MC#16: Modelagem gravimétrica utilizando fontes pontuais

PALESTRANTES:

Victor Ribeiro Carreira - Observatório Nacional (ON-MCTIC) (carreiravr@gmail.com)

Rodrigo Bijani - Universidade Federal Fluminense (UFF) (rodrigobijani@gmail.com)

Sumário

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
    - Esfera (fonte pontual);

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
  - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
  - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;
- Dado sintético: anomalia do dique vertical;

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
    - Esfera (fonte pontual);
    - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
    - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;
- Dado sintético: anomalia do dique vertical;
    - jupyter notebooks:

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
  - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;
- Dado sintético: anomalia do dique vertical;
  - jupyter notebooks;
    - prism-grav.ipynb (dados sintéticos);

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
  - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;
- Dado sintético: anomalia do dique vertical;
  - jupyter notebooks;
    - prism-grav.ipynb (dados sintéticos);
    - synthetic.ipynb (fontes pontuais - modelo de clicks);

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
    - Esfera (fonte pontual);
    - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
    - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;
- Dado sintético: anomalia do dique vertical;
    - jupyter notebooks;
        - prism-grav.ipynb (dados sintéticos);
        - synthetic.ipynb (fontes pontuais - modelo de clicks);
- Dado real : Bacia do Paraná;

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
  - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;
- Dado sintético: anomalia do dique vertical;
  - jupyter notebooks;
    - prism-grav.ipynb (dados sintéticos);
    - synthetic.ipynb (fontes pontuais - modelo de clicks);
- Dado real : Bacia do Paraná;
  - Ajuste dos dados através do software interativo;

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
  - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;
- Dado sintético: anomalia do dique vertical;
  - jupyter notebooks;
    - prism-grav.ipynb (dados sintéticos);
    - synthetic.ipynb (fontes pontuais - modelo de clicks);
- Dado real : Bacia do Paraná;
  - Ajuste dos dados através do software interativo;
  - jupyter notebook;

Sumário

- Discussão sobre o Teorema de Helmholtz;
- Teoria do Potencial e o Campo gravitacional;
- Campo gravitacional produzido por:
  - Esfera (fonte pontual);
  - Prisma (dique vertical);
- Definição do Problema geológico/geofísico:
  - Software interativo para modelagem via fontes pontuais;
- Dado sintético: anomalia do dique vertical;
  - jupyter notebooks;
    - prism-grav.ipynb (dados sintéticos);
    - synthetic.ipynb (fontes pontuais - modelo de clicks);
- Dado real : Bacia do Paraná;
  - Ajuste dos dados através do software interativo;
  - jupyter notebook;
    - real.ipynb

Teorema Helmholtz

Teorema Helmholtz

Qualquer campo vetorial pode ser escrito como:

Teorema Helmholtz

Qualquer campo vetorial pode ser escrito como:

$$\overrightarrow{B} = \overrightarrow{\nabla} U + \overrightarrow{\nabla} \times \overrightarrow{A}$$

Teorema Helmholtz

Qualquer campo vetorial pode ser escrito como:

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

Gradiente de uma função escalar

$$U = -\frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{B}}{r} \, dV$$

Teorema Helmholtz

Qualquer campo vetorial pode ser escrito como:

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

Gradiente de uma função escalar Rotacional de uma função vetorial

$$U = -\frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{B}}{r} \, dV \qquad \vec{A} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{\nabla} \times \vec{B}}{r} \, dV$$

Teorema Helmholtz

Qualquer campo vetorial pode ser escrito como:

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

Gradiente de uma função escalar   Rotacional de uma função vetorial

$$U = -\frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{B}}{r} \, dV \qquad \vec{A} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{\nabla} \times \vec{B}}{r} \, dV$$

Observe que U e A dependem diretamente de B !

Teorema Helmholtz

Qualquer campo vetorial pode ser escrito como:

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

Campo solenoidal

Campo rotacional

$$U = -\frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{B}}{r} \, dV$$

$$\vec{A} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{\nabla} \times \vec{B}}{r} \, dV$$

Observe que U e A dependem diretamente de B !

Teorema Helmholtz

Pergunta: Qual das duas operações é mais simples ?

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

Teorema Helmholtz

Pergunta: Qual das duas operações é mais simples ?

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

$$\boxed{\vec{\nabla} U = \frac{\partial U}{\partial x}\,\widehat{x} + \frac{\partial U}{\partial y}\,\widehat{y} + \frac{\partial U}{\partial z}\,\widehat{z}}$$

Teorema Helmholtz

Pergunta: Qual das duas operações é mais simples ?

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

$$\boxed{\vec{\nabla} U = \frac{\partial U}{\partial x}\,\widehat{x} + \frac{\partial U}{\partial y}\,\widehat{y} + \frac{\partial U}{\partial z}\,\widehat{z}}$$

$$\boxed{\vec{\nabla} \times \vec{A} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ A_x & A_y & A_z \end{pmatrix}}$$

Teorema Helmholtz

Pergunta: Qual das duas operações é mais simples ?

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

$$\boxed{\vec{\nabla} U = \frac{\partial U}{\partial x}\,\widehat{x} + \frac{\partial U}{\partial y}\,\widehat{y} + \frac{\partial U}{\partial z}\,\widehat{z}}$$

Observatório Nacional

Teorema Helmholtz

Pergunta: Qual das duas operações é mais simples ?

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

$$\boxed{\vec{\nabla} U = \frac{\partial U}{\partial x}\,\widehat{x} + \frac{\partial U}{\partial y}\,\widehat{y} + \frac{\partial U}{\partial z}\,\widehat{z}}$$

O que fazer ?

Universidade Federal Fluminense

Teorema Helmholtz

Sugestão:

Teorema Helmholtz

Sugestão: Anular rot (A)

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

Teorema Helmholtz

Sugestão: Anular rot (A)

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \cancel{\vec{\nabla} \times \vec{A}}$$

Observatório Nacional

Teorema Helmholtz

Sugestão: Anular rot (A)

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \cancel{\vec{\nabla} \times \vec{A}}$$

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U$$

Universidade Federal Fluminense

Teorema Helmholtz

Sugestão: Anular rot (A)

$$\overrightarrow{B} = \overrightarrow{\nabla} U + \cancel{\overrightarrow{\nabla} \times \overrightarrow{A}}$$

$$\overrightarrow{B} = \overrightarrow{\nabla} U$$

B torna-se um Campo conservativo!

Teorema Helmholtz

Sugestão: Anular rot (A)

$$\overrightarrow{B} = \overrightarrow{\nabla} U + \cancel{\overrightarrow{\nabla} \times \overrightarrow{A}}$$

$$\overrightarrow{B} = \overrightarrow{\nabla} U$$

B torna-se um Campo conservativo!

E agora? Investigar se há algum campo vetorial realista que seja conservativo. Alguma sugestão?

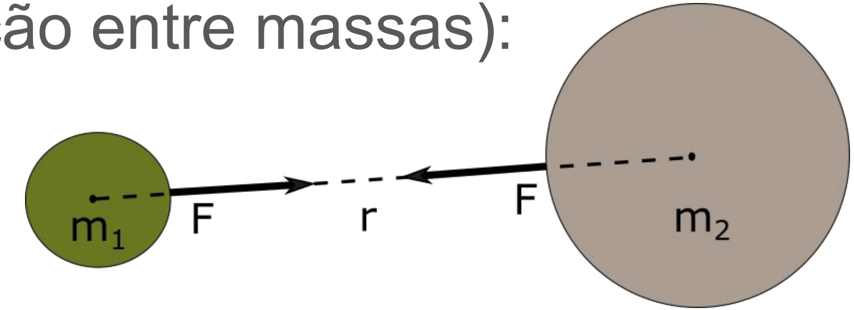
Investigado: Campo gravitacional

Investigado: Campo gravitacional

Lei da atração universal (atração entre massas):

Investigado: Campo gravitacional

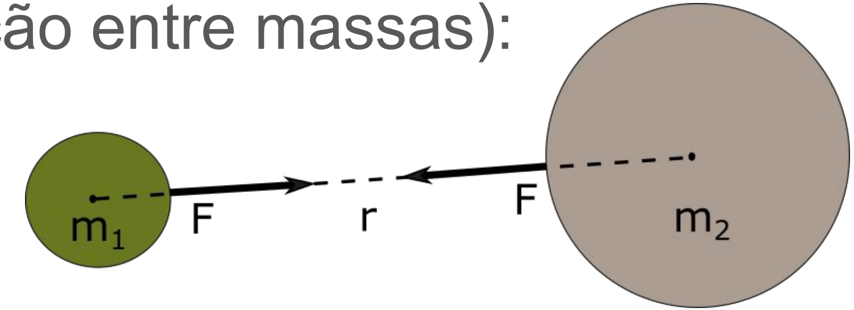
Lei da atração universal (atração entre massas):



Investigado: Campo gravitacional

Lei da atração universal (atração entre massas):

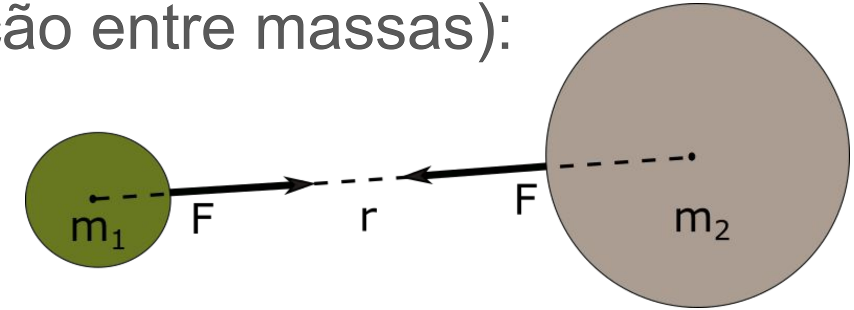
$$\boxed{\vec{F} = \frac{G\, m_1\, m_2}{r^2}\, \hat{r}}$$



Investigado: Campo gravitacional

Lei da atração universal (atração entre massas):

$$\boxed{\vec{F} = \frac{G\ m_1\ m_2}{r^2}\ \hat{r}}$$

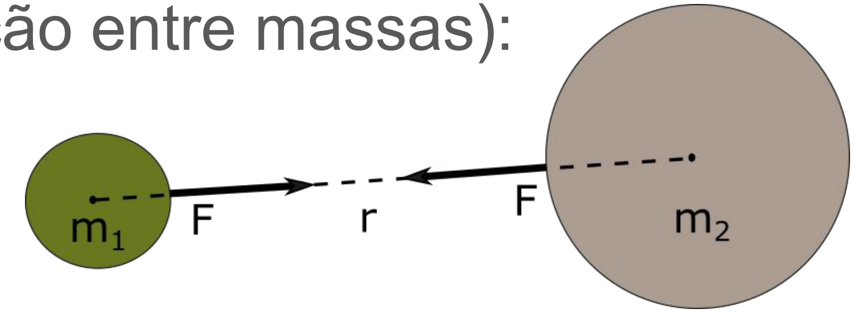


- G é a constante da gravitação universal (6.67 x 10 $^{-11}$ Nm^2/kg^2);

Investigado: Campo gravitacional

Lei da atração universal (atração entre massas):

$$\boxed{\vec{F} = \frac{G\, m_1\, m_2}{r^2}\, \hat{r}}$$

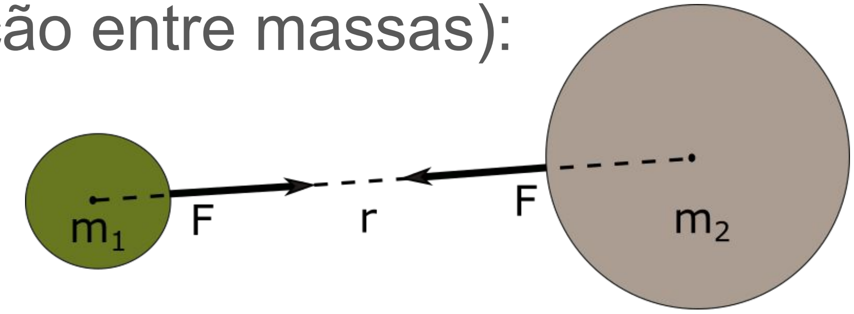


- G é a constante da gravitação universal (6.67 x 10 $^{-11}$ Nm^2/kg^2);
- m_1 m_2 são as massas gravitacionais das fontes (kg);

Investigado: Campo gravitacional

Lei da atração universal (atração entre massas):

$$\boxed{\vec{F} = \frac{G\, m_1\, m_2}{r^2}\,\hat{r}}$$

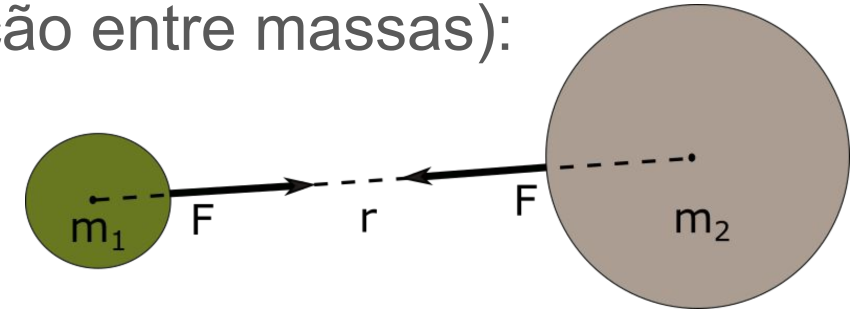


- G é a constante da gravitação universal (6.67 x 10 $^{-11}$ Nm^2/kg^2);
- m_1 m_2 são as massas gravitacionais das fontes (kg);
- r é o vetor - posição (distância entre as fontes, metros);

Investigado: Campo gravitacional

Lei da atração universal (atração entre massas):

$$\vec{F} = \frac{G\, m_1\, m_2}{r^2}\, \hat{r}$$



- G é a constante da gravitação universal (6.67 x 10 $^{-11}$ Nm^2/kg^2);
- m_1 m_2 são as massas gravitacionais das fontes (kg);
- r é o vetor - posição (distância entre as fontes, metros);
- $\hat{r}$ é o versor unitário que indica a direção da força ***F***;

Investigado: Campo gravitacional

Seja a segunda Lei do movimento de Newton para m_1:

Investigado: Campo gravitacional

Seja a segunda Lei do movimento de Newton para m_1:

$$\vec{F} = m_1 \vec{a}$$

Observatório Nacional

49º Congresso Brasileiro de Geologia
Rio 2018
20 a 24 de agosto de 2018
Centro de Convenções Sul América - Rio de Janeiro - RJ

Investigado: Campo gravitacional

Seja a segunda Lei do movimento de Newton para m_1:

$$\overrightarrow{F} = m_1 \overrightarrow{a}$$

massa inercial

Universidade Federal Fluminense

Investigado: Campo gravitacional

Seja a segunda Lei do movimento de Newton para m_1:

$$\overrightarrow{F} = m_1 \overrightarrow{a}$$

e

massa inercial

Investigado: Campo gravitacional

Seja a segunda Lei do movimento de Newton para m_1:

$$\vec{F} = m_1 \, \vec{a} \qquad \text{e} \qquad \vec{F} = \frac{G \, m_1 \, m_2}{r^2} \, \hat{r}$$

massa inercial

Investigado: Campo gravitacional

Seja a segunda Lei do movimento de Newton para m_1:

$$\overrightarrow{F} = m_1 \overrightarrow{a}$$ massa inercial

e

$$\overrightarrow{F} = \frac{G\, m_1\, m_2}{r^2}\,\widehat{r}$$ massa gravitacional

Investigado: Campo gravitacional

Seja a segunda Lei do movimento de Newton para m_1:

$$\overrightarrow{F} = m_1 \overrightarrow{a} \quad \text{e} \quad \overrightarrow{F} = \frac{G\, m_1\, m_2}{r^2}\,\widehat{r}$$

massa inercial

massa gravitacional

São idênticas, logo pode-se igualar as forças e substituir ***a*** por ***g***, pois trata-se de uma aceleração especial, a aceleração gravitacional:

Investigado: Campo gravitacional

Investigado: Campo gravitacional

$$\overrightarrow{g} = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r}$$

Investigado: Campo gravitacional

$$\overrightarrow{g} = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r}$$

- Campo gravitacional produzido por uma **fonte pontual de massa gravitacional m;**

Investigado: Campo gravitacional

$$\overrightarrow{g} = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r}$$

- Campo gravitacional produzido por uma **fonte pontual de massa gravitacional m;**
- a intensidade ~ $1/r^2$;

Investigado: Campo gravitacional

$$\overrightarrow{g} = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r}$$

- Campo gravitacional produzido por uma **fonte pontual de massa gravitacional m;**
- a intensidade ~ $1/r^2$;
- Sistema esférico de coordenadas;

Investigado: Campo gravitacional

$$\overrightarrow{g} = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r}$$

- Campo gravitacional produzido por uma **fonte pontual de massa gravitacional m;**
- a intensidade ~ $1/r^2$;
- Sistema esférico de coordenadas;

Exercício: Verificar se ***g*** é de fato um campo conservativo.

Investigado: Campo gravitacional

$$\overrightarrow{g} = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r}$$

- Campo gravitacional produzido por uma **fonte pontual de massa gravitacional m;**
- a intensidade ~ $1/r^2$;
- Sistema esférico de coordenadas;

Exercício: Verificar se ***g*** é de fato um campo conservativo.

Como fazer ?

Relembrando ….

Relembrando ….

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \cancel{\vec{\nabla} \times \vec{A}}$$

Relembrando ....

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \cancel{\vec{\nabla} \times \vec{A}}$$

$$\nabla \times \vec{A} = 0$$

Mas ***A*** depende diretamente de ***g***, portanto:

Relembrando ....

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

$$\nabla \times \vec{A} = 0$$

Mas ***A*** depende diretamente de ***g***, portanto:

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

Verificar se ***g*** é irrotacional

Relembrando ....

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \cancel{\vec{\nabla} \times \vec{A}}$$

$$\nabla \times \vec{A} = 0$$

Mas ***A*** depende diretamente de ***g***, portanto:

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

Verificar se ***g*** é irrotacional

$$\vec{\nabla} \times \vec{g} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = (\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z})\ \widehat{x} + (\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z})\ \widehat{y} + (\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y})\ \widehat{z}$$

Relembrando ....

