



Modelagem em gravimetria e magnetometria

Prof. André Luis Albuquerque dos Reis

Rio de Janeiro 2021

Gravimetria

Gravimetria



Foi um dos primeiros métodos na busca de óleo e gás!



Foi um dos primeiros métodos na busca de óleo e gás!

A instrumentação, navegação e das plataformas possibilitou a cobertura de grandes áreas



Foi um dos primeiros métodos na busca de óleo e gás!

A instrumentação, navegação e das plataformas possibilitou a cobertura de grandes áreas

É também vastamente em diversas áreas como exploração mineral, hidrogeologia, dentre outros!



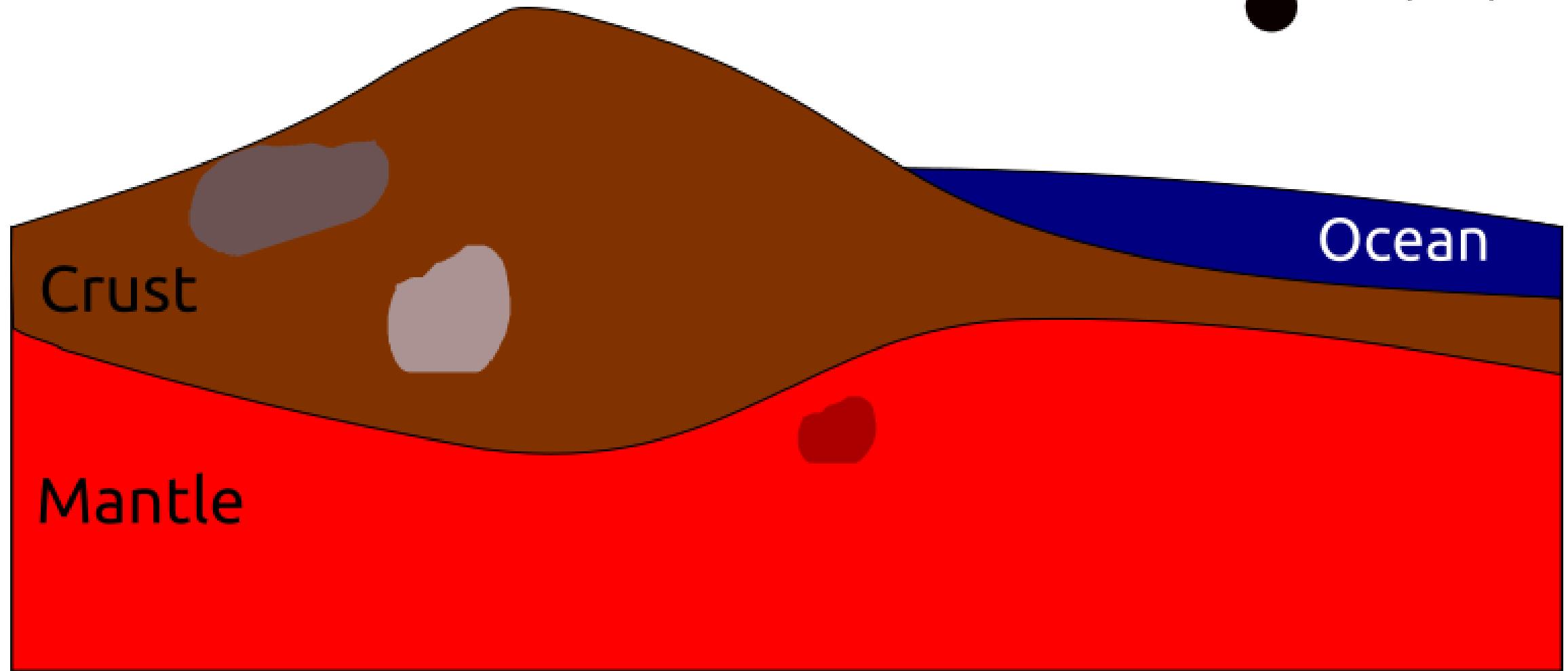
Foi um dos primeiros métodos na busca de óleo e gás!

A instrumentação, navegação e das plataformas possibilitou a cobertura de grandes áreas

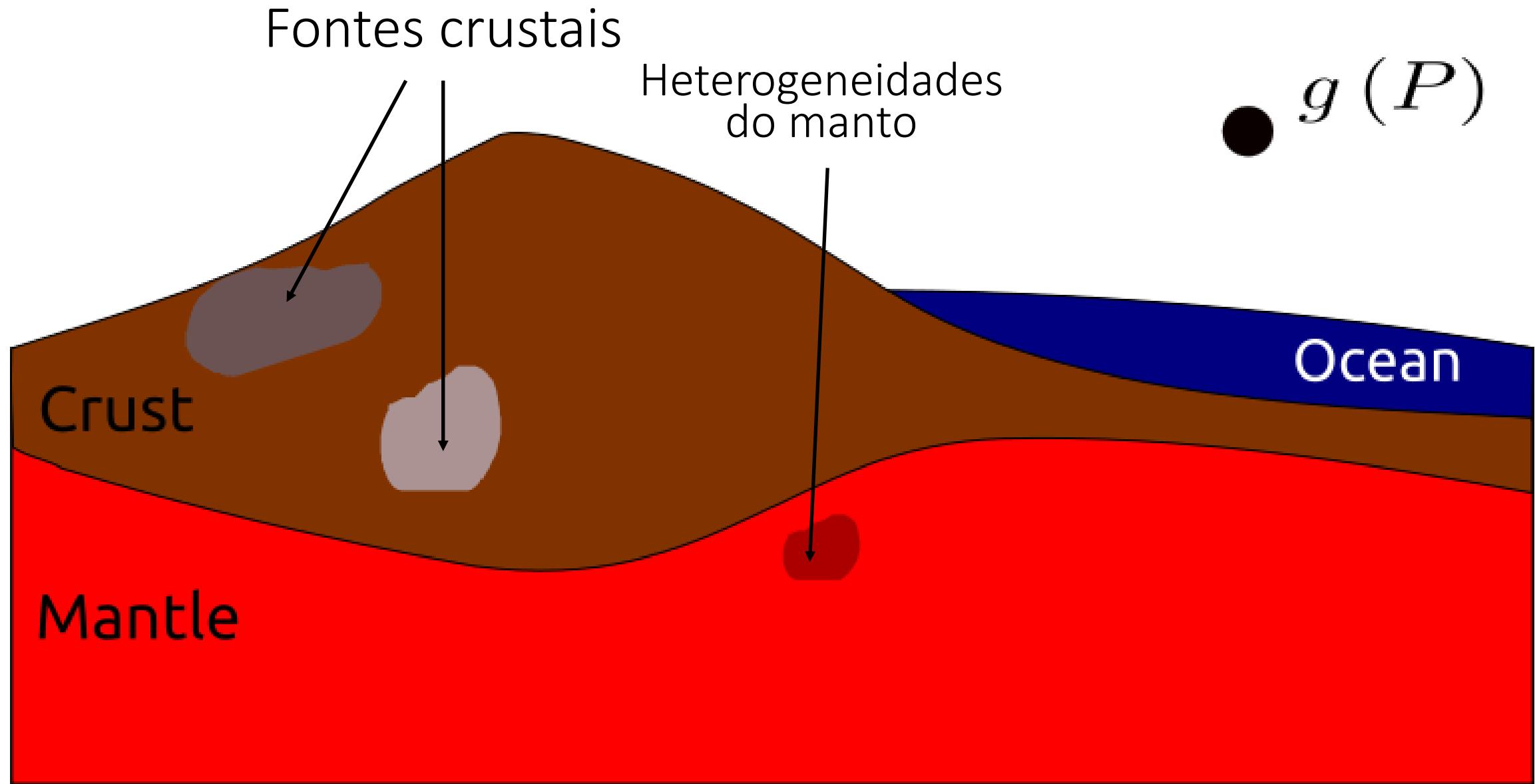
É também vastamente em diversas áreas como exploração mineral, hidrogeologia, dentre outros!

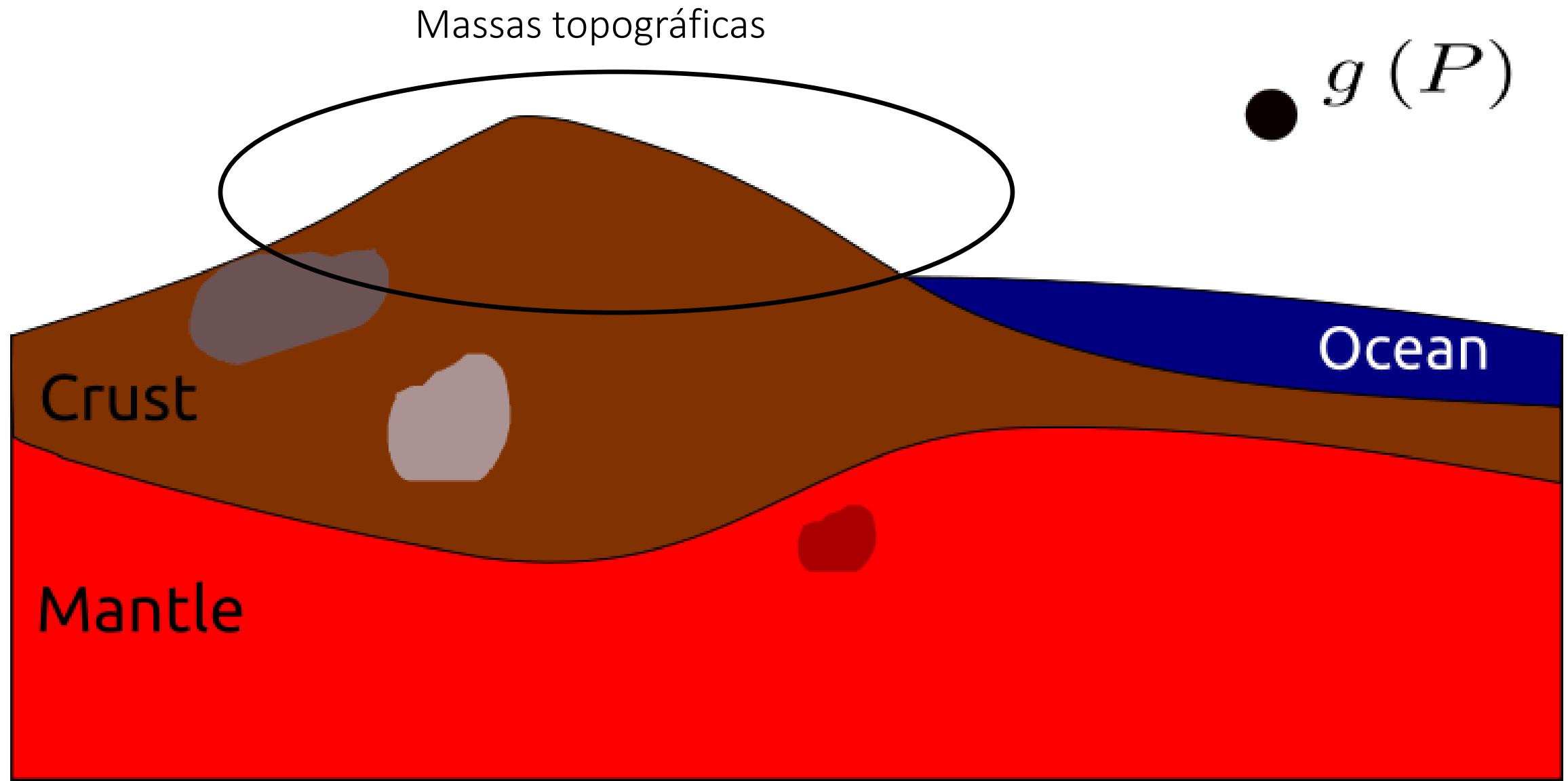
É utilizado para estimar o relevo do embasamento de bacias sedimentares, definição de contatos geológicos e delimitação da geometria dos corpos

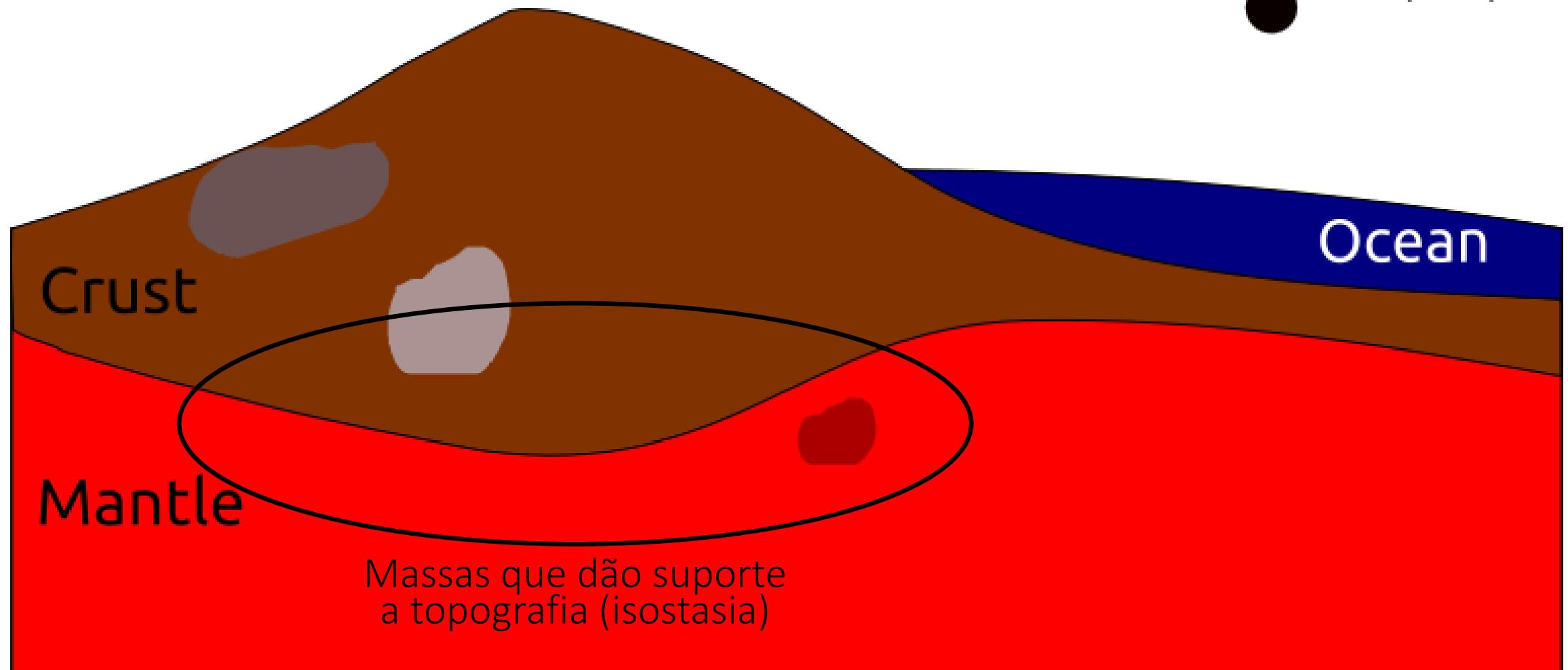
O que compõe os dados de gravidade?











$g(P)$



O efeitos de maré

$g(P)$

Crust

Mantle

Ocean

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

$\approx 0,5$ graus

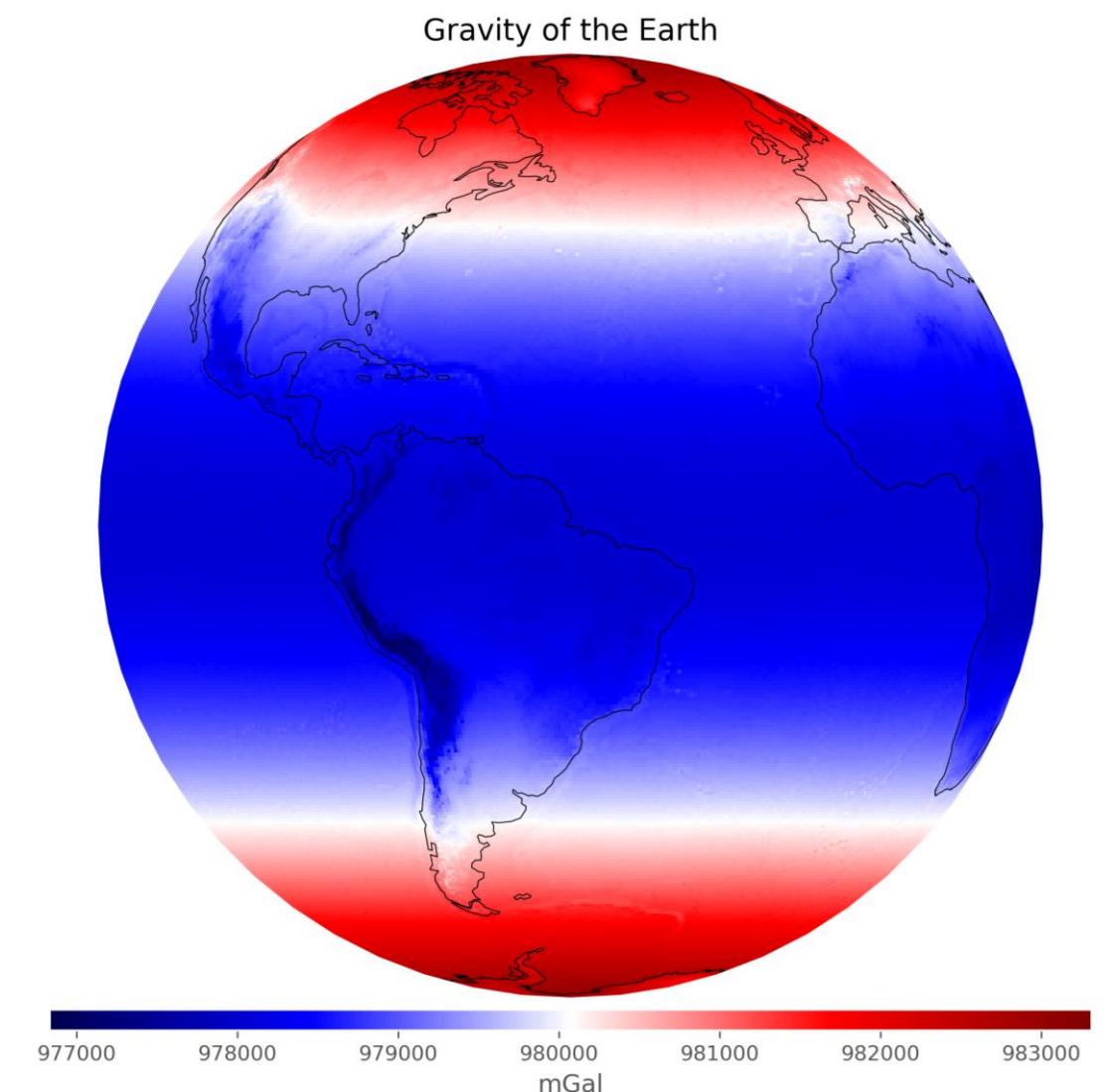
International Center for Global
Earth Model (ICGEM)

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!**

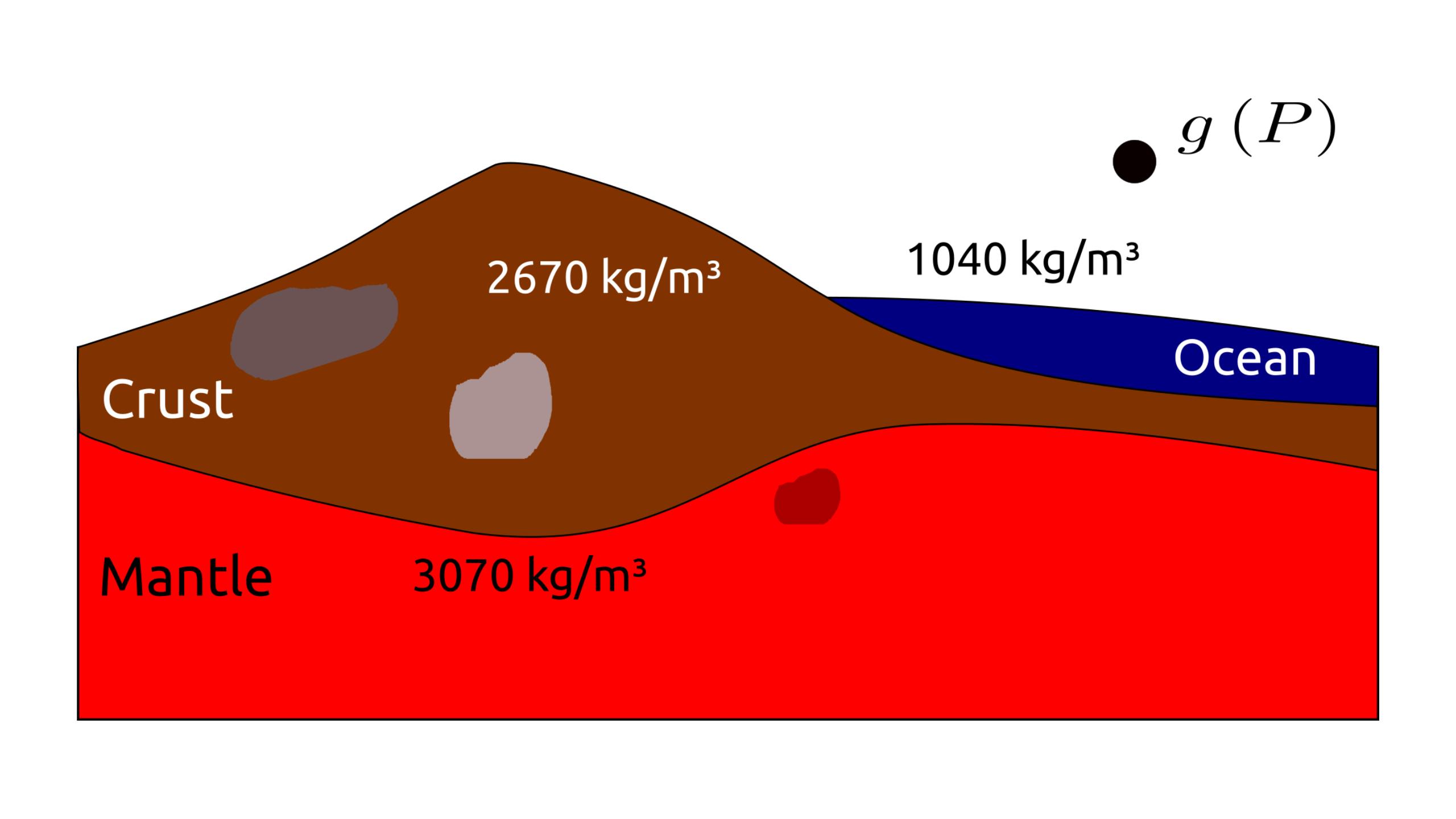


Na Geofísica estamos interessados na **componente gravitacional** que é relacionada com as **distribuições de densidade** no interior da Terra

Na Geofísica estamos interessados na **componente gravitacional** que é relacionada com as **distribuições 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. Além disso, **os efeitos de rotação** da Terra.

Como isolar os efeitos que nos interessam?



$g (P)$

1040 kg/m^3

Ocean

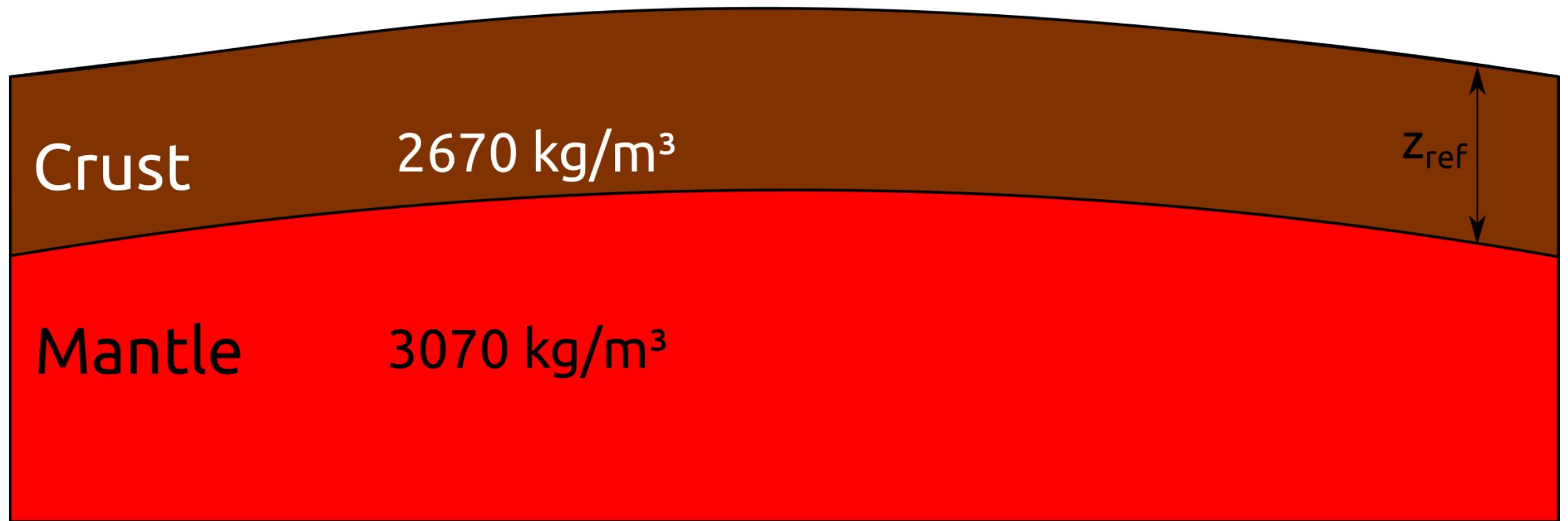
Crust

2670 kg/m^3

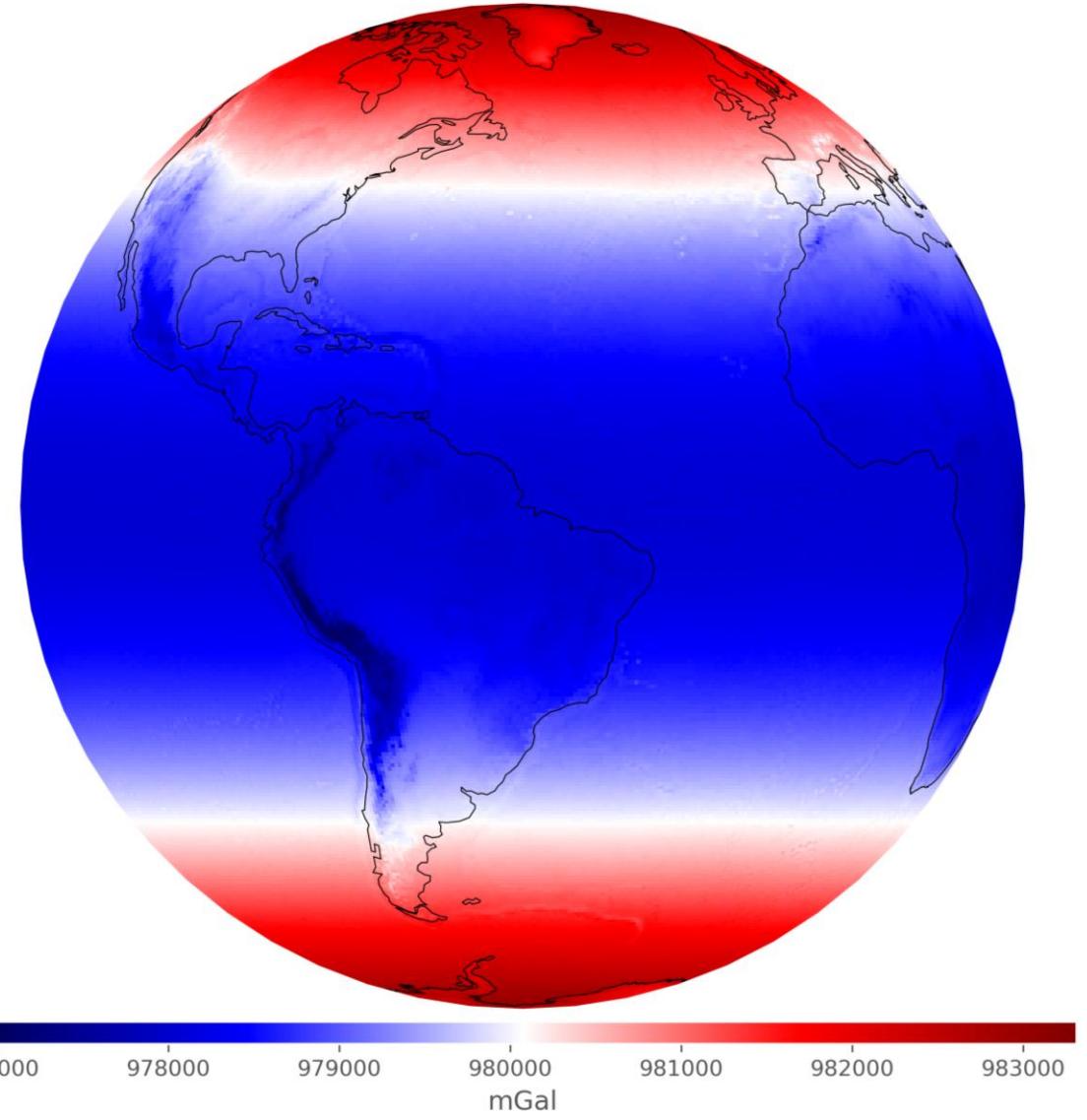
Mantle

3070 kg/m^3

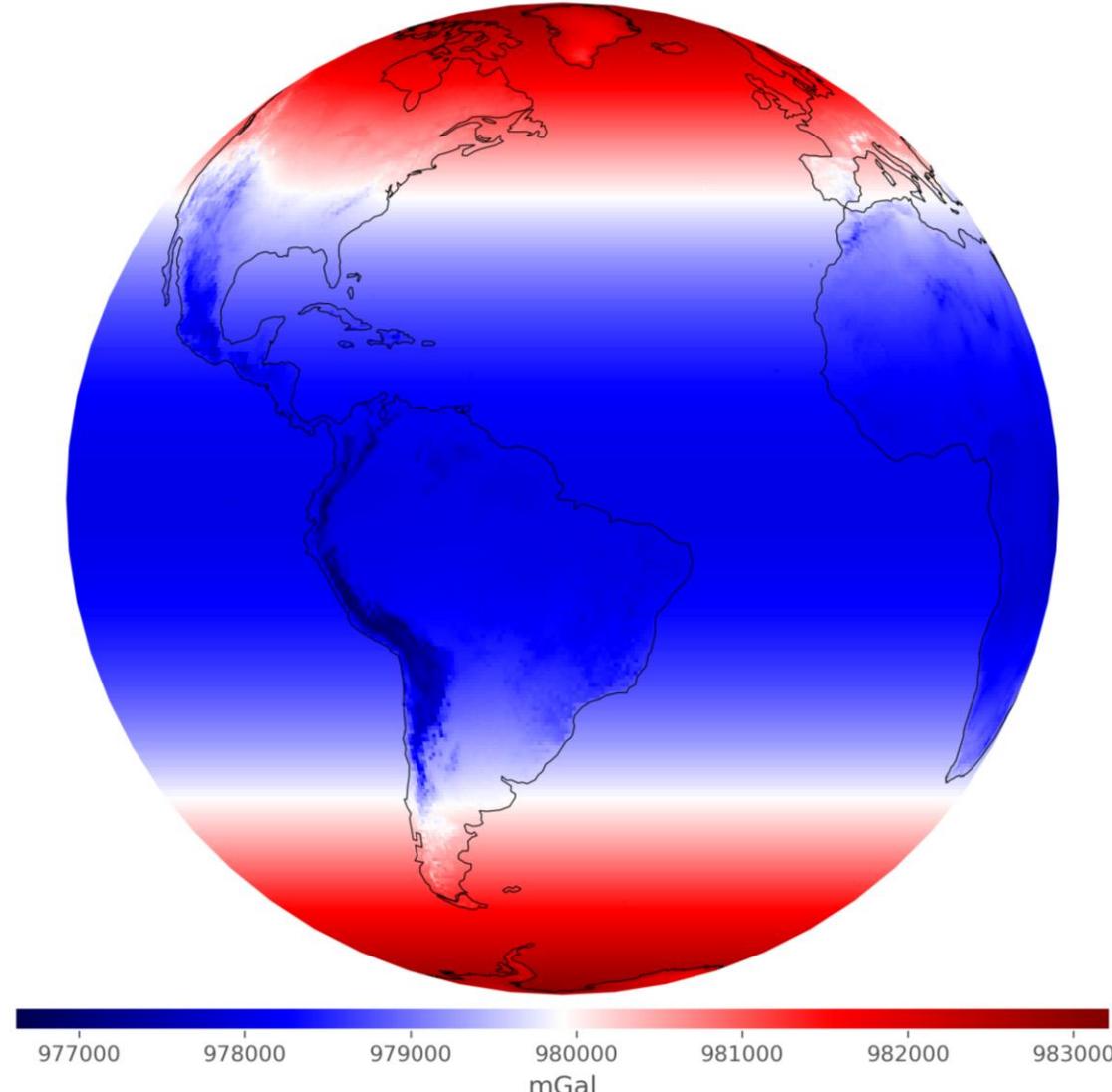
$\gamma(P)$



Gravity of the Earth



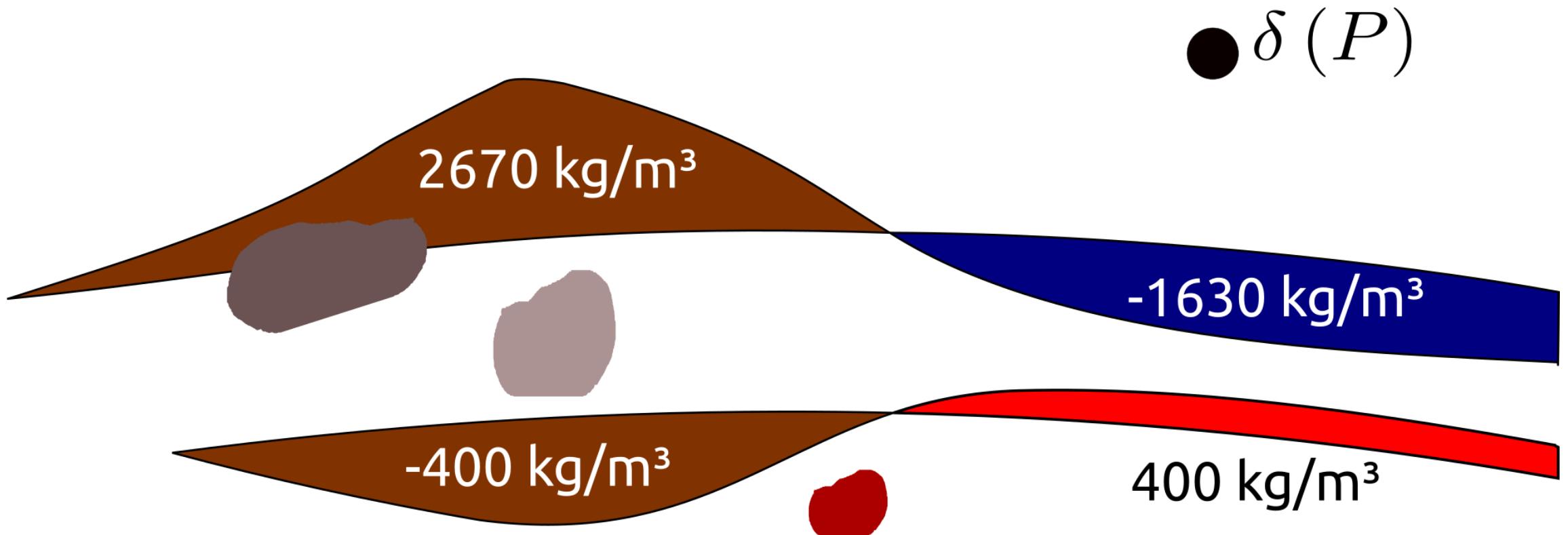
Normal Gravity over topography



Gravidade medida na superfície

Gravidade Normal na superfície

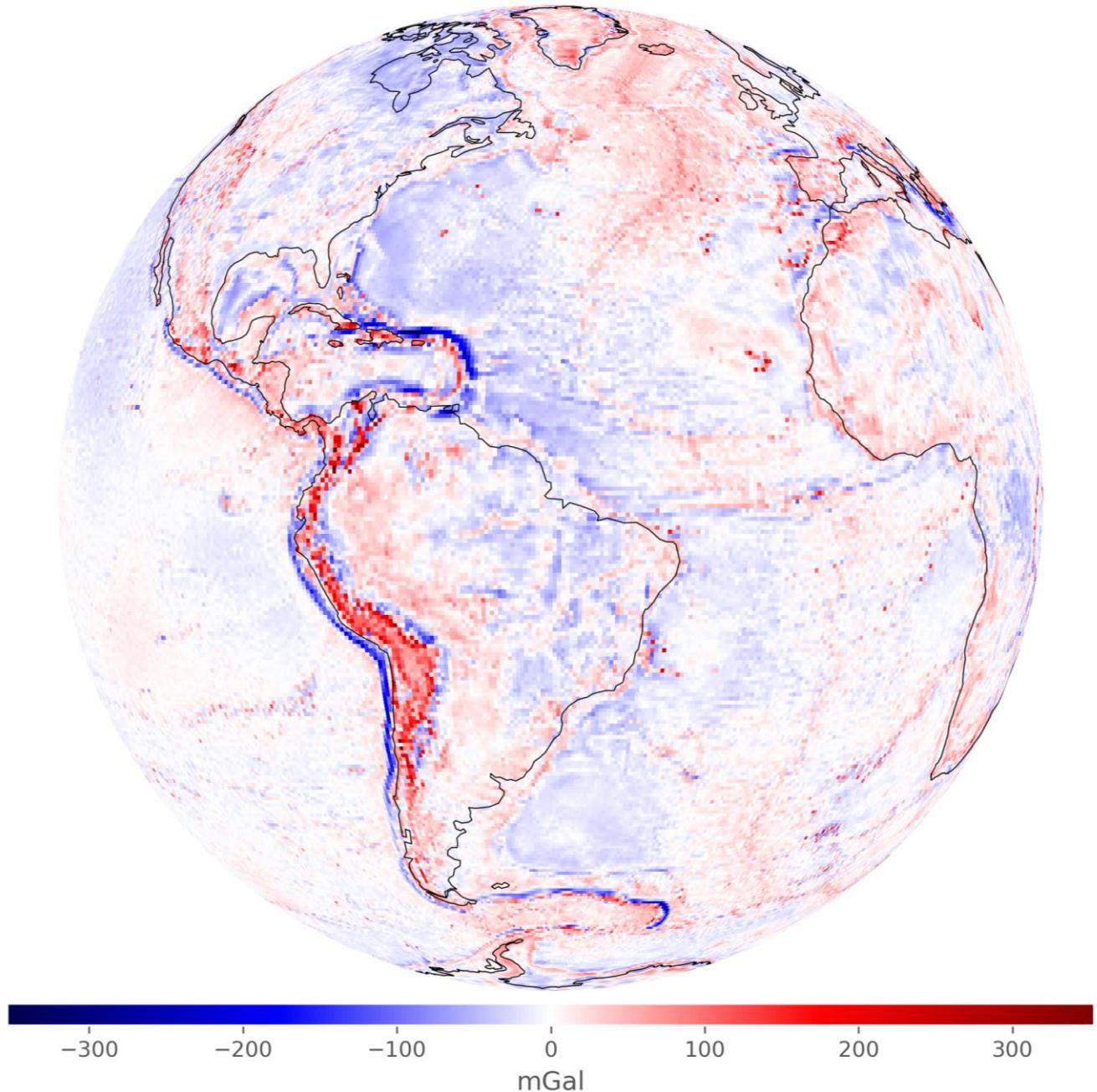
Distúrbio de gravidade



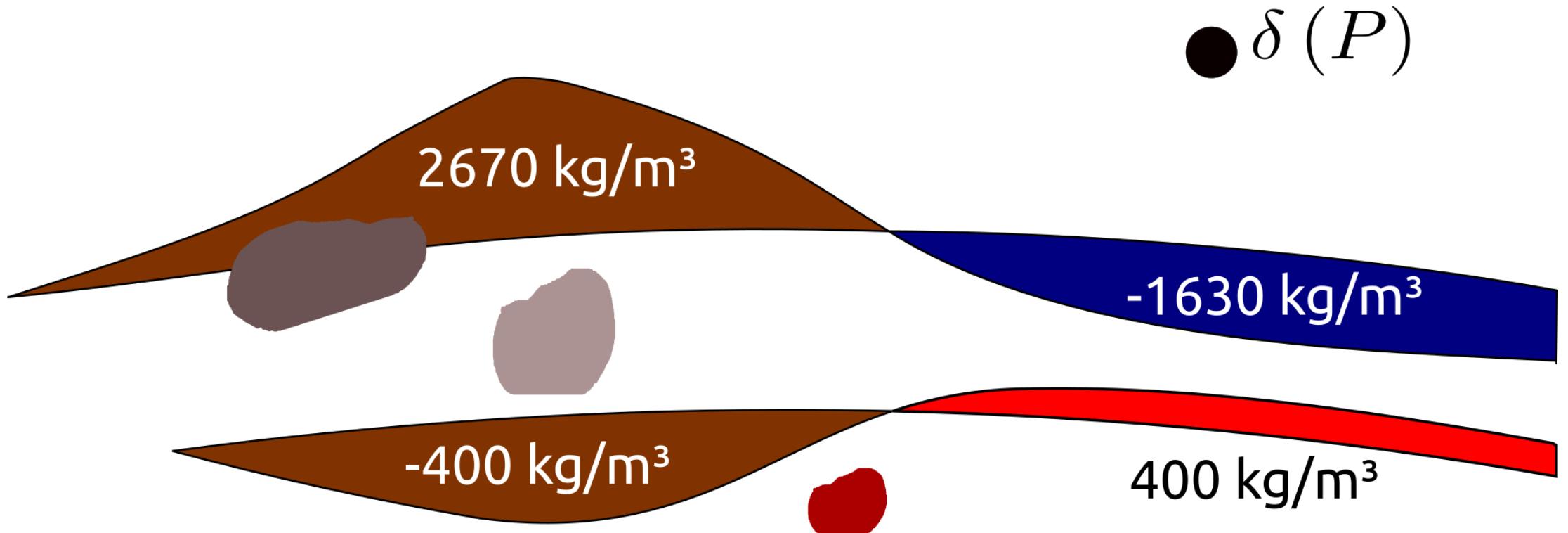
$$\delta_P = g_P - \gamma_P$$

Distúrbio de
gravidade

Gravity disturbance of the Earth



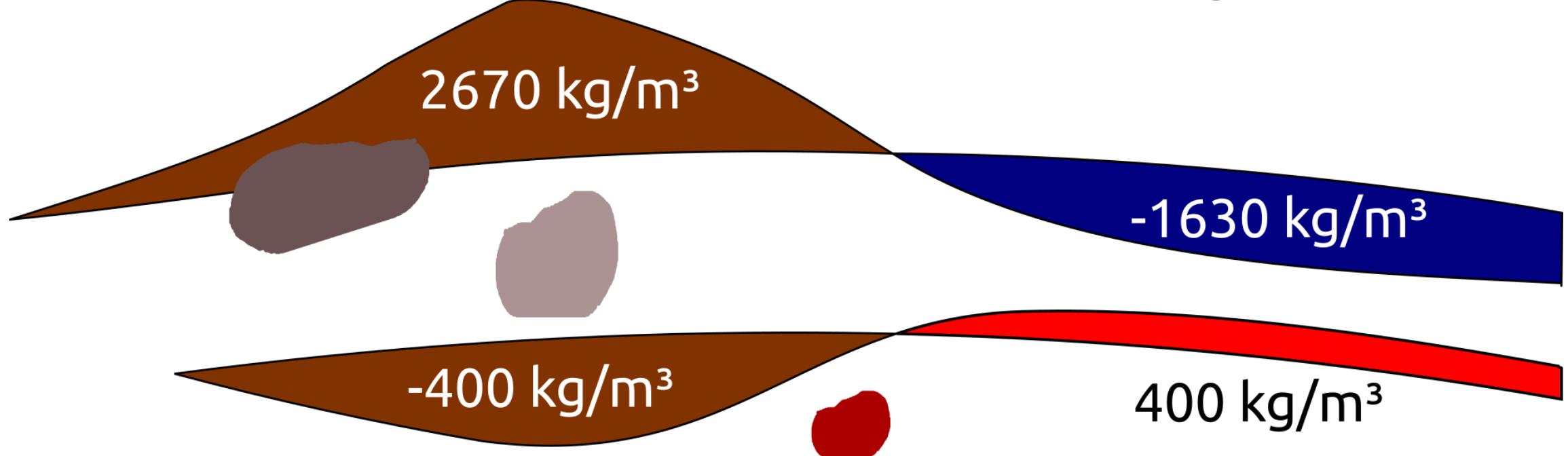
Correção de bouguer



Correção de bouguer

$$\delta_B = g_P - \gamma_P - g_B$$

Temos que retirar o efeito do acúmulo de massas acima e a defasagem de massa abaixo do nível do mar.


$$\bullet \delta(P)$$

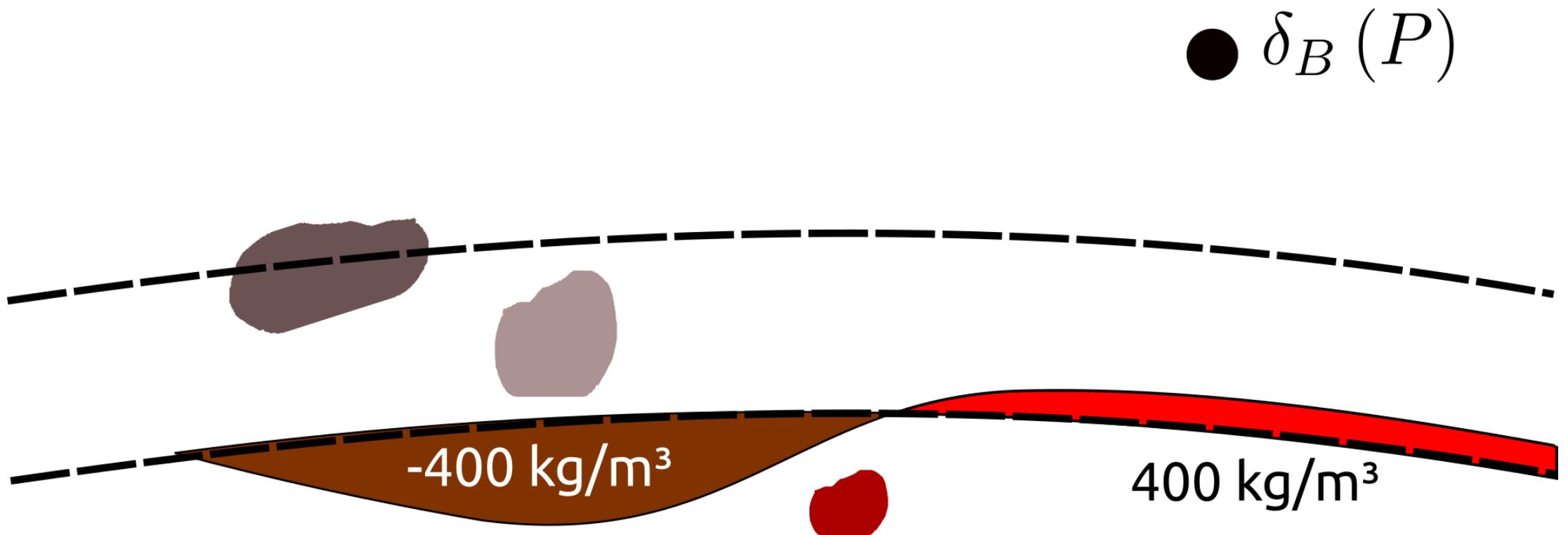
2670 kg/m³

-1630 kg/m³

-400 kg/m³

400 kg/m³

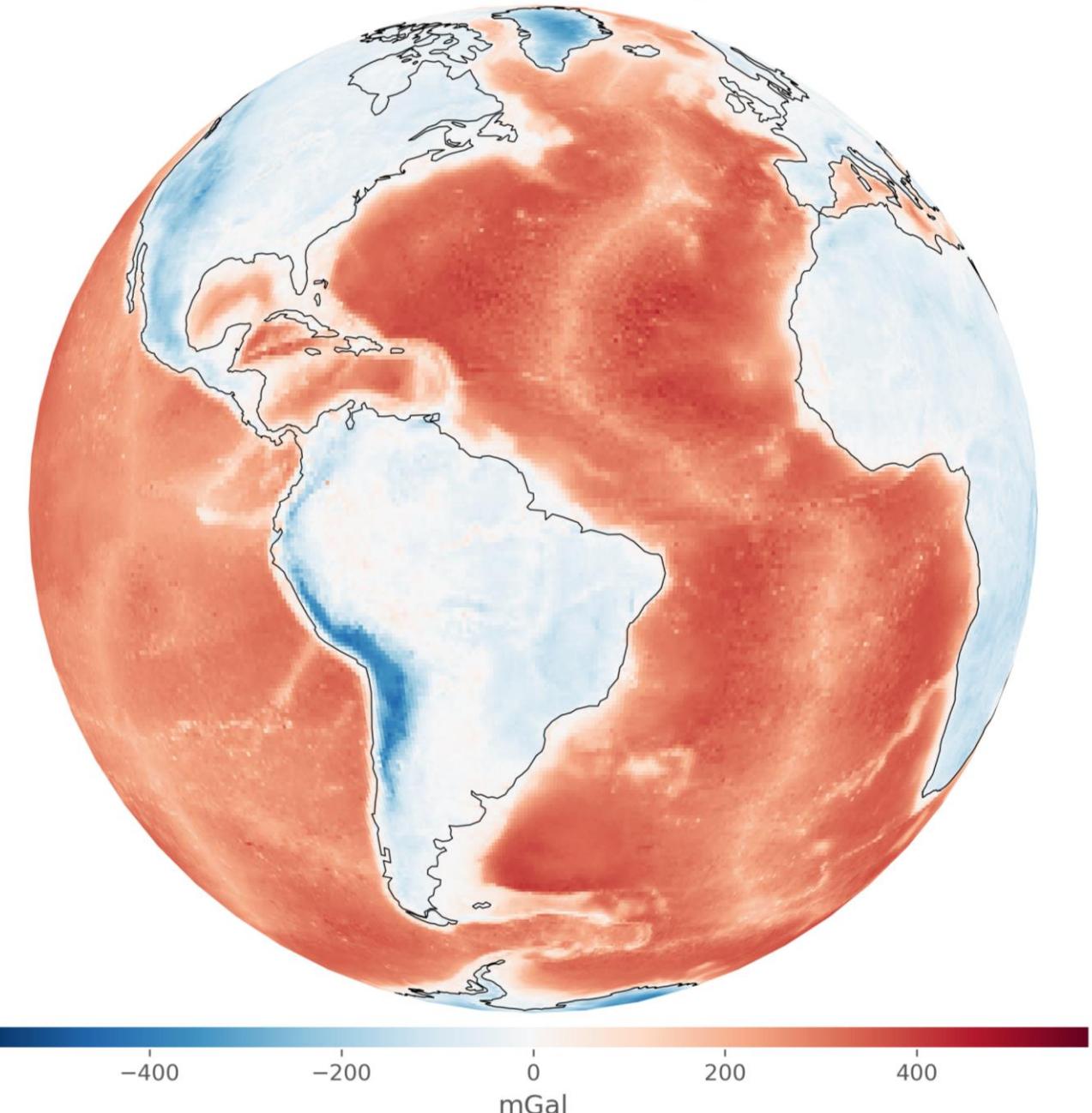
Correção de bouguer



Correção de bouguer

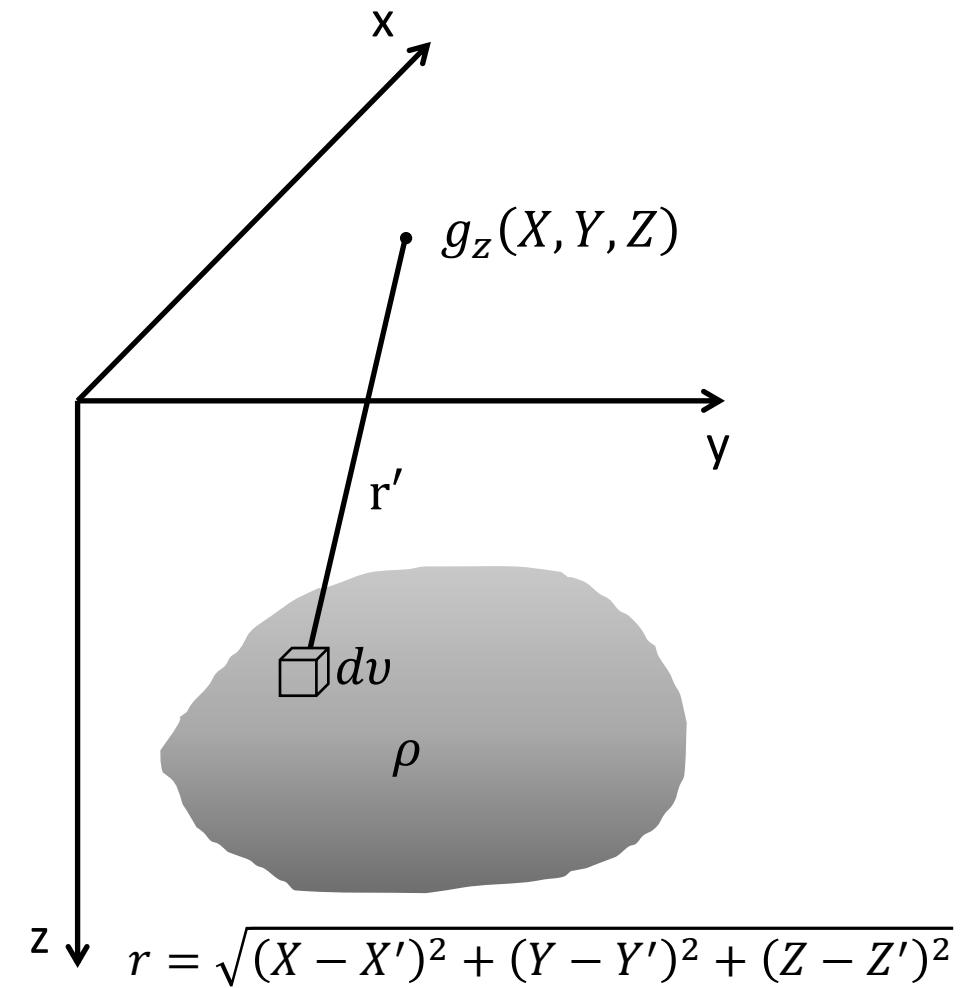
$$\delta_B = g_P - \gamma_P - g_B$$

Distúrbio - anomalia bouguer



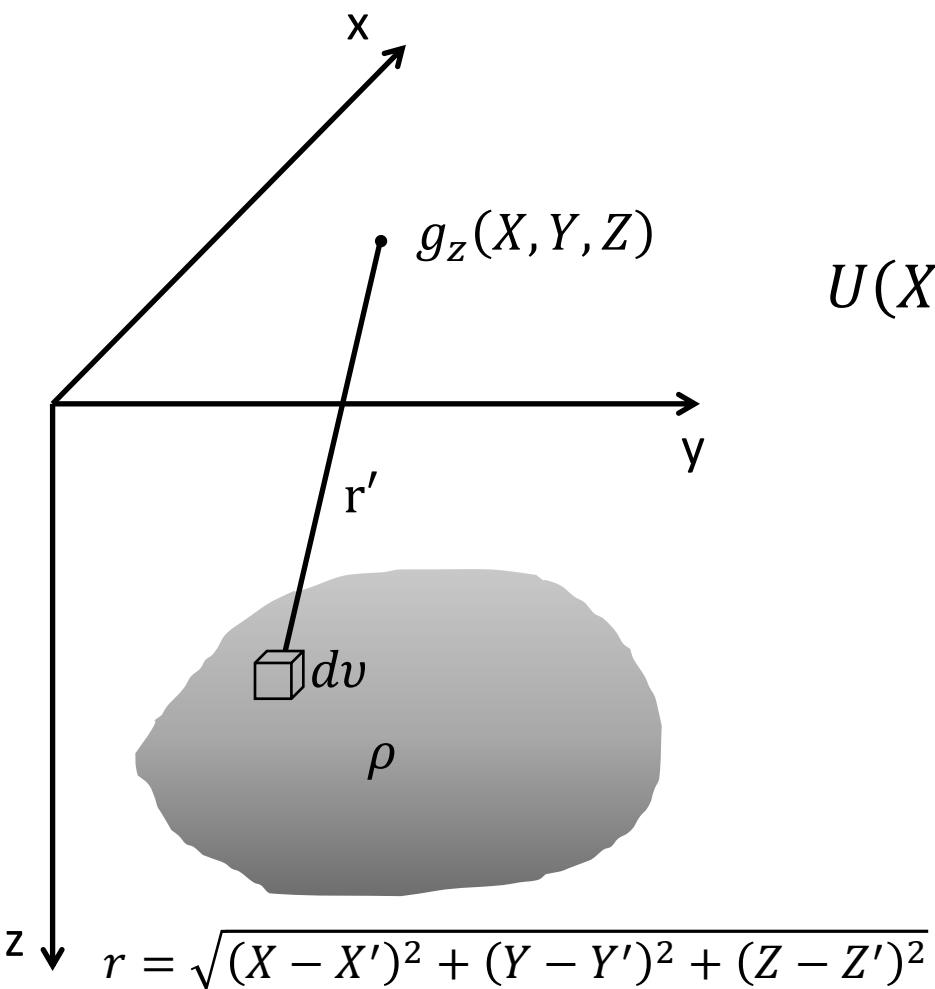
Modelagem do efeito gravitacional

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade



Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

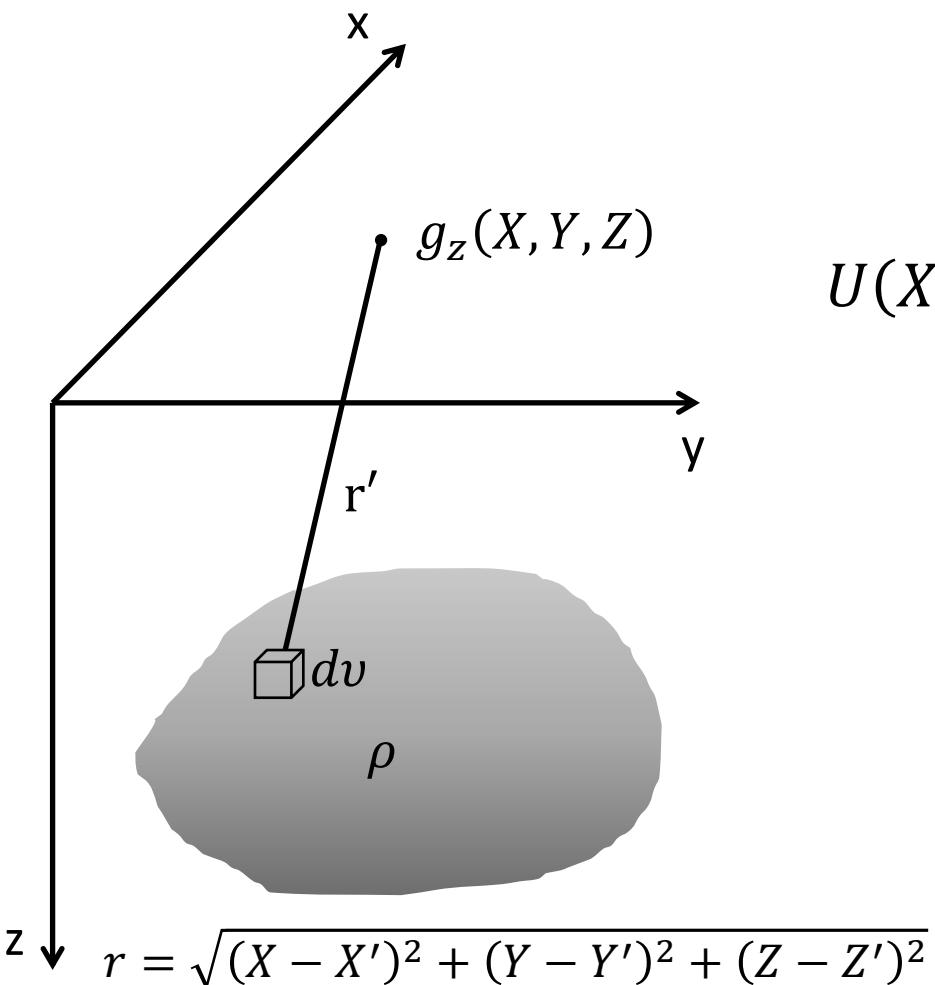
O potencial gravitacional que gera a componente gravitacional de uma distribuição de densidade



$$U(X, Y, Z) = k_g \int_{\nu} \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} d\nu$$

