Campo de gravidade, Terra Normal e distúrbio de gravidade

Prof. André Luis Albuquerque dos Reis

Rio de Janeiro 2021

A Terra Real

Na Geofísica estamos interessados na componente gravitacional que é relacionada com às variações de densidade no interior da Terra

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005; Blakely, 1996)

Na Geofísica estamos interessados na componente gravitacional que é relacionada com às variações de densidade no interior da Terra

É necessário que a gente consiga retirar todas as componentes que não são de origem gravitacional, como as variações temporais do campo ocasionadas pela atração luni-solar; deriva instrumental e variações na pressão atmosférica

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005; Blakely, 1996)

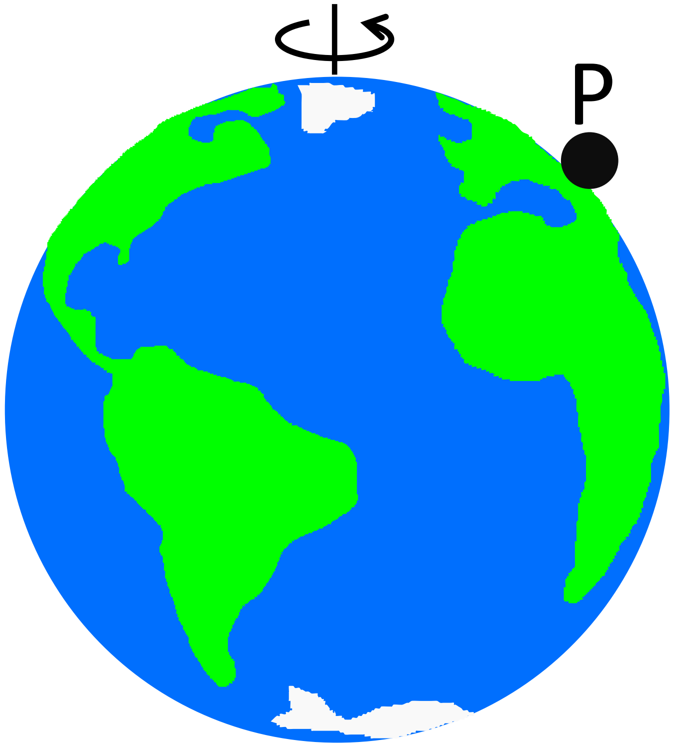
Na Geofísica estamos interessados na componente gravitacional que é relacionada com às variações de densidade no interior da Terra

É necessário que a gente consiga retirar todas as componentes que não são de origem gravitacional, como as variações temporais do campo ocasionadas pela atração luni-solar; deriva instrumental e variações na pressão atmosférica

Para isso, teremos que descrever bem o campo gravitacional e as outras componentes!

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005; Blakely, 1996)

Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre

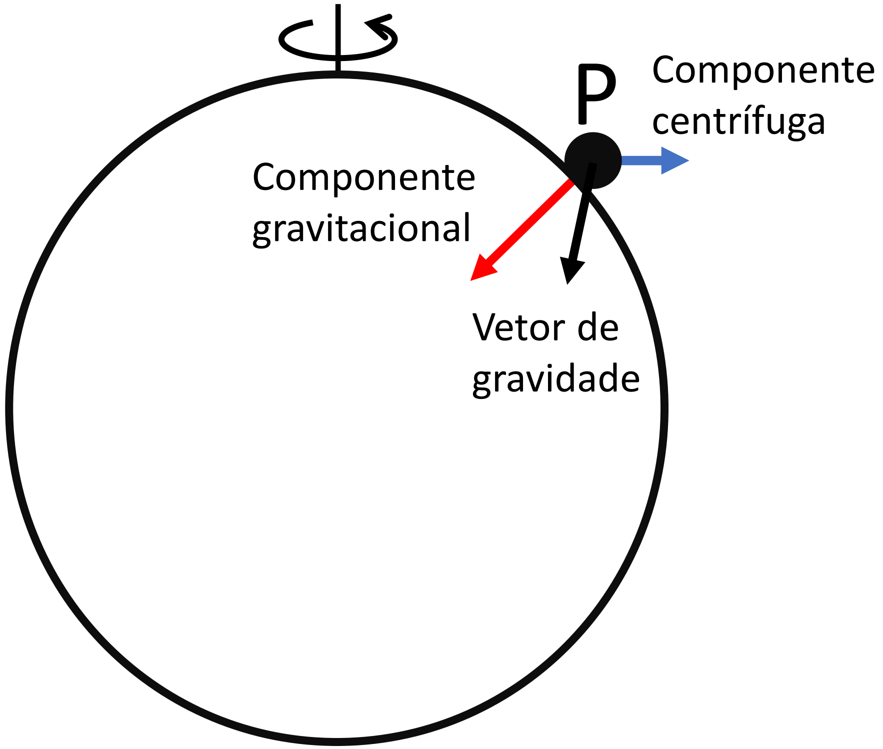


Este corpo experimenta uma força gravitacional e uma força centrífuga. A resultante destas duas é o vetor gravidade.

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

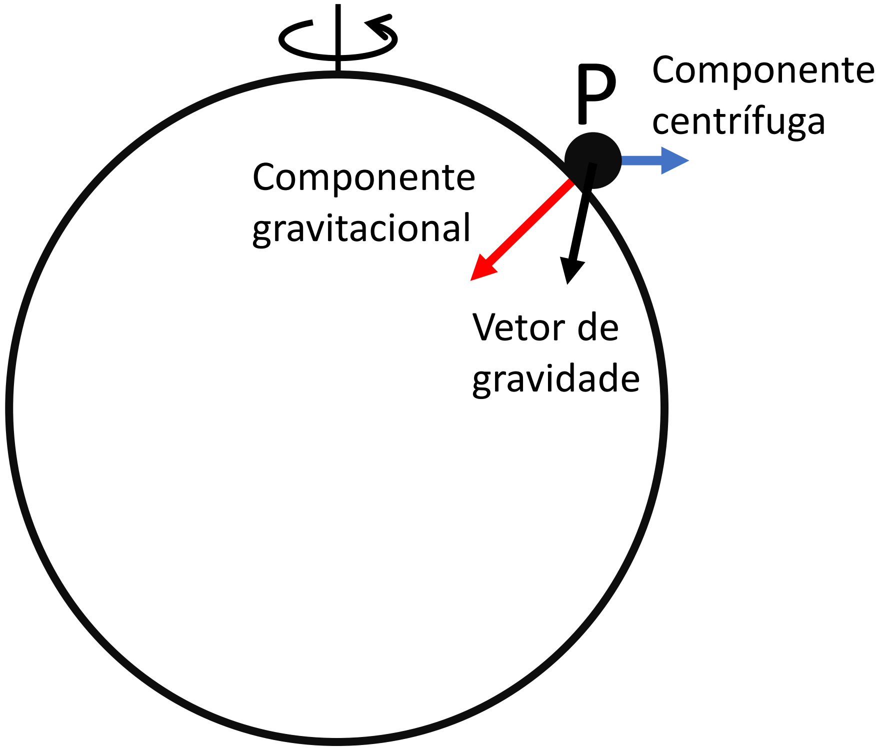
Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre

Este corpo experimenta uma força gravitacional e uma força centrífuga. A resultante destas duas é o vetor gravidade.



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre



Este corpo experimenta uma força gravitacional e uma força centrífuga. A resultante destas duas é o vetor gravidade.

A soma destes vetores é o que chamamos de **vetor de gravidade.**

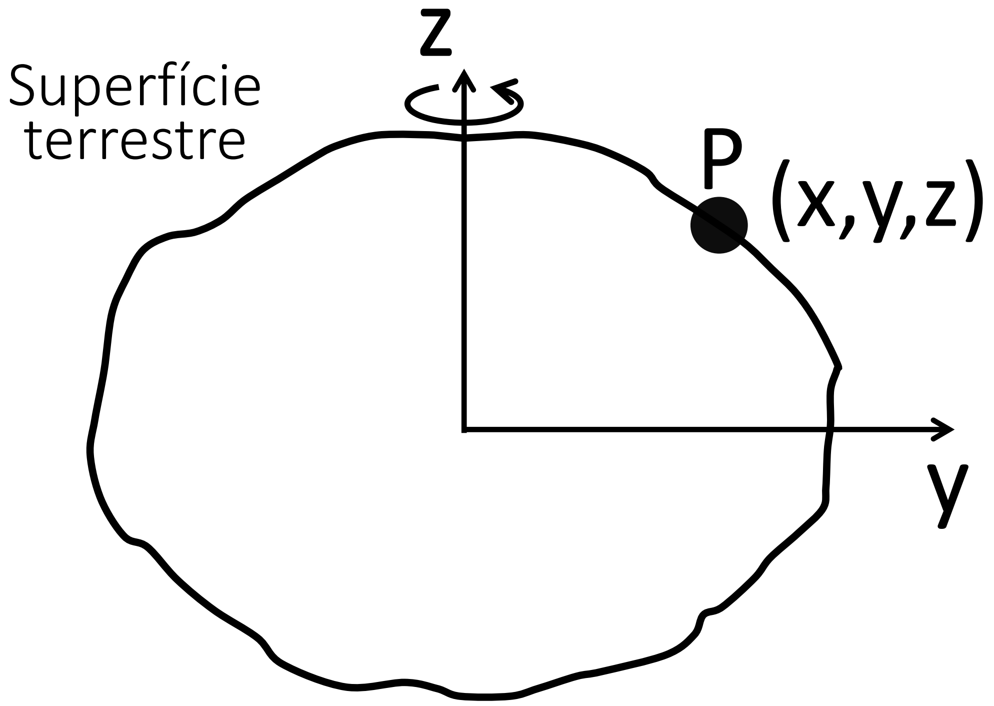
O módulo deste vetor é o que chamamos de **gravidade!**

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

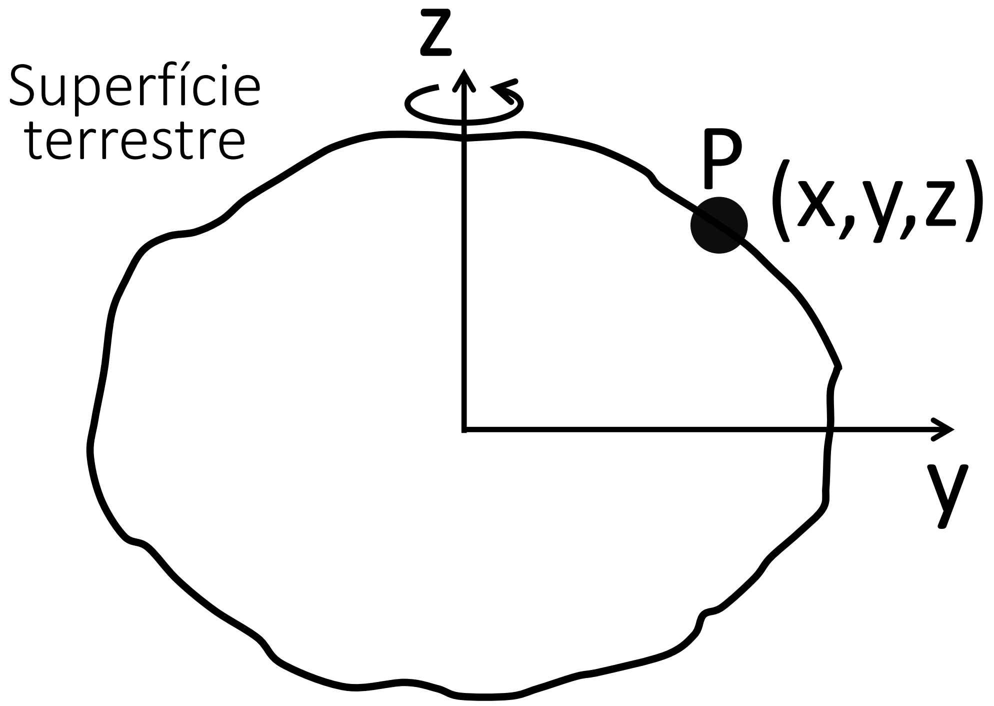
Terra real



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre

Terra real



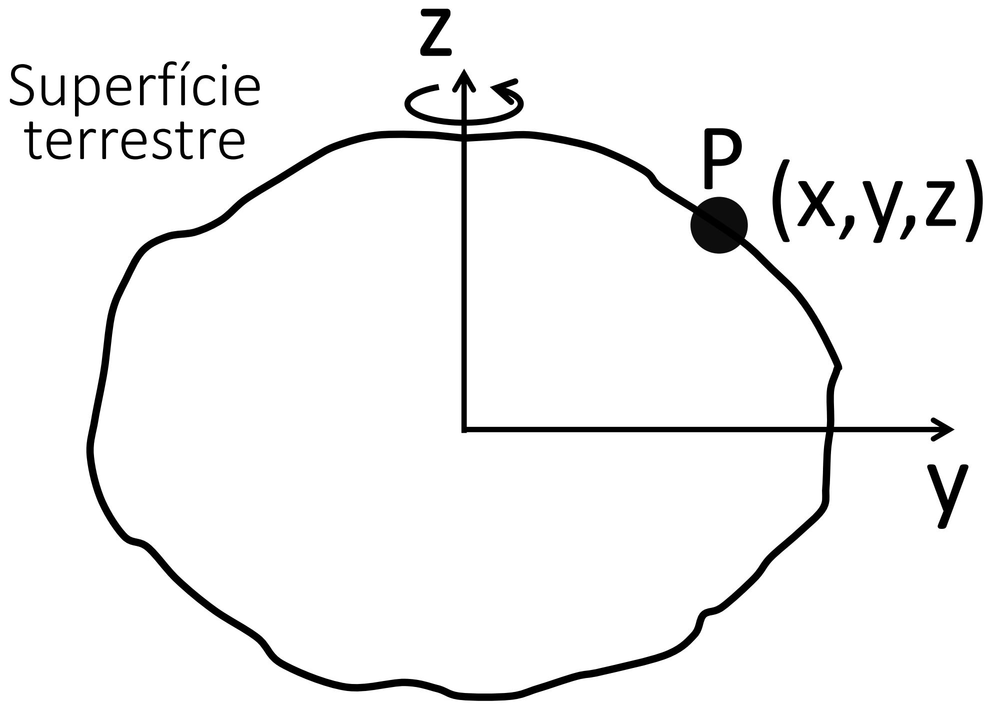
Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre

Terra real



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

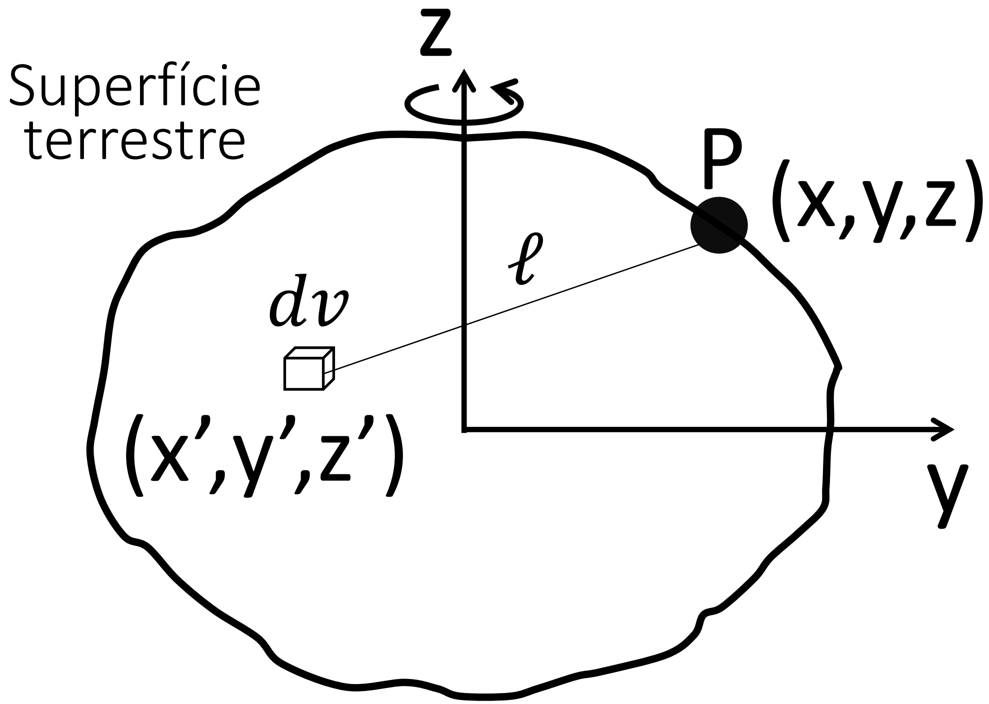
O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre

Terra real



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

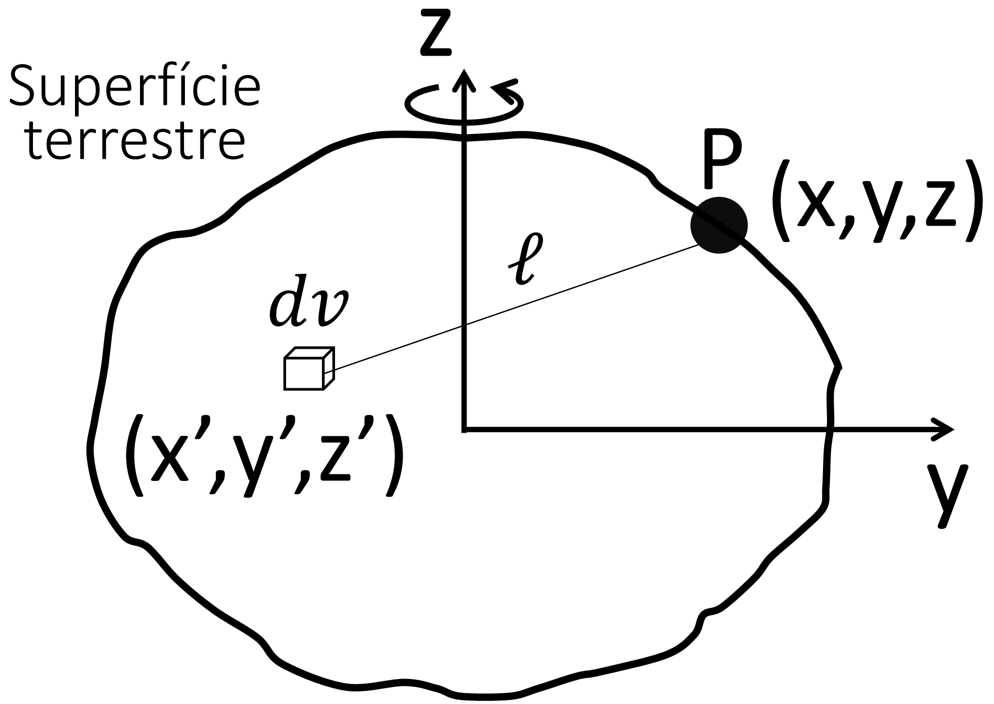
O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre

Terra real



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

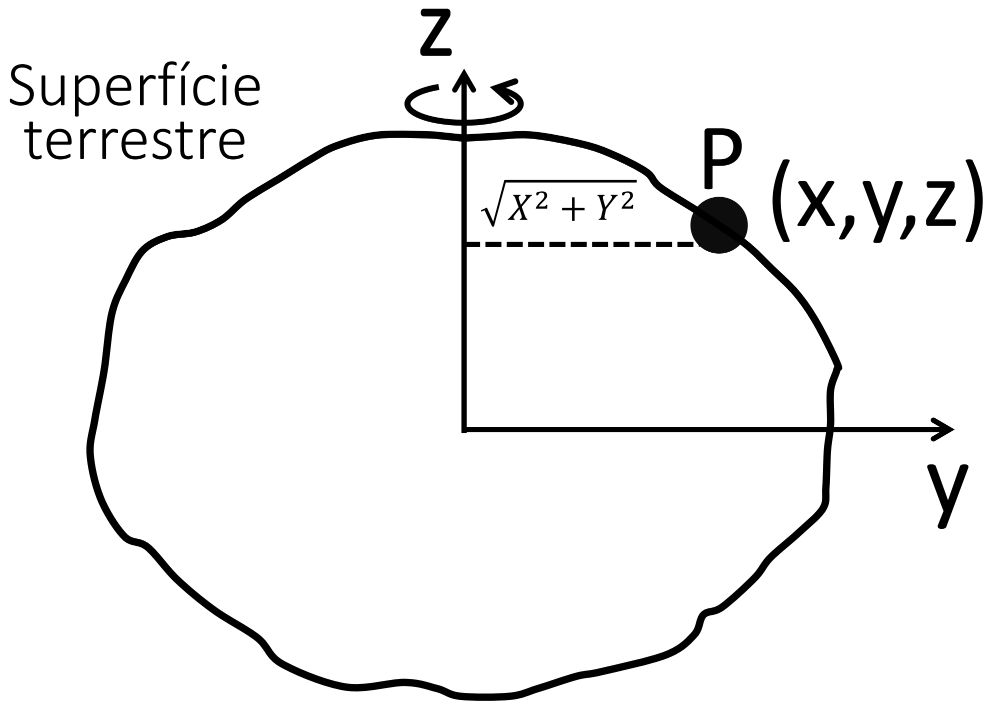
$$V_P = \kappa_g \iiint \frac{\rho}{\ell} dv$$

$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Seja uma massa unitária em repouso na superfície terrestre

Terra real



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

$$V_P = \kappa_g \iiint \frac{\rho}{\ell} dv \qquad \Phi_P = \frac{10^5}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2)$$

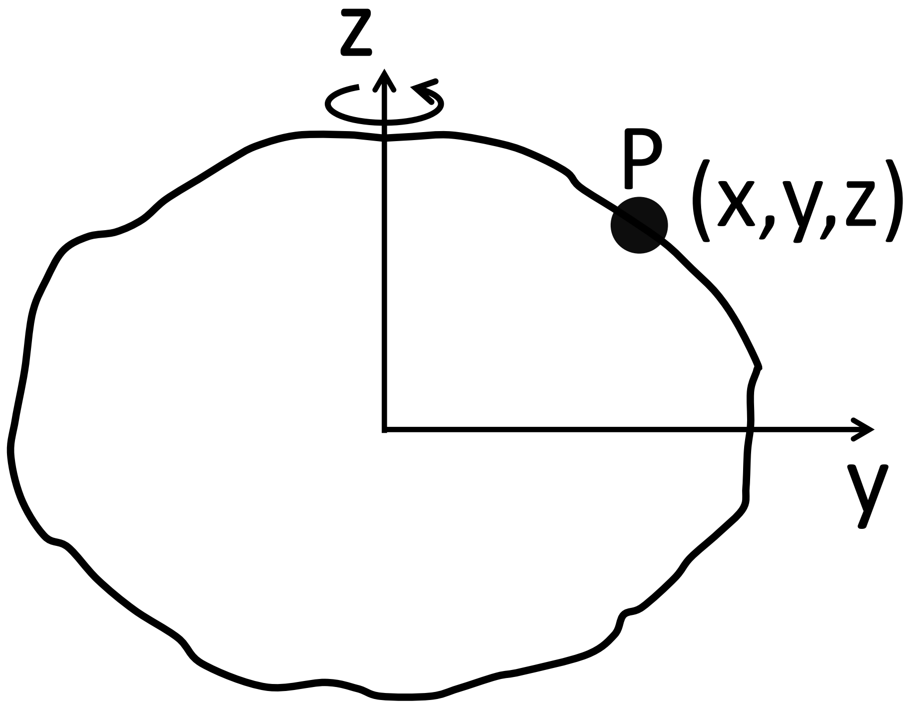
$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

Terra real



O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

$$V_P = \kappa_g \iiint \frac{\rho}{\ell} dv \quad \Phi_P = \frac{10^5}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2)$$

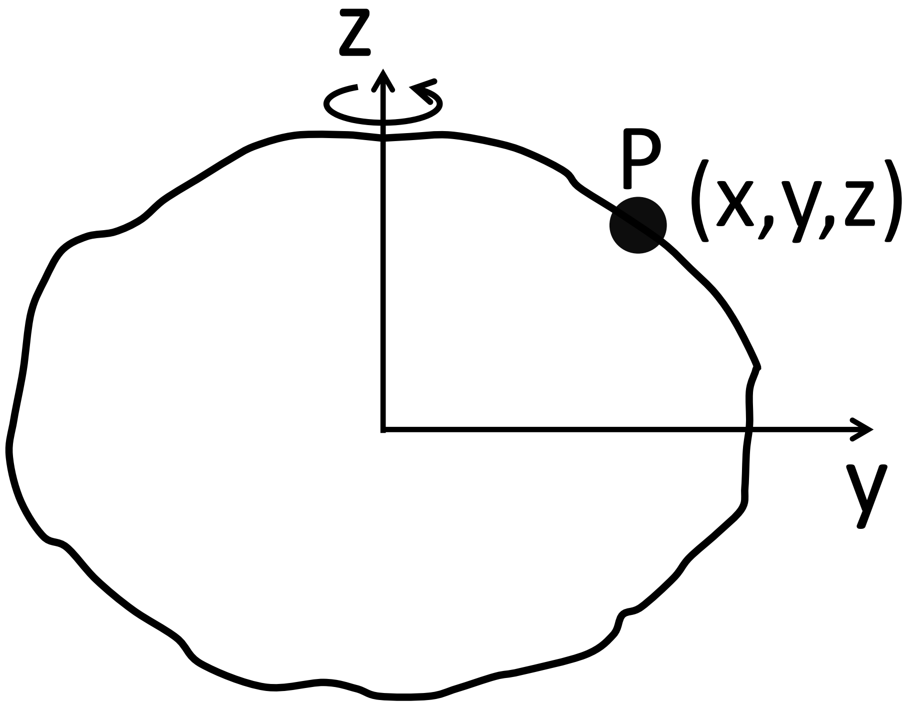
$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

Terra real



O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

$$\nabla^2 W_P = \nabla^2 V_P + \nabla^2 \Phi_P$$

$$V_P = \kappa_g \iiint \frac{\rho}{\ell} dv \quad \Phi_P = \frac{10^5}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2)$$

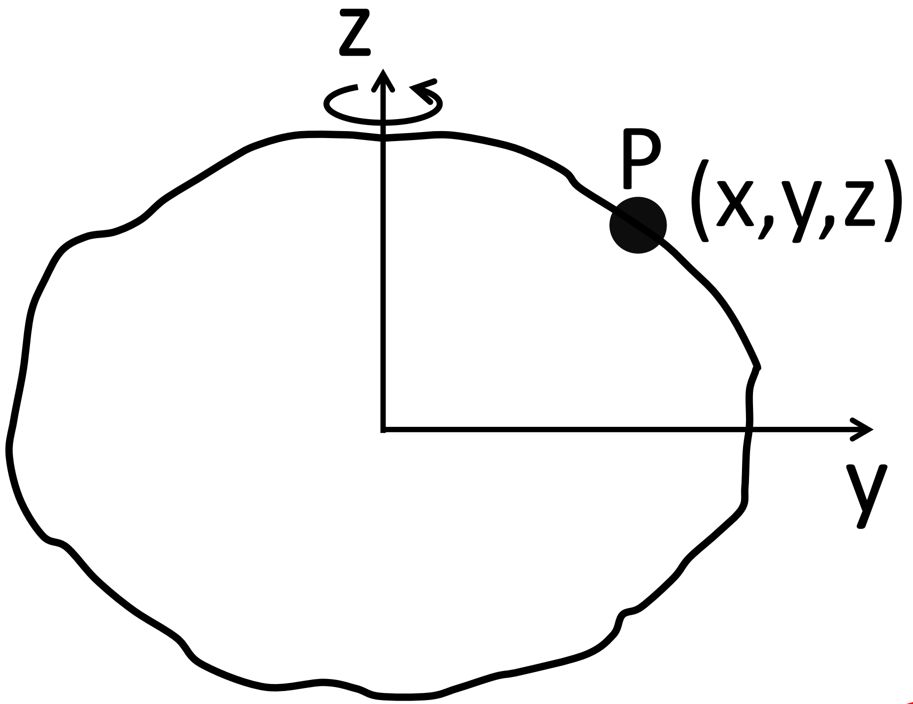
$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

Terra real



O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

$$\nabla^2 W_P = \nabla^2 V_P + \nabla^2 \Phi_P$$

$$V_P = \kappa_g \iiint \frac{\rho}{\ell} dv \quad \Phi_P = \frac{10^5}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2)$$