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \cancel{\vec{\nabla} \times \vec{A}}$$

$$\nabla \times \vec{A} = 0$$

Mas ***A*** depende diretamente de ***g***, portanto:

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

Verificar se ***g*** é irrotacional

$$\vec{\nabla} \times \vec{g} = \begin{pmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = \left(\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z}\right)\hat{x} + \left(\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z}\right)\hat{y} + \left(\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y}\right)\hat{z}$$

Relembrando ....

$$\vec{B} = \vec{\nabla} U + \cancel{\vec{\nabla} \times \vec{A}}$$

$$\nabla \times \vec{A} = 0$$ Mas ***A*** depende diretamente de ***g***, portanto:

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$ Verificar se ***g*** é irrotacional

$$\vec{\nabla} \times \vec{g} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = \left(\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z}\right)\widehat{x} + \left(\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z}\right)\widehat{y} + \left(\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y}\right)\widehat{z}$$

Precisamos das componentes Cartesianas do campo gravitacional !

Componentes do Campo gravitacional

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x}$$

$$g_y = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{y}$$

$$g_z = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{z}$$

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x}$$

$$g_y = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{y}$$

$$g_z = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{z}$$

produto escalar: mede a "sombra" de ***g*** sobre o eixo x

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x}$$

$$g_y = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{y}$$

$$g_z = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{z}$$

fazer apenas para $\mathbf{g_x}$
pois tudo se repete

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x}$$

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x} = g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x} \quad = \quad g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \vec{g} \cdot \hat{x} \quad = \quad g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\,\hat{r} \cdot \hat{x} \qquad \boxed{\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|r|}}$$

versor = vetor unitário

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x} \quad = \quad g_x = -\frac{G\ m}{r^2} \widehat{r} \cdot \widehat{x} \qquad \boxed{\widehat{r} = \frac{\overrightarrow{r}}{|r|}} \qquad \overrightarrow{r} = x\ \widehat{x} + y\ \widehat{y} + z\ \widehat{z}$$

Componentes do Campo gravitacional

vetor posição

$$g_x = \vec{g} \cdot \hat{x} \quad = \quad g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\,\hat{r} \cdot \hat{x}$$

$$\boxed{\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|r|}}$$

$$\vec{r} = x\ \hat{x} + y\ \hat{y} + z\ \hat{z}$$

Componentes do Campo gravitacional

vetor posição

$$g_x = \vec{g} \cdot \hat{x} \;\; = \;\; g_x = -\frac{G\,m}{r^2} \hat{r} \cdot \hat{x}$$

$$\boxed{\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|r|}}$$

$$\vec{r} = x\,\hat{x} + y\,\hat{y} + z\,\hat{z}$$

$$|\vec{r}| = \sqrt{\vec{r} \cdot \vec{r}} = r^{1/2}$$

Componentes do Campo gravitacional

vetor posição

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x} \quad = \quad g_x = -\frac{G\ m}{r^2} \widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

$$\boxed{\widehat{r} = \frac{\overrightarrow{r}}{|r|}}$$

$$\overrightarrow{r} = x\ \widehat{x} + y\ \widehat{y} + z\ \widehat{z}$$

$$|\overrightarrow{r}| = \sqrt{\overrightarrow{r} \cdot \overrightarrow{r}} = r^{1/2}$$

módulo

$$\boxed{|\overrightarrow{r}| = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}$$

Componentes do Campo gravitacional

vetor posição

$$g_x = \vec{g} \cdot \hat{x} \quad = \quad g_x = -\frac{G\,m}{r^2}\hat{r} \cdot \hat{x}$$

$$\boxed{\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|r|}}$$

$$\vec{r} = x\,\hat{x} + y\,\hat{y} + z\,\hat{z}$$

$$|\vec{r}| = \sqrt{\vec{r} \cdot \vec{r}} = r^{1/2}$$

módulo

$$\boxed{|\vec{r}| = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}$$

Portanto, tem-se para a componente g_x:

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x} = g_x = -\frac{G\ m}{r^2} \widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

$$\boxed{\widehat{r} = \frac{\overrightarrow{r}}{|r|}}$$

vetor posição

$$\overrightarrow{r} = x\ \widehat{x} + y\ \widehat{y} + z\ \widehat{z}$$

$$|\overrightarrow{r}| = \sqrt{\overrightarrow{r} \cdot \overrightarrow{r}} = r^{1/2}$$

módulo

$$\boxed{|\overrightarrow{r}| = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}$$

Portanto, tem-se para a componente g_x:

$$g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x} \quad = \quad g_x = -\frac{G\,m}{r^2}\,\widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

$$\boxed{\widehat{r} = \frac{\overrightarrow{r}}{|r|}}$$

vetor posição

$$\overrightarrow{r} = x\,\widehat{x} + y\,\widehat{y} + z\,\widehat{z}$$

$$|\overrightarrow{r}| = \sqrt{\overrightarrow{r} \cdot \overrightarrow{r}} = r^{1/2}$$

módulo

$$\boxed{|\overrightarrow{r}| = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}$$

Portanto, tem-se para a componente g_x:

$$\boxed{\widehat{r} \cdot \widehat{x} = r_x = \frac{x}{|\overrightarrow{r}|}}$$

$$g_x = -\frac{G\,m}{r^2}\,\widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

Componentes do Campo gravitacional

vetor posição

$$g_x = \vec{g} \cdot \widehat{x} = g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

$$\widehat{r} = \frac{\vec{r}}{|r|}$$

$$\vec{r} = x\ \widehat{x} + y\ \widehat{y} + z\ \widehat{z}$$

$$|\vec{r}| = \sqrt{\vec{r} \cdot \vec{r}} = r^{1/2}$$

módulo

$$\boxed{|\vec{r}| = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}$$

Portanto, tem-se para a componente g_x:

$$\boxed{\widehat{r} \cdot \widehat{x} = r_x = \frac{x}{|\vec{r}|}}$$

$$g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\ \widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

$$g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\frac{x}{|r|} = -\frac{G\ m\ x}{r^{3/2}}$$

Componentes do Campo gravitacional

vetor posição

$$g_x = \overrightarrow{g} \cdot \widehat{x} \;=\; g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\,\widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

$$\boxed{\widehat{r} = \frac{\overrightarrow{r}}{|r|}}$$

$$\overrightarrow{r} = x\ \widehat{x} + y\ \widehat{y} + z\ \widehat{z}$$

$$|\overrightarrow{r}| = \sqrt{\overrightarrow{r} \cdot \overrightarrow{r}} = r^{1/2}$$

módulo

$$\boxed{|\overrightarrow{r}| = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}$$

Portanto, tem-se para a componente g_x:

$$\boxed{\widehat{r} \cdot \widehat{x} = r_x = \frac{x}{|\overrightarrow{r}|}}$$

$$g_x = -\frac{G\ m}{r^2}\,\widehat{r} \cdot \widehat{x}$$

$$\boxed{g_x} = -\frac{G\ m}{r^2}\,\frac{x}{|r|} = \boxed{-\frac{G\ m\ x}{r^{3/2}}}$$

Componentes do Campo gravitacional

Componentes do Campo gravitacional

$$g_x = -\frac{G\ m\ x}{r^{3/2}}$$

$$g_y = -\frac{G\ m\ y}{r^{3/2}}$$

$$g_z = -\frac{G\ m\ z}{r^{3/2}}$$

Componentes do Campo gravitacional

$$\boxed{g_x = -\frac{G\ m\ x}{r^{3/2}}}$$

$$\boxed{g_y = -\frac{G\ m\ y}{r^{3/2}}}$$

componentes horizontais da atração gravitacional

$$g_z = -\frac{G\ m\ z}{r^{3/2}}$$

Observatório Nacional

49º Congresso Brasileiro de Geologia
20 a 24 de agosto de 2018
Centro de Convenções Sul América - Rio de Janeiro - RJ

Componentes do Campo gravitacional

$$\boxed{g_x = -\frac{G\ m\ x}{r^{3/2}}}$$

$$\boxed{g_y = -\frac{G\ m\ y}{r^{3/2}}}$$

componentes horizontais da atração gravitacional

$$\boxed{g_z = -\frac{G\ m\ z}{r^{3/2}}}$$

componente vertical da atração gravitacional

Universidade Federal Fluminense

Componentes do Campo gravitacional

$$\boxed{g_x = -\frac{G\ m\ x}{r^{3/2}}}$$

$$\boxed{g_y = -\frac{G\ m\ y}{r^{3/2}}}$$

$$\boxed{g_z = -\frac{G\ m\ z}{r^{3/2}}}$$

Como seria o cálculo dessas componentes no computador?

Vamos ao python!

Voltando ao problema de comprovar que o campo gravitacional é conservativo ....

Campo gravitacional

Campo gravitacional

$$\nabla \times \overrightarrow{g} = 0$$

Campo gravitacional

$$\nabla \times \overrightarrow{g} = 0$$

$$\overrightarrow{\nabla} \times \overrightarrow{g} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = (\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z})\ \widehat{x} + (\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z})\ \widehat{y} + (\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y})\ \widehat{z}$$

Campo gravitacional

$$\nabla \times \overrightarrow{g} = 0$$

$$\overrightarrow{\nabla} \times \overrightarrow{g} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = \left(\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z}\right) \widehat{x} + \left(\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z}\right) \widehat{y} + \left(\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y}\right) \widehat{z}$$

Fazendo apenas para o primeiro termo, já que tudo se repete!

Campo gravitacional

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{g} = \begin{pmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = \left(\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z}\right) \hat{x} + \left(\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z}\right) \hat{y} + \left(\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y}\right) \hat{z}$$

Campo gravitacional

$$\nabla \times \overrightarrow{g} = 0$$

$$\overrightarrow{\nabla} \times \overrightarrow{g} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = (\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z})\ \widehat{x} + (\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z})\ \widehat{y} + (\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y})\ \widehat{z}$$

$$\boxed{\frac{\partial g_z}{\partial y} = G\ m\ z\ r^{-3/2} = \frac{-3\ G\ m\ z\ y}{r^{5/2}}}$$

Campo gravitacional

$$\nabla \times \overrightarrow{g} = 0$$

$$\overrightarrow{\nabla} \times \overrightarrow{g} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = \left(\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z}\right) \widehat{x} + \left(\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z}\right) \widehat{y} + \left(\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y}\right) \widehat{z}$$

$$\boxed{\frac{\partial g_z}{\partial y} = G\ m\ z\ r^{-3/2} = \frac{-3\ G\ m\ z\ y}{r^{5/2}}}$$

Campo gravitacional

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{g} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = \left(\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z}\right)\widehat{x} + \left(\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z}\right)\widehat{y} + \left(\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y}\right)\widehat{z}$$

$$\boxed{\frac{\partial g_z}{\partial y} = G\ m\ z\ r^{-3/2} = \frac{-3\ G\ m\ z\ y}{r^{5/2}}}$$

$$\boxed{\frac{\partial g_y}{\partial z} = G\ m\ y\ r^{-3/2} = \frac{-3\ G\ m\ y\ z}{r^{5/2}}}$$

Campo gravitacional

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{g} = \begin{pmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = \left(\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z}\right)\hat{x} + \left(\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z}\right)\hat{y} + \left(\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y}\right)\hat{z}$$

$$\boxed{\frac{\partial g_z}{\partial y} = G\ m\ z\ r^{-3/2} = \frac{-3\ G\ m\ z\ y}{r^{5/2}}} - \boxed{\frac{\partial g_y}{\partial z} = G\ m\ y\ r^{-3/2} = \frac{-3\ G\ m\ y\ z}{r^{5/2}}} = 0$$

Campo gravitacional

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{g} = \begin{pmatrix} \widehat{x} & \widehat{y} & \widehat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ g_x & g_y & g_z \end{pmatrix} = \left(\frac{\partial g_z}{\partial y} - \frac{\partial g_y}{\partial z}\right)\widehat{x} + \left(\frac{\partial g_z}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial z}\right)\widehat{y} + \left(\frac{\partial g_y}{\partial x} - \frac{\partial g_x}{\partial y}\right)\widehat{z}$$

$$\boxed{\frac{\partial g_z}{\partial y} = G\ m\ z\ r^{-3/2} = \frac{-3\ G\ m\ z\ y}{r^{5/2}}} - \boxed{\frac{\partial g_y}{\partial z} = G\ m\ y\ r^{-3/2} = \frac{-3\ G\ m\ y\ z}{r^{5/2}}} = 0$$

Para as demais parcelas do rotacional tem-se finalmente que:

Campo gravitacional

Campo gravitacional

$$\boxed{\nabla \times \vec{g} = 0}$$

O campo gravitacional é conservativo !

Campo gravitacional

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

O campo gravitacional é conservativo !

$$\vec{g} = -\vec{\nabla} U$$

gradiente de uma função escalar chamada **função potencial**

Campo gravitacional

$$\nabla \times \overrightarrow{g} = 0$$

O campo gravitacional é conservativo !

$$\overrightarrow{g} = -\overrightarrow{\nabla} U$$

gradiente de uma função escalar chamada **função potencial**

Pergunta: para que toda essa ginástica?????

Campo gravitacional

$$\nabla \times \vec{g} = 0$$

O campo gravitacional é conservativo !

$$\vec{g} = -\vec{\nabla} U$$

gradiente de uma função escalar chamada **função potencial**

Definir o campo gravitacional da forma mais simples possível.

Potencial Newtoniano (gravitacional)

Potencial Newtoniano (gravitacional)

- Função escalar da posição;

Potencial Newtoniano (gravitacional)

- Função escalar da posição;
- Função de apoio à teoria do Potencial;

Potencial Newtoniano (gravitacional)

- Função escalar da posição;
- Função de apoio à teoria do Potencial;
- Objetivo: Obter o campo gravitacional a partir do potencial newtoniano;

Potencial Newtoniano (gravitacional)

- Função escalar da posição;
- Função de apoio à teoria do Potencial;
- Objetivo: Obter o campo gravitacional a partir do potencial newtoniano;

Veja como é mais simples: Potencial de uma fonte pontual

Potencial Newtoniano (gravitacional)

- Função escalar da posição;
- Função de apoio à teoria do Potencial;
- Objetivo: Obter o campo gravitacional a partir do potencial newtoniano;

Veja como é mais simples: Potencial de uma fonte pontual

$$U(r) = \frac{G\ m}{r}$$

Potencial Newtoniano (gravitacional)

- Função escalar da posição;
- Função de apoio à teoria do Potencial;
- Objetivo: Obter o campo gravitacional a partir do potencial newtoniano;

Veja como é mais simples: Potencial de uma fonte pontual

$$U(r) = \frac{G\ m}{r} \Rightarrow \vec{g} = -\vec{\nabla} U$$

Potencial Newtoniano (gravitacional)

- Função escalar da posição;
- Função de apoio à teoria do Potencial;
- Objetivo: Obter o campo gravitacional a partir do potencial newtoniano;

Veja como é mais simples: Potencial de uma fonte pontual

Gradiente em coordenadas esféricas

$$U(r) = \frac{G\ m}{r} \Rightarrow \vec{g} = -\vec{\nabla} U$$

$$\boxed{\vec{\nabla} U = \frac{\partial U}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial U}{\partial \theta}\hat{\theta} + \frac{1}{r sin\theta}\frac{\partial U}{\partial \phi}\hat{\phi}}$$

Potencial Newtoniano (gravitacional)

- Função escalar da posição;
- Função de apoio à teoria do Potencial;
- Objetivo: Obter o campo gravitacional a partir do potencial newtoniano;

Veja como é mais simples: Potencial de uma fonte pontual

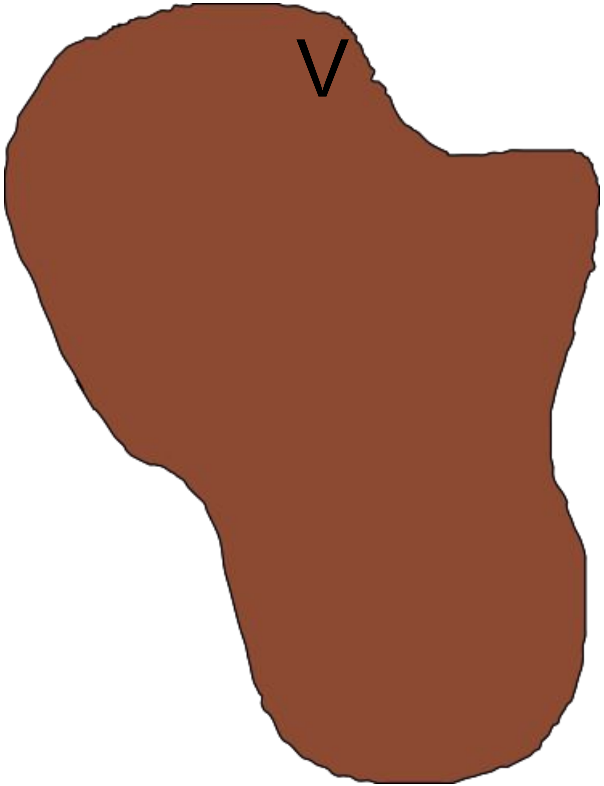
Gradiente em coordenadas esféricas

$$U(r) = \frac{G\ m}{r} \Rightarrow \vec{g} = -\vec{\nabla} U = \vec{g} = -\frac{G\ m}{r^2}\ \hat{r}$$

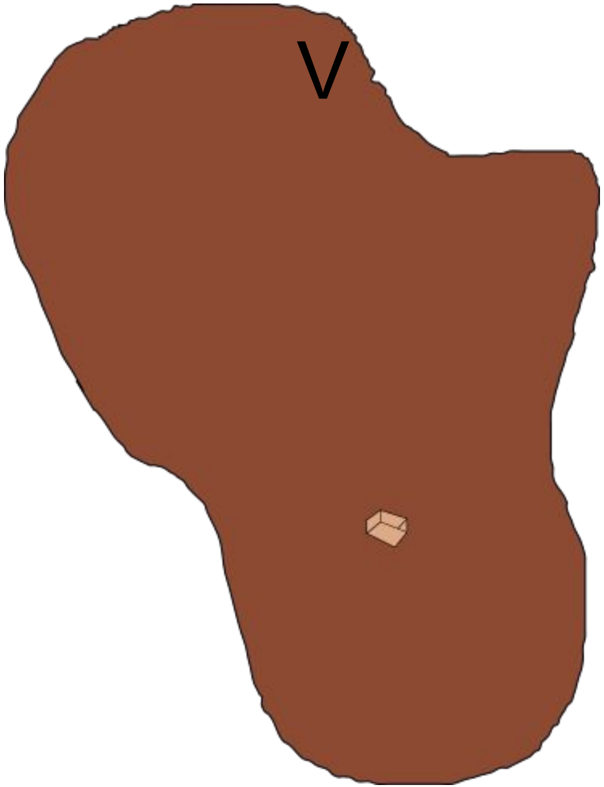
$$\boxed{\vec{\nabla} U = \frac{\partial U}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial U}{\partial \theta}\hat{\theta} + \frac{1}{r sin\theta}\frac{\partial U}{\partial \phi}\hat{\phi}}$$