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

O potencial gravitacional que gera a componente gravitacional de uma distribuição de densidade



$$U(X, Y, Z) = k_g \int_v \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} dv$$

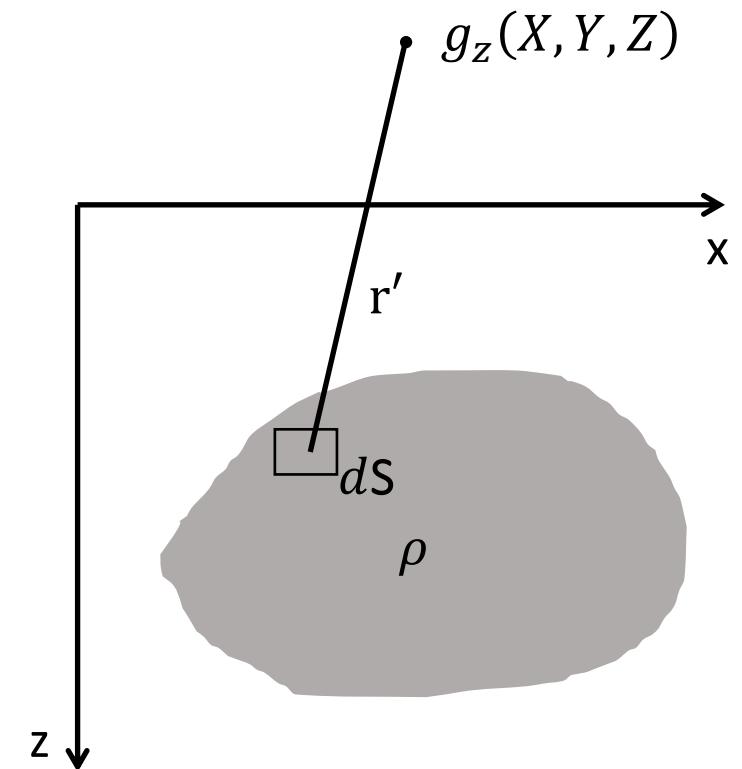
$$g_z(X, Y, Z) = - \frac{\partial U(X, Y, Z)}{\partial z}$$

Componente vertical do campo gravitacional

Exemplos com geometrias simples

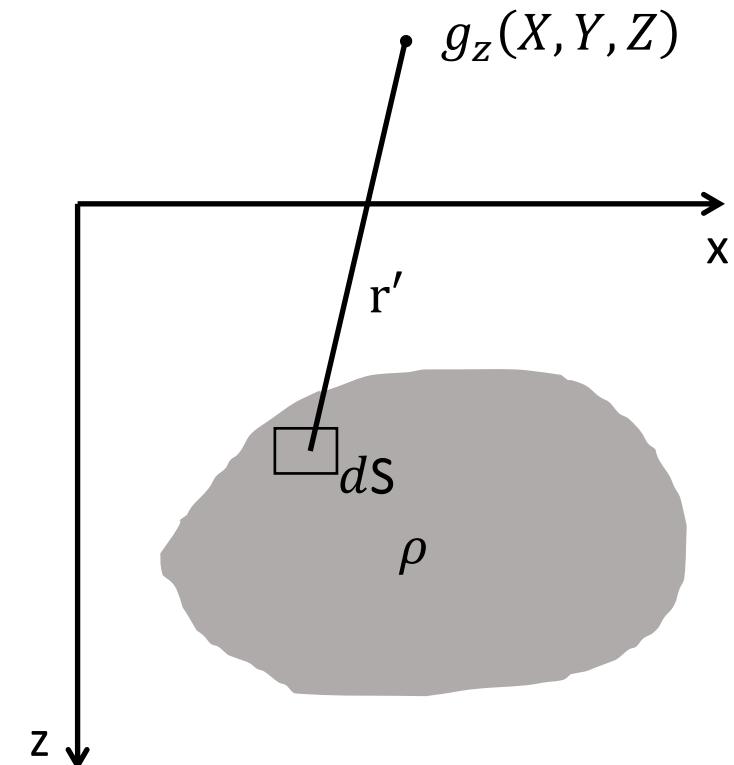
1. Modelagem 2D com polígonos

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade



Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

O potencial gravitacional que gera a componente gravitacional de uma distribuição de densidade

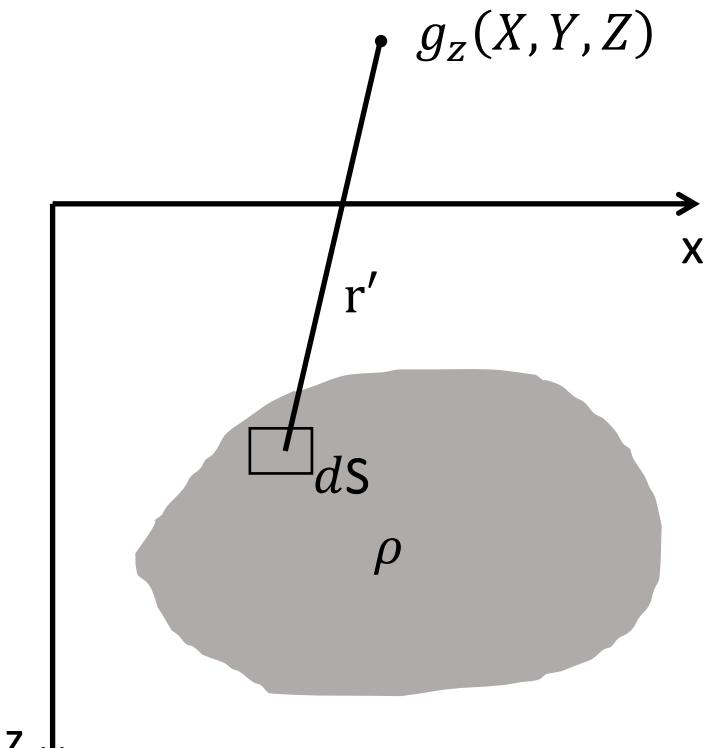


$$U(X, Z) = k_g \int_S \frac{\rho}{[(X - X')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} dS$$

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

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

O potencial gravitacional que gera a componente gravitacional de uma distribuição de densidade



$$U(X, Z) = k_g \int_S \frac{\rho}{[(X - X')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} dS$$

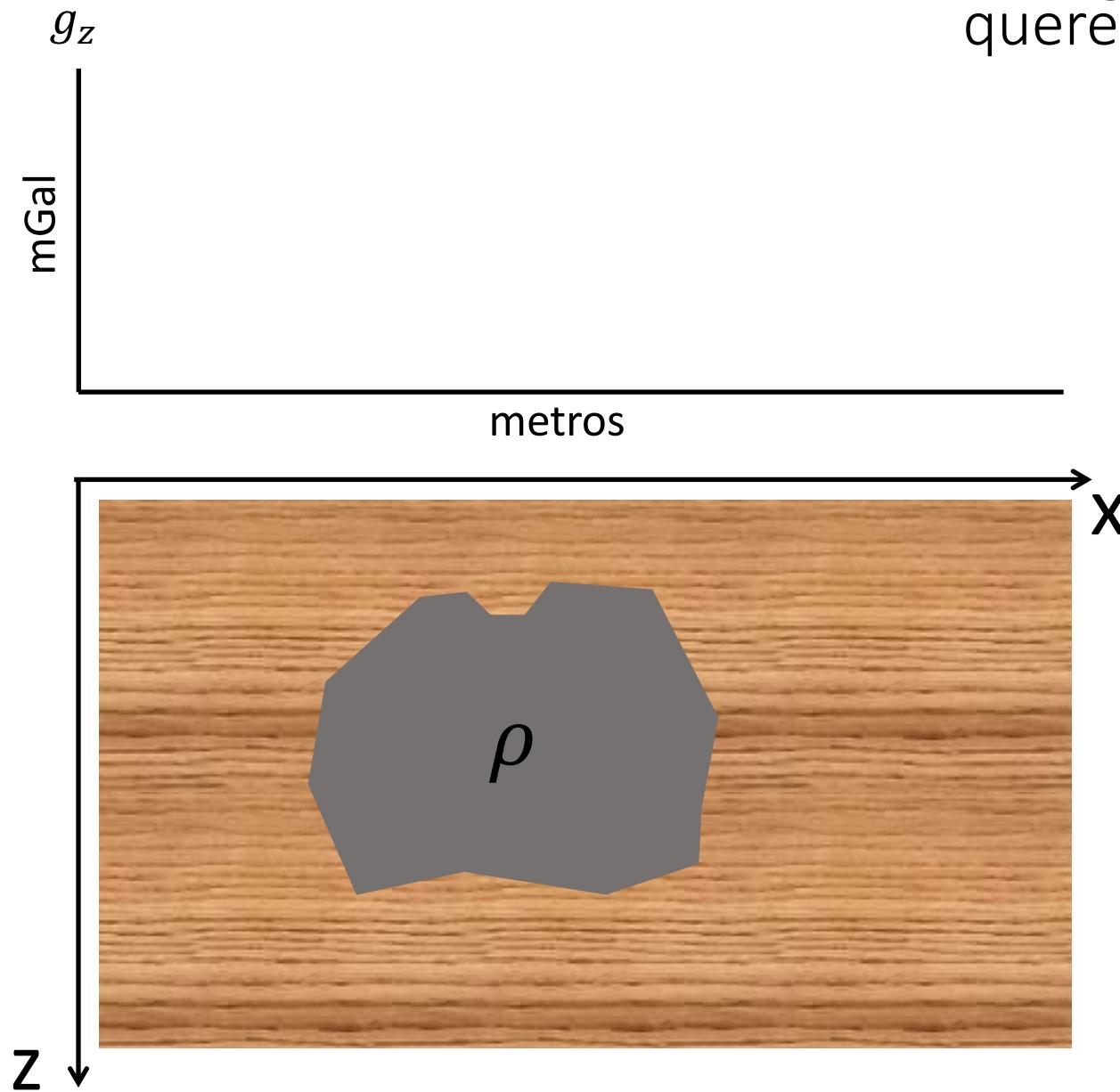
$$r = \sqrt{(X - X')^2 + (Z - Z')^2}$$

Resolver esta equação para um polígono

Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submarine Fracture Zone. (Talwani et al., 1959)

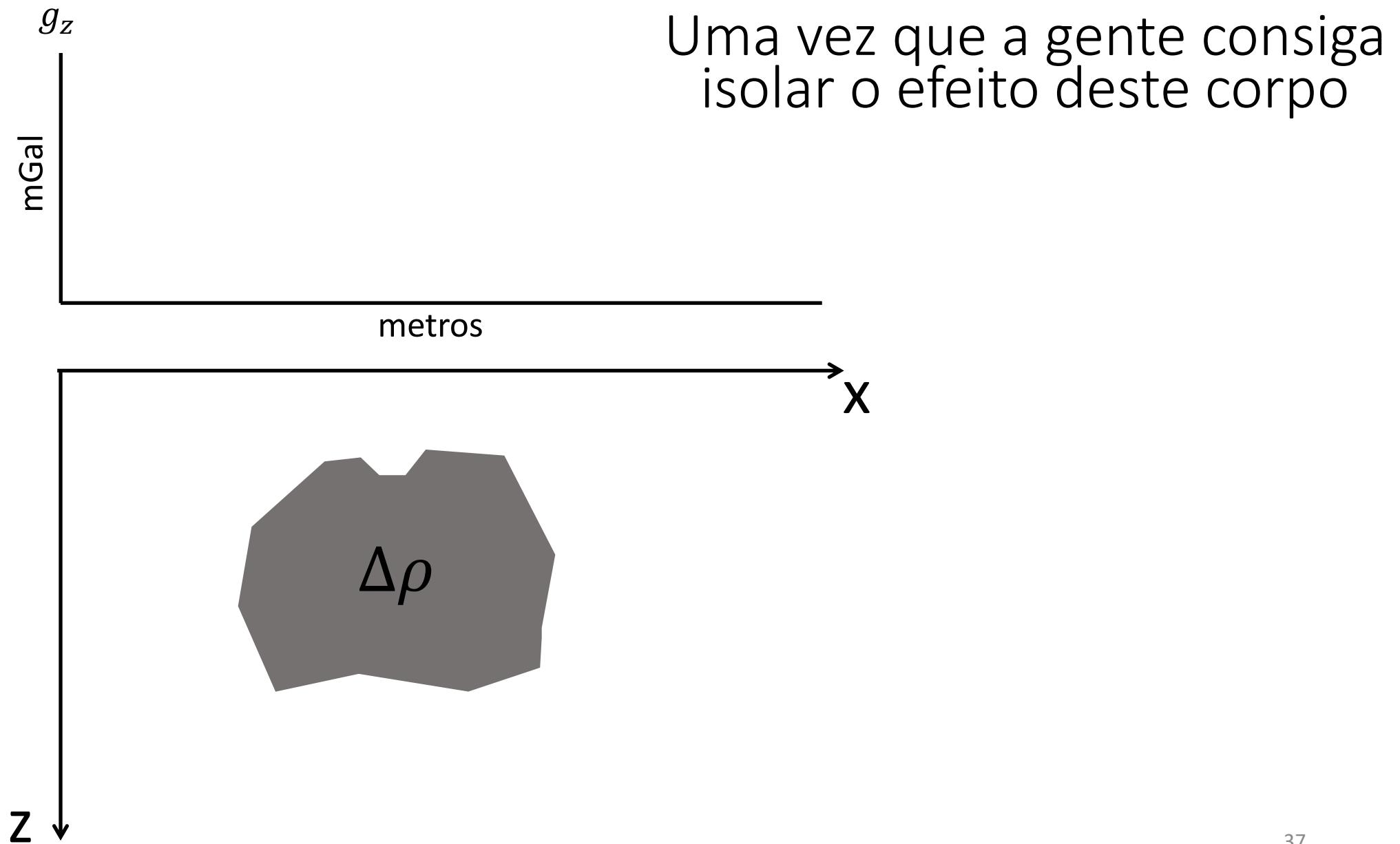
$$g_z(X, Z) = - \frac{\partial U(X, Z)}{\partial z}$$

Modelagem 2D

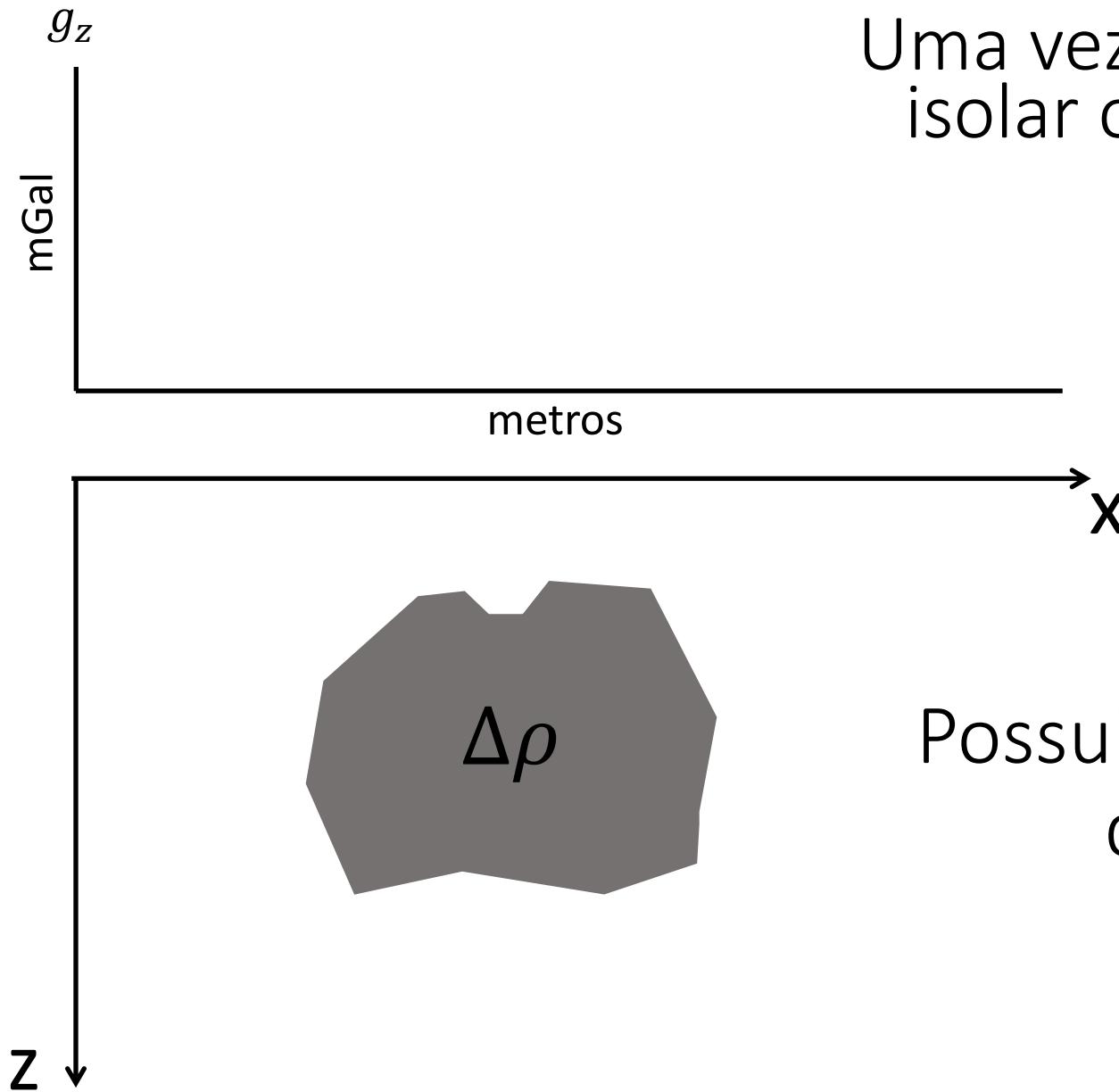


Imagine uma situação na qual queremos estudar um corpo em subsuperfície.

Modelagem 2D



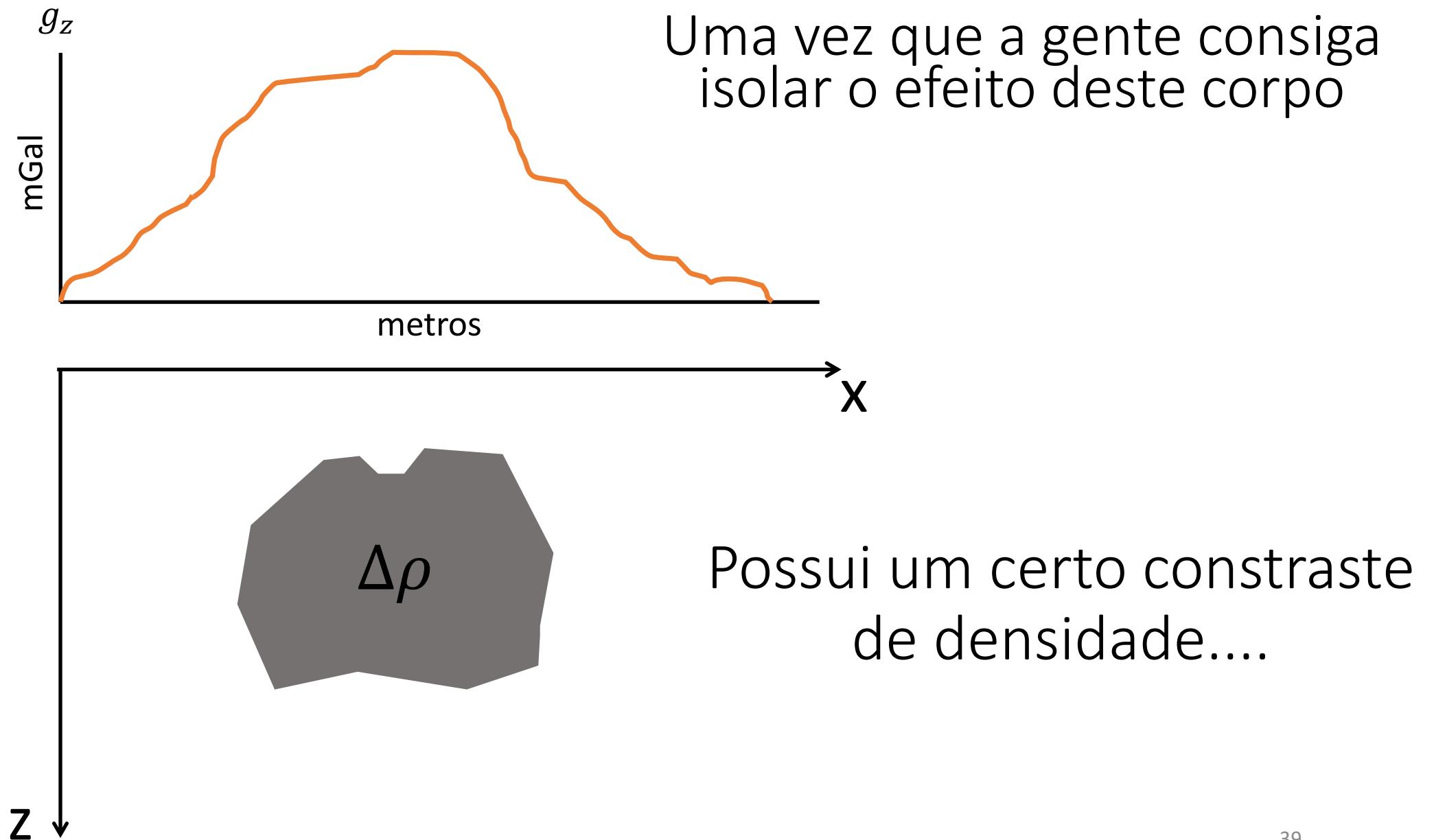
Modelagem 2D



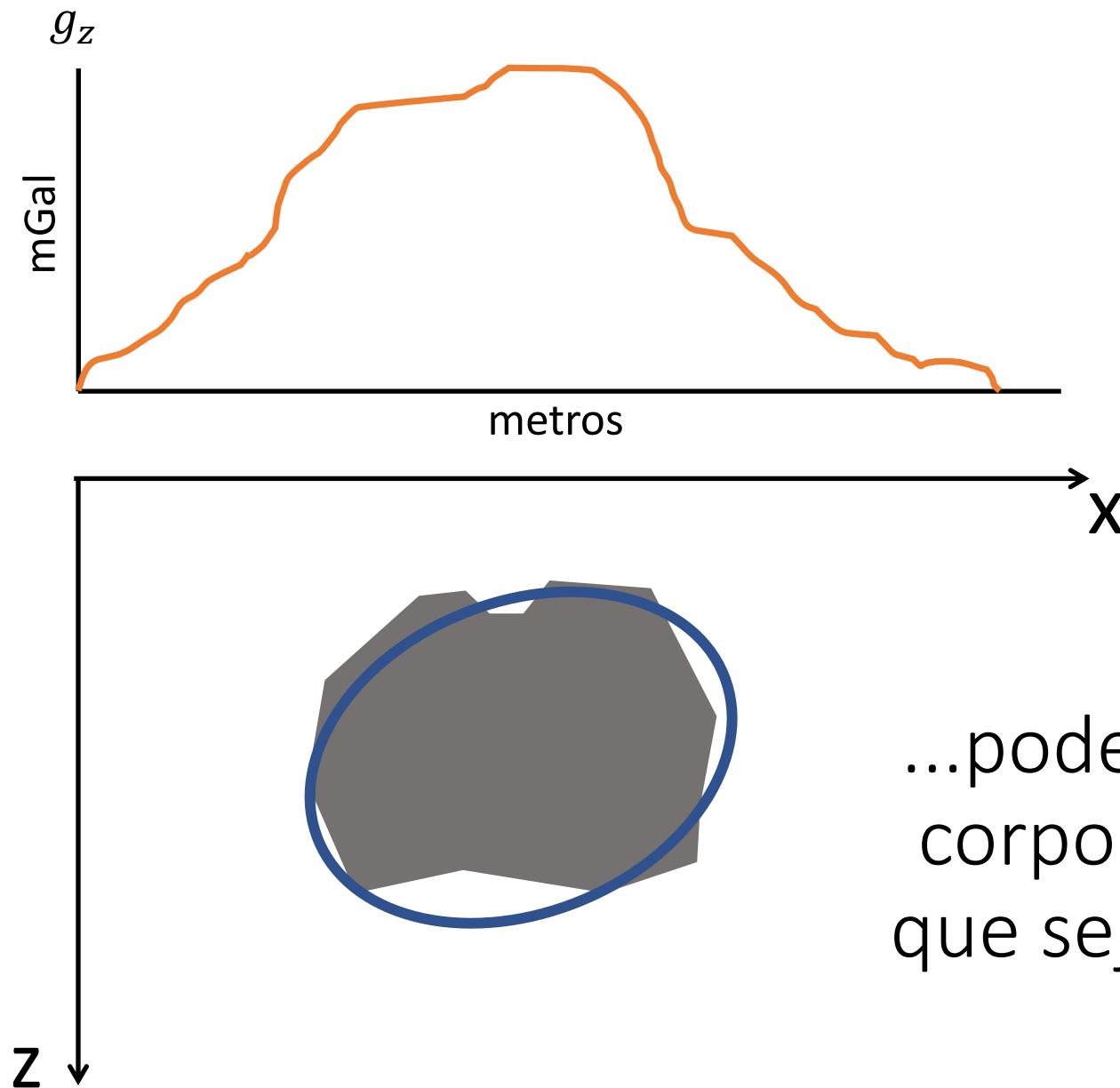
Uma vez que a gente consiga
isolar o efeito deste corpo

Possui um certo contraste
de densidade....

Modelagem 2D

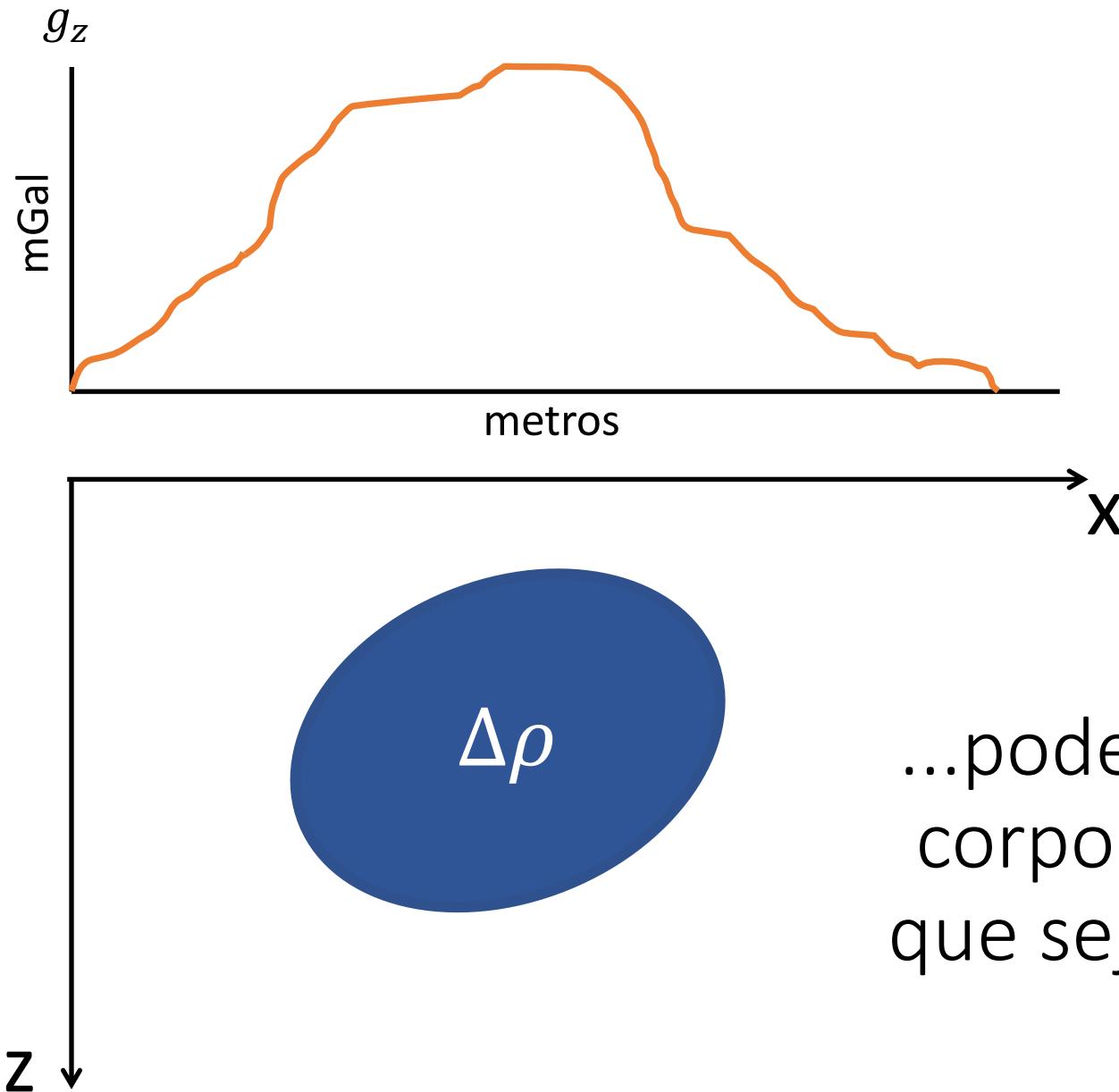


Modelagem 2D



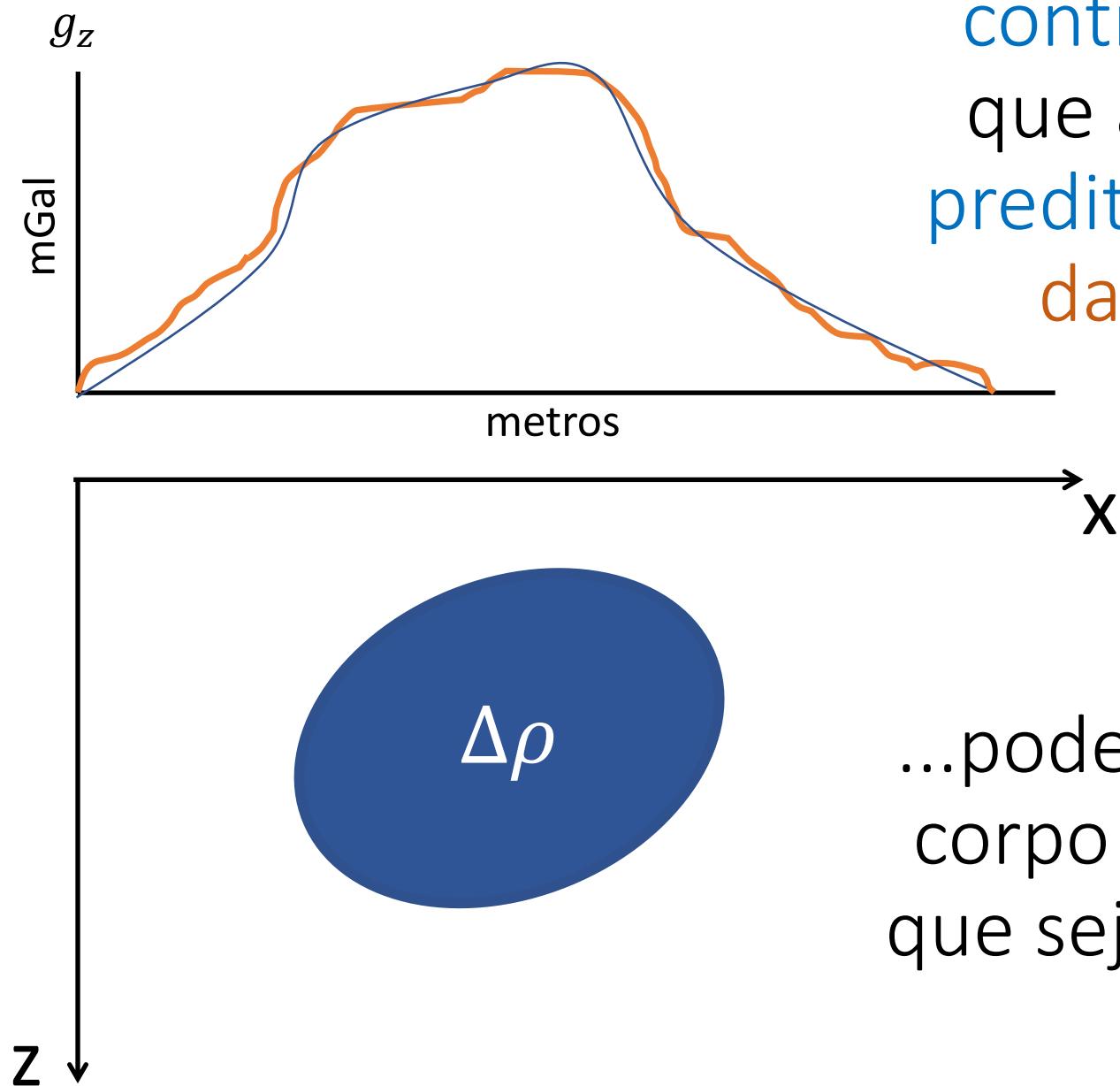
...podemos aproximar este corpo por uma geometria que seja de nosso controle.

Modelagem 2D



...podemos aproximar este corpo por uma geometria que seja de nosso controle.

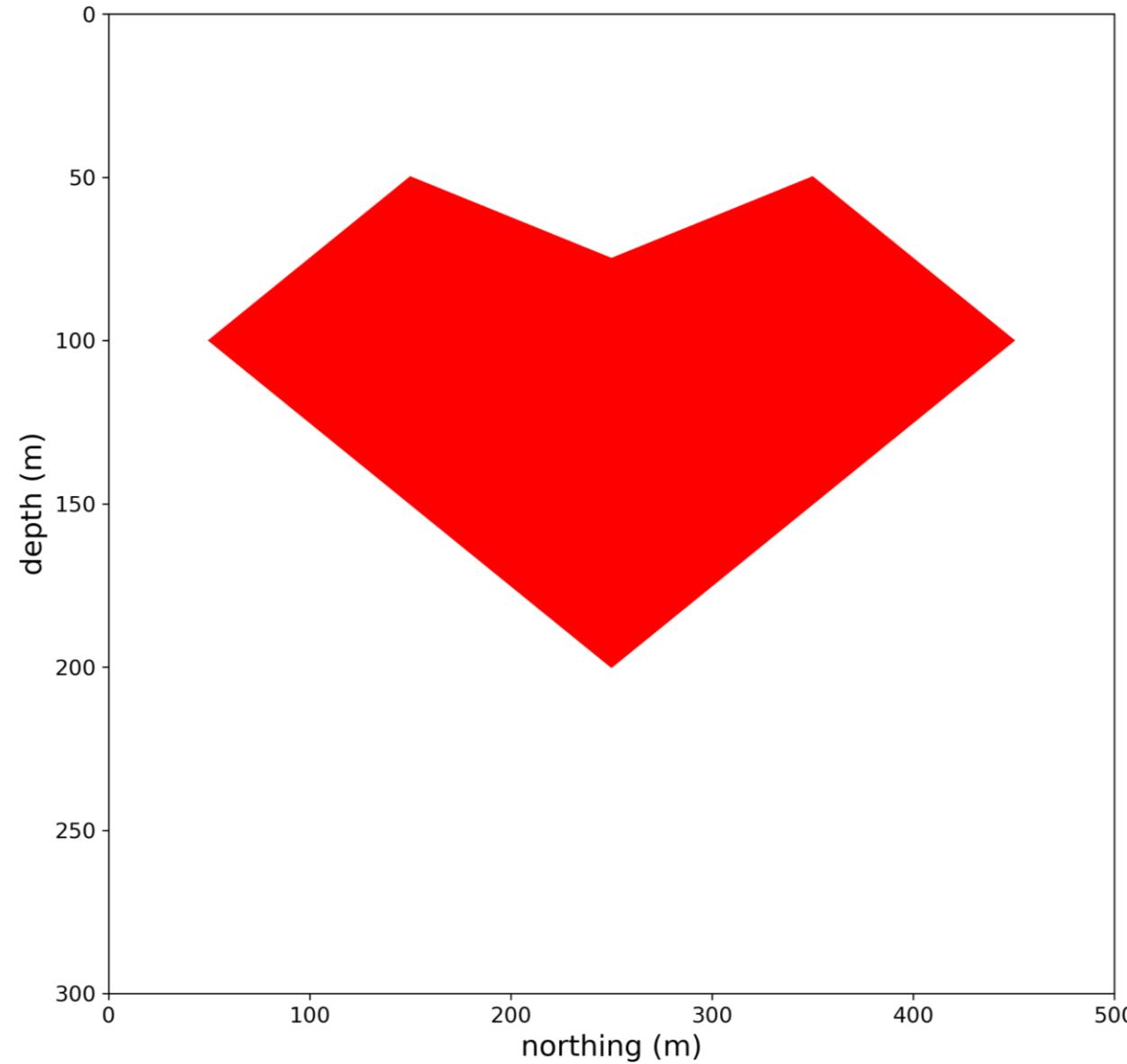
Modelagem 2D



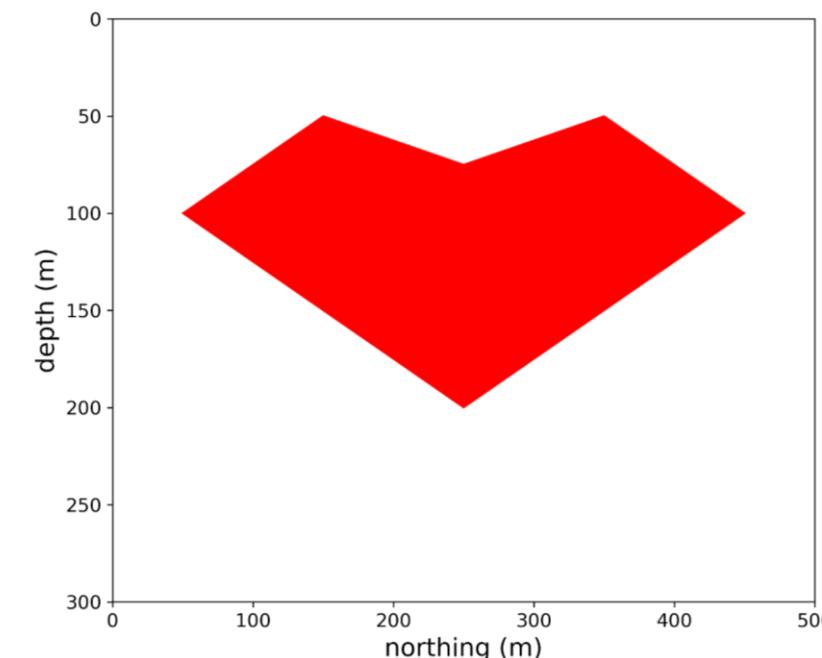
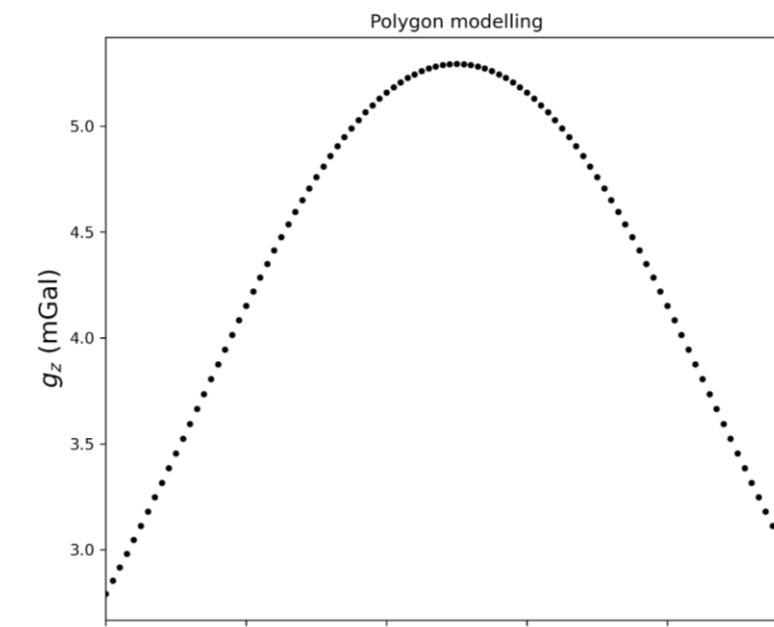
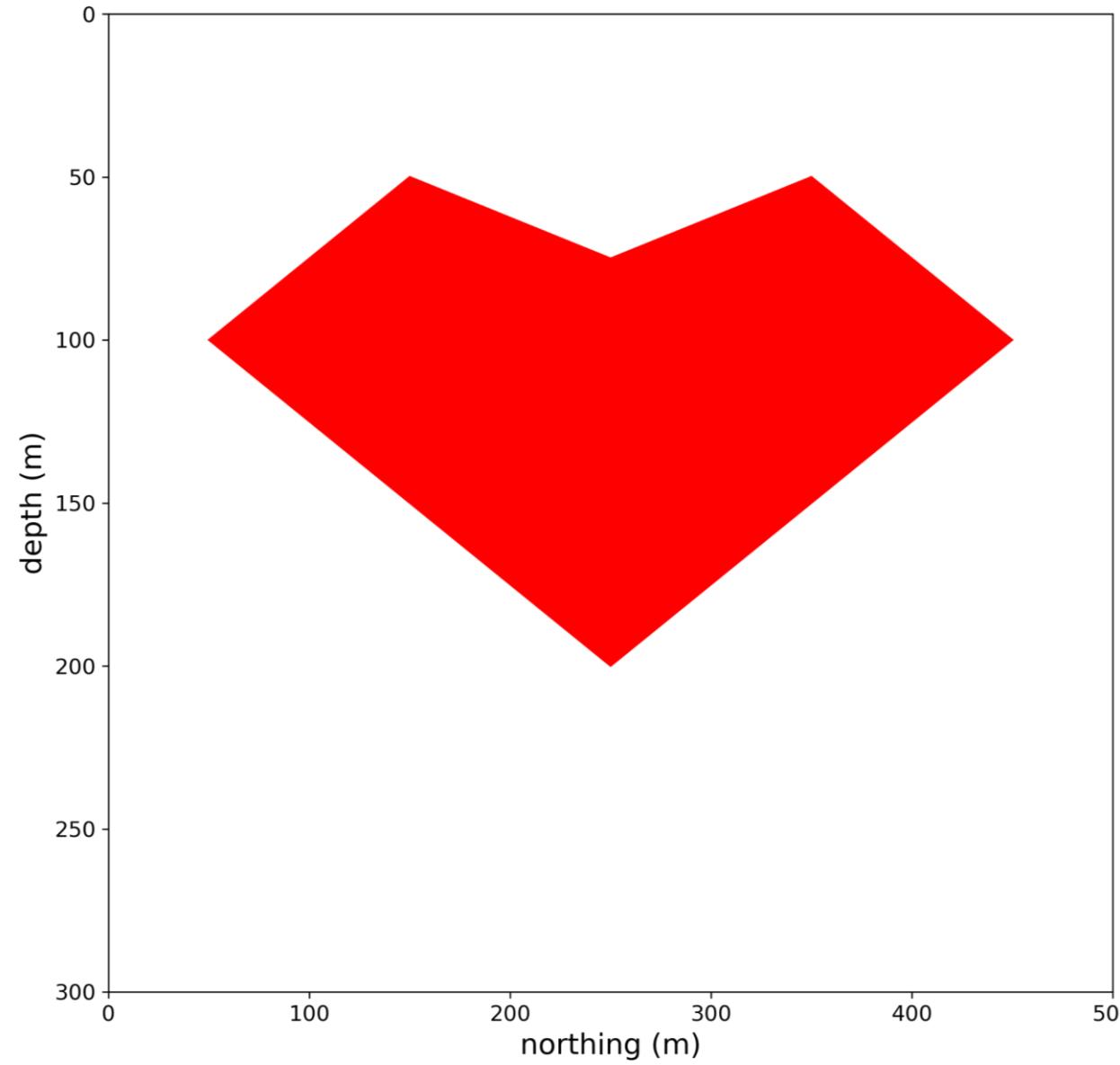
Conseguimos encontrar um
contraste de densidade
que aproxime os dados
preditos pelo modelo dos
dados observados!

...podemos aproximar este
corpo por uma geometria
que seja de nosso controle.

