegre**
- **Elipsóide: Hayford (internacional)**
- **$a(\text{semi-eixo maior}) = 6.378.388 \text{ m}$**
- **$e^2 = 0,00672267$**
- **achatamento:  $1/f = 1/297$**

▪ **Após 1979**

- **Origem: Chuá SAD-69**
- **Elipsóide: GRS 1967 (UGGI67).**
- **$a = 6\ 378\ 160 \text{ m}$**
- **$e^2 = 0,0066946053$**
- **achatamento:  $1/f = 1/298,25$**

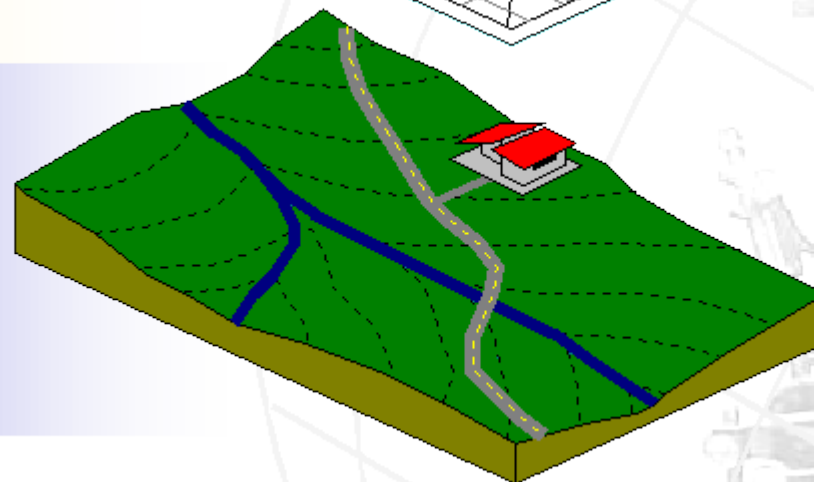
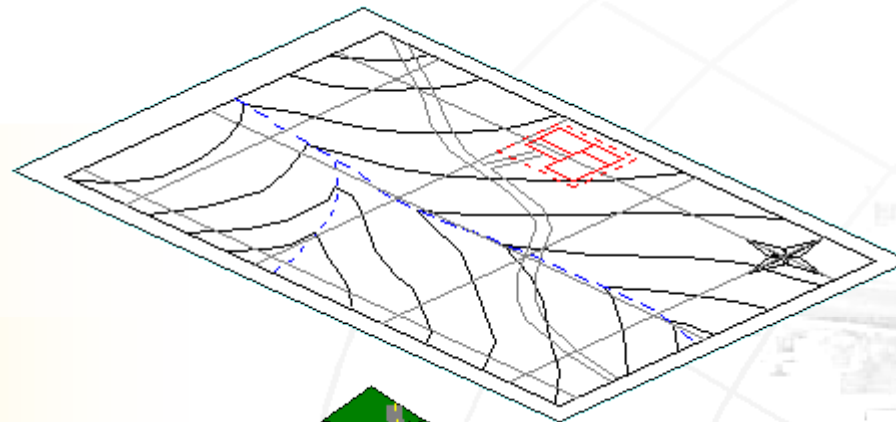
▪ **Após 2004**

- **SIRGAS 2000**
- **Elipsóide GRS 80**
- **$a = 6\ 378\ 137 \text{ m}$**
- **achatamento =  $1/f = 1/298,25722101$**

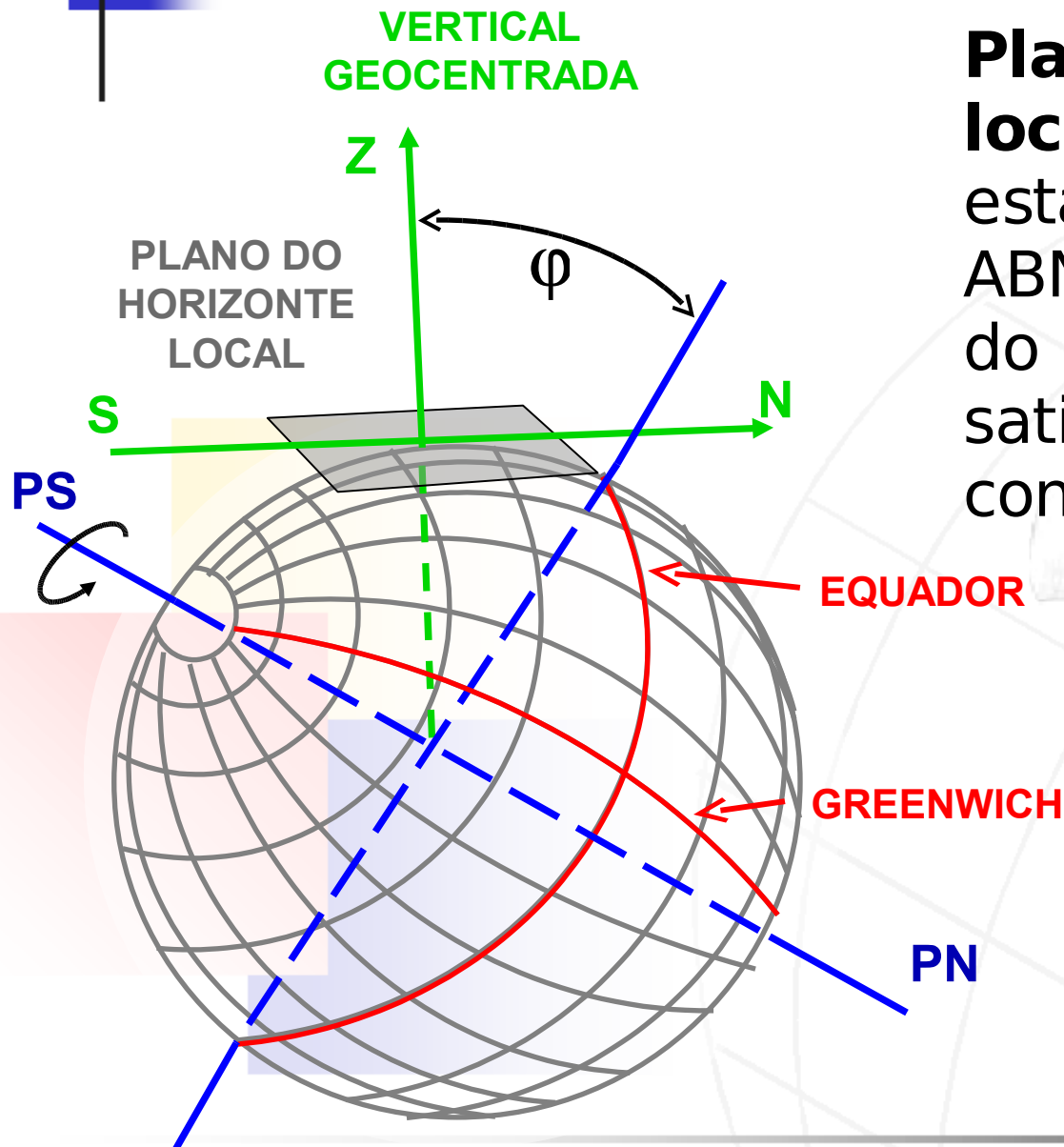
**Obs.: O atual mapeamento de São Paulo e de diversas áreas do Brasil continua referido ao Córrego Alegre.**