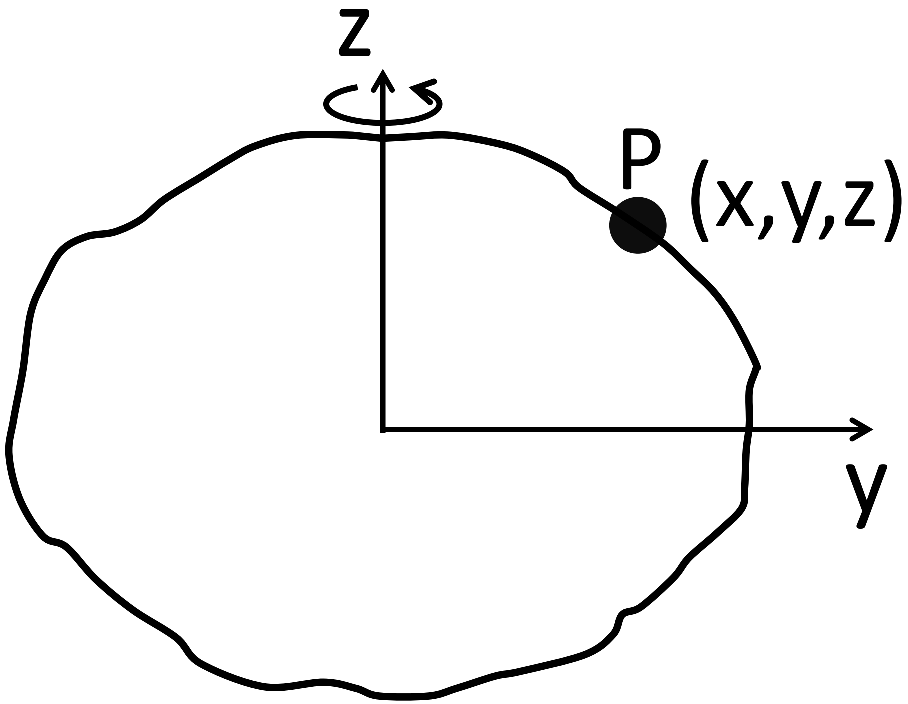
$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

Terra real



O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

$$\nabla^2 W_P = \overbrace{\cancel{\nabla^2 V_P}}^{=0} + \nabla^2 \Phi_P$$

$$V_P = \kappa_g \iiint \frac{\rho}{\ell} dv \quad \Phi_P = \frac{10^5}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2)$$

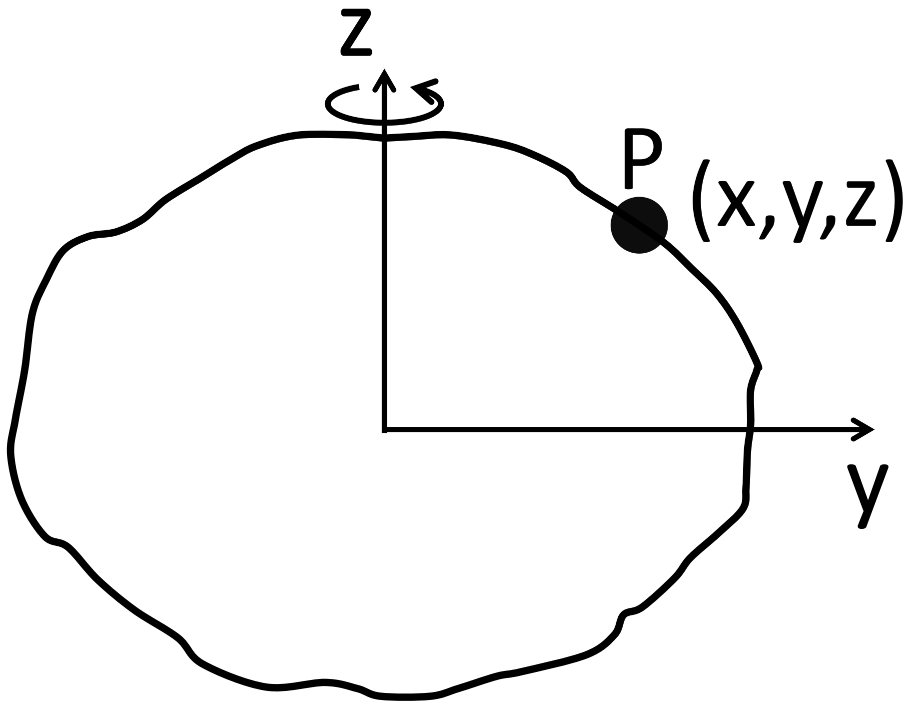
$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

Terra real



O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$\nabla^2 W_P = \nabla^2 V_P + \nabla^2 \Phi_P$$

$$V_P = \kappa_g \iiint \frac{\rho}{\ell} dv \qquad \Phi_P = \frac{10^5}{2}\omega^2(X^2+Y^2)$$

$$\ell = \sqrt{(X-X')^2 + (Y-Y')^2 + (Z-Z')^2}$$

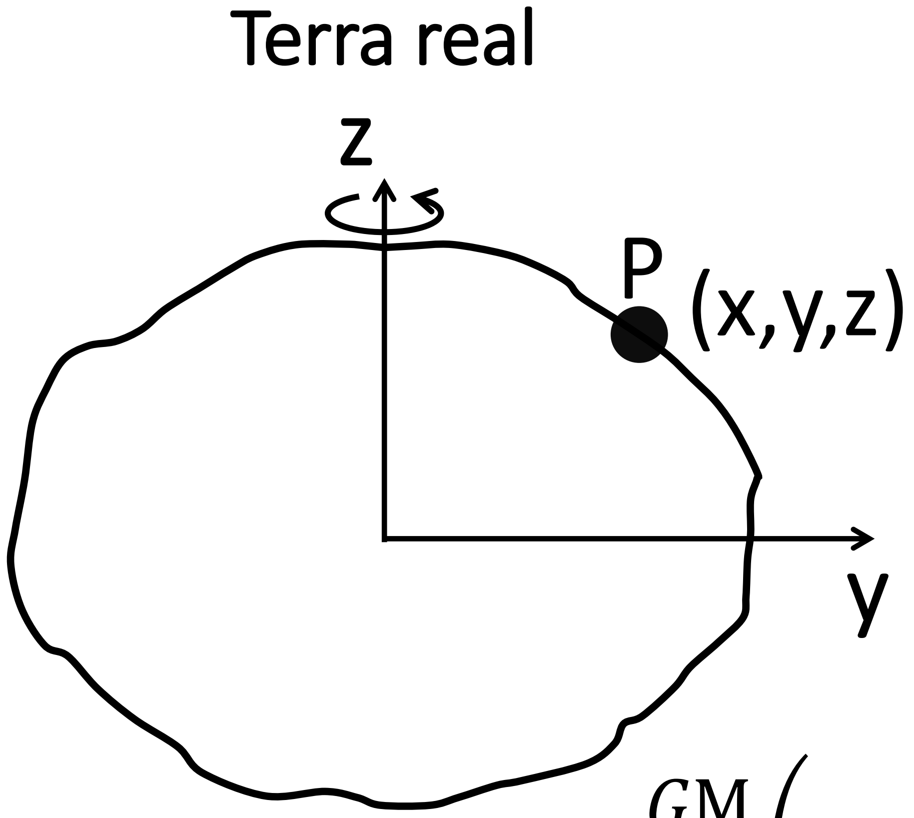
Podemos expandir a componente gravitacional em harmônicos esféricos!

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo



$$W_P = V_P + \Phi_P$$

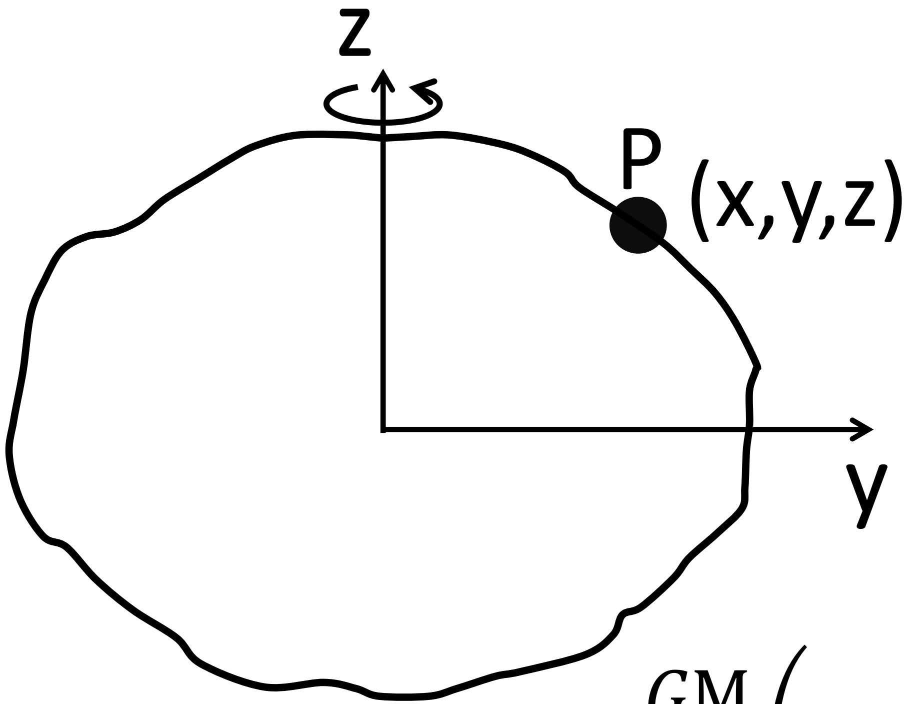
Potencial em termo de harmônicos esféricos!

$$V_P = \frac{GM}{r}\left(1 + \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^n \left[C_{nm}R_{nm}(\theta,\lambda) + S_{nm}Q_{nm}(\theta,\lambda)\right]\right)$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Terra real



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

Potencial em termo de harmônicos esféricos!

$$V_P = \frac{GM}{r}\left(1 + \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^n [C_{nm}R_{nm}(\theta,\lambda) + S_{nm}Q_{nm}(\theta,\lambda)]\right)$$

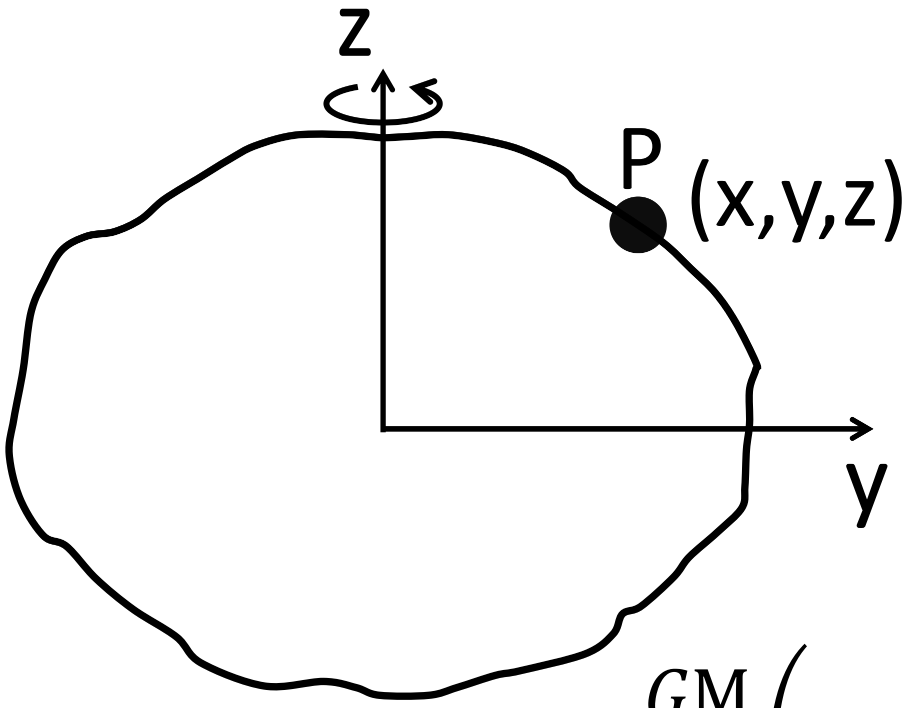
Raio equatorial

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

Terra real



O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

Potencial em termo de harmônicos esféricos!

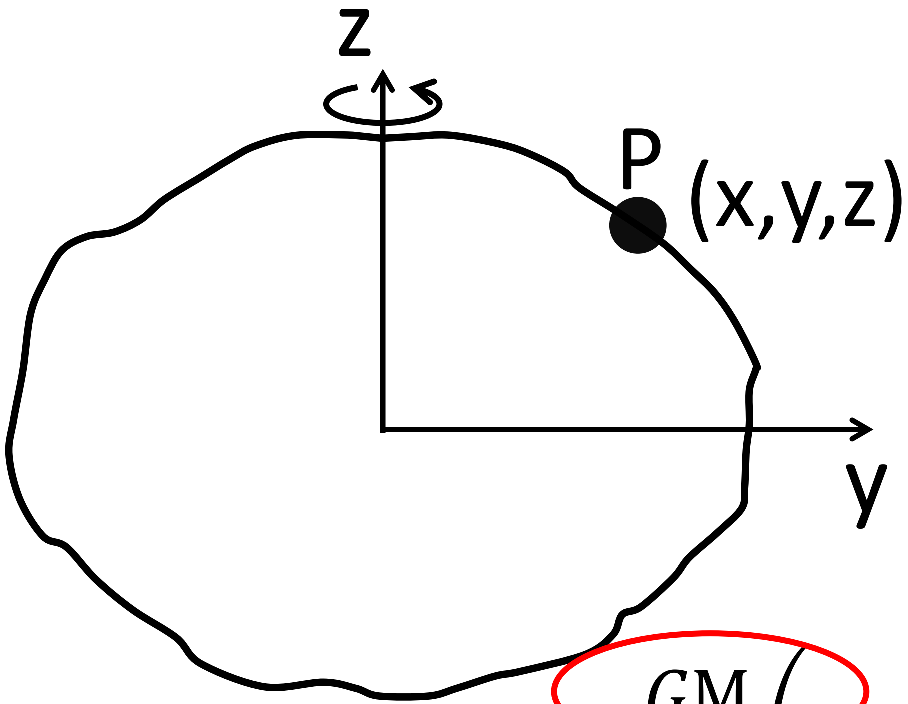
$$V_P = \frac{GM}{r}\left(1 + \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^n [C_{nm}R_{nm}(\theta,\lambda) + S_{nm}Q_{nm}(\theta,\lambda)]\right)$$

n e m são o grau e a ordem, respectivamente

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Terra real



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

Potencial em termo de harmônicos esféricos!

$$V_P = \frac{GM}{r}\left(1 + \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^n [C_{nm}R_{nm}(\theta,\lambda) + S_{nm}Q_{nm}(\theta,\lambda)]\right)$$

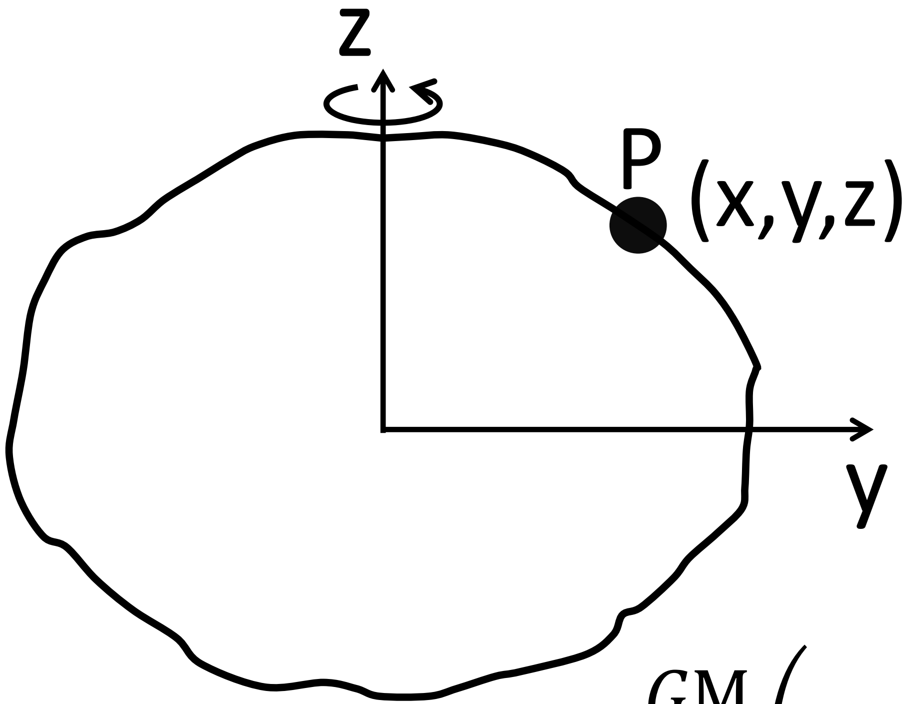
Constante gravitacional e a massa da Terra

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

Terra real



O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

Potencial em termo de harmônicos esféricos!

$$V_P = \frac{GM}{r}\left(1 + \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^n \left[C_{nm}R_{nm}(\theta,\lambda) + S_{nm}Q_{nm}(\theta,\lambda)\right]\right)$$

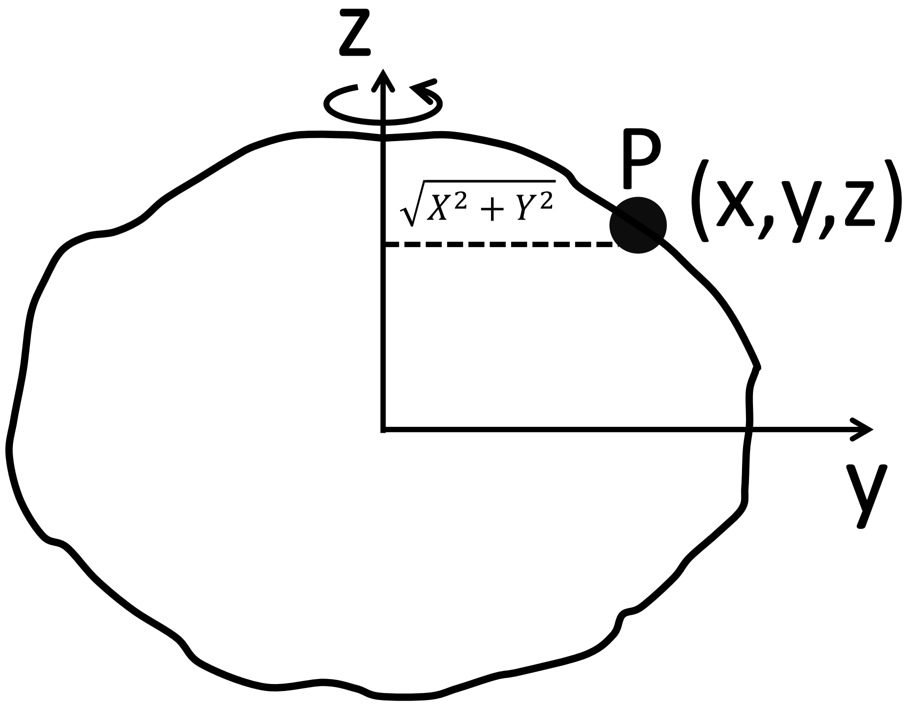
Ângulo azimutal e colatitude

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Se tomarmos o Laplaciano do **potencial de gravidade** em regiões livres de fontes

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

Terra real



O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o **potencial gravitacional** e o **potencial centrífugo**

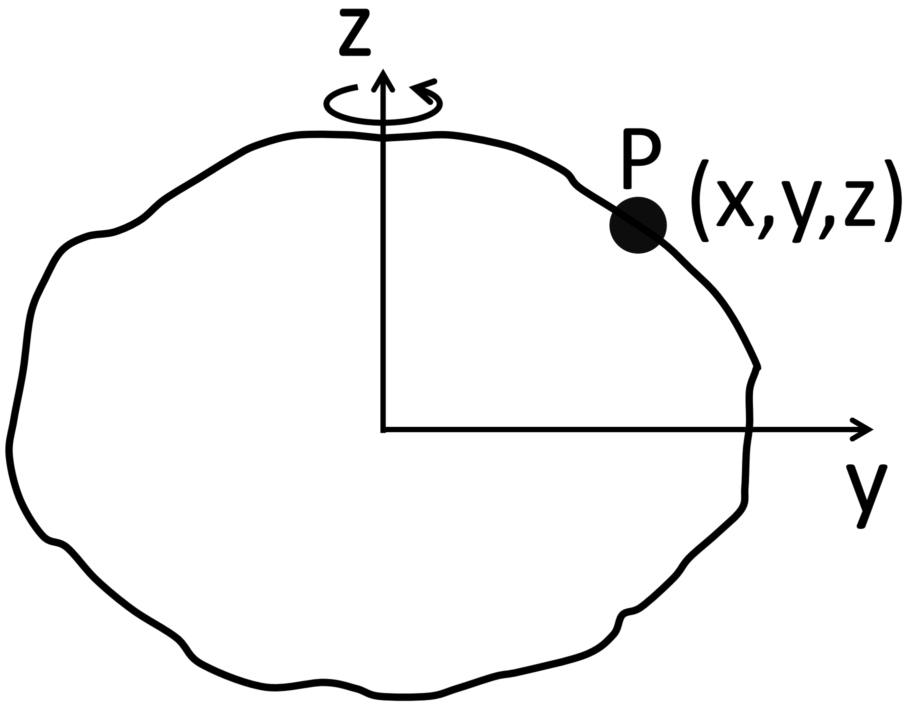
$$\nabla^2 W_P = \nabla^2 V_P + \nabla^2 \Phi_P$$

$$V_P = \kappa_g \iiint \frac{\rho}{\ell} dv \qquad \Phi_P = \frac{10^5}{2}\omega^2(X^2+Y^2)$$

$$\ell = \sqrt{(X-X')^2+(Y-Y')^2+(Z-Z')^2}$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Existem superfícies pelas quais o potencial é constante



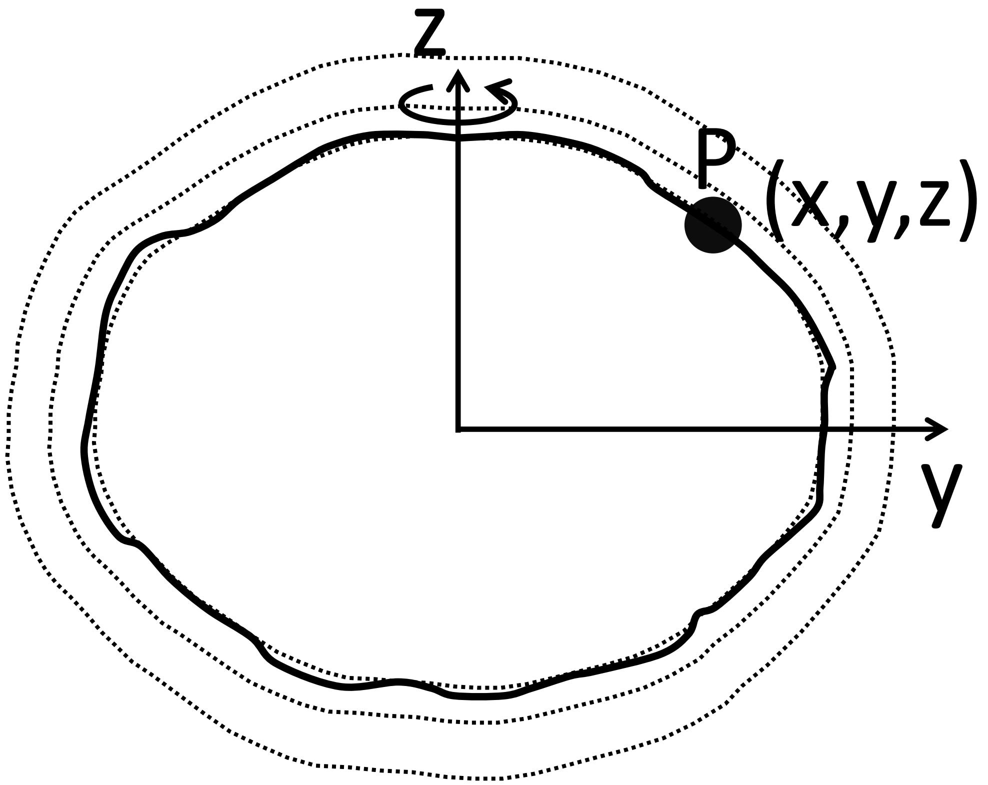
Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Existem superfícies pelas quais o potencial é constante



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

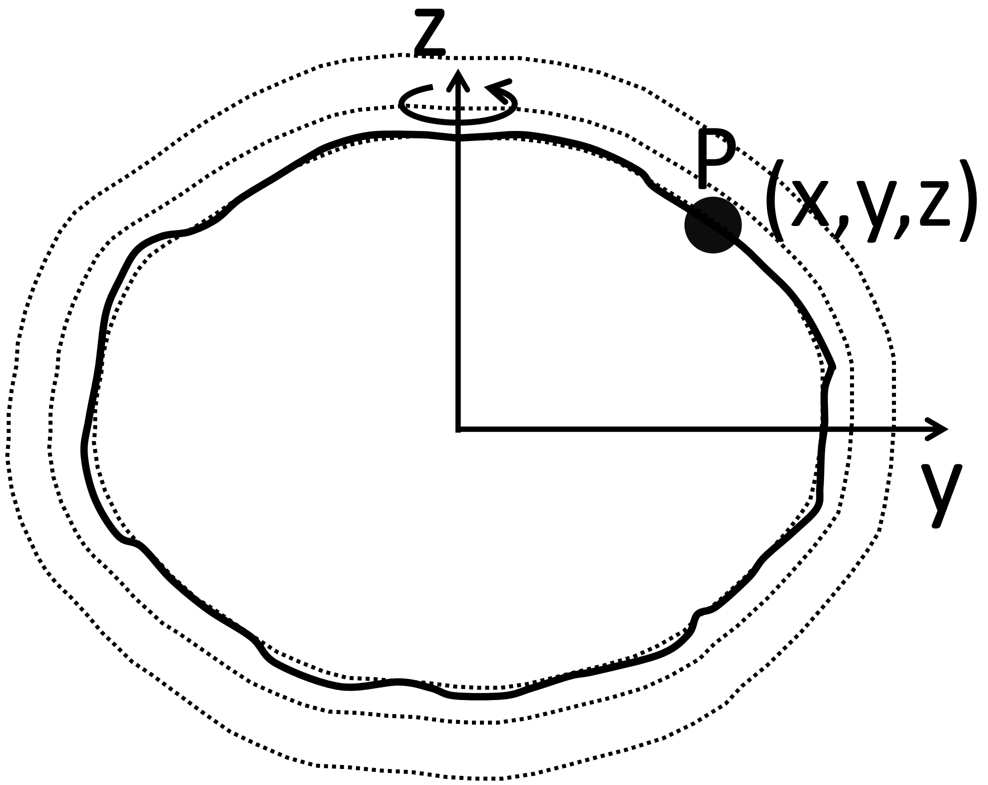
O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

Estas equipotenciais são chamadas de **geopes**

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Existem superfícies pelas quais o potencial é constante



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

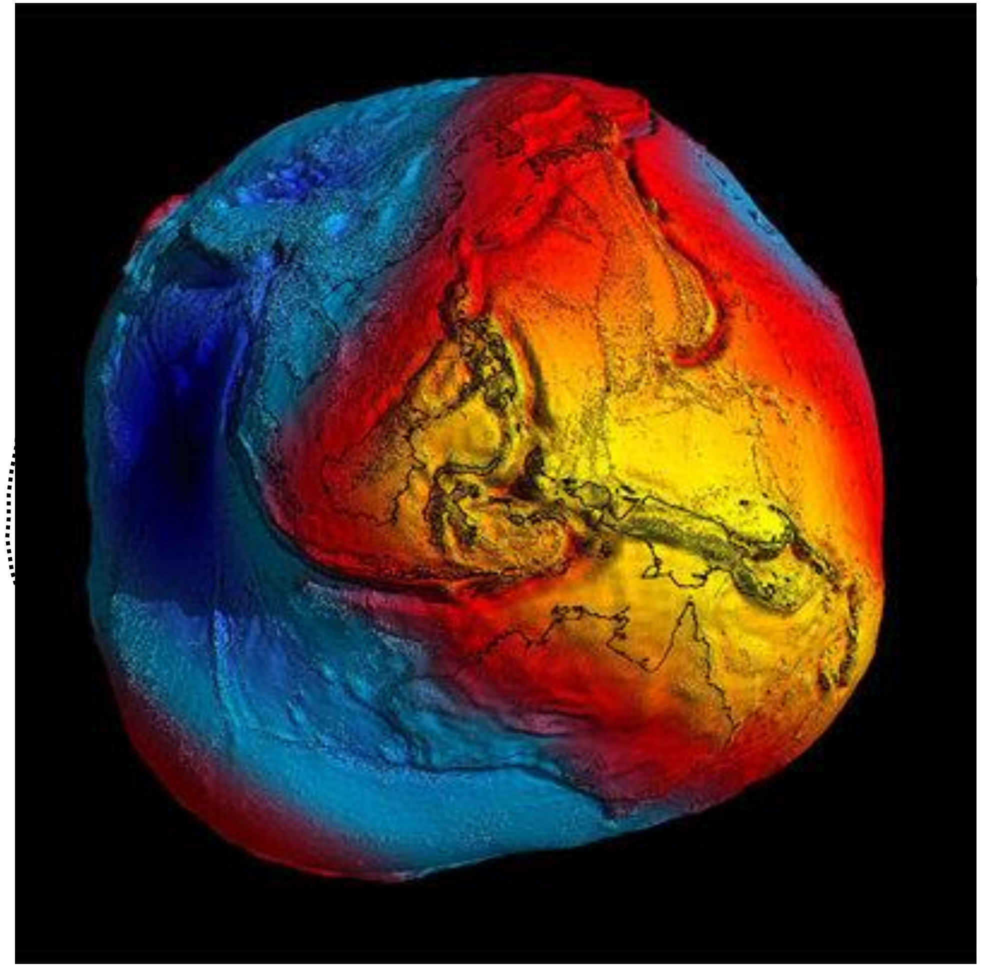
$$W_P = V_P + \Phi_P$$

Estas equipotenciais são chamadas de **geopes**

A geope que coincide com o nível médio dos mares não perturbados é chamada de **geóide**