Fonte arbitrária

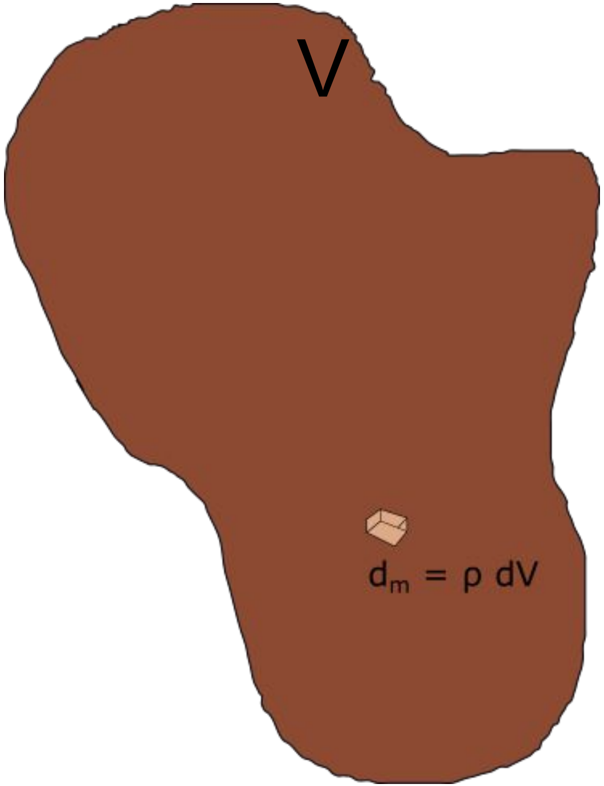
Fonte arbitrária



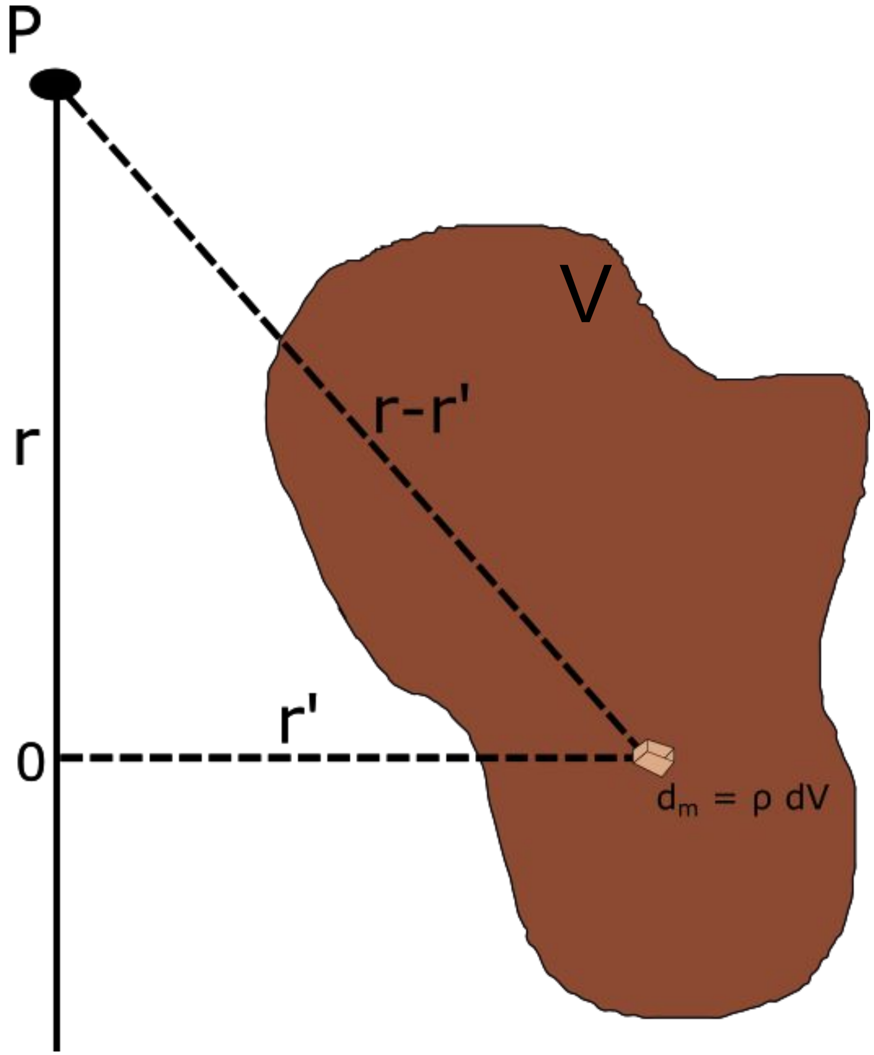
Fonte arbitrária

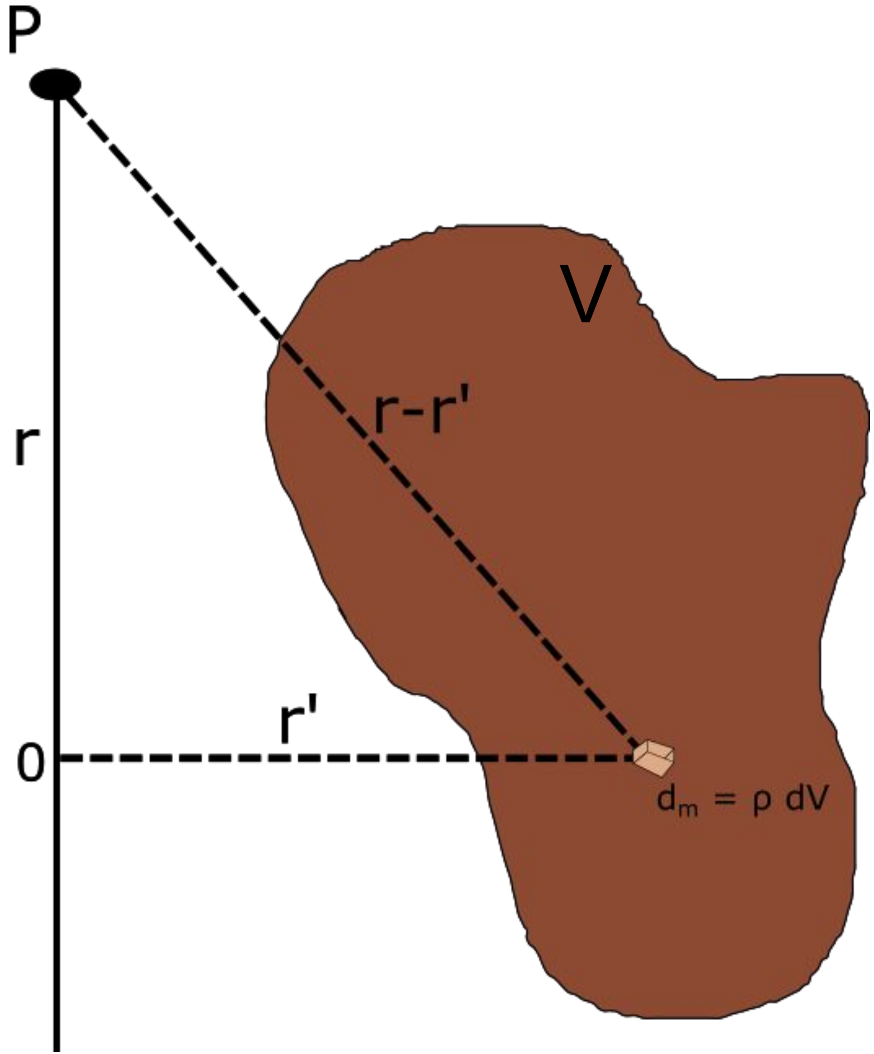


Fonte arbitrária



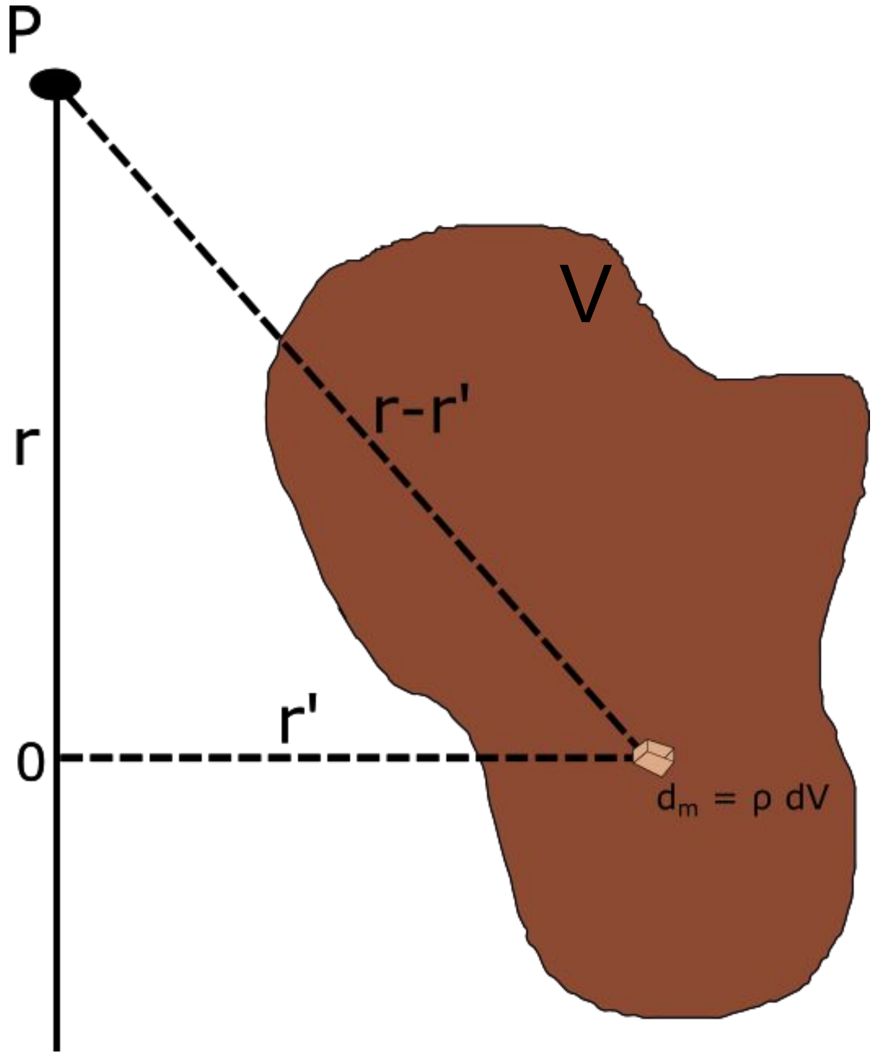
Definindo um sistema local de coordenadas


P
V
r-r'
r
r'
0
$d_m = \rho\ dV$



Potencial do elemento dm:

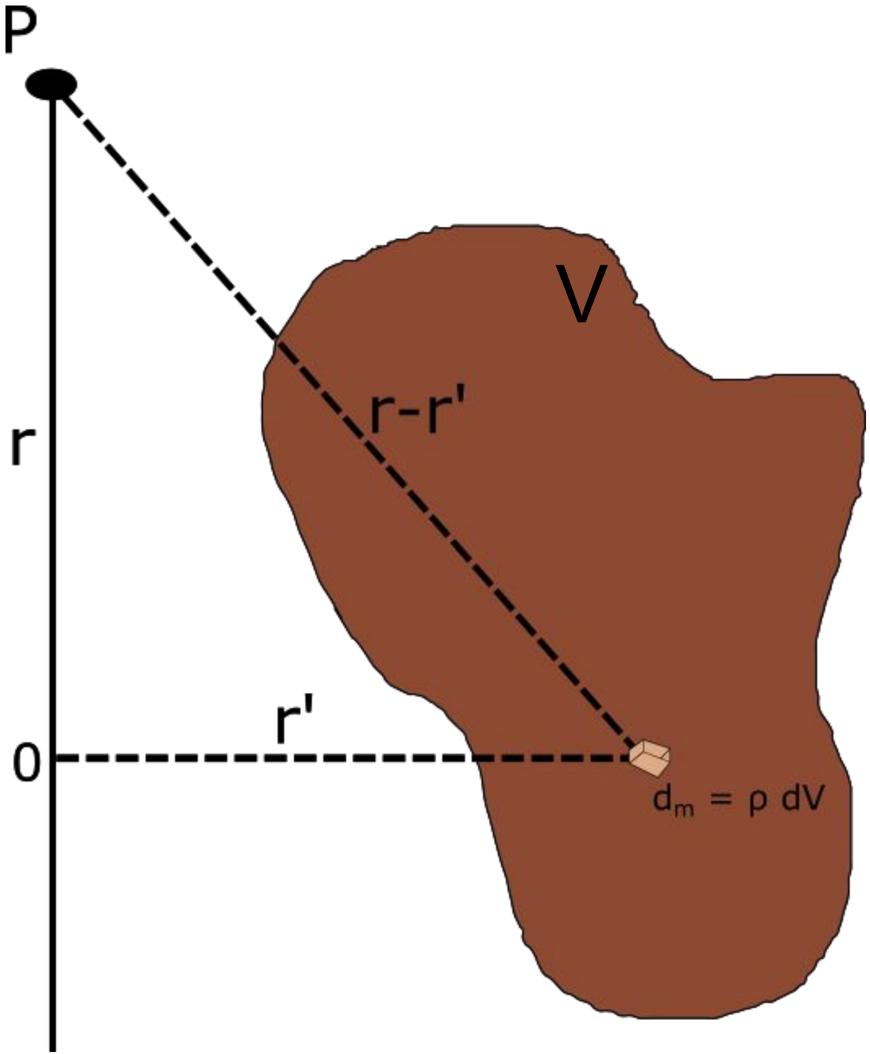
$$dU(P) = \frac{G\ dm}{(r - r')} = \frac{\rho\ dV}{(r - r')}$$



Potencial do elemento dm:

$$dU(P) = \frac{G\,dm}{(r - r')} = \frac{\rho\,dV}{(r - r')}$$

Integrando em todo V (princípio da superposição):



Potencial do elemento dm:

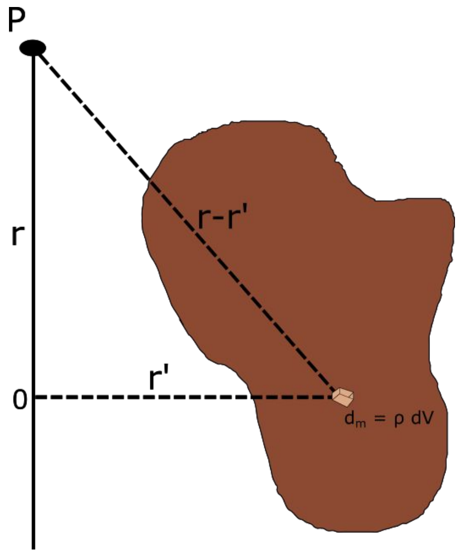
$$dU(P) = \frac{G\,dm}{(r - r')} = \frac{\rho\,dV}{(r - r')}$$

Integrando em todo V (princípio da superposição):

$$\boxed{U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}}$$

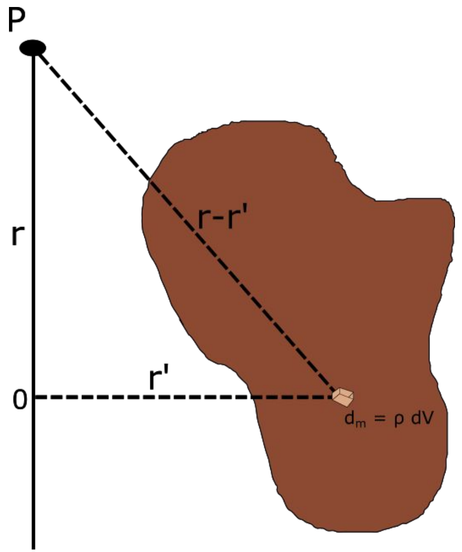
Fonte arbitrária: Problema

$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$



Fonte arbitrária: Problema

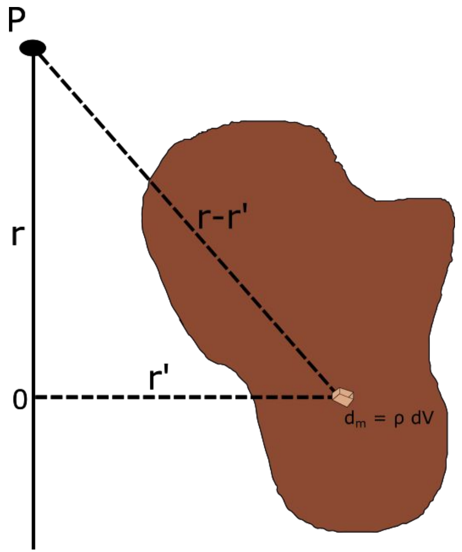
$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$



- Sem o volume da fonte, não há como resolver a integral acima;

Fonte arbitrária: Problema

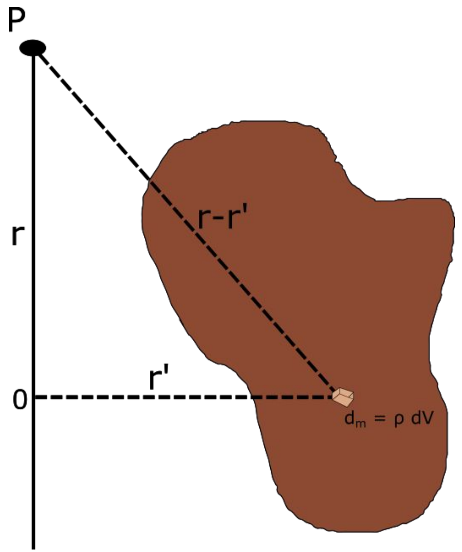
$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$