# PLANO TOPOGRÁFICO

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

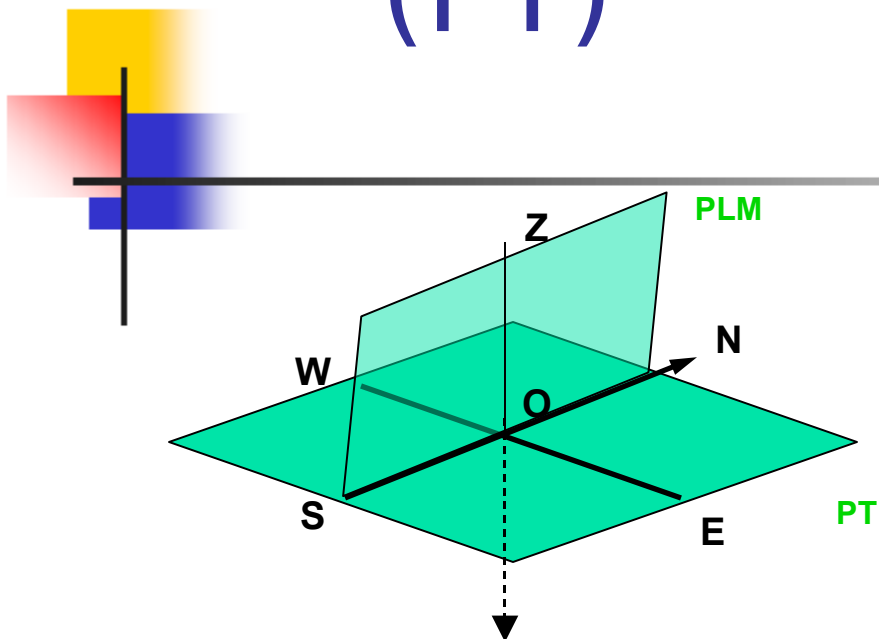


# PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL



**Plano topográfico local:** são os limites estabelecidos pela ABNT para o tamanho do plano topográfico, satisfazendo certas condições (NB14166).

# Plano Topográfico (PT)



## Elementos de Referência:

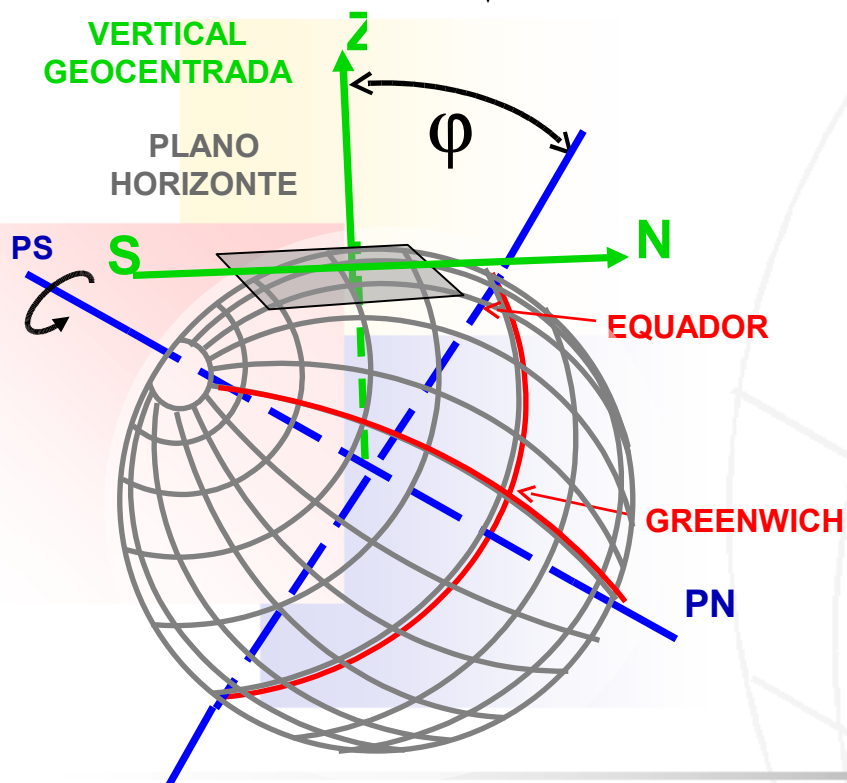
- vertical;
- plano meridiano.

A vertical é definida pela direção do fio de prumo (OZ).

O **PT** é, por definição, horizontal e normal à vertical.

**Plano Meridiano (PLM):** é o plano que contém a vertical e o eixo de rotação da Terra.

A intersecção do PLM e do PT determina a linha norte-sul.





# SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL

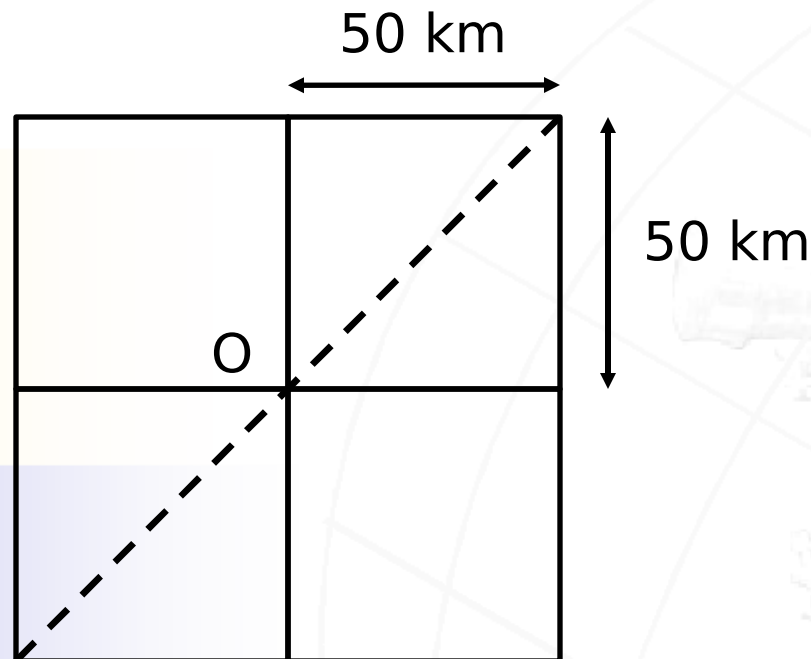
## DEFINIÇÃO DA NBR 14166

**Sistema Topográfico Local:** Sistema de representação, em planta, das posições relativas de pontos de um levantamento topográfico, com origem em um ponto de *coordenadas geodésicas conhecidas*, onde todos os ângulos e distâncias de sua determinação são representados, em *verdadeira grandeza*, sobre o plano tangente à superfície de referência do sistema geodésico adotado, na origem do sistema, no pressuposto de que haja, na área de abrangência do sistema, a coincidência da superfície de referência com a do plano tangente, sem que os erros, decorrentes da *abstração da curvatura terrestre*, ultrapassem os erros inerentes às operações topográficas de determinação dos pontos do levantamento, compreendendo:

- Plano de representação, origem, eixos e orientação;
- Coordenadas plano-retangulares X e Y;
- Fator de elevação.

# PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL

O **Plano do horizonte local** é elevado à altitude ortométrica  $H$  média da área de abrangência do sistema, passando a chamar-se PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL.

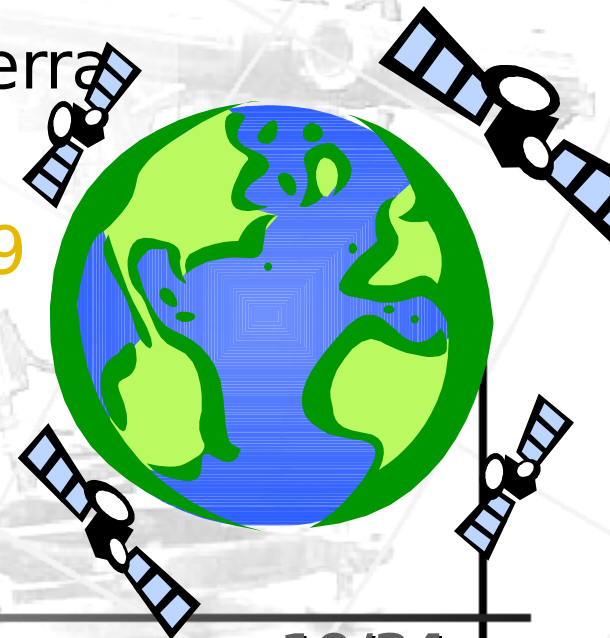


Origem do Sistema Topográfico Local e distância máxima a esta origem (Plano Topográfico Local)

# Sistema de Posicionamento: Global Positioning System



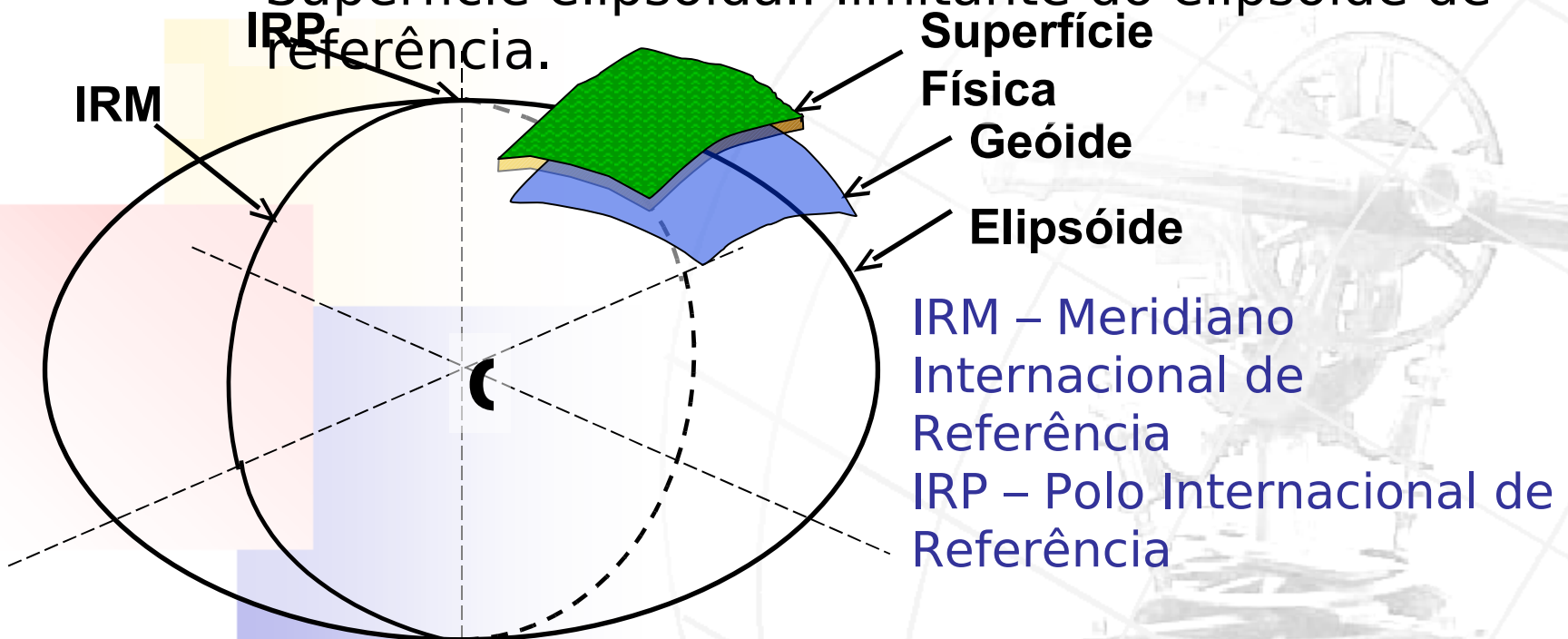
- O GPS fornece coordenadas geodésicas de pontos sobre a superfície da Terra. Os satélites do sistema transmitem os parâmetros relativos à sua posição e outros elementos associados, vinculados ao WGS-84:
  - Origem: Centro de massa da Terra
  - $a = 6.378.137 \text{ m}$
  - achatamento =  $0,00669437999$



# SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

- SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

- Superfície geoidal: limitante do geóide.
- Superfície topográfica: limitante do relevo topográfico
- Superfície elipsoidal: limitante do elipsóide de referência.