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Existem superfícies pelas quais o potencial é constante



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

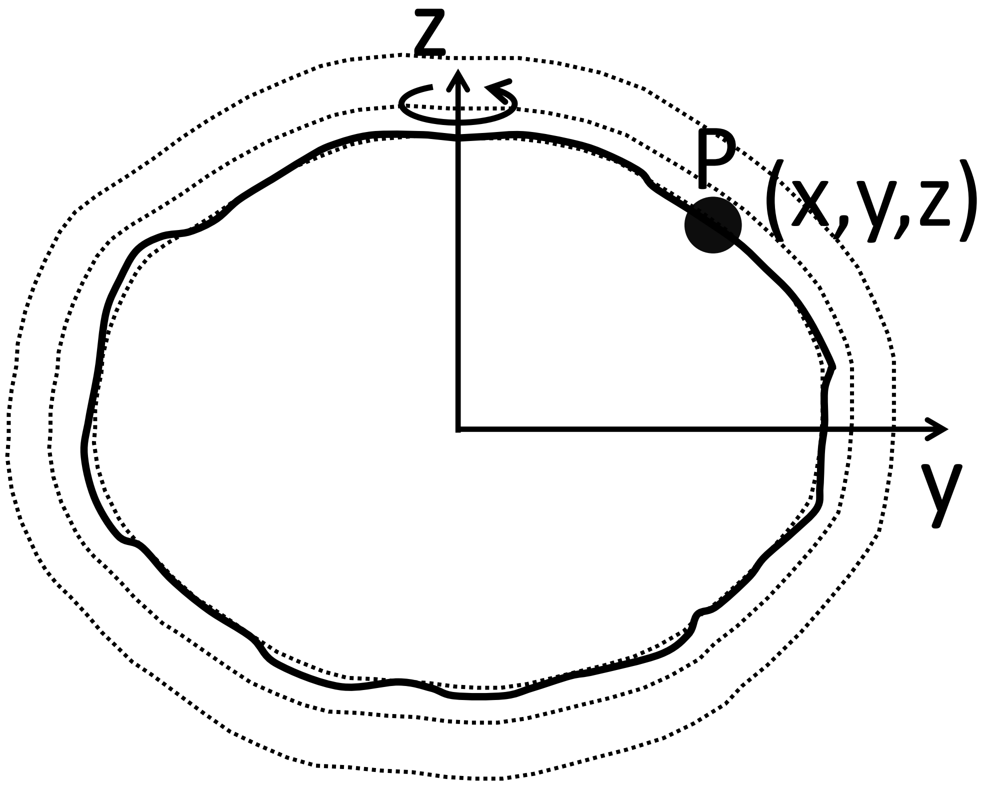
O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$W_P = V_P + \Phi_P$$

Estas equipotenciais são chamadas de **geopes**

A geope que coincide com o nível médio dos mares não perturbados é chamada de **geóide**

Existem superfícies pelas quais o potencial é constante



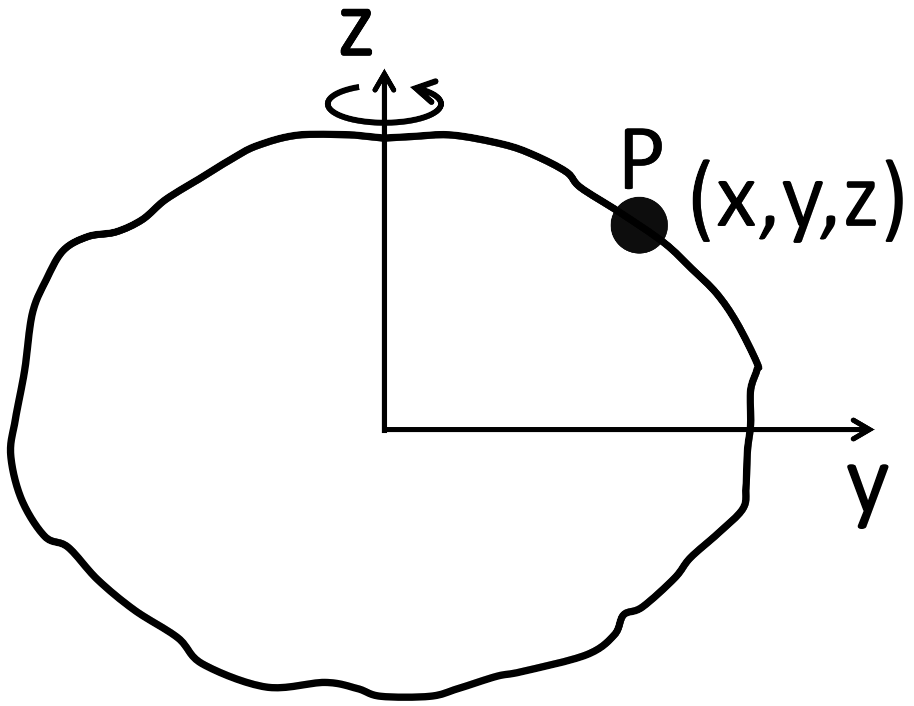
Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$\nabla W_P = \nabla V_P + \nabla \Phi_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Existem superfícies pelas quais o potencial é constante



Podemos começar descrevendo o **potencial de gravidade**!

O **potencial de gravidade** é a soma entre duas funções escalares: o potencial gravitacional e o potencial centrífugo

$$\nabla W_P = \nabla V_P + \nabla \Phi_P$$

O vetor gravidade

$$\mathbf{g}_P = \nabla V_P + \nabla \Phi_P$$

O módulo deste vetor é o que chamamos de gravidade!

A unidade é o **mGal**!

$$1\ \mathrm{mGal} = 10^{-5}\ \mathrm{m/s^2}$$

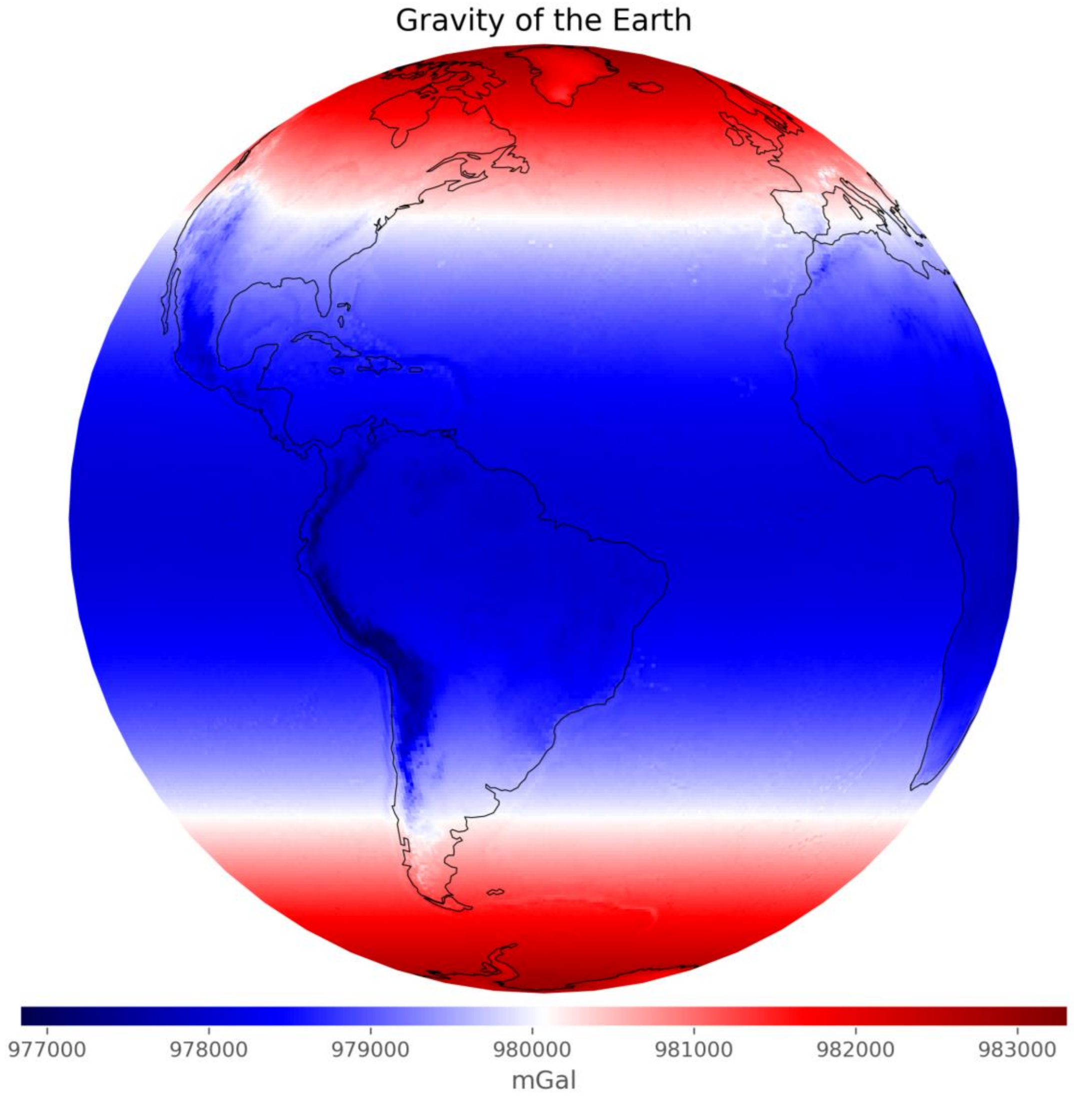
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

$$|\mathbf{g}_P| = |\nabla V_P| + |\nabla \Phi_P|$$

International Center for Global Earth Model (ICGEM)

≈ 0,5 graus

Modelo EIGEN-6C4



São calculados sobre a superfície física da Terra

Utilizam diversos tipo de dados (i.e, aerolevantamento, terrestres e satélite).

Acabamos de descrever a Terra Real!

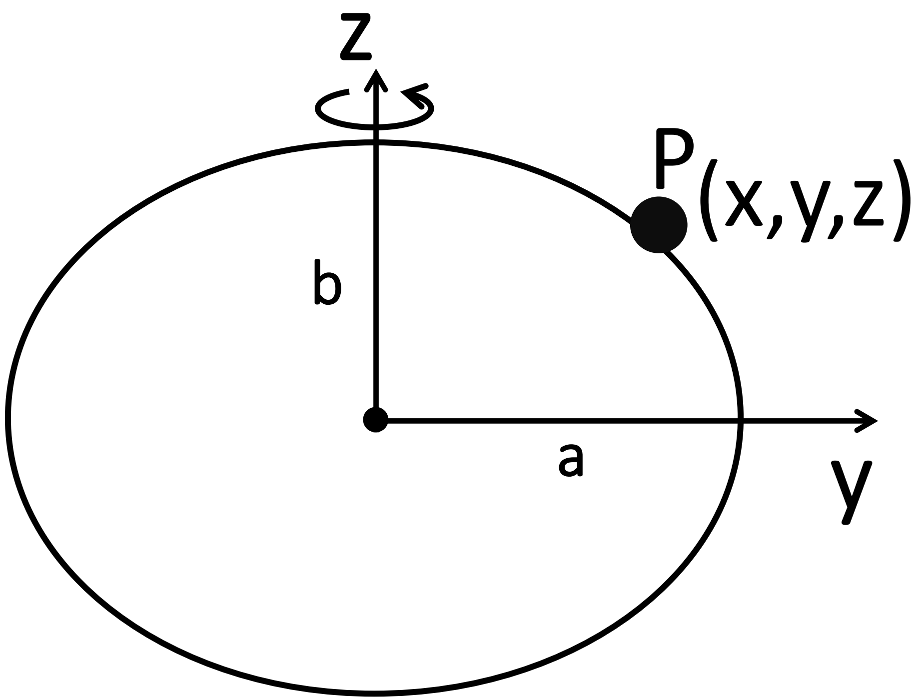
Terra Normal

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

Terra Normal

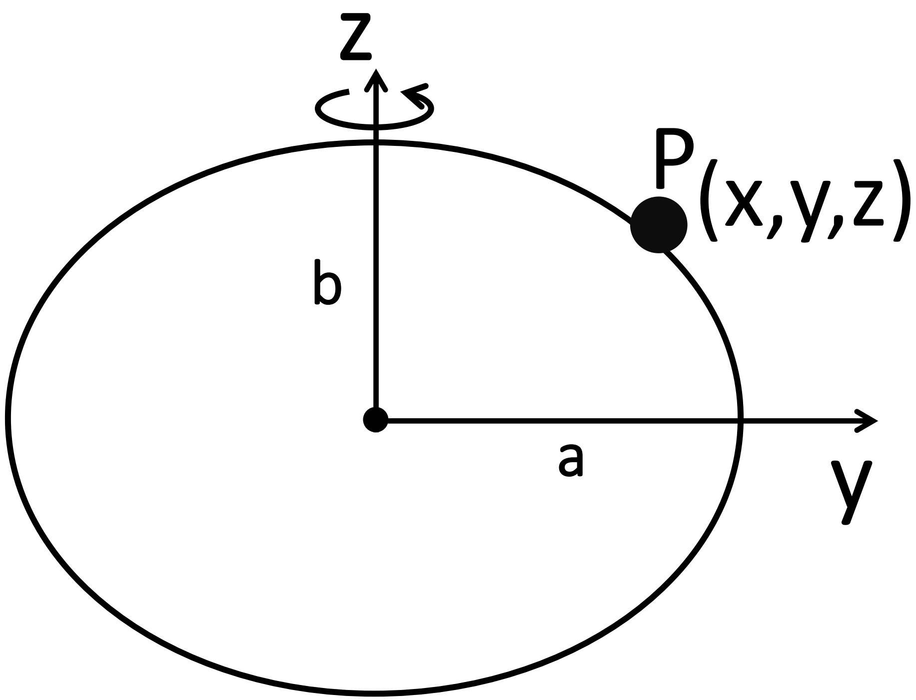


(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;

Terra Normal

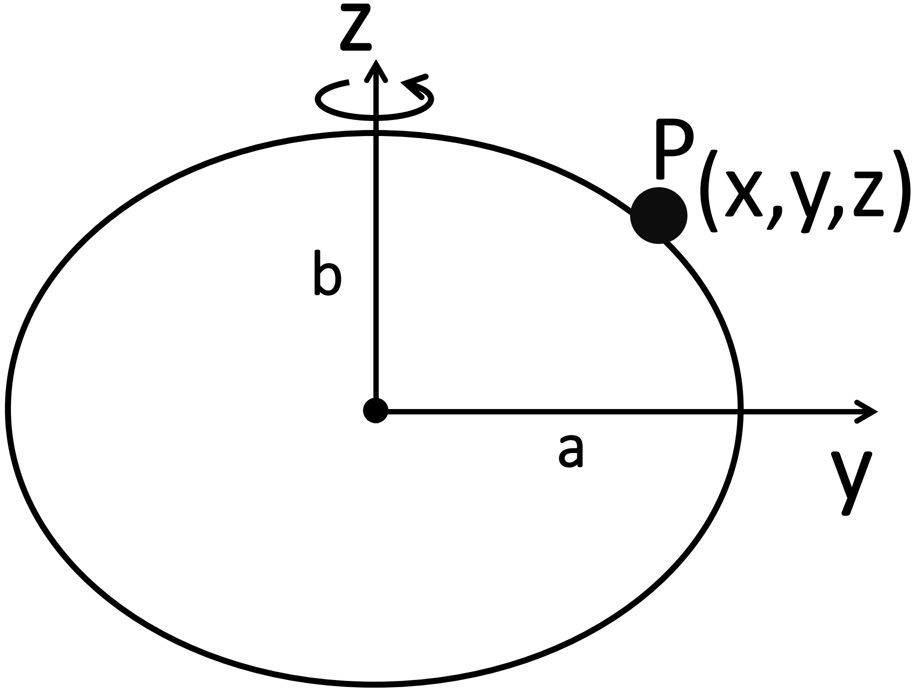


(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;

Terra Normal

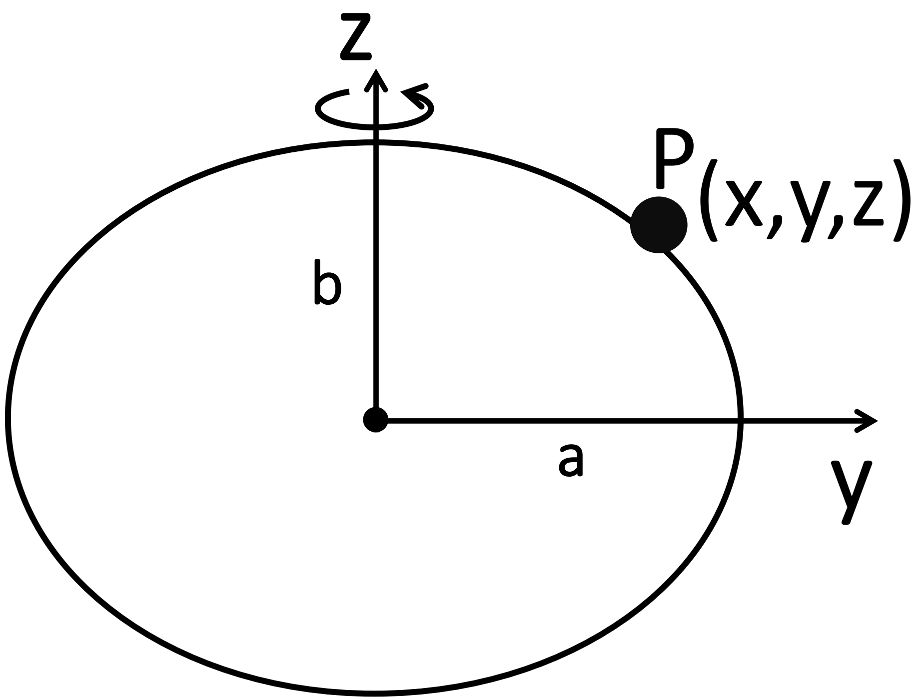


(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;

Terra Normal

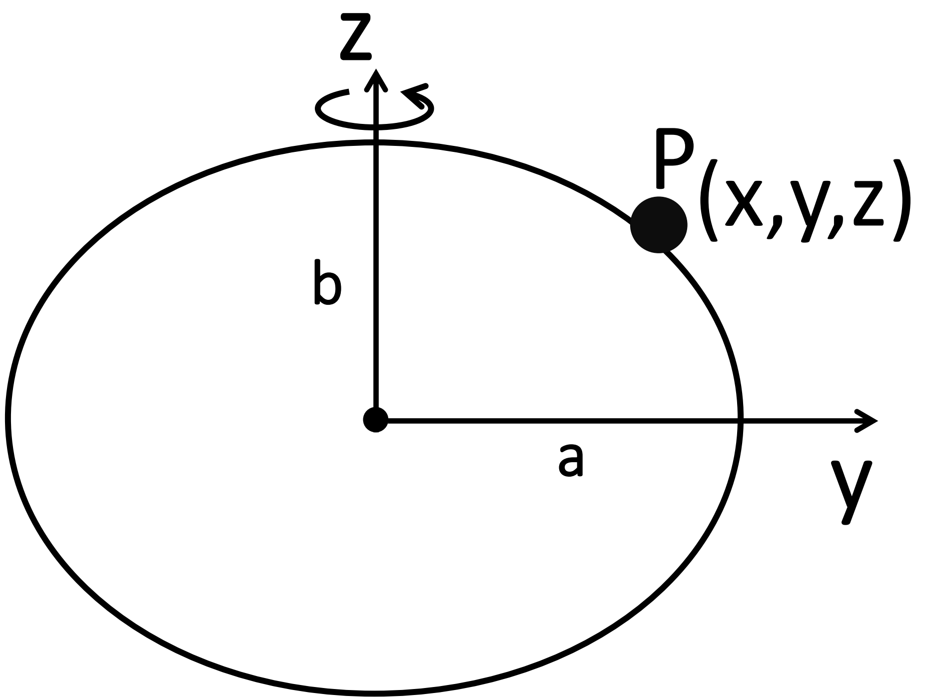


(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

Terra Normal



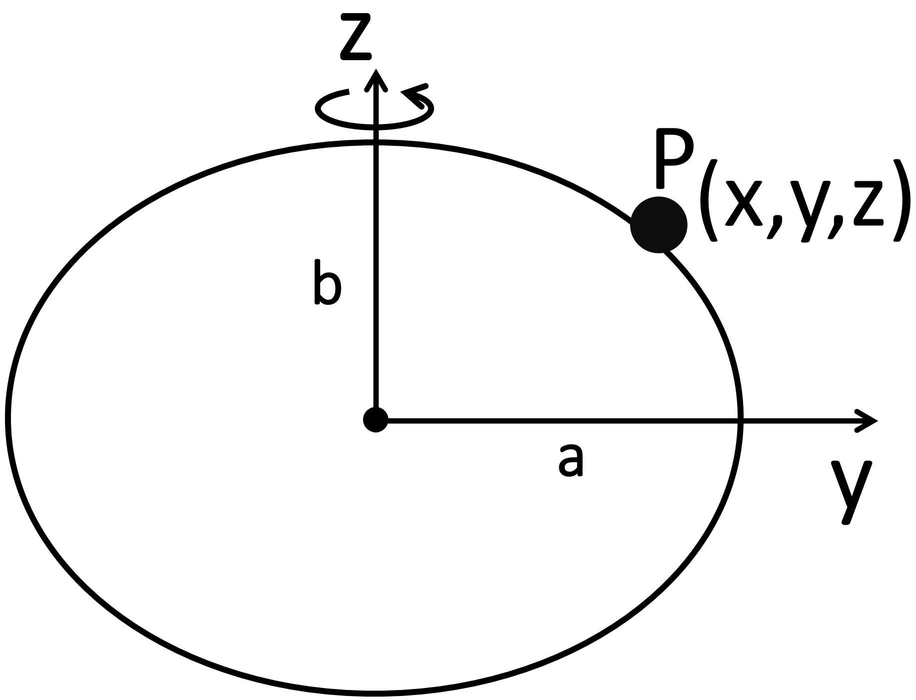
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

$$\widetilde{W}_P = U_P + \Phi_P$$

Terra Normal



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

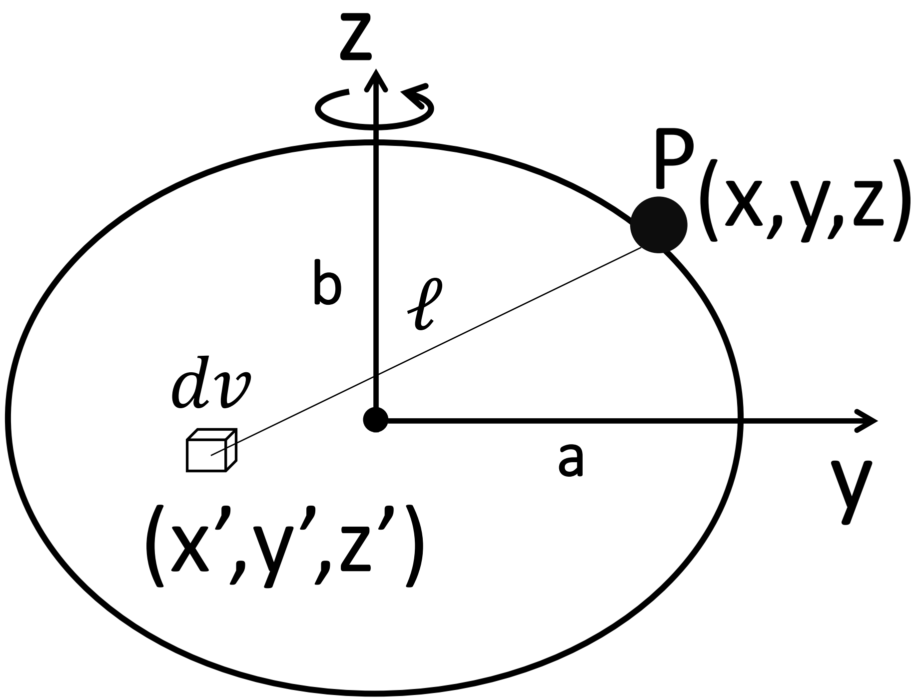
Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

$$\widetilde{W}_P = U_P + \Phi_P$$

$$U_P = \kappa_g \iiint \frac{\tilde{\rho}}{\ell} dv$$

Terra Normal



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

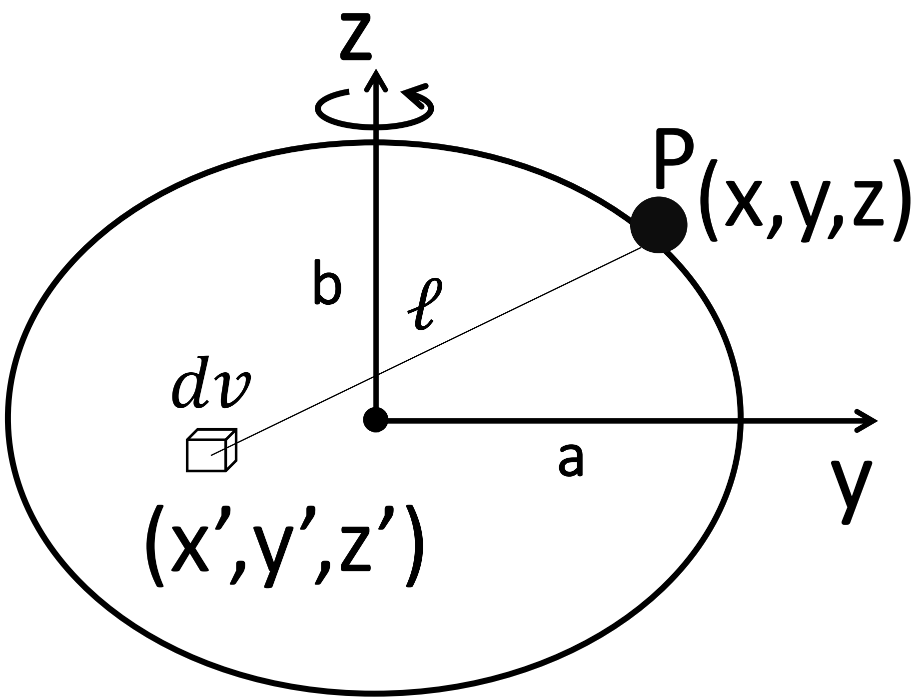
- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

$$\widetilde{W}_P = U_P + \Phi_P$$

$$U_P = \kappa_g \iiint \frac{\tilde{\rho}}{\ell} dv$$

$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

Terra Normal



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos apr
elipsoide

$$V_P = \frac{GM}{r}\left(1 + \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^n \left[C_{nm}R_{nm}(\theta,\lambda) + S_{nm}Q_{nm}(\theta,\lambda)\right]\right)$$

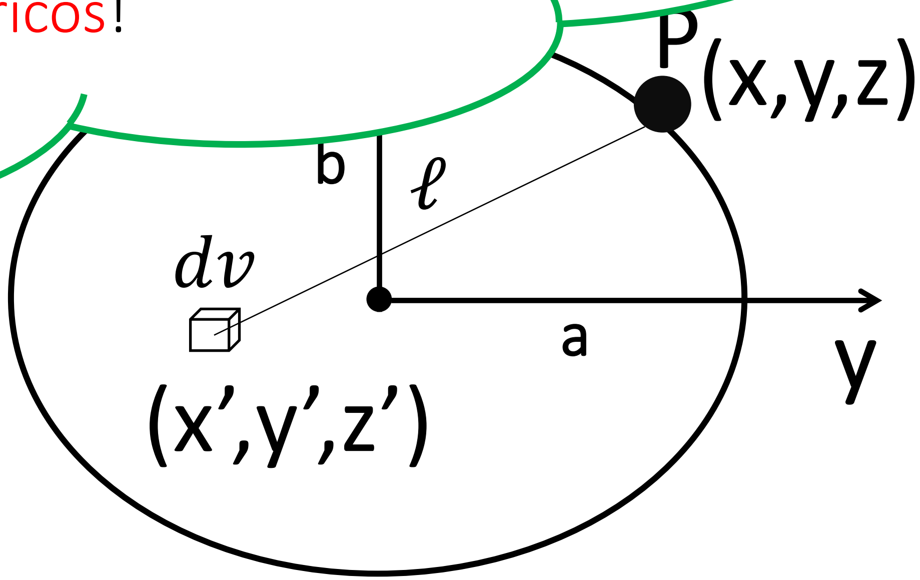
Potencial em harmônicos esféricos!