Efeito gravimétrico de um polígono

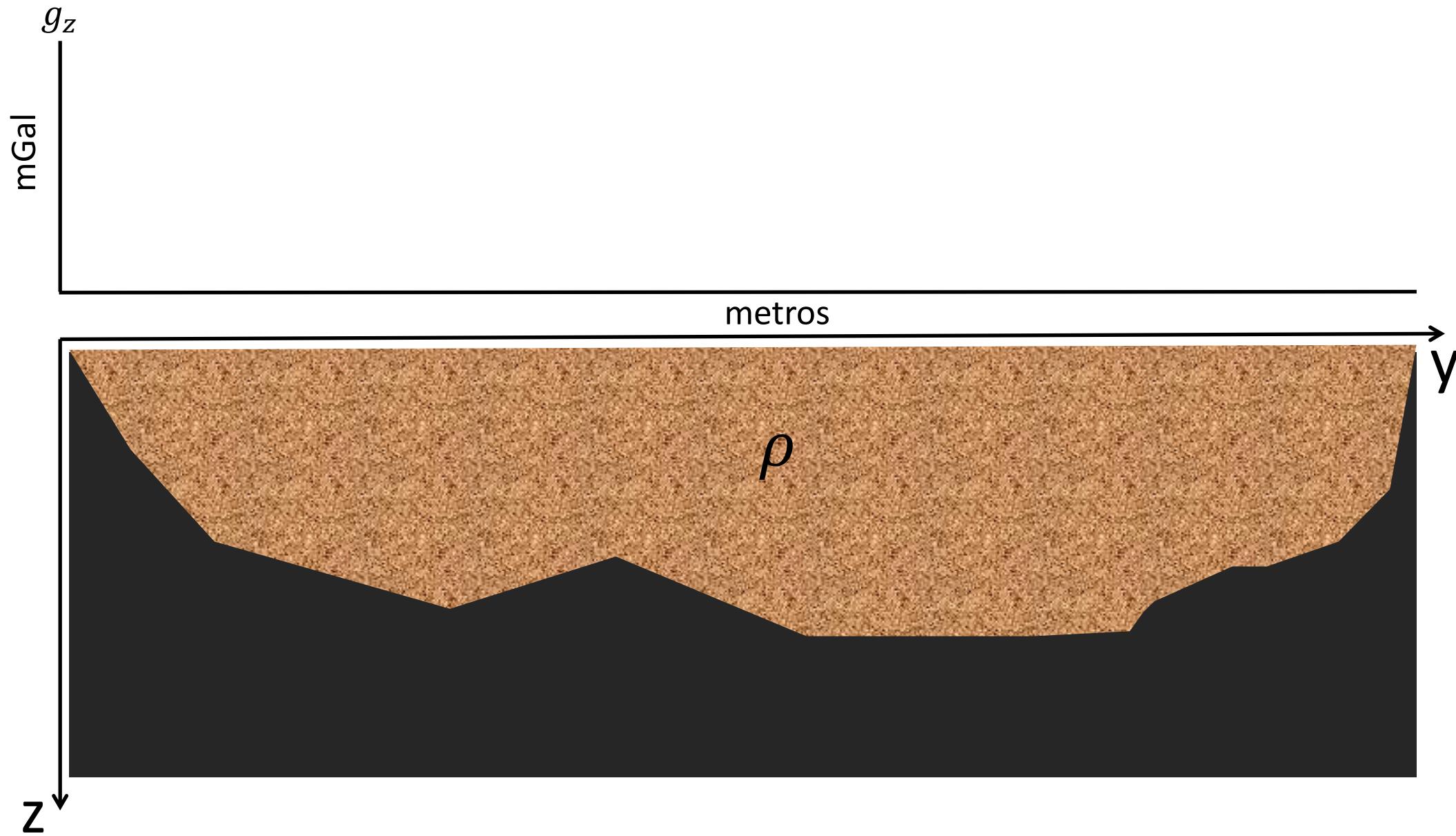


Efeito gravimétrico de um polígono

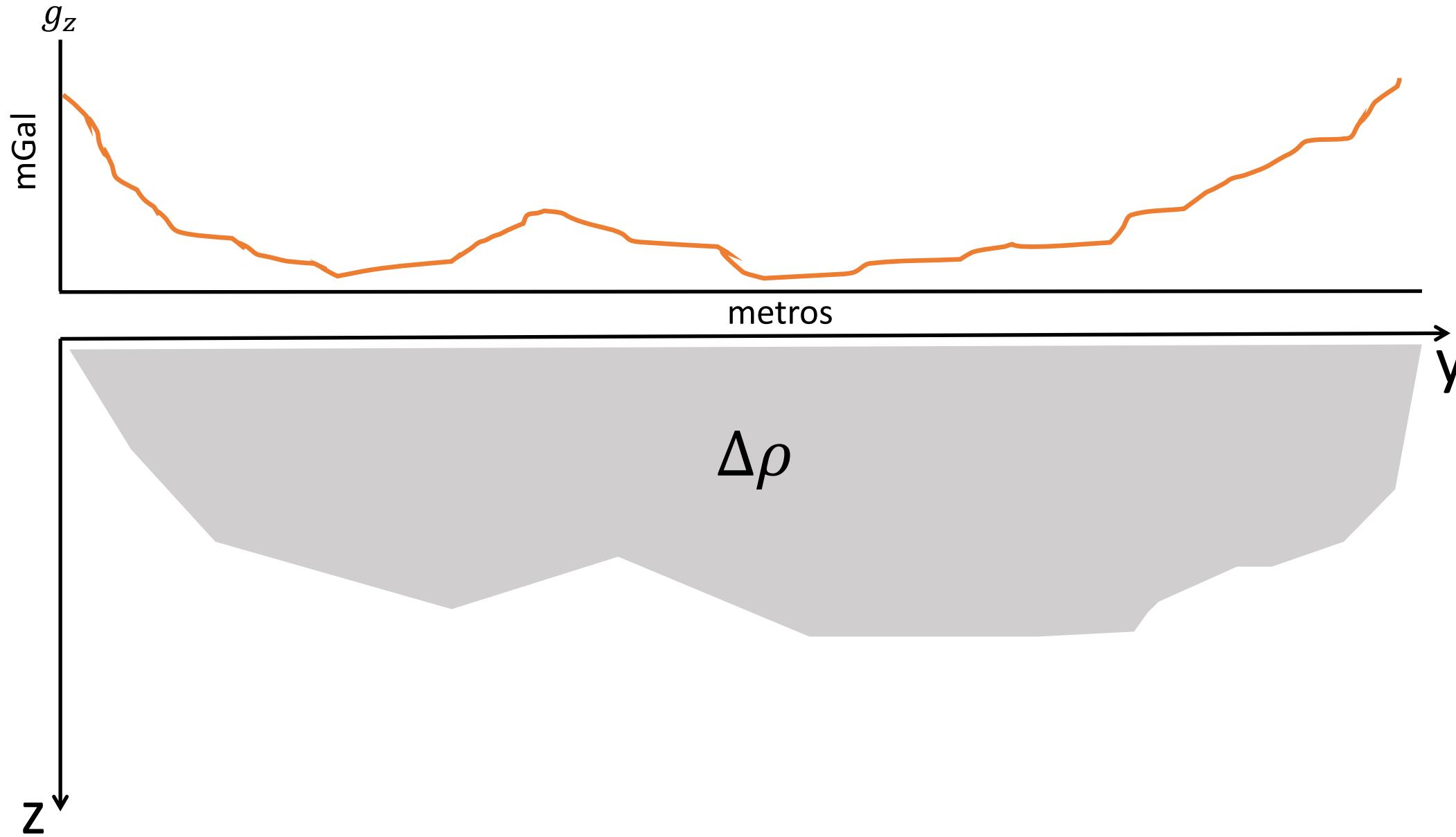


1.1. Bacia 2D simples

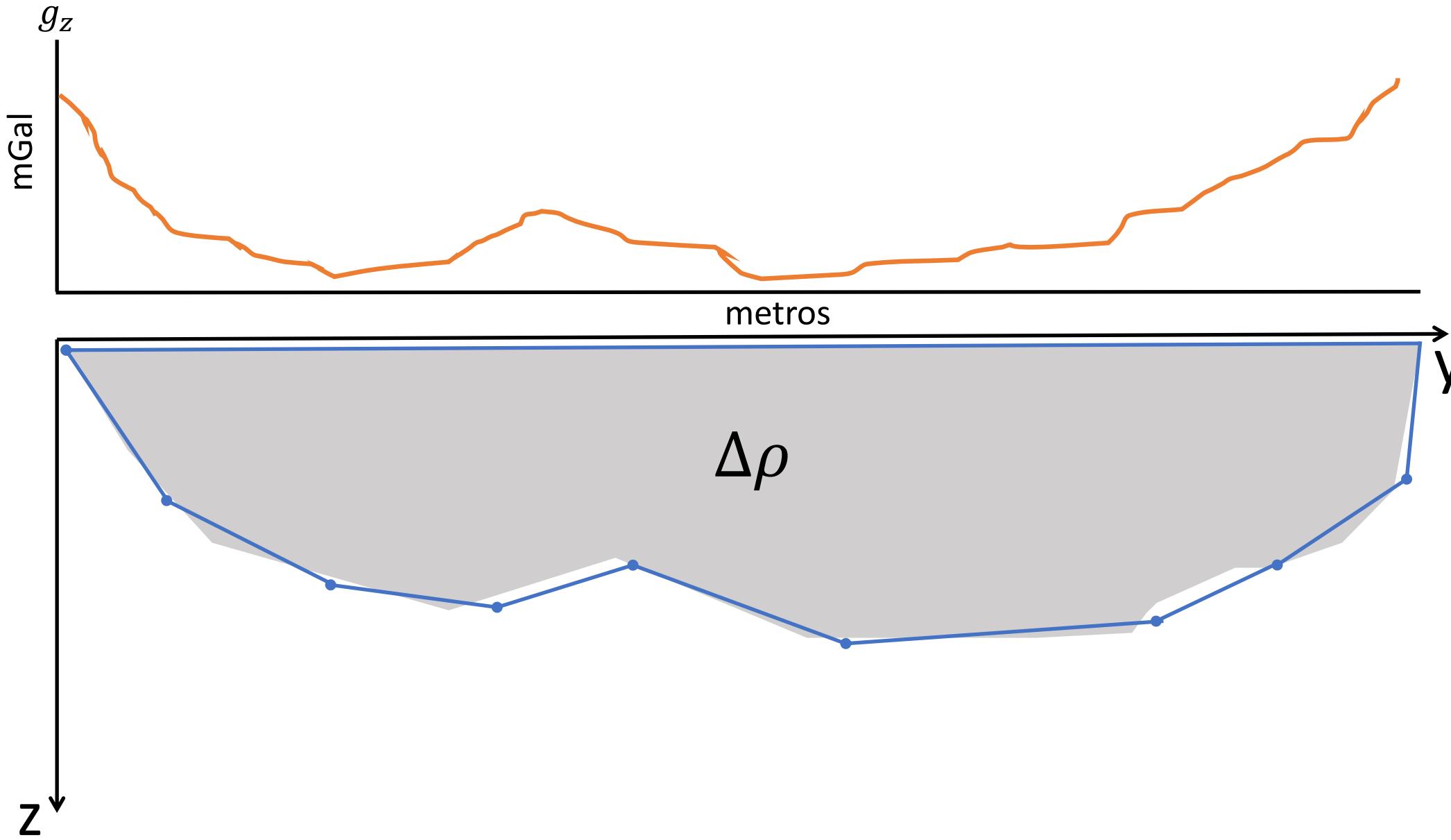
Bacia sedimentar 2D



Bacia sedimentar 2D

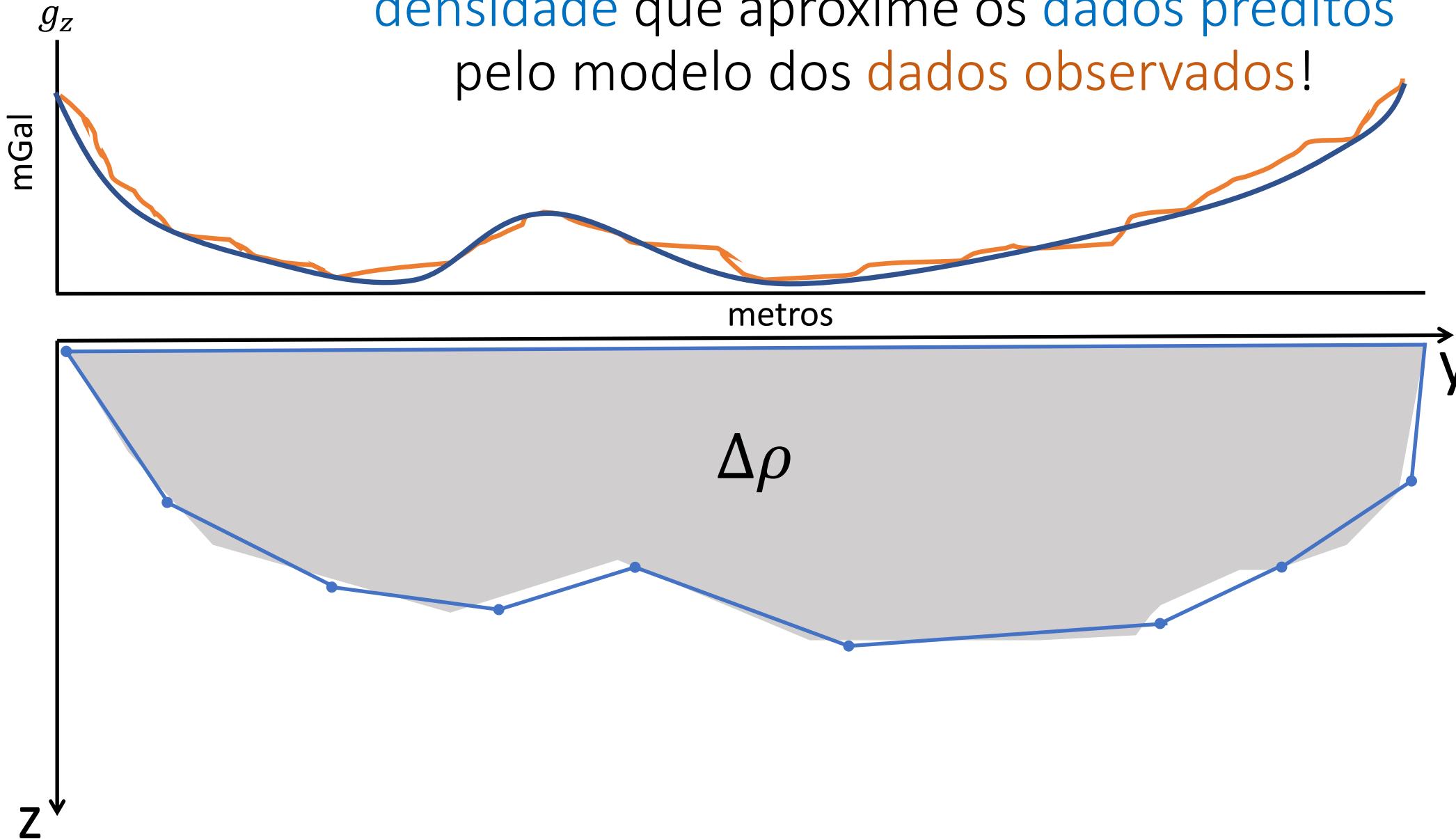


Bacia sedimentar 2D

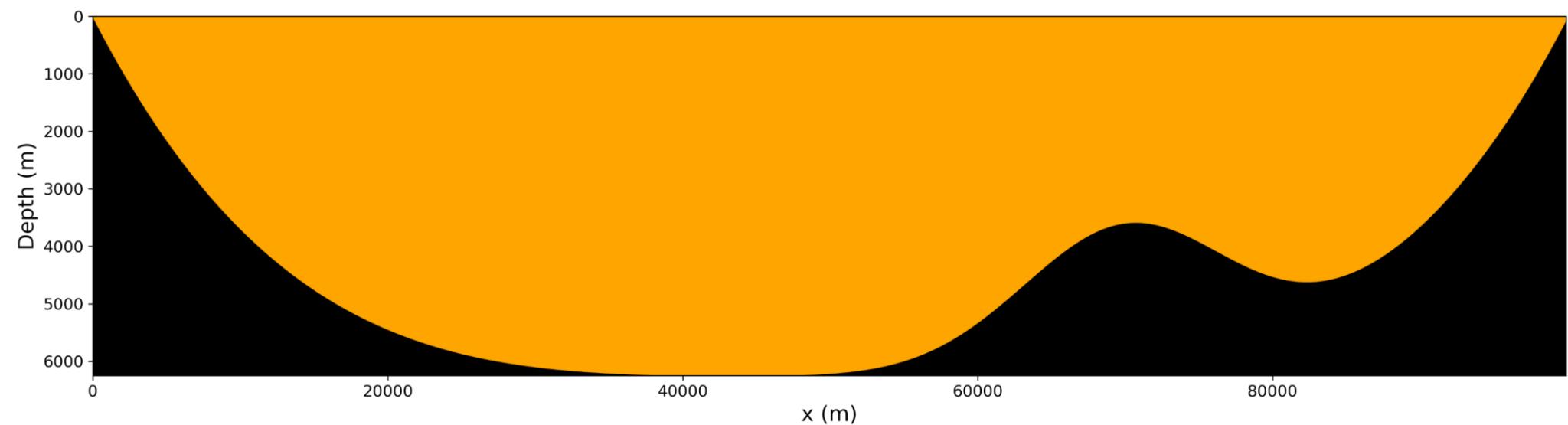


Bacia sedimentar 2D

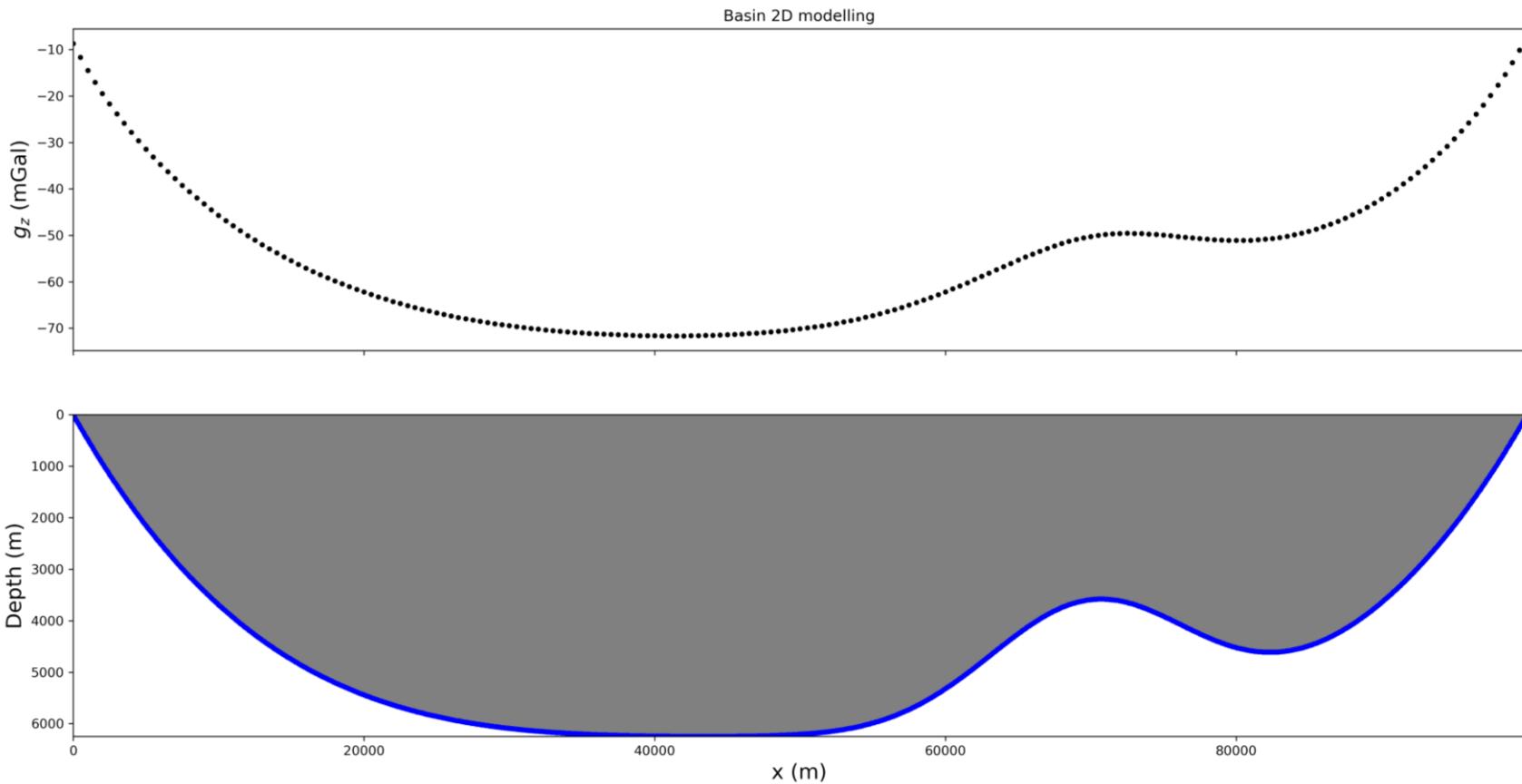
Conseguimos encontrar um **contraste de densidade** que aproxime os dados preditos pelo modelo dos **dados observados!**



Bacia sedimentar 2D

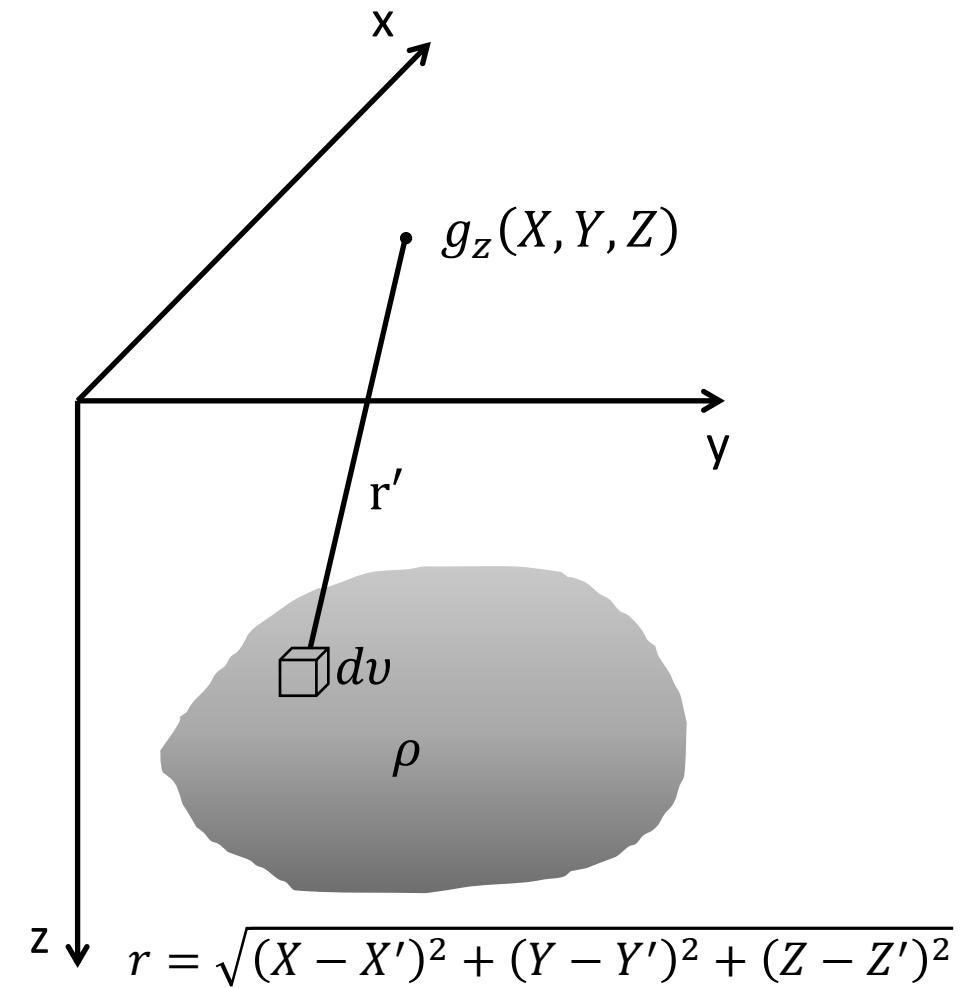


Bacia sedimentar 2D



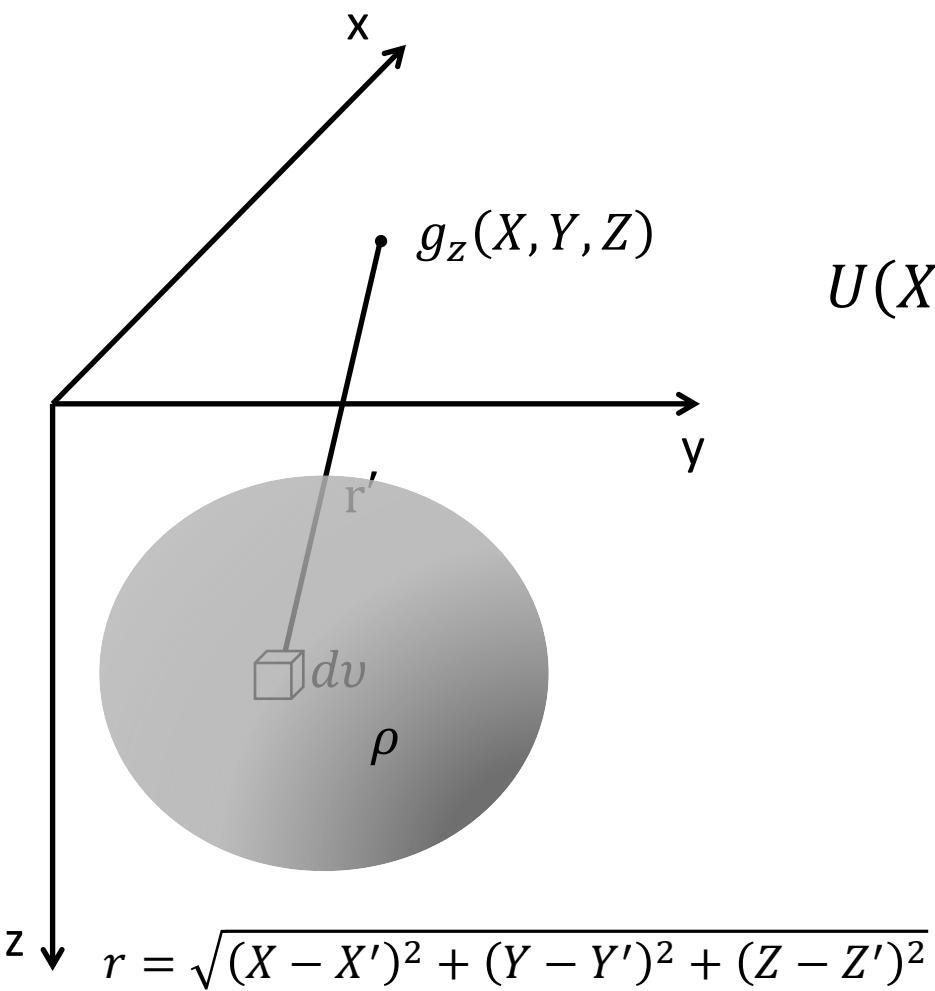
2. Modelagem 3D grav com esferas

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade



Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

O potencial gravitacional que gera a componente gravitacional de uma distribuição de densidade

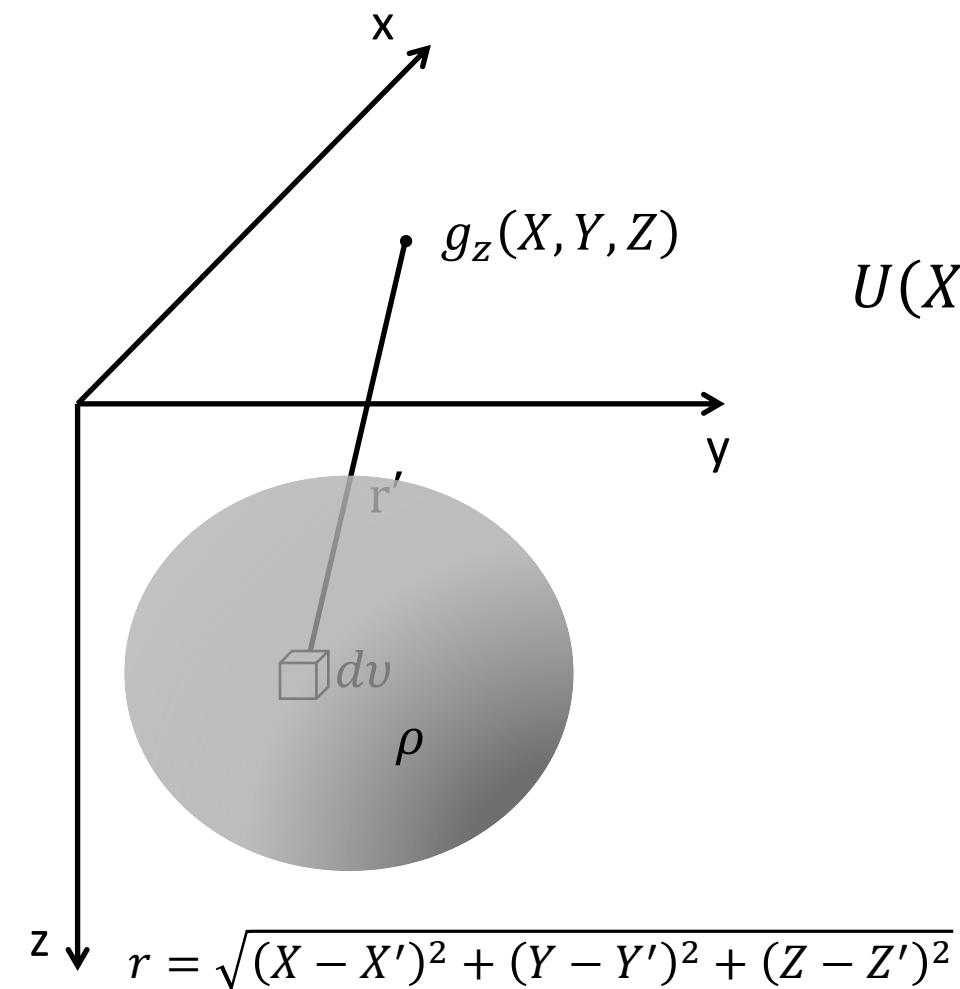


$$U(X, Y, Z) = k_g \int_{\nu} \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} d\nu$$

$$g_z(X, Y, Z) = - \frac{\partial U(X, Y, Z)}{\partial z}$$

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

O potencial gravitacional que gera a componente gravitacional de uma distribuição de densidade

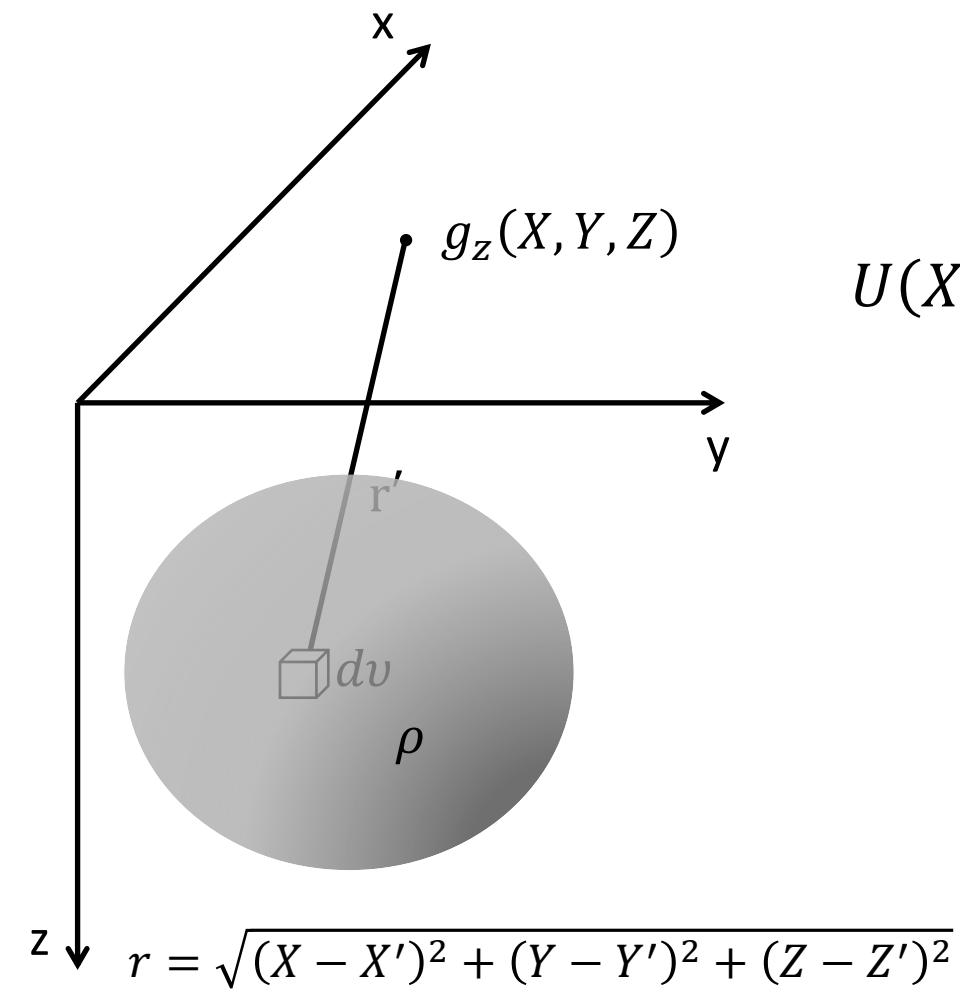


$$U(X, Y, Z) = k_g \int_V \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')]^{\frac{1}{2}}} dV$$

Quando consideramos a densidade homogênea ao longo do corpo e resolvemos a integral de volume para uma esfera.

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

O potencial gravitacional que gera a componente gravitacional de uma distribuição de densidade



$$U(X, Y, Z) = k_g \int_{\nu} \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} d\nu$$

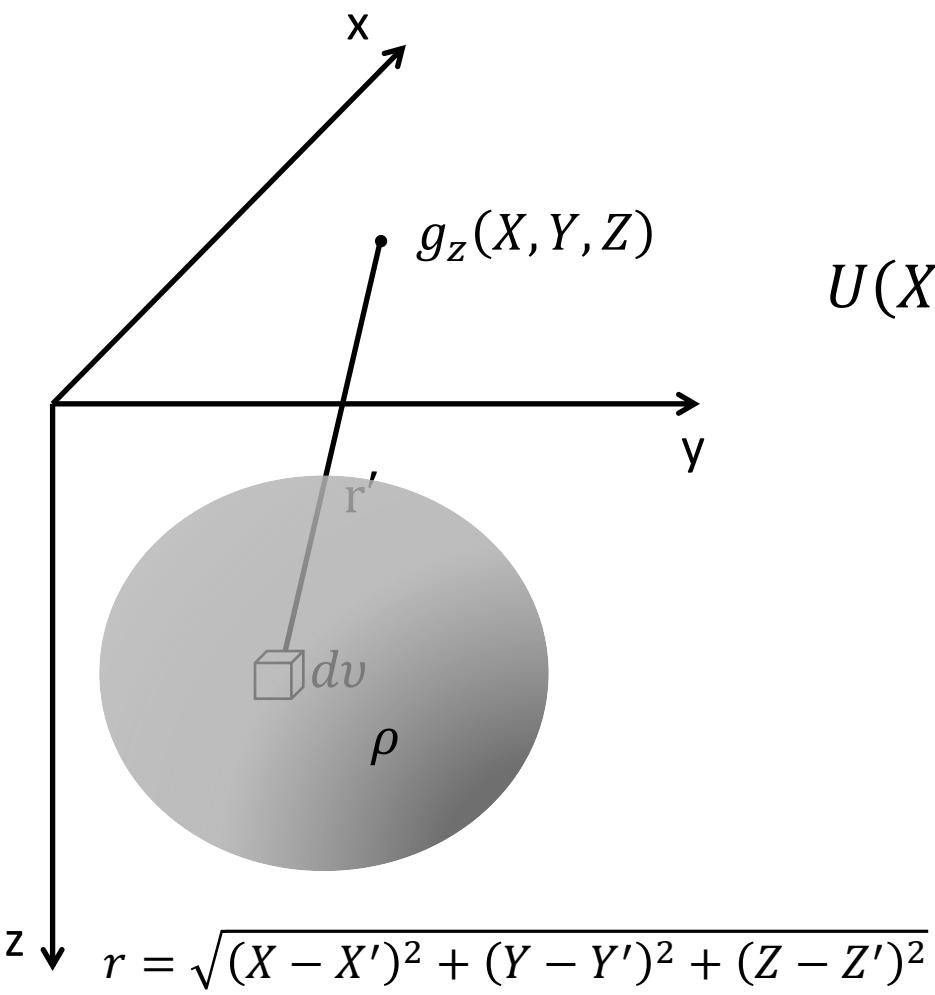
Quando consideramos a densidade homogênea ao longo do corpo e resolvemos a integral de volume para uma esfera.

$$U(X, Y, Z) = k_g \frac{\rho V}{r}$$

Que depende do volume V, da densidade ρ e da distância de observação r .

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

O potencial gravitacional que gera a componente gravitacional de uma distribuição de densidade



$$U(X, Y, Z) = k_g \int_V \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} dV$$

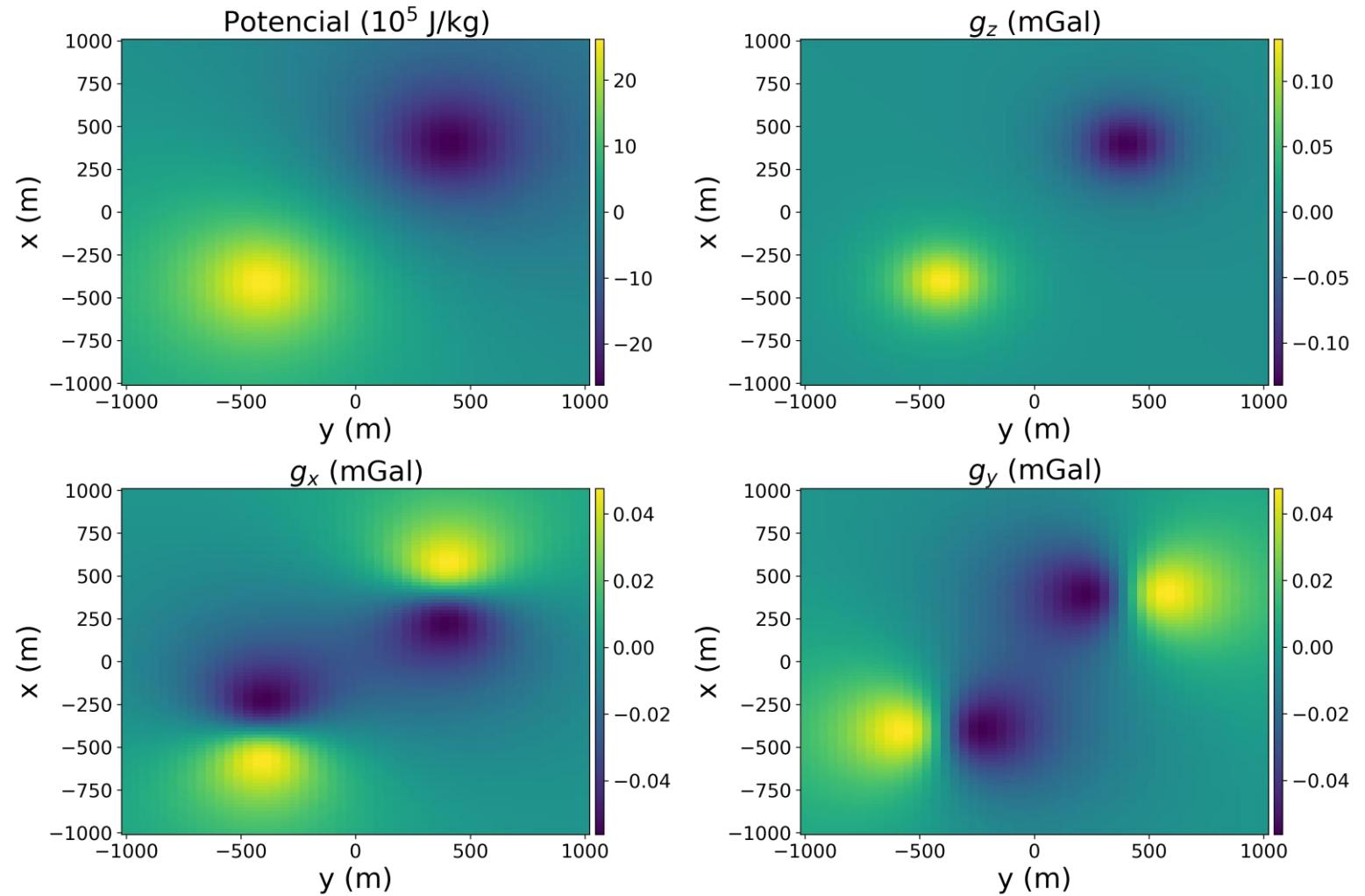
Quando consideramos a densidade homogênea ao longo do corpo e resolvemos a integral de volume para uma esfera.

$$U(X, Y, Z) = k_g \frac{\rho V}{r}$$

Que depende do volume V, da densidade ρ e da distância de observação r .

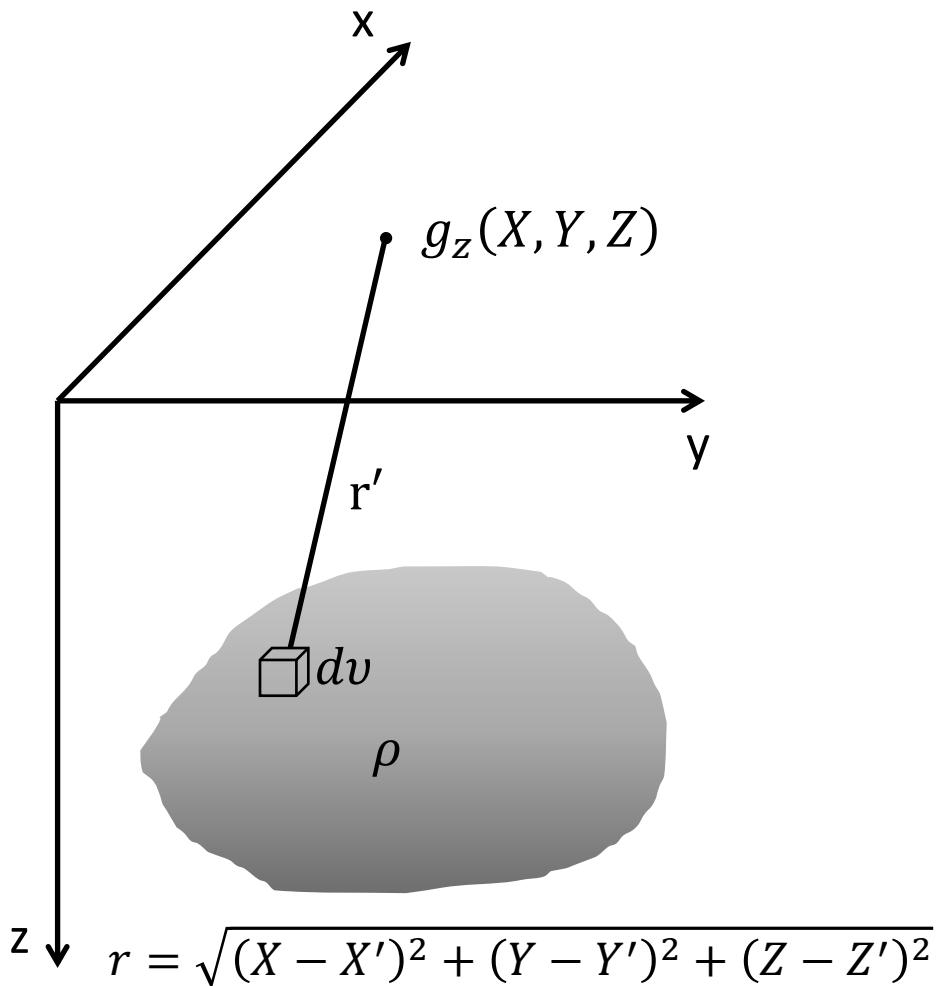
$$g_z(X, Y, Z) = - \frac{\partial U(X, Y, Z)}{\partial z}$$

Efeito gravitacional de uma esfera



2.1. Gradiometria gravimétrica 3D com esferas

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

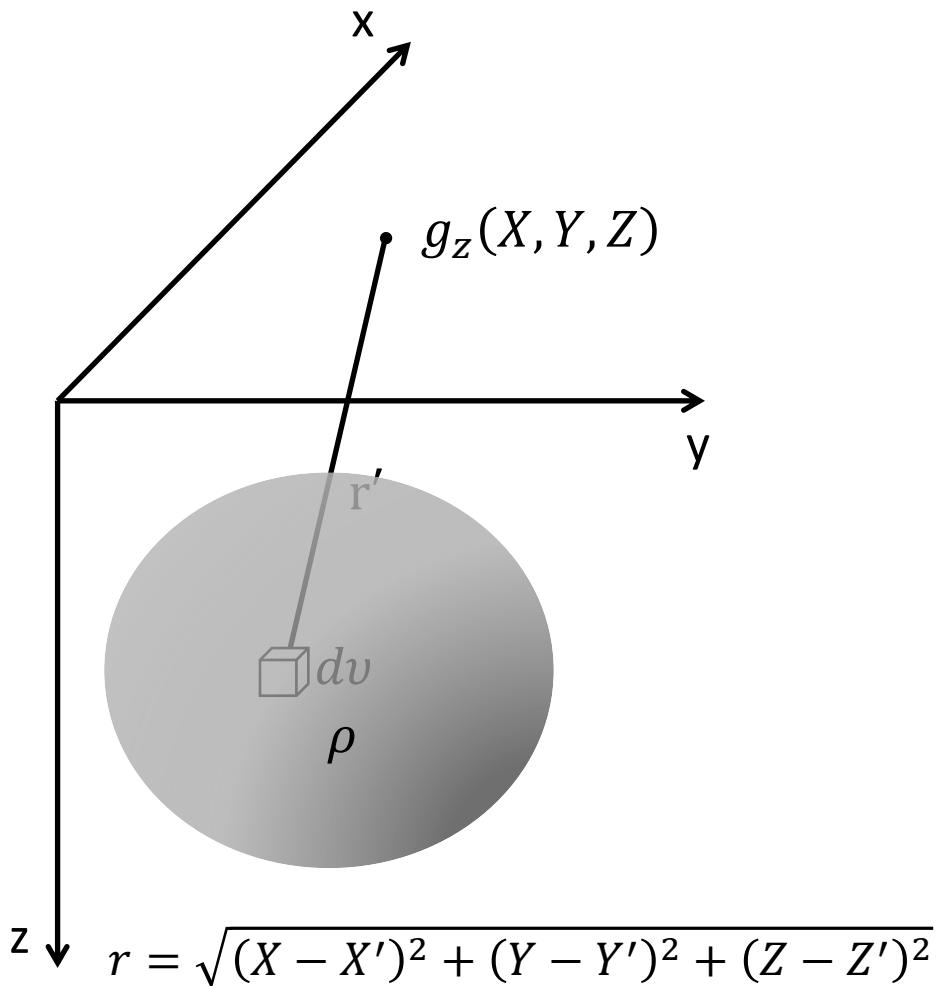


Um outro tipo de dado que utilizamos em estudos gravitacionais são os dados de **gradiometria gravimétrica**

$$\nabla \mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_{xx} & g_{xy} & g_{xz} \\ g_{yx} & g_{yy} & g_{yz} \\ g_{zx} & g_{zy} & g_{zz} \end{bmatrix} \quad \xrightarrow{\text{ }} \quad \nabla(\nabla \mathbf{U}) = \begin{bmatrix} U_{xx} & U_{xy} & U_{xz} \\ U_{yx} & U_{yy} & U_{yz} \\ U_{zx} & U_{zy} & U_{zz} \end{bmatrix}$$

Tensor gradiente de gravidade

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

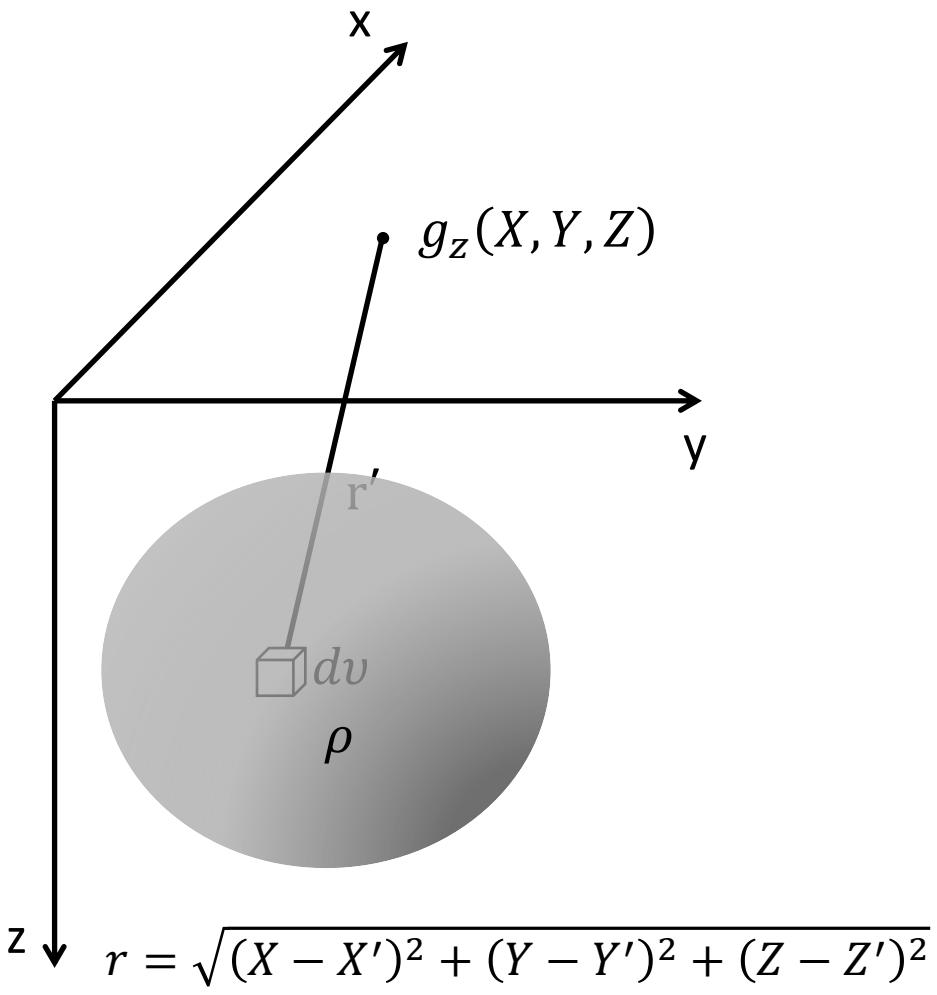


Um outro tipo de dado que utilizamos em estudos gravitacionais são os dados de **gradiometria gravimétrica**

$$\nabla \mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_{xx} & g_{xy} & g_{xz} \\ g_{yx} & g_{yy} & g_{yz} \\ g_{zx} & g_{zy} & g_{zz} \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad \nabla(\nabla \mathbf{U}) = \begin{bmatrix} U_{xx} & U_{xy} & U_{xz} \\ U_{yx} & U_{yy} & U_{yz} \\ U_{zx} & U_{zy} & U_{zz} \end{bmatrix}$$

Tensor gradiente de gravidade

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade



Um outro tipo de dado que utilizamos em estudos gravitacionais são os dados de **gradiometria gravimétrica**

$$\nabla \mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_{xx} & g_{xy} & g_{xz} \\ g_{yx} & g_{yy} & g_{yz} \\ g_{zx} & g_{zy} & g_{zz} \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad \nabla(\nabla \mathbf{U}) = \begin{bmatrix} U_{xx} & U_{xy} & U_{xz} \\ U_{yx} & U_{yy} & U_{yz} \\ U_{zx} & U_{zy} & U_{zz} \end{bmatrix}$$

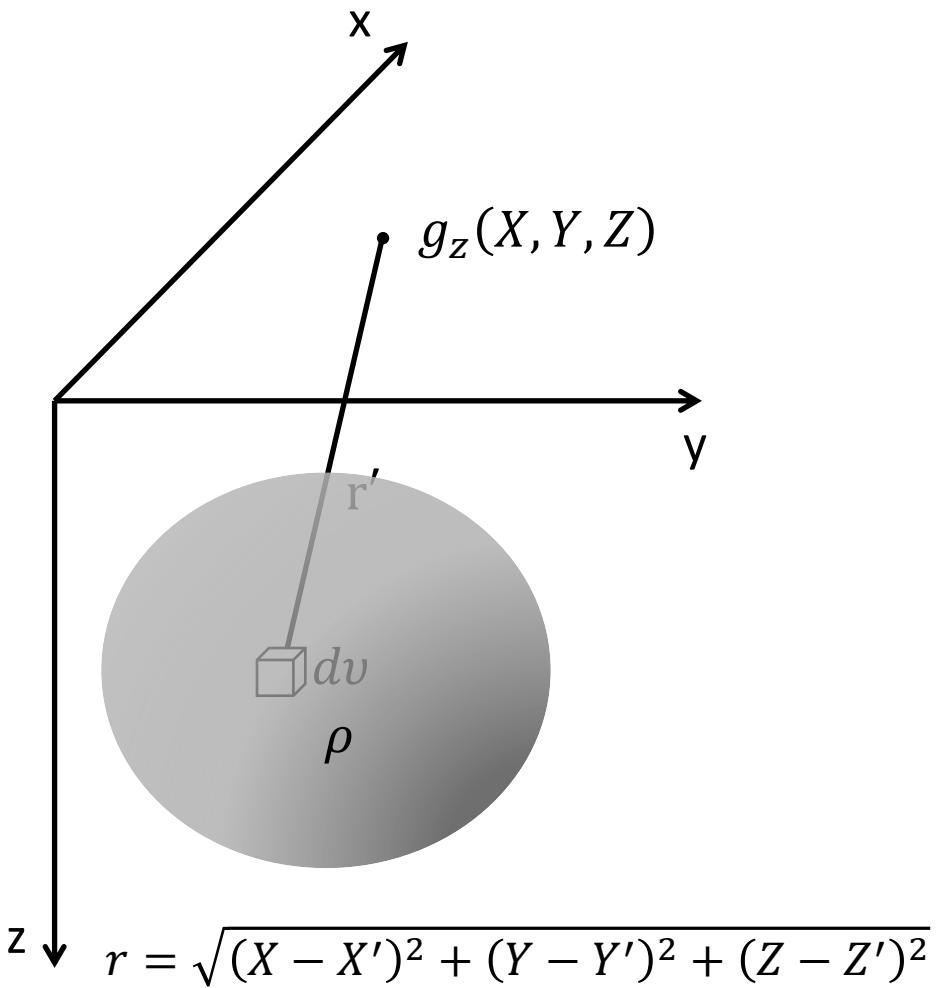
Tensor gradiente de gravidade

Quando consideramos a densidade homogênea ao longo do corpo e resolvemos a **integral de volume para uma esfera**.

$$U(X, Y, Z) = k_g \frac{\rho V}{r}$$

Que depende do volume V , da densidade ρ e da distância de observação r .

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade



$$g_{\alpha\beta}(X, Y, Z) = - \frac{\partial^2 \partial U(X, Y, Z)}{\partial \alpha \partial \beta}$$

Um outro tipo de dado que utilizamos em estudos gravitacionais são os dados de **gradiometria gravimétrica**

$$\nabla \mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_{xx} & g_{xy} & g_{xz} \\ g_{yx} & g_{yy} & g_{yz} \\ g_{zx} & g_{zy} & g_{zz} \end{bmatrix} \rightarrow \nabla(\nabla \mathbf{U}) = \begin{bmatrix} U_{xx} & U_{xy} & U_{xz} \\ U_{yx} & U_{yy} & U_{yz} \\ U_{zx} & U_{zy} & U_{zz} \end{bmatrix}$$

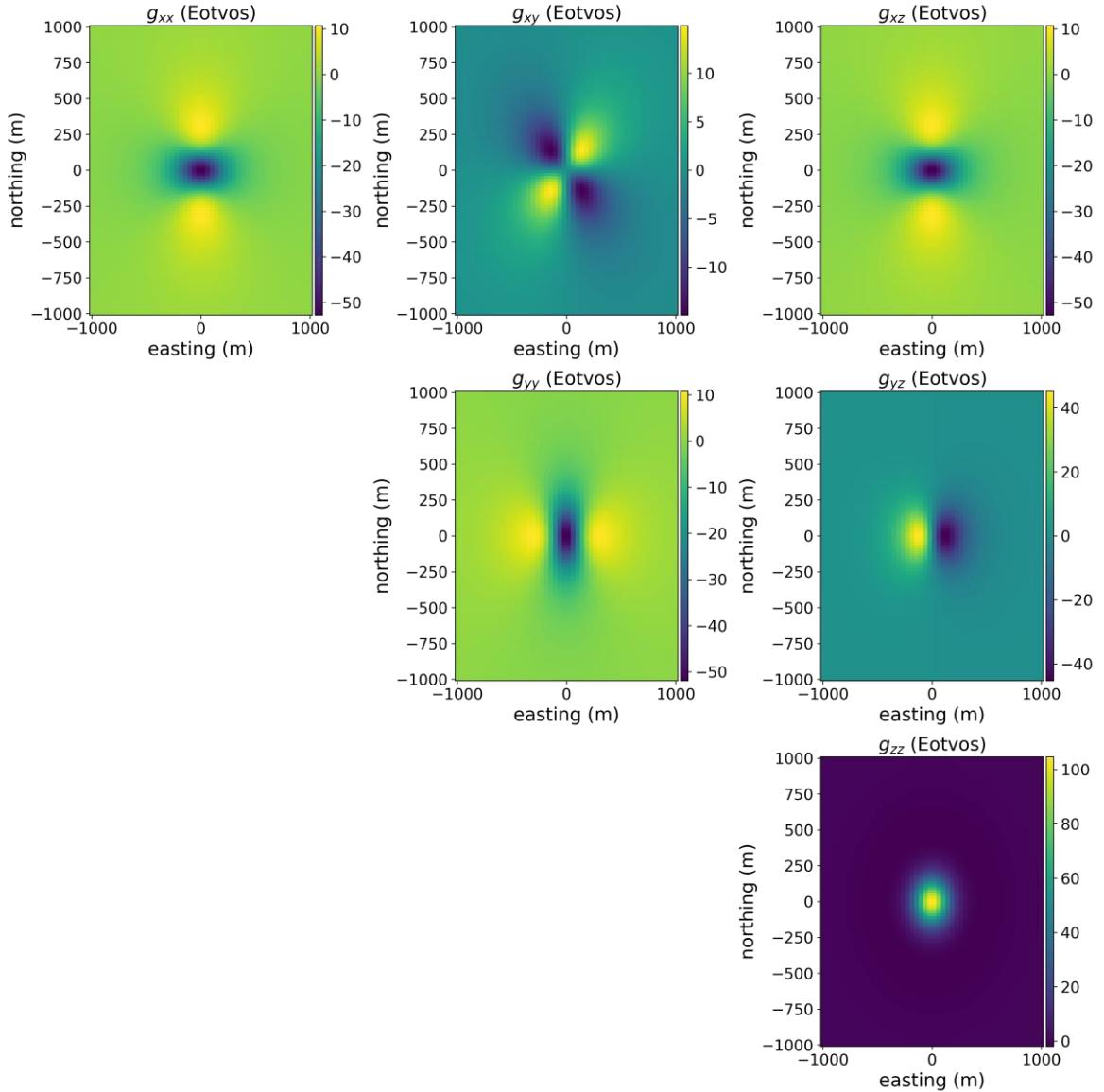
Tensor gradiente de gravidade

Quando consideramos a densidade homogênea ao longo do corpo e resolvemos a **integral de volume para uma esfera**.

$$U(X, Y, Z) = k_g \frac{\rho V}{r}$$

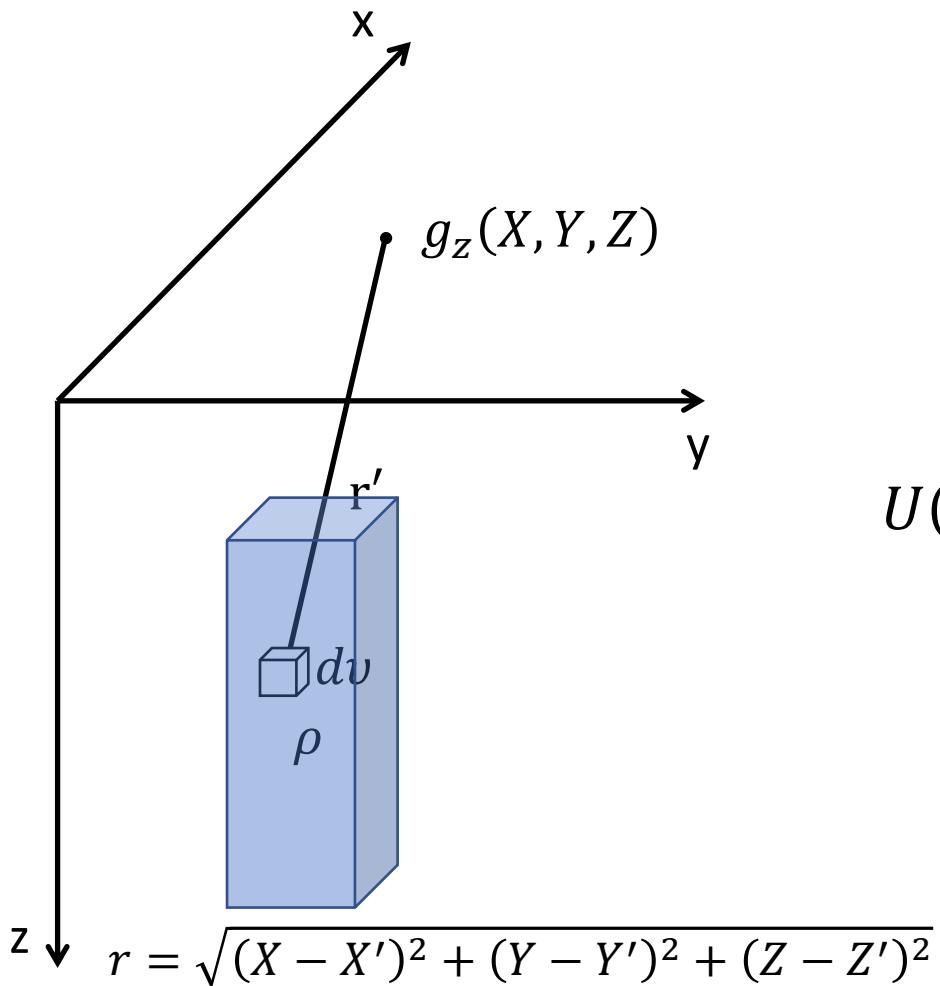
Que depende do volume V , da densidade ρ e da distância de observação r .

