

# **Camada equivalente aplicada ao processamento e interpretação de dados de campos potenciais**

Vanderlei C. Oliveira Jr.

2016



**Observatório  
Nacional**



# Introdução à Camada Equivalente

Vanderlei C. Oliveira Jr.

2016



Observatório  
Nacional



# Breve histórico

- Essa técnica surgiu no final dos anos 60, com o trabalho de Dampney (1969)
- É útil para:
  - interpolação (Cordell, 1992; Mendonça e Silva, 1994)
  - continuação para cima (Emilia, 1973; Hansen and Miyazaki, 1984; Li and Oldenburg, 2010)
  - redução ao pólo (Silva 1986; Leão and Silva, 1989; Guspí and Novara, 2009)

# Breve histórico

- Essa técnica surgiu no final dos anos 60, com o trabalho de Dampney (1969)
- É útil para:
  - interpolação (Cordell, 1992; Mendonça e Silva, 1994)
  - continuação para cima (Emilia, 1973; Hansen and Miyazaki, 1984; Li and Oldenburg, 2010)
  - redução ao pólo (Silva 1986; Leão and Silva, 1989; Guspí and Novara, 2009)

# Breve histórico

- Alguns trabalhos foram feitos para reduzir o custo computacional da CE (Leão e Silva, 1989; Mendonça e Silva, 1994; Li and Oldenburg, 2010; Barnes and Lumley, 2011; Oliveira Jr. et al., 2013)
- Atualmente, os principais esforços são feitos com o intuito de tornar a CE viável do ponto de vista computacional

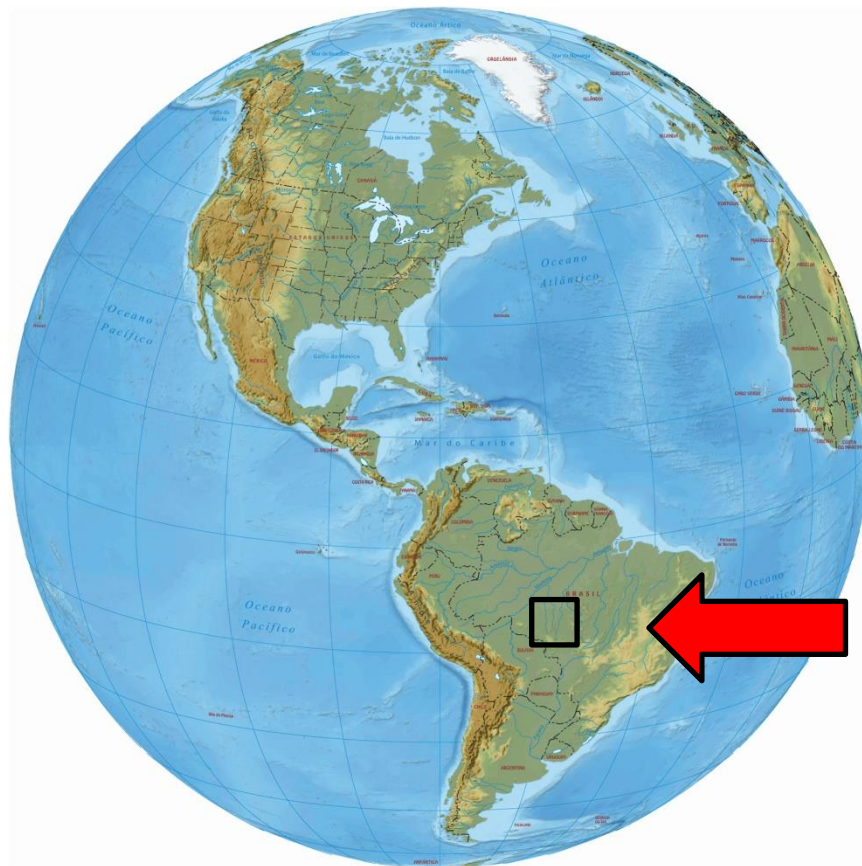
# Breve histórico

- Alguns trabalhos foram feitos para reduzir o custo computacional da CE (Leão e Silva, 1989; Mendonça e Silva, 1994; Li and Oldenburg, 2010; Barnes and Lumley, 2011; Oliveira Jr. et al., 2013)
- Atualmente, os principais esforços são feitos com o intuito de tornar a CE viável do ponto de vista computacional