-
- C
  r
- A m
- Mesma veloci

$$\widetilde{W}_P = U_P + \Phi_P$$

$$U_P = \kappa_g \iiint \frac{\tilde{\rho}}{\ell} dv$$

$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

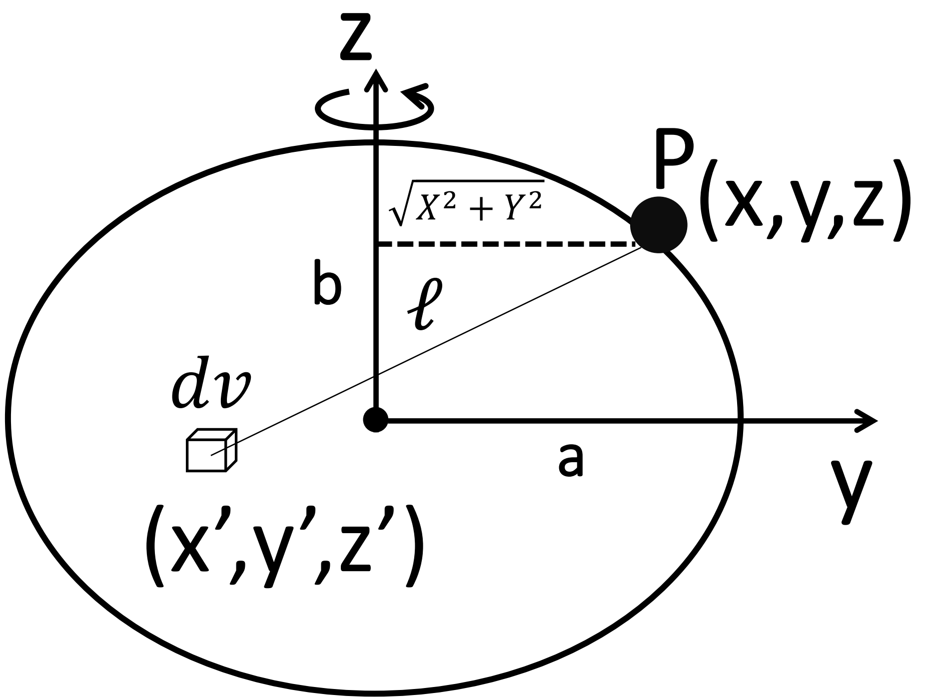
- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

$$\tilde{W}_P = U_P + \Phi_P$$

$$U_P = \kappa_g \iiint \frac{\tilde{\rho}}{\ell} dv \qquad \Phi_P = \frac{10^5}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2)$$

$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

Terra Normal



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

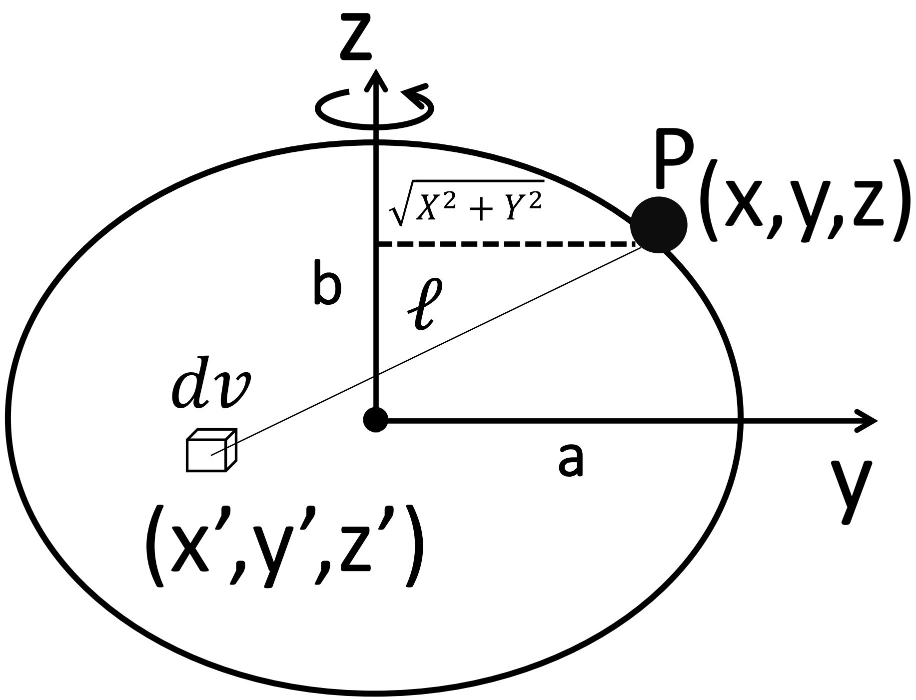
- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

$$\widetilde{\nabla W}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

$$U_P = \kappa_g \iiint \frac{\tilde{\rho}}{\ell} dv \qquad \Phi_P = \frac{10^5}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2)$$

$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

Terra Normal



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

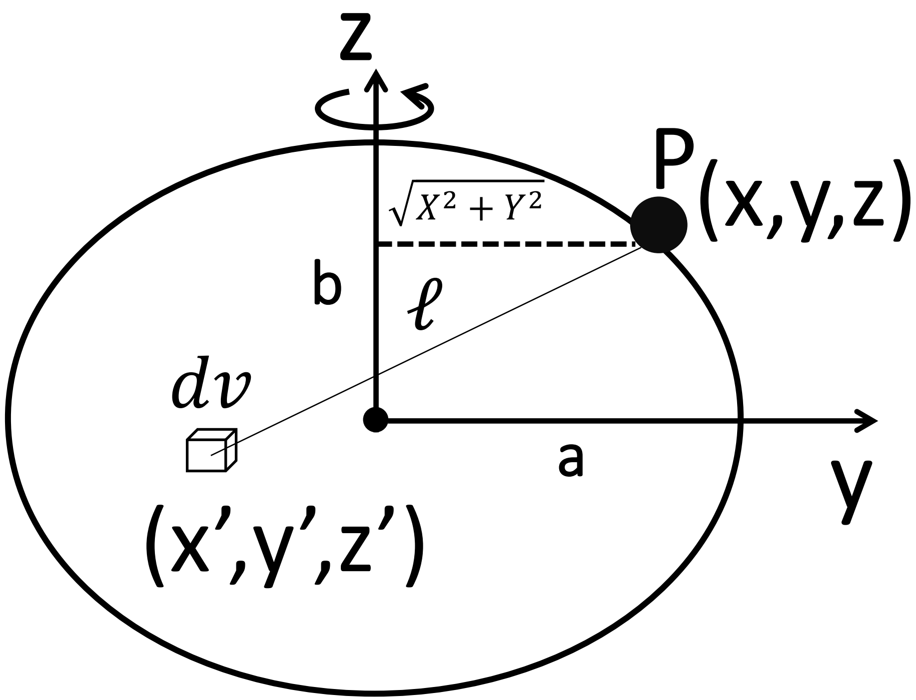
$$\boldsymbol{\gamma}_{\mathrm{P}} = \nabla U_{\mathrm{P}} + \nabla \Phi_{\mathrm{P}}$$

Vetor gravidade normal

$$U_P = \kappa_g \iiint \frac{\tilde{\rho}}{\ell} dv \qquad \Phi_P = \frac{10^5}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2)$$

$$\ell = \sqrt{(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2}$$

Terra Normal



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

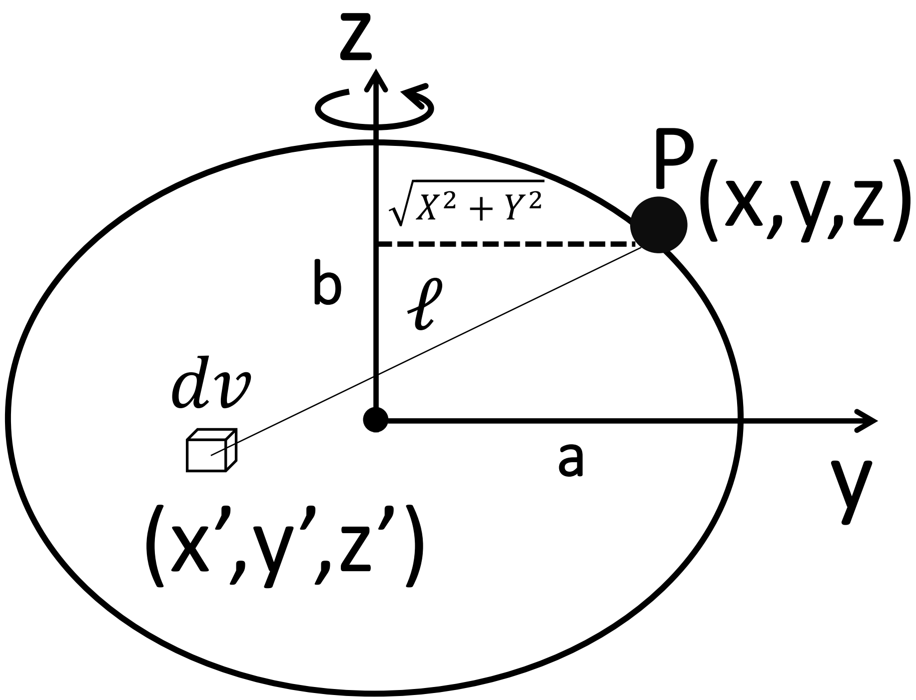
$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

Vetor gravidade normal

$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a \cos^2\varphi + b\gamma_b sen^2\varphi}{\sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2 sen^2\varphi}}$$

Somigliana de 1929

Terra Normal

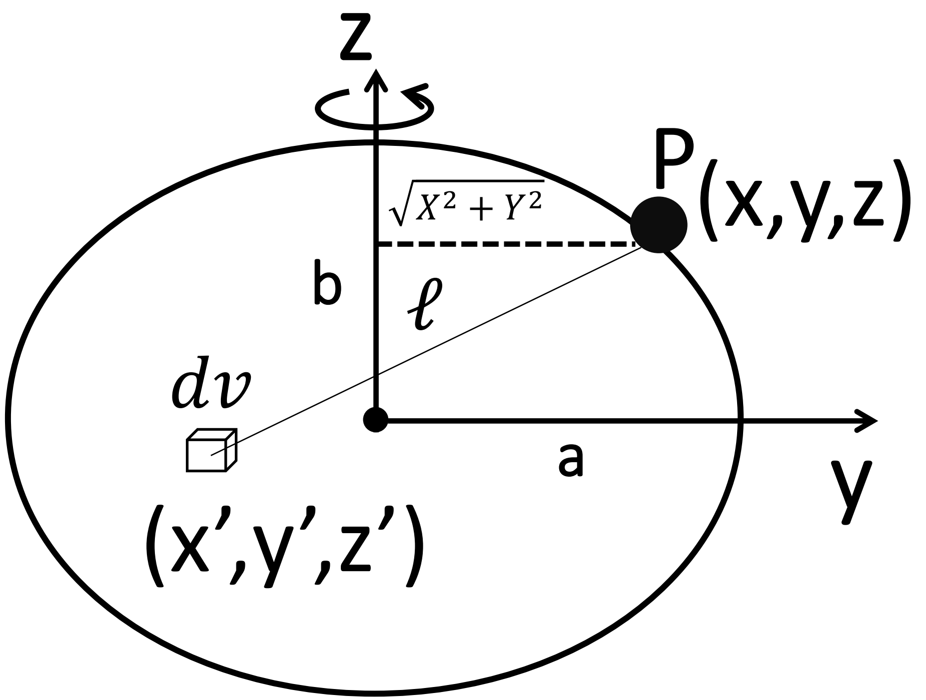


(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

Terra Normal



$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

Vetor gravidade normal

$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a \cos^2\varphi + b\gamma_b sen^2\varphi}{\sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2 sen^2\varphi}}$$

Somigliana de 1929

O gravidade normal, que é o módulo do vetor gravidade normal, pode ser calculado pela fórmula Somigliana de1929 (calculado sobre a superfície do elipsoide)

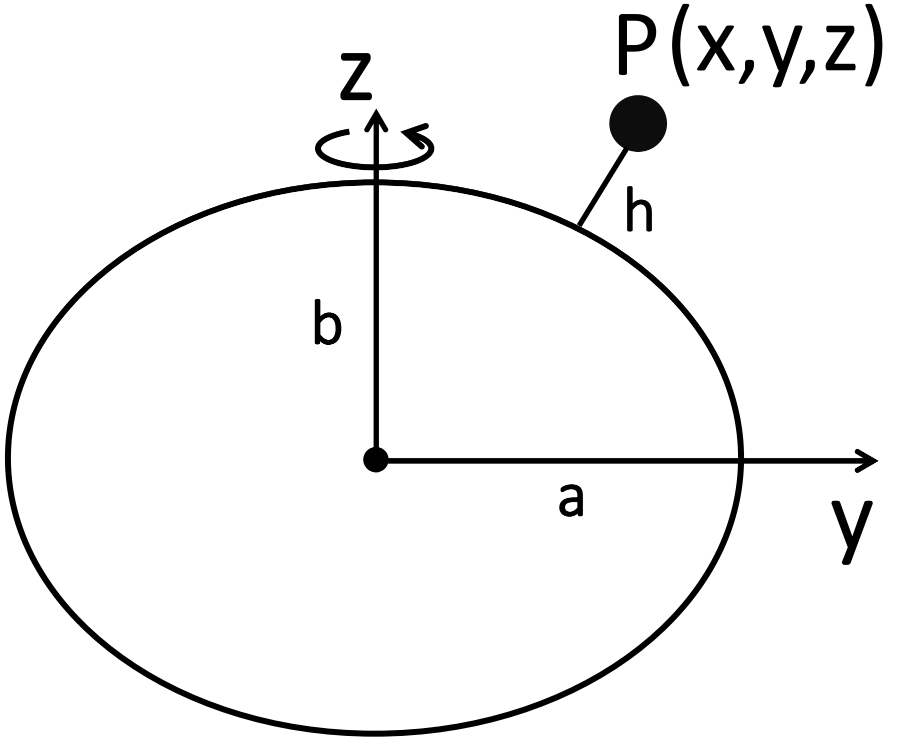
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

Contudo,existe uma solução analítica para o cálculo da gravidade normal acima ou abaixo da superfície do elipsoide! → Li and Gotze (2001)

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

Terra Normal



$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

Vetor gravidade normal

$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a cos^2\varphi + b\gamma_b sen^2\varphi}{\sqrt{a^2cos^2\varphi + b^2sen^2\varphi}}$$

Somigliana de 1929

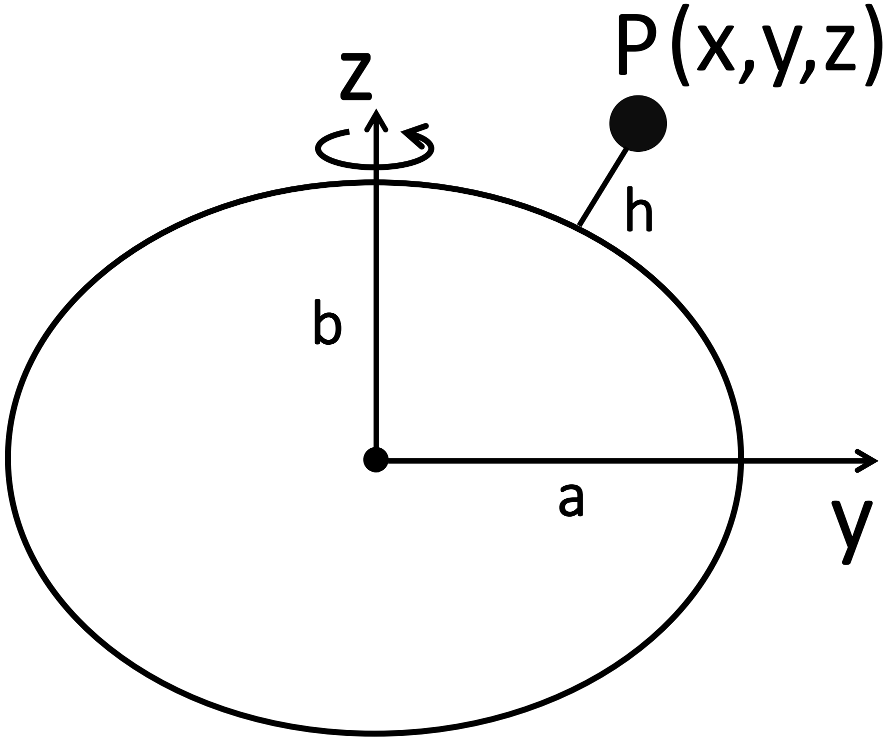
O gravidade normal, que é o módulo do vetor gravidade normal, pode ser calculado pela fórmula Somigliana de1929 (calculado sobre a superfície do elipsoide)

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

World Geodetic System de 1984
(WGS 84)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.



$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

Vetor gravidade normal

$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a cos^2\varphi + b\gamma_b sen^2\varphi}{\sqrt{a^2cos^2\varphi + b^2sen^2\varphi}}$$

Somigliana de 1929

O gravidade normal, que é o módulo do vetor gravidade normal, pode ser calculado pela fórmula Somigliana de1929 (calculado sobre a superfície do elipsoide)

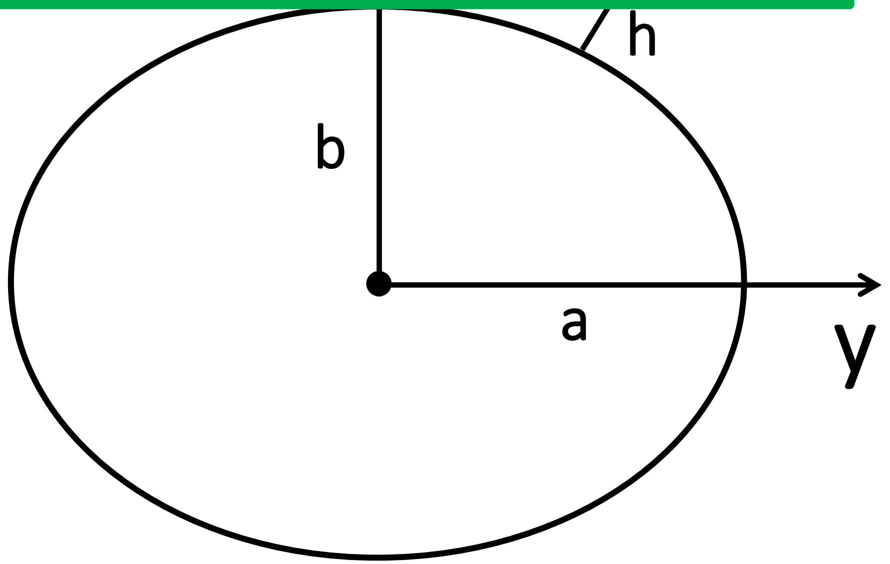
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

World Geodetic System de 1984
(WGS 84)

a = 6378137,0 m
f = 1/298,25722
GM = 3986004.418 $.10^8$ m³/s²
ω = 7292115. 10^{-11} rad/s



$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

Vetor gravidade normal

$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a cos^2\varphi + b\gamma_b sen^2\varphi}{\sqrt{a^2cos^2\varphi + b^2sen^2\varphi}}$$

Somigliana de 1929

O gravidade normal, que é o módulo do vetor gravidade normal, pode ser calculado pela fórmula Somigliana de1929 (calculado sobre a superfície do elipsoide)

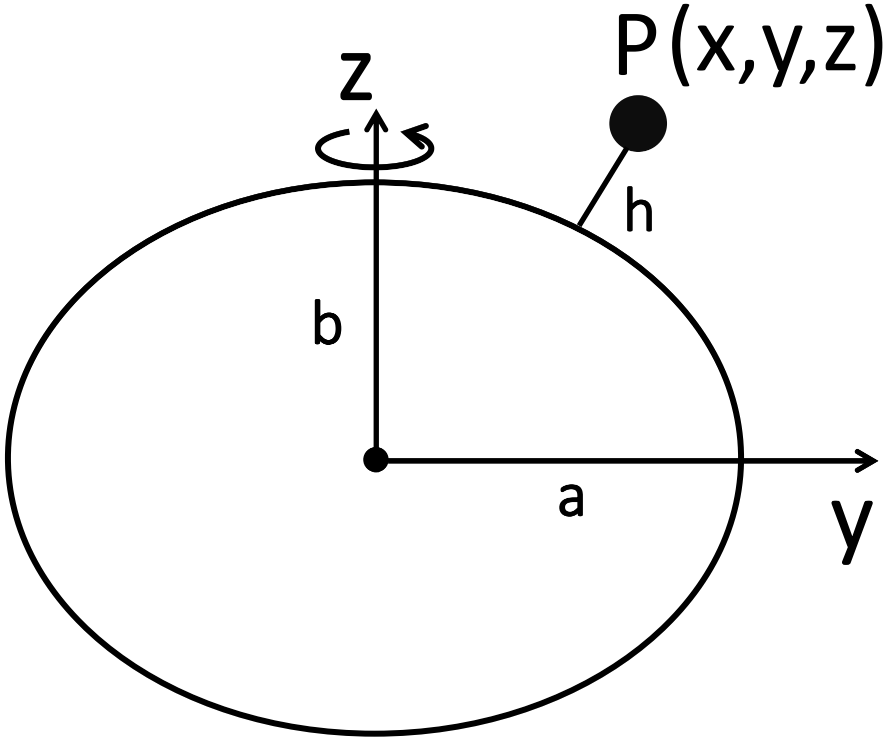
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

World Geodetic System de 1984
(WGS 84)

Sistema de Referência Geocêntrico
das Américas (SIRGAS 2000)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.



$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

Vetor gravidade normal

$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a cos^2\varphi + b\gamma_b sen^2\varphi}{\sqrt{a^2cos^2\varphi + b^2sen^2\varphi}}$$

Somigliana de 1929

O gravidade normal, que é o módulo do vetor gravidade normal, pode ser calculado pela fórmula Somigliana de1929 (calculado sobre a superfície do elipsoide)

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

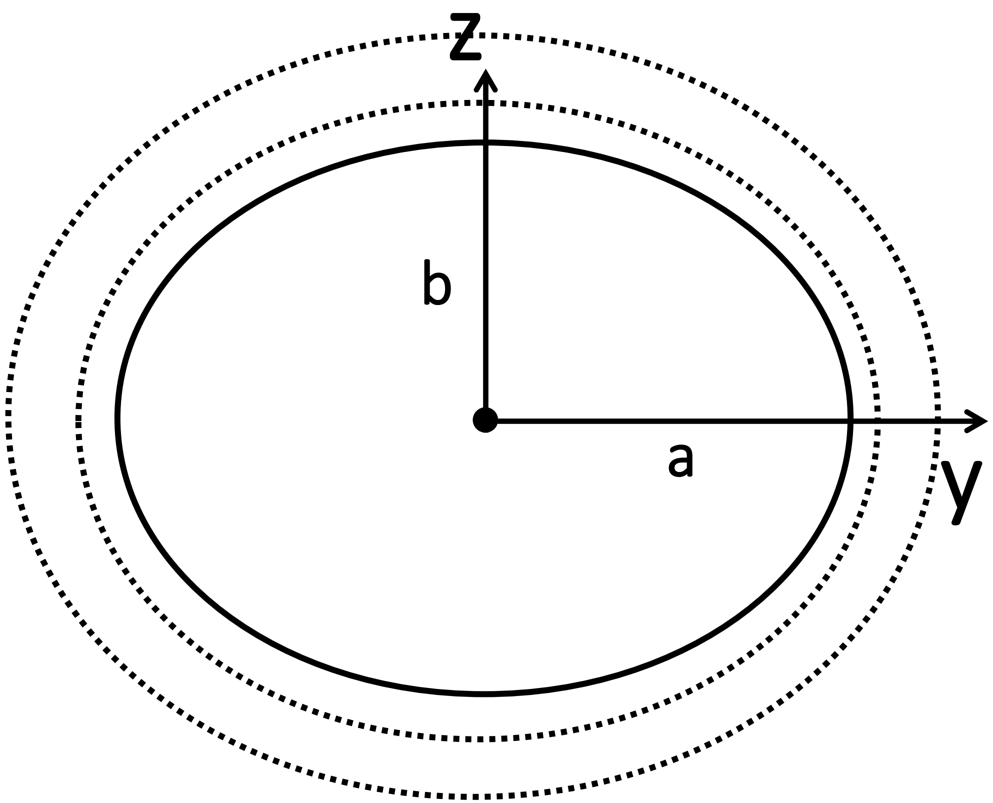
$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

Vetor gravidade normal

$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a cos^2\varphi + b\gamma_b sen^2\varphi}{\sqrt{a^2cos^2\varphi + b^2sen^2\varphi}}$$

Somigliana de 1929

Analogamente a Terra real, a terra normal possui equipotenciais



(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Podemos aproximar a terra por um elipsoide de revolução que possui:

- Origem no centro de massa da terra;
- O semieixo menor b coincide com o eixo de rotação da terra;
- A mesma massa da terra;
- Mesma velocidade de rotação.

$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \nabla \Phi_P$$

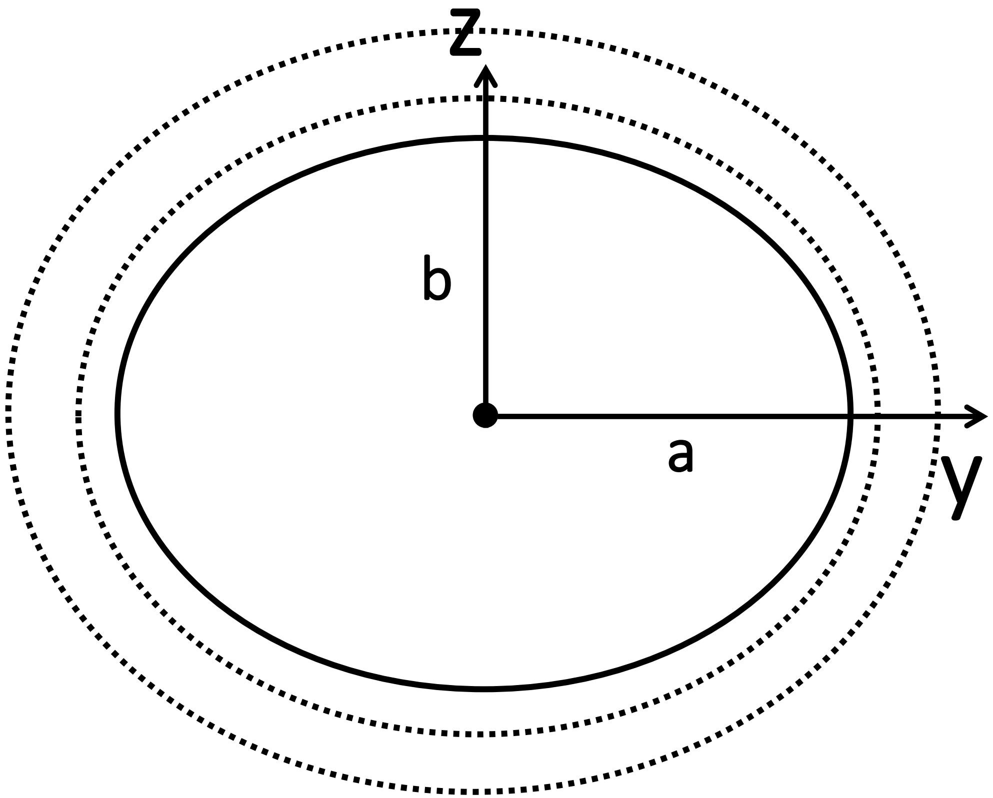
Vetor gravidade normal

$$\gamma = \frac{a\,\gamma_a \cos^2\varphi + b\gamma_b sen^2\varphi}{\sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2 sen^2\varphi}}$$

Somigliana de 1929

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Analogamente a Terra real, a terra normal possui equipotenciais