## IRM e IRP

- O Sistema de Referência Terrestre do IERS (International Earth Rotation Service) é conhecido pela sigla ITRS (IERS Terrestrial Reference System) e definido conforme critérios estabelecidos pelo IERS. Trata-se de um sistema geocêntrico.
- A partir de técnicas mais modernas de observação, o BIH ajustou a posição do polo em 1984 e a partir daí manteve estável sobre a sigla IRP (IERS Reference Pole).
- Ainda em consistência com o Sistema BIH 1984 o eixo  $OX^1$  do ITRS é orientado segundo o IRM (IERS Reference Meridian). O eixo  $OX^2$  a  $90^\circ$  de  $OX^1$  completa o sistema dextrógiro.

# VERTICAL e NORMAL

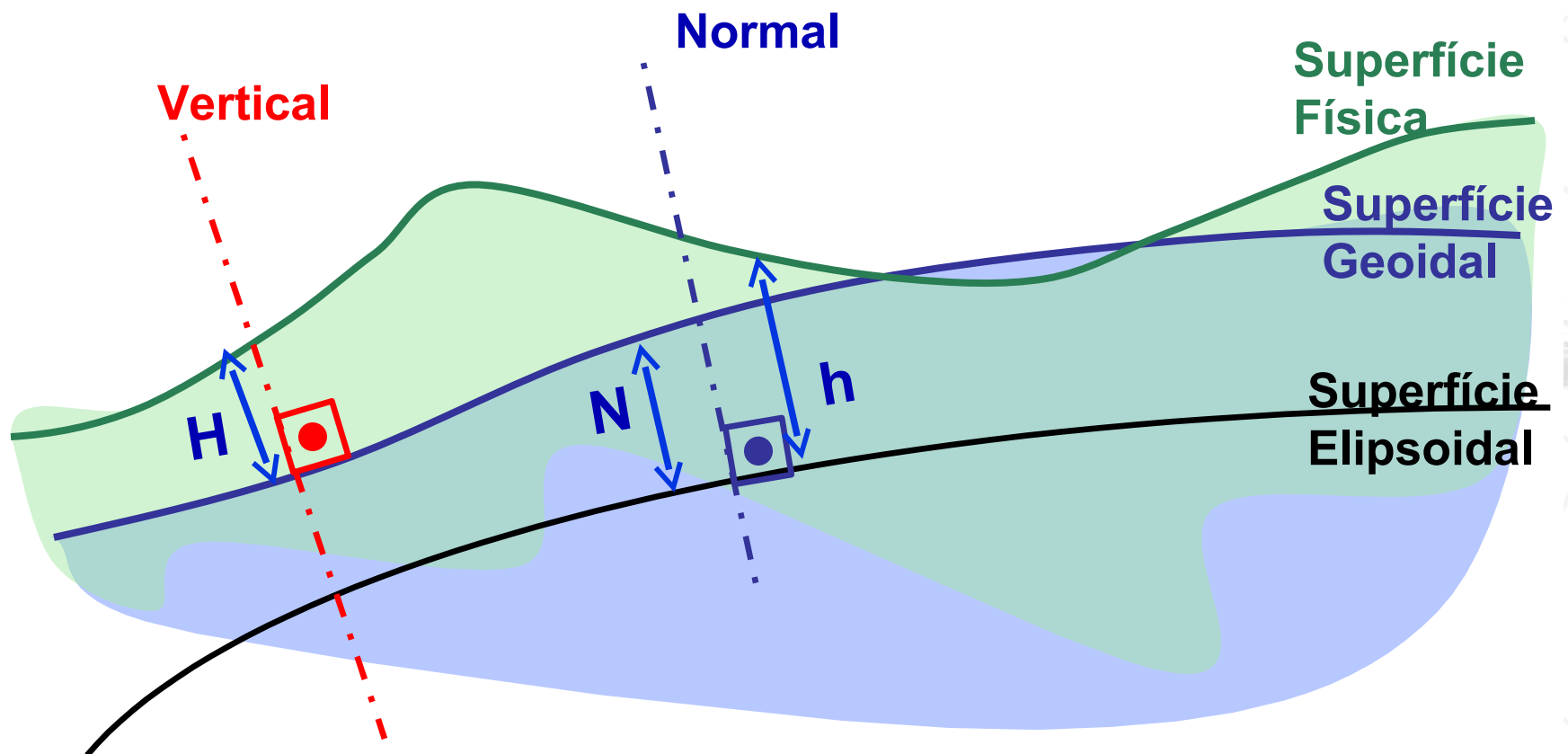
- VERTICAL
  - reta que passa por um ponto do espaço perpendicular ao **geóide**.
- NORMAL
  - reta que passa por um ponto do espaço perpendicular ao **elipsóide**.