# Isso serve pra quê?

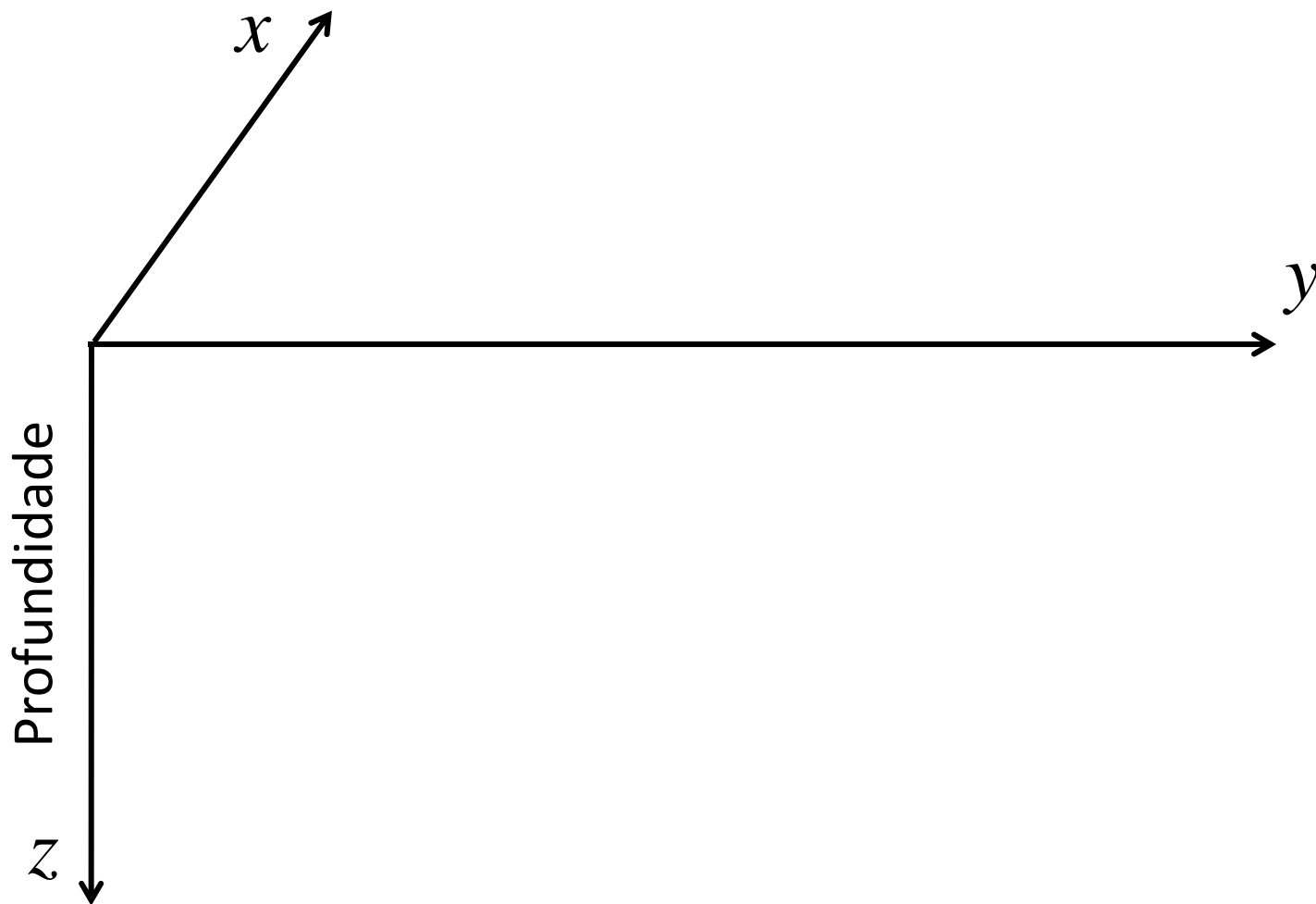


# Isso serve