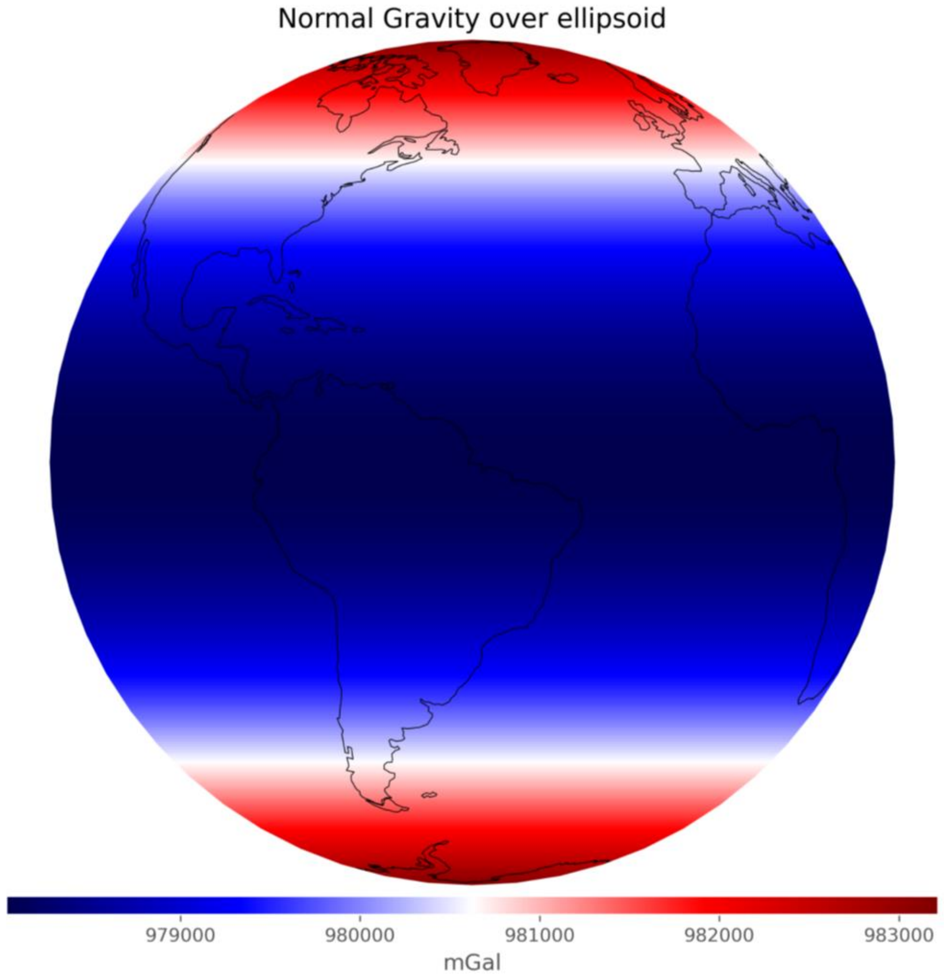


As equipotenciais são chamadas **esferopes**

Elipsoide de Referência
WGS84

≈ 0,5 graus

$$|\boldsymbol{\gamma}_P| = |\nabla U_P| + |\nabla \Phi_P|$$

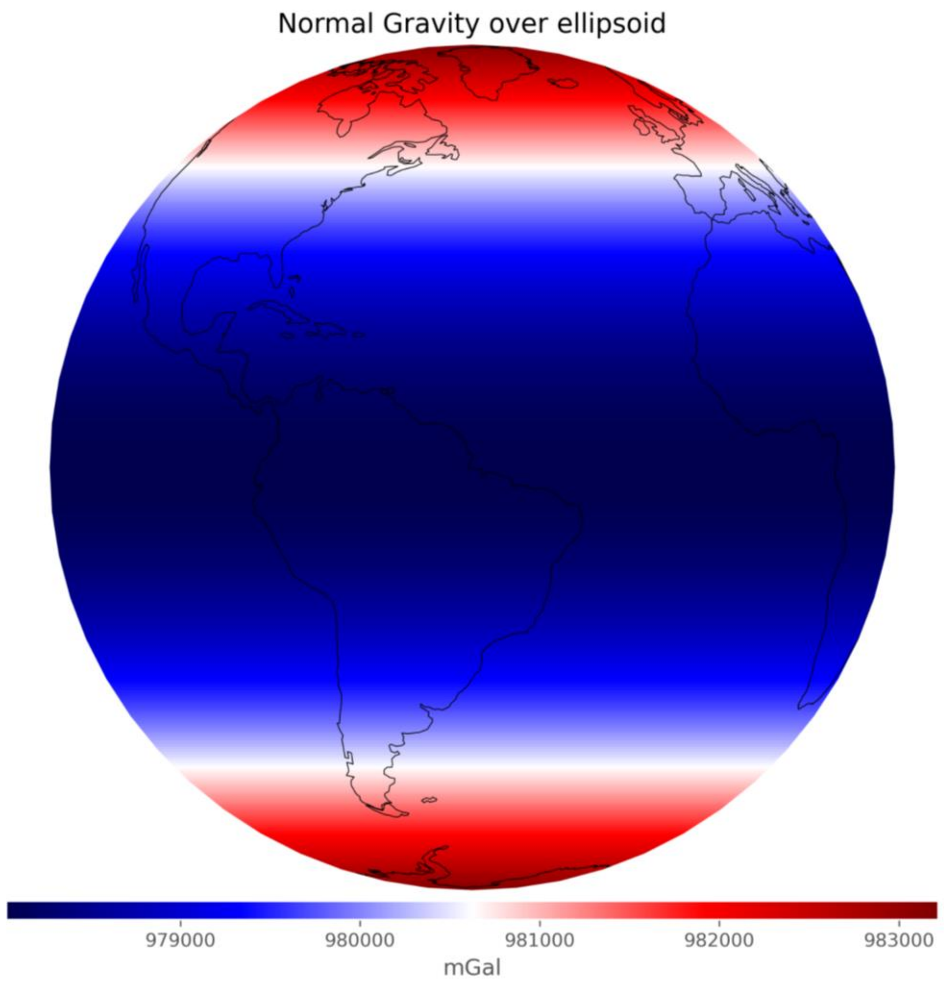


Sobre o elipsoide

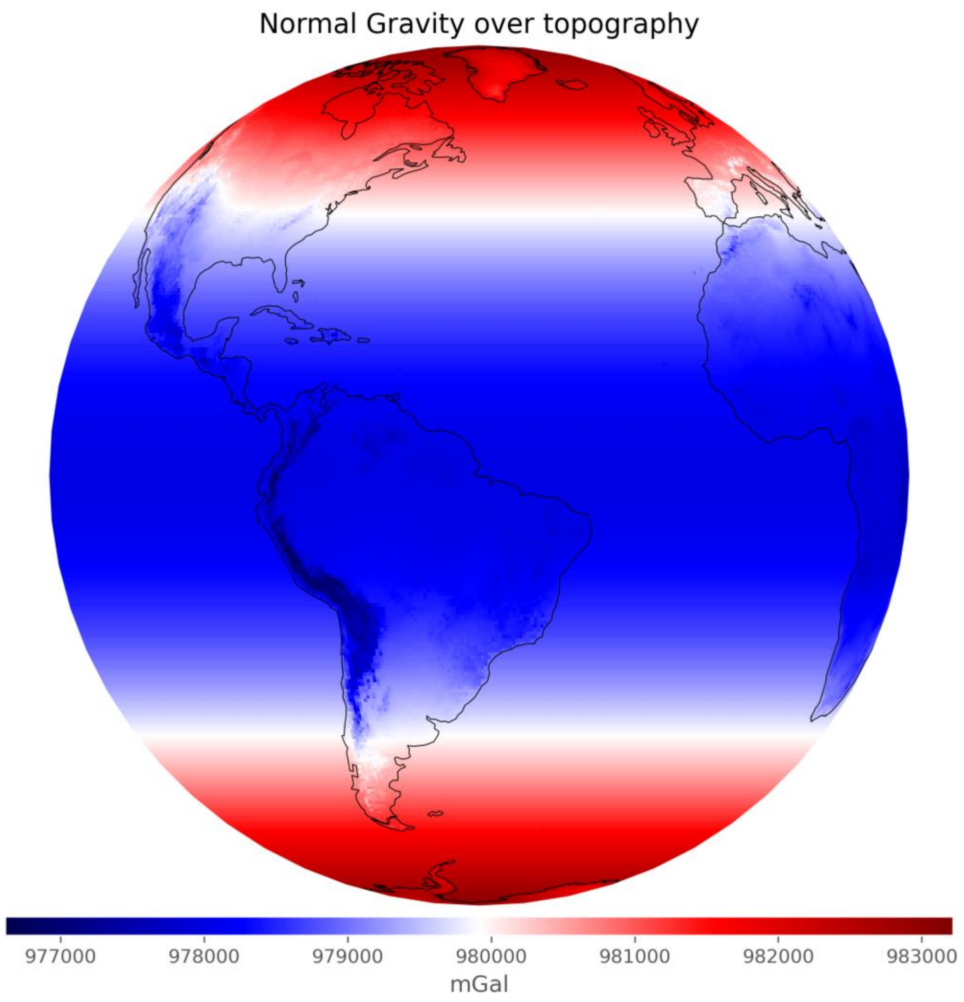
Elipsoide de Referência
WGS84

≈ 0,5 graus

$$|\boldsymbol{\gamma}_P| = |\nabla U_P| + |\nabla \Phi_P|$$



Sobre o elipsoide

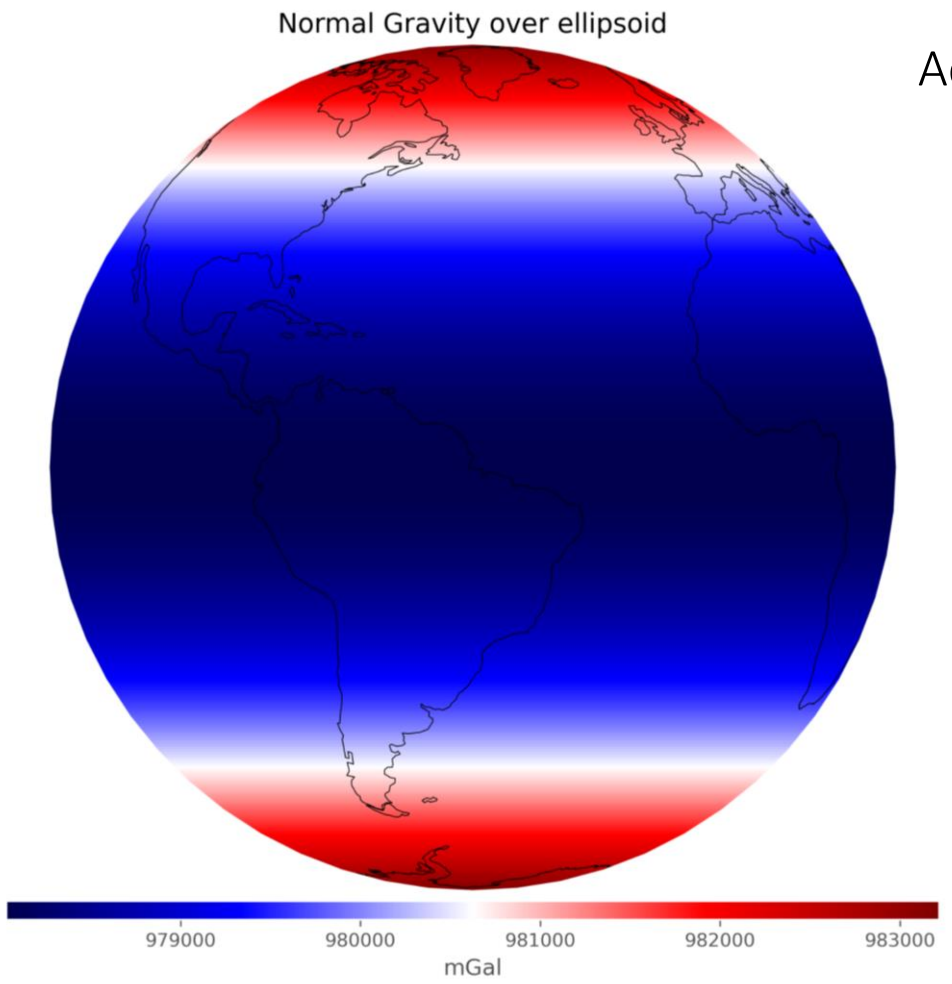


Sobre a superfície

Elipsoide de Referência
WGS84

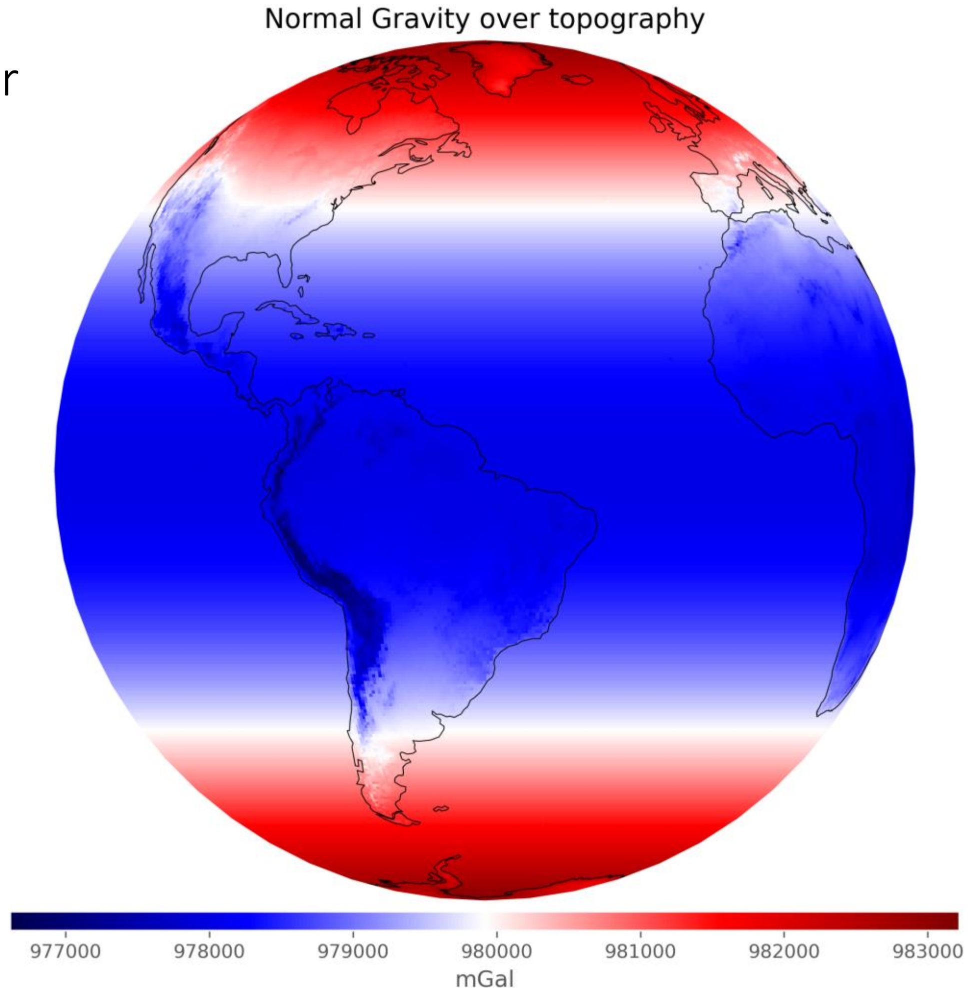
≈ 0,5 graus

$$|\boldsymbol{\gamma}_P| = |\nabla U_P| + |\nabla \Phi_P|$$



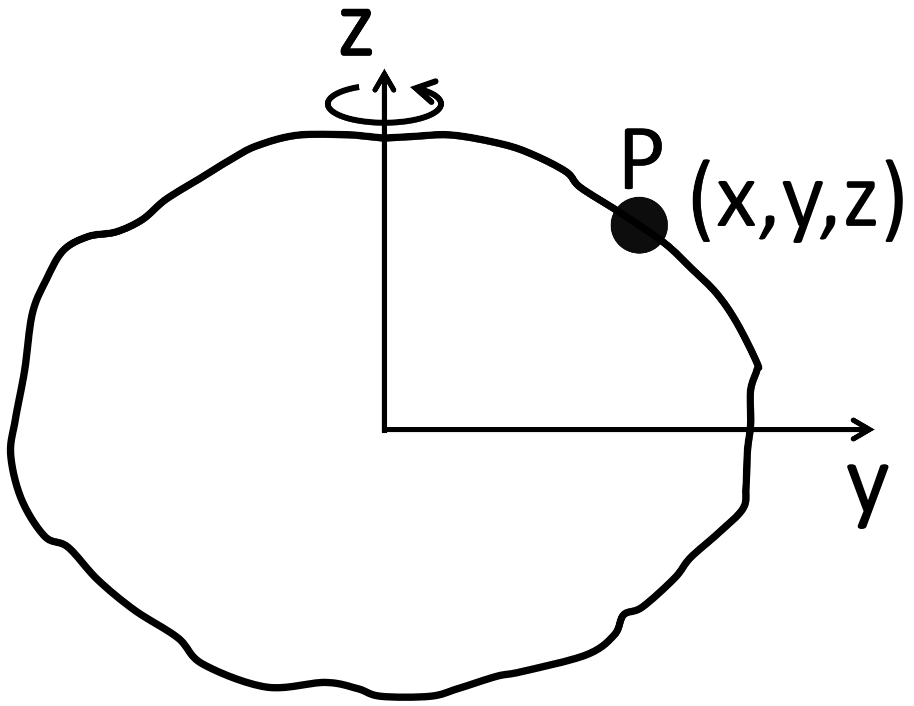
Sobre o elipsoide

Acabamos de descrever
a Terra Normal!

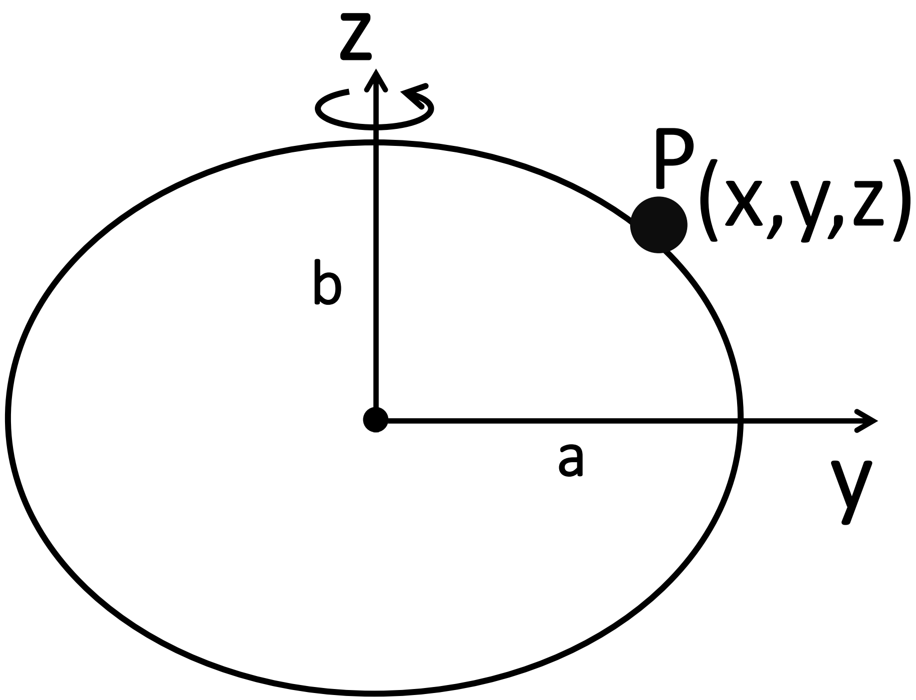


Sobre a superfície

Distúrbio de gravidade



Terra real

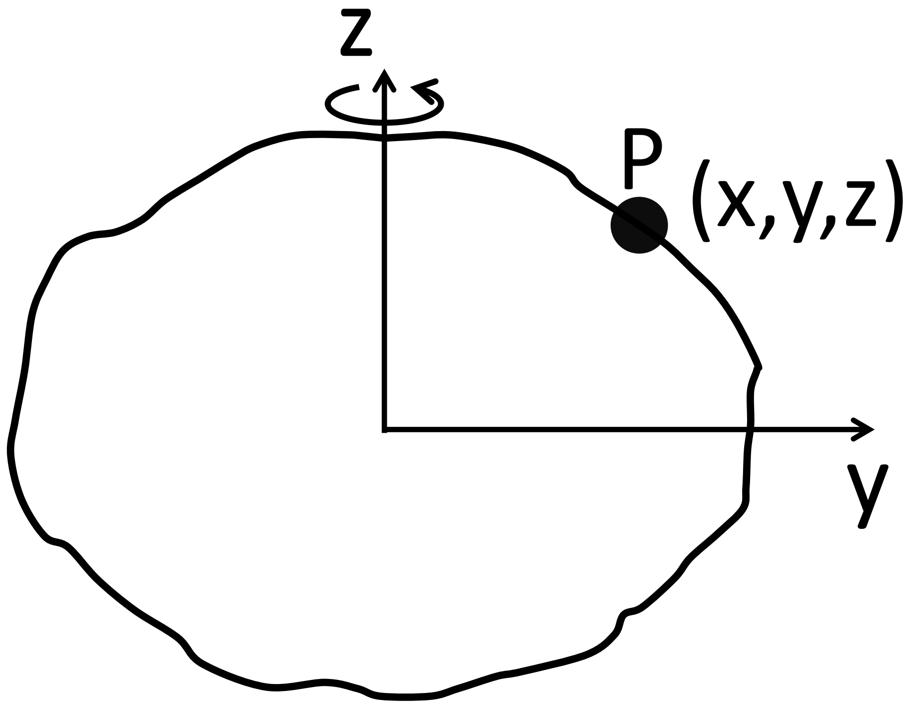


Terra Normal

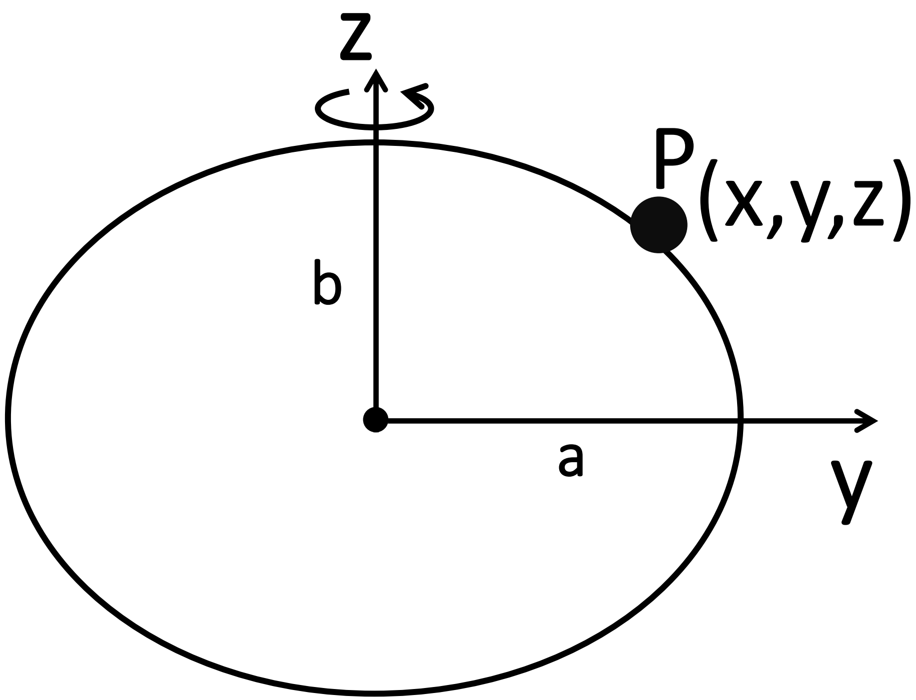
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Vetor
gravidade

$$\mathbf{g}_P = \nabla V_P + \nabla \Phi_P$$



Terra real

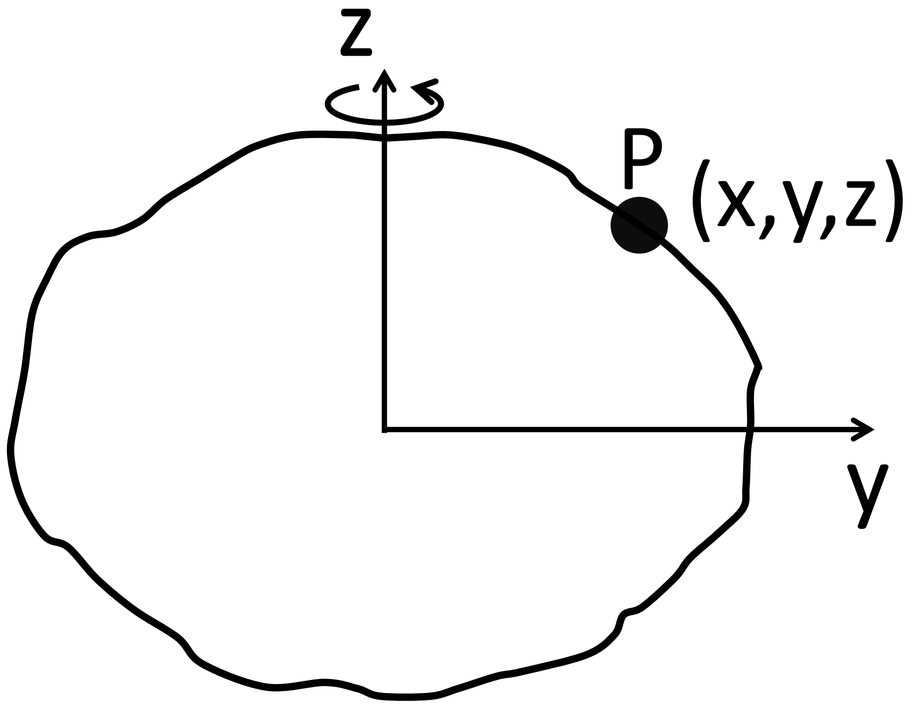


Terra Normal

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Vetor gravidade

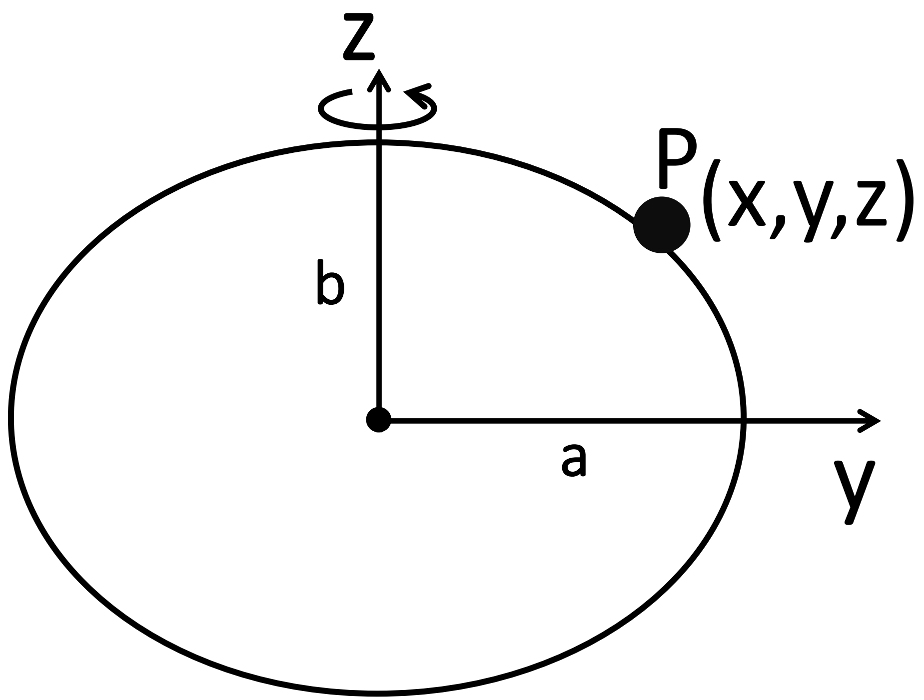
$$\mathbf{g}_P = \nabla V_P + \nabla \Phi_P$$



Terra real

Vetor gravidade normal

$$\boldsymbol{\gamma}_{\mathrm{P}} = \nabla \mathrm{U}_{\mathrm{P}} + \nabla \Phi_{\mathrm{P}}$$



Terra Normal

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

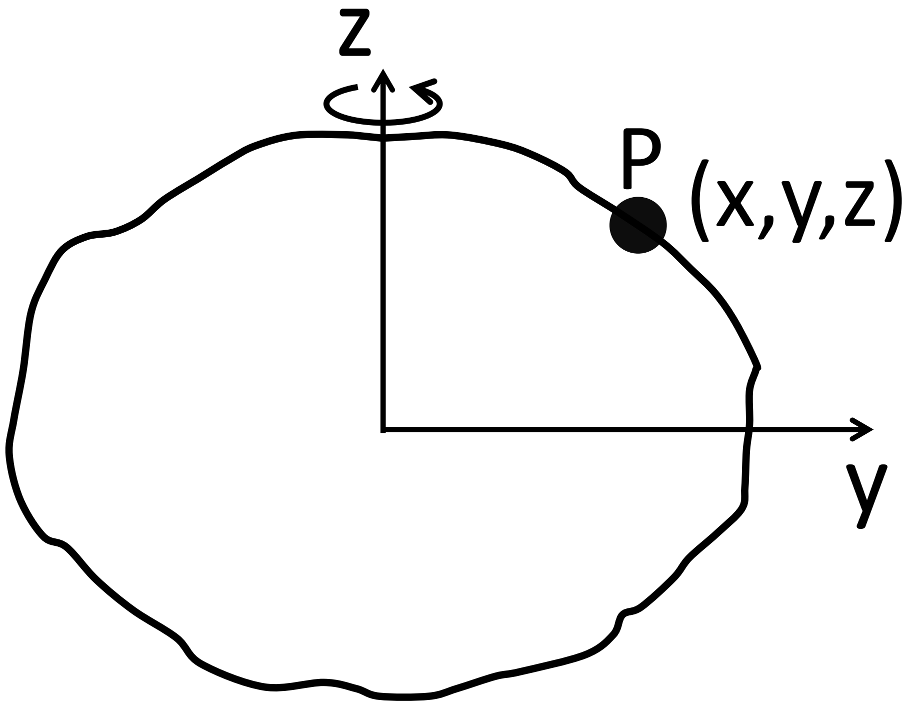
Vetor gravidade

$$\mathbf{g}_P = \nabla V_P + \nabla \Phi_P$$

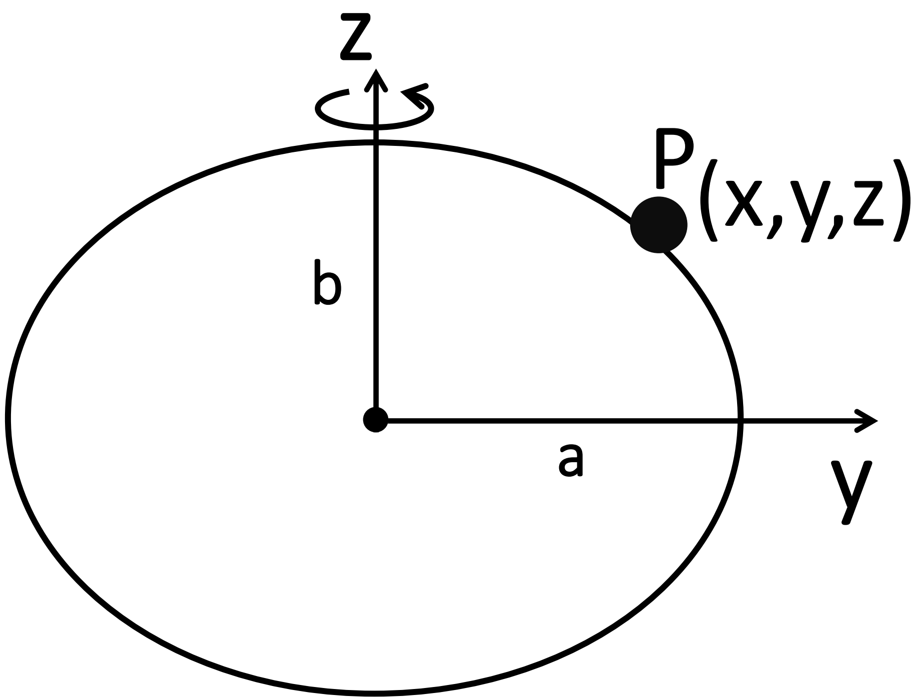
A velocidade de rotação é a mesma!