# ALTITUDE ORTOMÉTRICA e ALTURA GEOIDAL

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

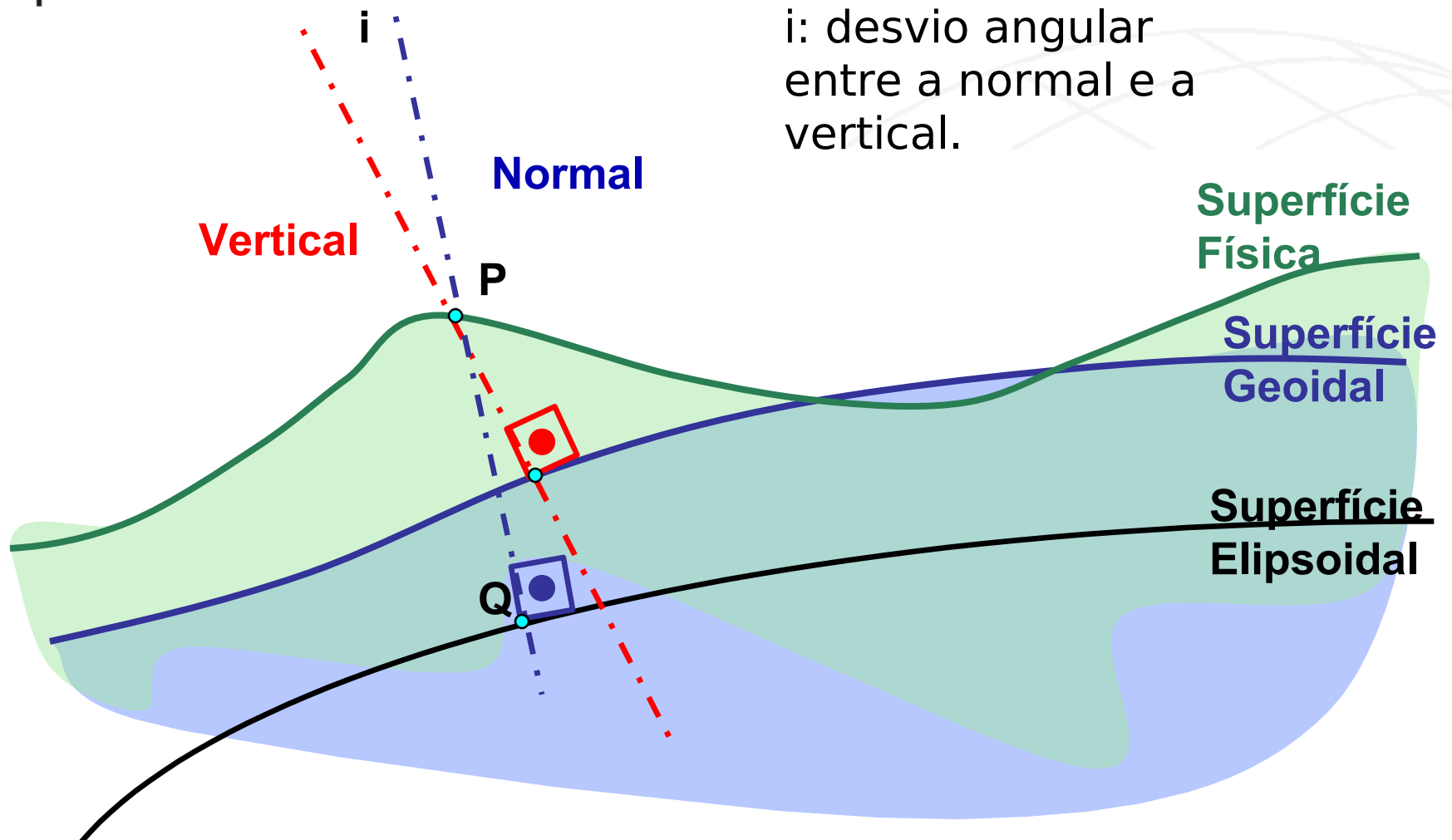
# VERTICAL, NORMAL e SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

- Vertical, normal e superfícies de referência





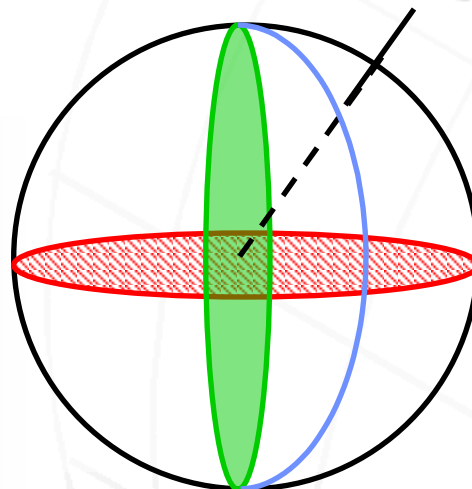
# VERTICAL, NORMAL e SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA



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

# LATITUDE e LONGITUDE GEODÉSICA e ASTRONÔMICA

- 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**.



# LATITUDE e LONGITUDE GEODÉSICA e ASTRONÔMICA

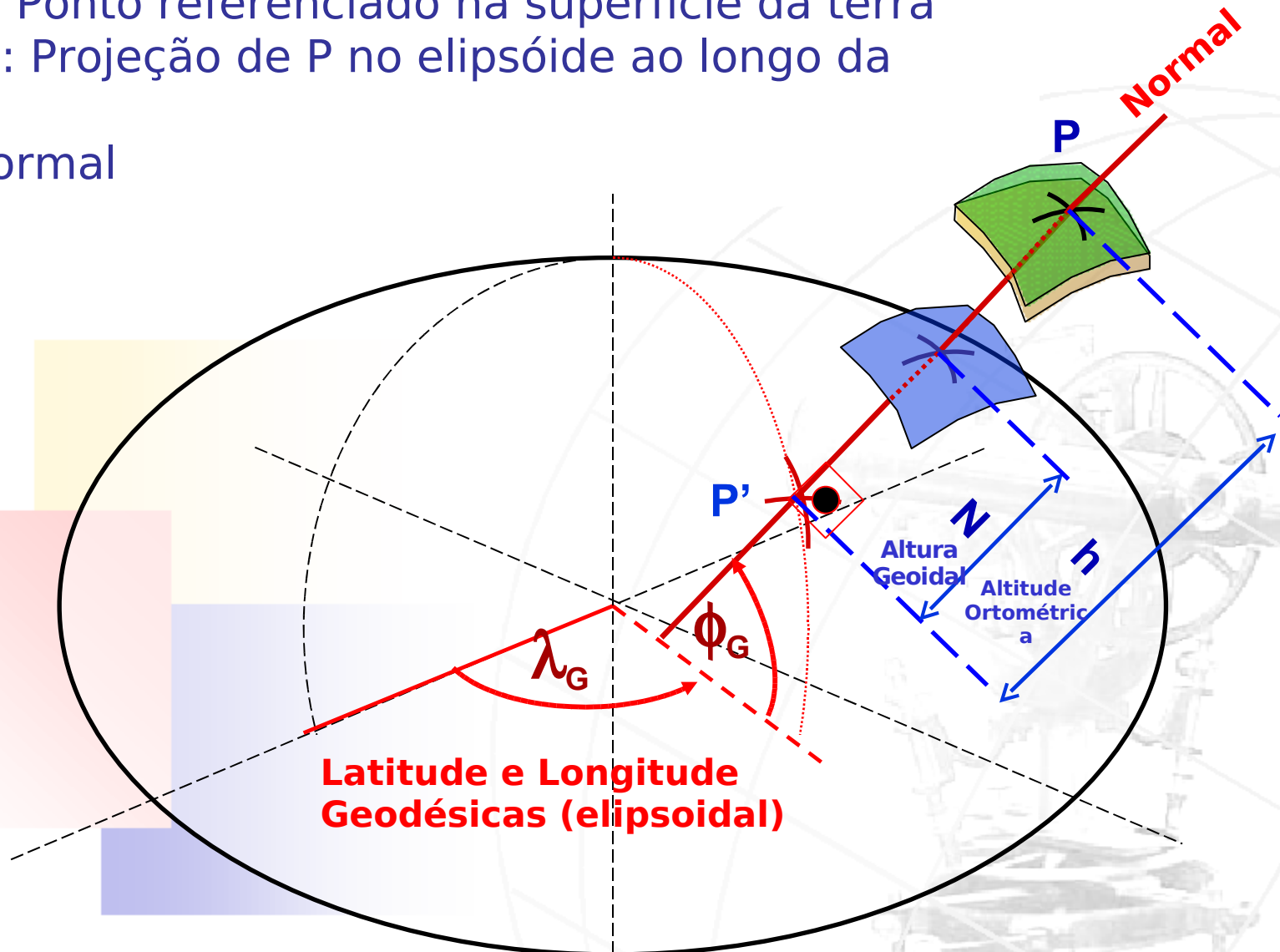
- LATITUDE GEODÉSICA OU ELIPSÓIDICA
  - ângulo que a normal forma com sua projeção sobre o plano do equador -  $\phi_G$ .
- LONGITUDE GEODÉSICA OU ELIPSÓIDICA
  - ângulo diedro formado pelo plano do meridiano geodésico de referência e pelo plano do meridiano geodésico local -  $\lambda_G$ .