Gradiente da gravidade



3. Modelagem 3D grav com prismas

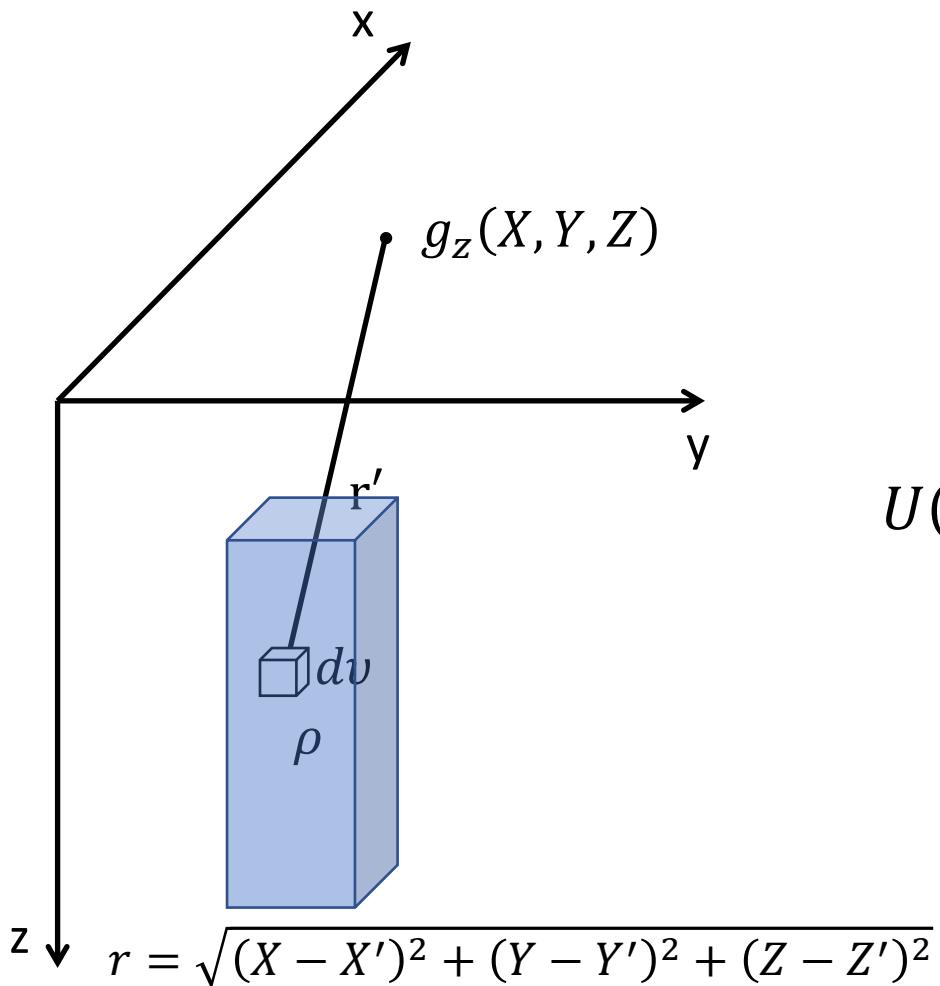
Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade



O **potencial gravitacional** que gera a componente gravitacional de uma **distribuição de densidade**

$$U(X, Y, Z) = k_g \int_V \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')]^{\frac{1}{2}}} dV$$

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade

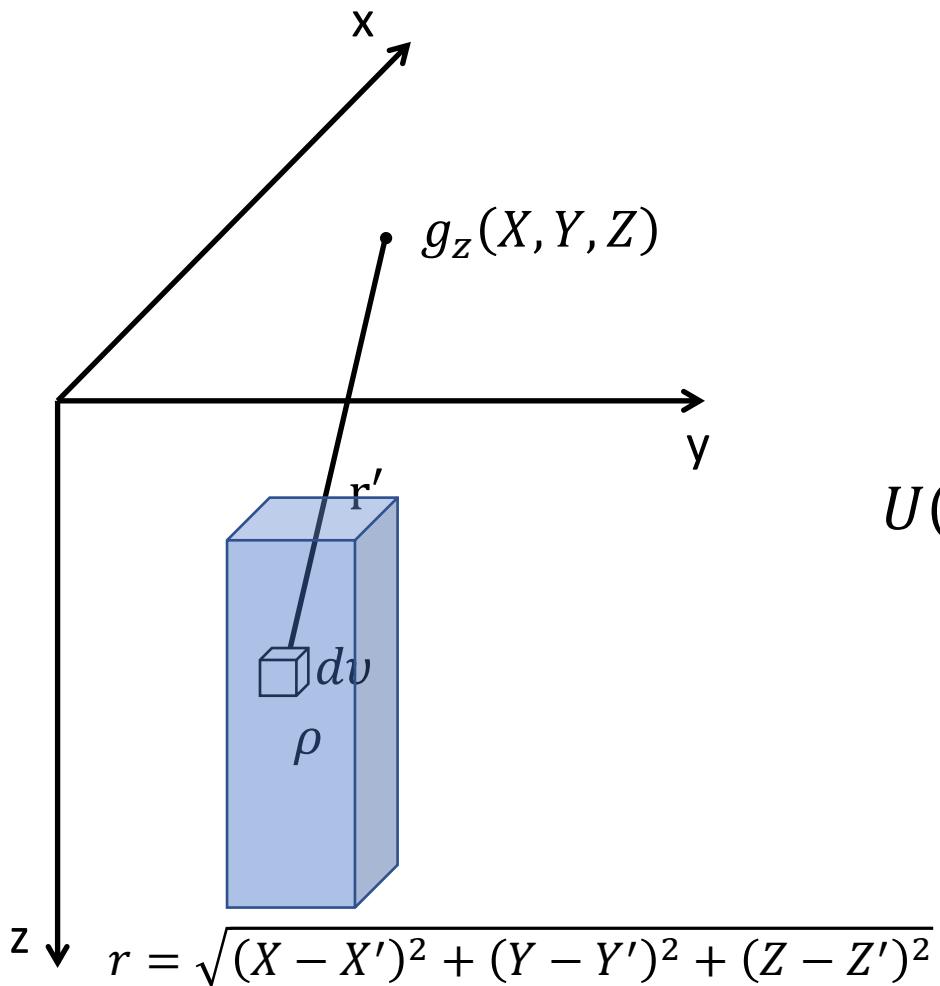


O **potencial gravitacional** que gera a componente gravitacional de uma **distribuição de densidade**

$$U(X, Y, Z) = k_g \int_{\nu} \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} d\nu$$

The gravitational potential and its derivative for the prism (Nagy et al., 2000)

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade



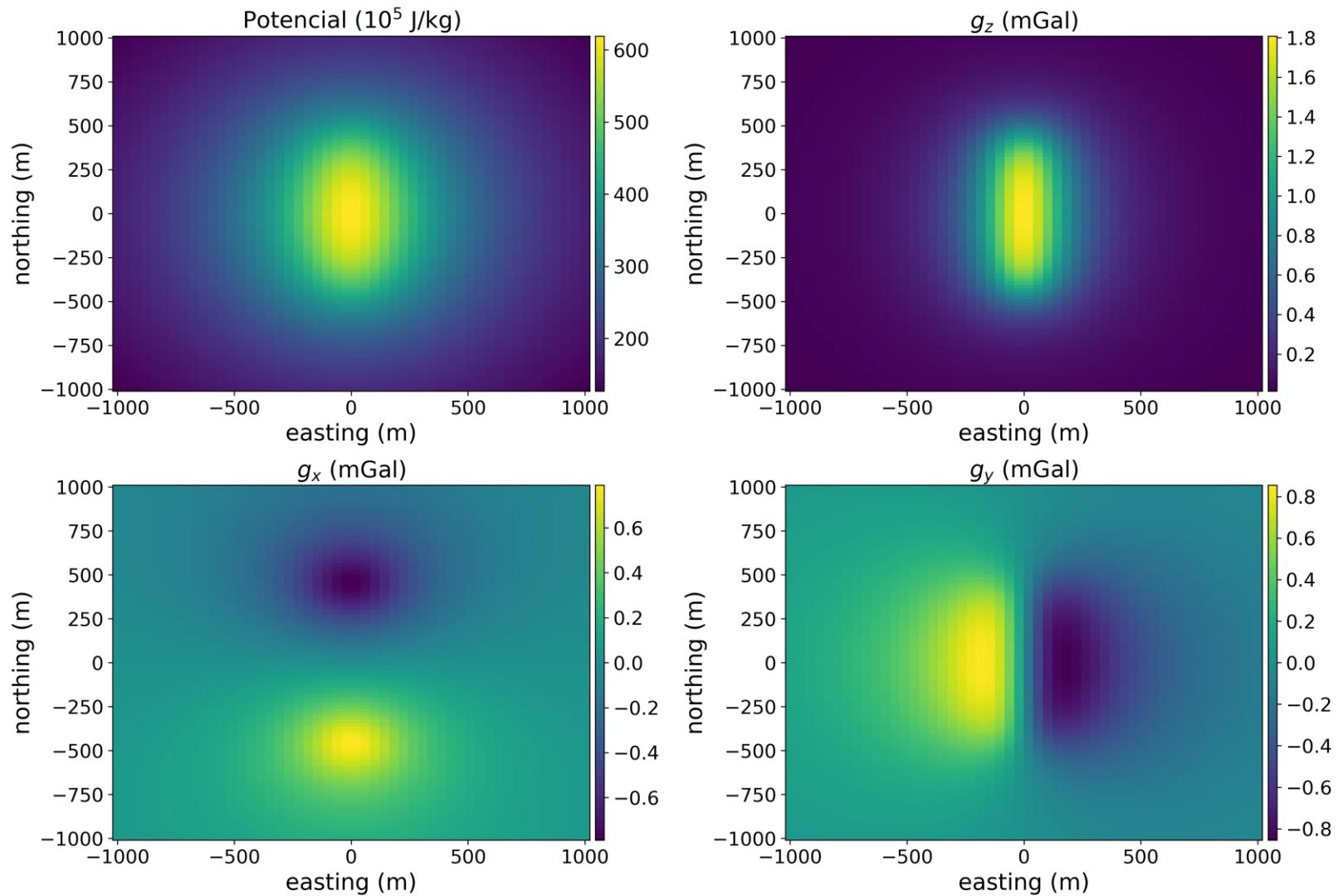
O **potencial gravitacional** que gera a componente gravitacional de uma **distribuição de densidade**

$$U(X, Y, Z) = k_g \int_{\nu} \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')]^{\frac{1}{2}}} d\nu$$

The gravitational potential and its derivative for the prism (Nagy et al., 2000)

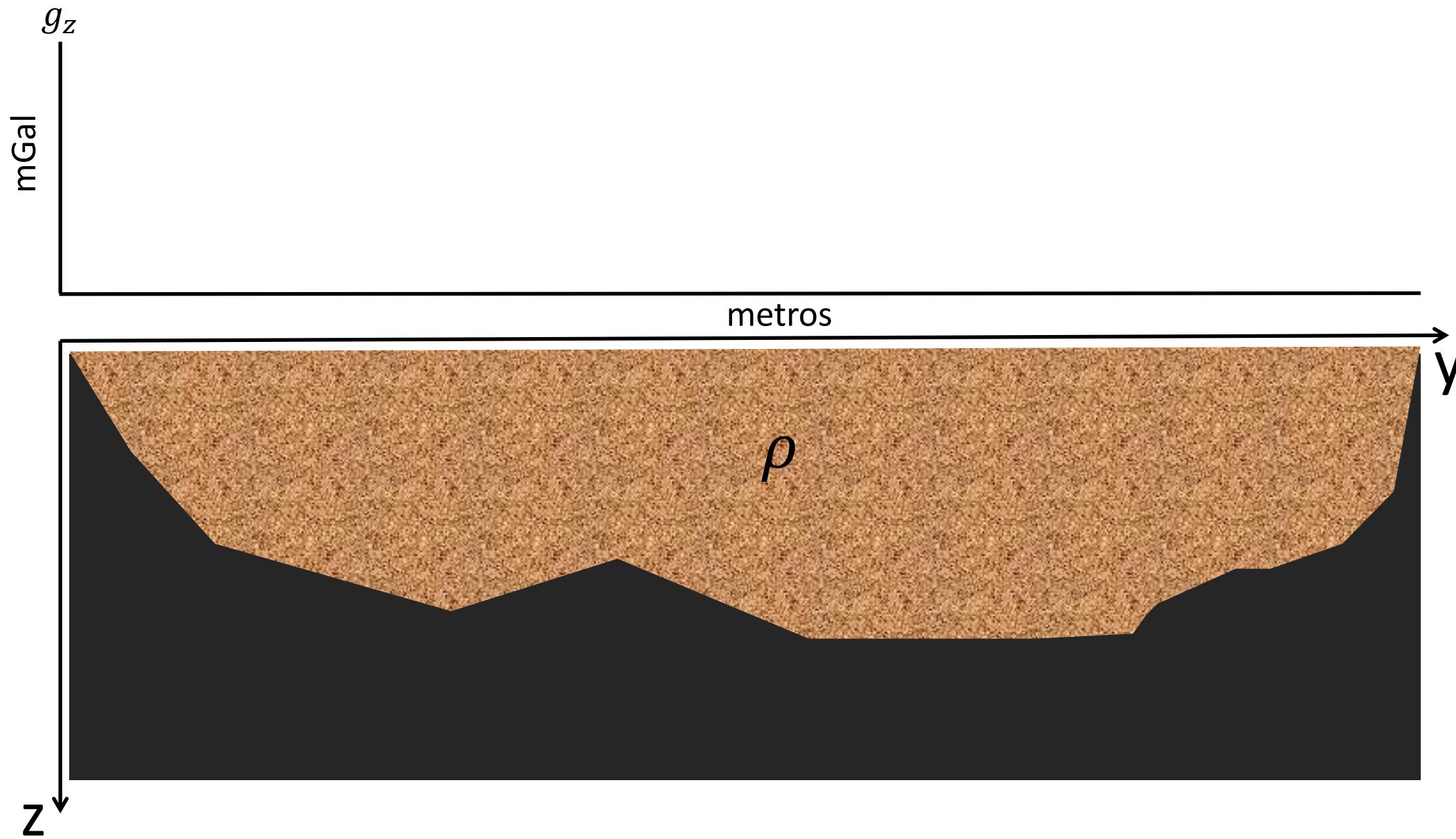
$$g_z(X, Y, Z) = - \frac{\partial U(X, Y, Z)}{\partial z}$$

Efeito gravitacional de um prisma

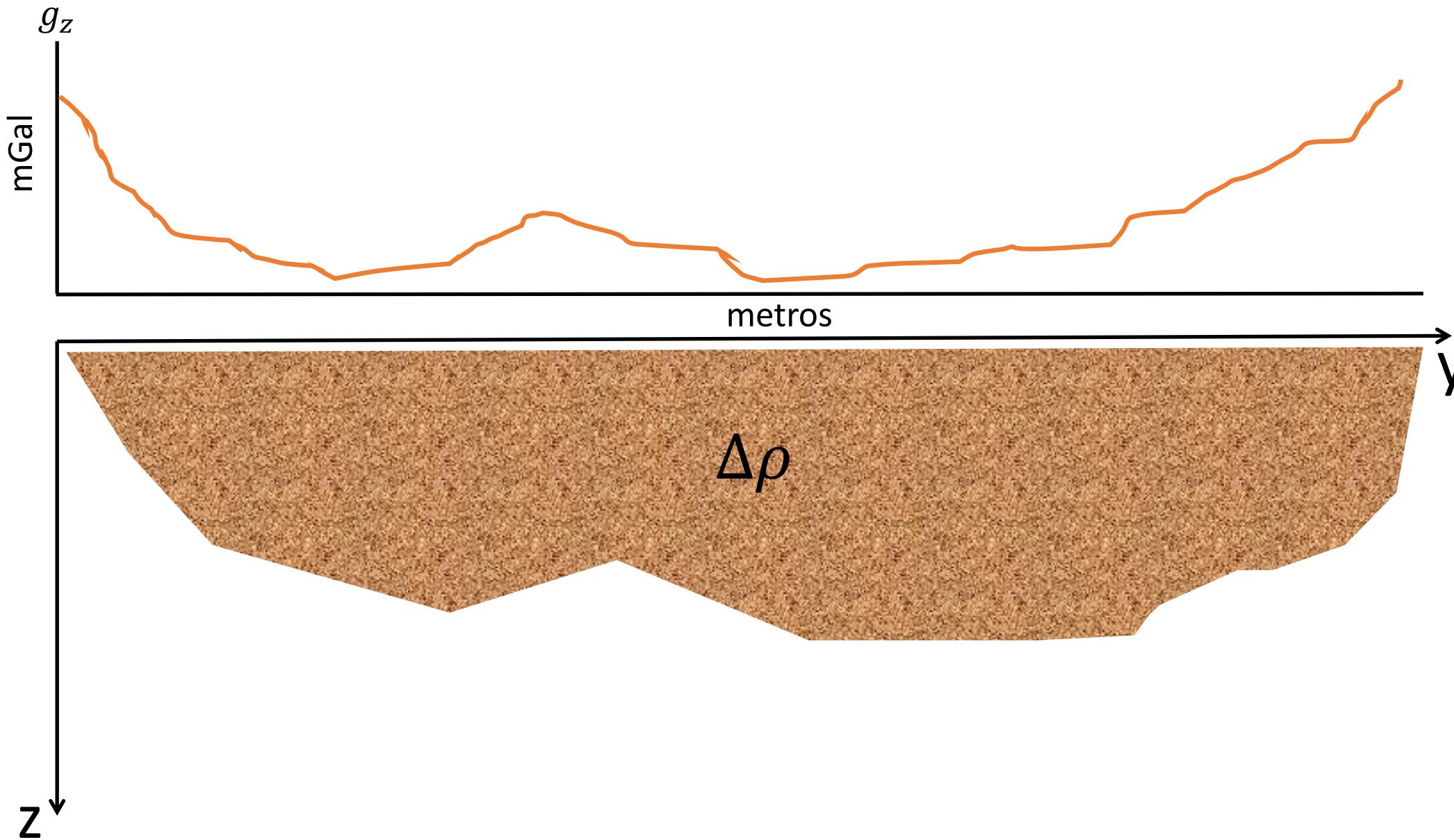


3.1. Bacia 3D simplificada

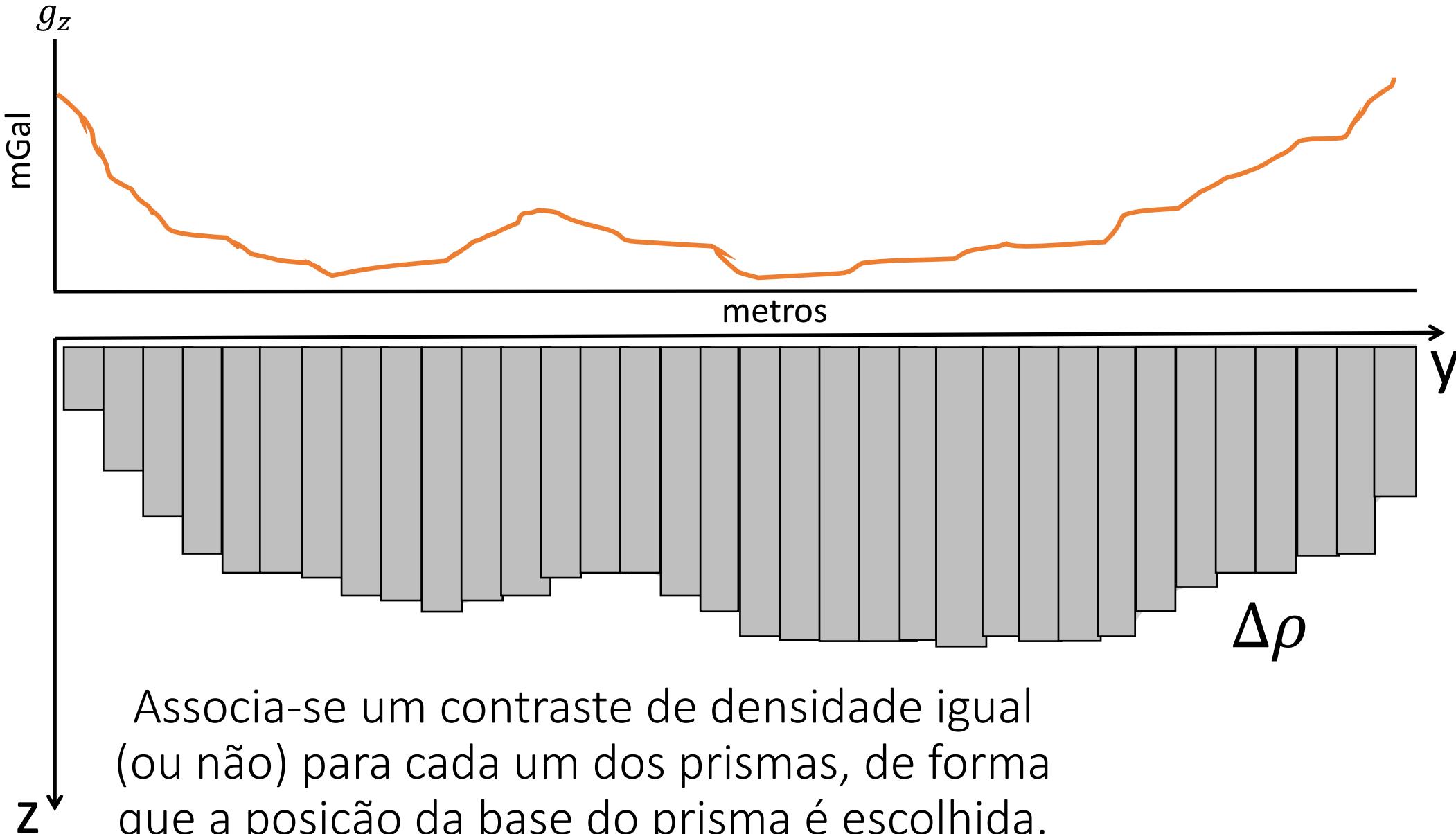
Bacia sedimentar 3D



Bacia sedimentar 3D

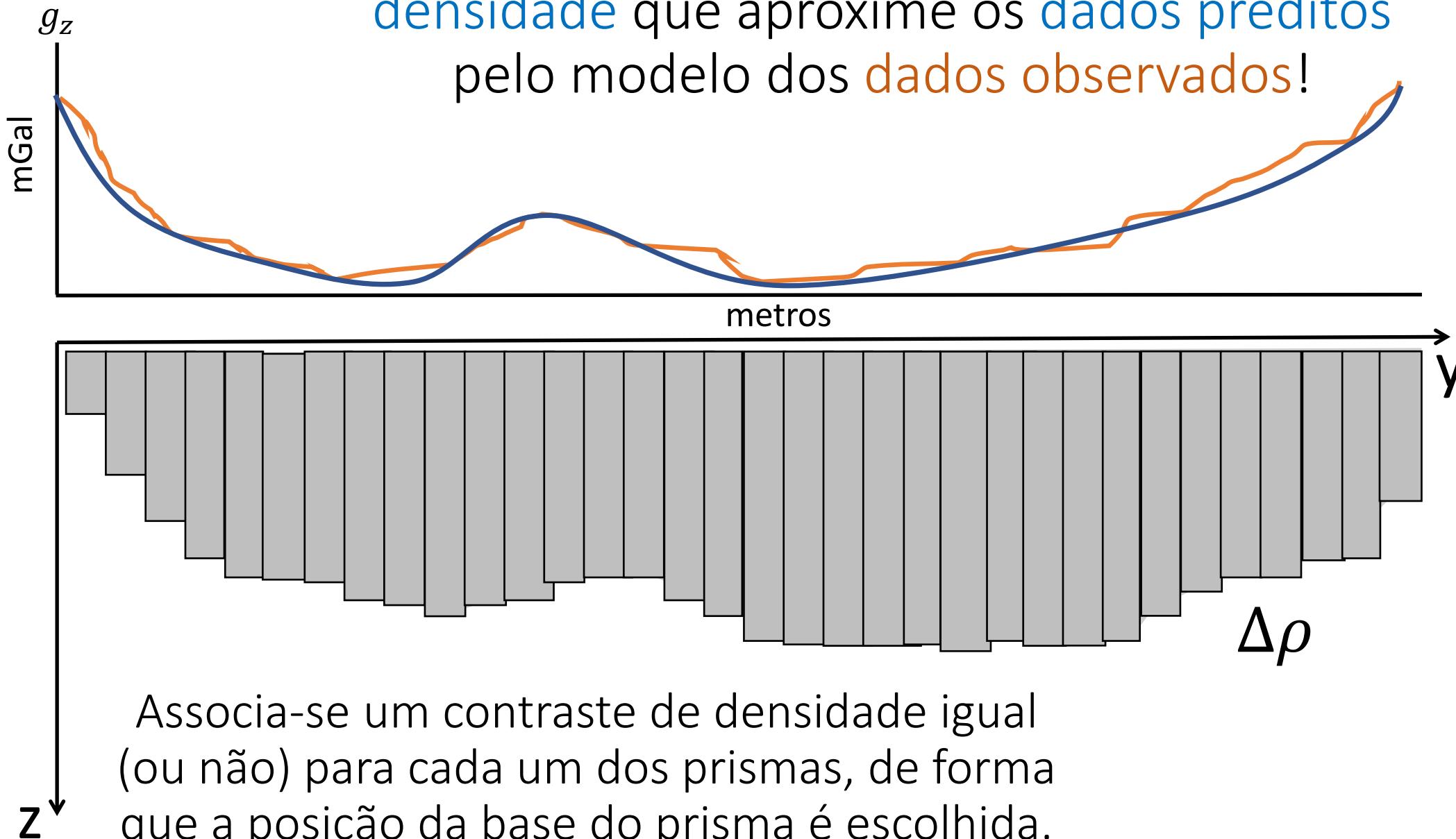


Bacia sedimentar 3D

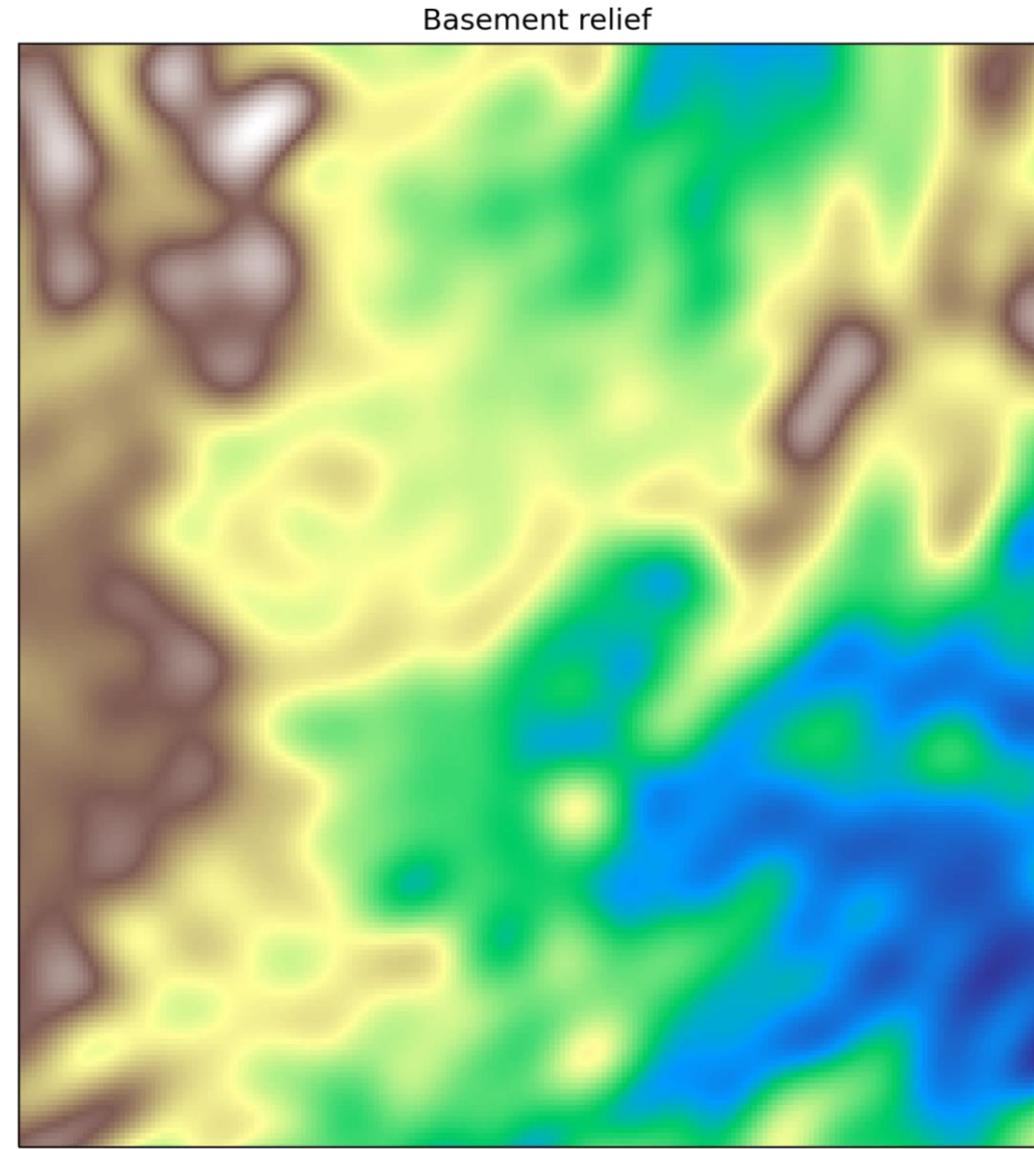
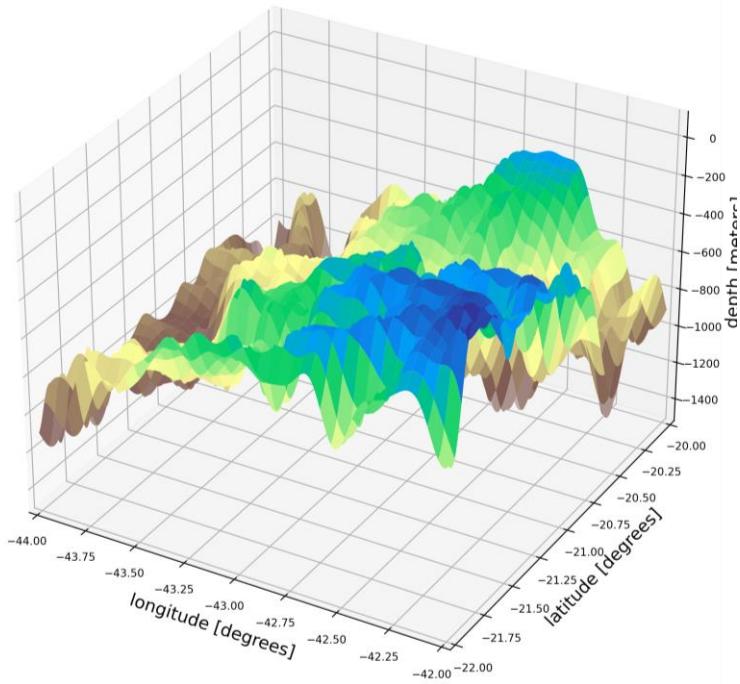


Bacia sedimentar 3D

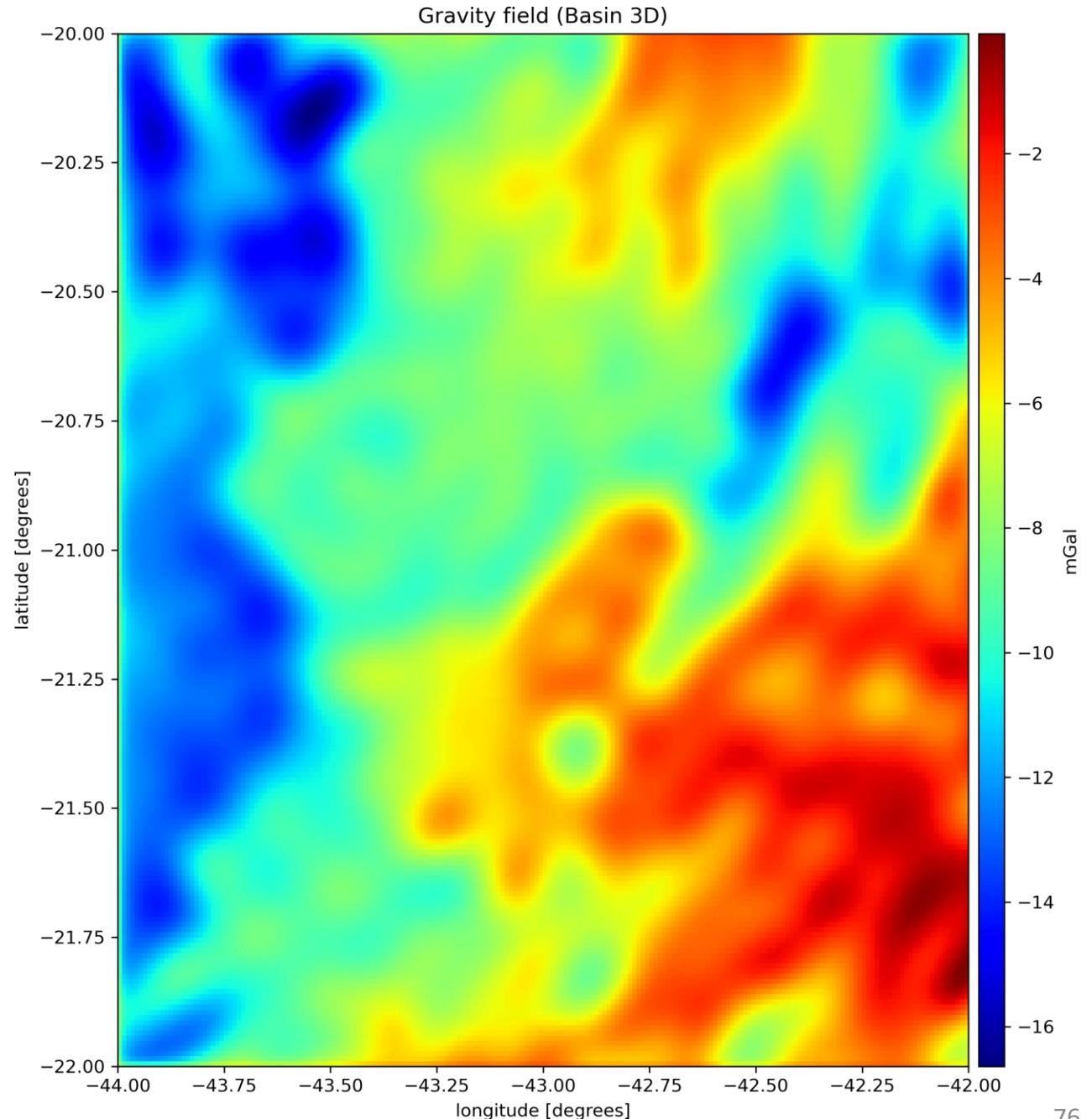
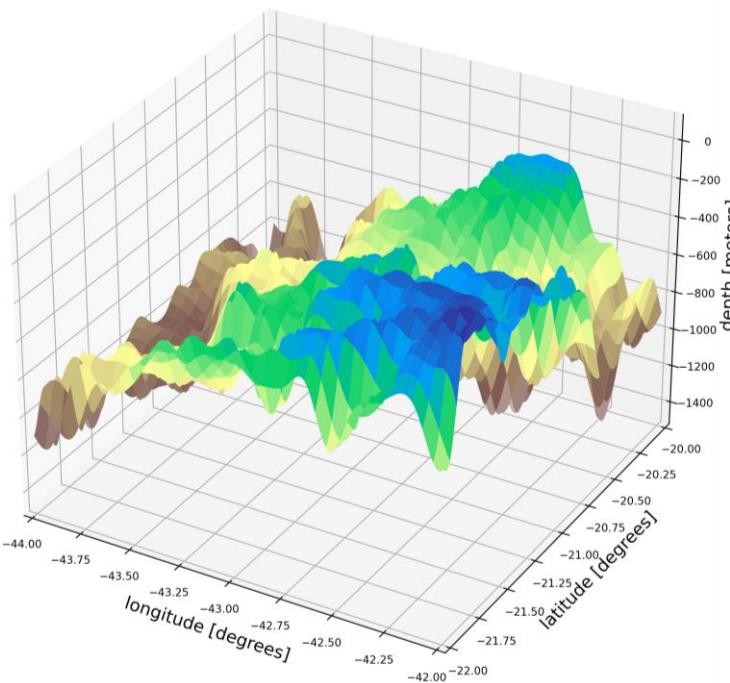
Conseguimos encontrar um **contraste de densidade** que aproxime os **dados preditos** pelo modelo dos **dados observados!**



Bacia sedimentar 3D

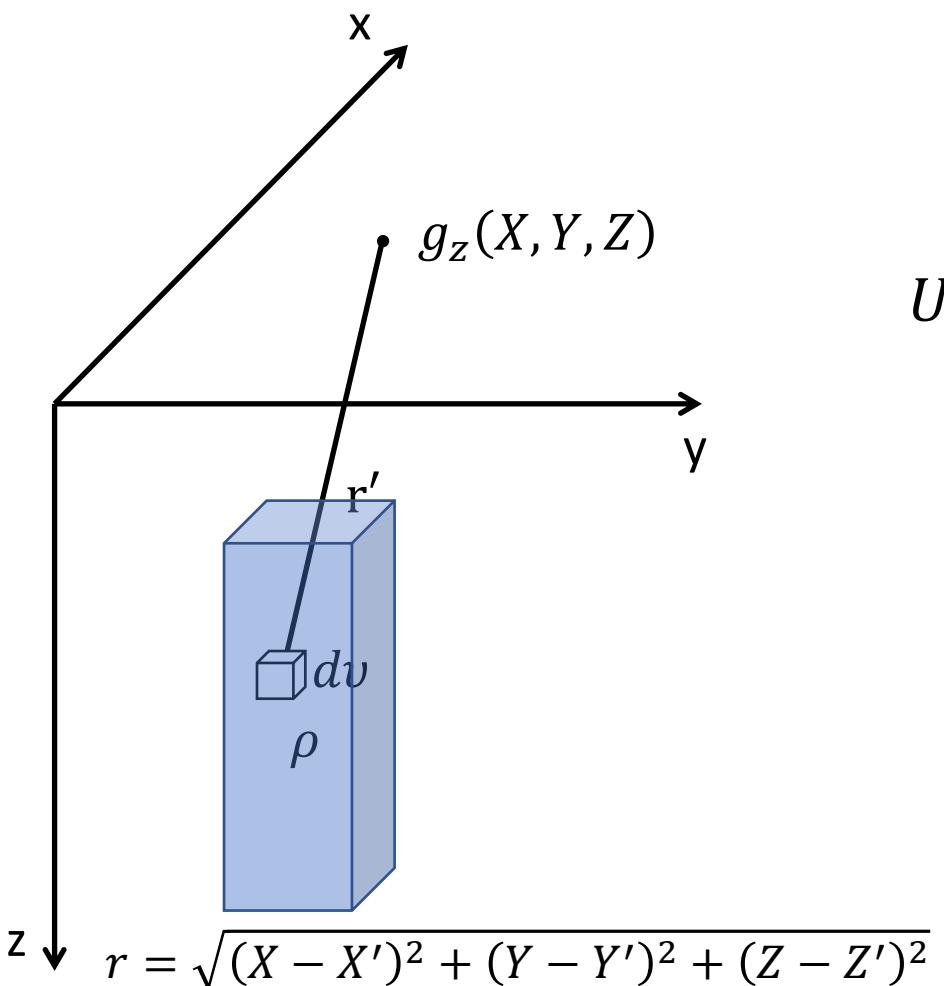


Bacia sedimentar 3D



3.2. Gradiometria gravimétrica 3D com prismas

Efeito gravitacional de uma distribuição de densidade



$$g_{\alpha\beta}(X, Y, Z) = - \frac{\partial^2 \partial U(X, Y, Z)}{\partial \alpha \partial \beta}$$

O distúrbio de gravidade é a componente vertical do campo gravitacional gerado pela fonte gravimétrica

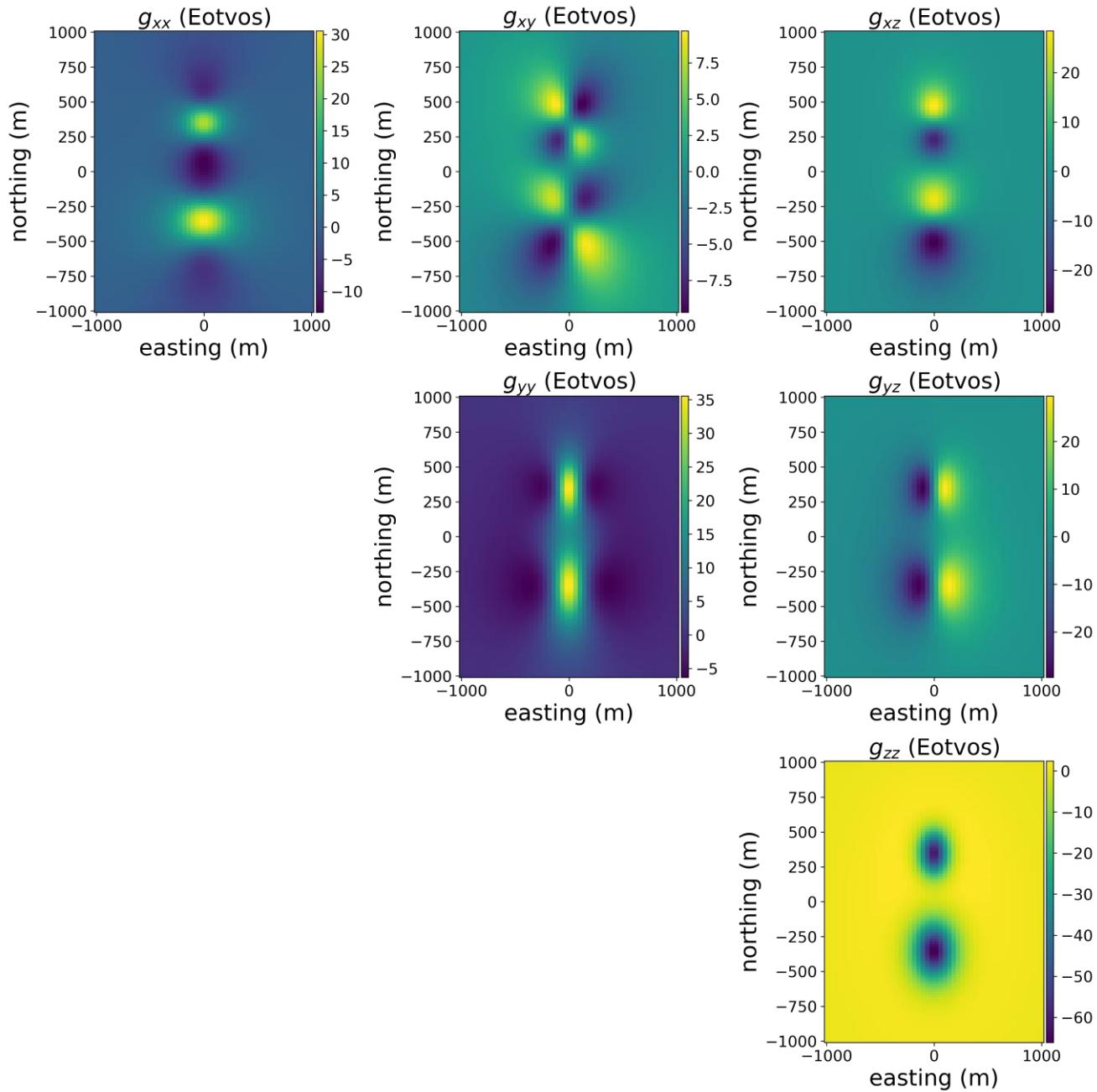
$$U(X, Y, Z) = k_g \int_v \frac{\rho(X', Y', Z')}{[(X - X')^2 + (Y - Y')^2 + (Z - Z')^2]^{\frac{1}{2}}} d\nu$$

The gravitational potential and its derivative for the prism (Nagy et al., 2000)

$$\nabla \mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_{xx} & g_{xy} & g_{xz} \\ g_{yx} & g_{yy} & g_{yz} \\ g_{zx} & g_{zy} & g_{zz} \end{bmatrix} \rightarrow \nabla(\nabla \mathbf{U}) = \begin{bmatrix} U_{xx} & U_{xy} & U_{xz} \\ U_{yx} & U_{yy} & U_{yz} \\ U_{zx} & U_{zy} & U_{zz} \end{bmatrix}$$

Tensor gradiente de gravidade

Gradiometria de um prisma



Magnetometria

Magnetometria

O método cresceu, principalmente, durante
a Segunda Guerra Mundial!



Magnetometria



O método cresceu, principalmente, durante a Segunda Guerra Mundial!

A instrumentação, navegação e das plataformas possibilitou a cobertura de grandes áreas



O método cresceu, principalmente, durante a Segunda Guerra Mundial!

A instrumentação, navegação e das plataformas possibilitou a cobertura de grandes áreas

É também vastamente em diversas áreas como exploração mineral, hidrogeologia, dentre outros!



O método cresceu, principalmente, durante a Segunda Guerra Mundial!

A instrumentação, navegação e das plataformas possibilitou a cobertura de grandes áreas

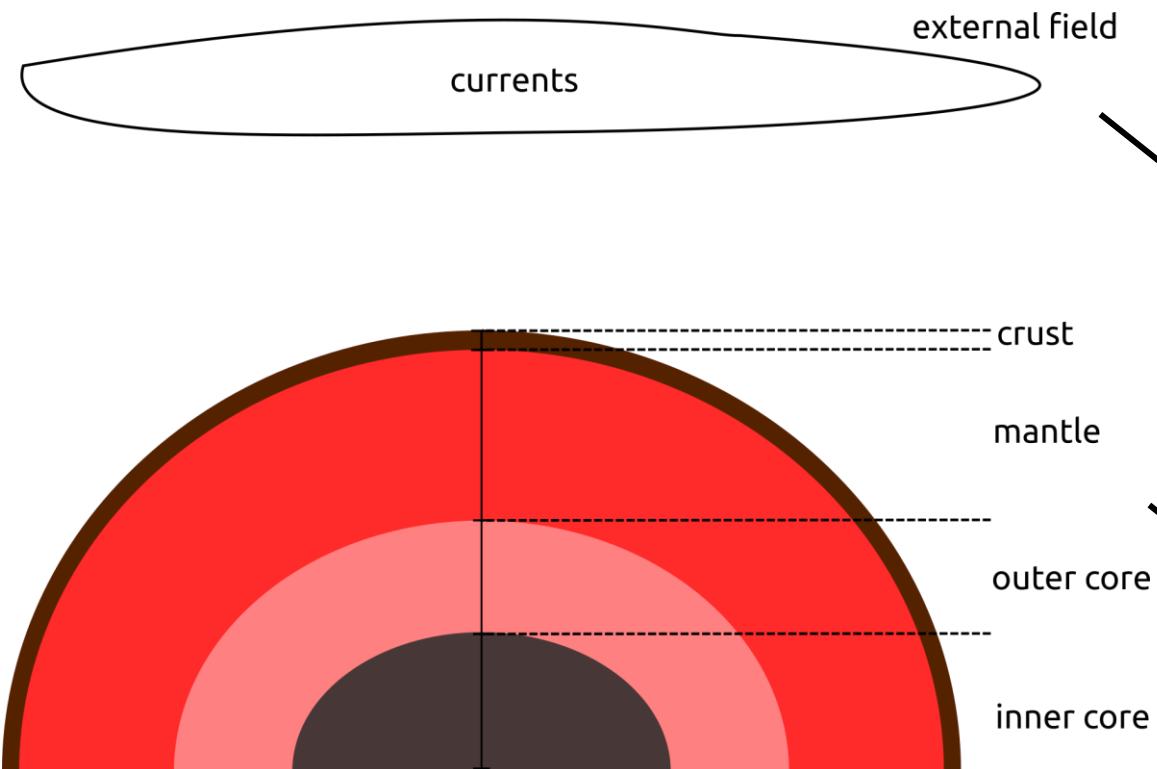
É também vastamente em diversas áreas como exploração mineral, hidrogeologia, dentre outros!

É utilizado para estimar o relevo do embasamento de bacias sedimentares, definição de contatos geológicos e delimitação da geometria dos corpos

O que compõe os dados magnéticos?

É de extrema importância definirmos alguns elementos que constituem a **estrutura interna da Terra**, e com isso definir as componentes do **Campo Geomagnético**

É de extrema importância definirmos alguns elementos que constituem a **estrutura interna da Terra**, e com isso definir as componentes do **Campo Geomagnético**



Onde se encontram as principais fontes de campo na terra?

Campo externo

Magnetosfera

Ionosfera

Campo interno

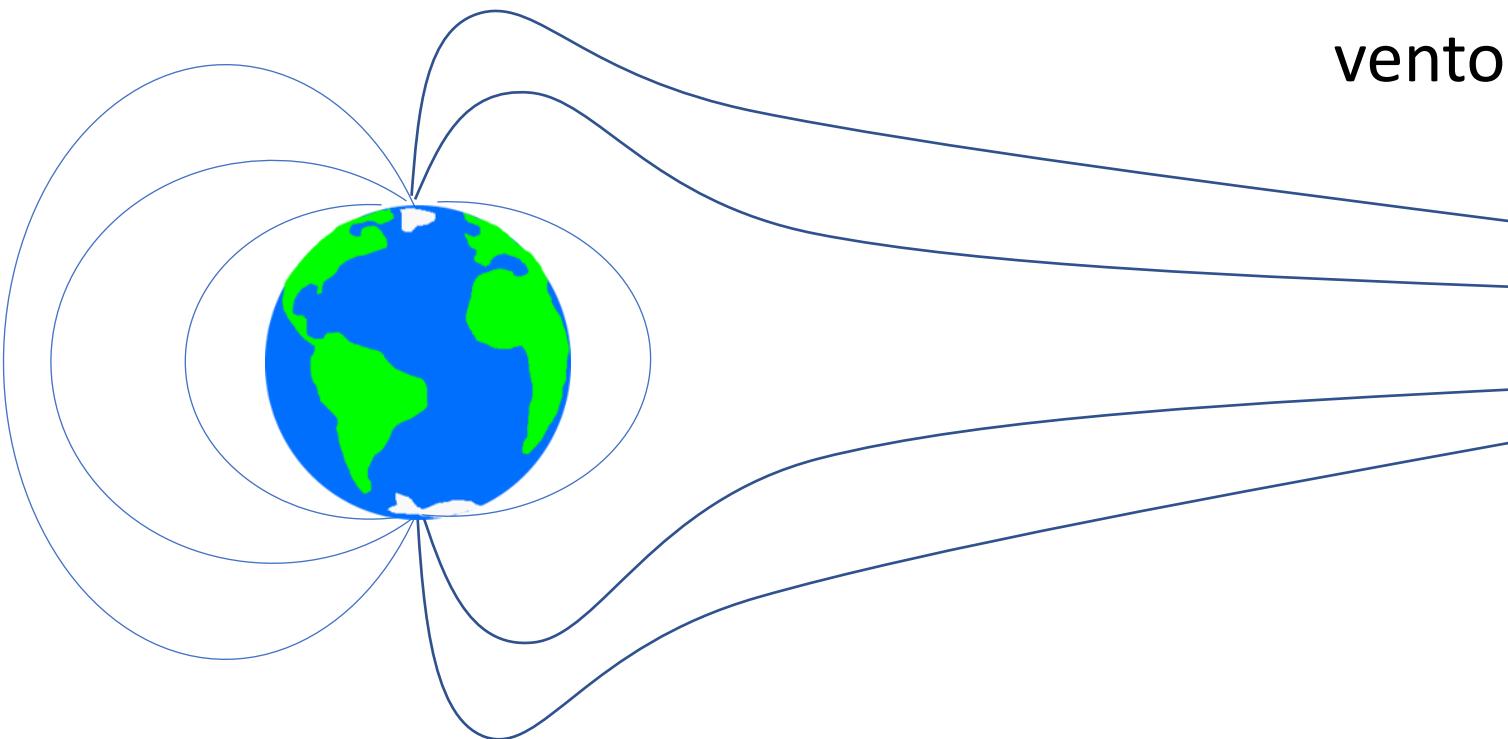
Crustal

Principal

Representação simplificada
da estrutura interna da Terra

Campo externo

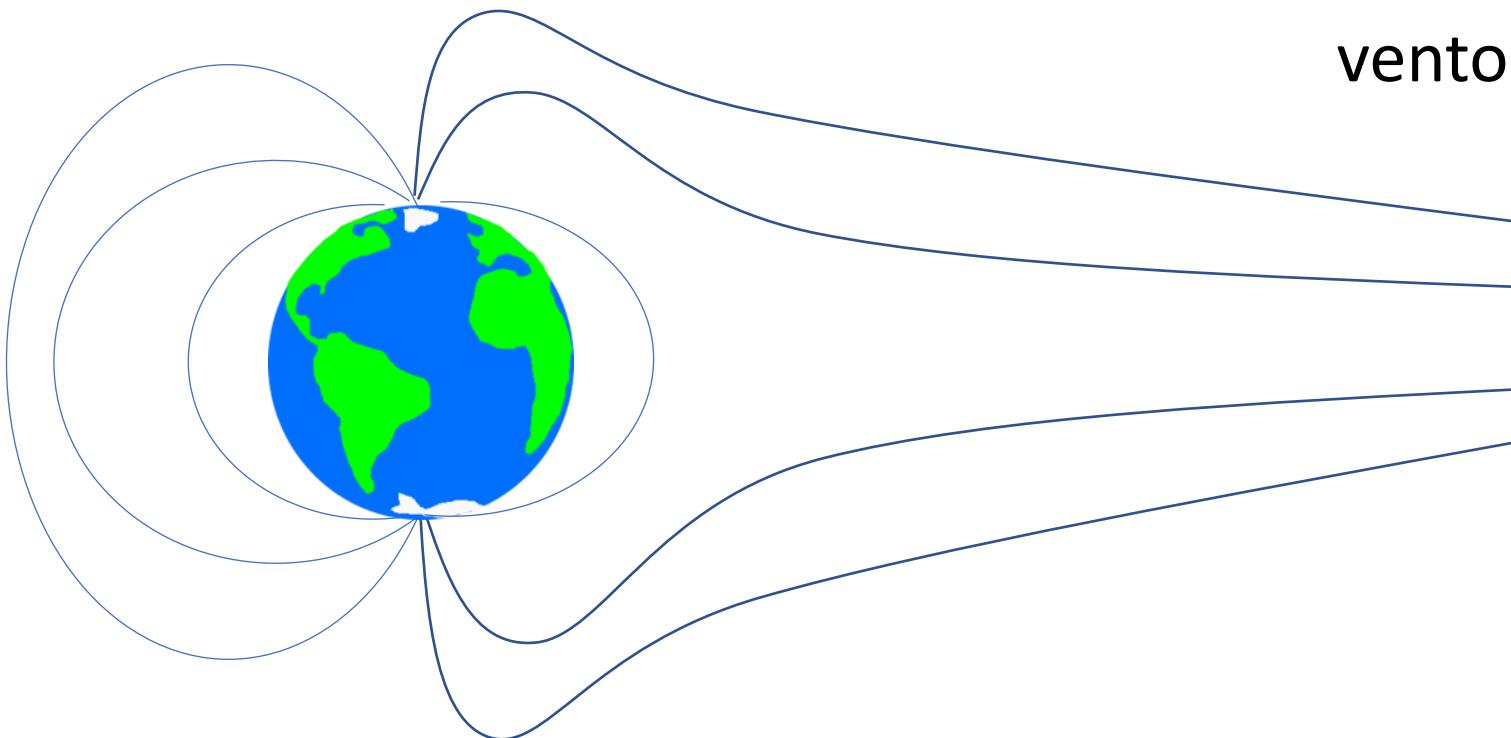
Magnetosfera e ionosfera



Correntes geradas pela interação
do campo geomagnético e o
vento solar!

Campo externo

Magnetosfera e ionosfera

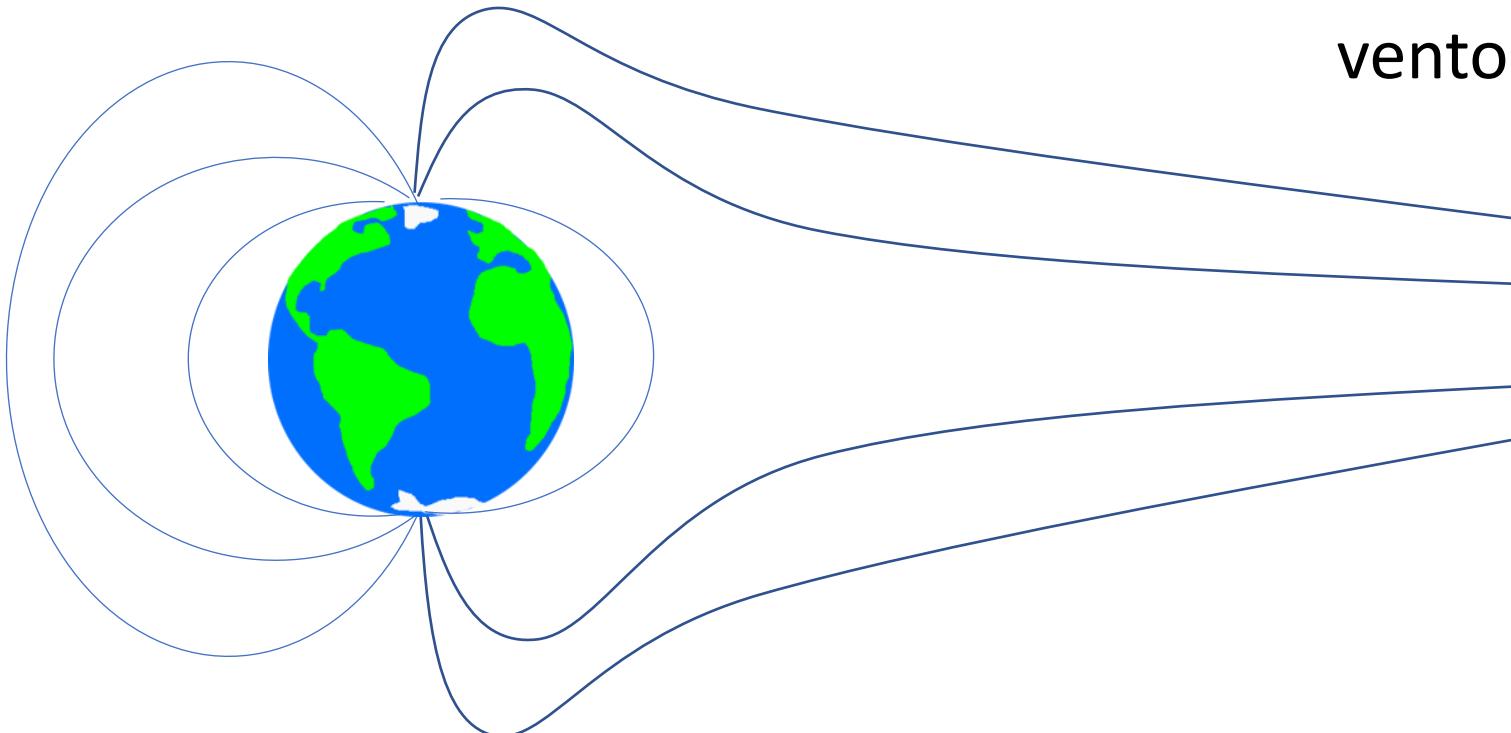


Correntes geradas pela interação do campo geomagnético e o vento solar!

Este fluxo de vento solar gera uma variação no campo da Terra, e assim faz com que correntes sejam induzidas nessa região.