Vetor gravidade normal

$$\boldsymbol{\gamma}_\mathrm{P} = \nabla \mathrm{U}_\mathrm{P} + \nabla \Phi_\mathrm{P}$$



Terra real



Terra Normal

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

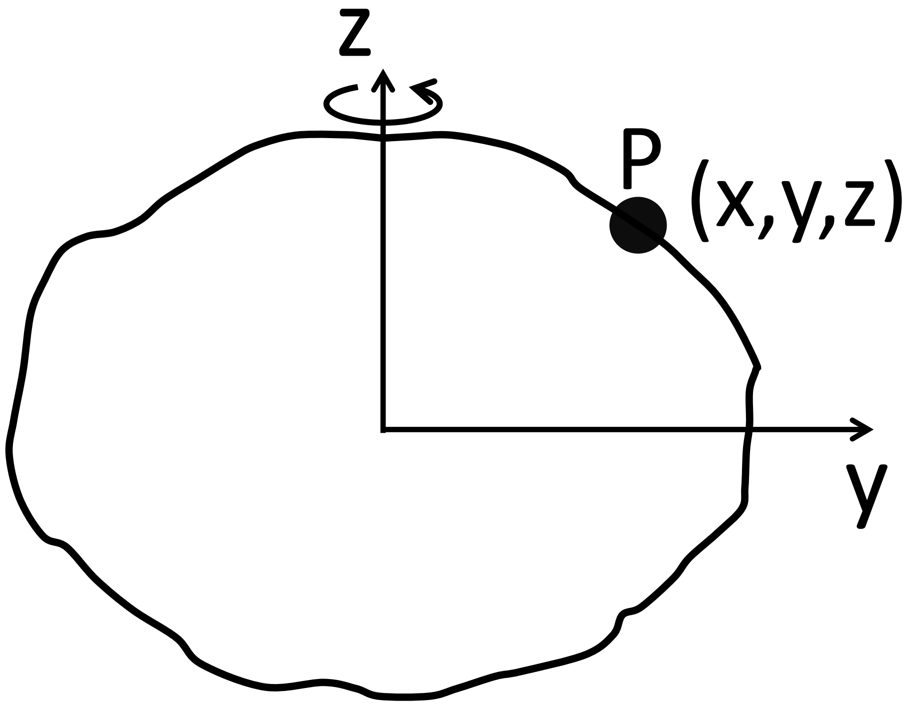
Vetor gravidade

$$\mathbf{g}_P = \nabla V_P + \cancel{\nabla \Phi_P}$$

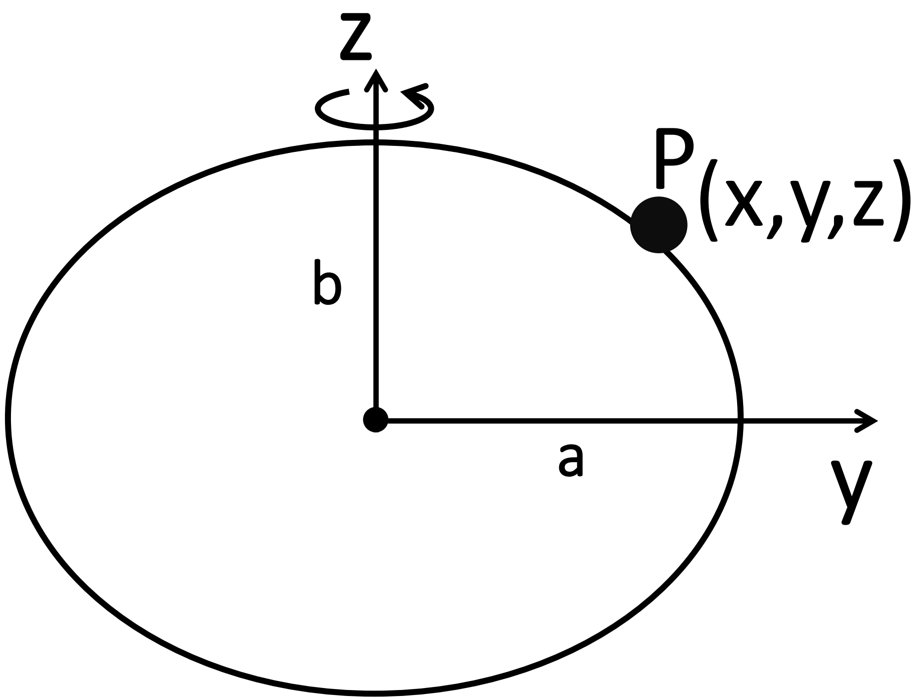
Caso a gravidade e a gravidade normal sejam calculadas no mesmo ponto P!

Vetor gravidade normal

$$\boldsymbol{\gamma}_\mathrm{P} = \nabla \mathrm{U}_\mathrm{P} + \cancel{\nabla \Phi_\mathrm{P}}$$



Terra real



Terra Normal

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Vetor gravidade

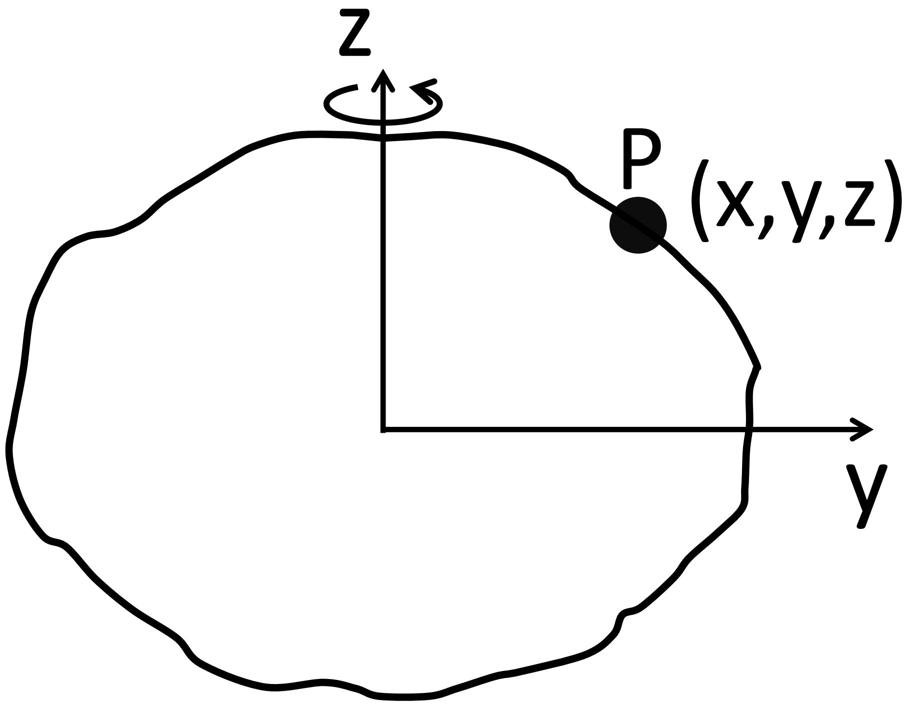
$$\mathbf{g}_P = \nabla V_P + \cancel{\nabla \Phi_P}$$

Vetor distúrbio de gravidade

$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$

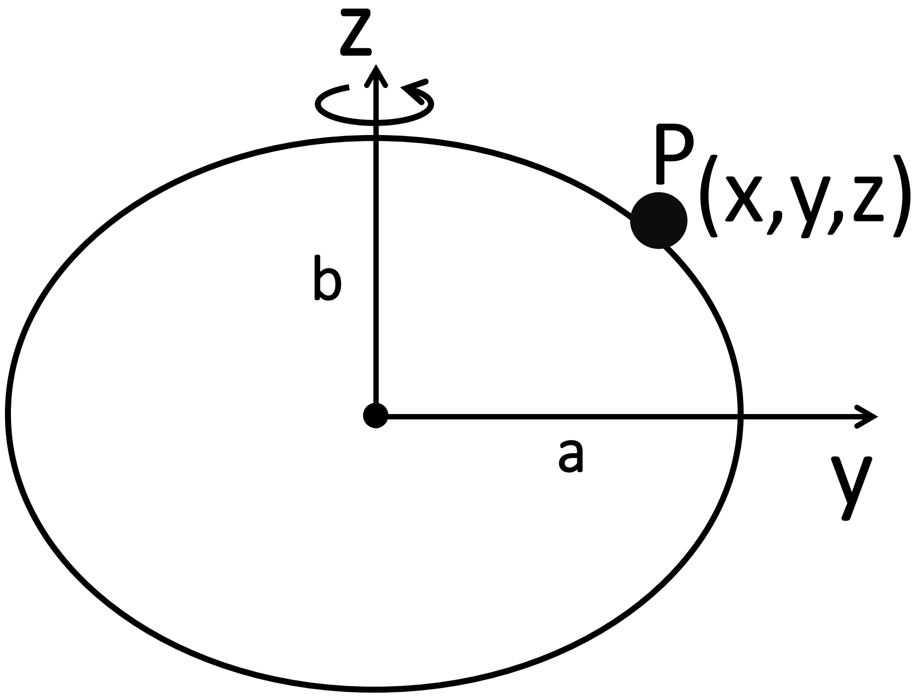
Vetor gravidade normal

$$\boldsymbol{\gamma}_P = \nabla U_P + \cancel{\nabla \Phi_P}$$



Terra real

Distúrbio de gravidade



Terra Normal

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Vetor gravidade

$$\mathbf{g}_P = \nabla V_P + \cancel{\nabla \Phi_P}$$

Vetor distúrbio de gravidade

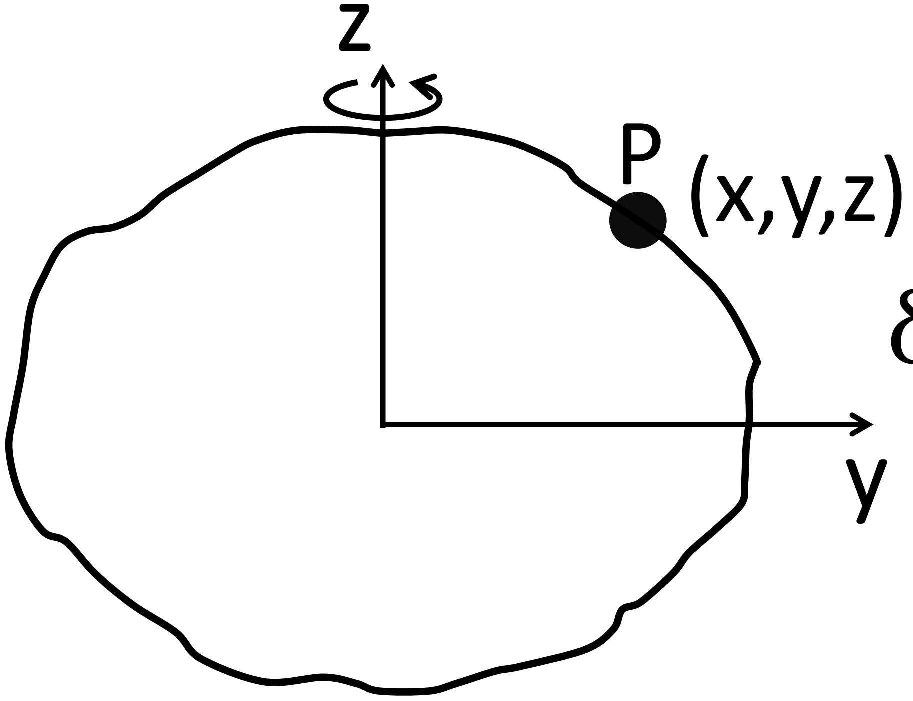
$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$

Vetor gravidade normal

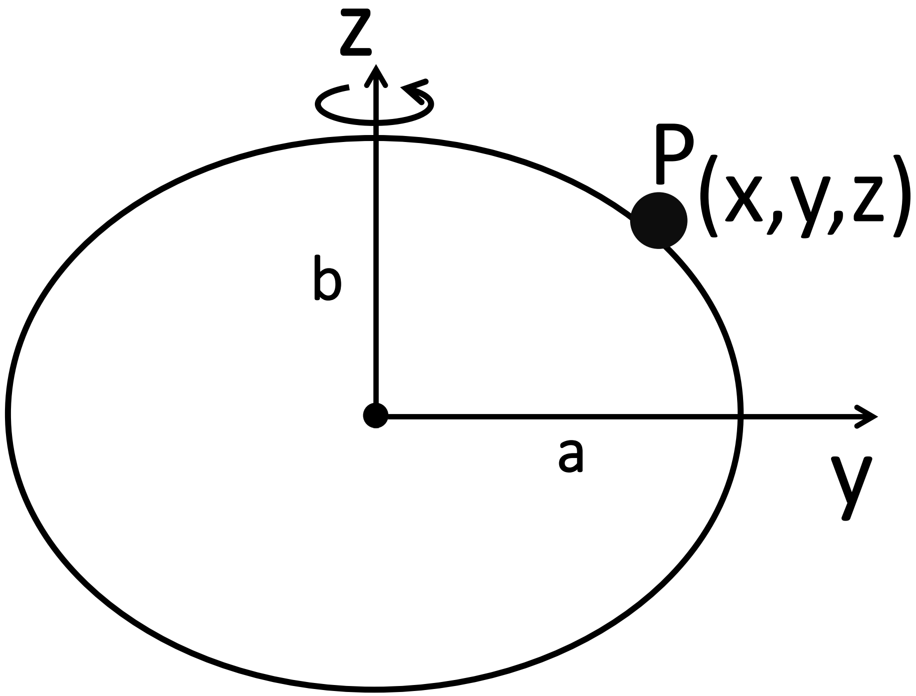
$$\boldsymbol{\gamma}_\mathrm{P} = \nabla \mathrm{U}_\mathrm{P} + \cancel{\nabla \Phi_\mathrm{P}}$$

Distúrbio de gravidade

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$



Terra real



Terra Normal

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Vetor gravidade

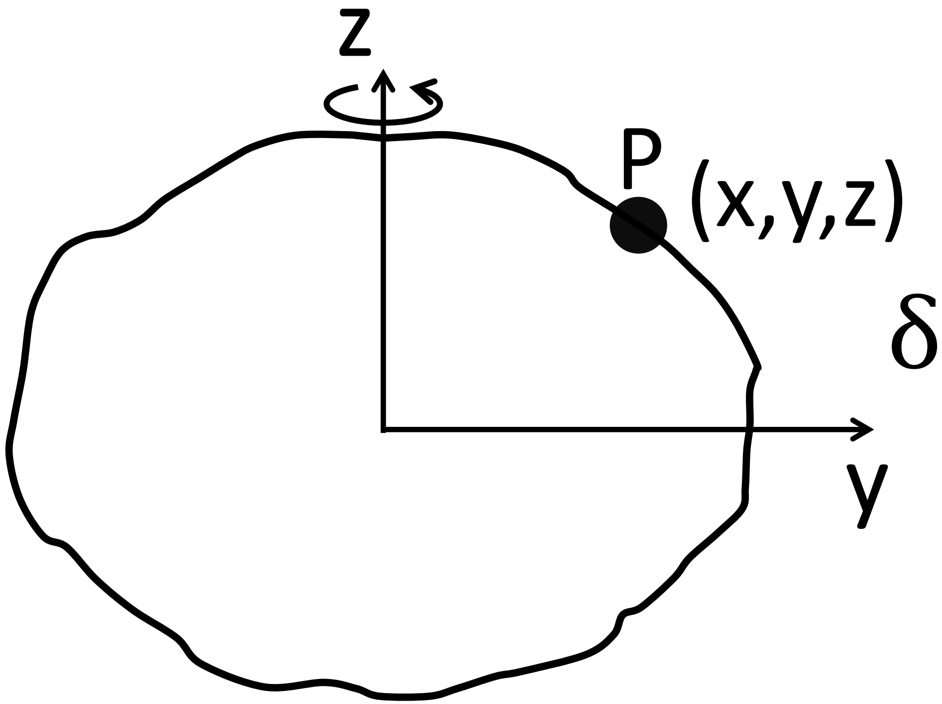
$$\mathbf{g}_P = \nabla V_P + \cancel{\nabla \Phi_P}$$

Vetor distúrbio de gravidade

$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$

Vetor gravidade normal

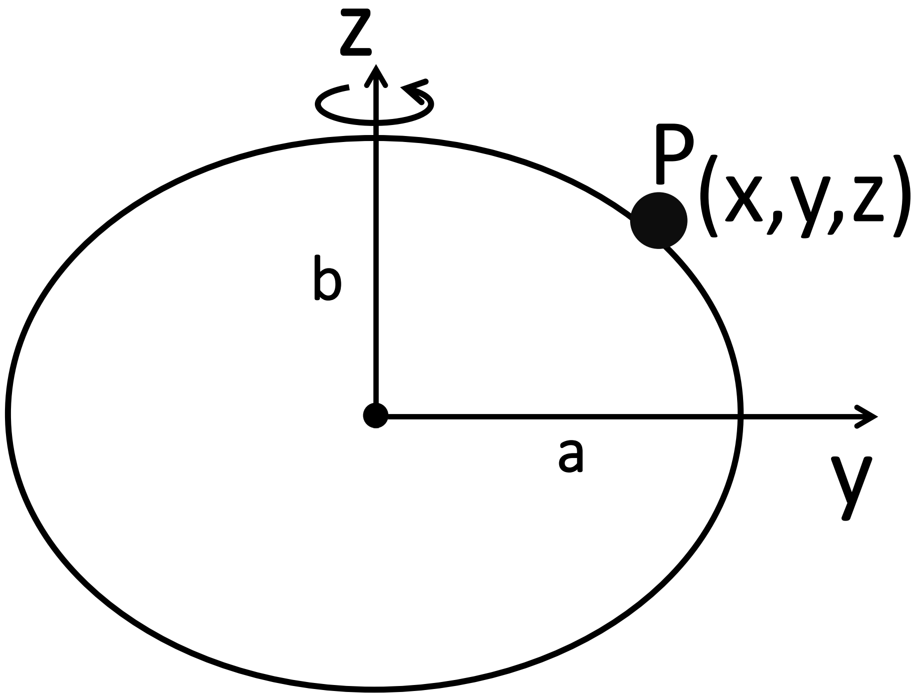
$$\boldsymbol{\gamma}_\mathrm{P} = \nabla \mathrm{U}_\mathrm{P} + \cancel{\nabla \Phi_\mathrm{P}}$$



Terra real

Distúrbio de gravidade

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$



Terra Normal

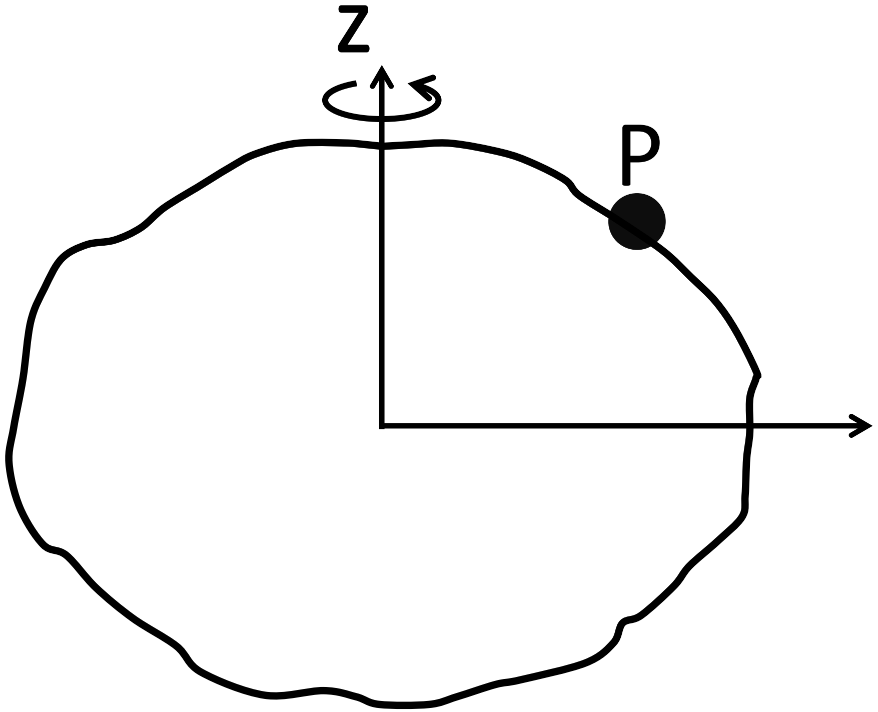
Como a gente consegue ter o controle da posição do ponto P?

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Como definir isso na prática?

Vetor distúrbio
de gravidade

$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$



Distúrbio de
gravidade

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

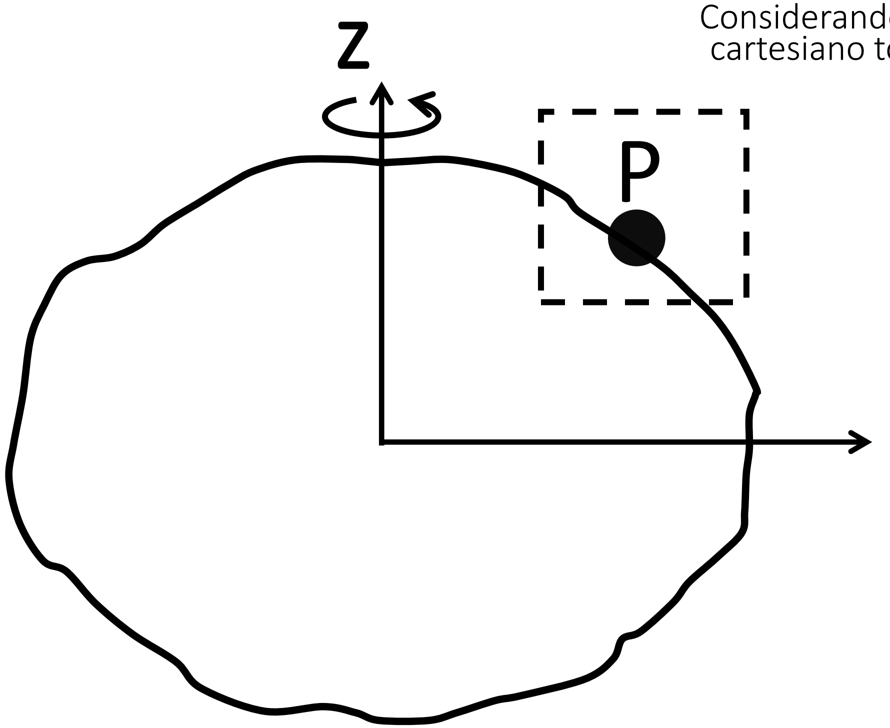
Como definir isto na prática?

Como definir isto na prática?

Vetor distúrbio de gravidade

$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$

Considerando um sistema cartesiano topocêntrico.



Distúrbio de gravidade

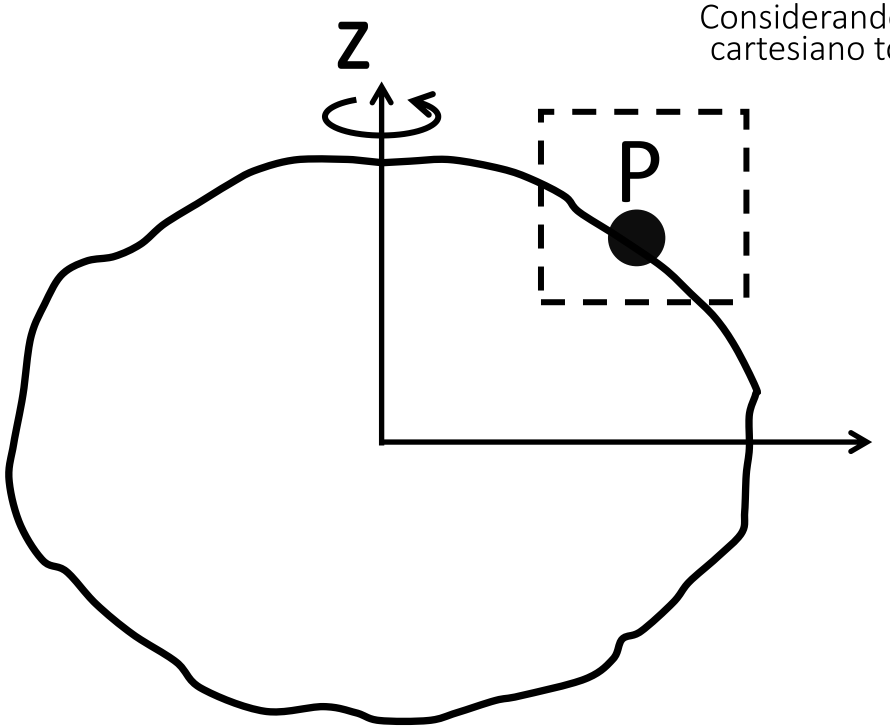
$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Vetor distúrbio de gravidade

$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$

Considerando um sistema cartesiano topocêntrico.

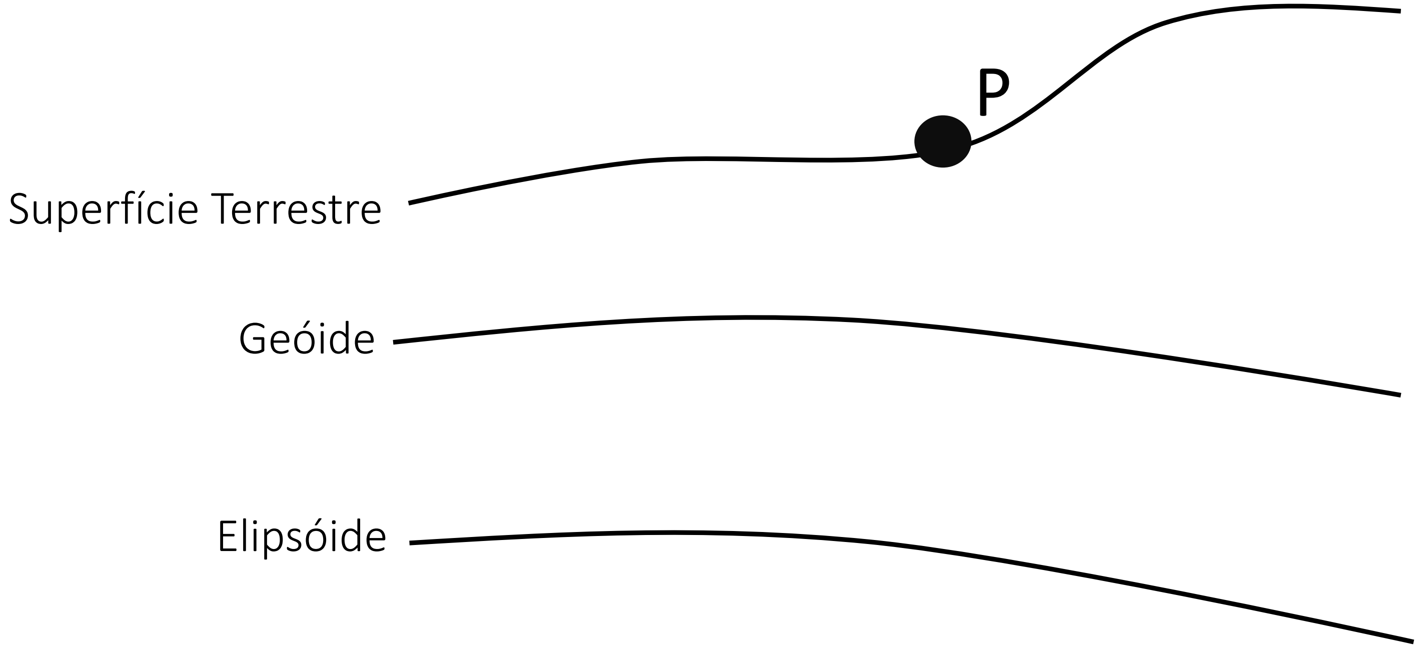


Distúrbio de gravidade

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Como definir isto na prática?