pra quê?



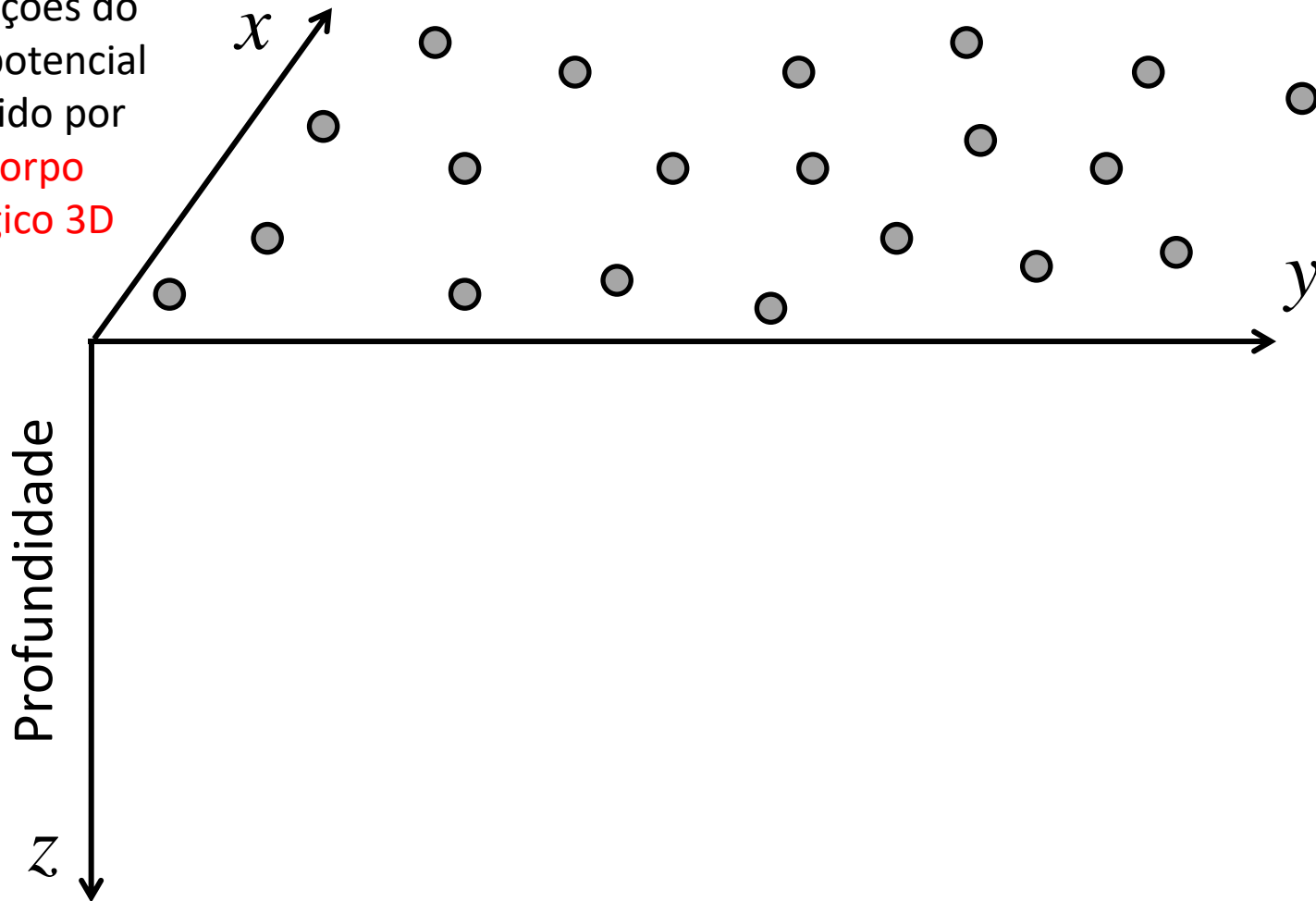


Isso serve pra quê?