Campo externo

Magnetosfera e ionosfera



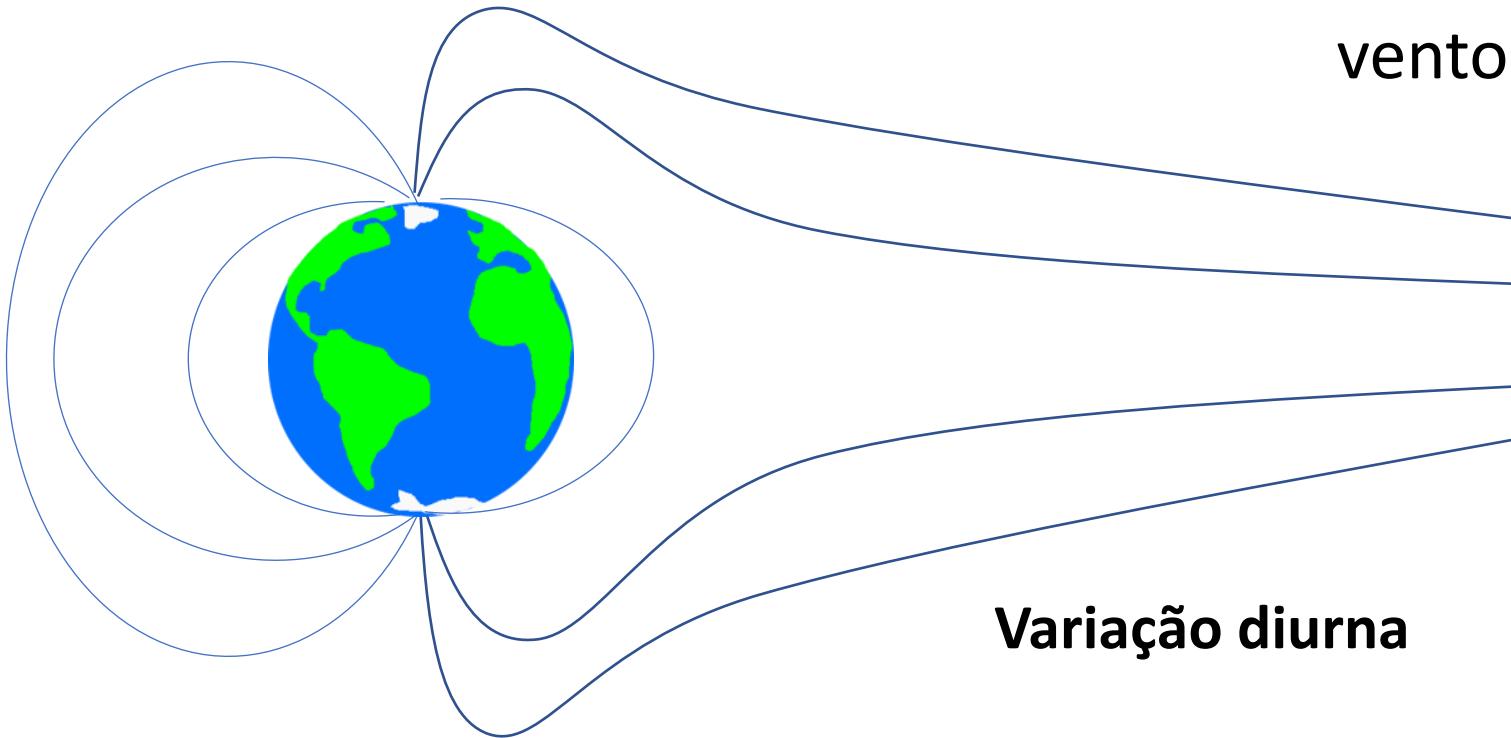
Correntes geradas pela interação do campo geomagnético e o vento solar!

Este fluxo de vento solar gera uma variação no campo da Terra, e assim faz com que correntes sejam induzidas nessa região.

Os processos físicos que controlam os sistemas de correntes nestas duas regiões estão acoplados

Campo externo

Magnetosfera e ionosfera



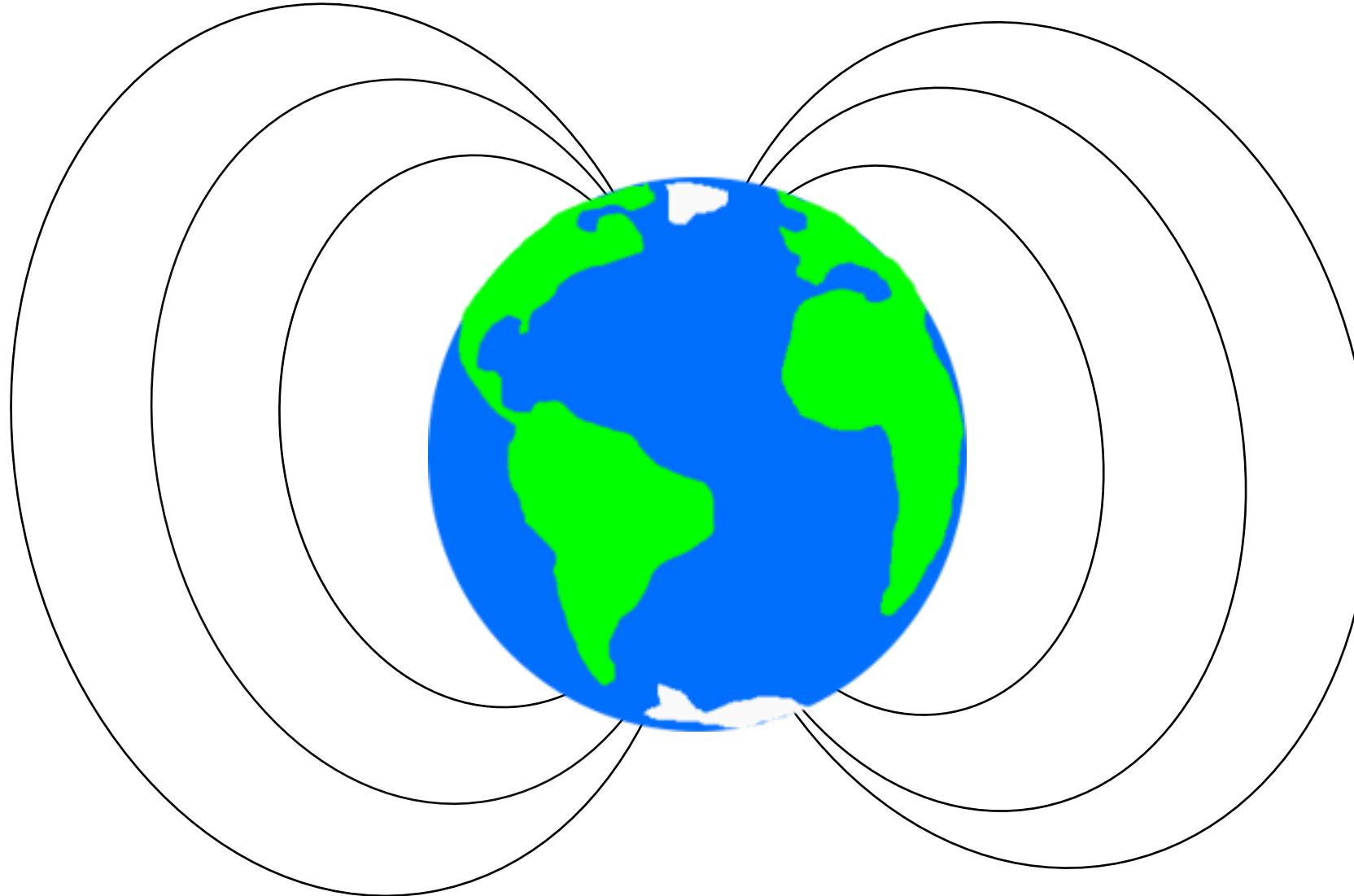
Na prática, todos estes fenômenos são considerados em dois tipos: os de **dias magnéticamente calmos** (quando as amplitudes são baixas) e **dias magnéticamente perturbados** (quando as amplitudes são altas)

Correntes geradas pela interação do campo geomagnético e o vento solar!

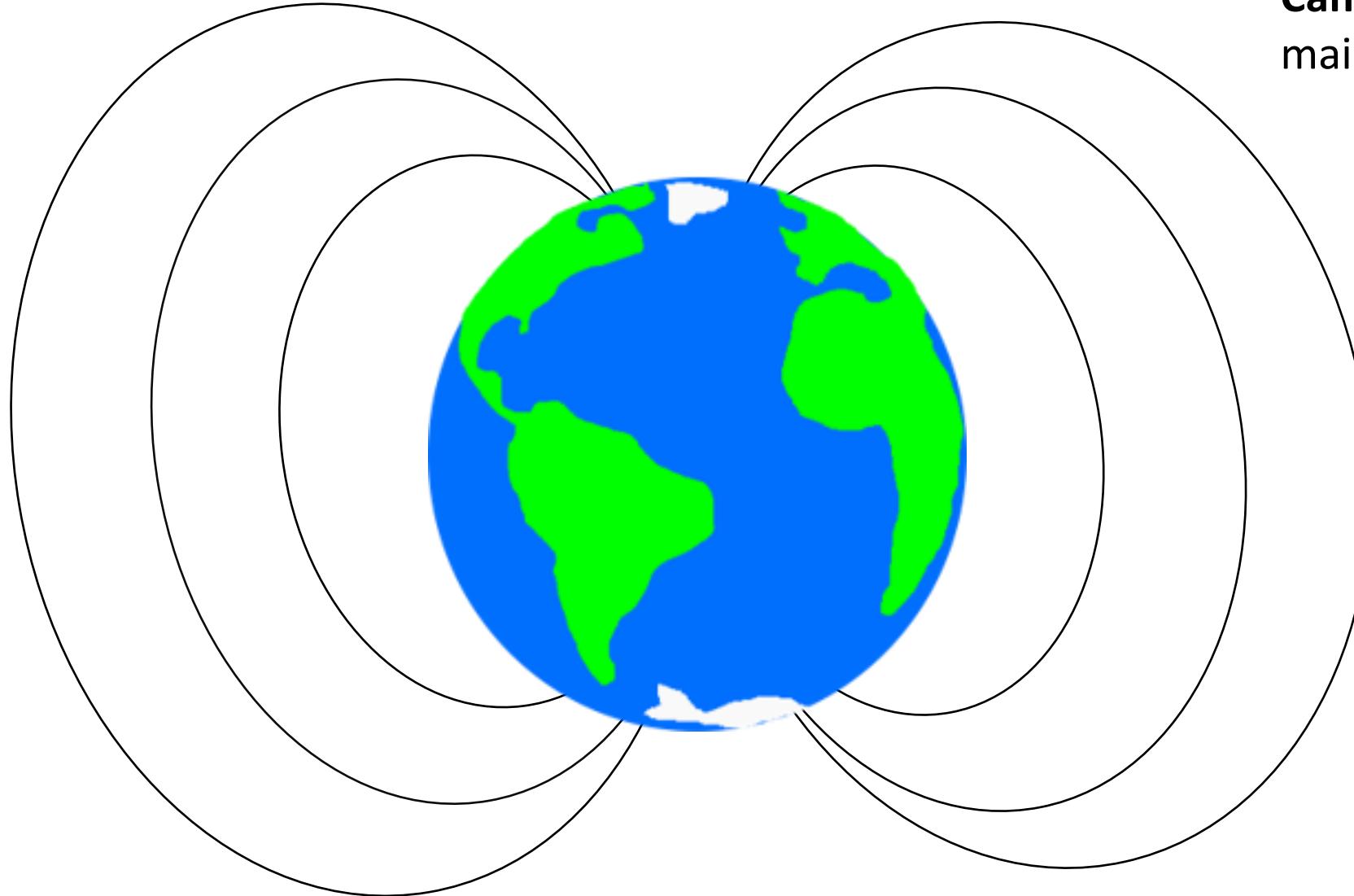
Este fluxo de vento solar gera uma variação no campo da Terra, e assim faz com que correntes sejam induzidas nessa região.

Os processos físicos que controlam os sistemas de correntes nestas duas regiões estão acoplados

Campo principal

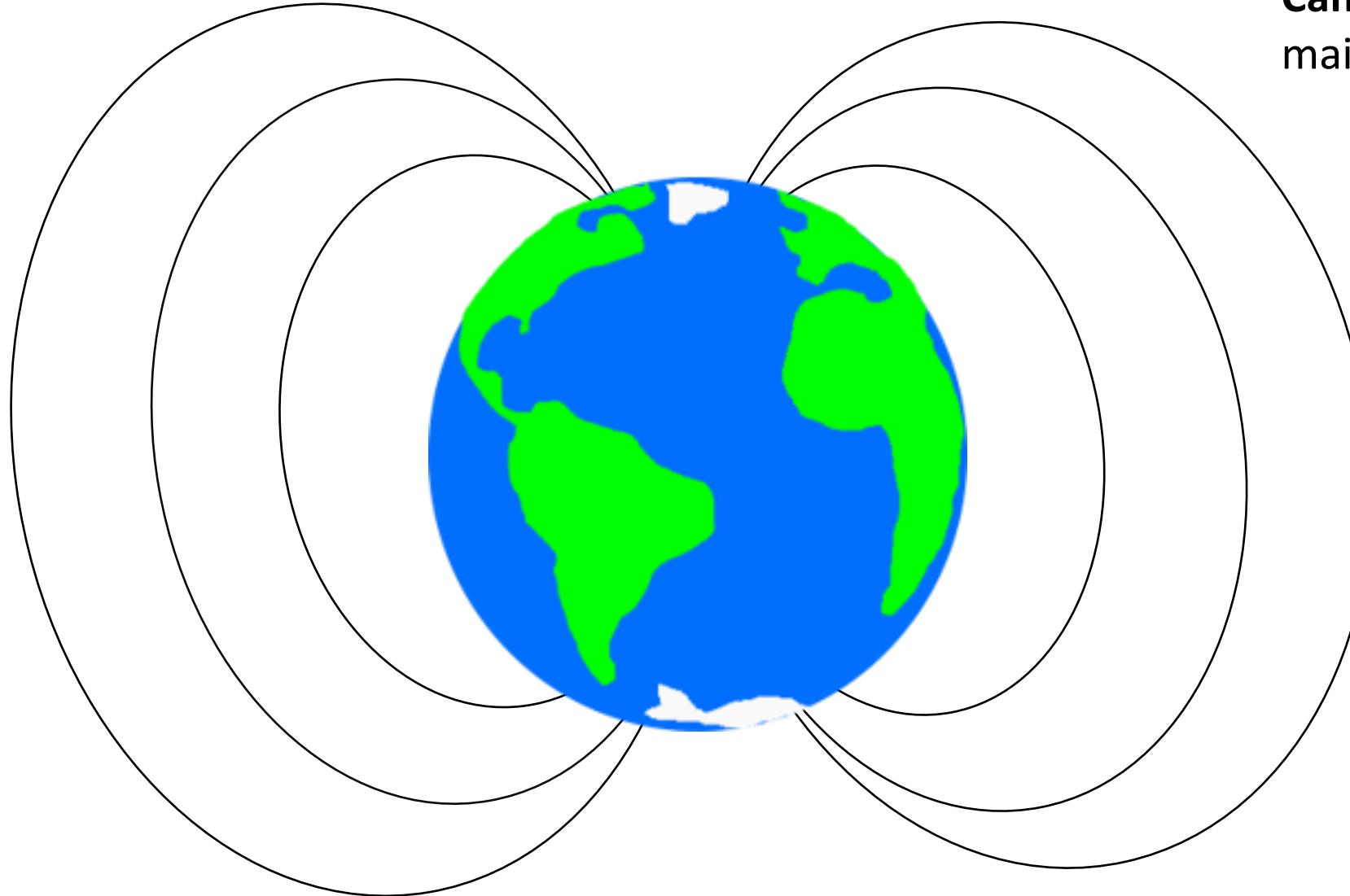


Campo principal



Campo geomagnético é, em sua maior parte, de **origem interna**

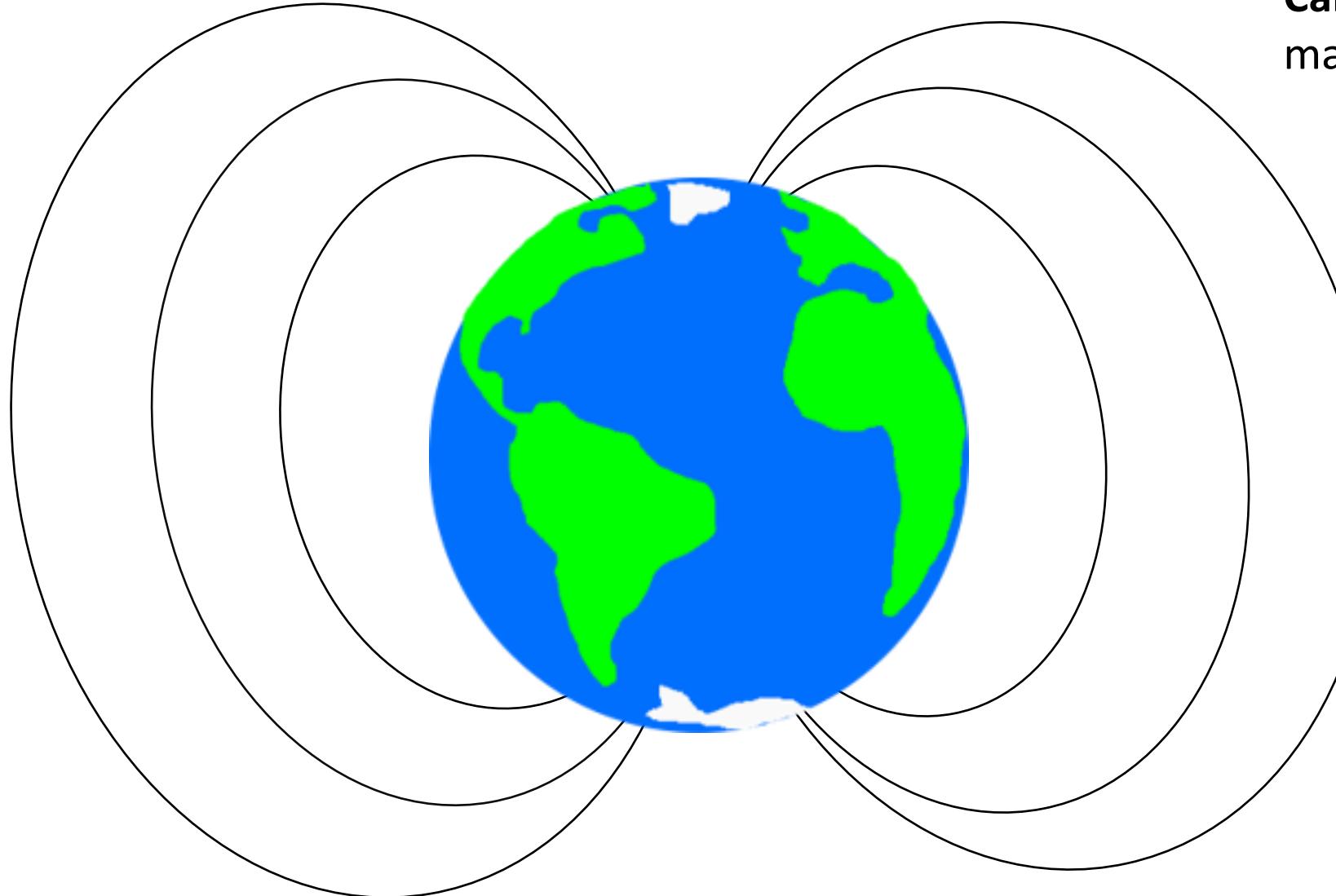
Campo principal



Campo geomagnético é, em sua maior parte, de **origem interna**

A **componente do campo geomagnético** que tem origem no **núcleo externo** é denominado como **campo principal**

Campo principal

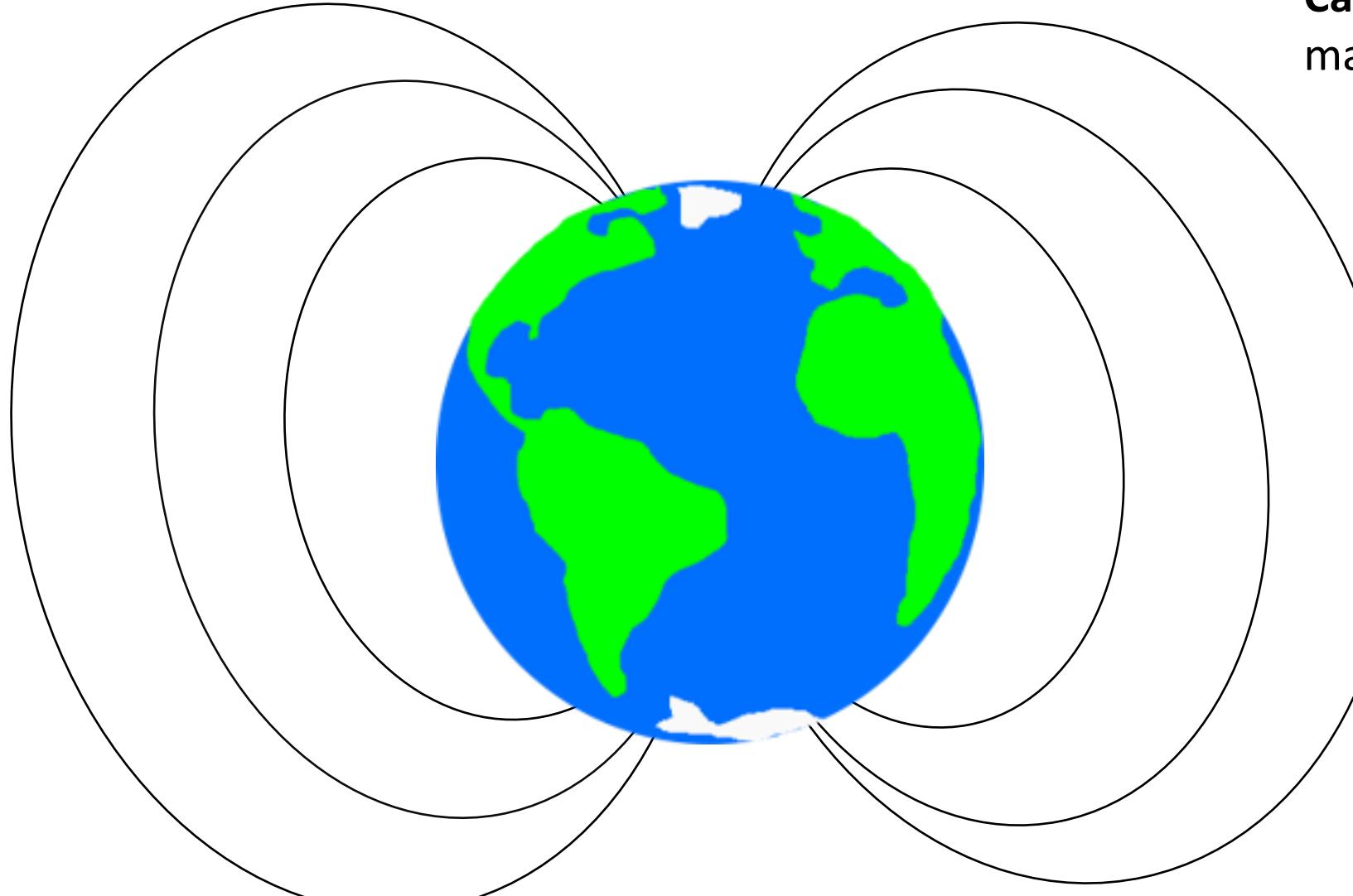


Campo geomagnético é, em sua maior parte, de **origem interna**

A **componente do campo geomagnético** que tem origem no **núcleo externo** é denominado como **campo principal**

Este campo é predominantemente **dipolar** e varia em **intensidade e direção** ao longo dos anos.

Campo principal



Como descrever esse campo?

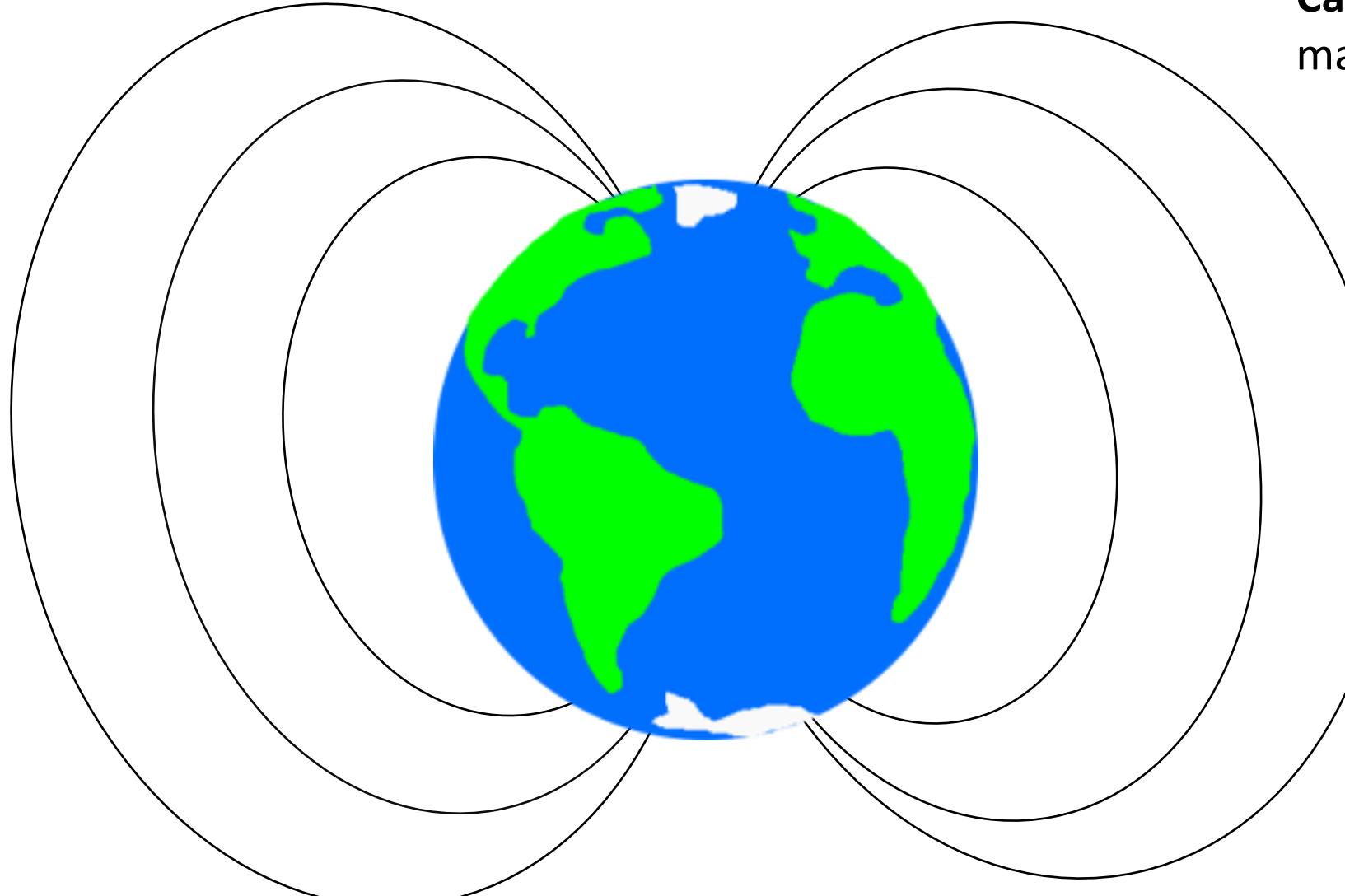
Campo geomagnético é, em sua maior parte, de **origem interna**

A **componente do campo geomagnético** que tem origem no **núcleo externo** é denominado como **campo principal**

Este campo é predominantemente **dipolar** e varia em **intensidade e direção** ao longo dos anos.

Pode variar anualmente ou em centenas de milhares de anos (**variação secular**)

Campo principal



Como descrever esse campo?

Este campo pode ser modelado pelo **IGRF**, por exemplo.

Campo geomagnético é, em sua maior parte, de **origem interna**

A **componente do campo geomagnético** que tem origem no **núcleo externo** é denominado como **campo principal**

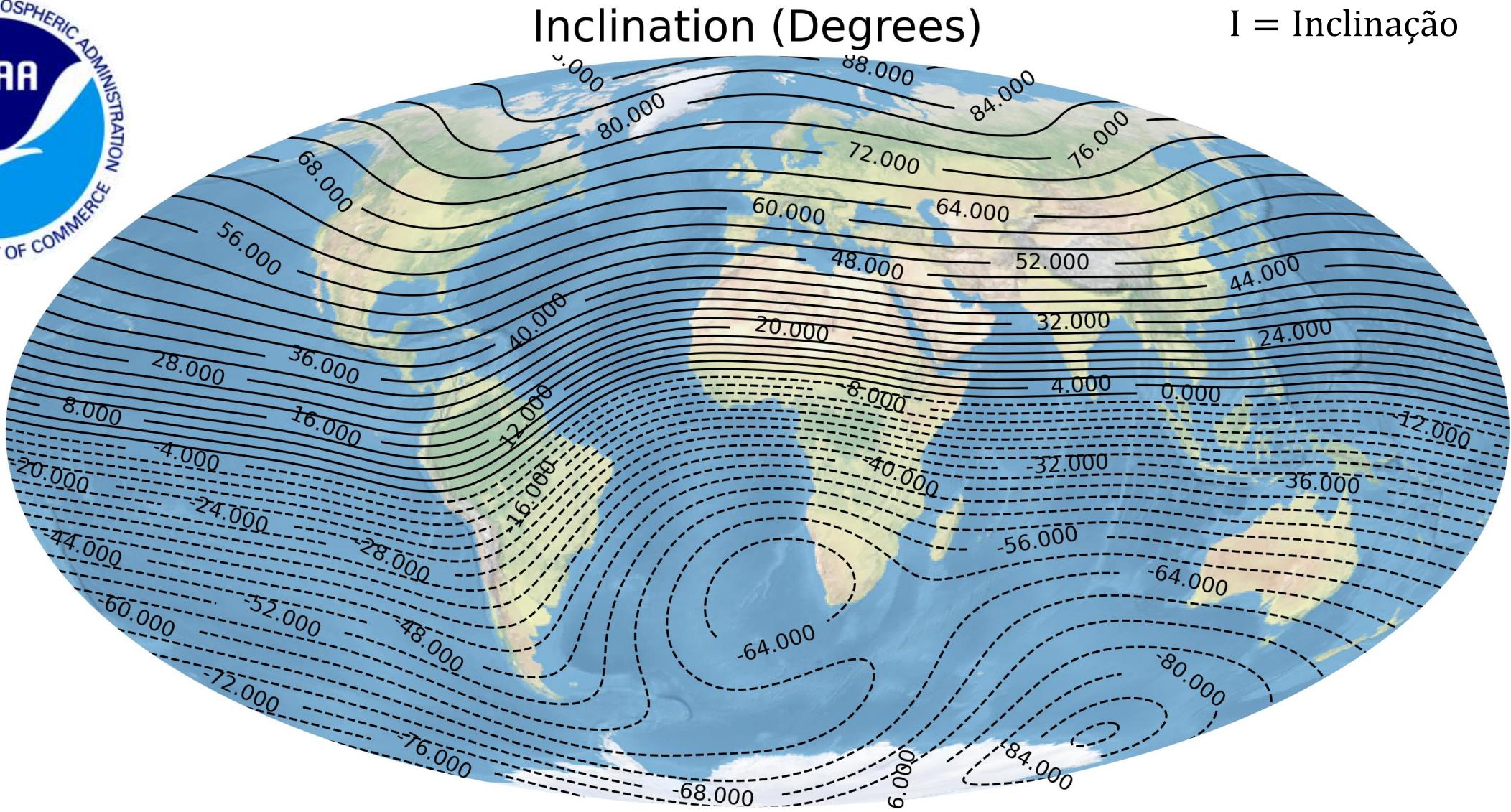
Este campo é predominantemente **dipolar** e varia em **intensidade e direção** ao longo dos anos.

Pode variar anualmente ou em centenas de milhares de anos (**variação secular**)

Campo principal

International Geomagnetic Reference Field (IGRF)

<https://www.noaa.gov/>

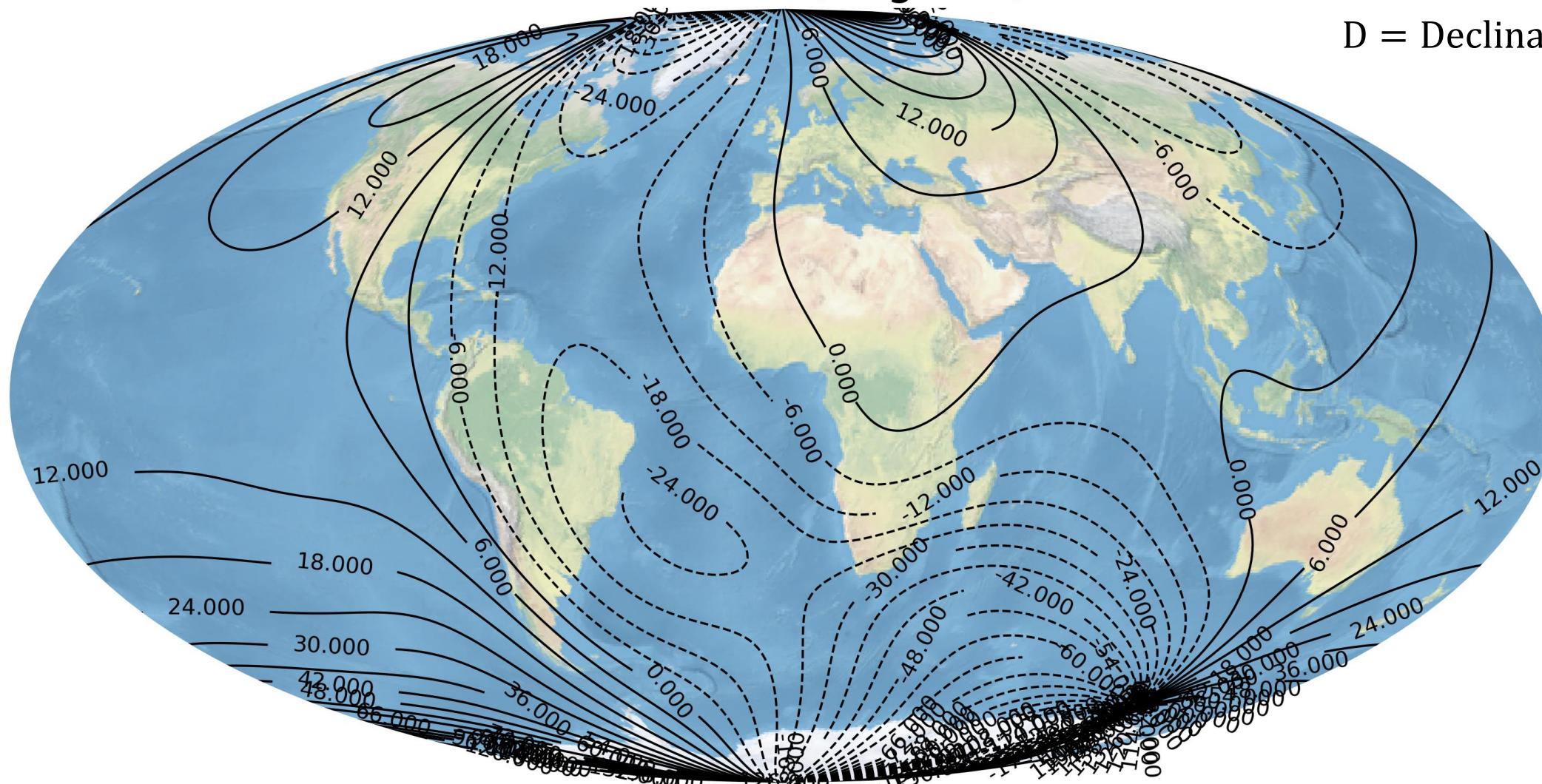


Campo principal

International Geomagnetic Reference Field (IGRF)

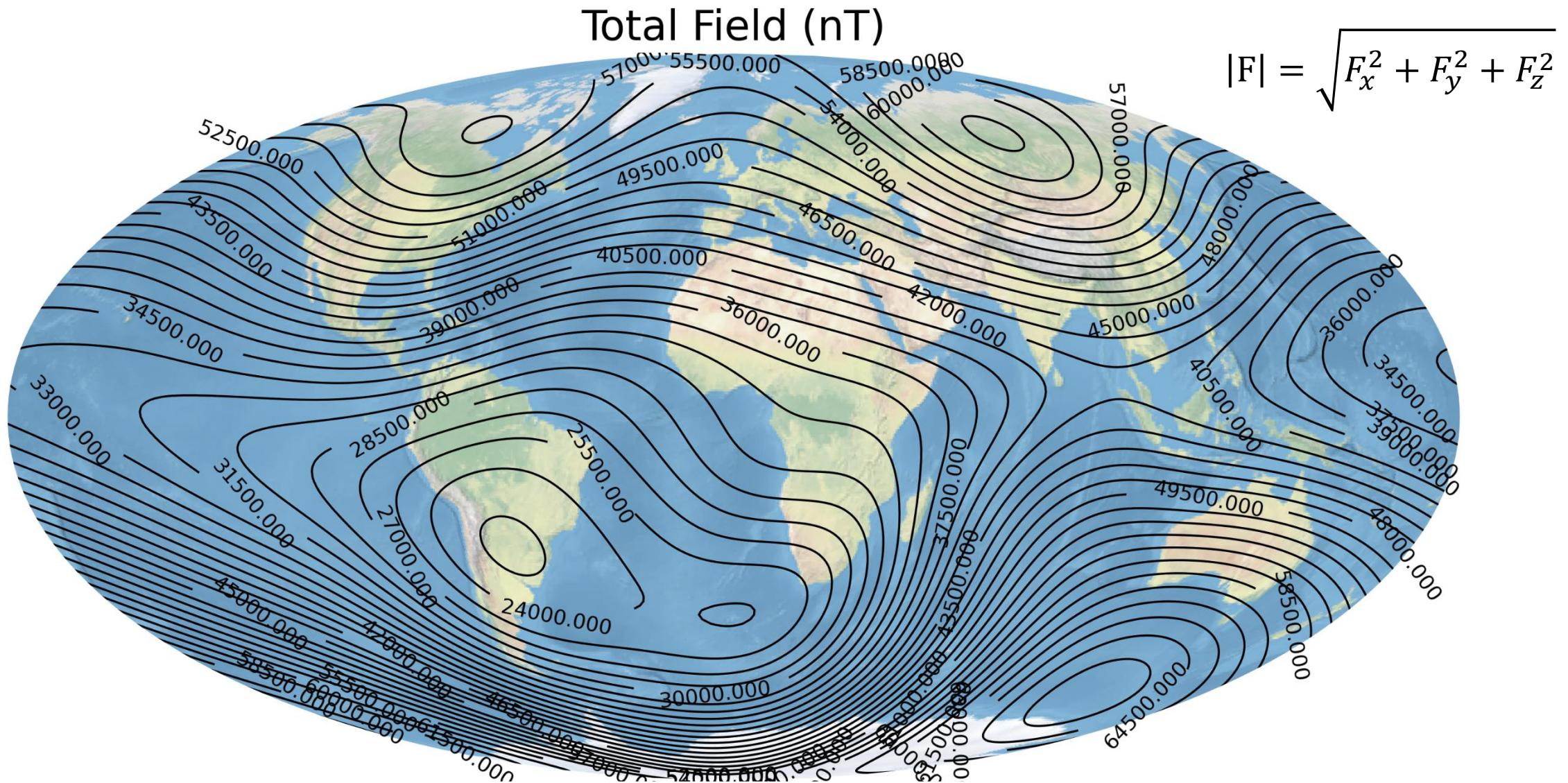
Declination (Degrees)

D = Declinação

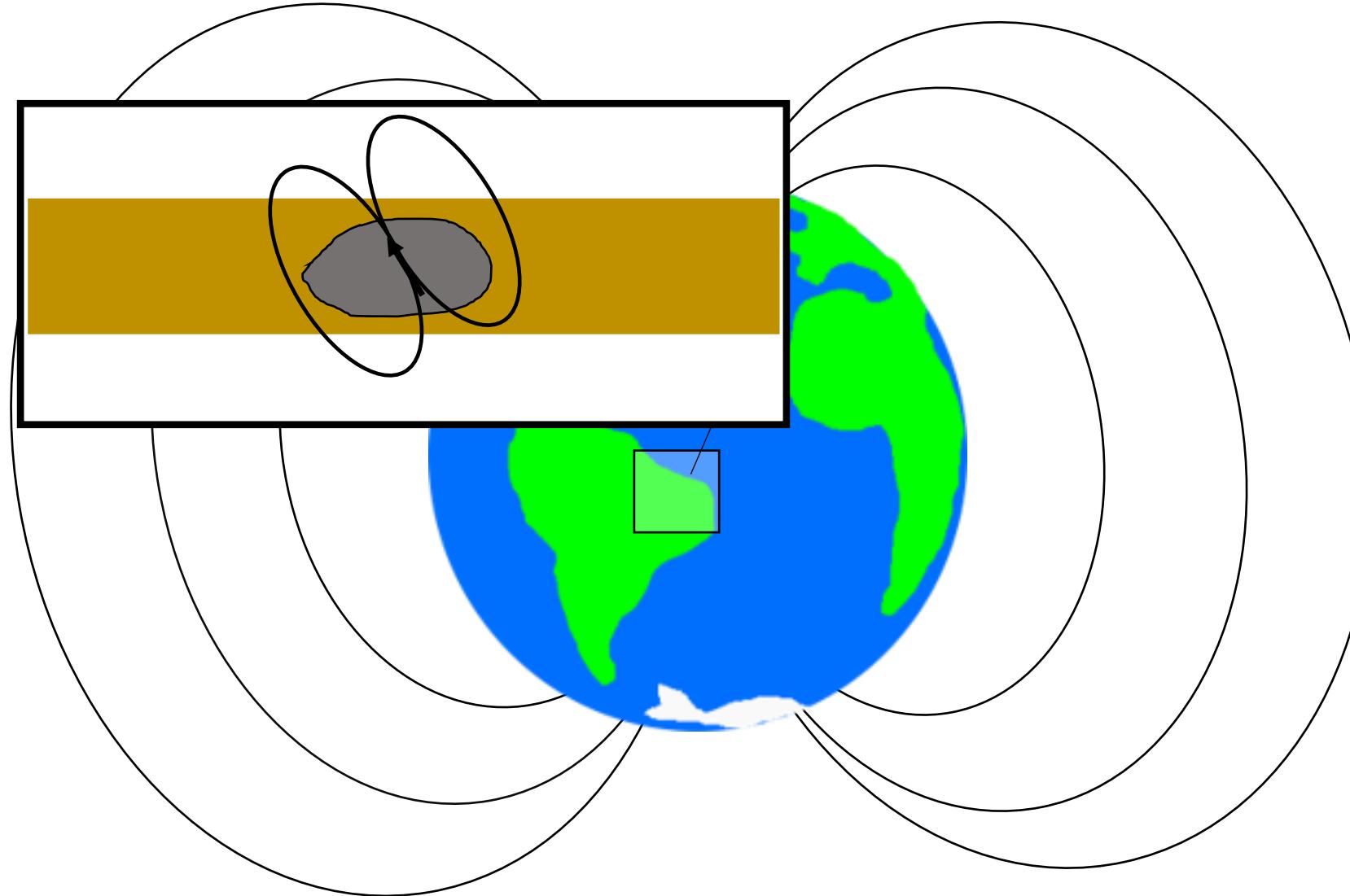


Campo principal

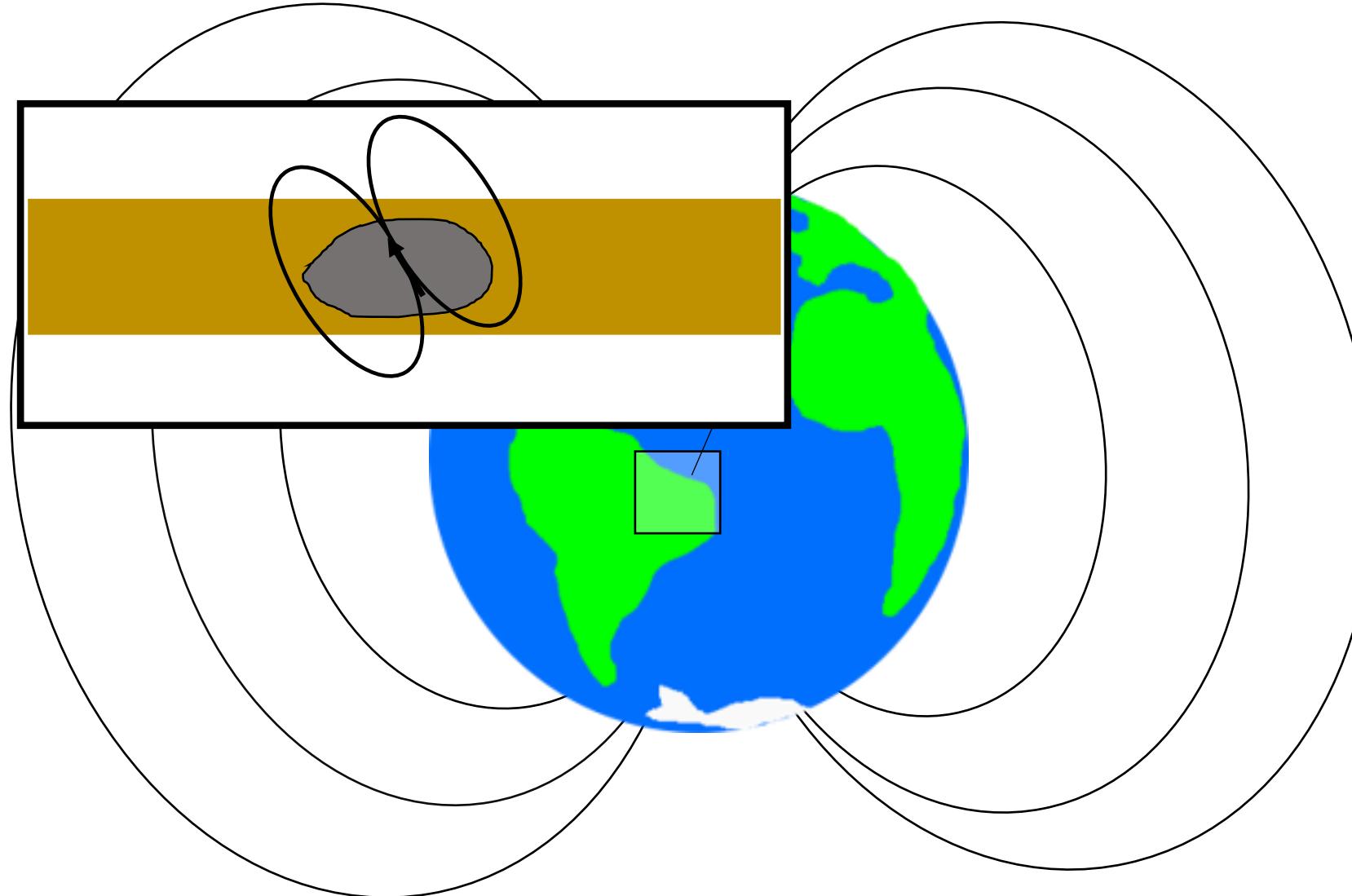
International Geomagnetic Reference Field (IGRF)



Campo crustal

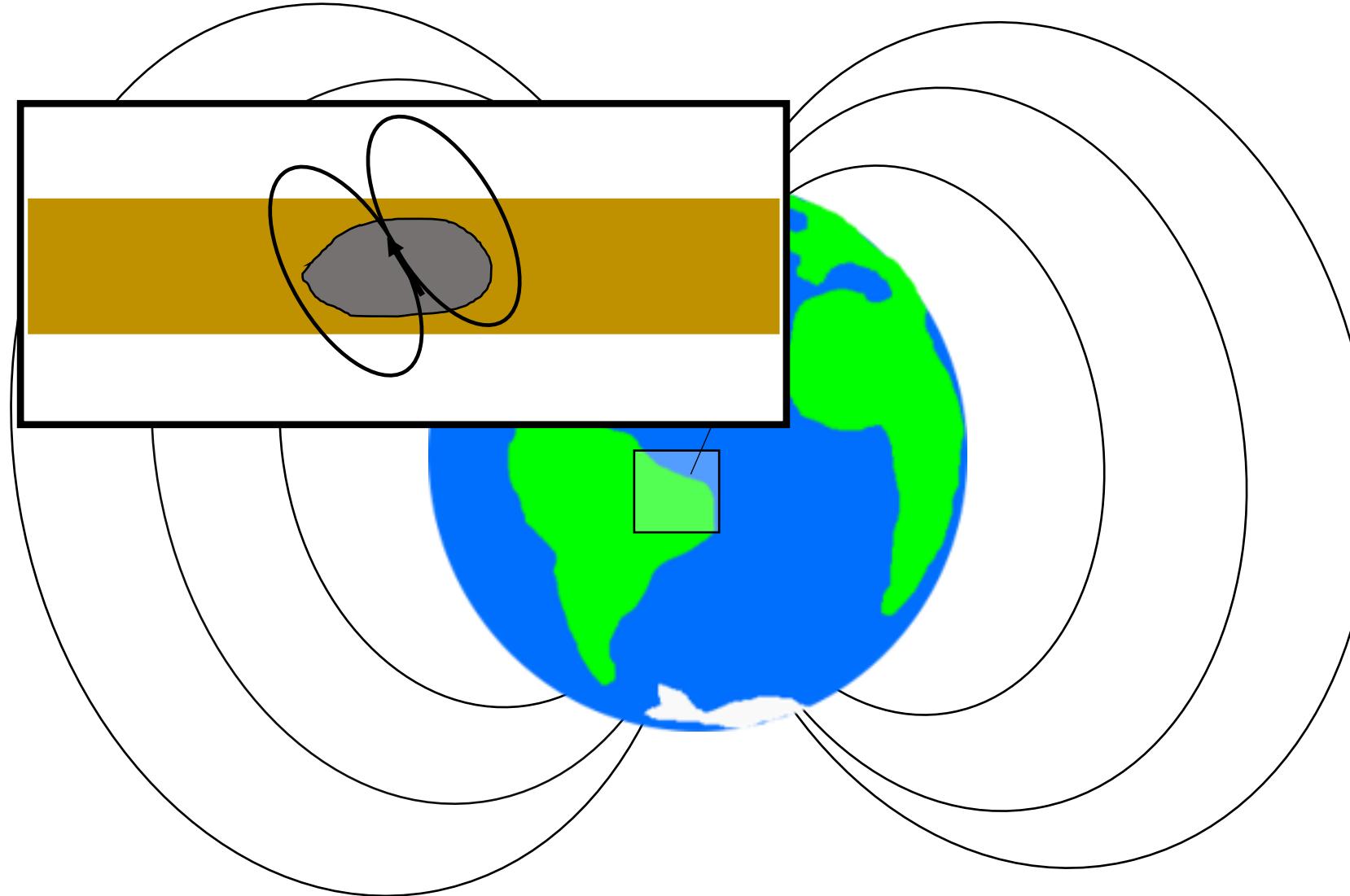


Campo crustal



Outra **componente** do campo geomagnético medida próximo a superfície é produzida por **fontes magnetizadas** na **crosta terrestre**

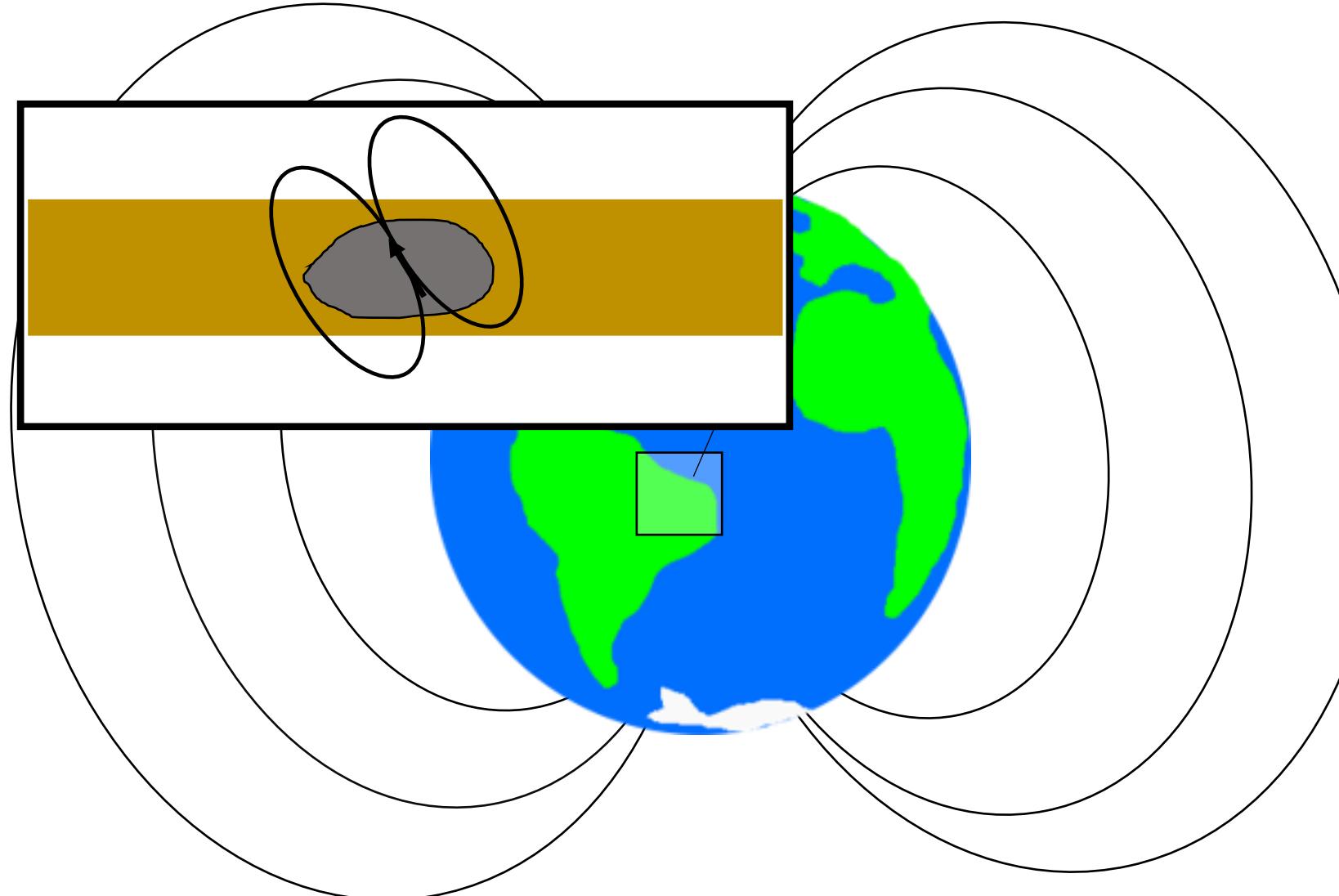
Campo crustal



Outra **componente** do campo geomagnético medida próximo a superfície é produzida por **fontes magnetizadas na crosta terrestre**

O campo produzido por estas rochas é chamado de **campo crustal**.

Campo crustal

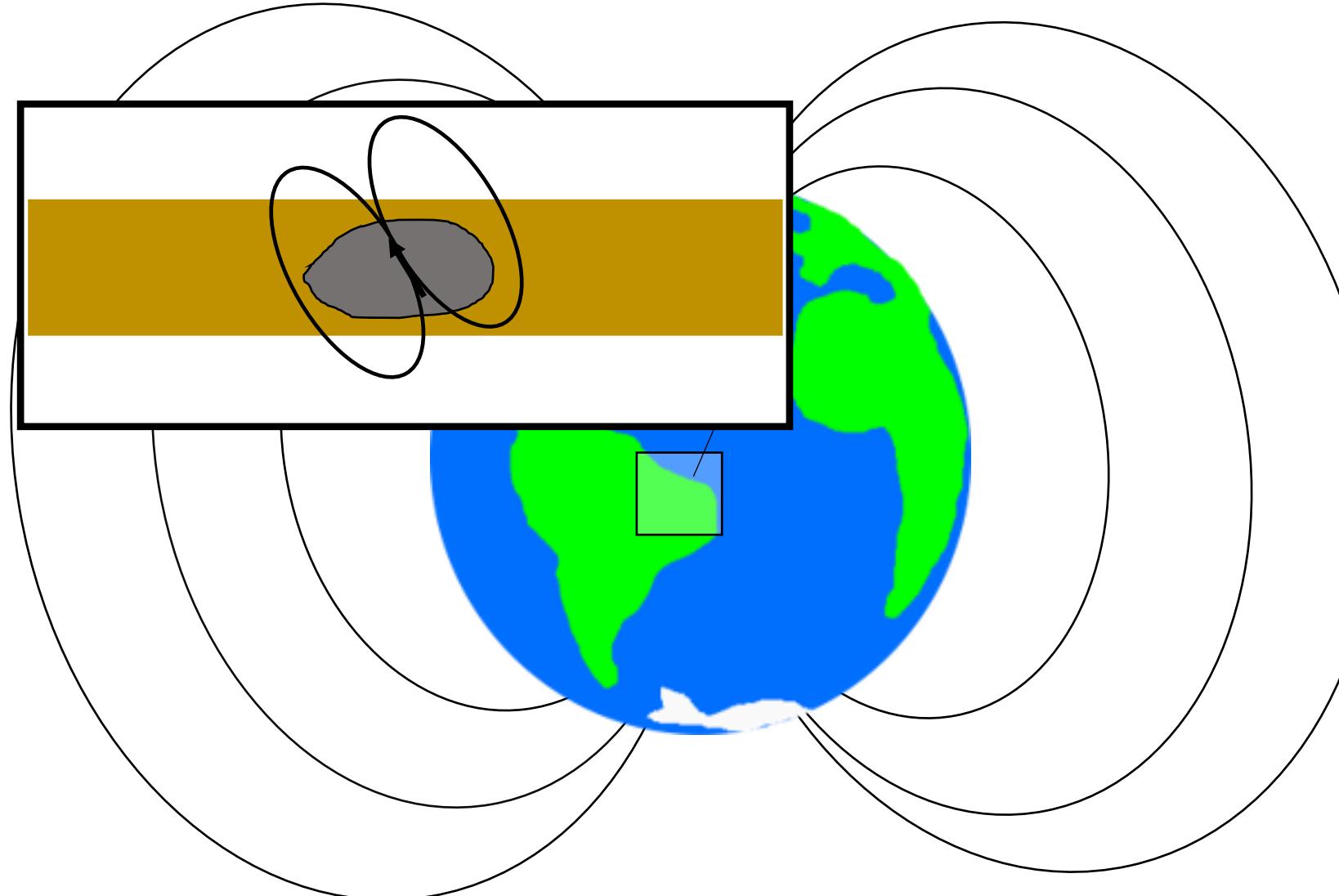


Outra **componente** do campo geomagnético medida próximo a superfície é produzida por **fontes magnetizadas na crosta terrestre**

O campo produzido por estas rochas é chamado de **campo crustal**.