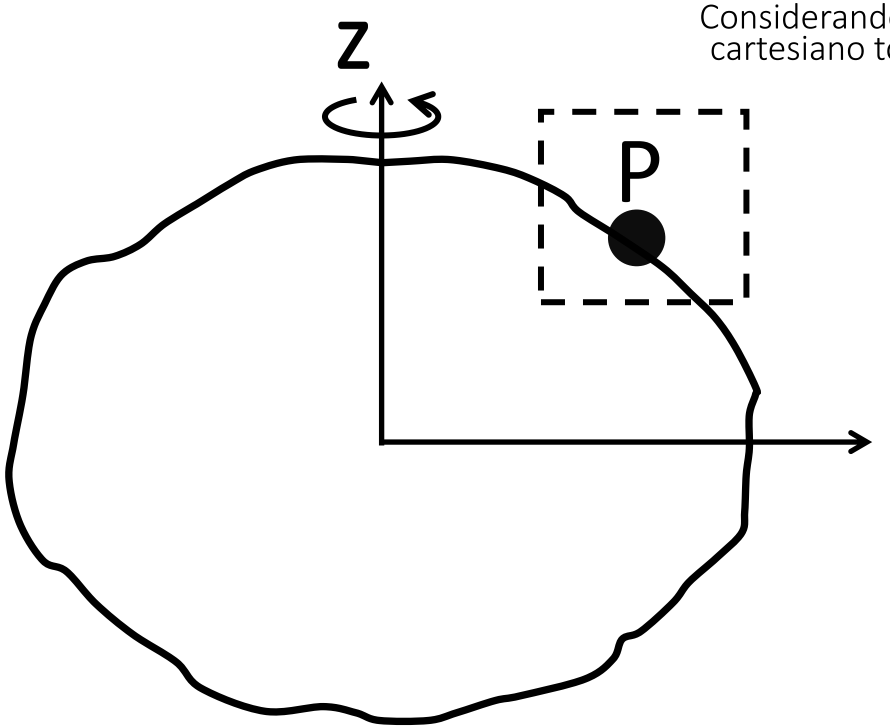


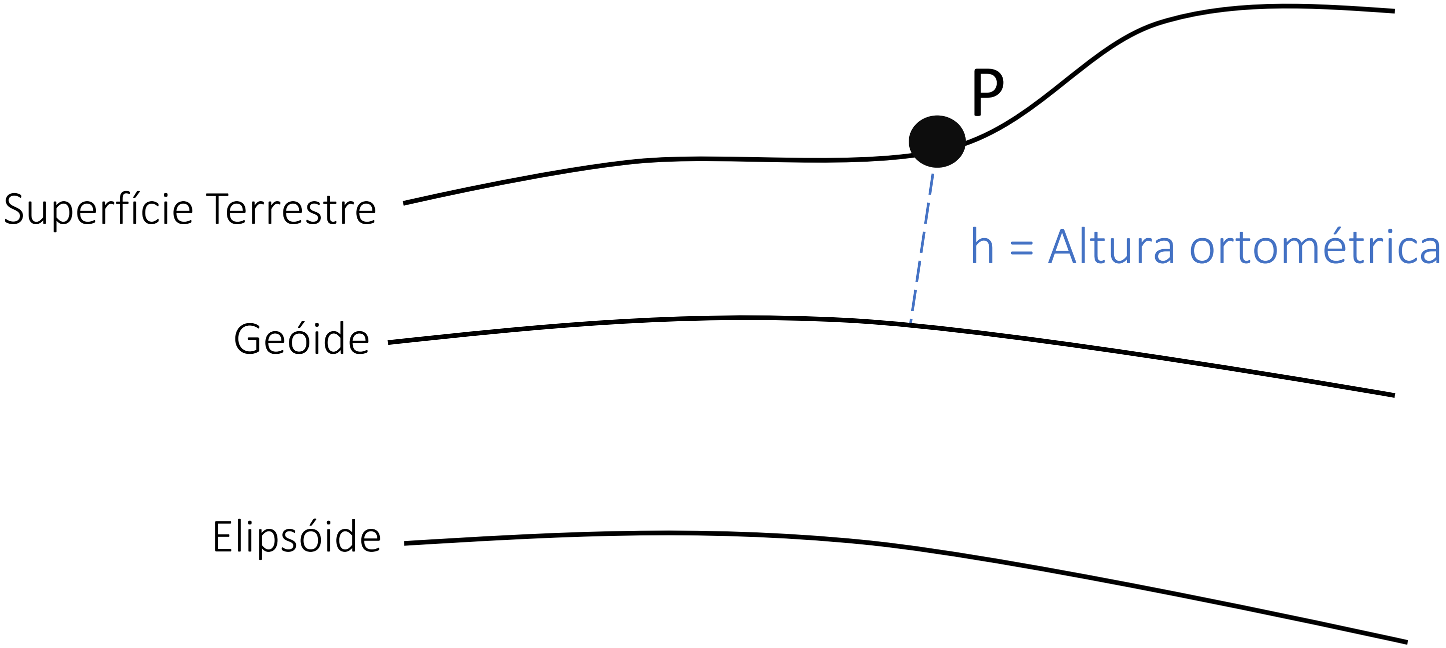
Como definir isto na prática?

Vetor distúrbio de gravidade

$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$

Considerando um sistema cartesiano topocêntrico.





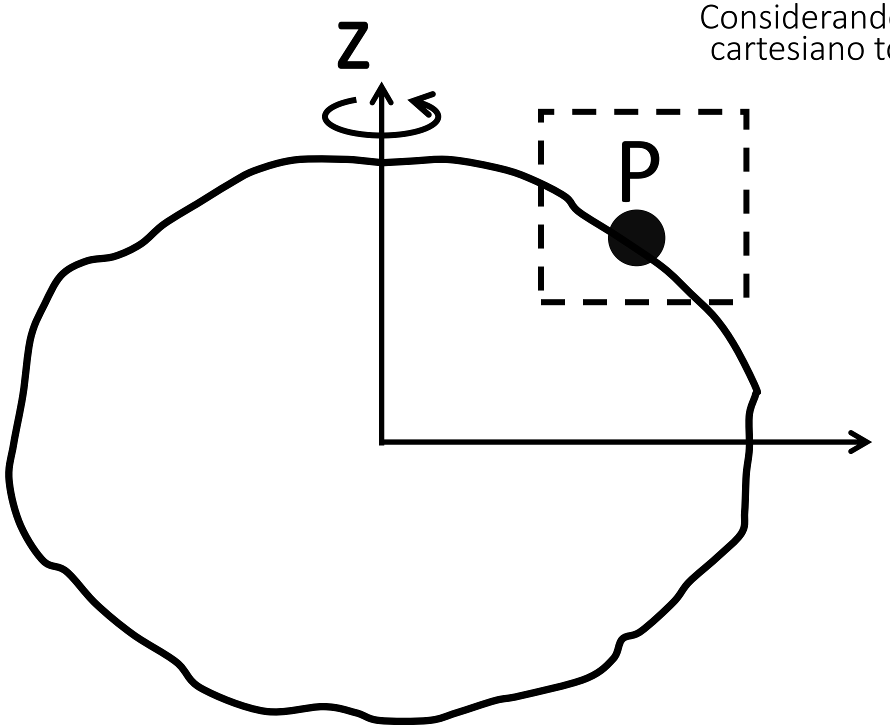
Distúrbio de gravidade

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Vetor distúrbio de gravidade

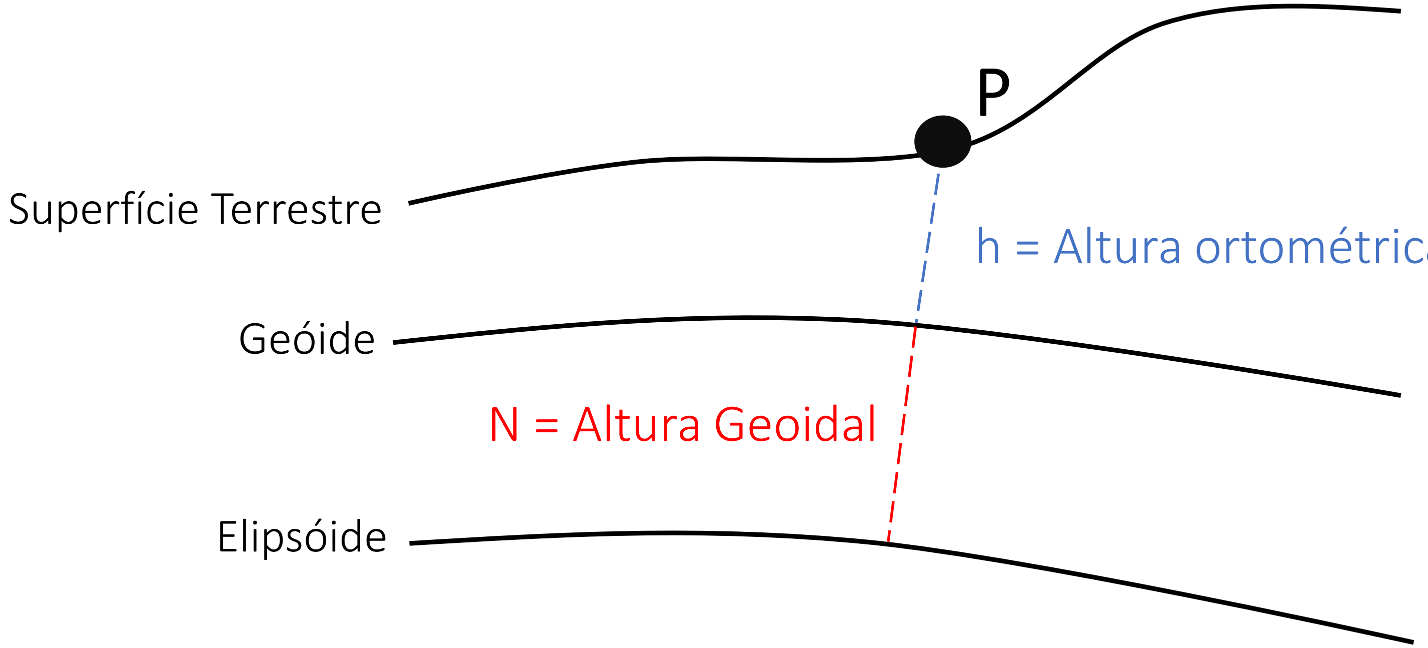
$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$



Distúrbio de gravidade

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

Como definir isto na prática?



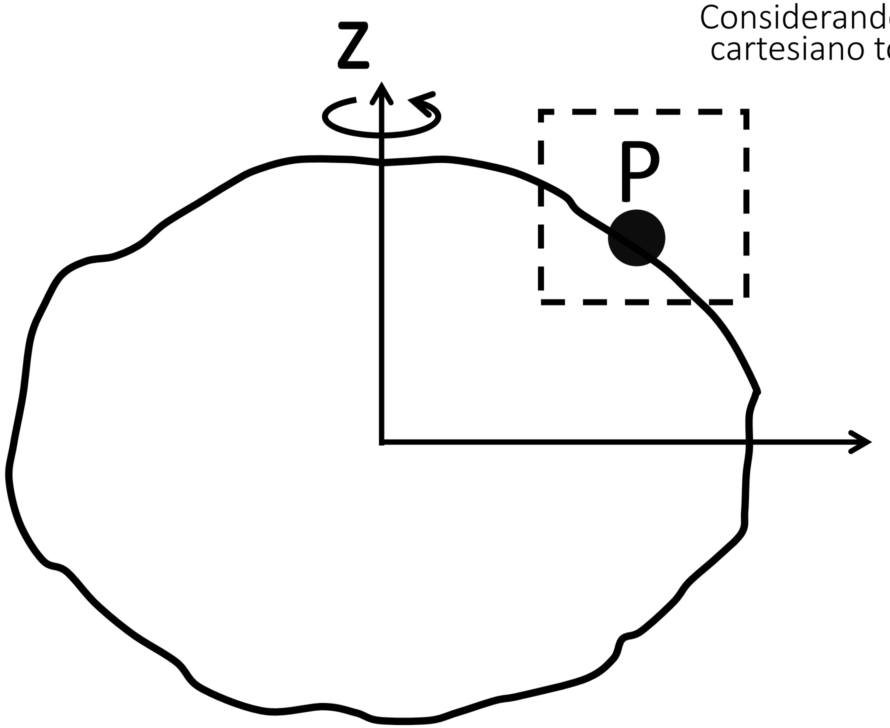
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

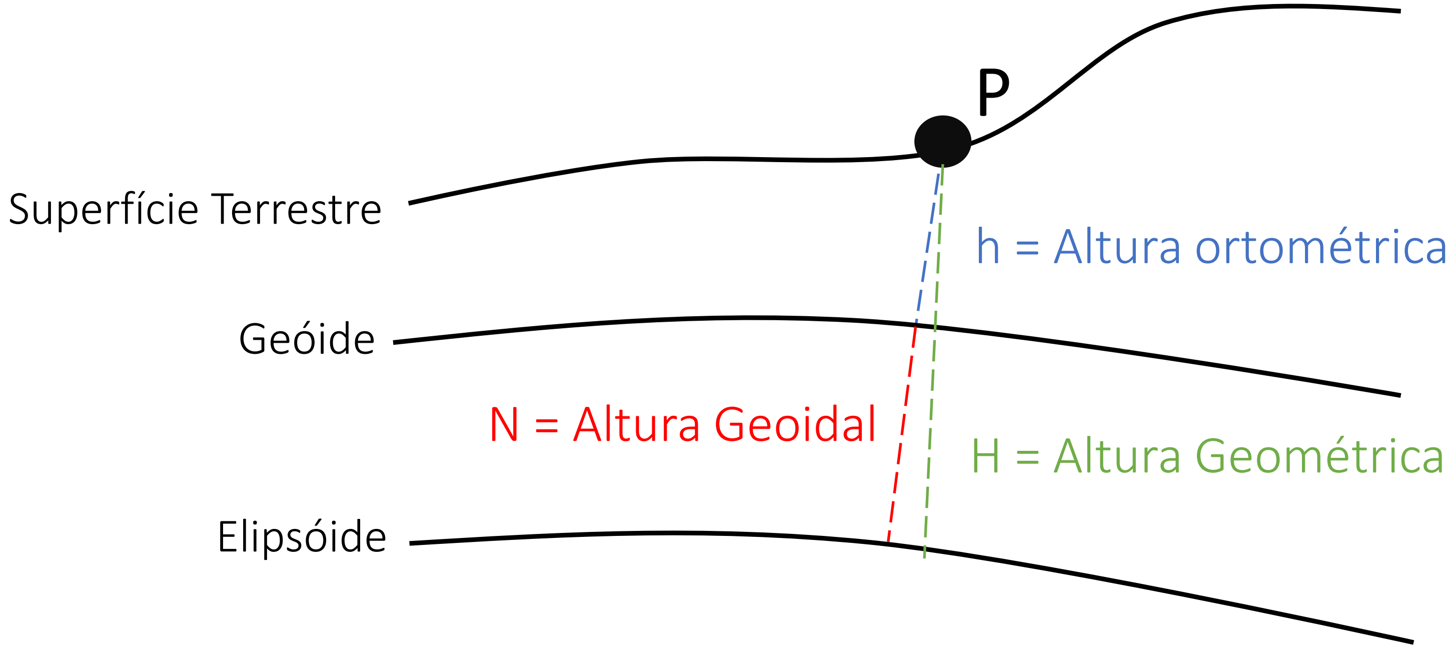
Vetor distúrbio de gravidade

$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$

Como definir isto na prática?

Considerando um sistema cartesiano topocêntrico.





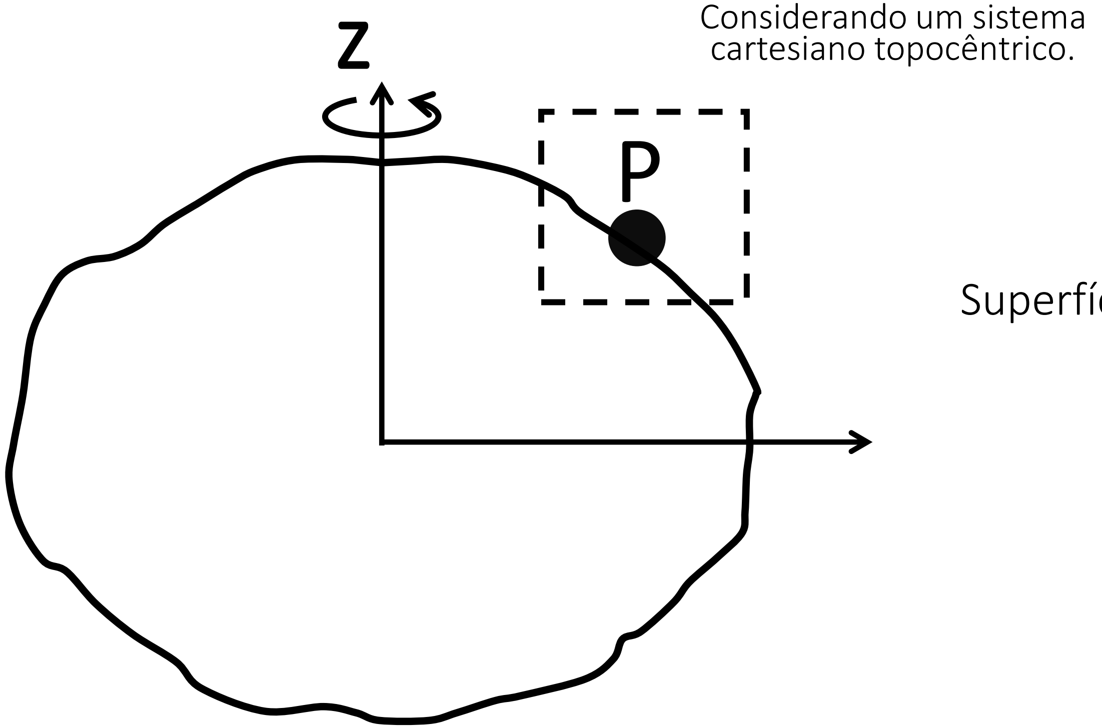
Distúrbio de gravidade

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

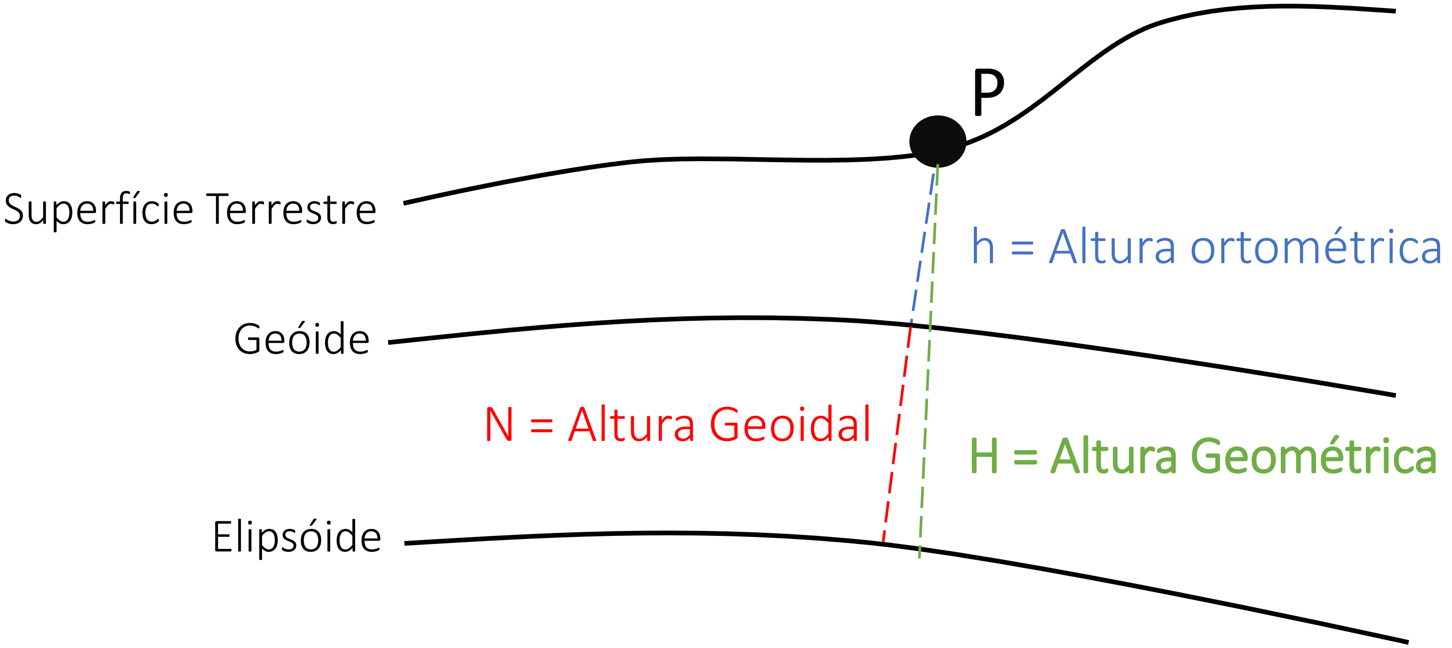
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Vetor distúrbio de gravidade

$$\boldsymbol{\delta}_P = \mathbf{g}_P - \boldsymbol{\gamma}_P$$



Como definir isto na prática?



A altura dada no GPS!

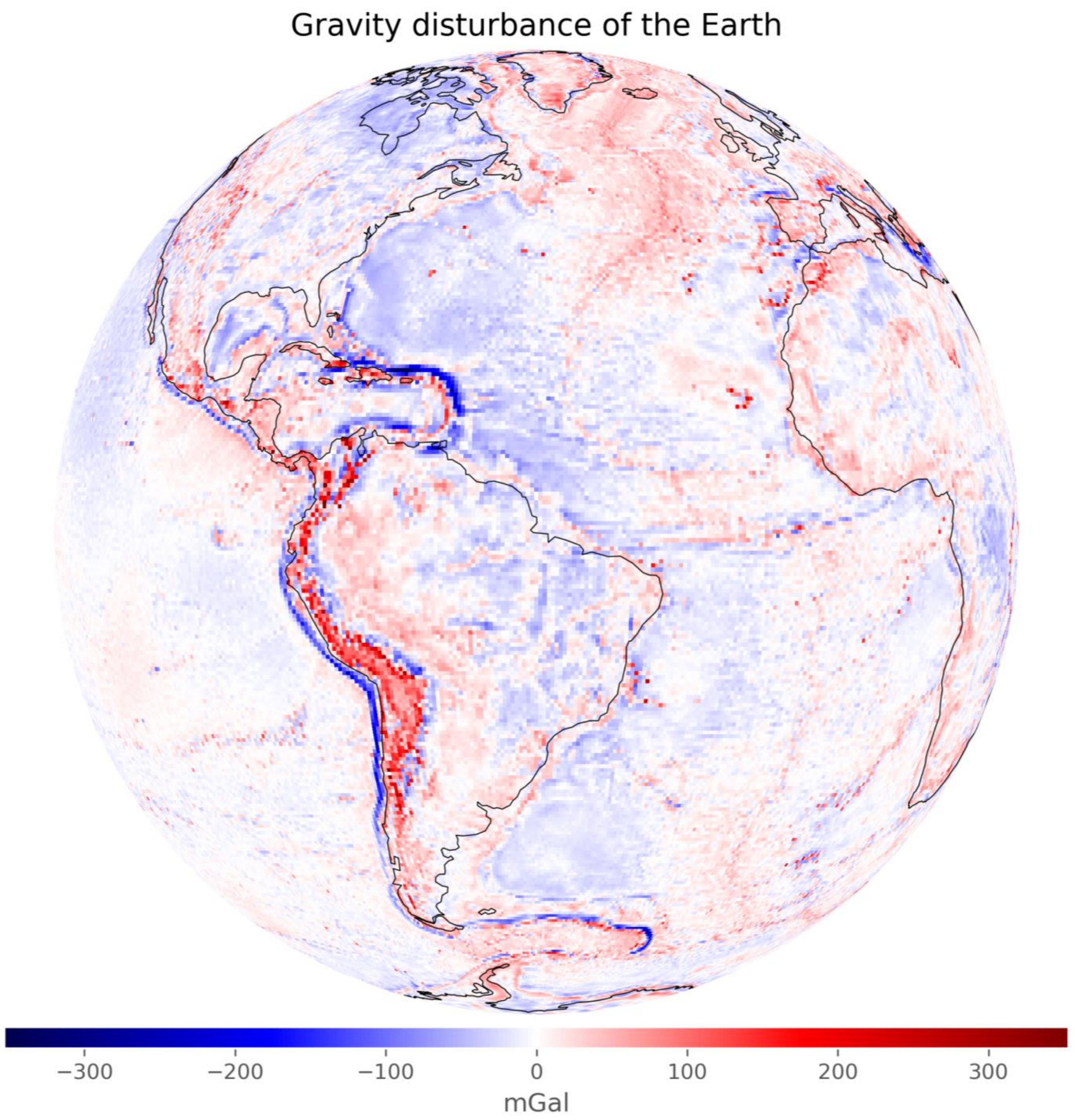
Distúrbio de gravidade

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

Distúrbio de gravidade

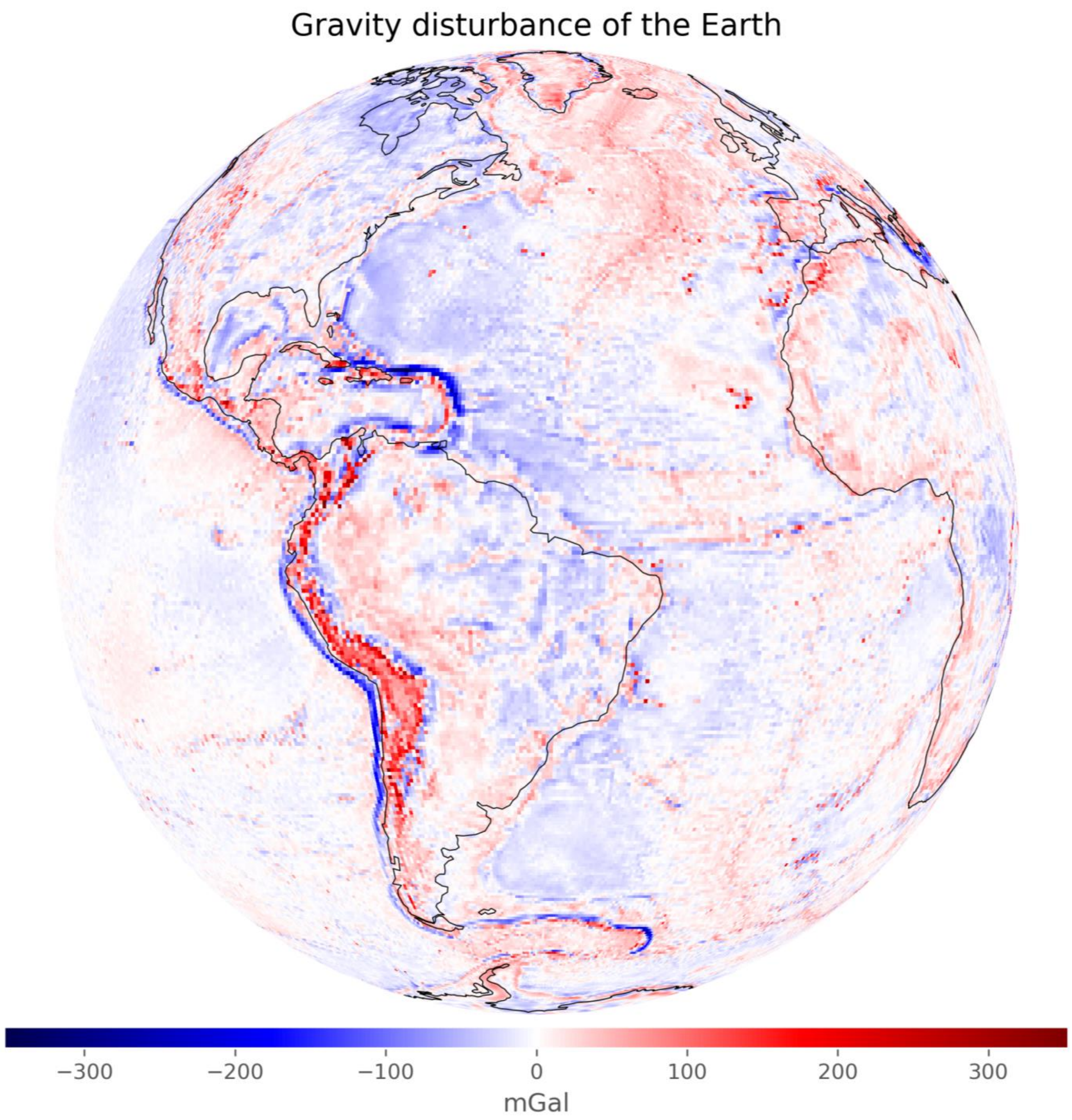


(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

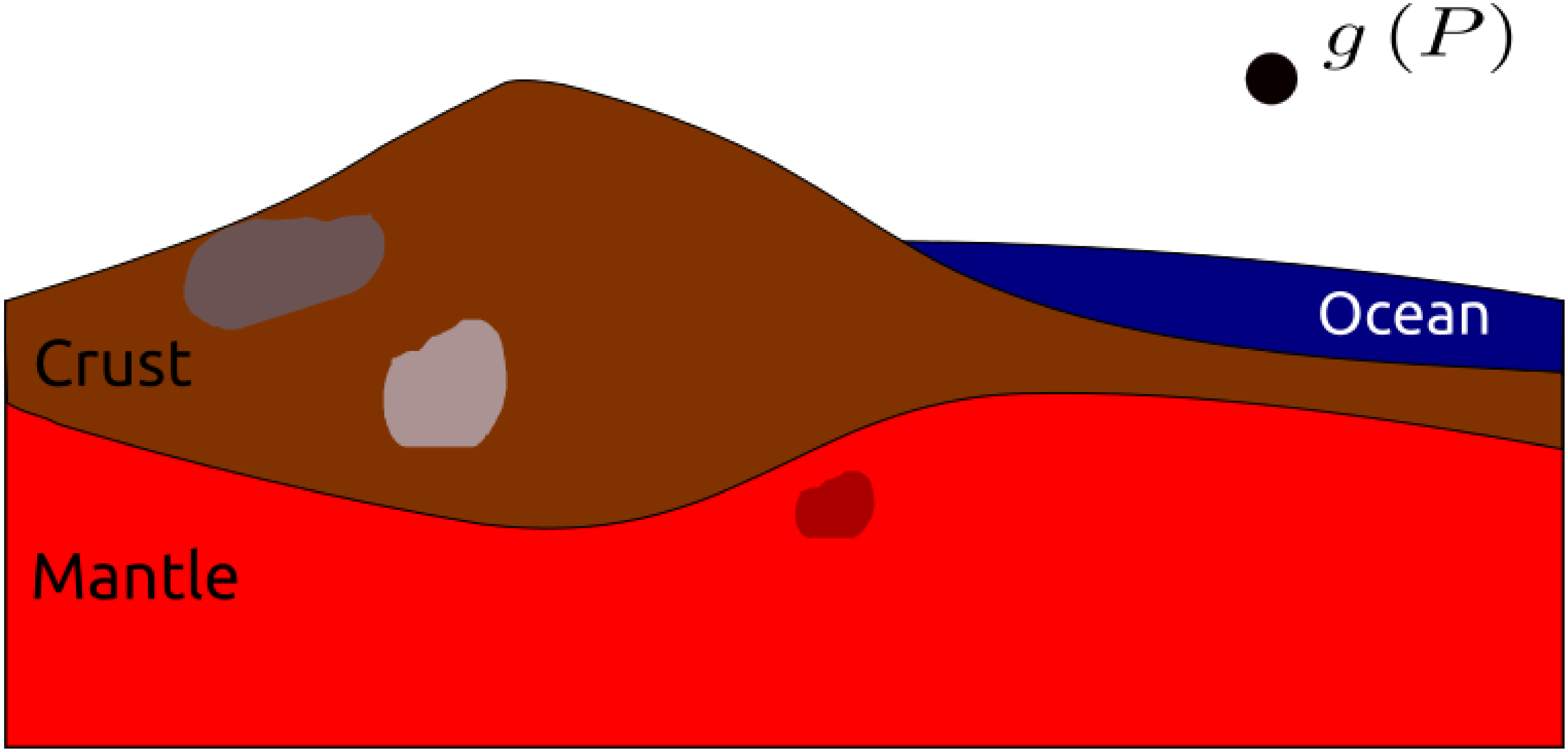
Distúrbio de gravidade

Somente o efeitos das massas anômalas posicionadas na crosta e no manto, como também o efeito das massas topográficas (ou fontes gravimétricas)