- Sem o volume da fonte, não há como resolver a integral acima;
- Somente calcular o potencial de fontes cuja geometria é conhecida;

Fonte arbitrária: Problema

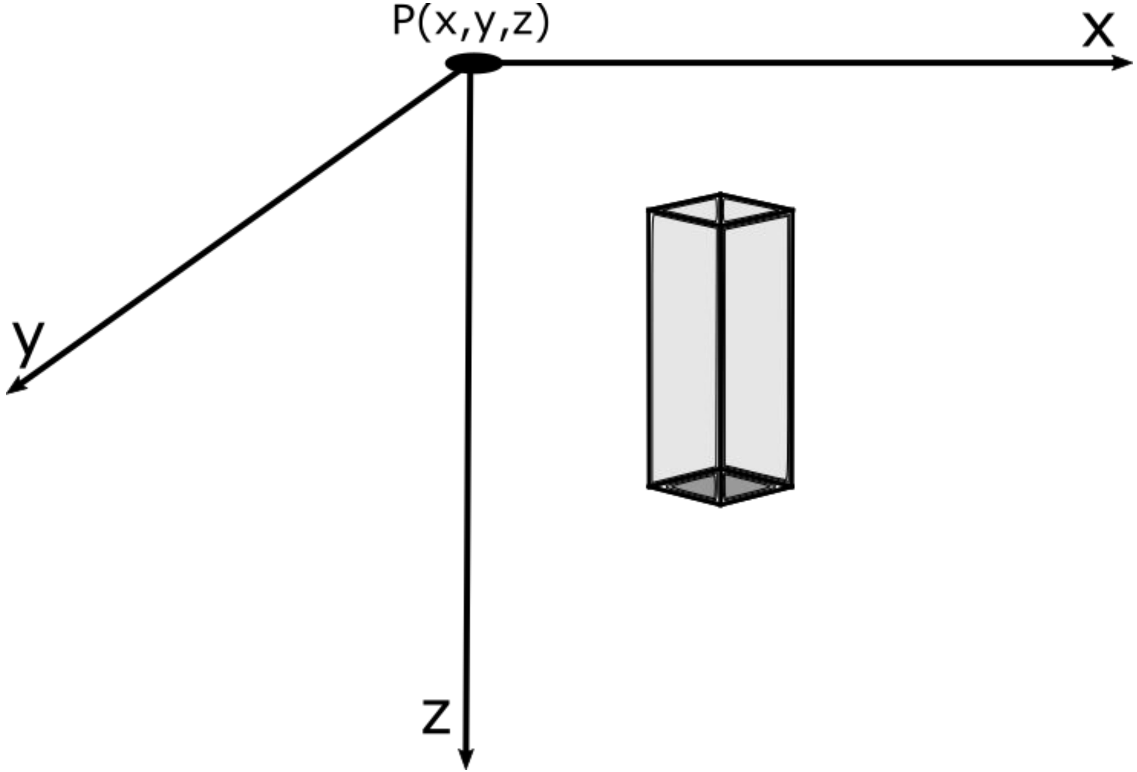
$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$



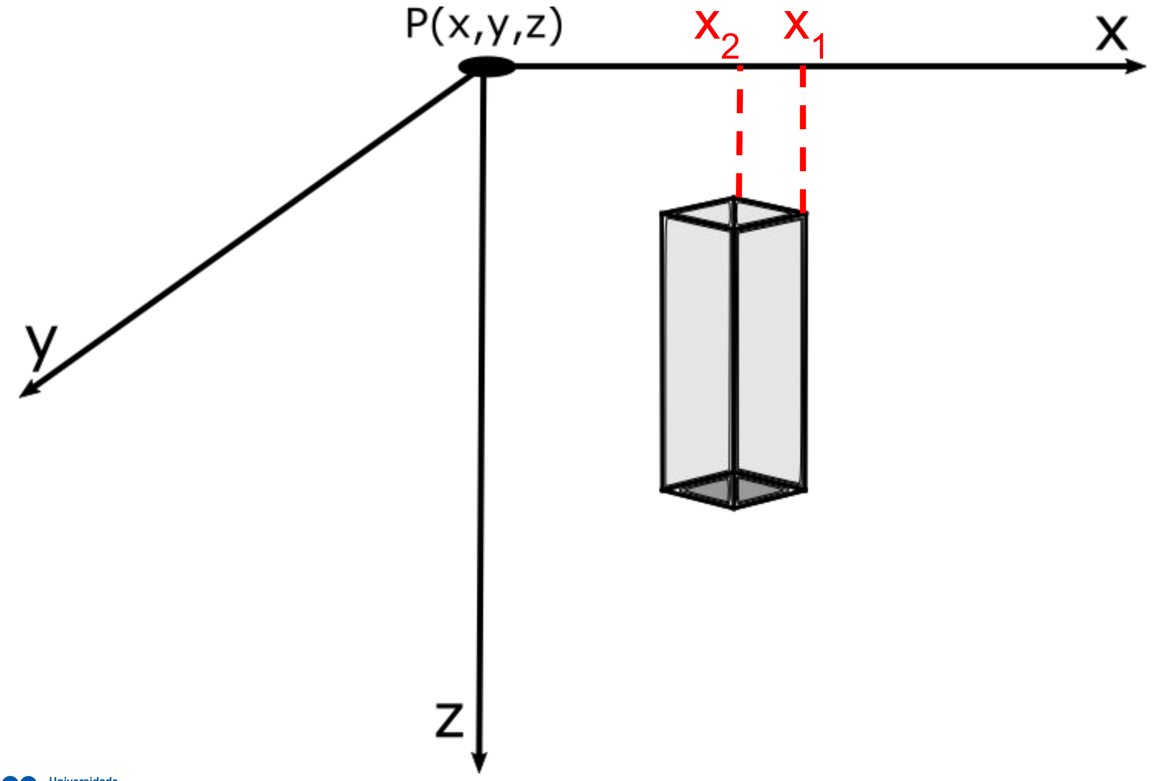
- Sem o volume da fonte, não há como resolver a integral acima;
- Somente calcular o potencial de fontes cuja geometria é conhecida;
- Ou fazer considerações/simplificações sobre o volume;

Fonte geométrica conhecida: Prisma vertical

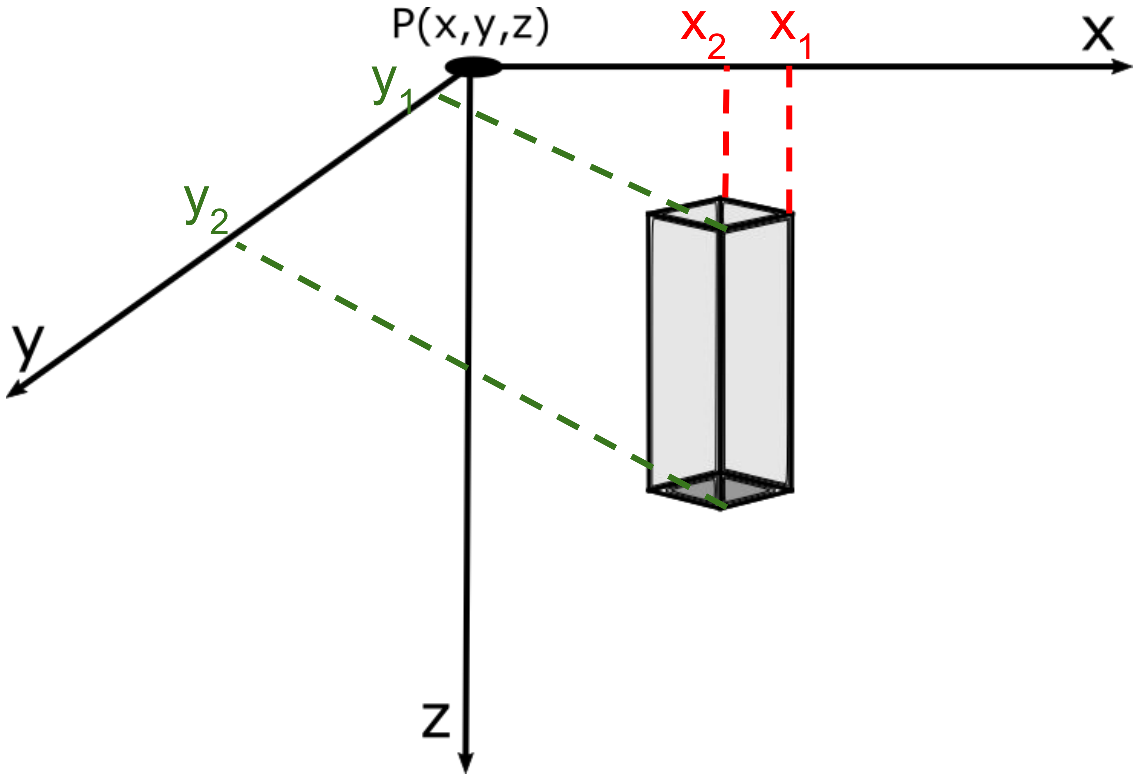
Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



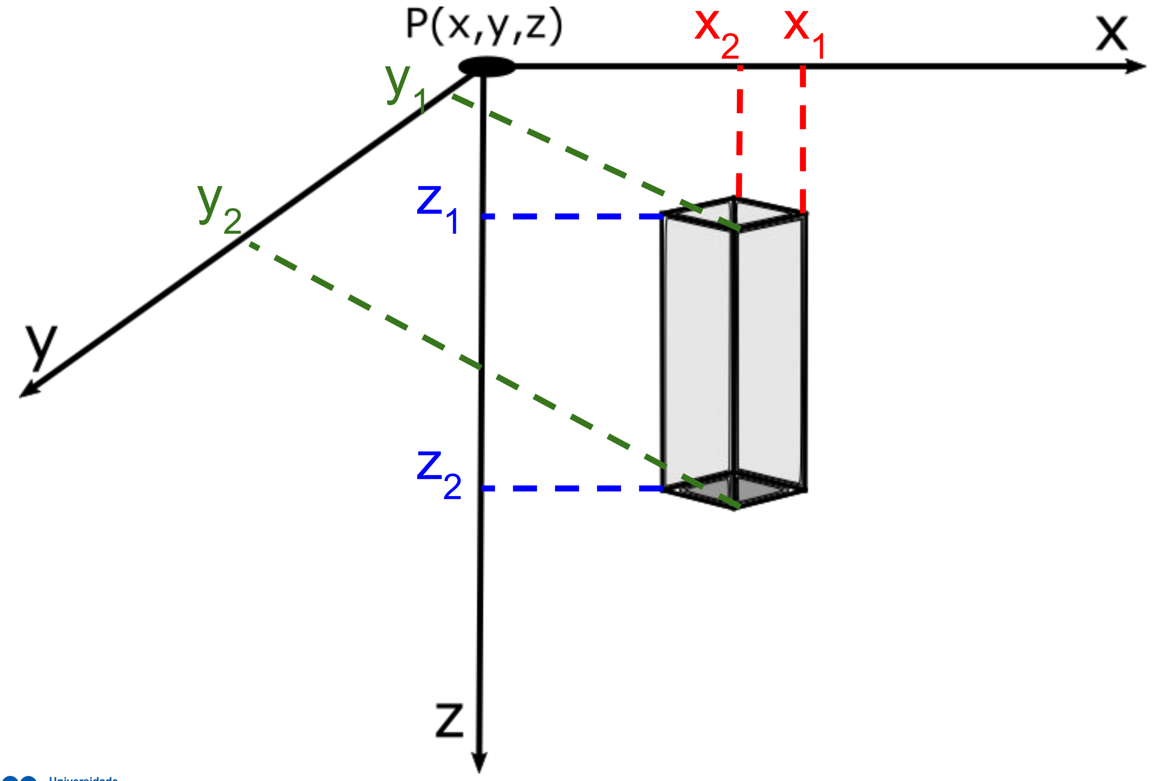
Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



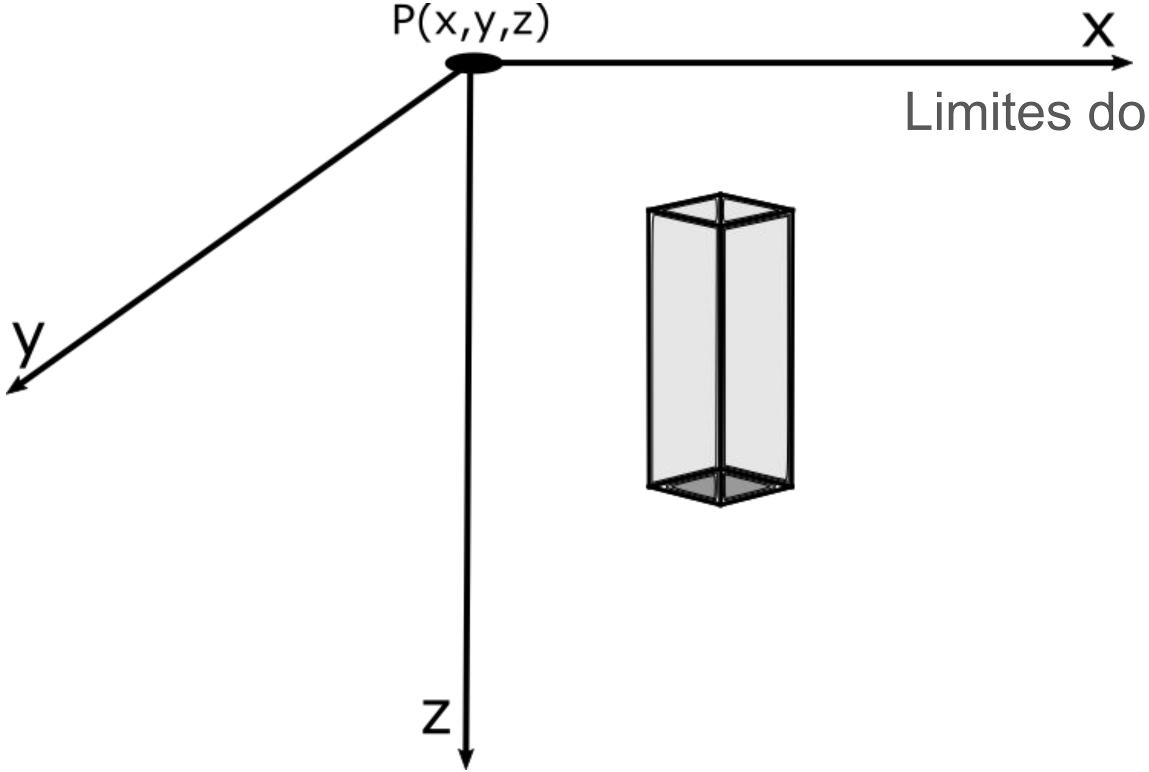
Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



Campo gravitacional produzido por um prisma vertical

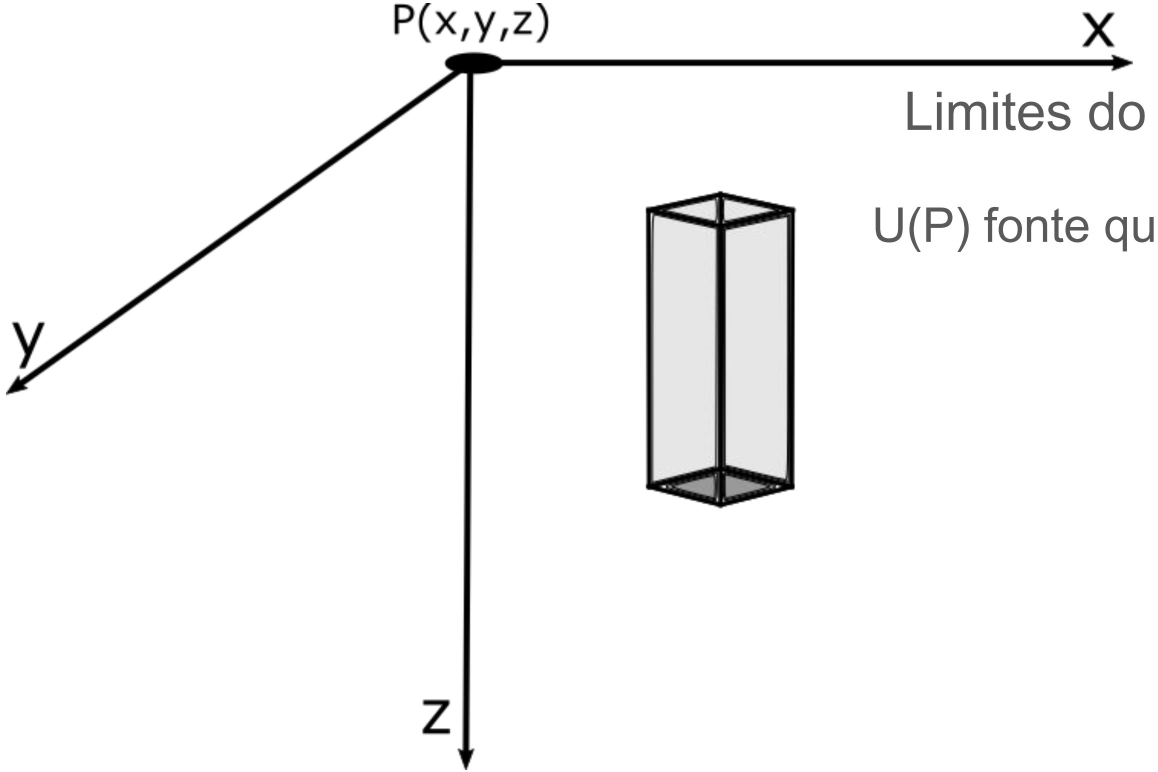


Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



Limites do prisma: $(x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2)$

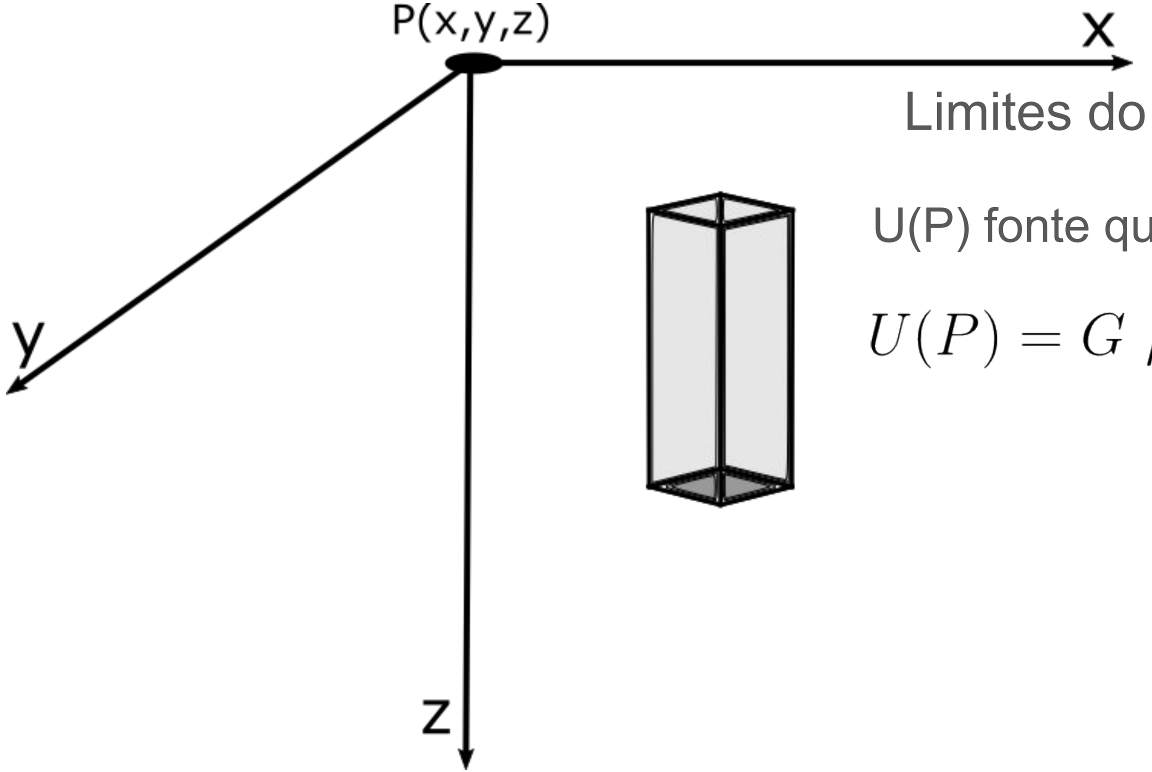
Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