De forma geral, em Geofísica estamos interessados somente no **campo crustal**

Campo crustal



Outras componentes do **campo geomagnético**
são **atenuadas ou removidas** dos dados
medidos próximos a superfície terrestre.

Outra **componente** do campo geomagnético medida próximo a superfície é produzida por **fontes magnetizadas na crosta terrestre**

O campo produzido por estas rochas é chamado de **campo crustal**.

De forma geral, em Geofísica
estamos interessados somente no
campo crustal

Rochas magnetizadas em subsuperfície

Norte



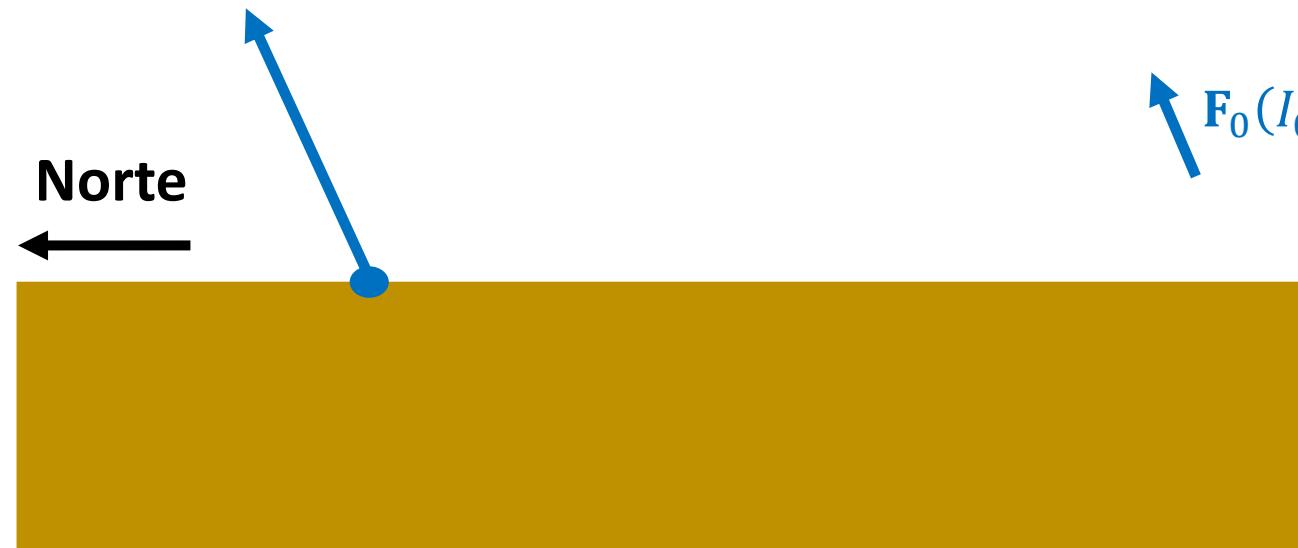
Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela

Amplitude (nT)

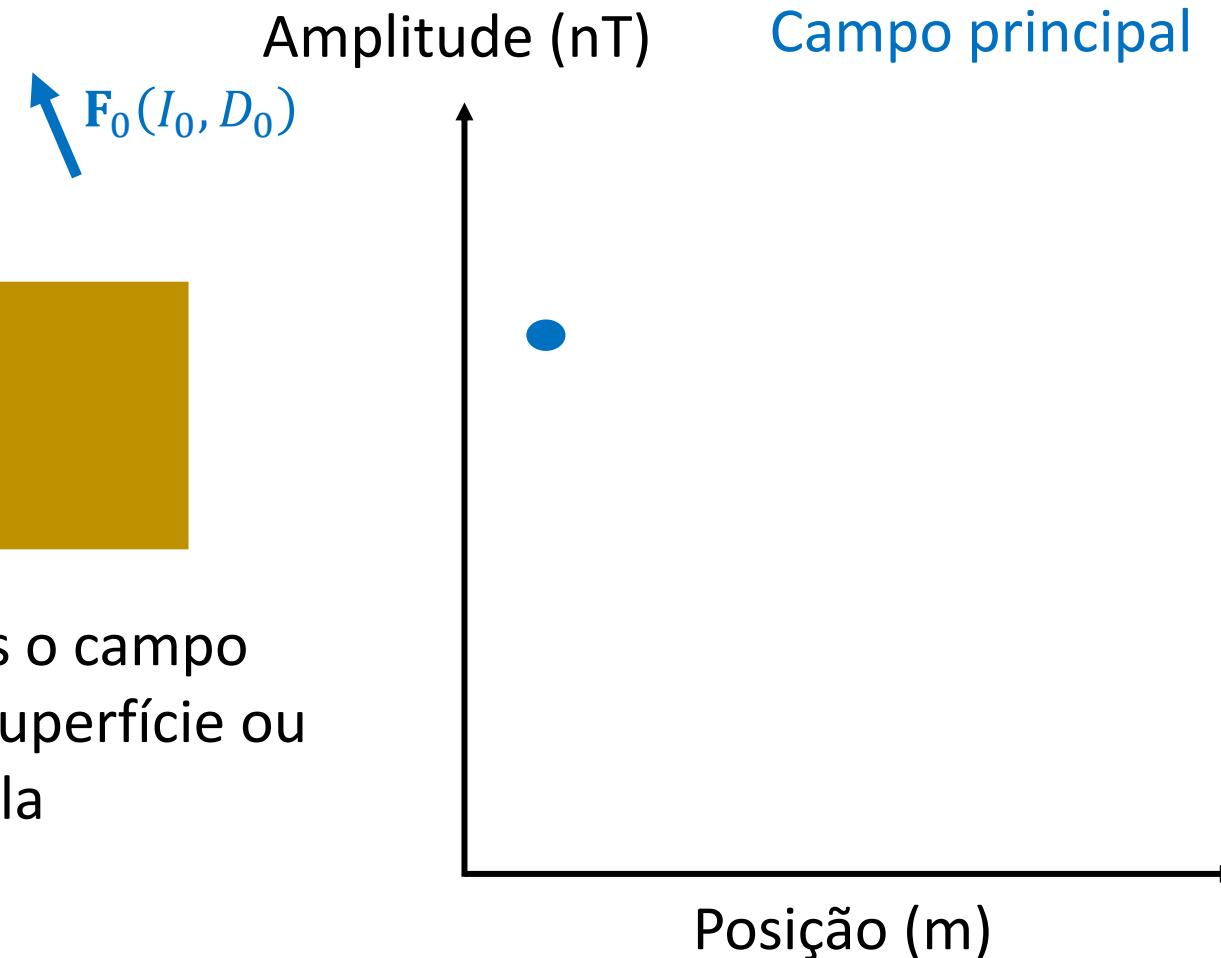


Posição (m)

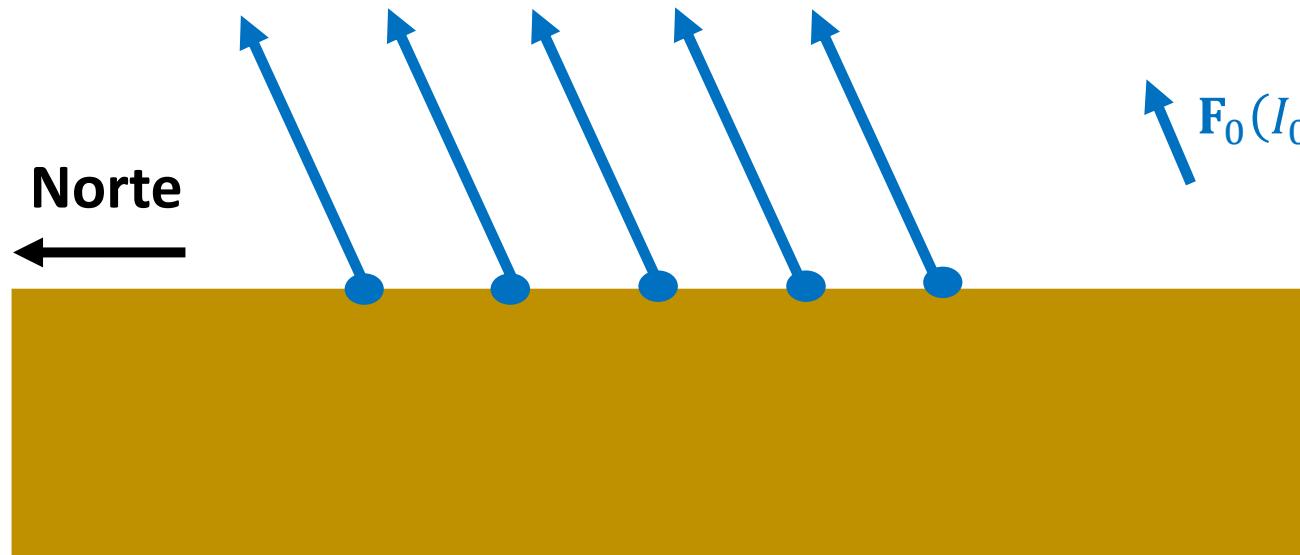
Rochas magnetizadas em subsuperfície



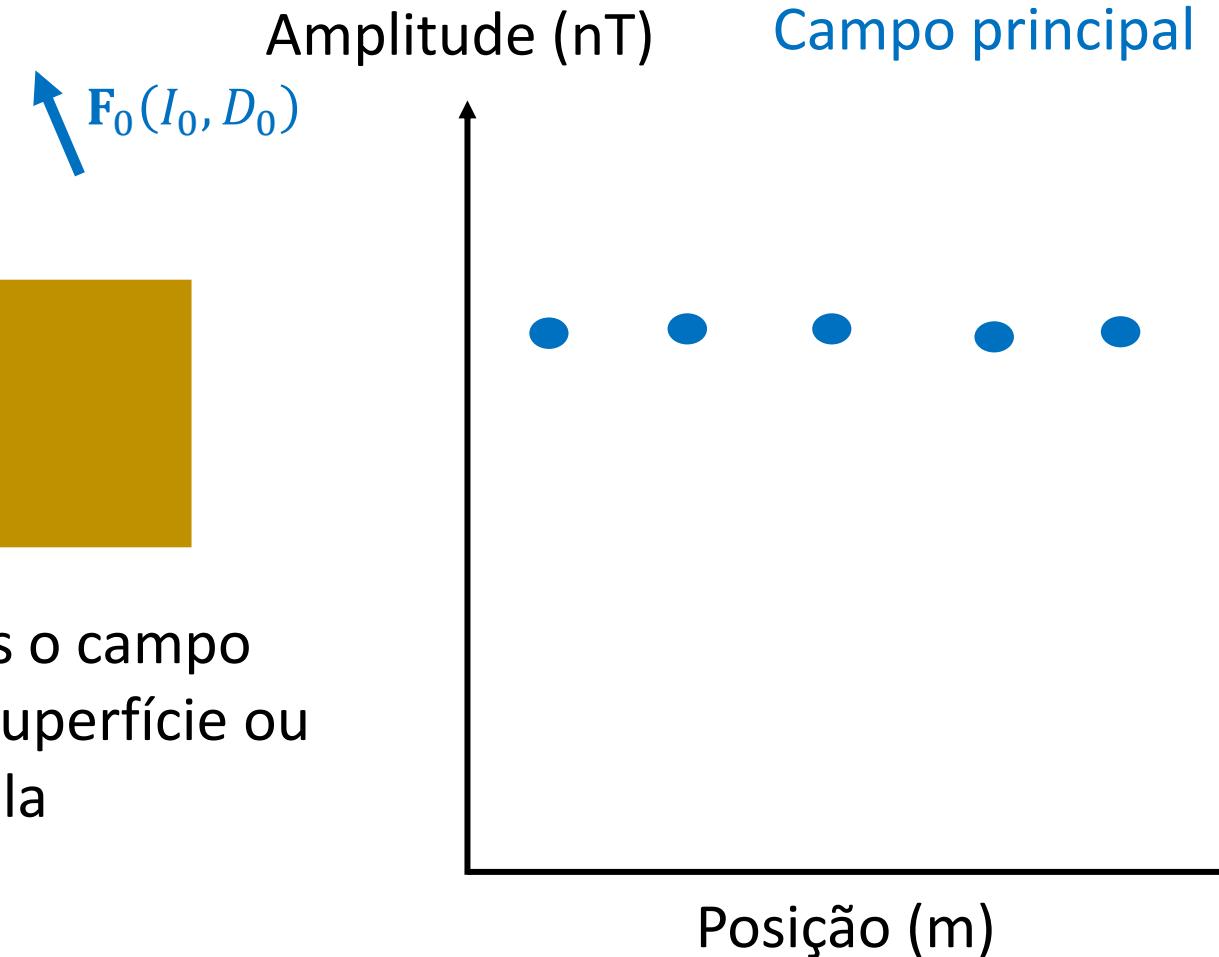
Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela



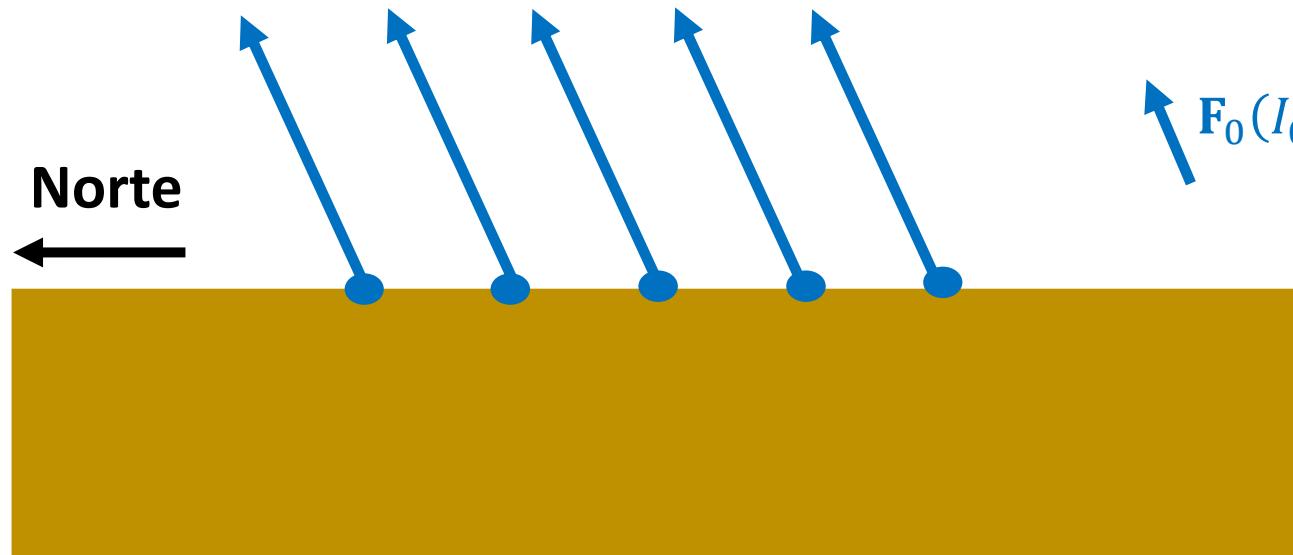
Rochas magnetizadas em subsuperfície



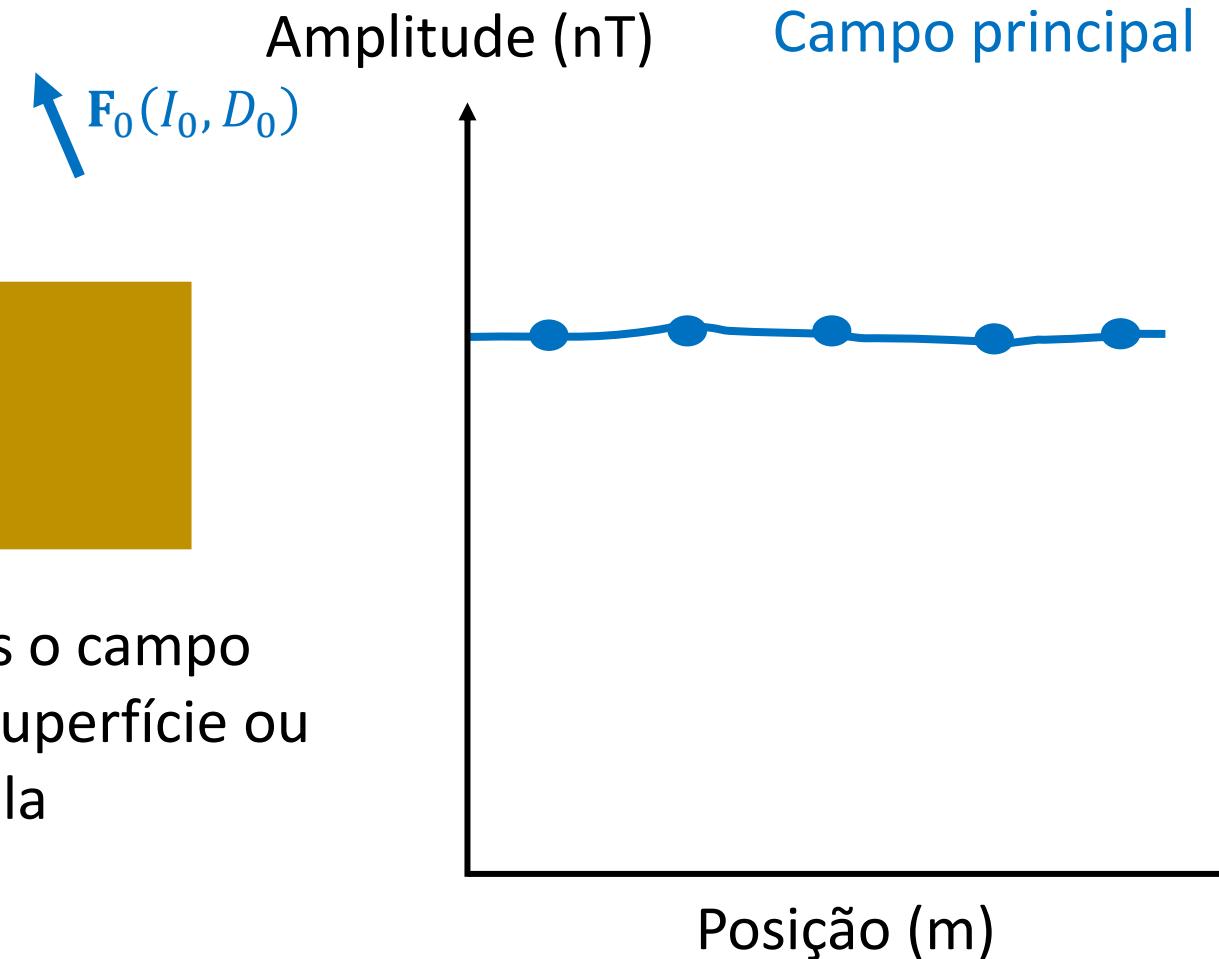
Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela



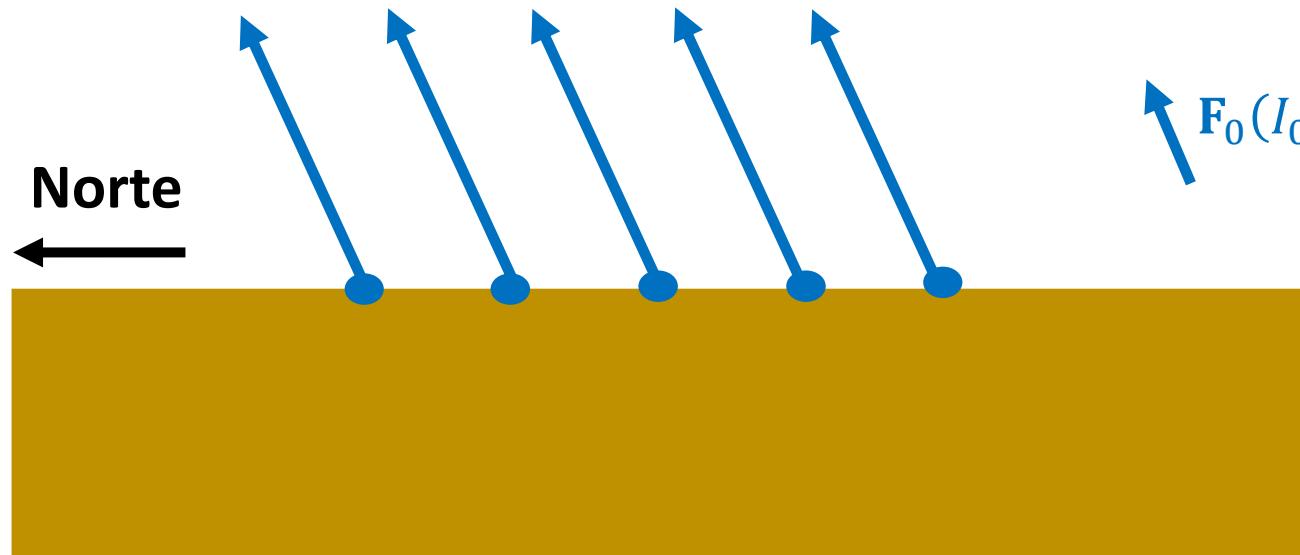
Rochas magnetizadas em subsuperfície



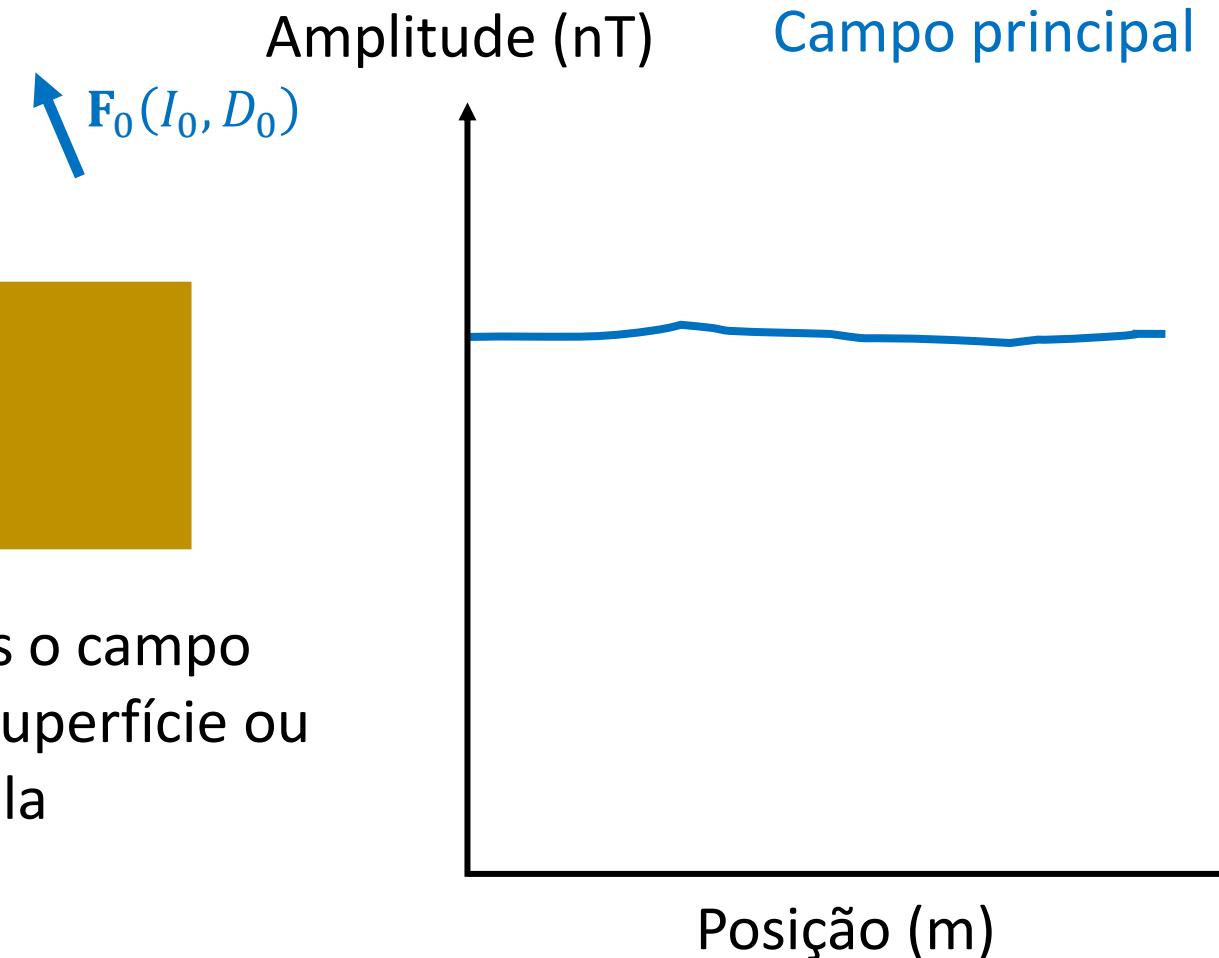
Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela



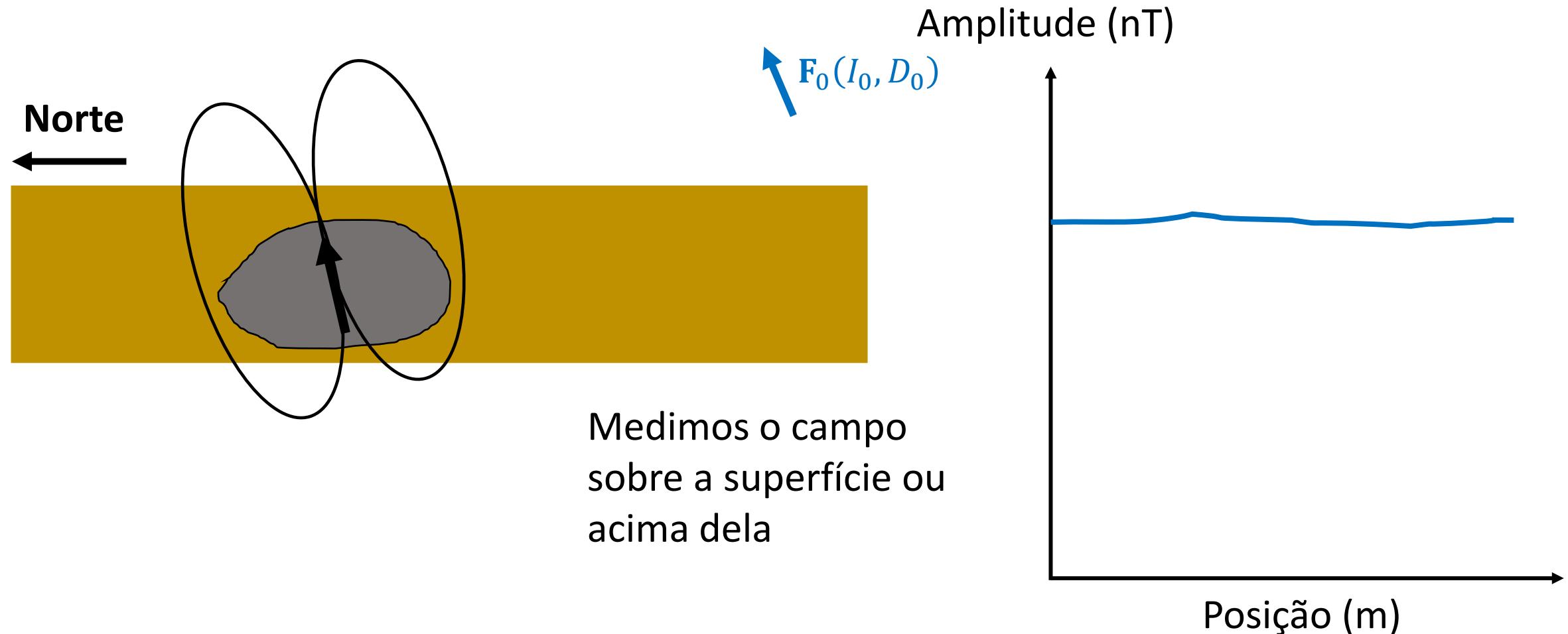
Rochas magnetizadas em subsuperfície



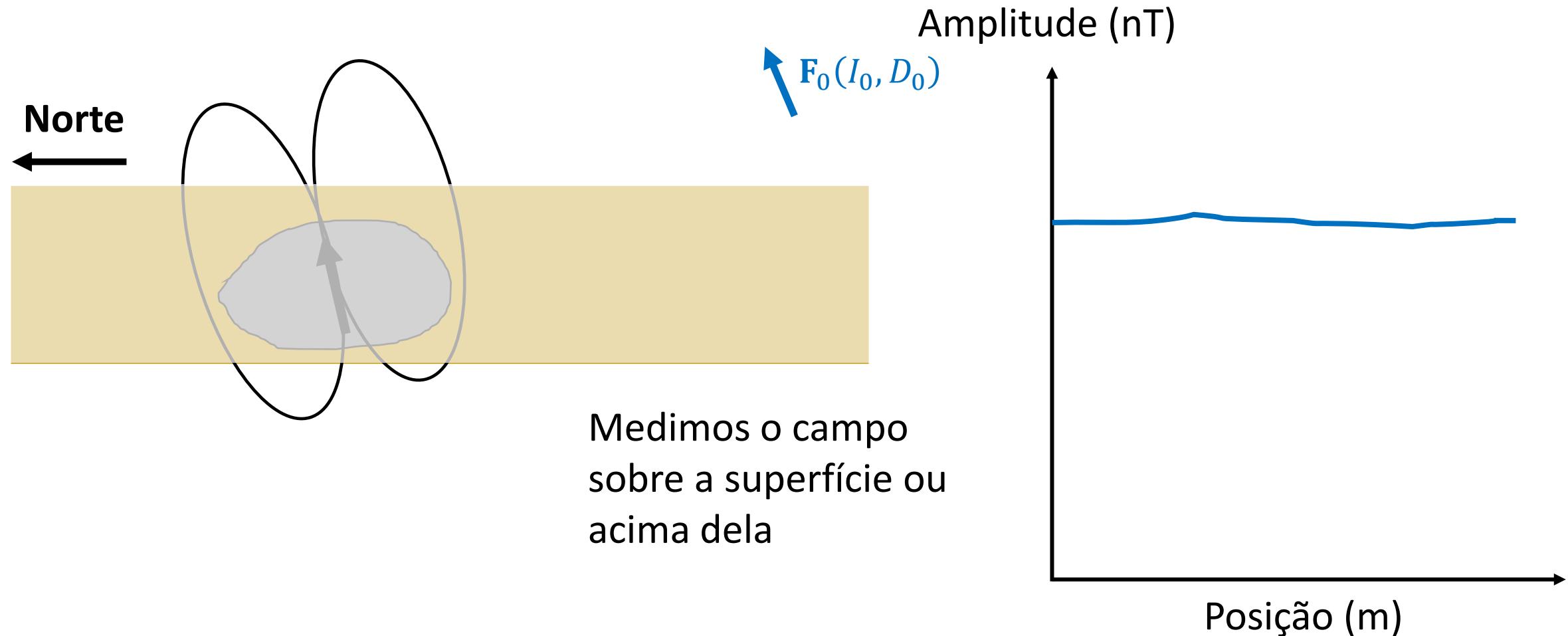
Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela



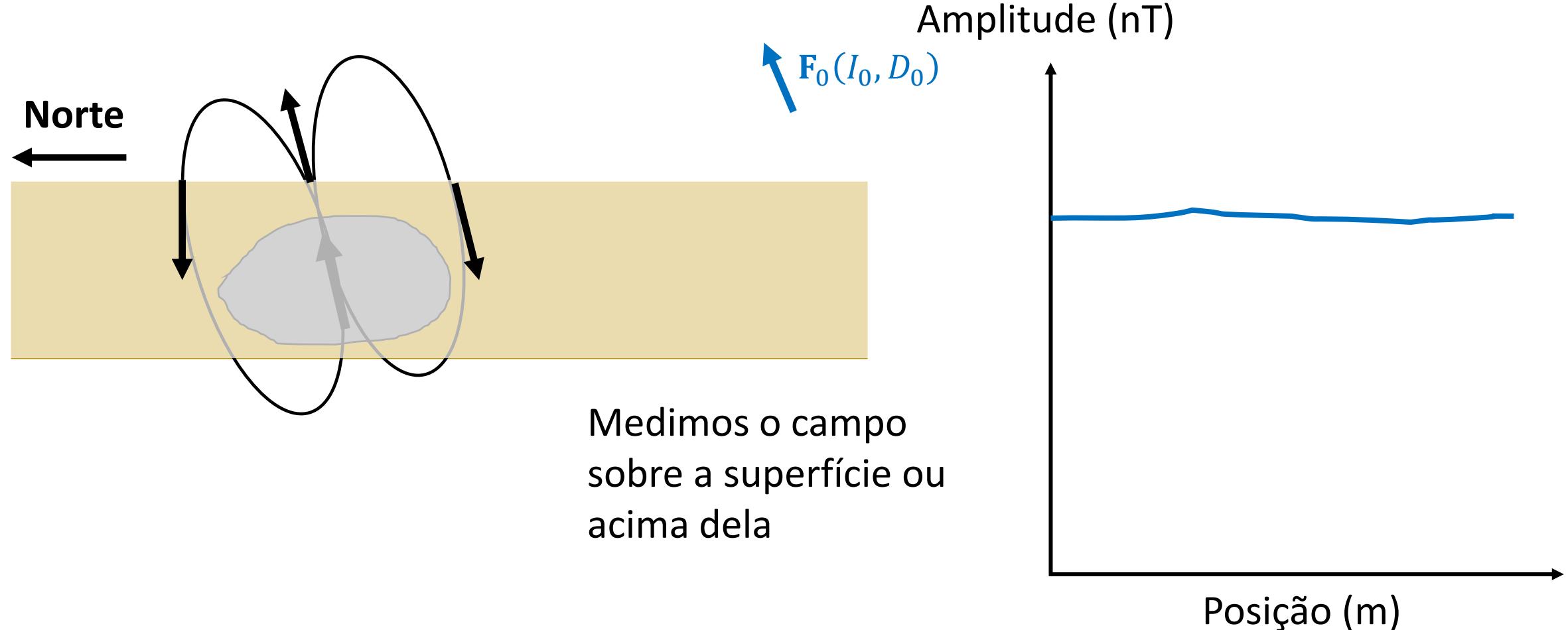
Rochas magnetizadas em subsuperfície



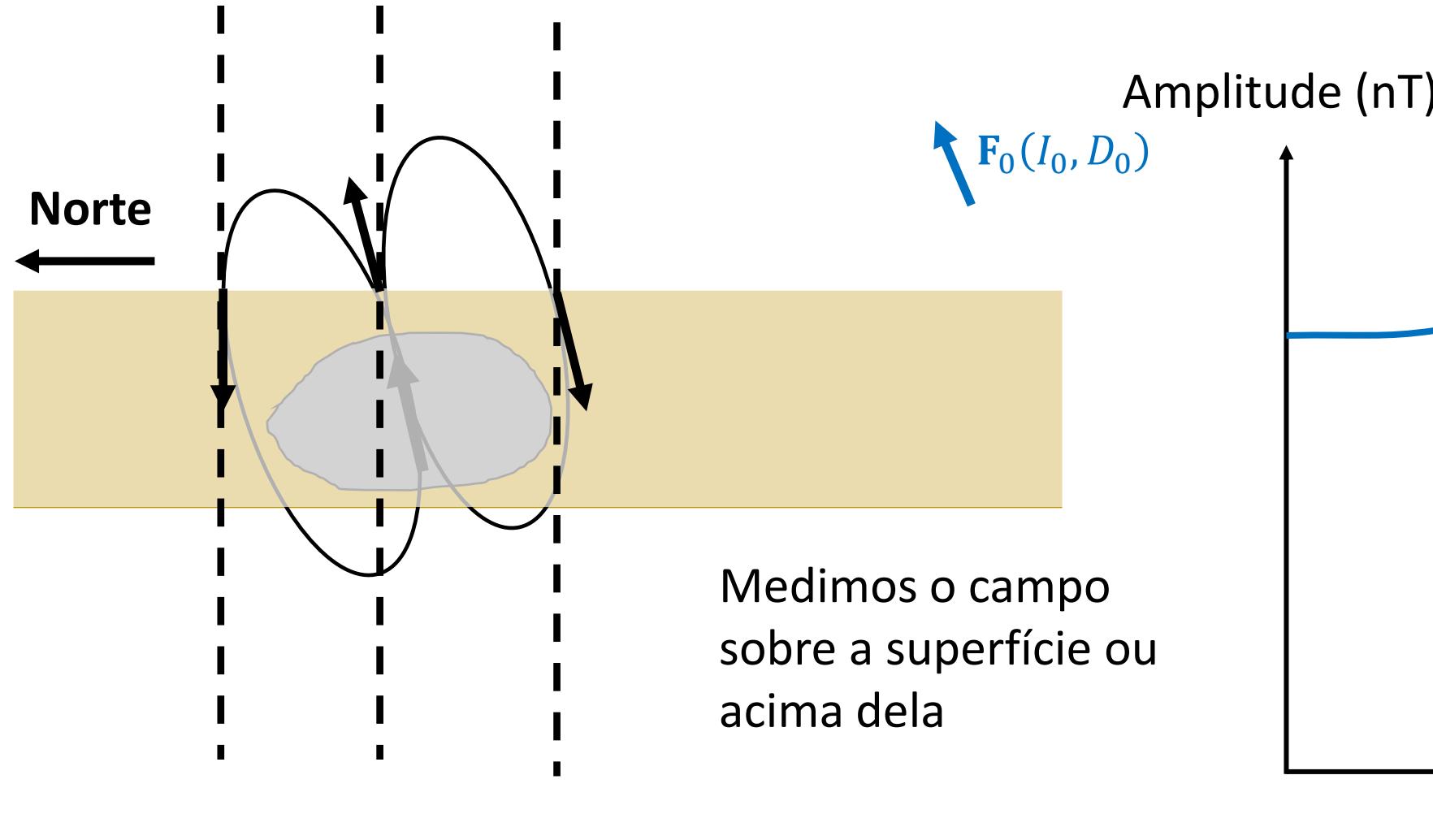
Rochas magnetizadas em subsuperfície



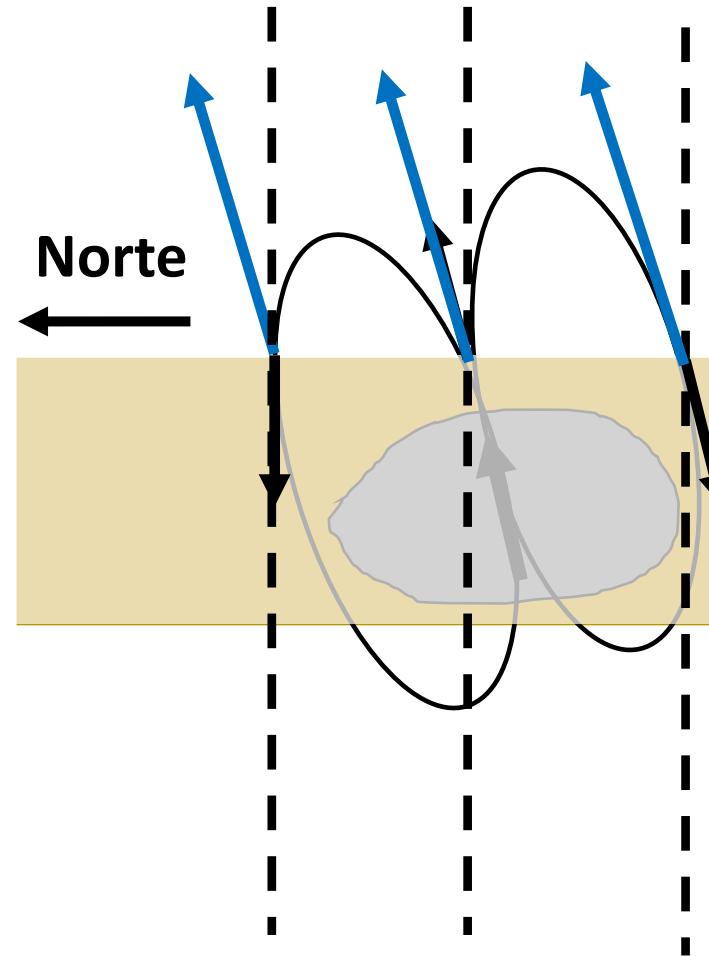
Rochas magnetizadas em subsuperfície



Rochas magnetizadas em subsuperfície

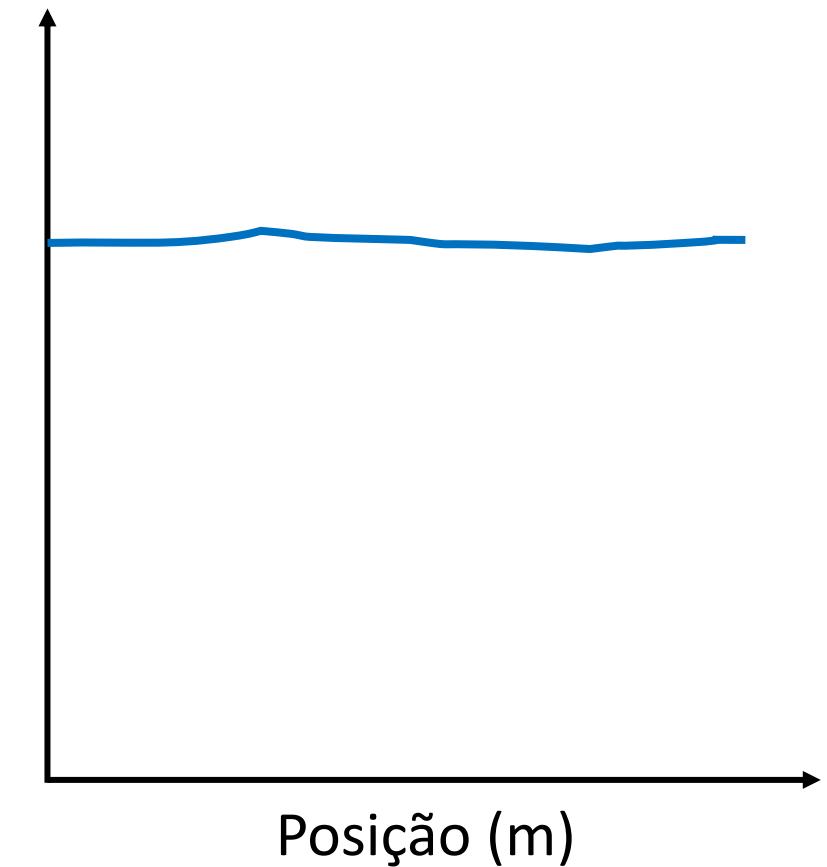


Rochas magnetizadas em subsuperfície

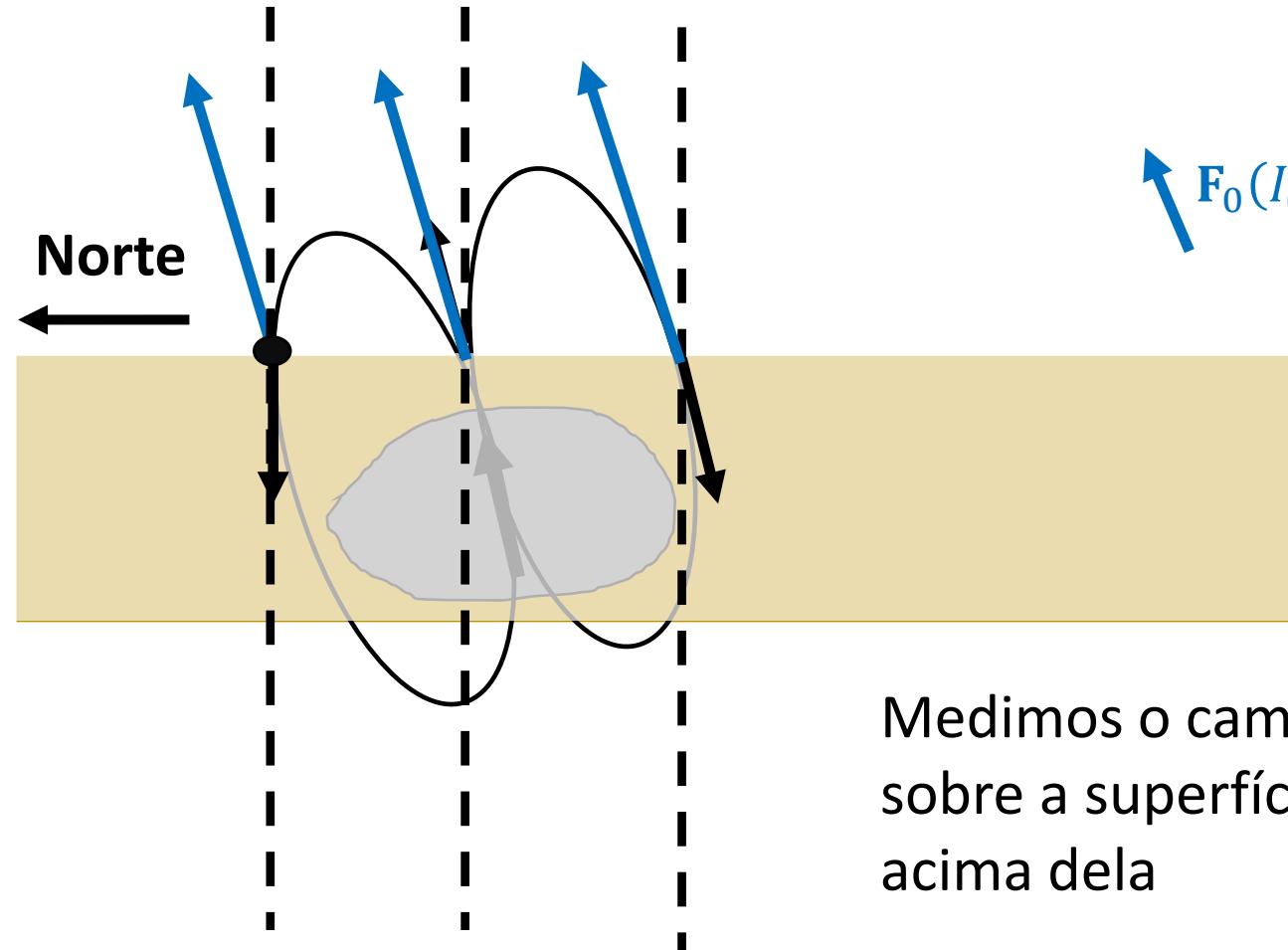


Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela

Amplitude (nT)
 $F_0(I_0, D_0)$

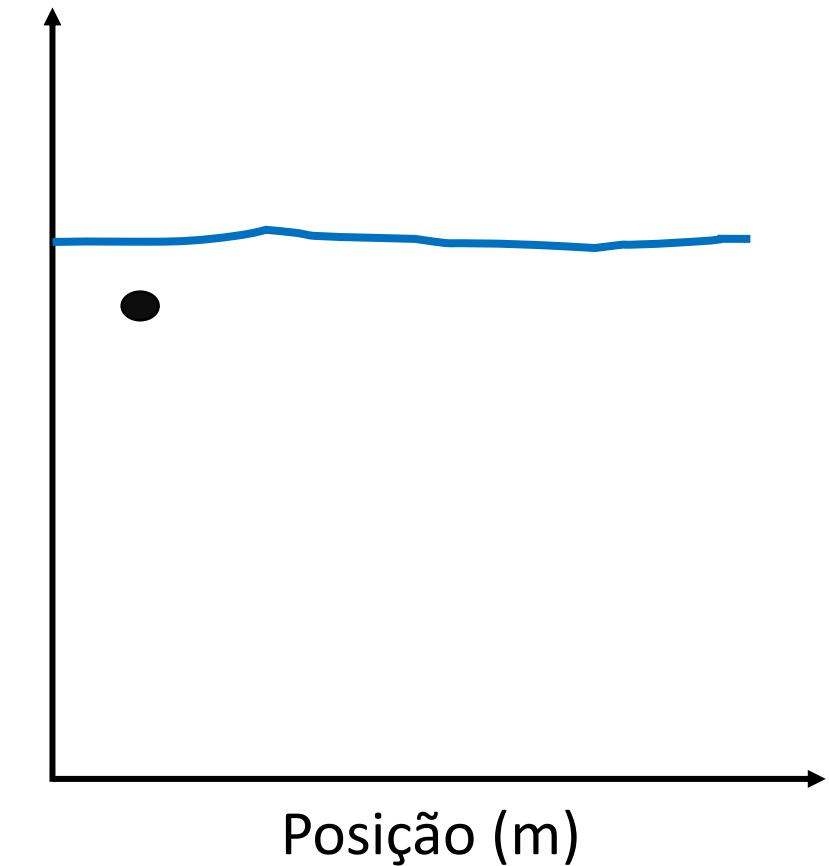


Rochas magnetizadas em subsuperfície

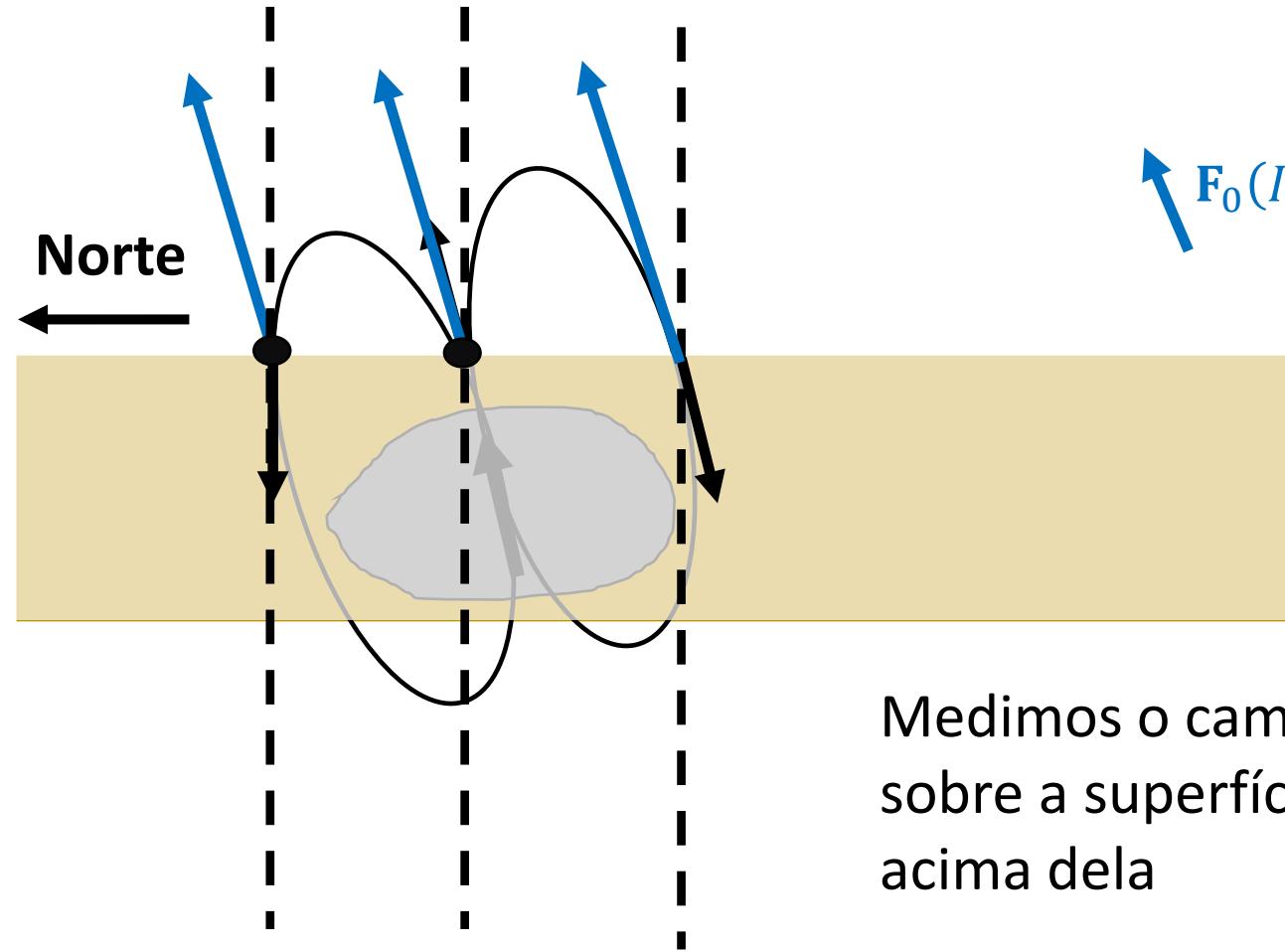


Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela

Amplitude (nT)

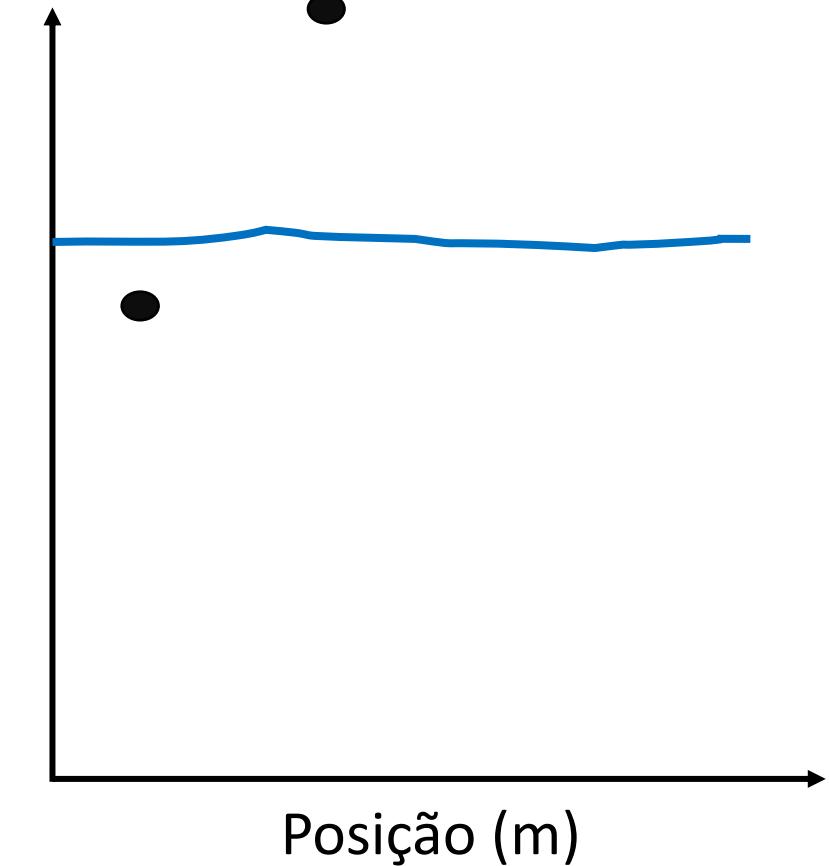


Rochas magnetizadas em subsuperfície

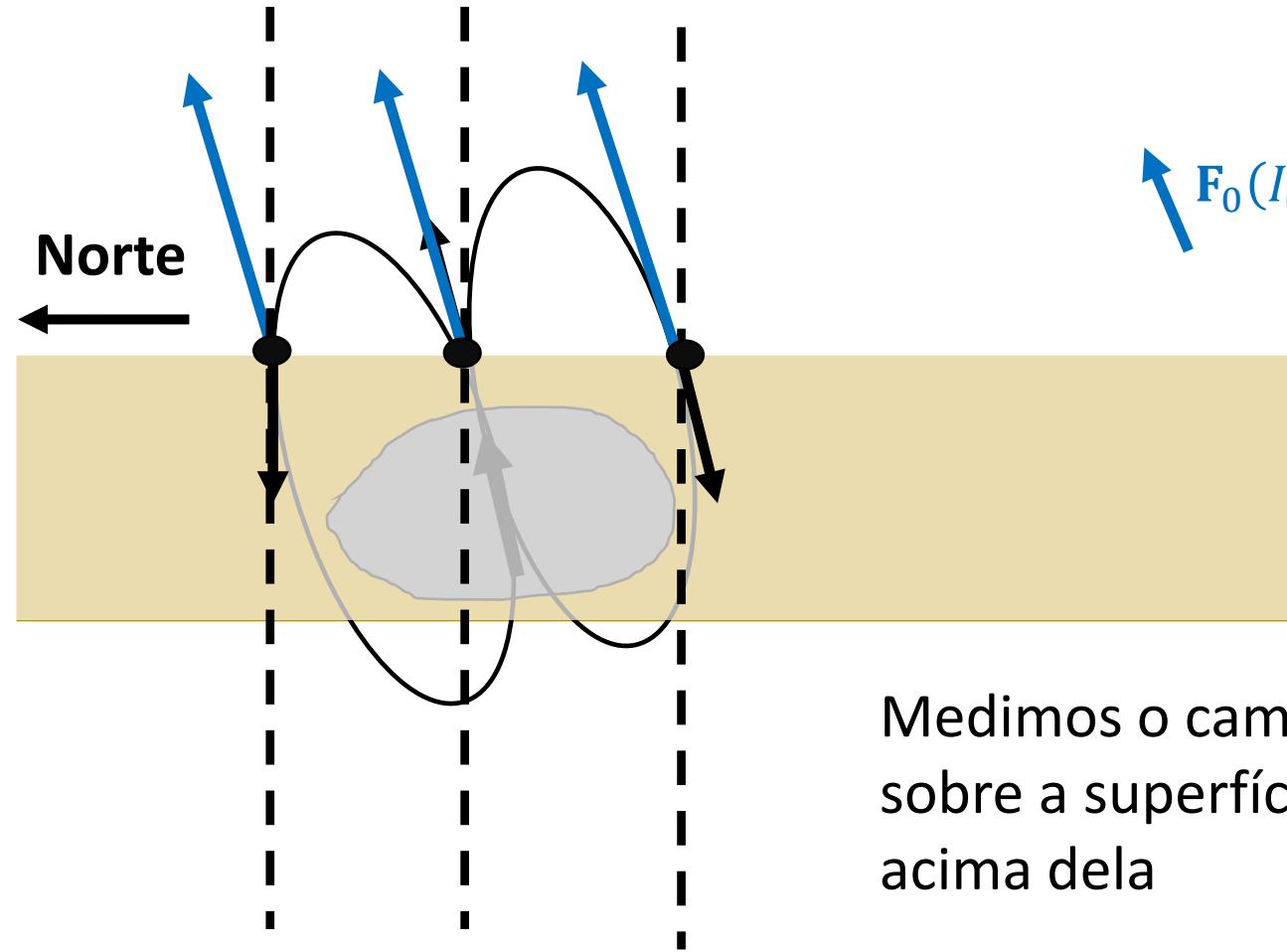


Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela

Amplitude (nT)