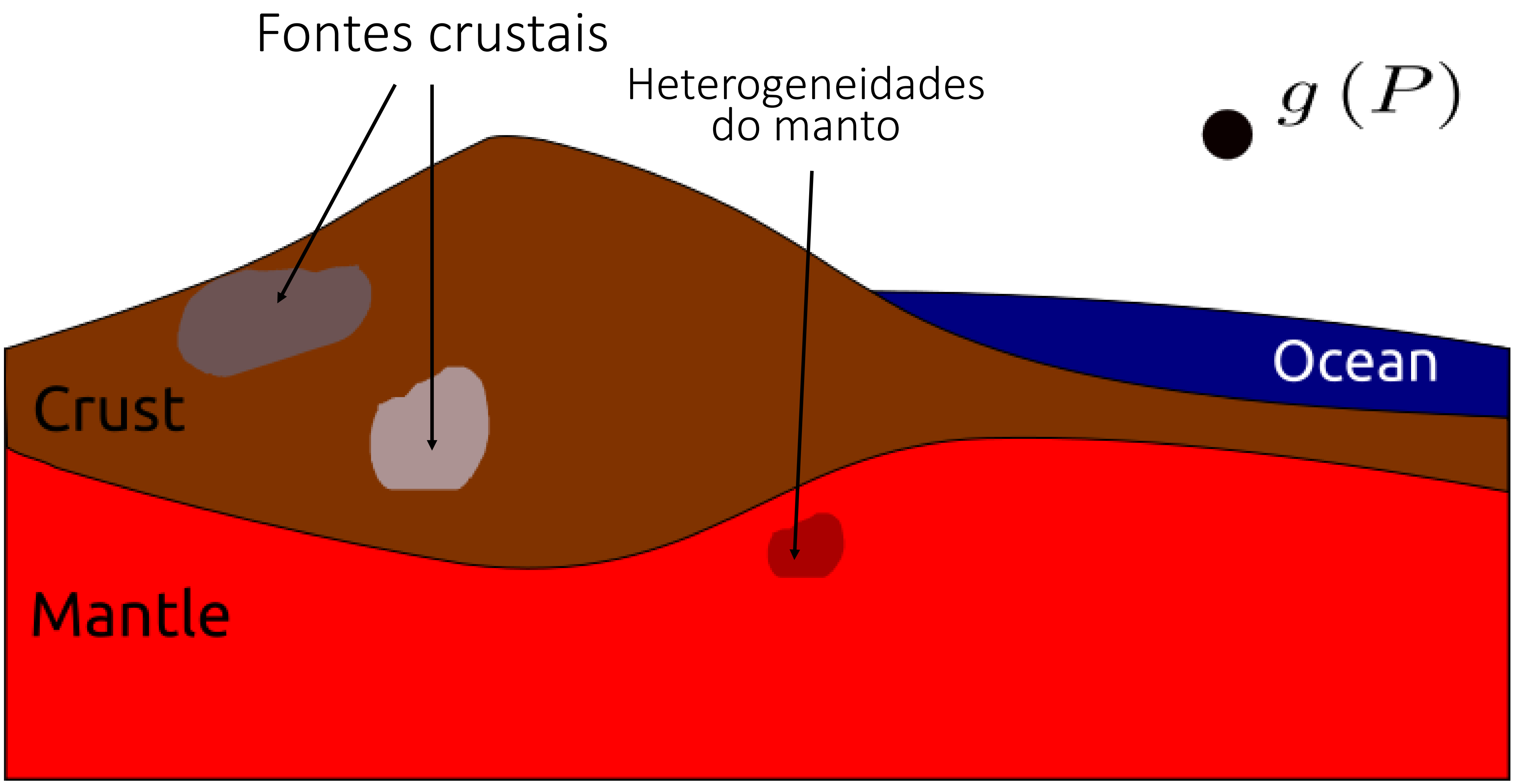


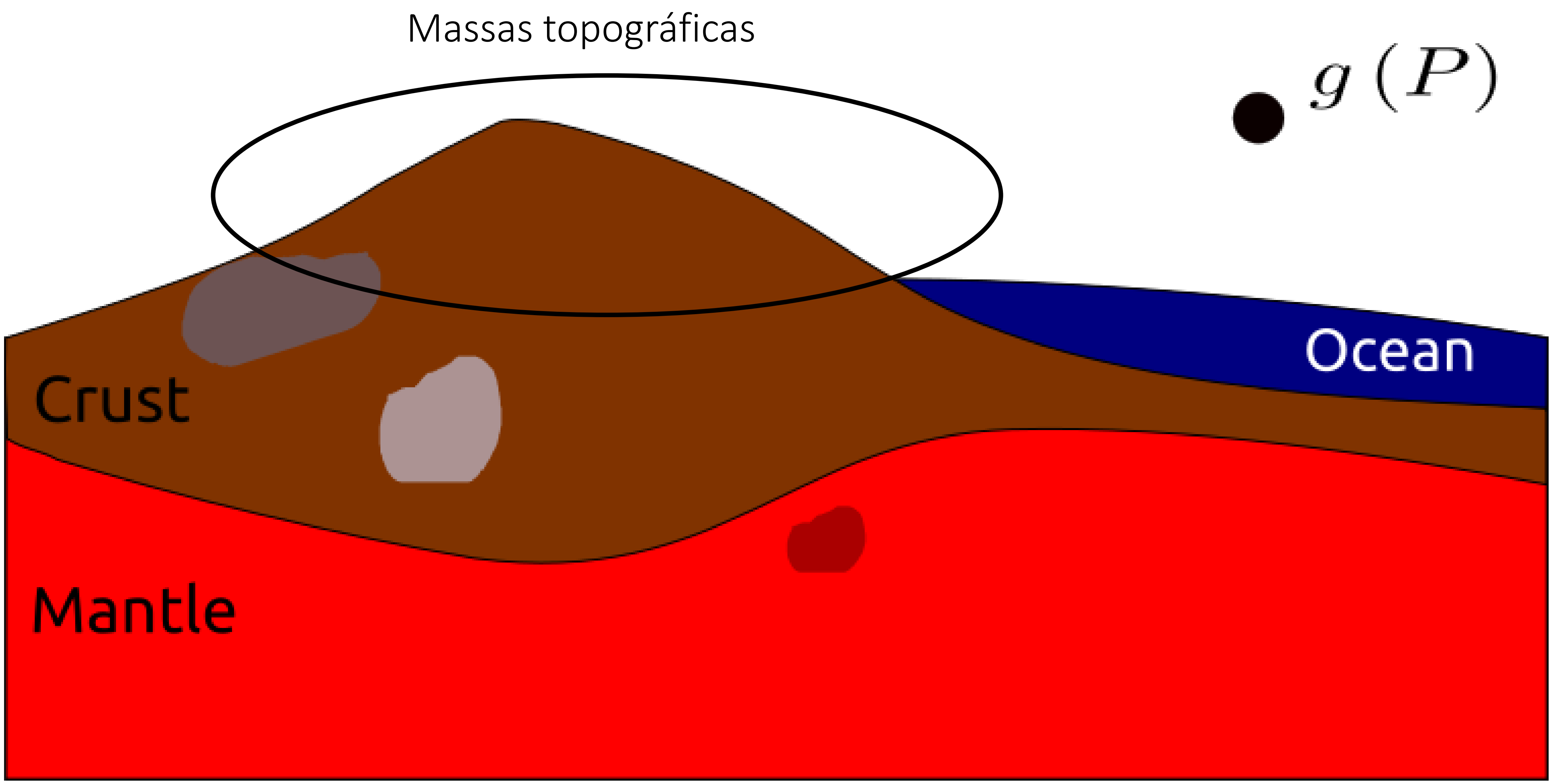
(Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

Em resumo:

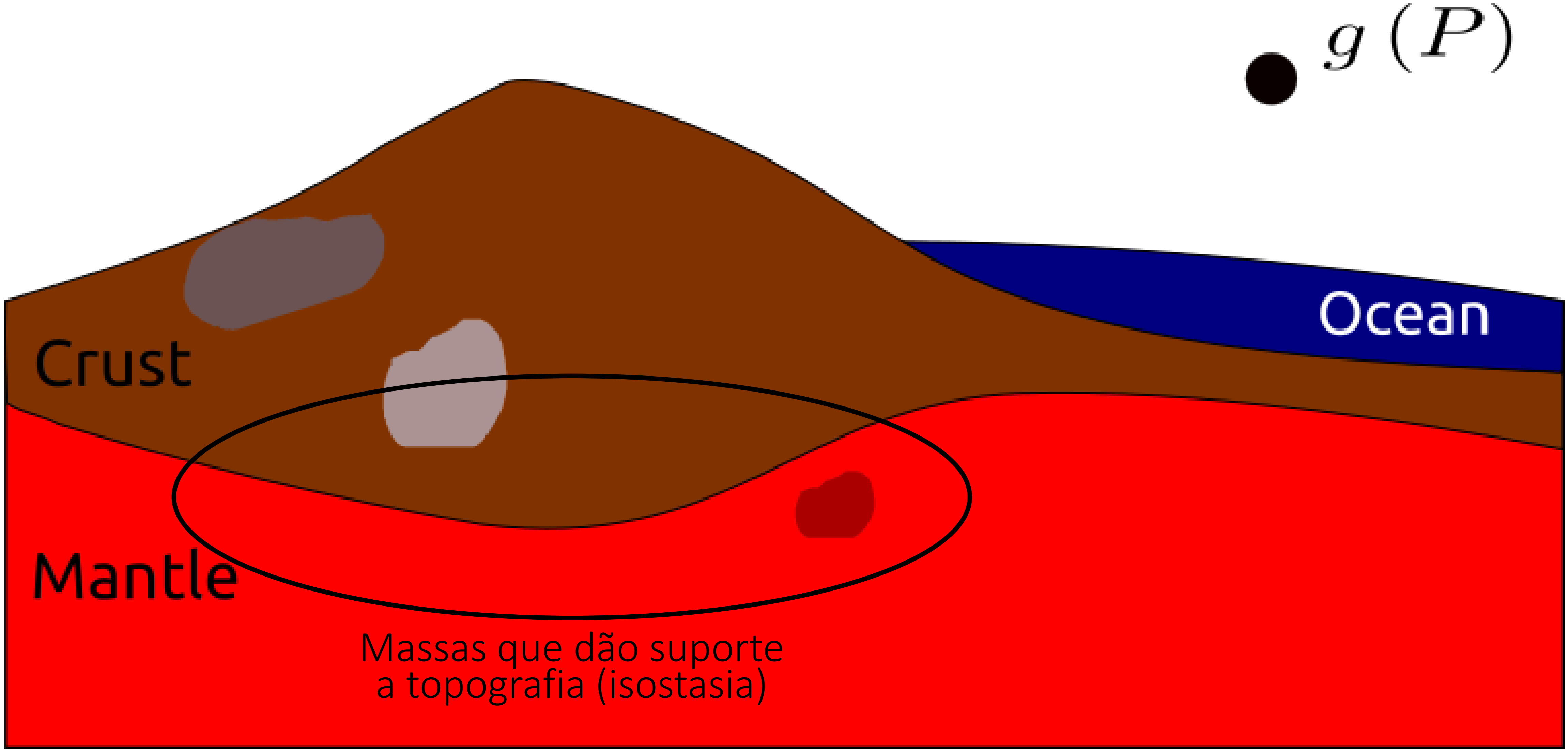

$g(P)$
Ocean
Crust
Mantle


$g(P)$
Elevação em relação
ao nível dos mares
Ocean
Crust
Mantle

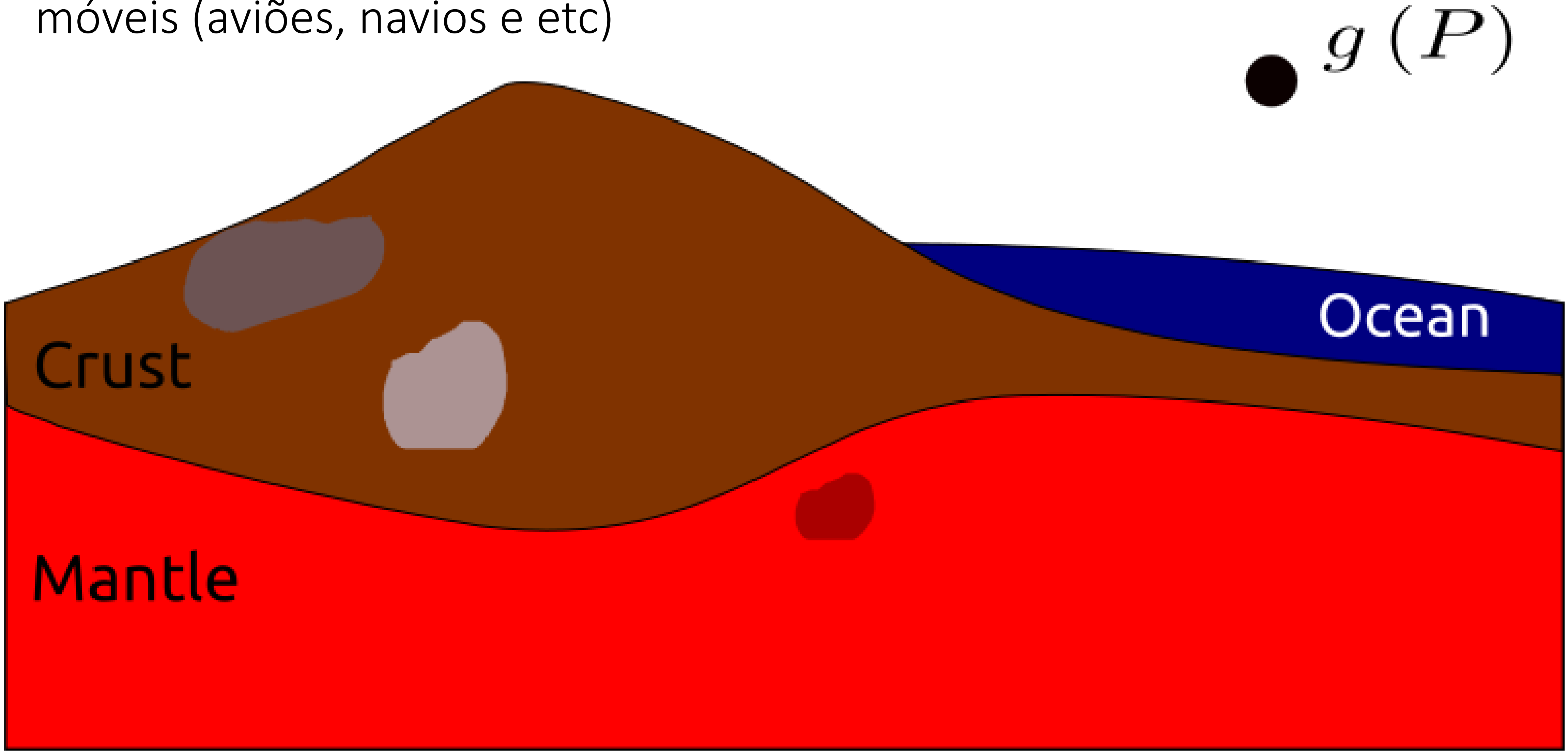

Fontes crustais
Heterogeneidades do manto
$g(P)$
Crust
Mantle
Ocean



Massas topográficas
$g(P)$
Ocean
Crust
Mantle


$g\,(P)$
Ocean
Crust
Mantle
Massas que dão suporte
a topografia (isostasia)

Caso as medições sejam realizadas em plataformas móveis (aviões, navios e etc)



Correção de Eotvos

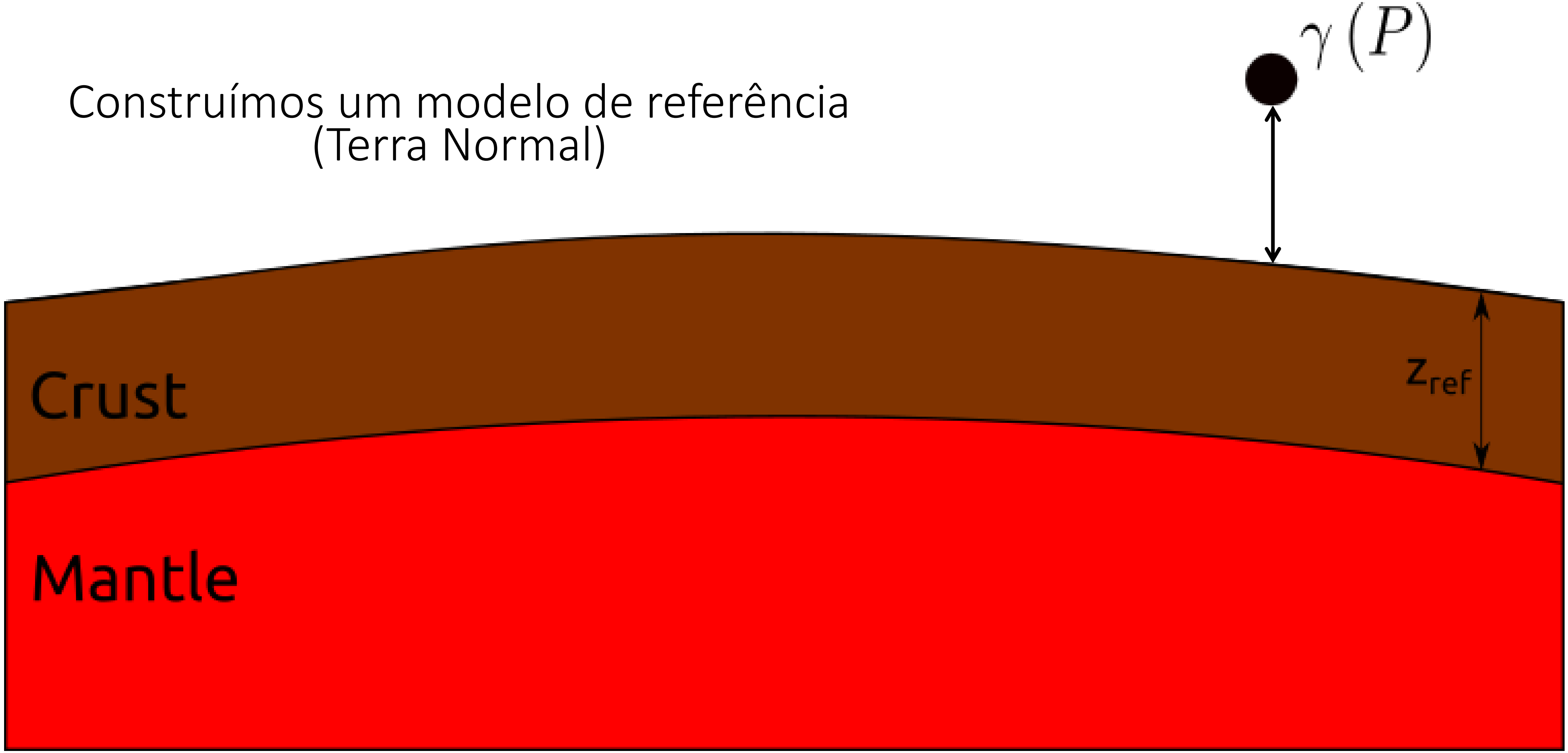
Caso as medições sejam realizadas em plataformas móveis (aviões, navios e etc)

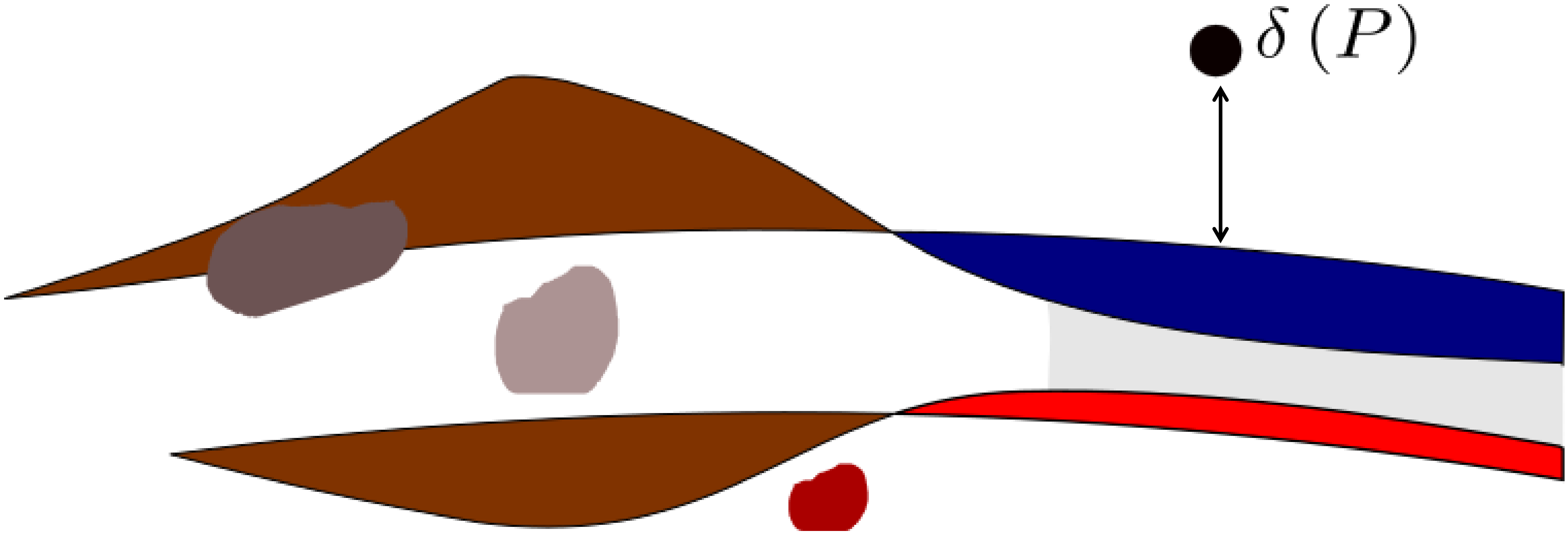
Caso as medições sejam realizadas em plataformas móveis (aviões, navios e etc)

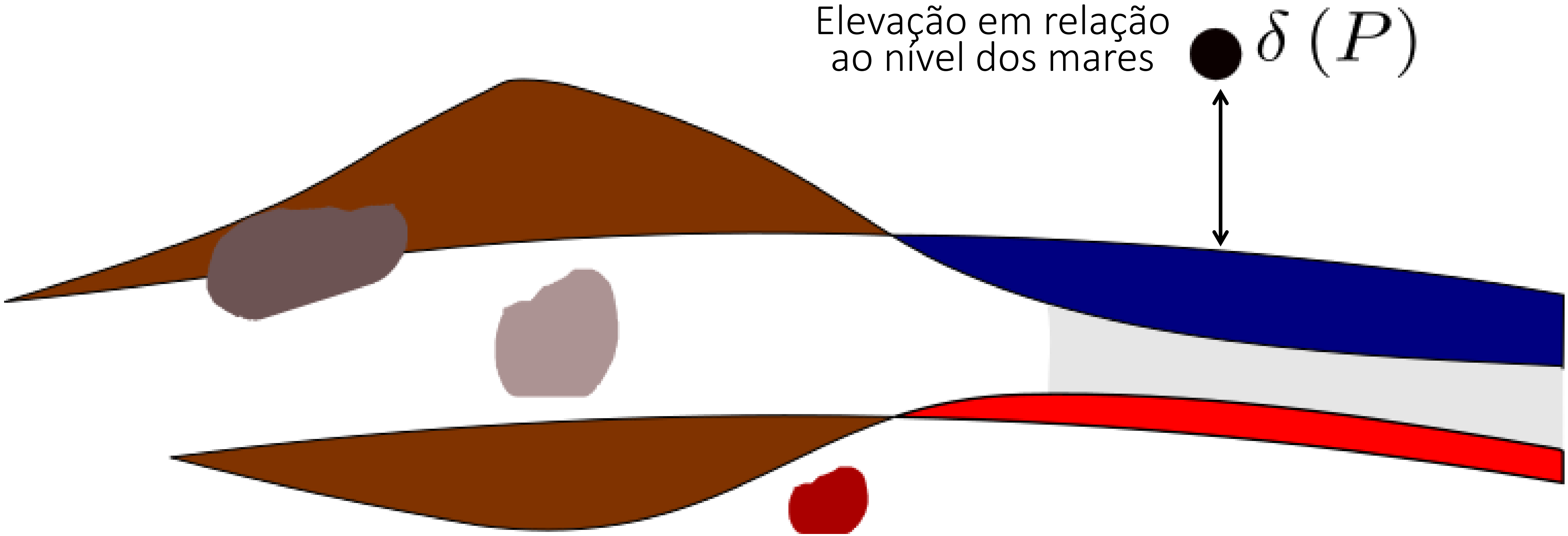
Correção de Eotvos

O efeitos de maré

Construímos um modelo de referência
(Terra Normal)




$\delta(P)$



Uma das etapas do processamento de dados de gravidade chamada **correção de ar livre!**

Referências

- Blakely, R. J., 1996, Potential theory in gravity and magnetic applications: Cambridge University Press.
- Hofmann-Wellenhof, B. e H. Moritz, 2005, Physical Geodesy. Springer.
- Li, X., e H. J. Götze, 2001, Ellipsoid, geoid, gravity, geodesy, and geophysics: Geophysics, 66, 1660-1668. DOI: 10.1190/1.1487109.

Até a próxima aula!