Limites do prisma: $(x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2)$

U(P) fonte qualquer com densidade uniforme:

Campo gravitacional produzido por um prisma vertical

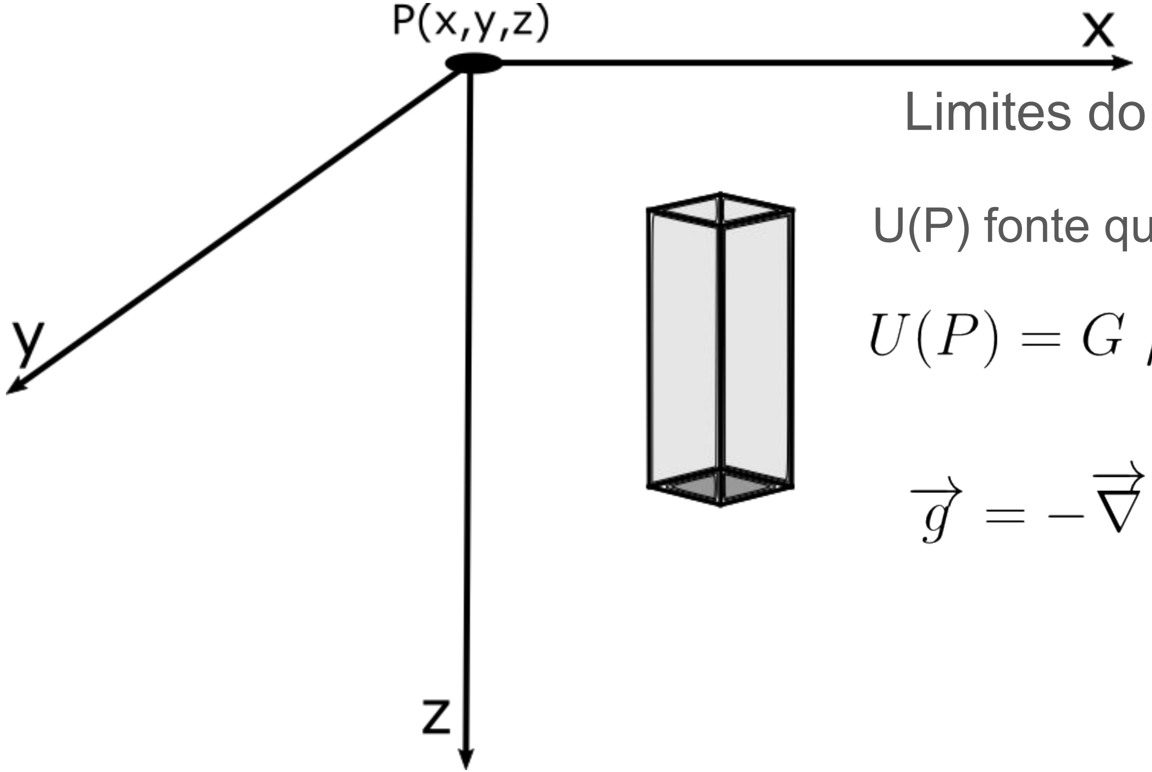


Limites do prisma: $(x_1,x_2,y_1,y_2,z_1,z_2)$

U(P) fonte qualquer com densidade uniforme:

$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$

Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



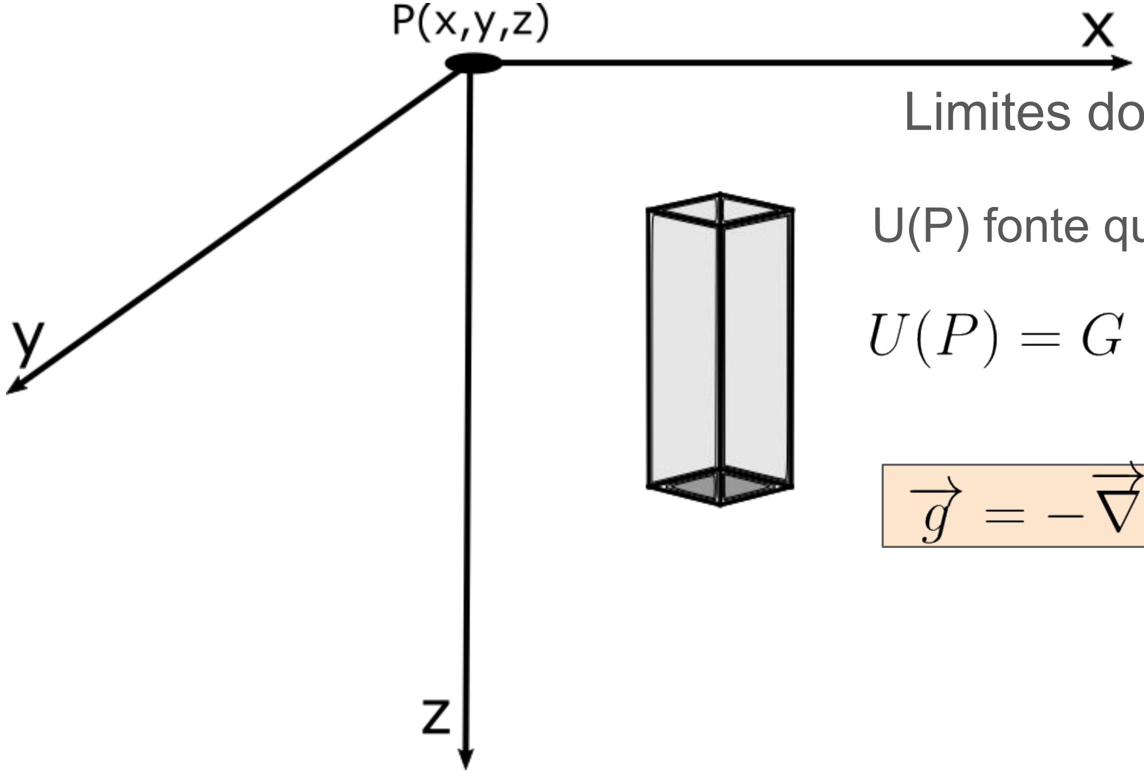
Limites do prisma: $(x_1,x_2,y_1,y_2,z_1,z_2)$

U(P) fonte qualquer com densidade uniforme:

$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$

$$\vec{g} = -\vec{\nabla} U$$

Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



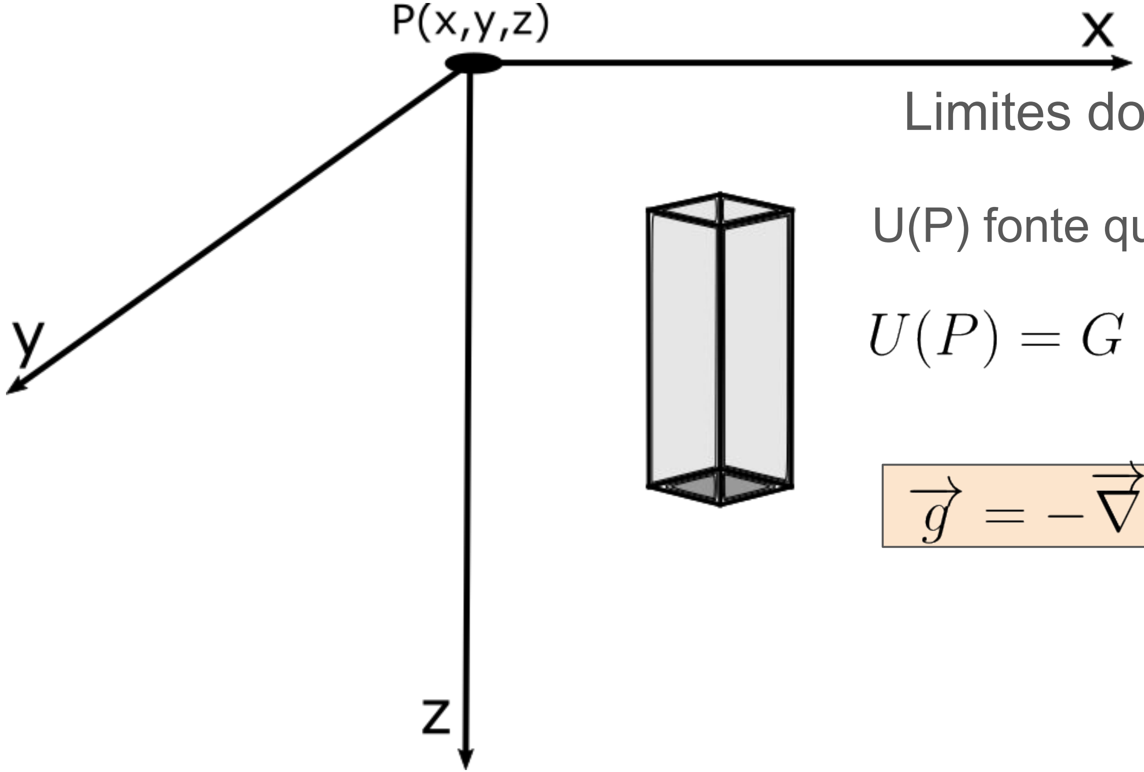
Limites do prisma: $(x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2)$

U(P) fonte qualquer com densidade uniforme:

$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$

$$\vec{g} = -\vec{\nabla} U$$

Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



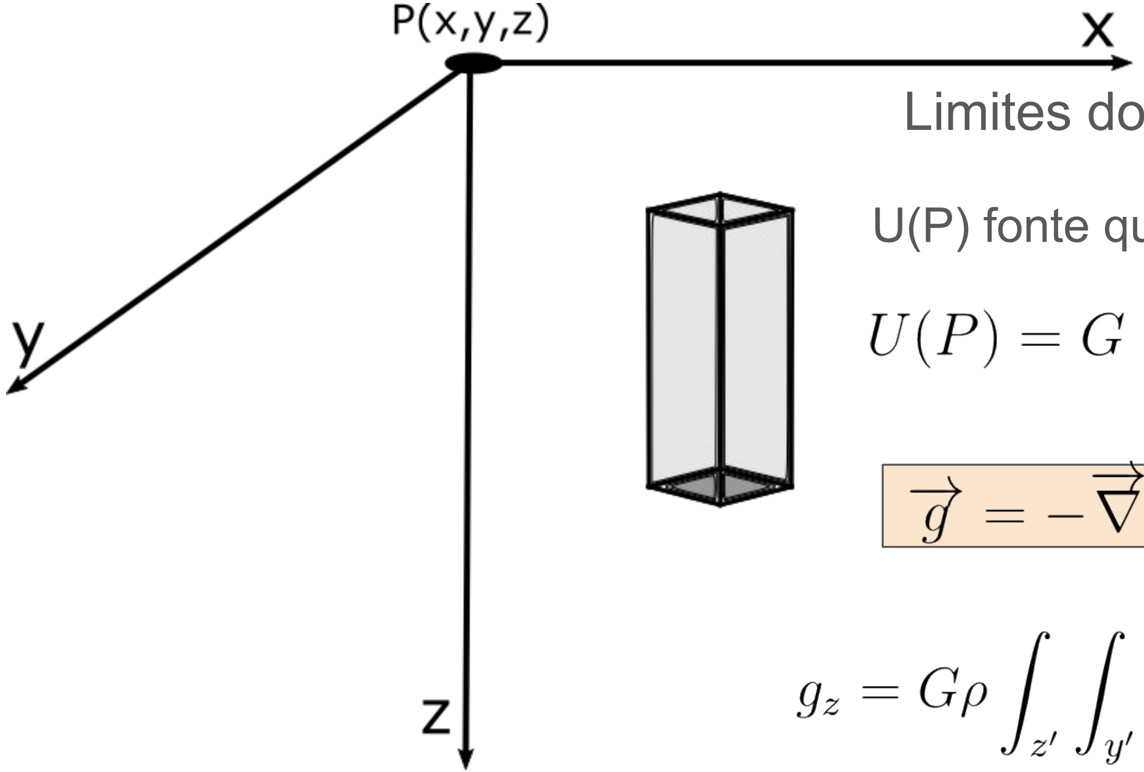
Limites do prisma: (x_1,x_2,y_1,y_2,z_1,z_2)

U(P) fonte qualquer com densidade uniforme:

$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$

$$\overrightarrow{g} = -\overrightarrow{\nabla} U \quad \Rightarrow \quad g_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



Limites do prisma: $(x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2)$

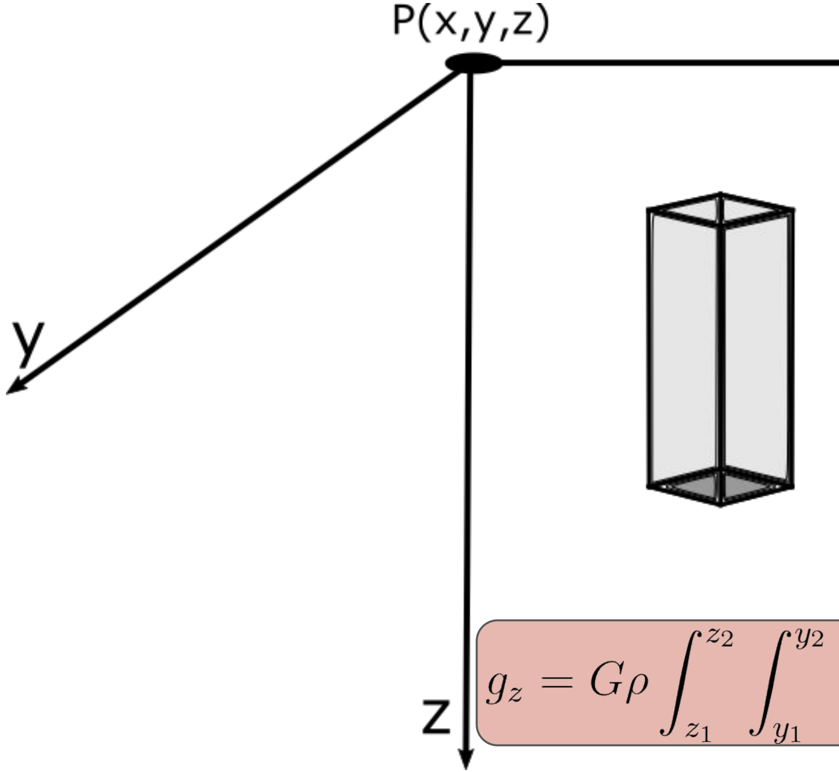
U(P) fonte qualquer com densidade uniforme:

$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$

$$\vec{g} = -\vec{\nabla} U \quad \Rightarrow \quad g_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

$$g_z = G\rho \int_{z'} \int_{y'} \int_{x'} \frac{z - z'}{(r - r')^3} dx'\; dy'\; dz'$$

Campo gravitacional produzido por um prisma vertical



Limites do prisma: (x_1,x_2,y_1,y_2,z_1,z_2)

U(P) fonte qualquer com densidade uniforme:

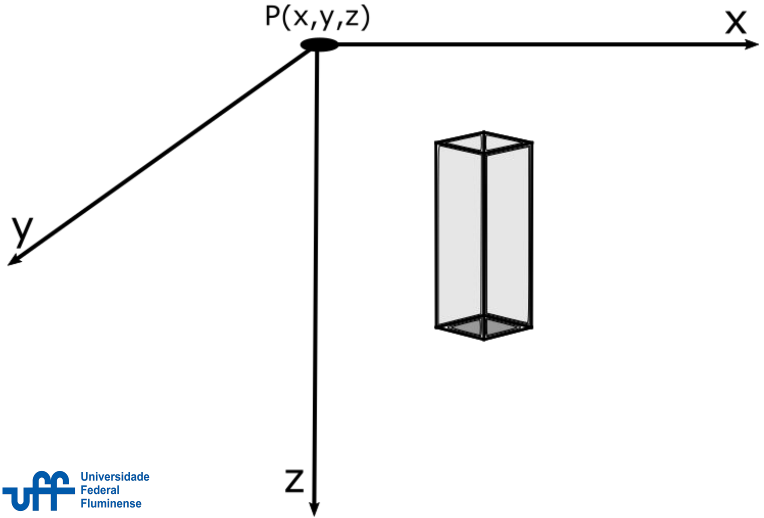
$$U(P) = G\,\rho \int \frac{dV}{(r - r')}$$

$$\vec{g} = -\vec{\nabla} U \quad \Rightarrow \quad g_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

$$g_z = G\rho \int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{z - z'}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2]^{3/2}} dx'\ dy'\ dz'$$