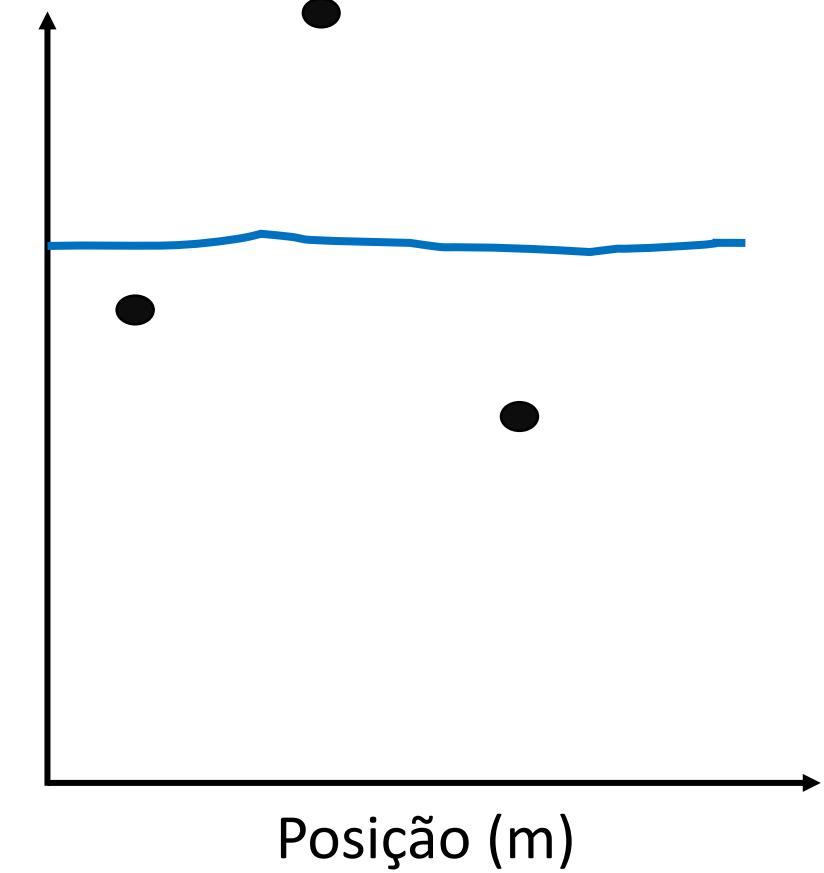
Rochas magnetizadas em subsuperfície



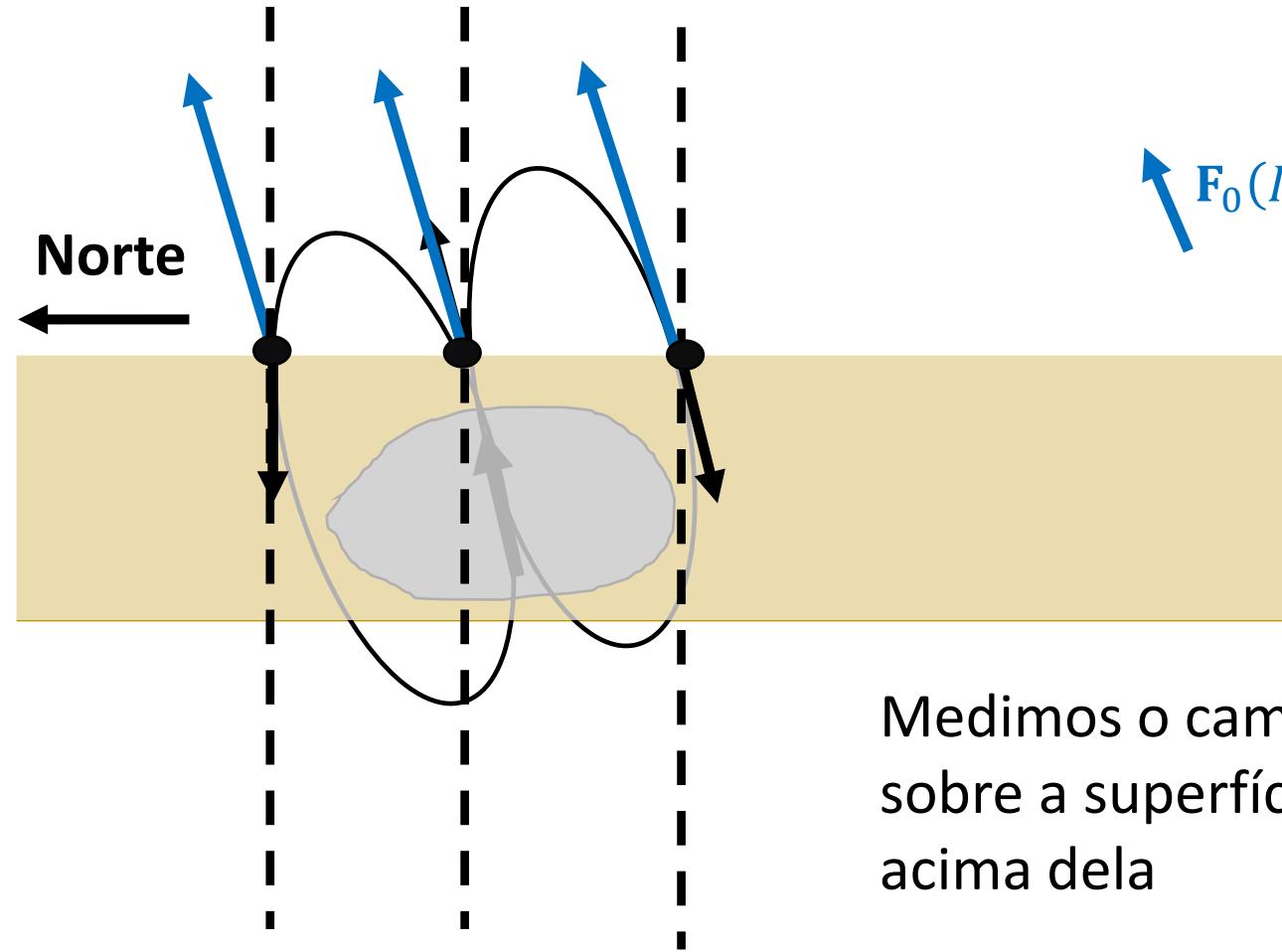
Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela

Amplitude (nT)

$$F_0(I_0, D_0)$$

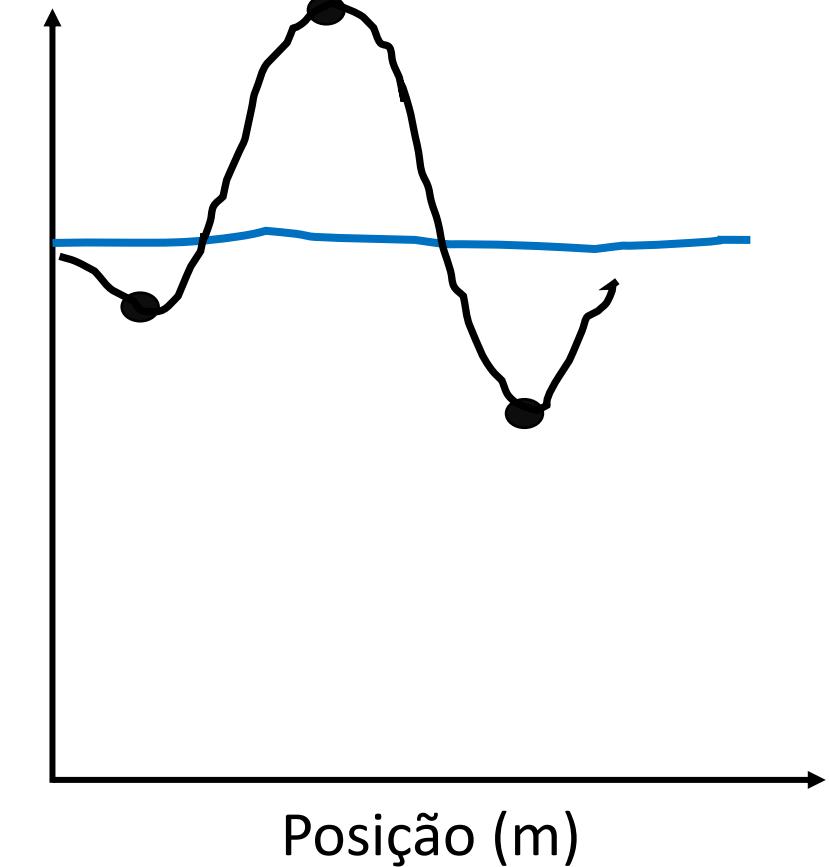


Rochas magnetizadas em subsuperfície

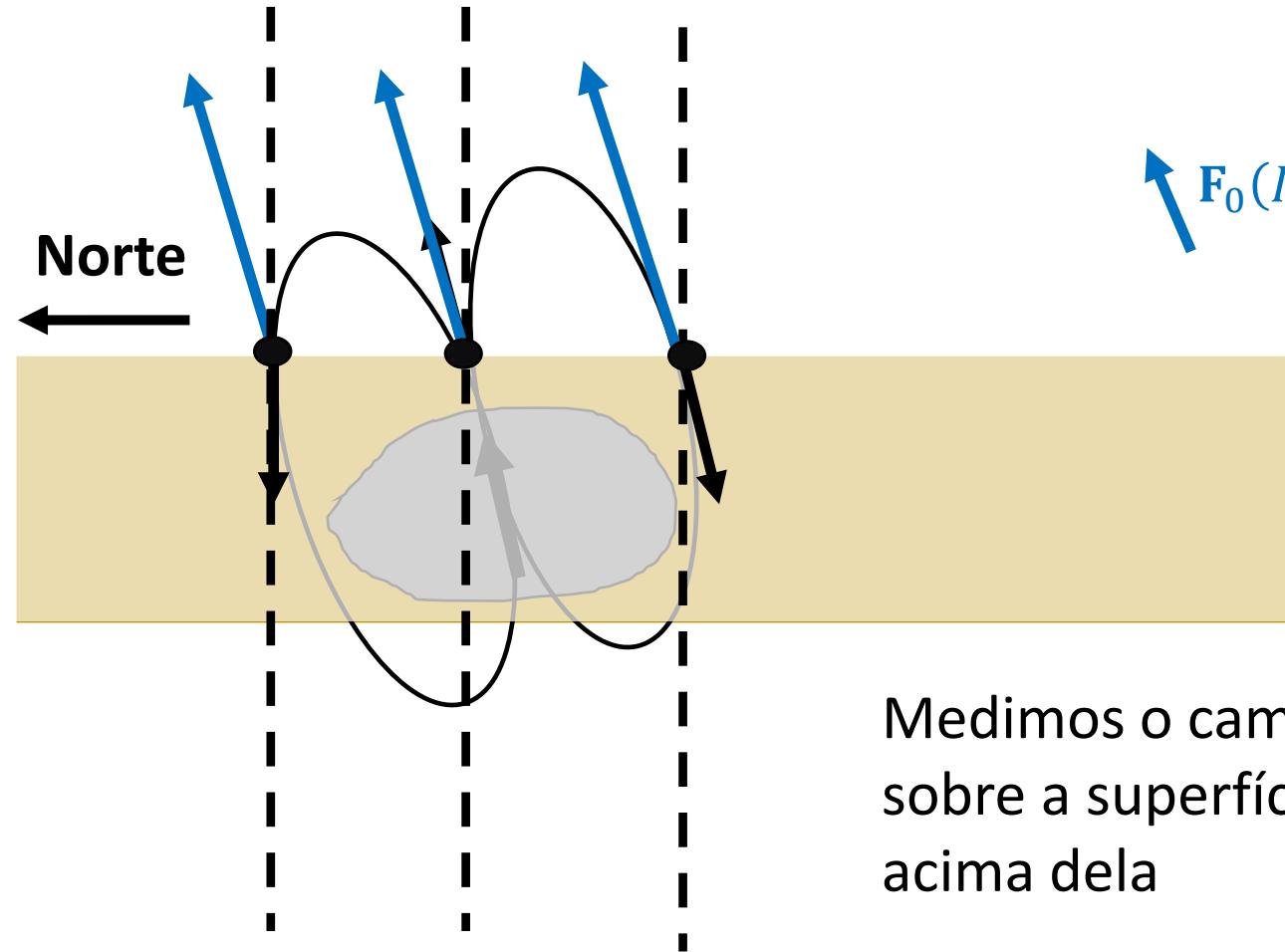


Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela

Amplitude (nT)

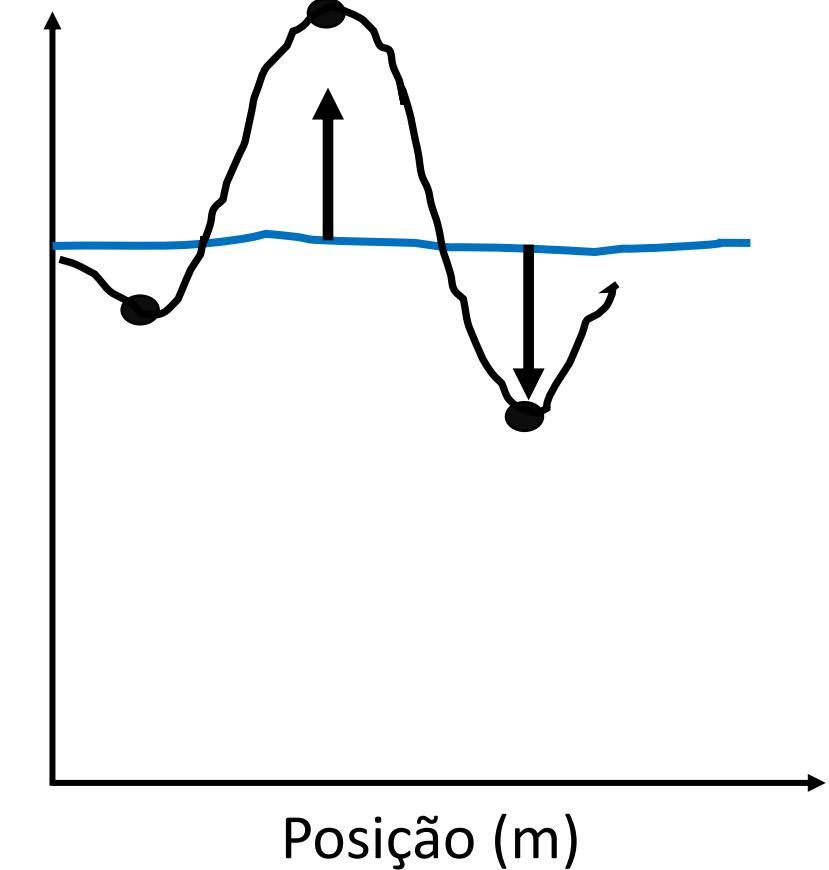


Rochas magnetizadas em subsuperfície

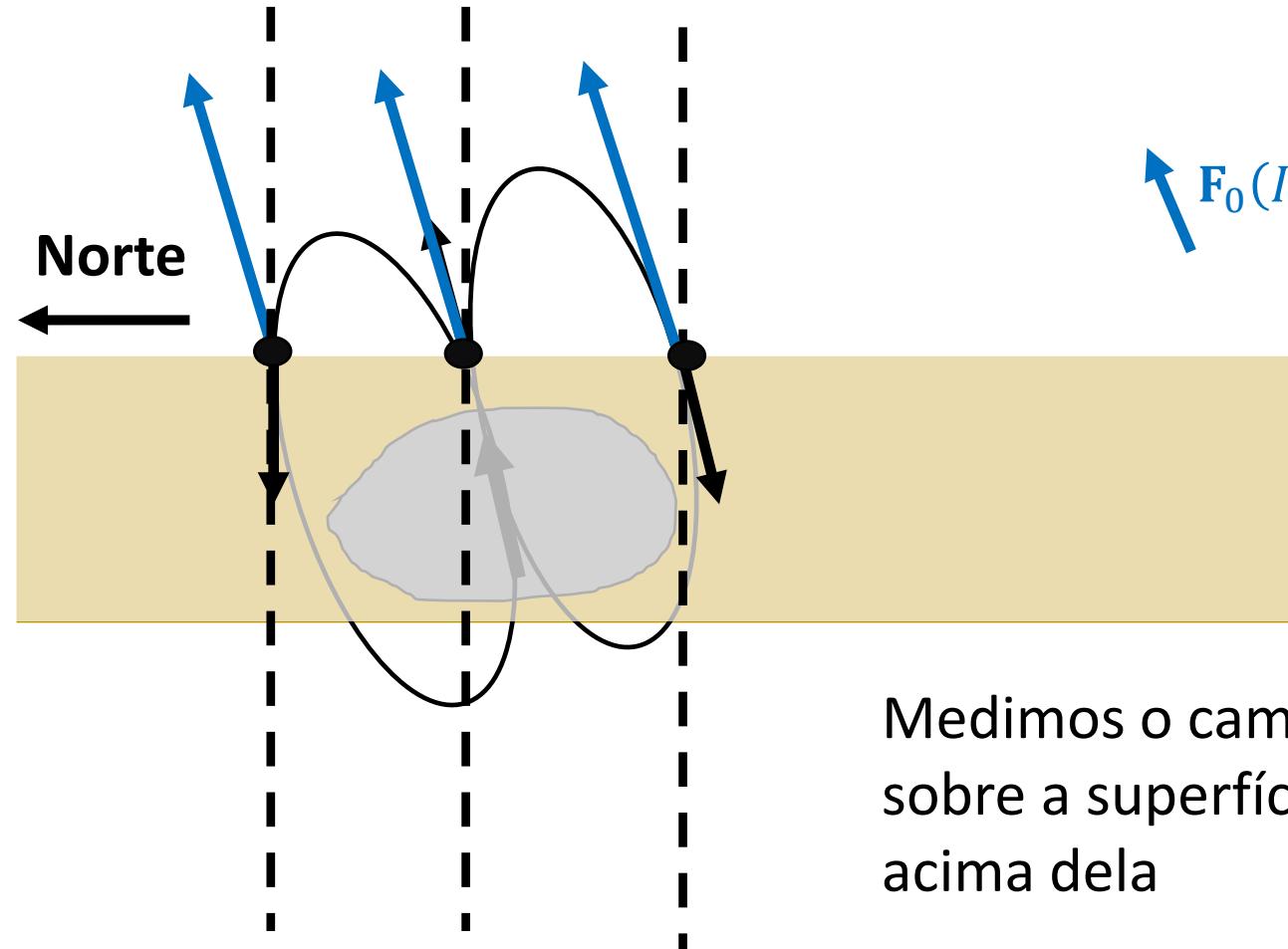


Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela

Amplitude (nT)

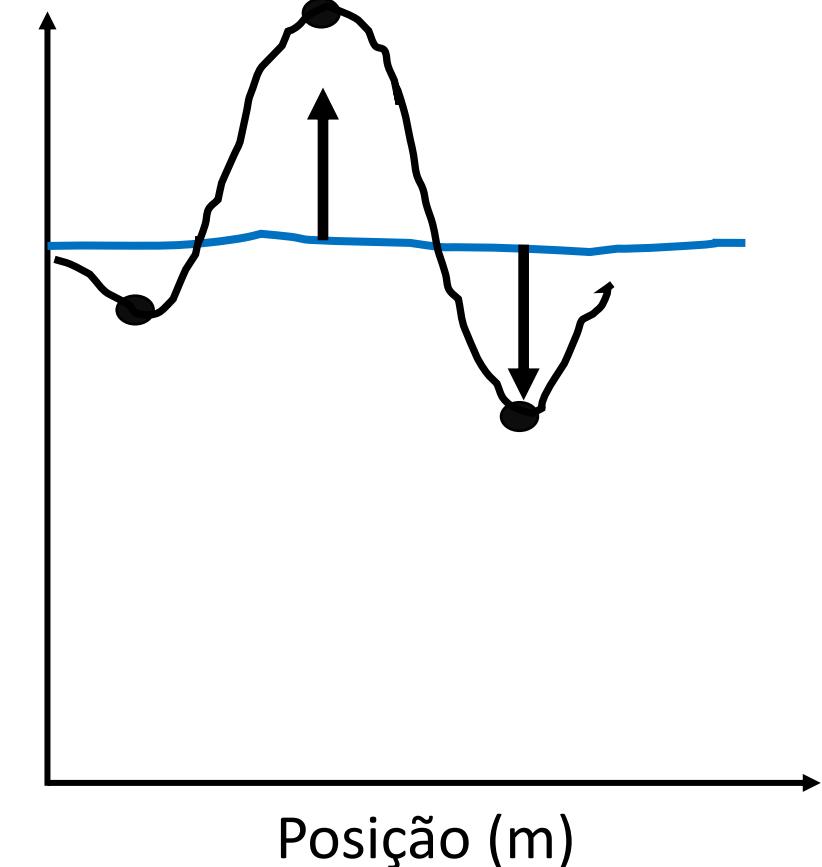


Rochas magnetizadas em subsuperfície



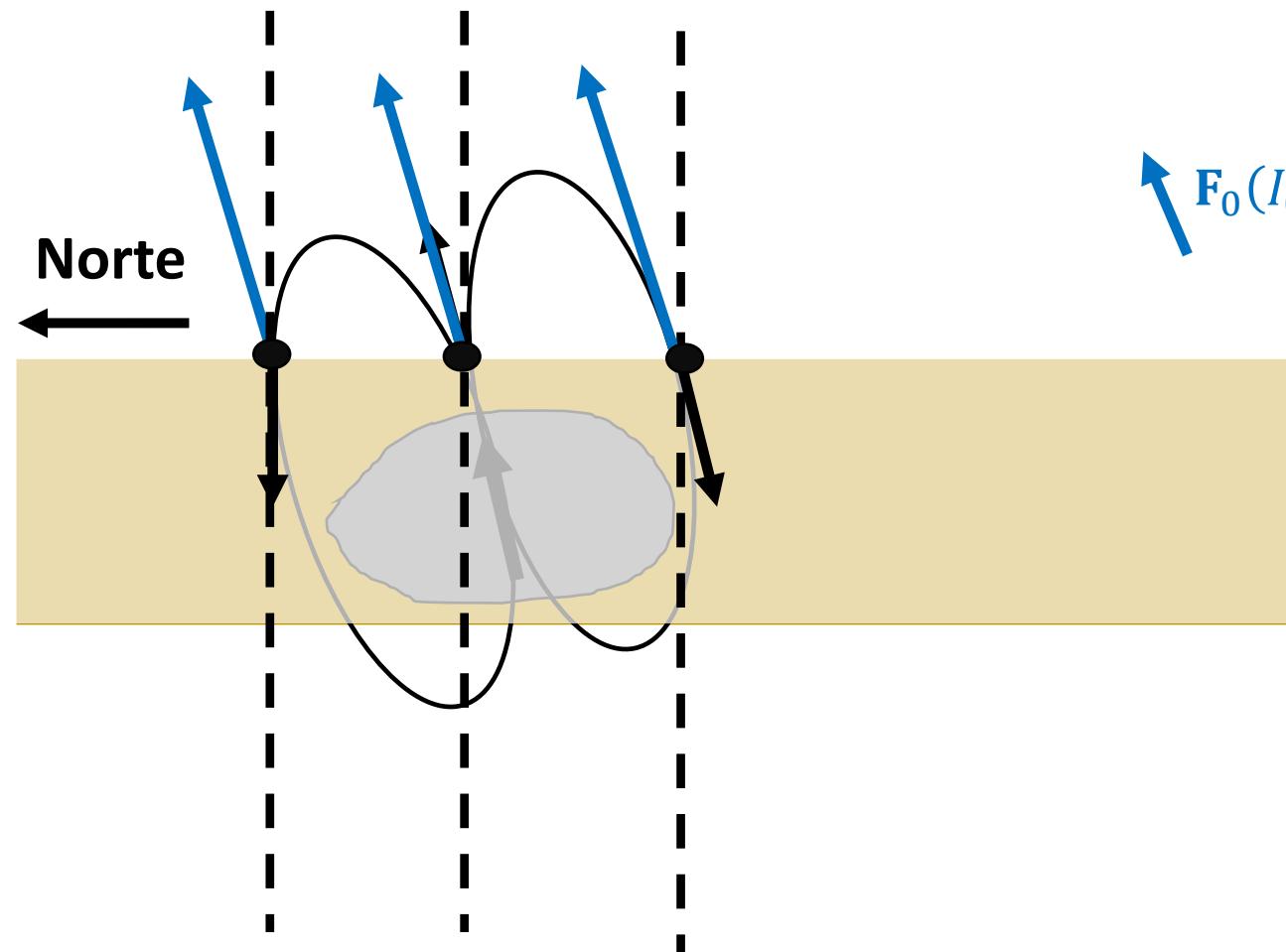
Medimos o campo
sobre a superfície ou
acima dela

Amplitude (nT)



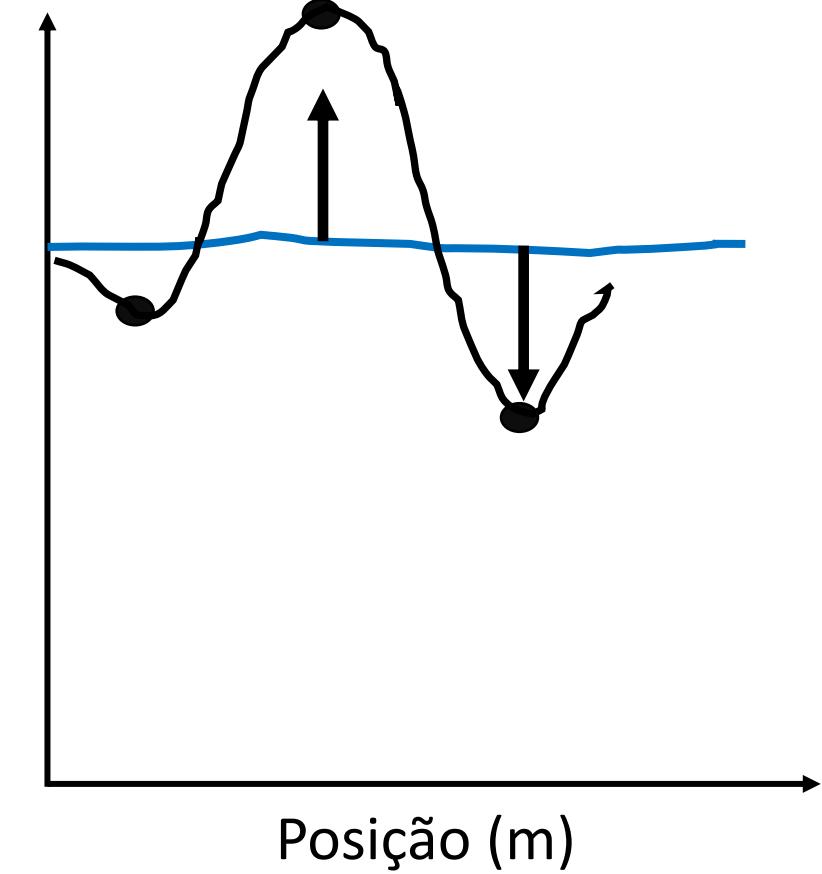
$$\text{Campo Total} = \text{Campo principal} + \text{Campo crustal}$$

Rochas magnetizadas em subsuperfície



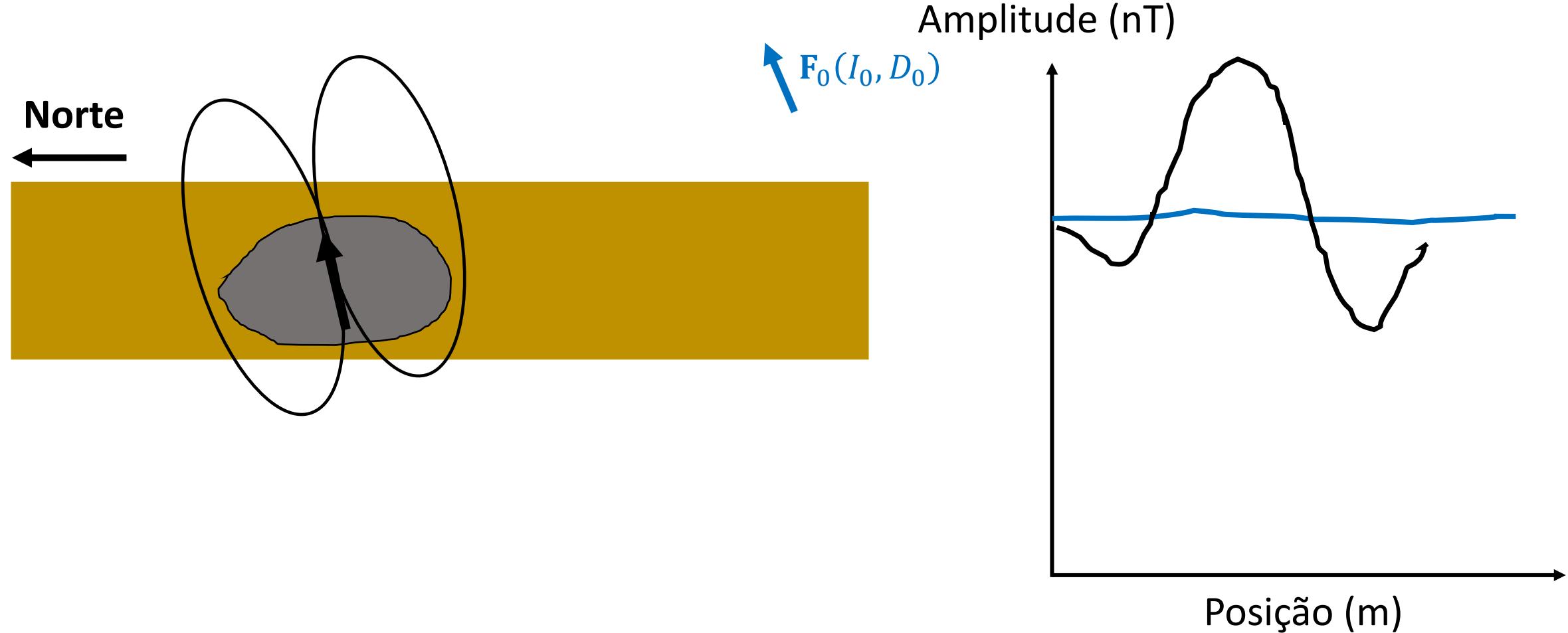
Amplitude (nT)

$$F_0(I_0, D_0)$$



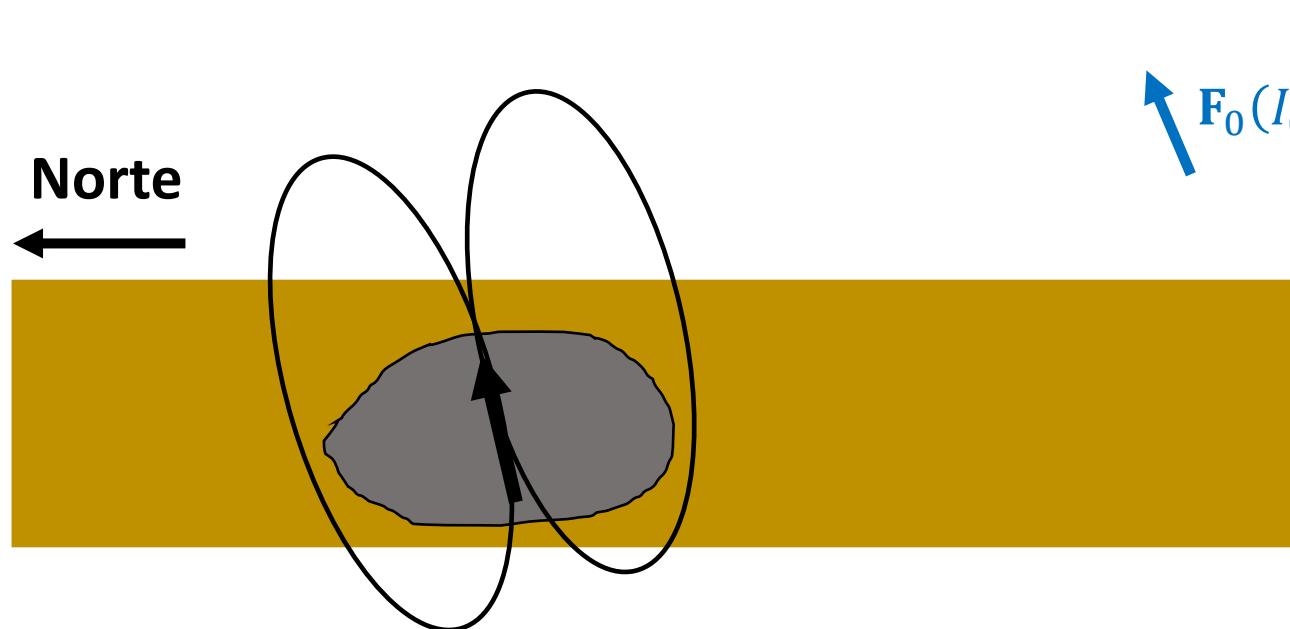
$$\text{Campo Total} = \text{Campo principal} + \text{Campo crustal}$$

Rochas magnetizadas em subsuperfície



$$\text{Campo Total} = \text{Campo principal} + \text{Campo crustal}$$

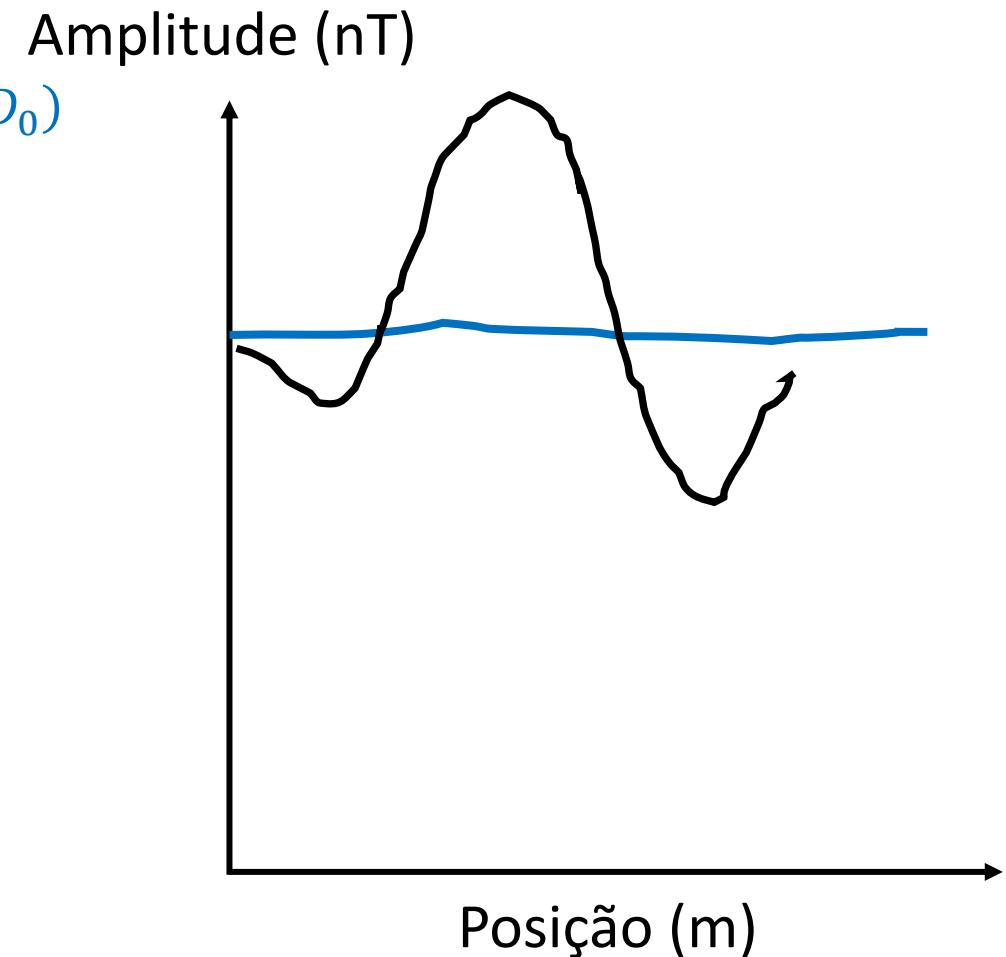
Rochas magnetizadas em subsuperfície



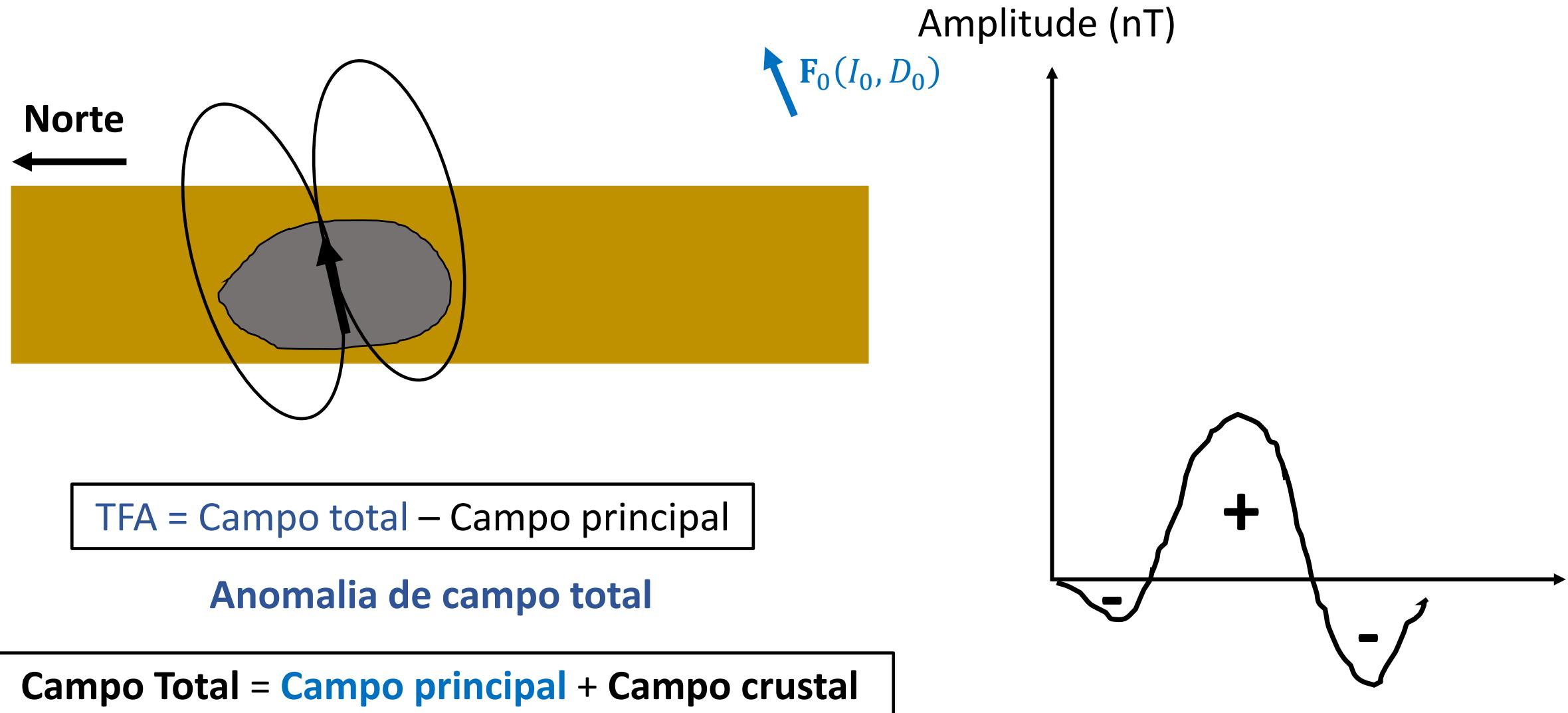
$$\text{TFA} = \text{Campo total} - \text{Campo principal}$$

Anomalia de campo total

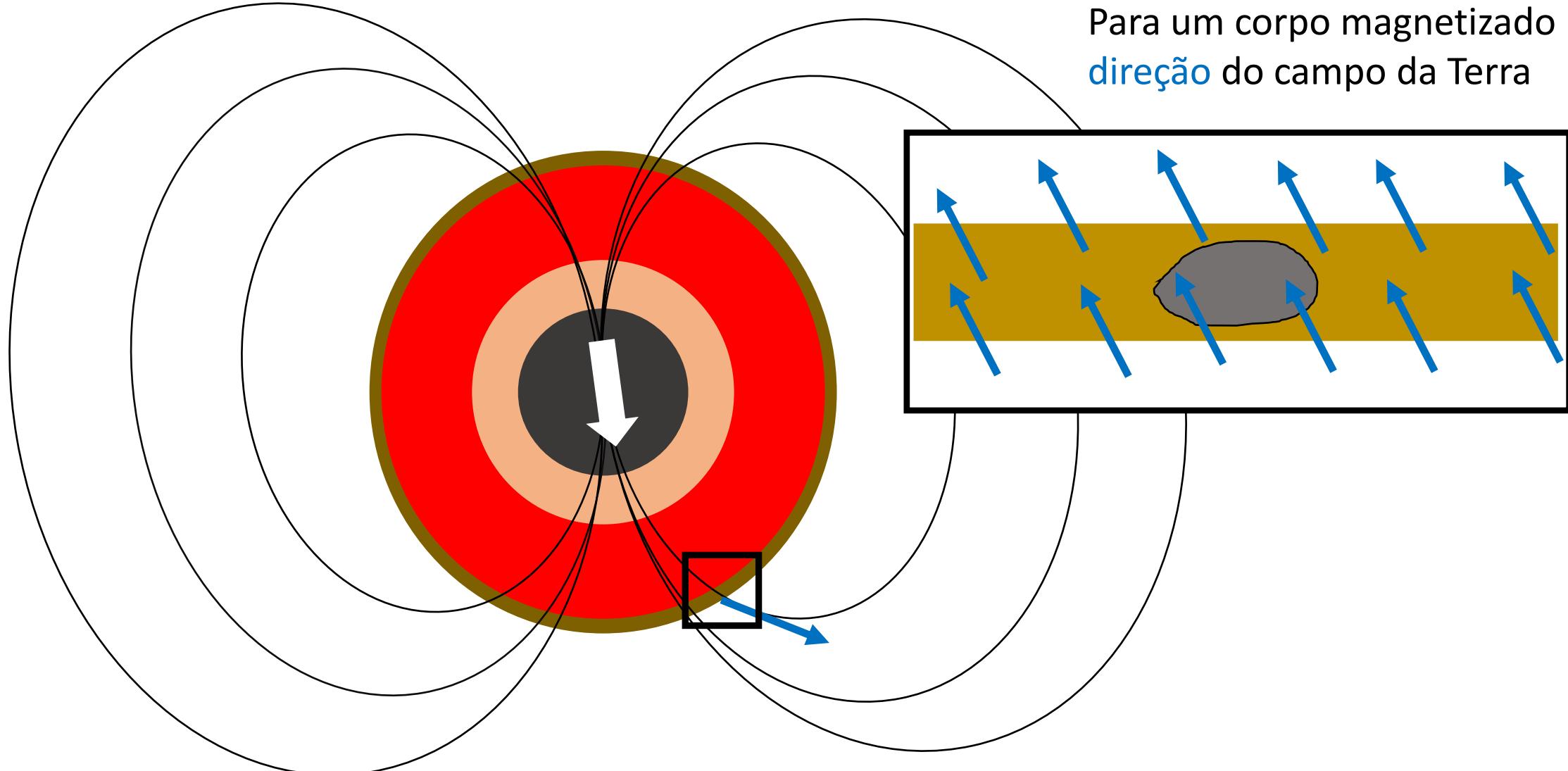
$$\text{Campo Total} = \text{Campo principal} + \text{Campo crustal}$$



Rochas magnetizadas em subsuperfície

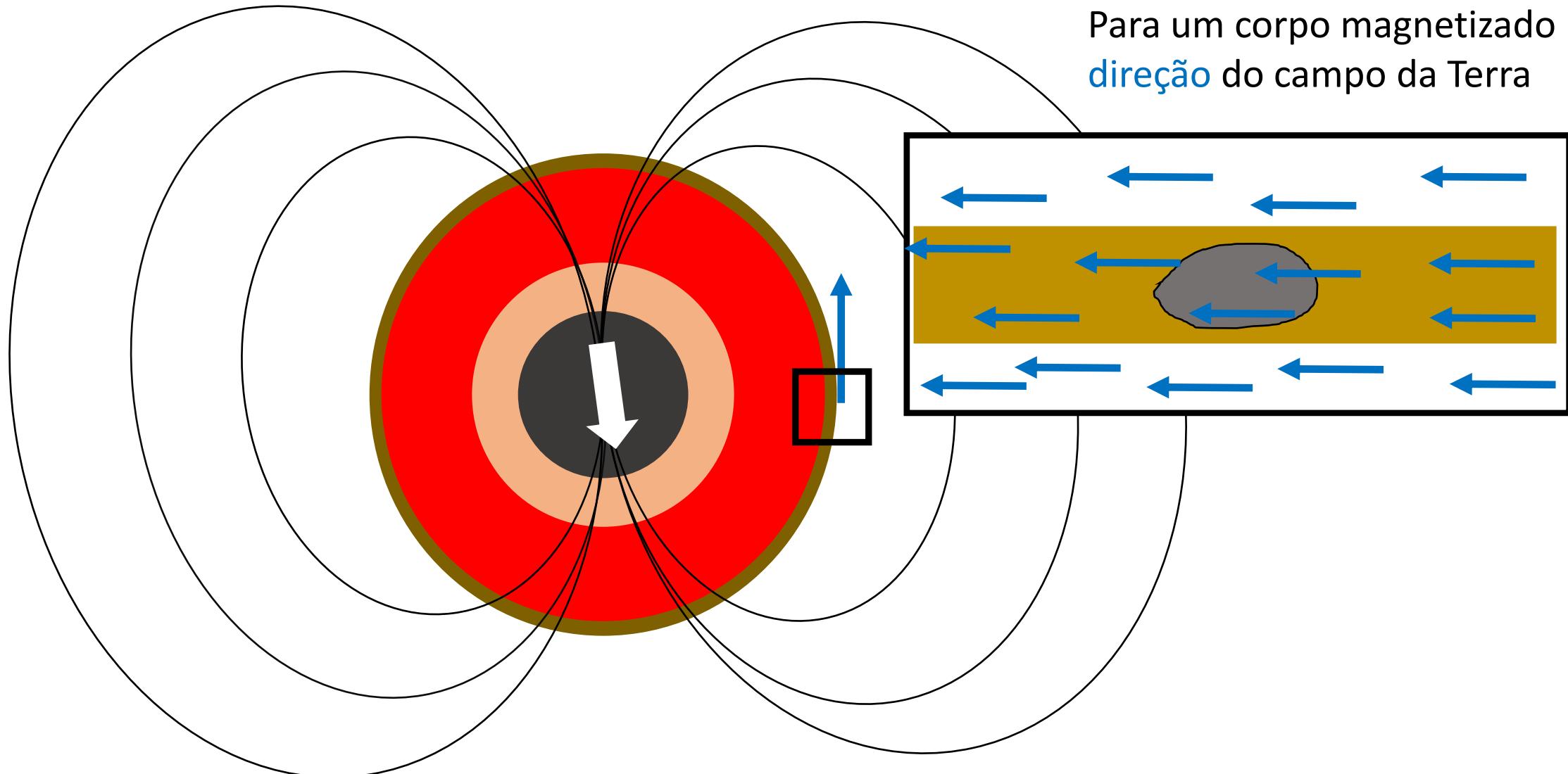


Campo crustal



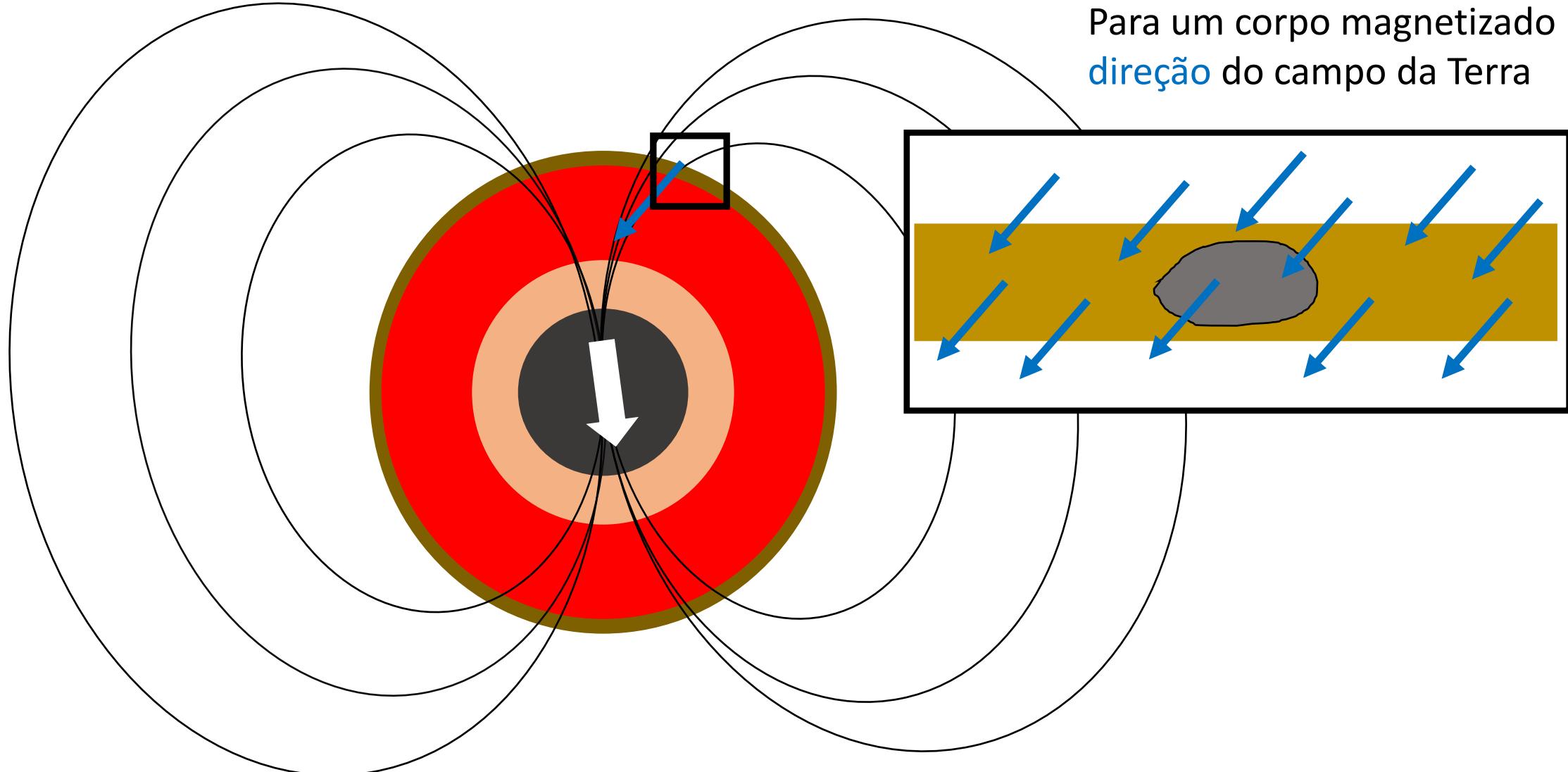
Para um corpo magnetizado na **mesma direção** do campo da Terra

Campo crustal



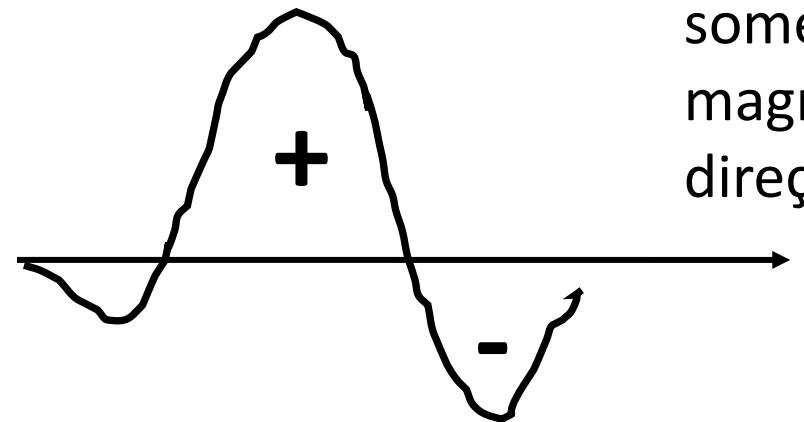
Para um corpo magnetizado na mesma
direção do campo da Terra

Campo crustal



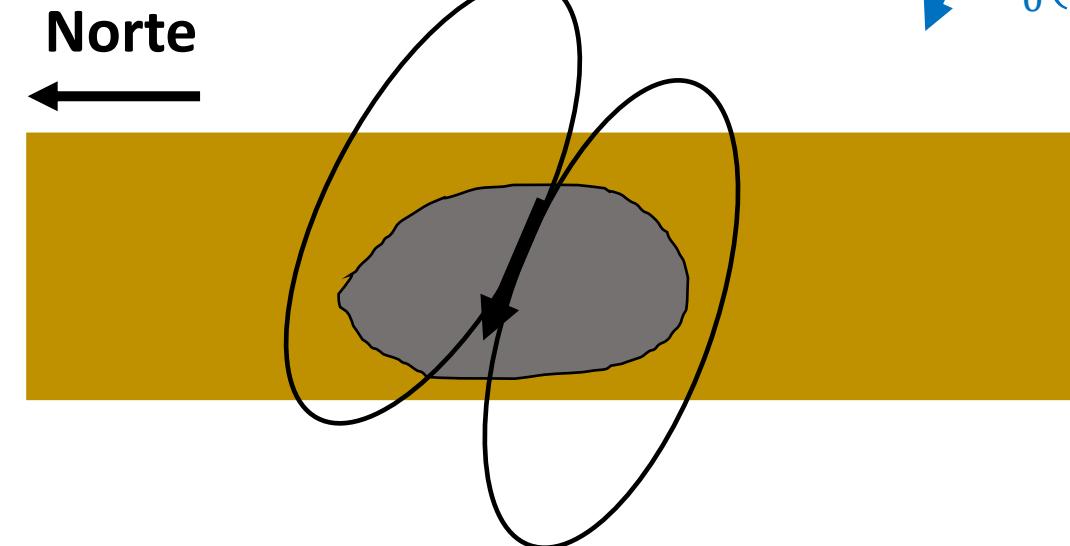
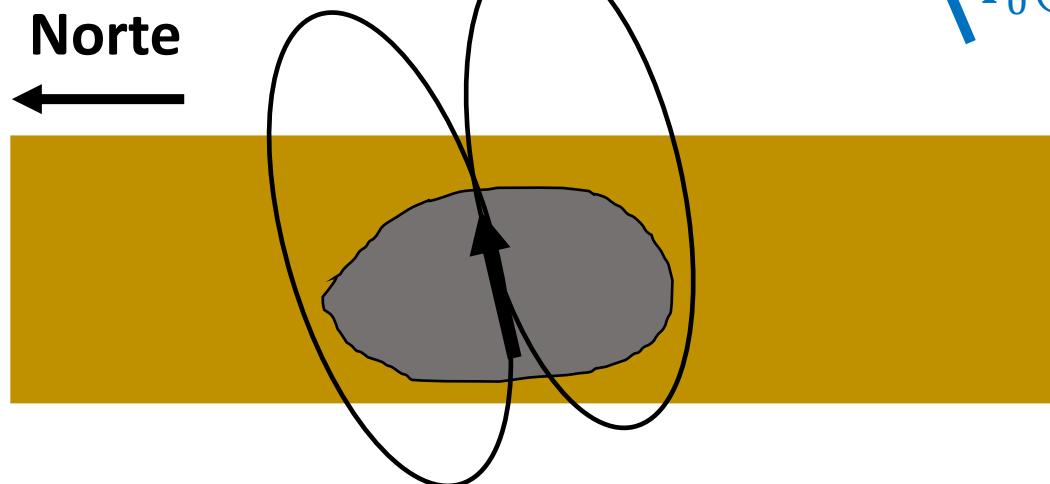
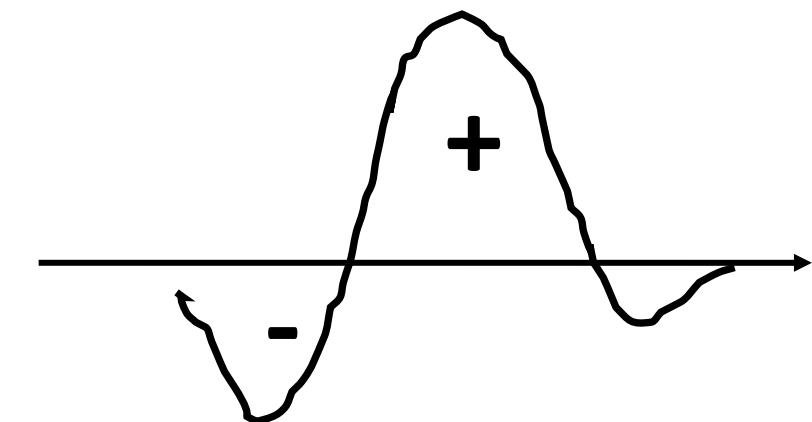
Para um corpo magnetizado na **mesma**
direção do campo da Terra

Hemisfério Sul



Esta simplificação acontece somente por que a magnetização tem a mesma direção do **campo da Terra**.