# COORDENADAS GEODÉSICAS (resumo)

P: Ponto referenciado na superfície da terra

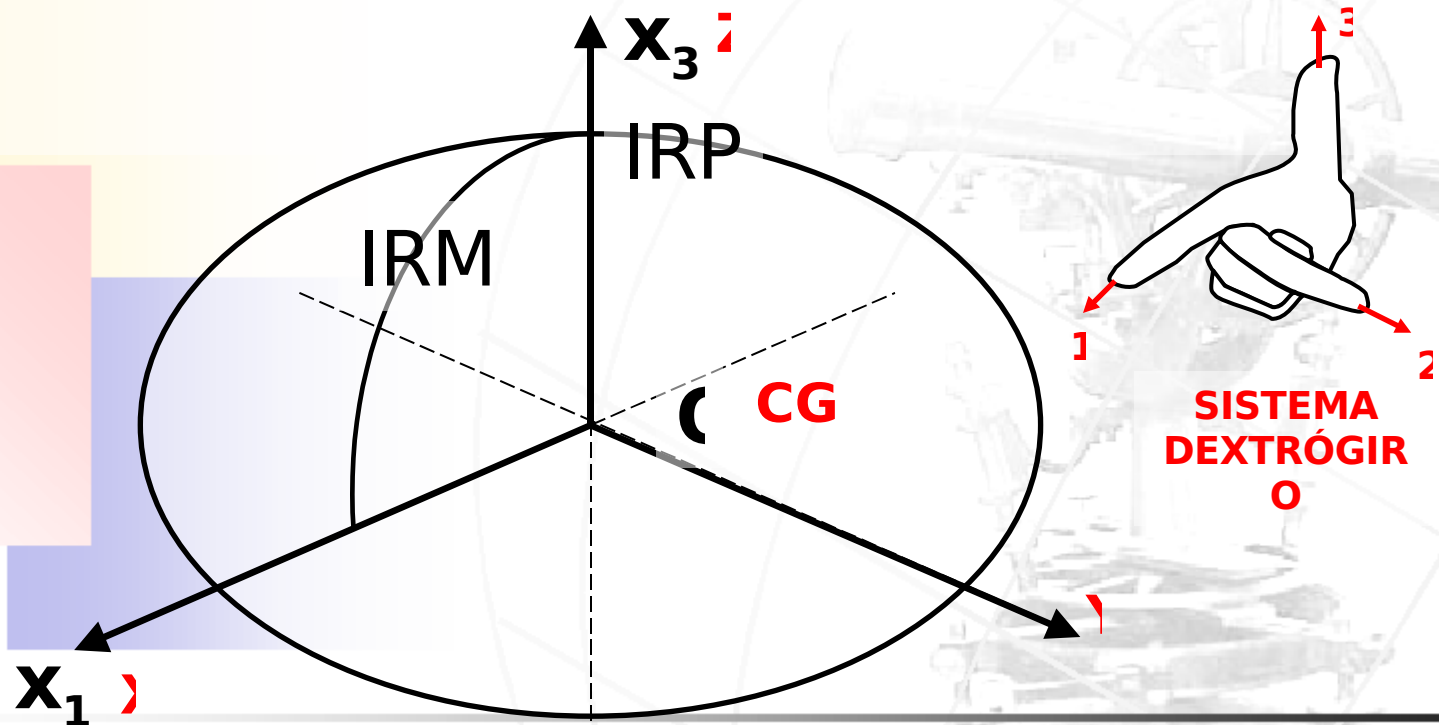
P': Projeção de P no elipsóide ao longo da

normal



# SISTEMA DE REFERÊNCIA TERRESTRE

- Sistema de referência terrestre cartesiano
  - 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” )

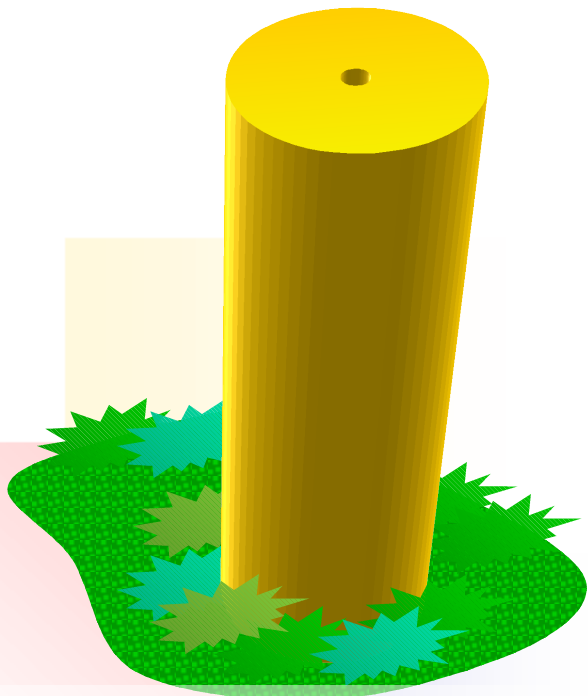


# SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

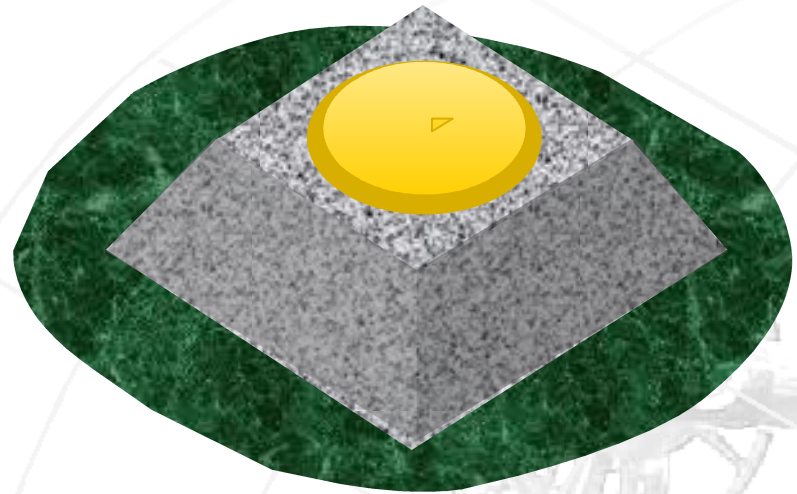
- **Nova conceituação de sistema geodésico de referência**
  - Atualmente os sistemas geodésicos de referência são constituídos por redes de referência. São pontos materializados no terreno cujas coordenadas são determinadas através de técnicas espaciais.
  - A redes podem ser: globais (IGS), continentais (SIRGAS), nacionais (RBMC), regionais (Rede GPS do estado de São Paulo).

# SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

- **Pontos materializados no terreno para referência**

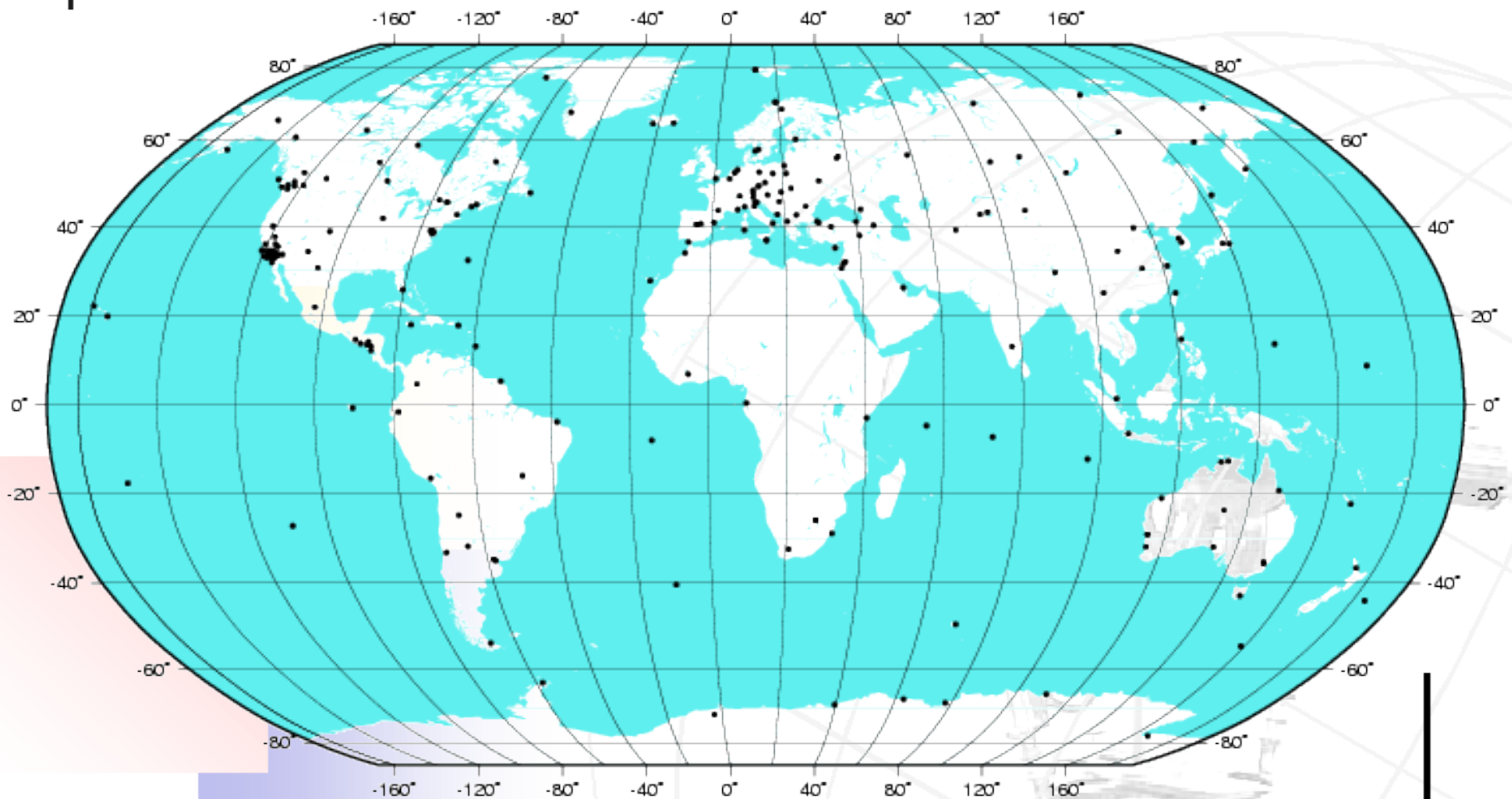


Marco Estável de centragem forçada, típico de uma rede nacional  
(exemplo: pontos alinhados junto à Raia Olímpica da USP)