Campo gravitacional produzido por um prisma vertical

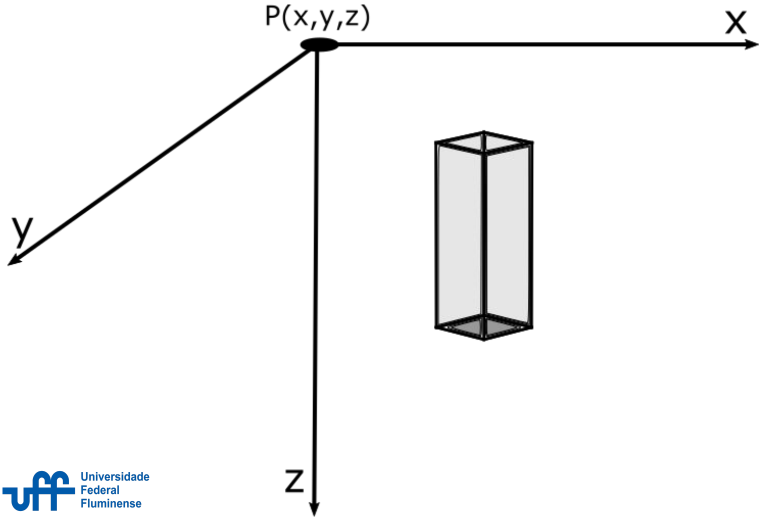
Resolvendo a integração (Plouff, 1966a):



Campo gravitacional produzido por um prisma vertical

Resolvendo a integração (Plouff, 1966a):

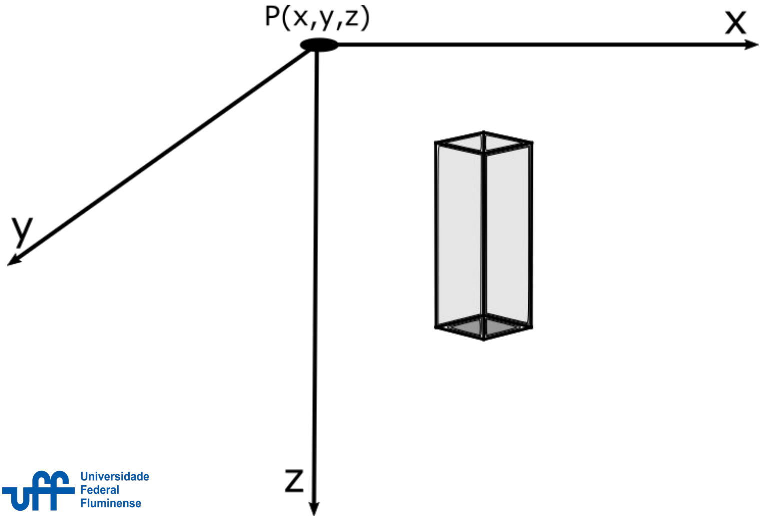
$$g_z = G\rho \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{k=1}^{2} \mu_{ijk}\left[z_k \ arctan\frac{x_i y_j}{z_k R_{ijk}} - x_i \ log(R_{ijk}+y_j) - y_j \ log(R_{ijk}+x_i)\right]$$



Campo gravitacional produzido por um prisma vertical

Resolvendo a integração (Plouff, 1966a):

$$g_z = G\rho \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{k=1}^{2} \mu_{ijk}\left[z_k \, arctan\frac{x_i y_j}{z_k R_{ijk}} - x_i \, log(R_{ijk}+y_j) - y_j \, log(R_{ijk}+x_i)\right]$$



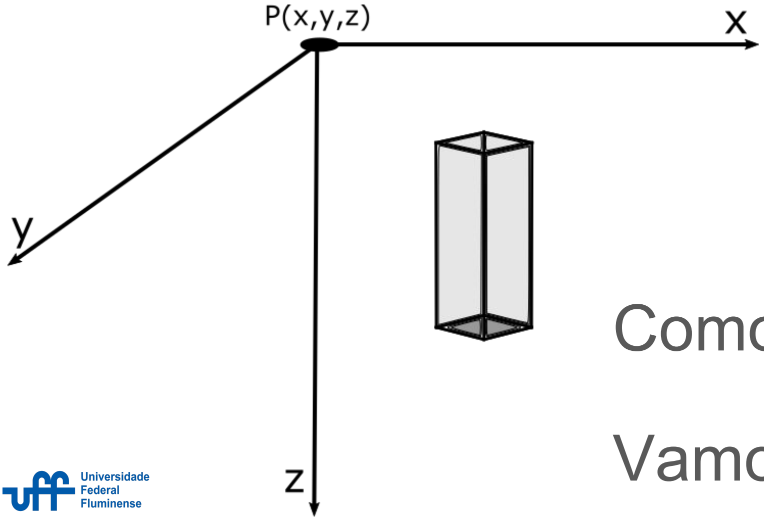
$$R_{ijk} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}$$

$$\mu_{ijk} = (-1)^i(-1)^j(-1)^k$$

Campo gravitacional produzido por um prisma vertical

Resolvendo a integração (Plouff, 1966a):

$$g_z = G\rho \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{k=1}^{2} \mu_{ijk}\left[z_k \, arctan\frac{x_i y_j}{z_k R_{ijk}} - x_i \, log(R_{ijk}+y_j) - y_j \, log(R_{ijk}+x_i)\right]$$



$$R_{ijk} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}$$

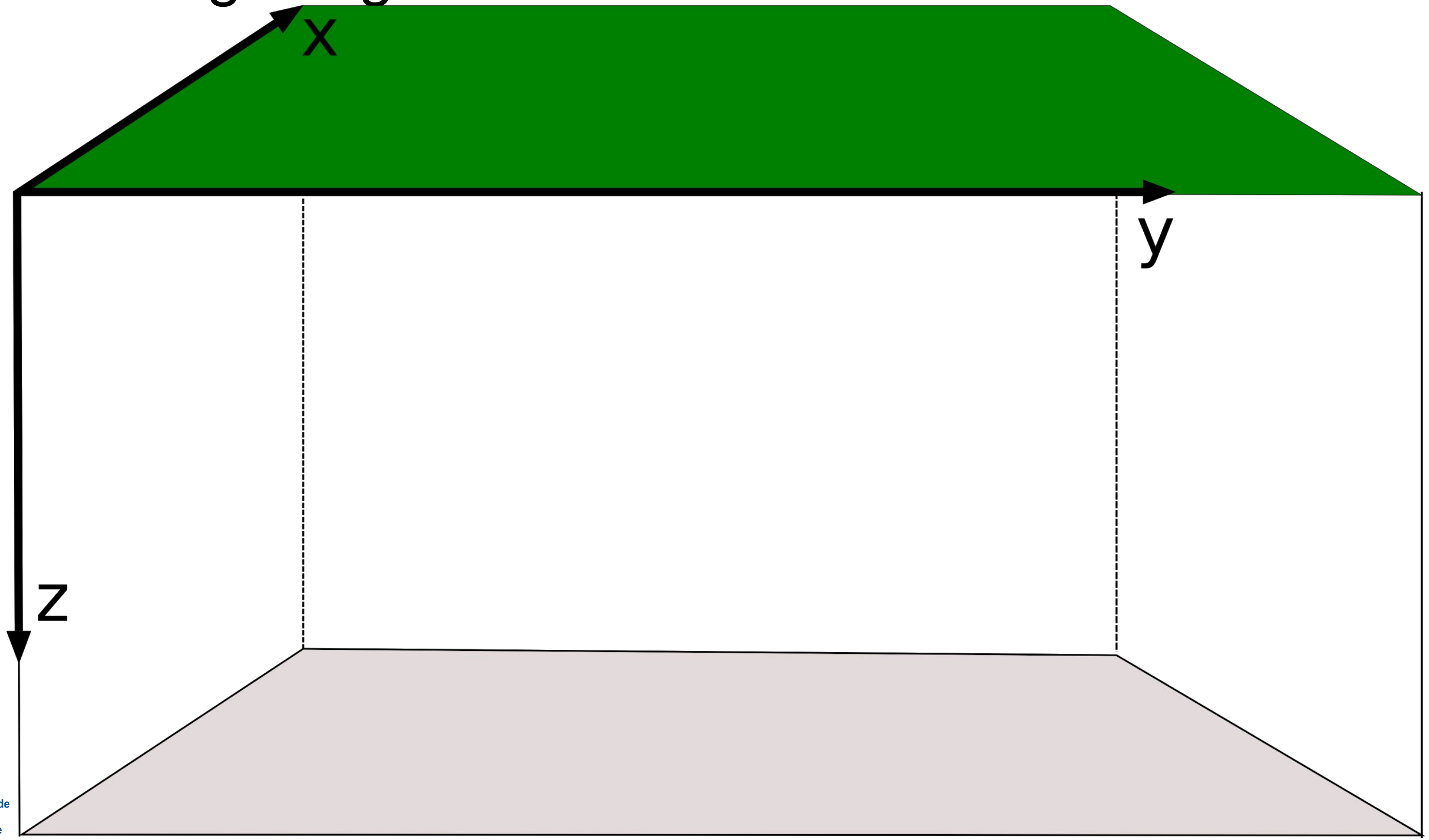
$$\mu_{ijk} = (-1)^i(-1)^j(-1)^k$$

Como seria este cálculo no computador?

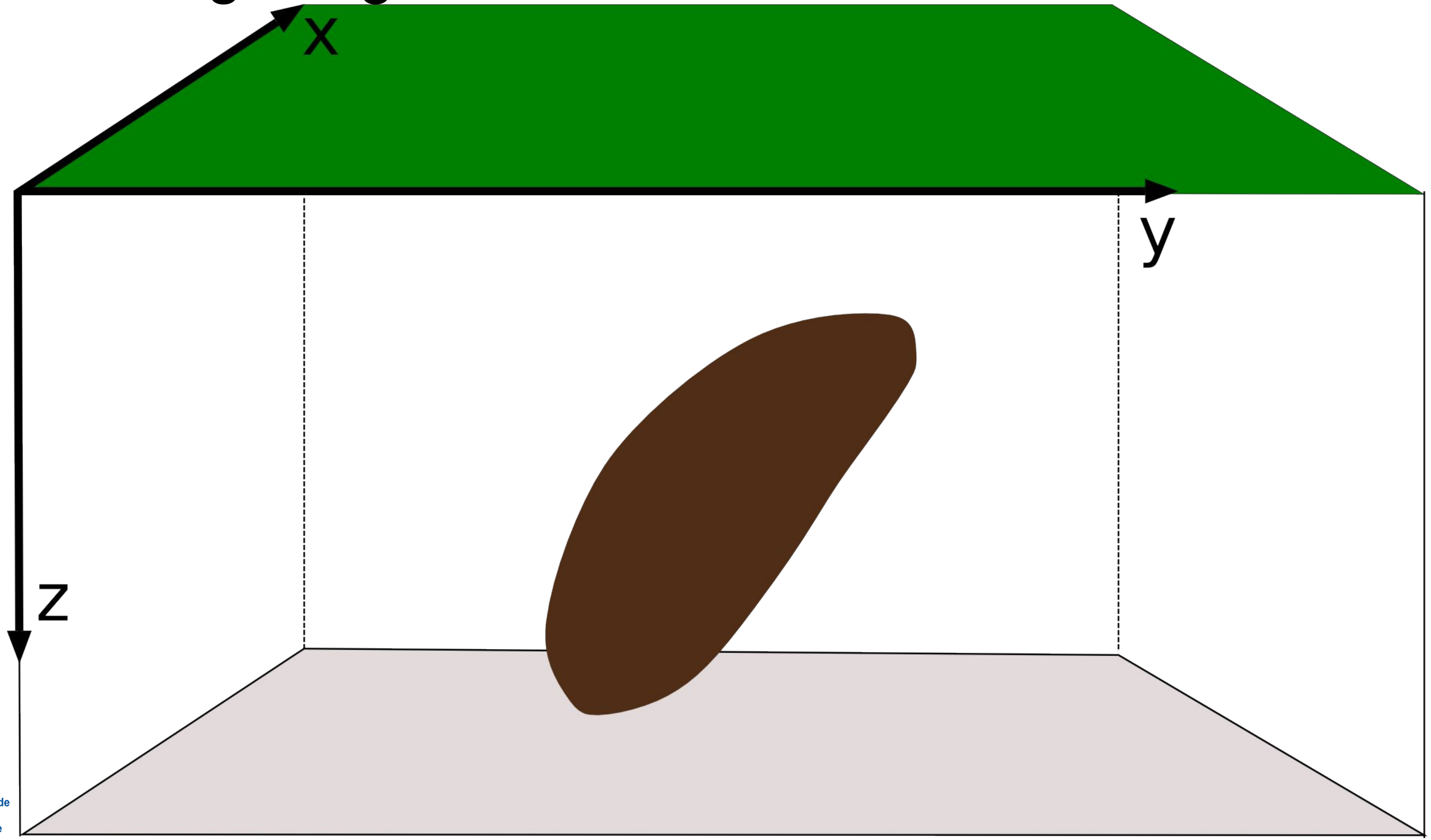
Vamos ao python!