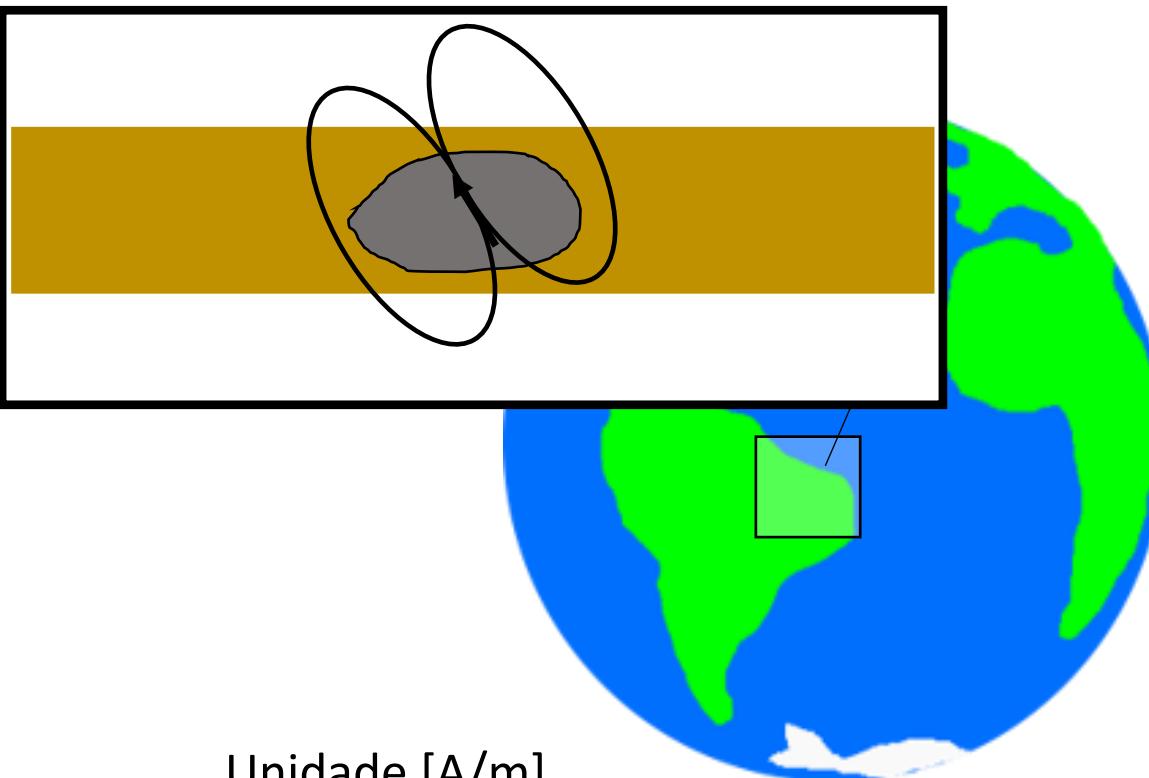
Hemisfério Norte



Como ficaria o campo magnético no polo Norte? E no polo sul?

Campo crustal

Quais os tipos de **magnetização**?



Unidade [A/m]

Magnetização remanente Natural (\mathbf{M}_R)

A componente da magnetização que é devido a época de formação da rocha.

Magnetização induzida (\mathbf{M}_I)

Componente devido a presença de um campo magnético externo

$$\mathbf{M}_I = \chi \mathbf{F}_0$$

Magnetização

$$\mathbf{M} = \frac{\sum \mathbf{m}_i}{V}$$

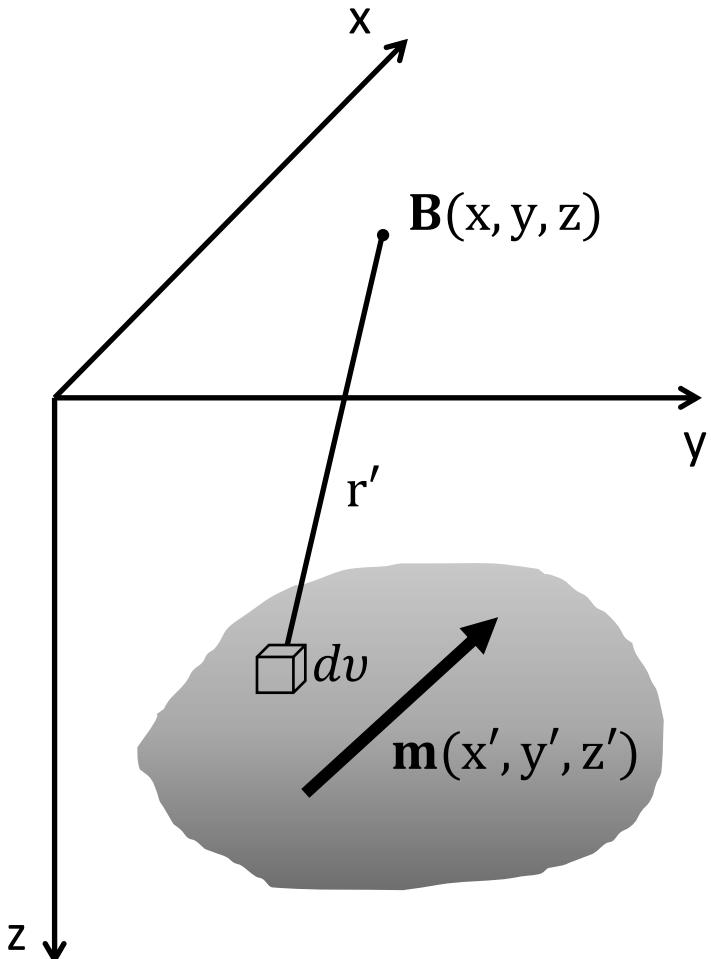
É o efeito gerado por um conjunto de dipolos de momento \mathbf{m} no interior de um volume V .

Magnetização total

$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_R + \mathbf{M}_I$$

Modelagem do efeito magnético das fontes

Fonte magnética 3D



O campo magnético gerado por uma fonte arbitrária, em regiões livres de correntes, é dado por

$$\mathbf{B}(x, y, z) = -\nabla \Gamma(x, y, z)$$

em que

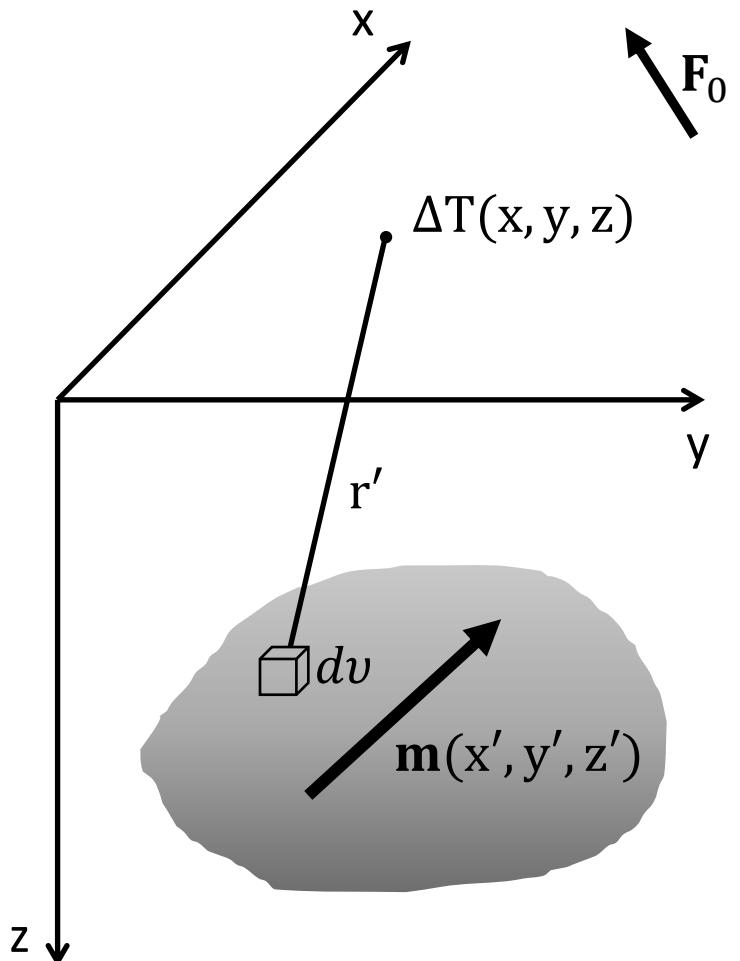
$$\Gamma(x, y, z) = -\gamma_m \iiint_v \mathbf{m}(x', y', z'). \nabla \frac{1}{r'} dv'$$

que é o potencial magnético escalar.

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} \quad \text{Função escalar}$$

$$\mathbf{m}(x', y', z') = \begin{bmatrix} m_x(x', y', z') \\ m_y(x', y', z') \\ m_z(x', y', z') \end{bmatrix} \quad \text{Vetor magnetização}$$

Fonte magnética 3D

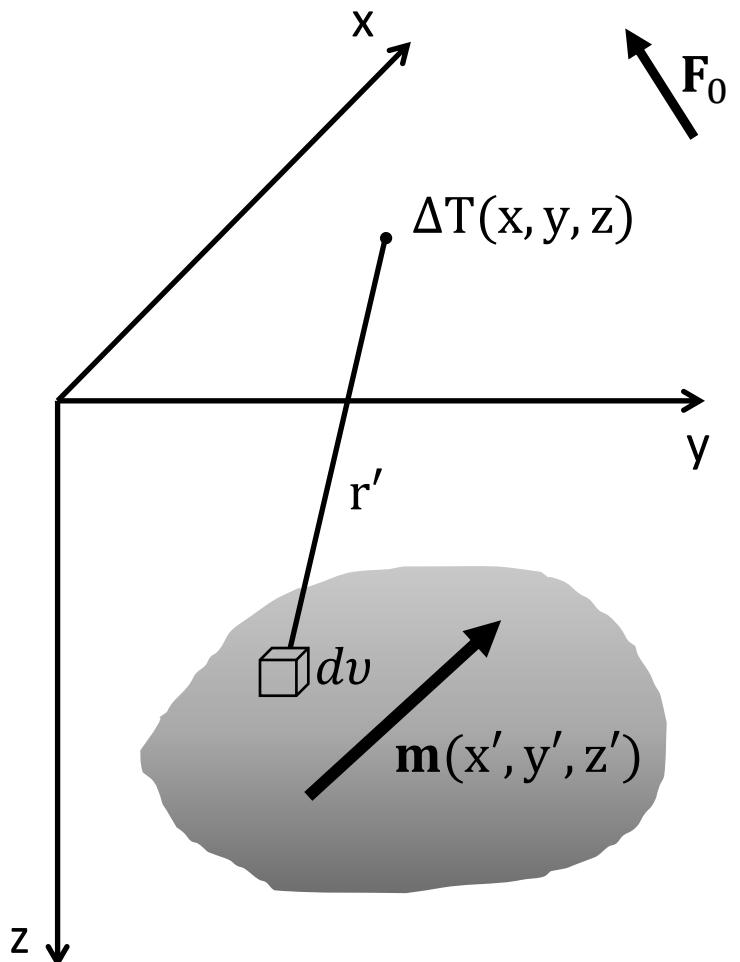


E, portanto a **Anomalia de campo total...**

Matematicamente, é representada pela expressão

$$\Delta T(x, y, z) = \widehat{\mathbf{F}_0} \cdot \mathbf{B}(x, y, z)$$

Fonte magnética 3D



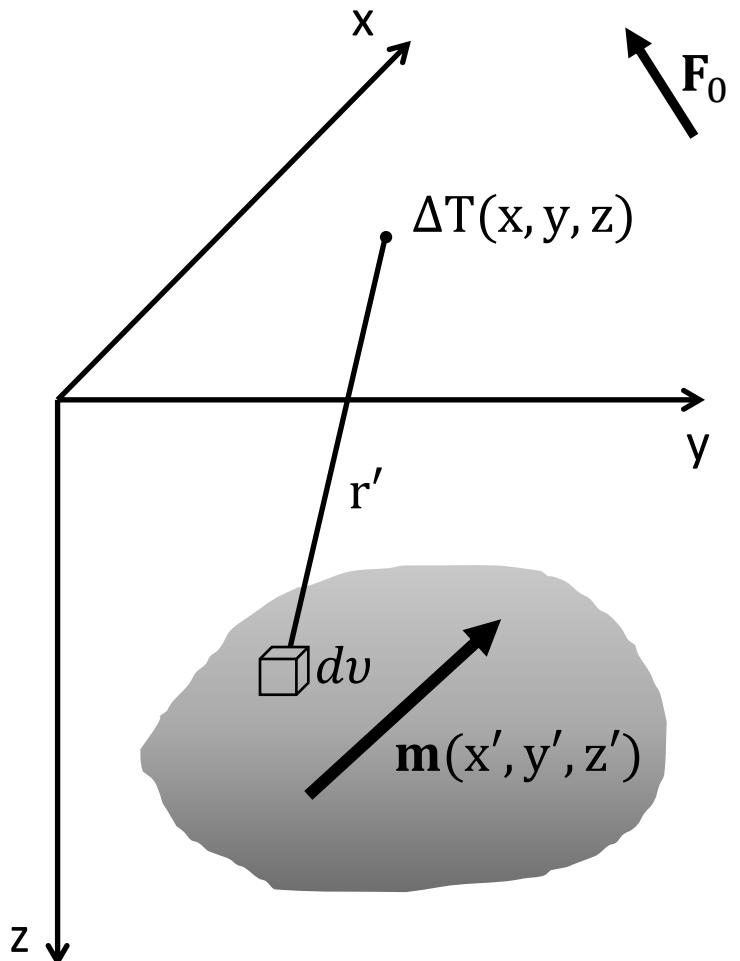
E, portanto a **Anomalia de campo total...**

Matematicamente, é representada pela expressão

$$\Delta T(x, y, z) = \widehat{F}_0 \cdot \mathbf{B}(x, y, z)$$

Vetor unitário na direção do campo principal

Fonte magnética 3D



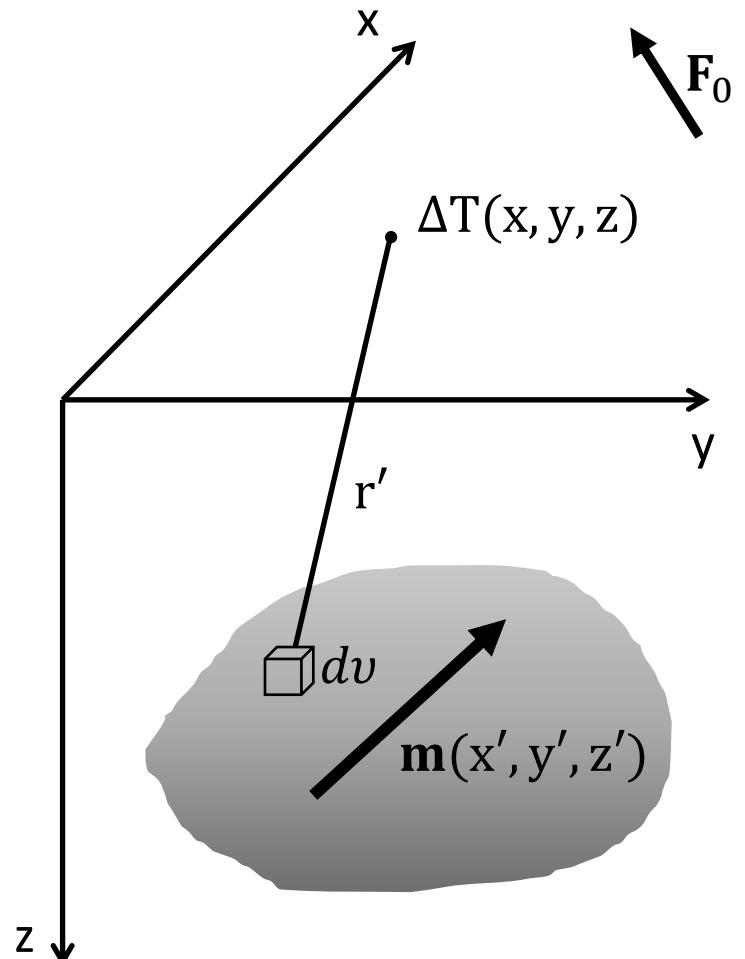
E, portanto a **Anomalia de campo total...**

Matematicamente, é representada pela expressão

$$\Delta T(x, y, z) = \widehat{\mathbf{F}_0} \cdot \mathbf{B}(x, y, z)$$

Campo magnético gerado pela fonte geológica

Fonte magnética 3D



E, portanto a **Anomalia de campo total...**

Matematicamente, é representada pela expressão

$$\Delta T(x, y, z) = \widehat{\mathbf{F}_0} \cdot \mathbf{B}(x, y, z)$$

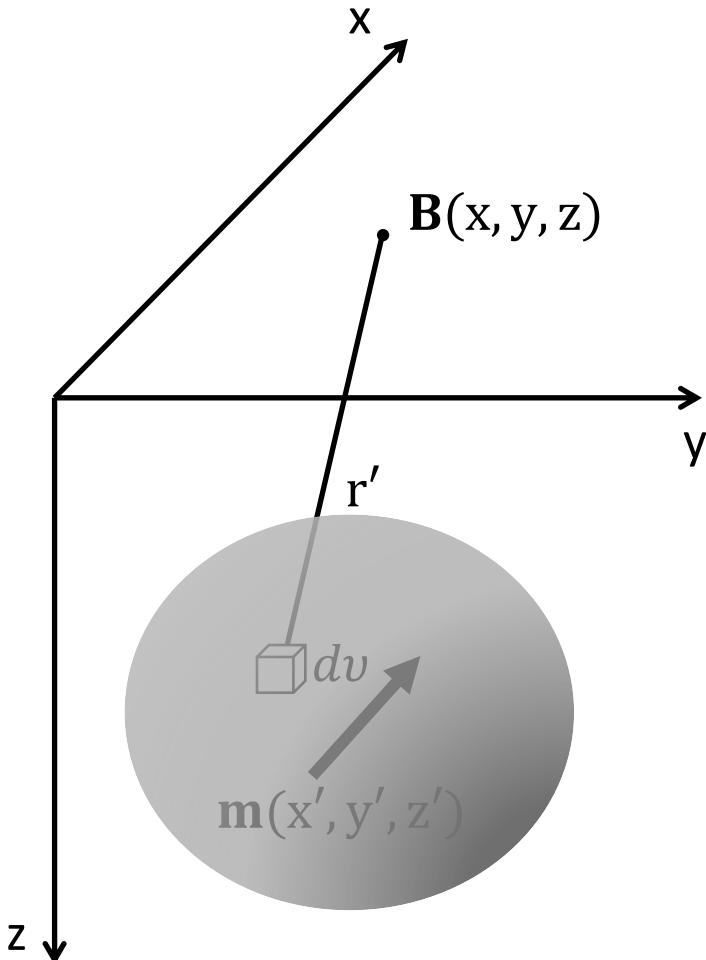
Anomalia de campo total

Projeção do campo gerado pela fonte na direção do campo geomagnético.

Exemplos com geometrias simples

1. Campo magnético e anomalia de campo total de uma esfera

Fonte magnética 3D



O campo magnético gerado por uma fonte arbitrária, em regiões livres de correntes, é dado por

$$\mathbf{B}(x, y, z) = -\nabla \Gamma(x, y, z)$$

em que

$$\Gamma(x, y, z) = -\gamma_m \iiint_v \mathbf{m}(x', y', z') \cdot \nabla \frac{1}{r'} dv'$$

que é o potencial magnético escalar.

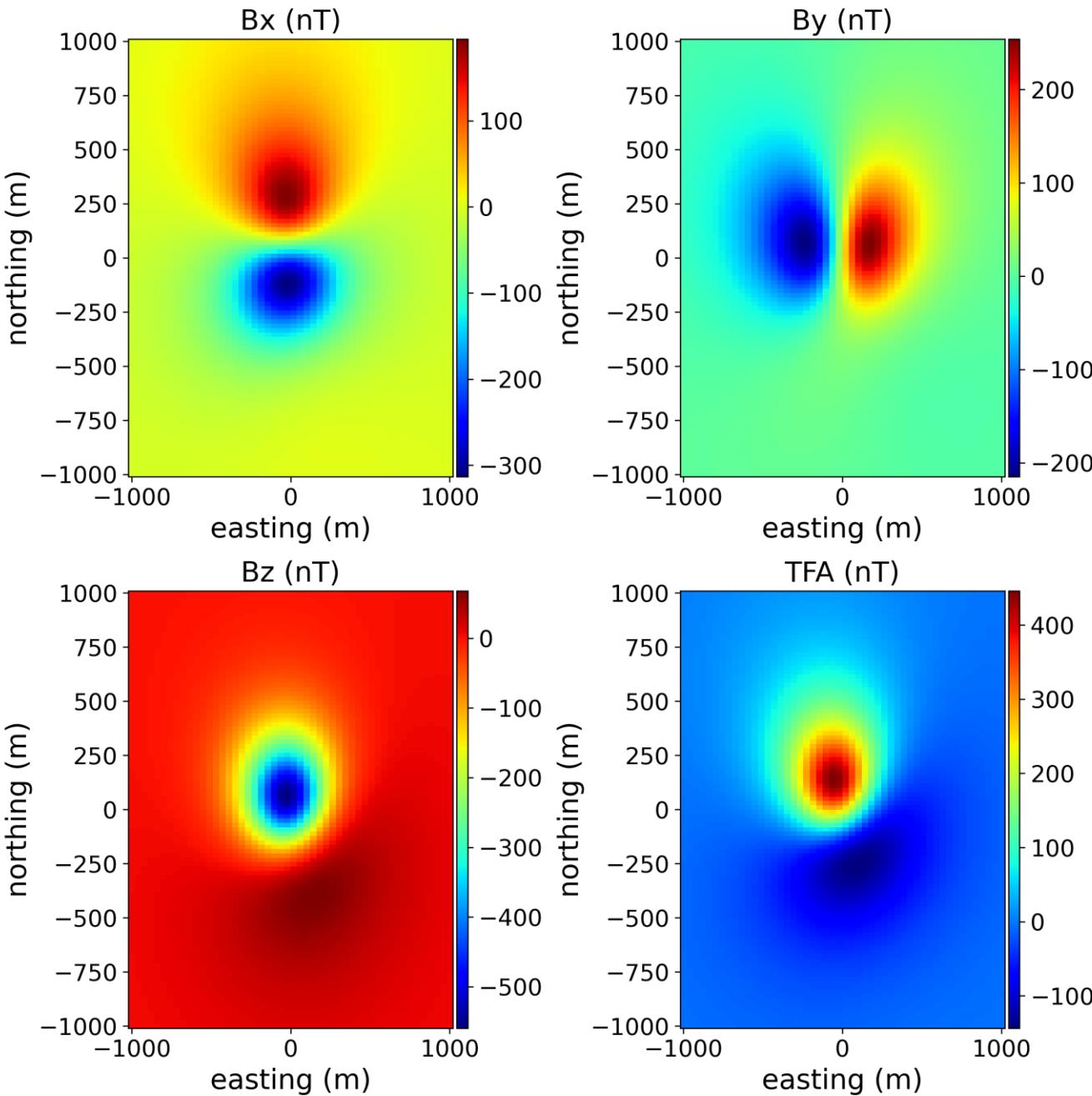
$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} \quad \text{Função escalar}$$

$$\mathbf{m}(x', y', z') = \begin{bmatrix} m_x(x', y', z') \\ m_y(x', y', z') \\ m_z(x', y', z') \end{bmatrix} \quad \text{Vetor magnetização}$$

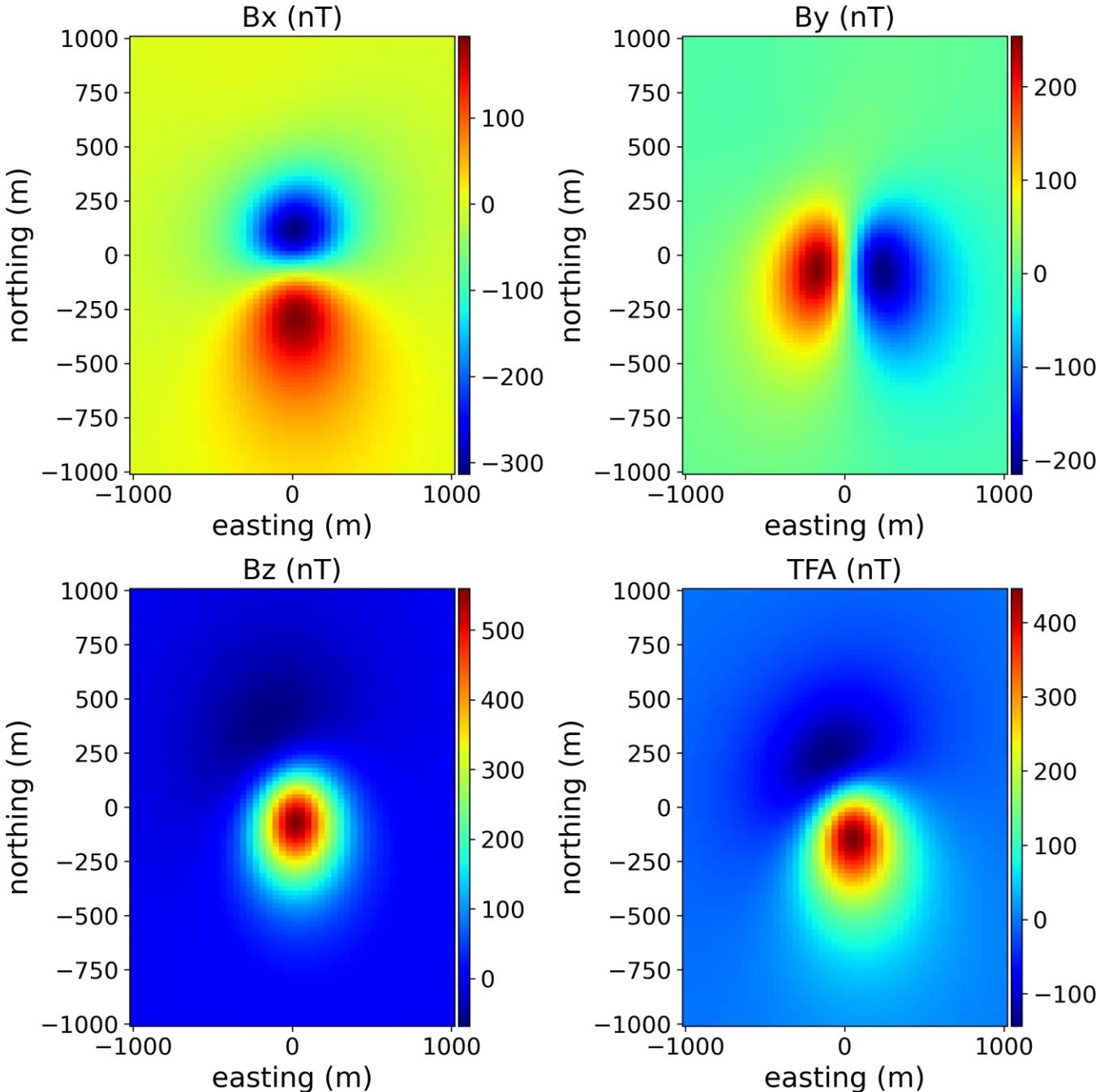
$$\Delta T(x, y, z) = \widehat{\mathbf{F}_0} \cdot \mathbf{B}(x, y, z)$$

Anomalia de campo total

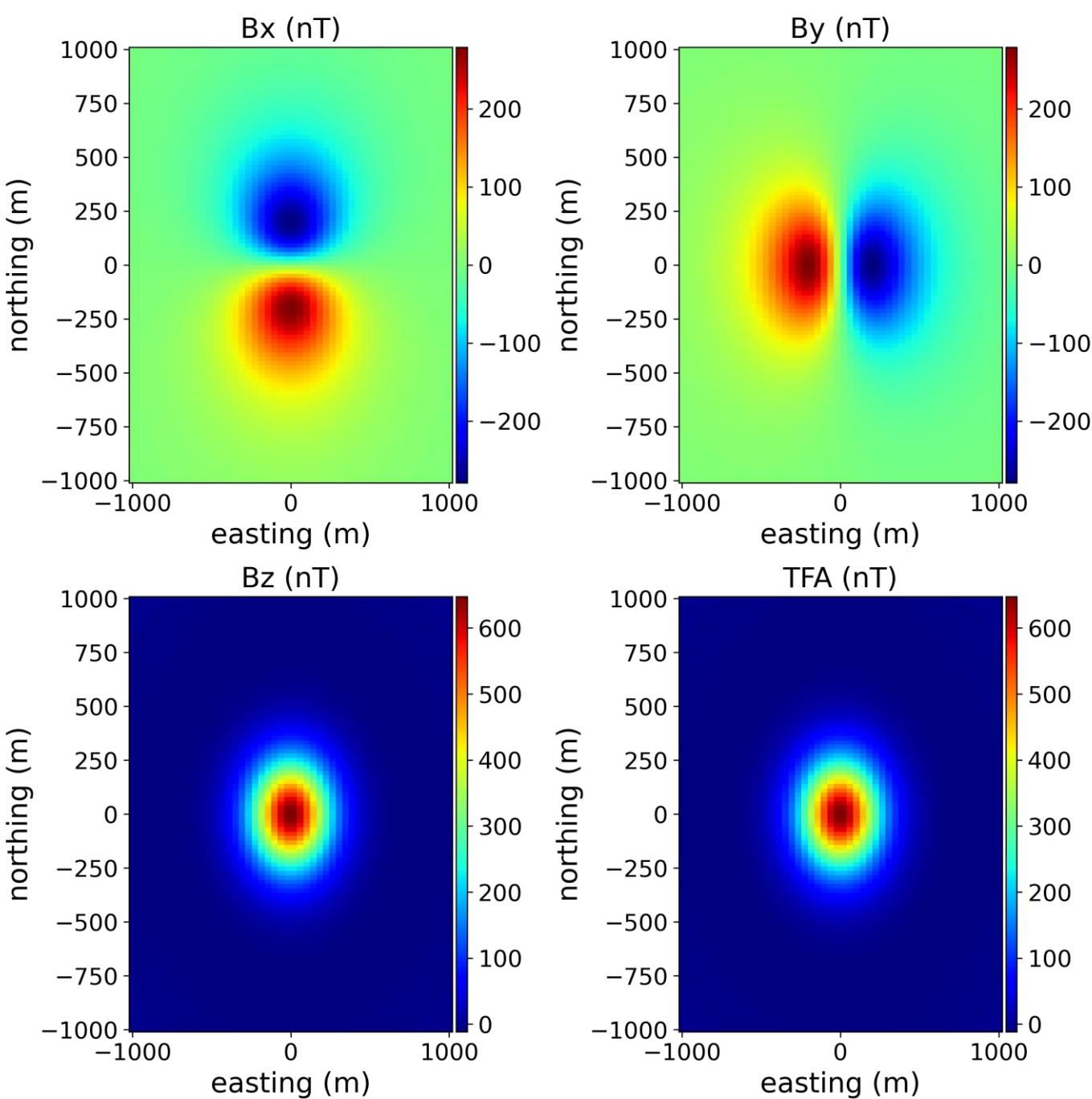
Efeito de uma esfera magnetizada (Hemisfério Sul)



Efeito de uma esfera magnetizada (Hemisfério Norte)

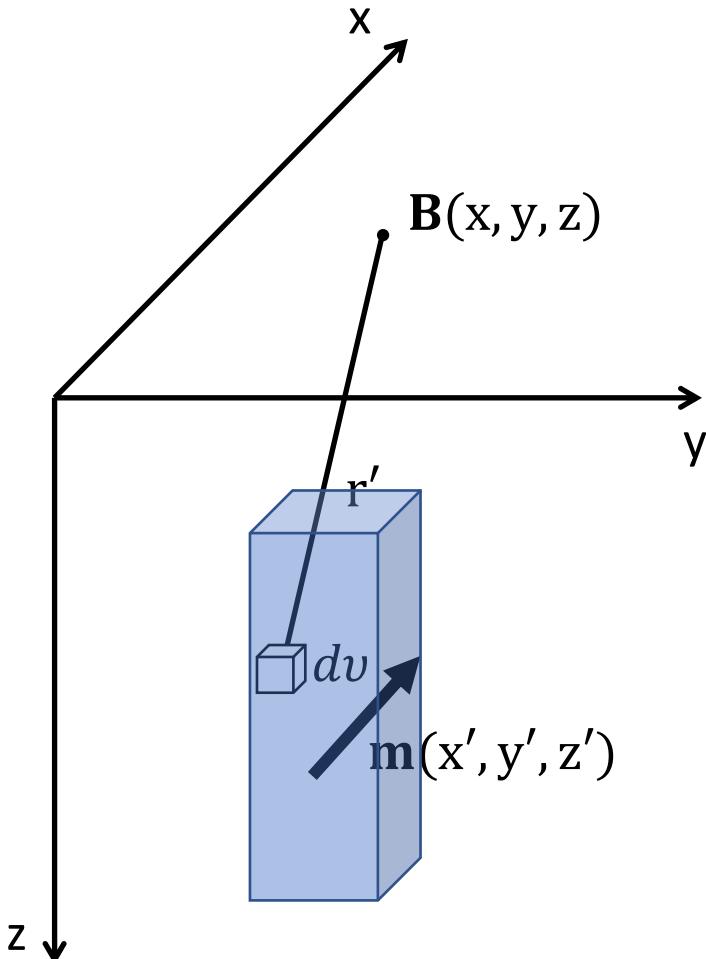


Efeito de uma esfera magnetizada (Polo Norte)



2. Campo magnético e anomalia de campo total de um prisma

Fonte magnética 3D



O campo magnético gerado por uma fonte arbitrária, em regiões livres de correntes, é dado por

$$\mathbf{B}(x, y, z) = -\nabla \Gamma(x, y, z)$$

em que

$$\Gamma(x, y, z) = -\gamma_m \iiint_V \mathbf{m}(x', y', z') \cdot \nabla \frac{1}{r'} dV'$$

que é o potencial magnético escalar.

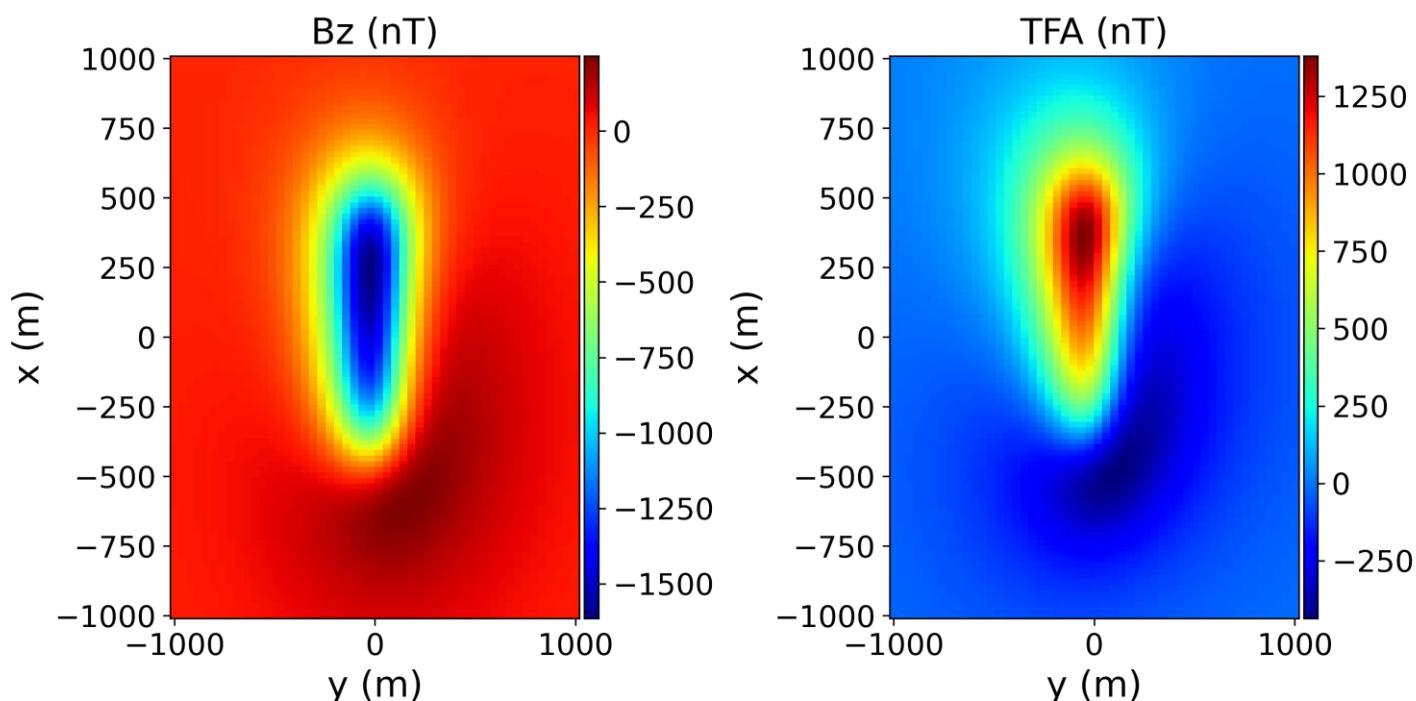
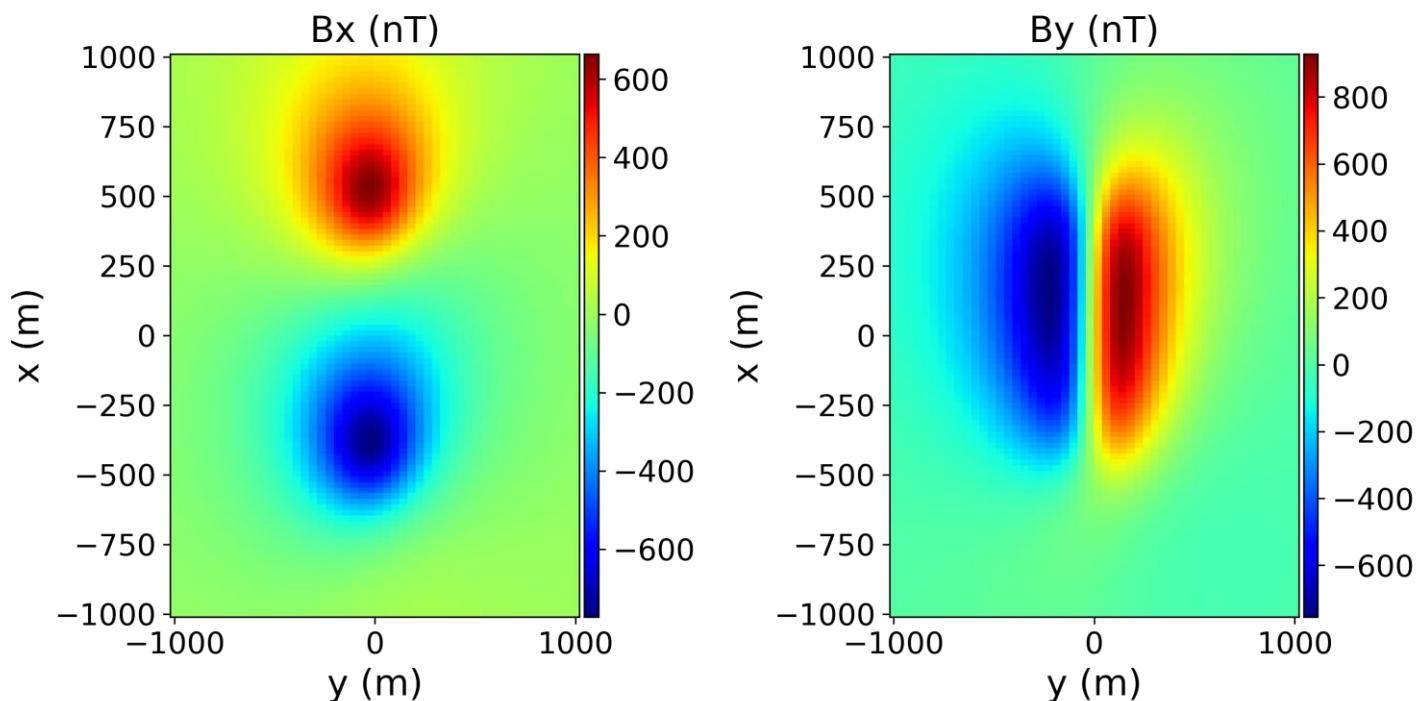
$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} \quad \text{Função escalar}$$

$$\mathbf{m}(x', y', z') = \begin{bmatrix} m_x(x', y', z') \\ m_y(x', y', z') \\ m_z(x', y', z') \end{bmatrix} \quad \text{Vetor magnetização}$$

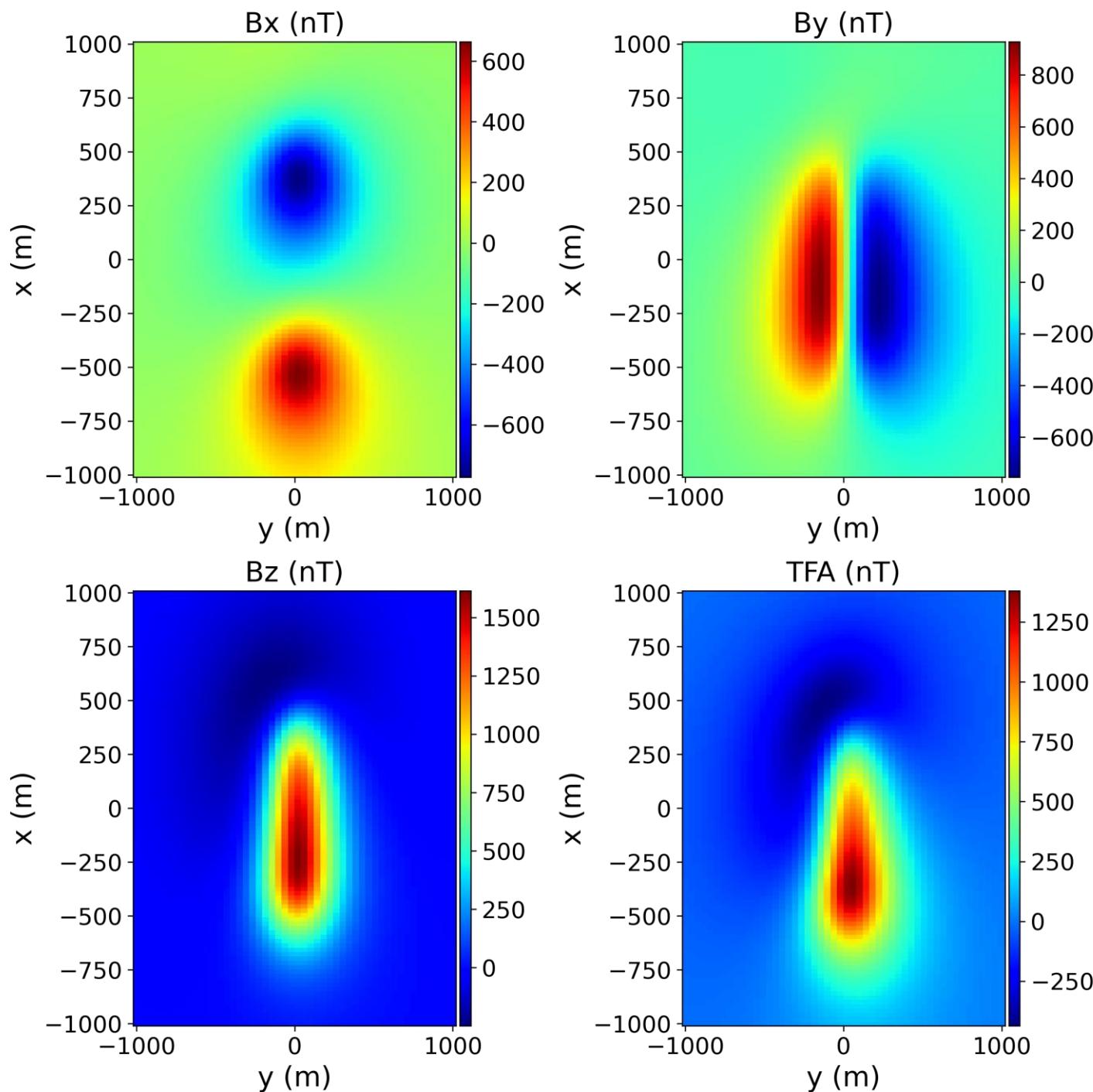
$$\Delta T(x, y, z) = \widehat{\mathbf{F}_0} \cdot \mathbf{B}(x, y, z)$$

Anomalia de campo total

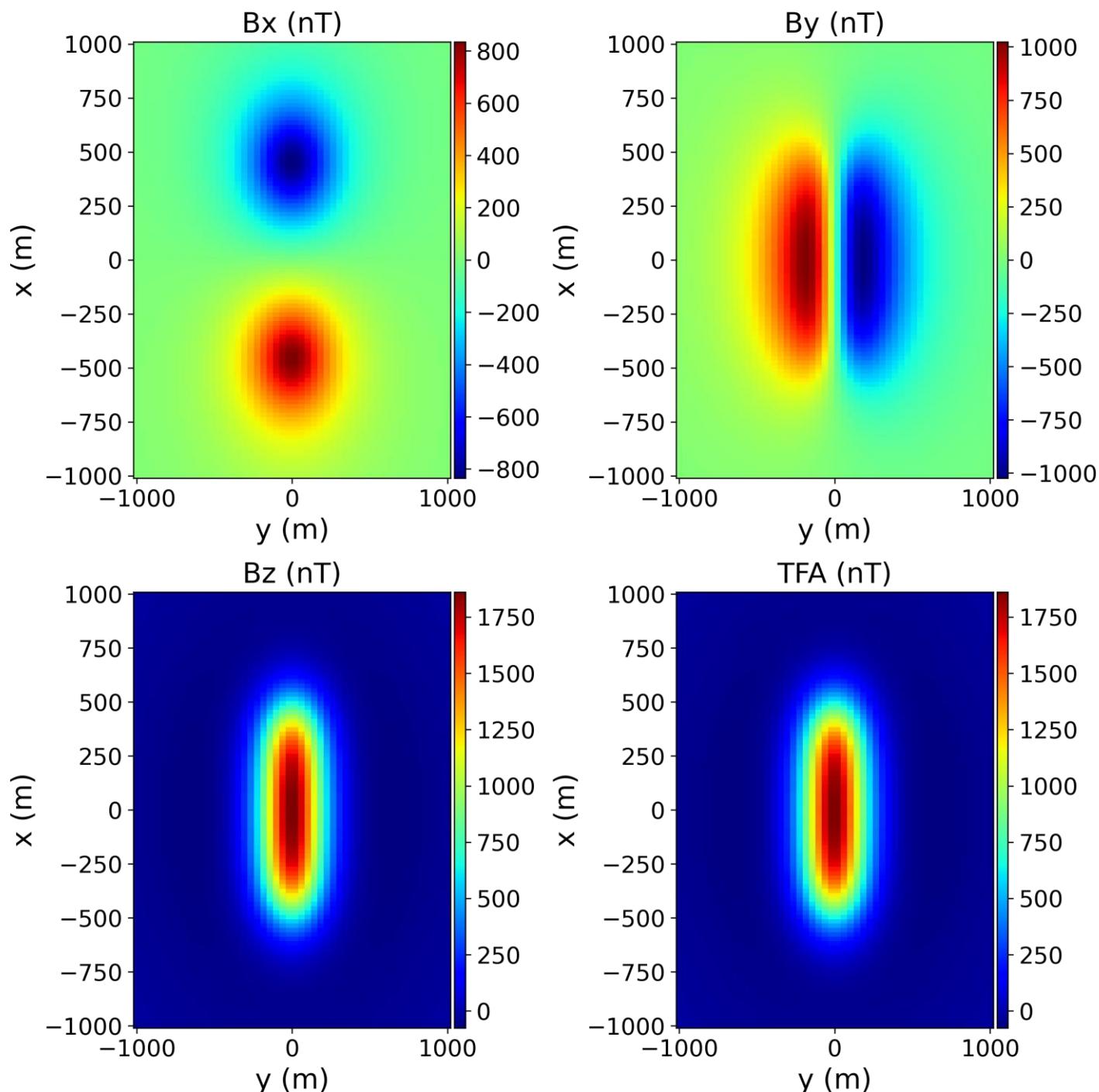
Efeito de um prisma magnetizado (Hemisfério Sul)



Efeito de um prisma magnetizado (Hemisfério Norte)

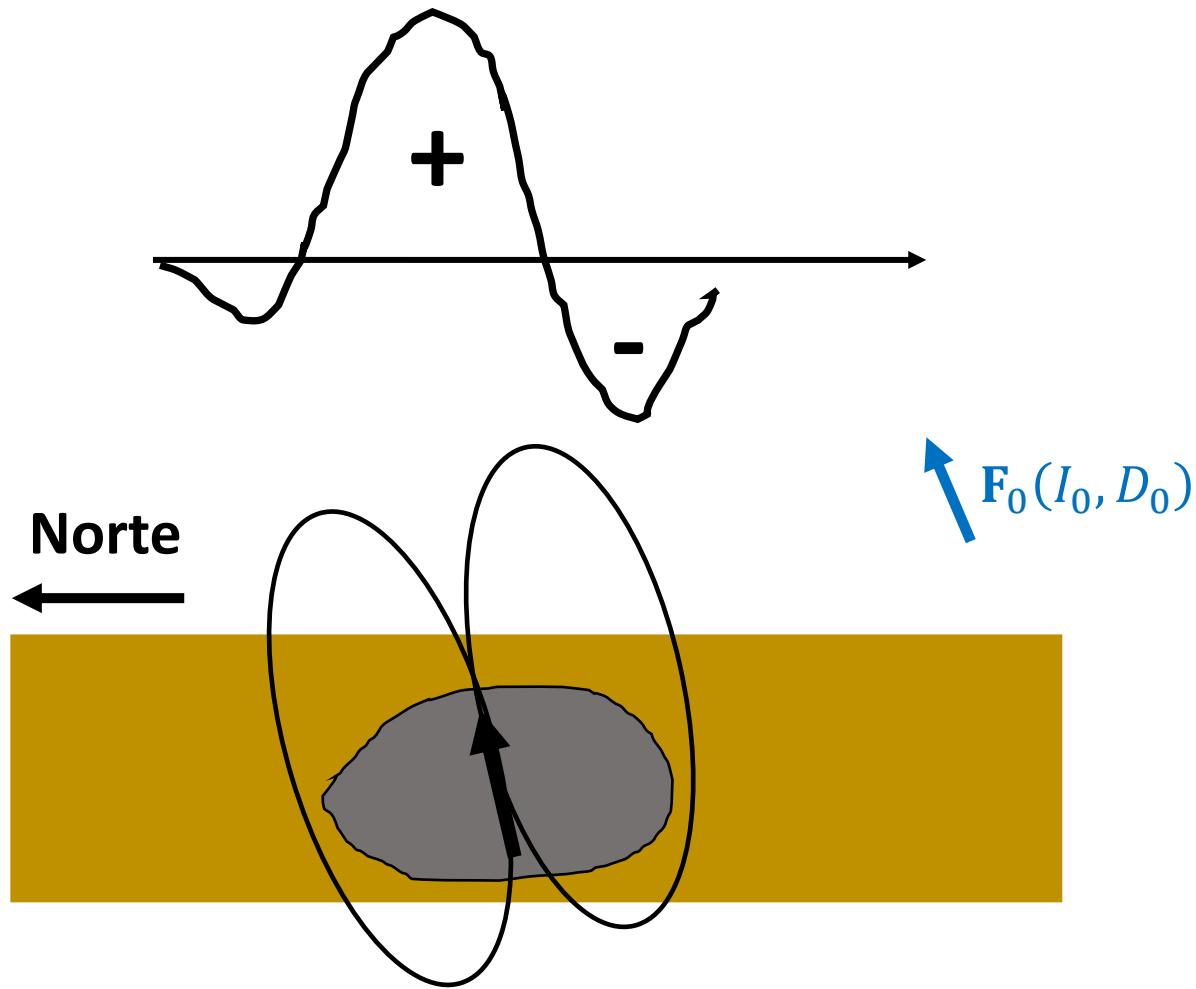


Efeito de um prisma magnetizado (Polo Norte)

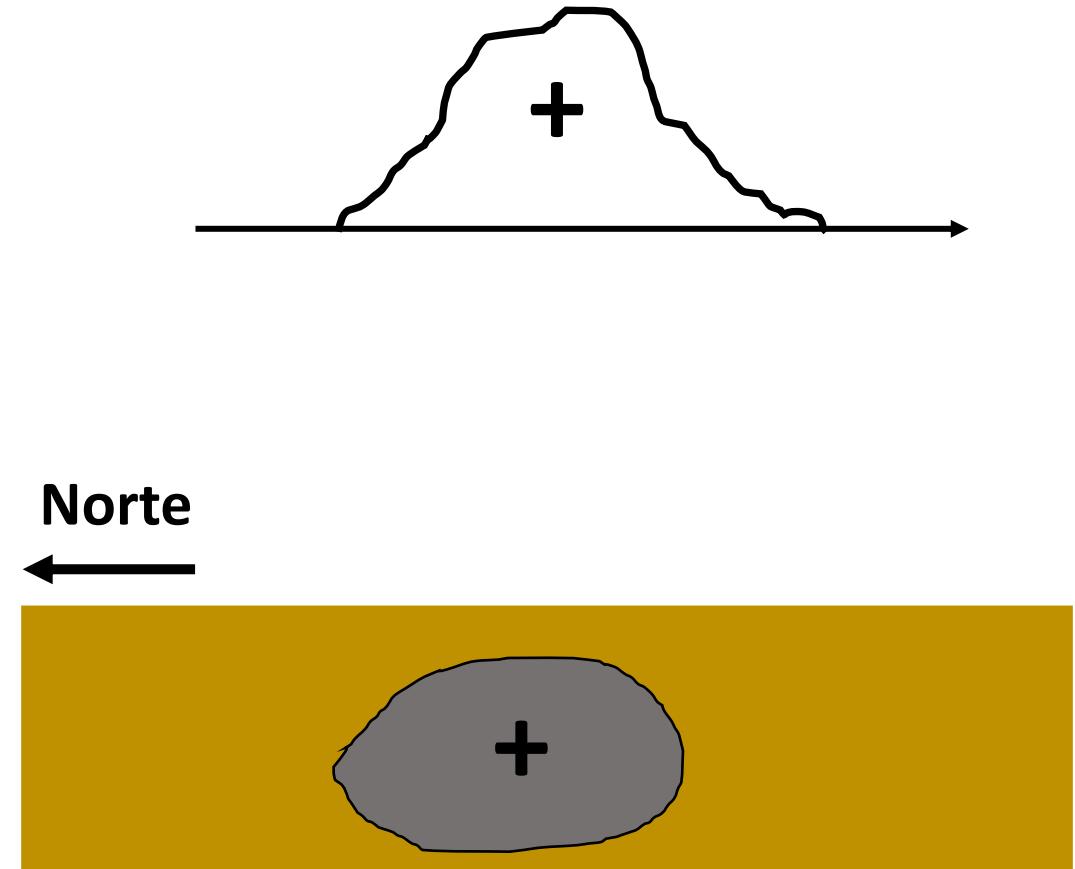


Em resumo:

Dados magnéticos



Dados de gravidade



Uma vez que a gente saiba calcular os efeitos gravitacionais e magnéticos, conseguimos modelar cenários que nos auxiliam a interpretar os dados.

OBRIGADO!