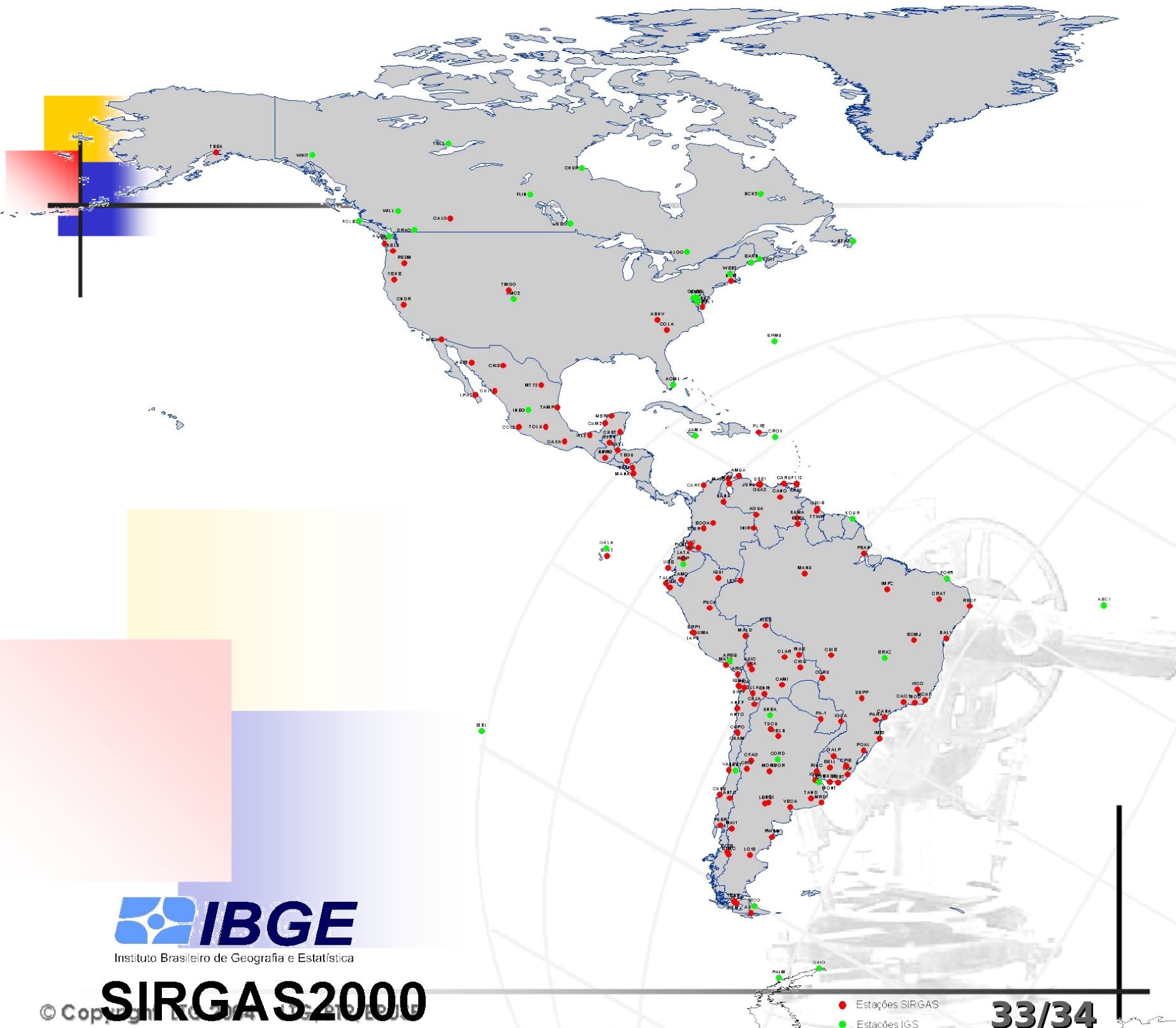


Marco típico de uma rede local  
(exemplo: pontos espalhados pelo campus da capital da USP, pelo PTR-LTG para trabalho prático de topografia)

# Rede IGS







Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

# SIRGAS2000

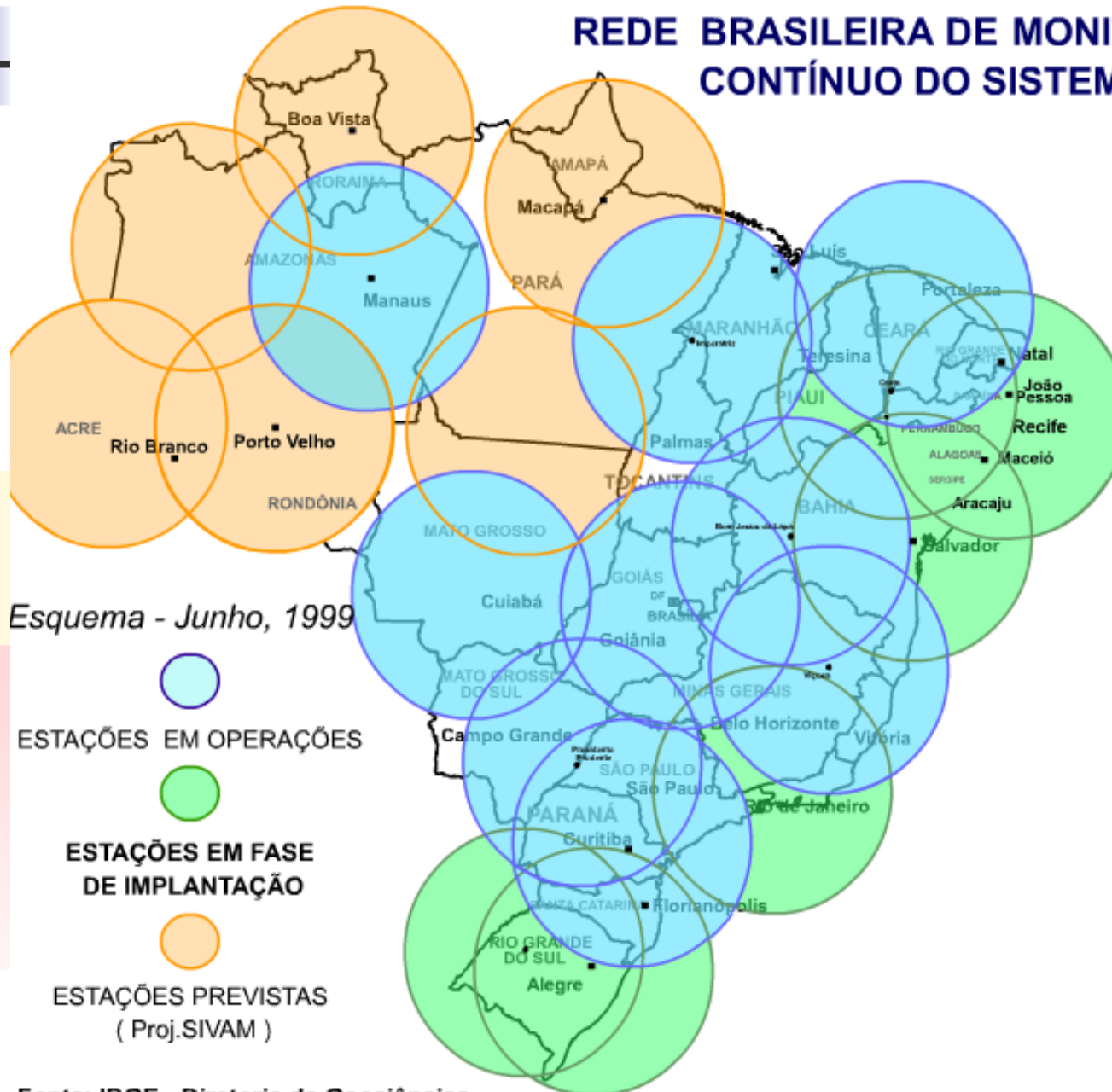
© Copyright 2000 IBGE

● Estações SIRGAS


● Estações IGS

# Rede RBMC

## REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DO SISTEMA GPS



Esquema - Junho, 1999

-  ESTAÇÕES EM OPERAÇÕES
-  ESTAÇÕES EM FASE DE IMPLANTAÇÃO
-  ESTAÇÕES PREVISTAS ( Proj.SIVAM )

Fonte: IBGE - Diretoria de Geociências