Problema geológico/Geofísico

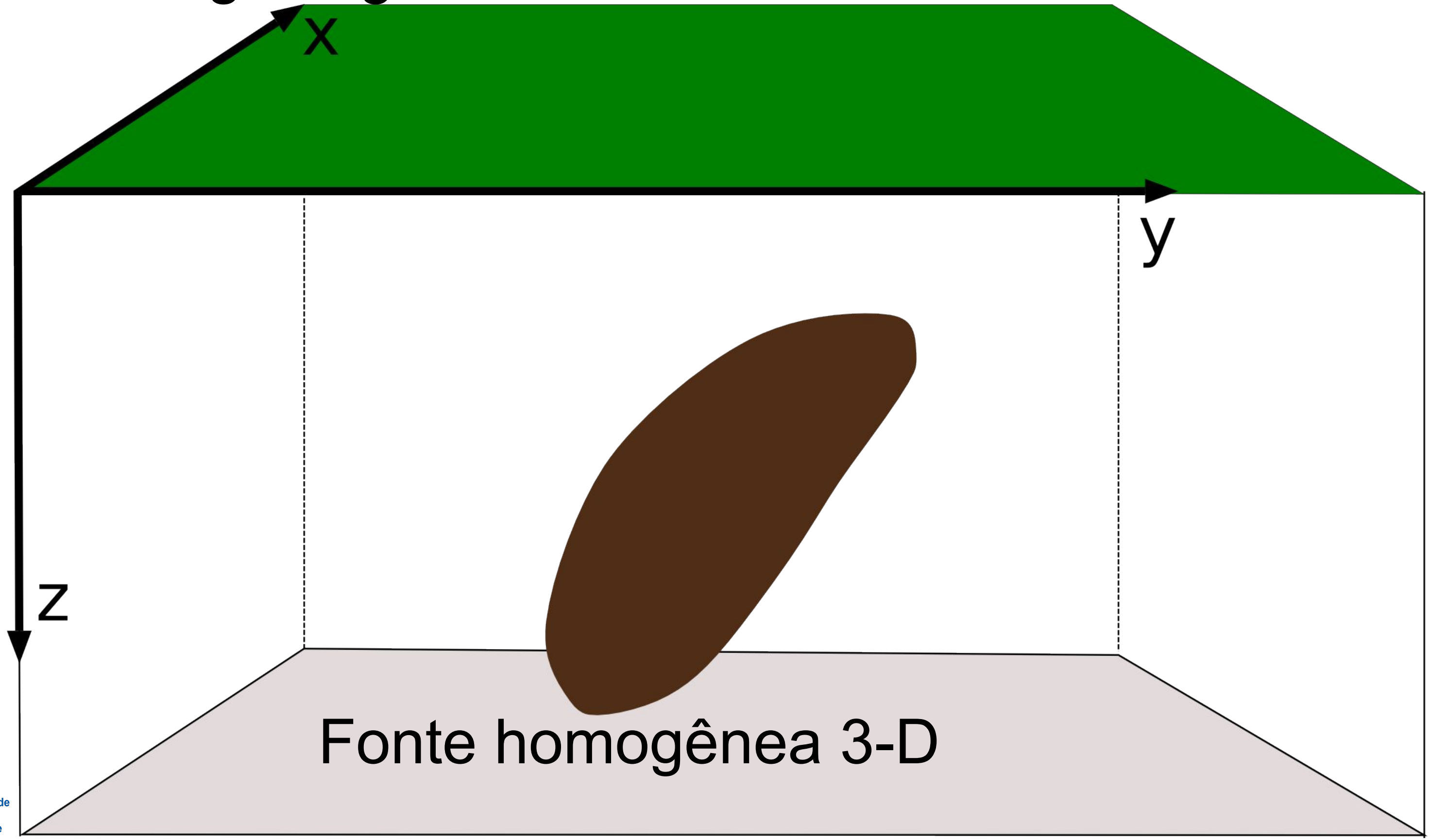
Problema geológico/Geofísico



Problema geológico/Geofísico



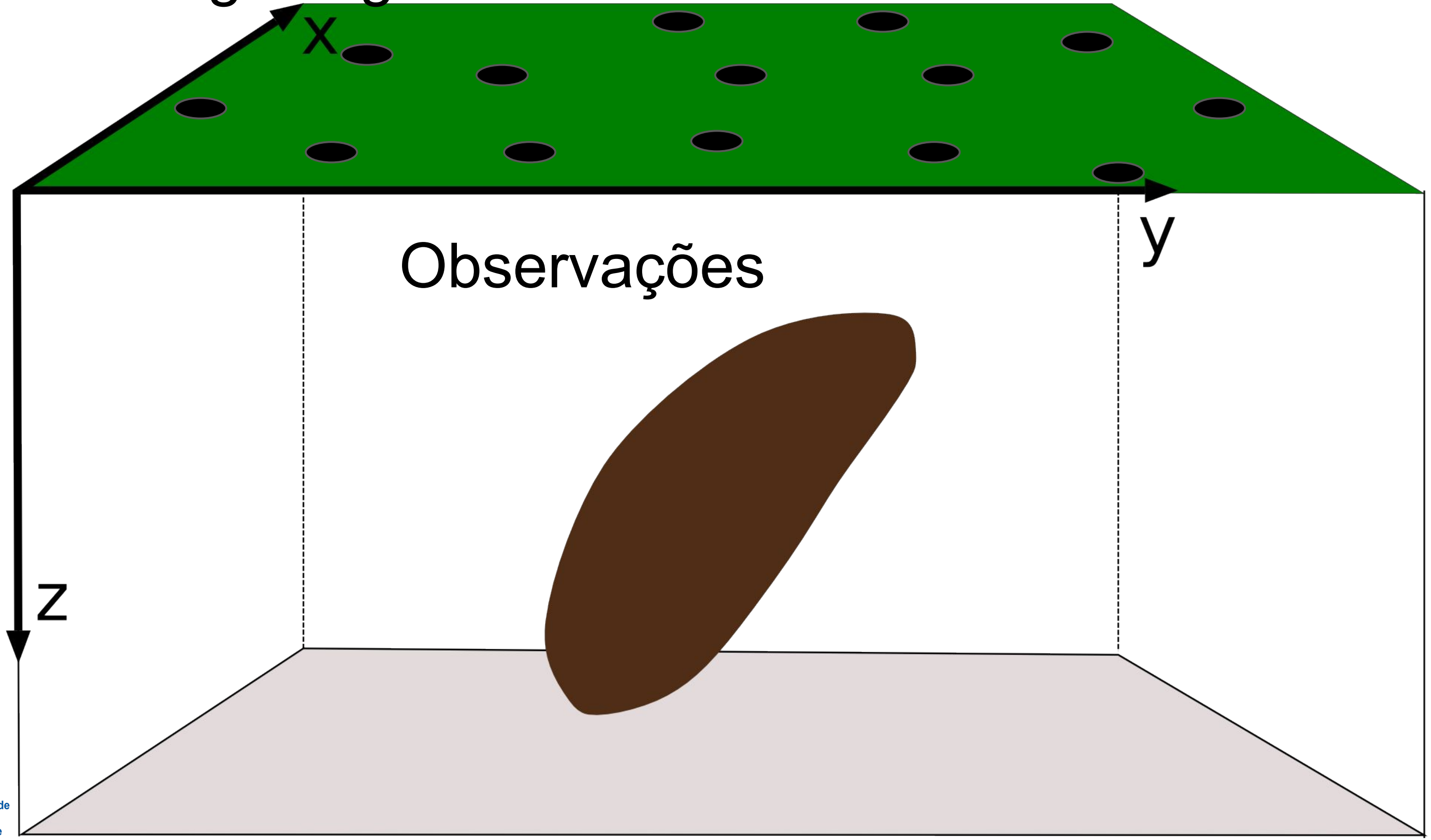
Problema geológico/Geofísico



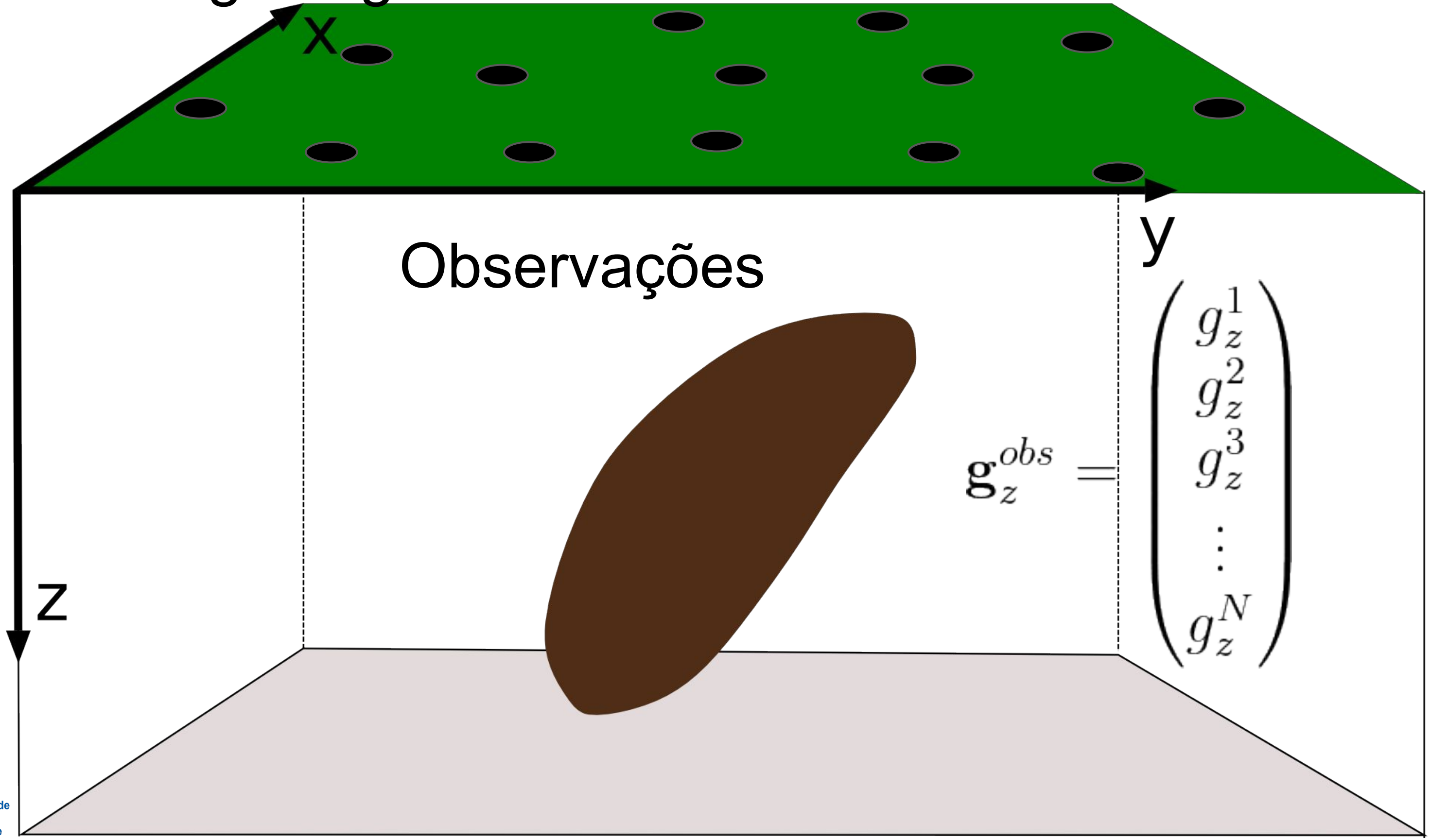
Problema geológico/Geofísico

Etapa #1: Observações

Problema geológico/Geofísico

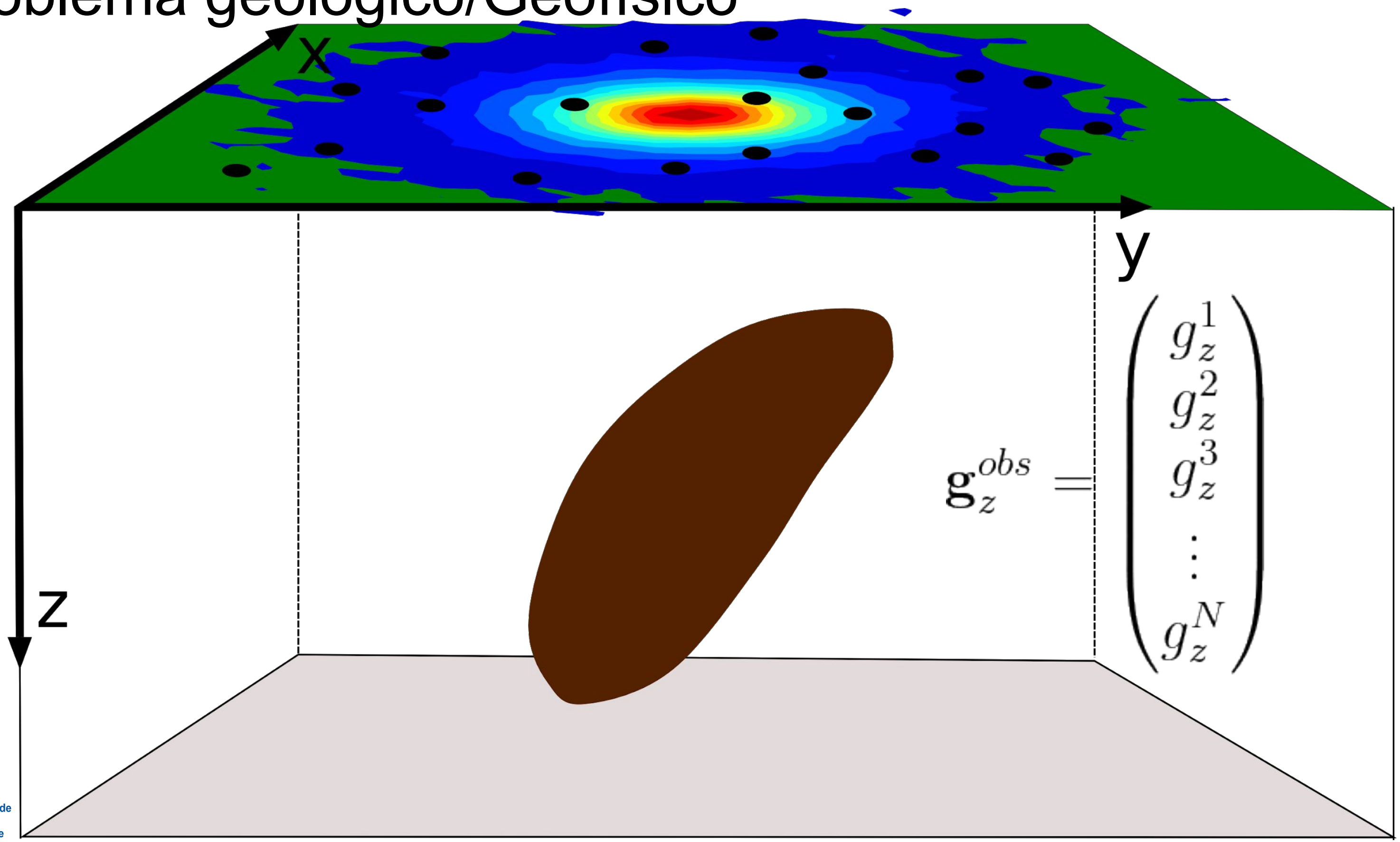


Problema geológico/Geofísico



$$\mathbf{g}_z^{obs} = \begin{pmatrix} g_z^1 \\ g_z^2 \\ g_z^3 \\ \vdots \\ g_z^N \end{pmatrix}$$

Problema geológico/Geofísico

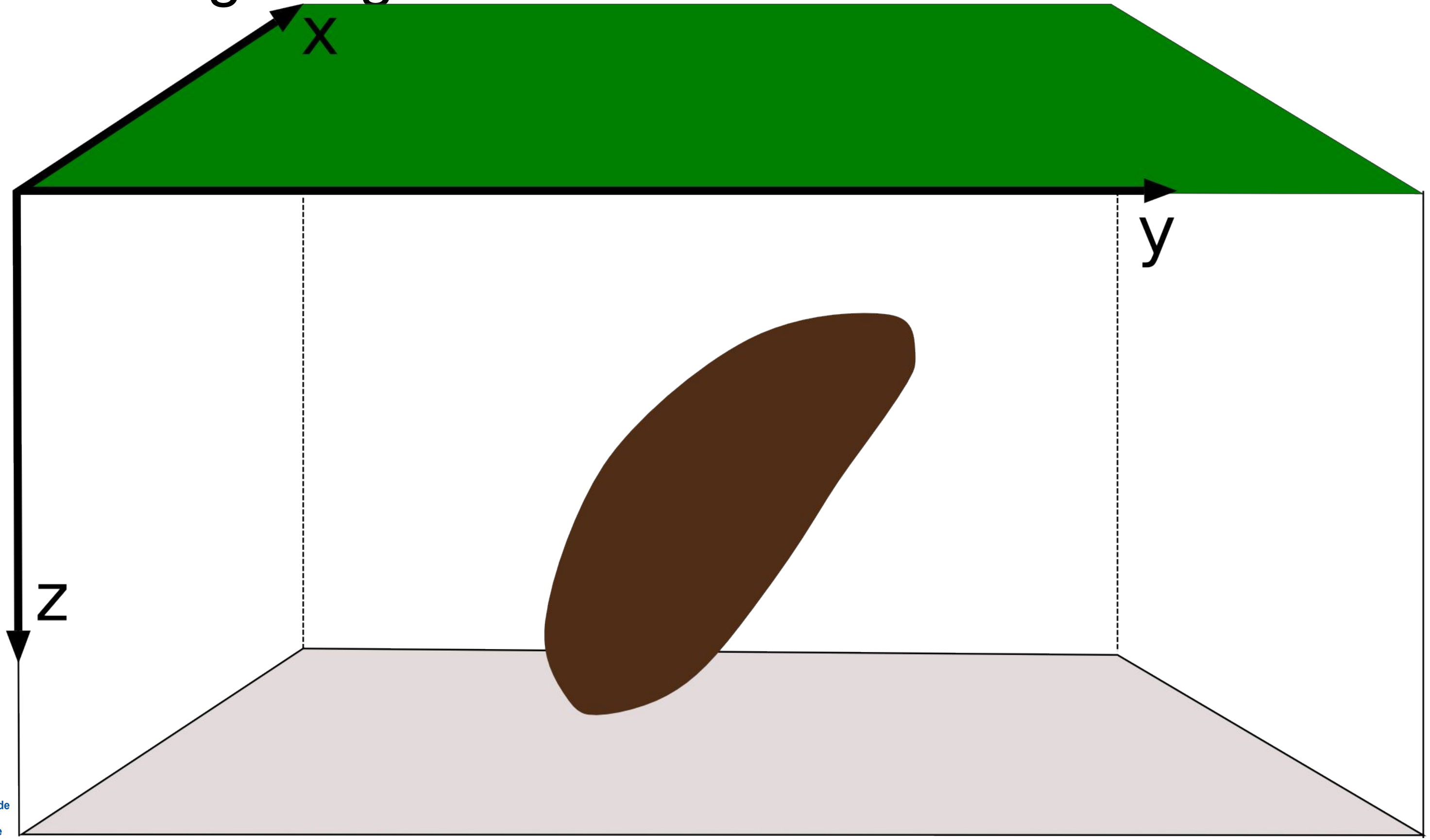


$$\mathbf{g}_z^{obs} = \begin{pmatrix} g_z^1 \\ g_z^2 \\ g_z^3 \\ \vdots \\ g_z^N \end{pmatrix}$$

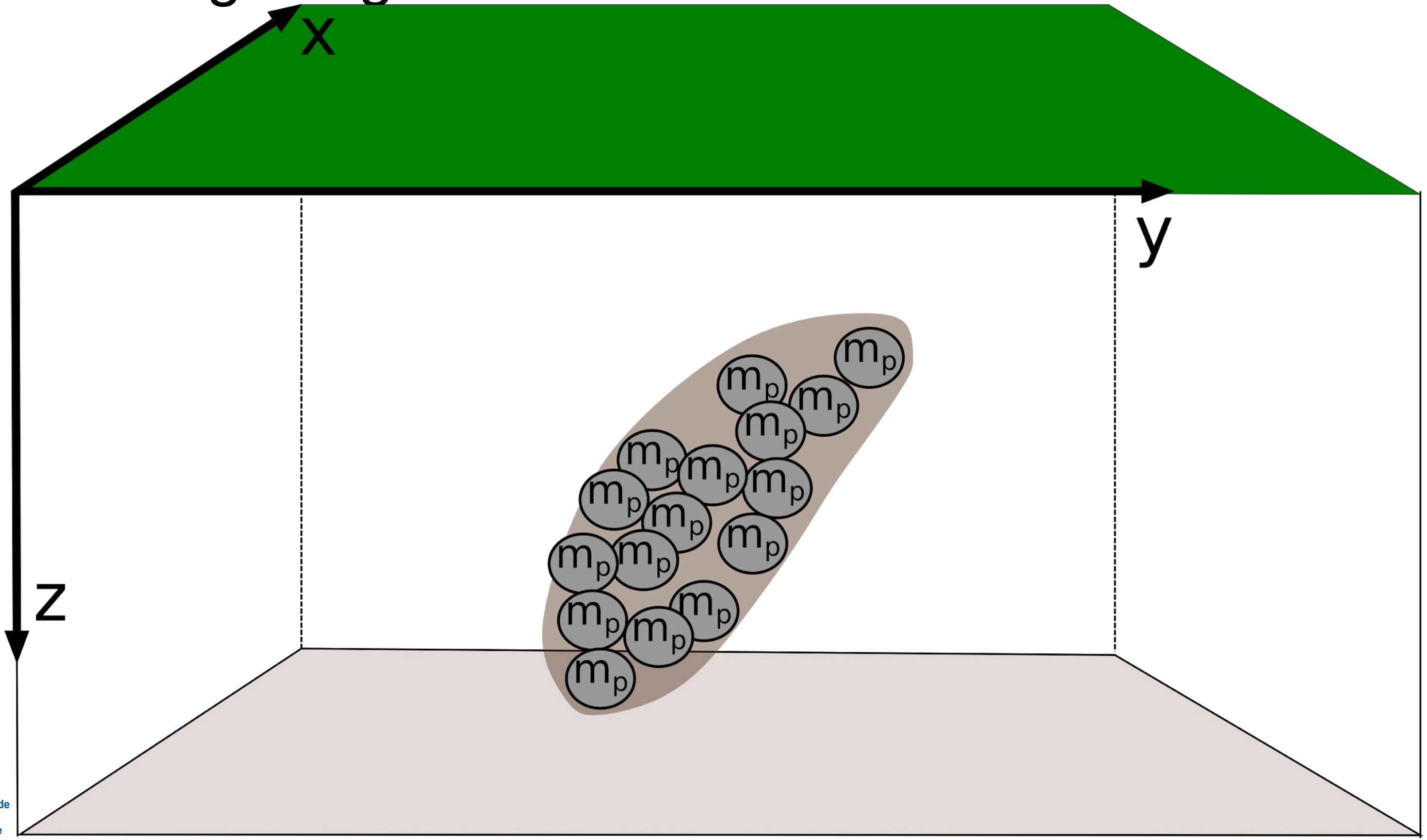
Problema geológico/Geofísico

Etapa #2: Ideia

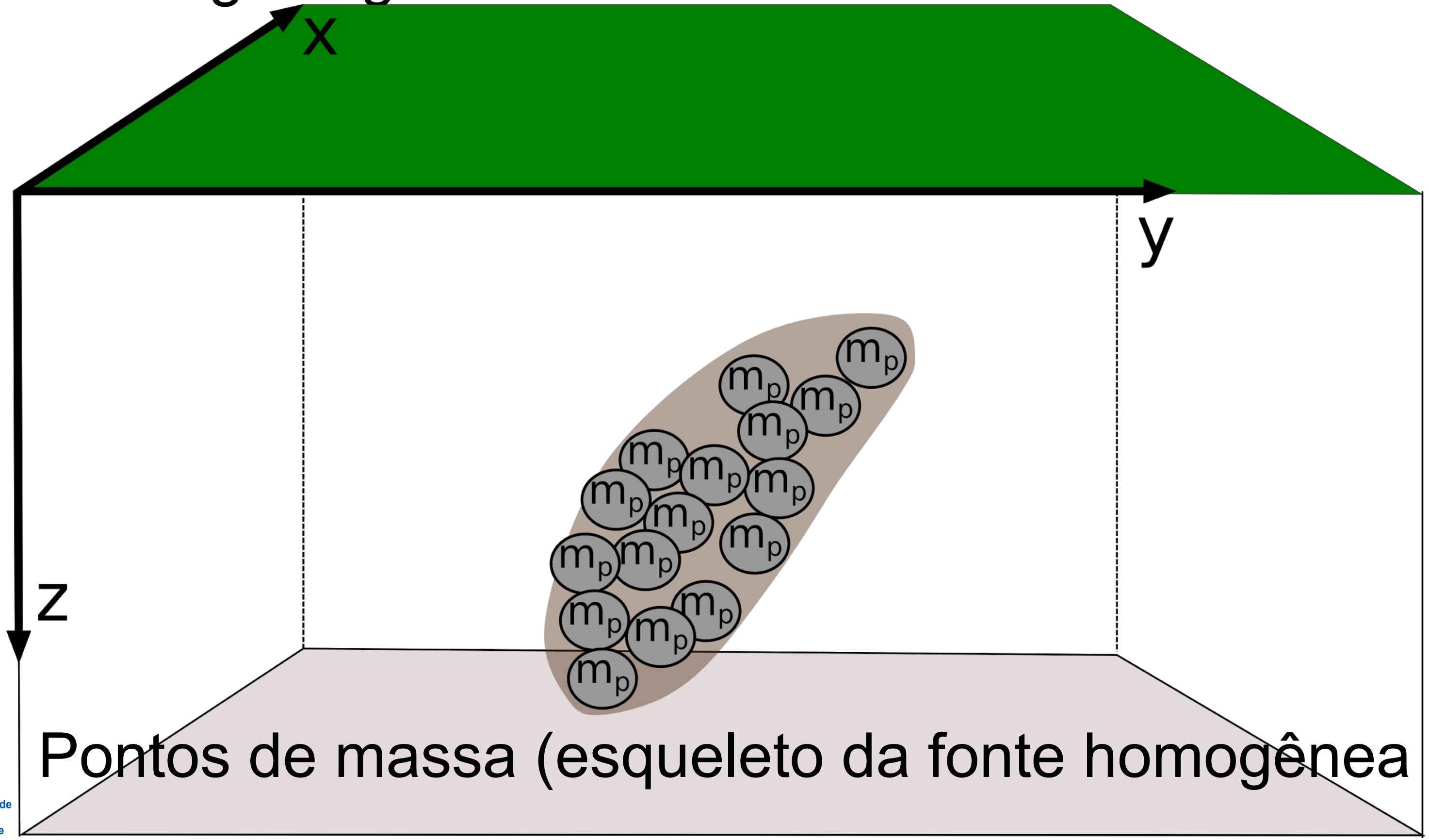
Problema geológico/Geofísico



Problema geológico/Geofísico

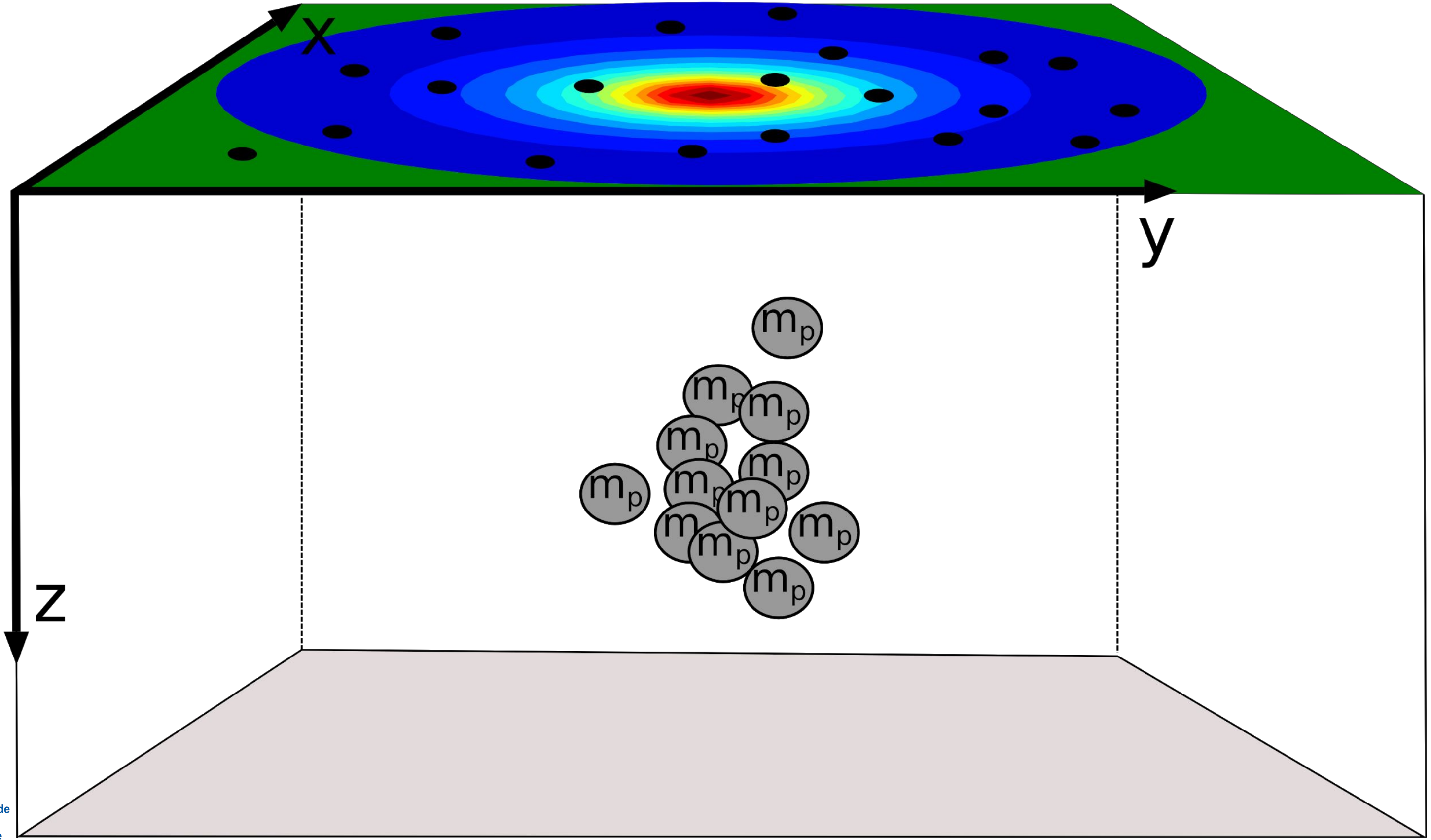


Problema geológico/Geofísico

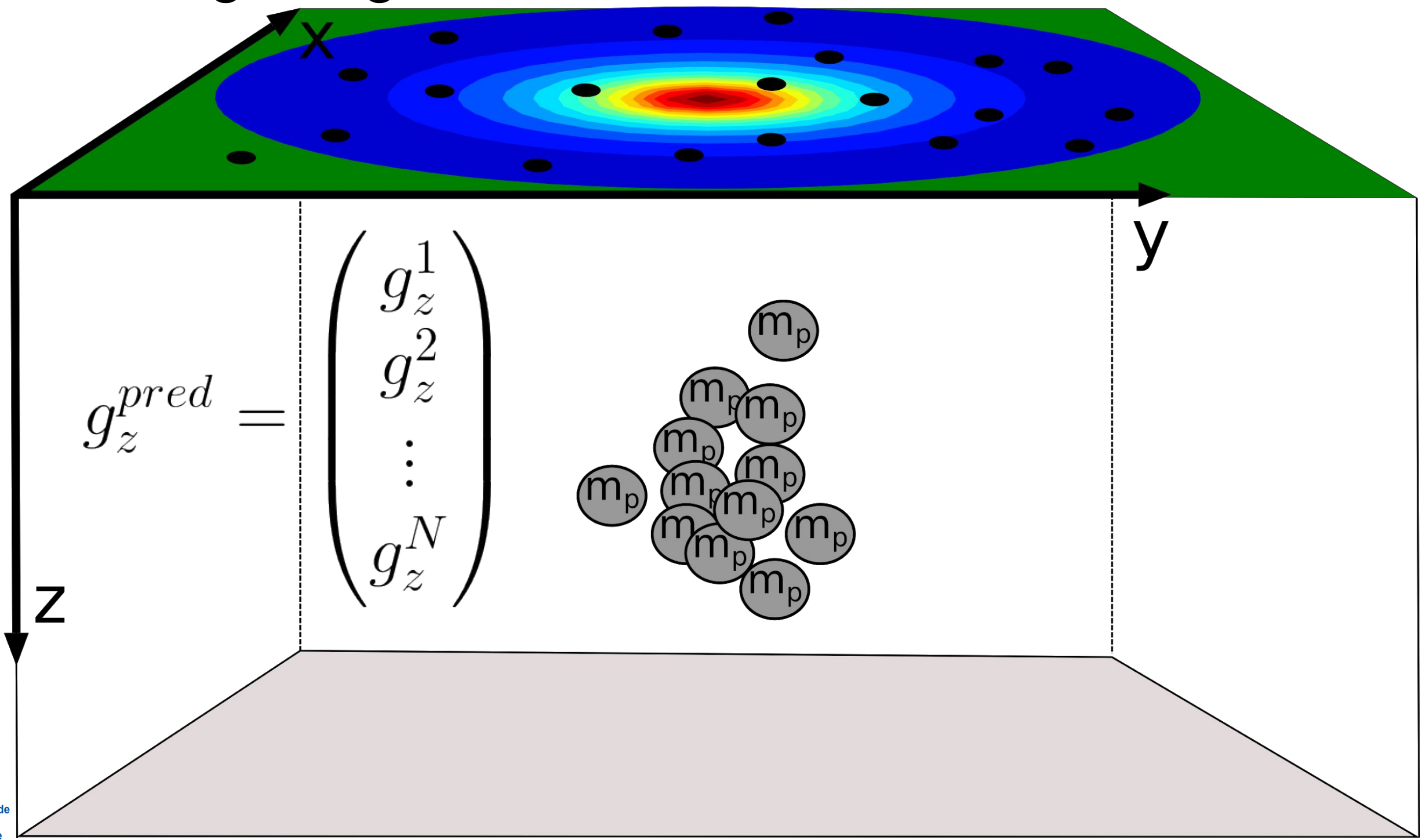


Pontos de massa (esqueleto da fonte homogênea 3-D)

Problema geológico/Geofísico

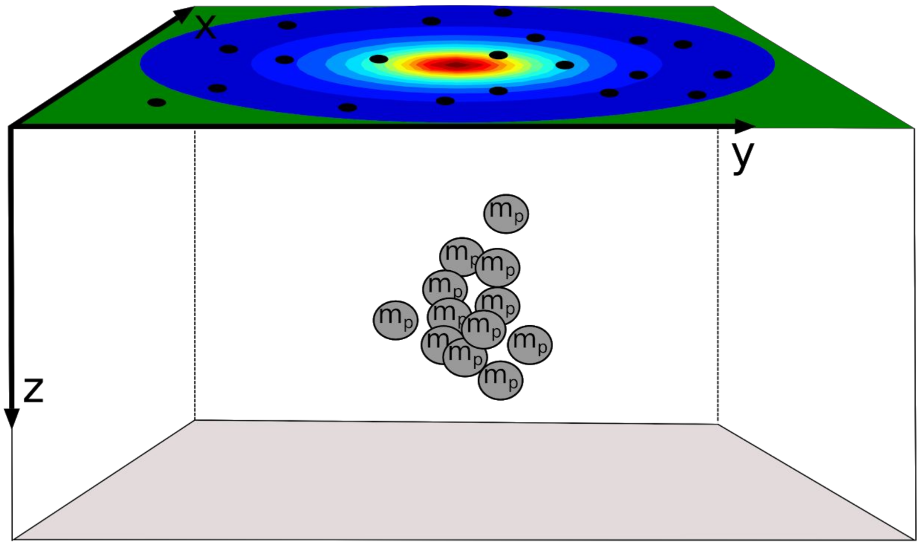


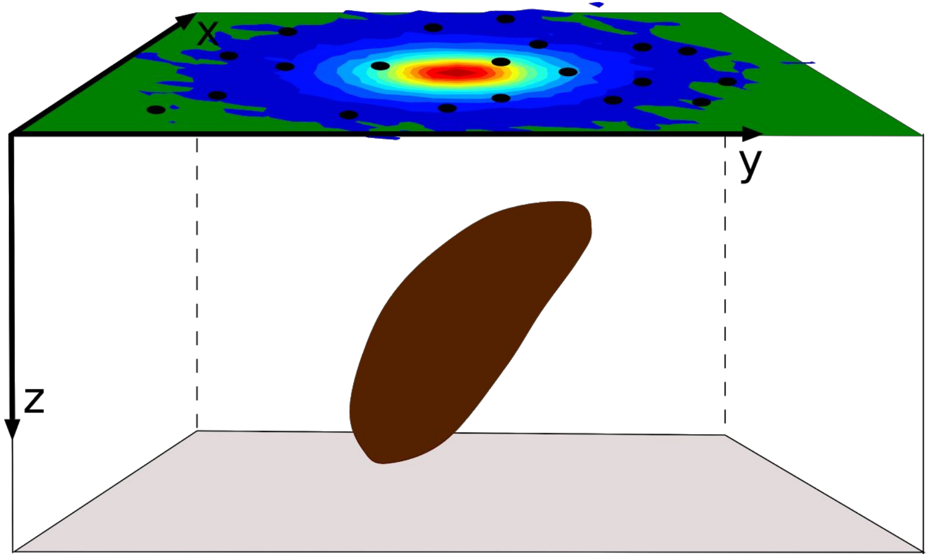
Problema geológico/Geofísico



Problema geológico/Geofísico

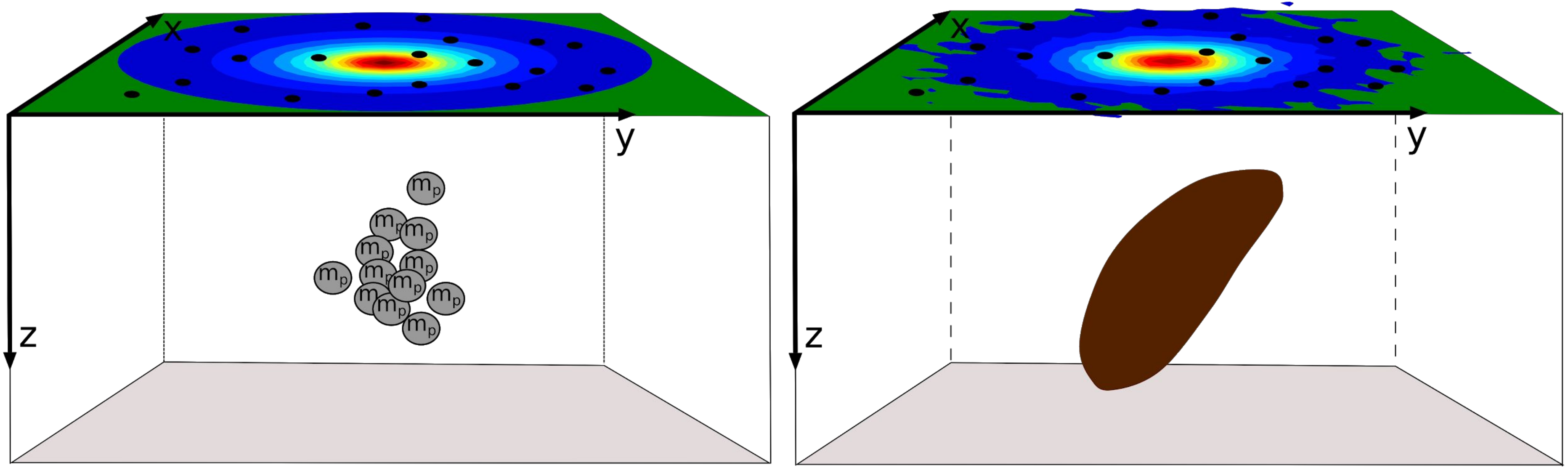
Objetivo: Comparação entre dados preditos e dados observados





Problema geológico/Geofísico

Objetivo: Comparação entre dados preditos e dados observados



Vamos à modelagem (*clickagem*)!

Agradecimentos

Observatório Nacional

RIO 2018
49º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA

9º Simpósio do Cretáceo do Brasil
Rio de Janeiro - 2018

VII Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados

20 a 24 de agosto de 2018
Centro de Convenções Sul América - Rio de Janeiro - RJ

Universidade Federal Fluminense

- Cosme Ponte Neto (ON-MCTIC) - sugestões
- Nelson Ribeiro Filho (ON-MCTIC) - funções
- Diego Takahashi (ON-MCTIC) - Plot 3D + slice
- Ingrid (UFRJ)