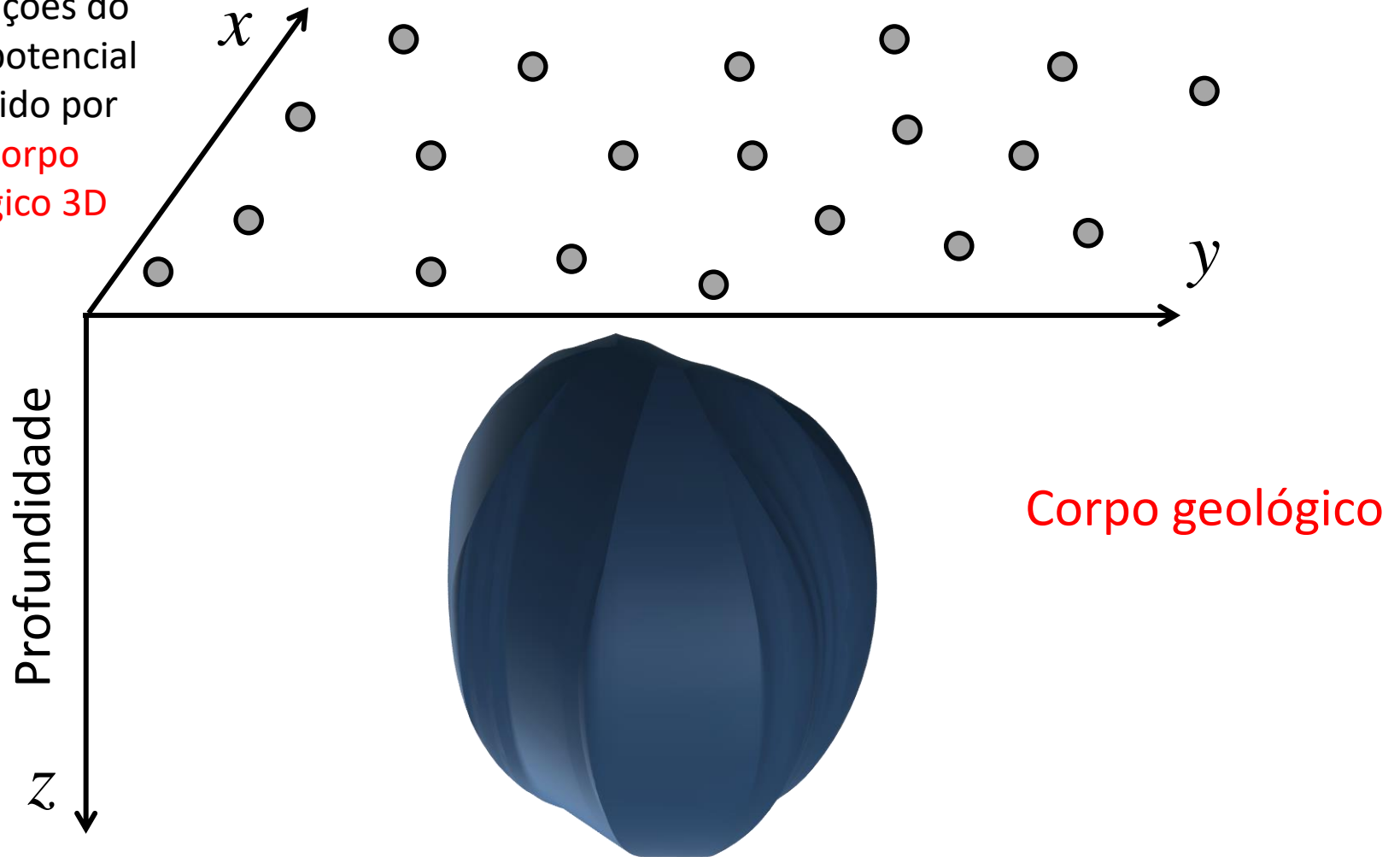
# Isso serve pra quê?

Conjunto de  $N$   
observações do  
campo potencial  
produzido por  
um corpo  
geológico 3D



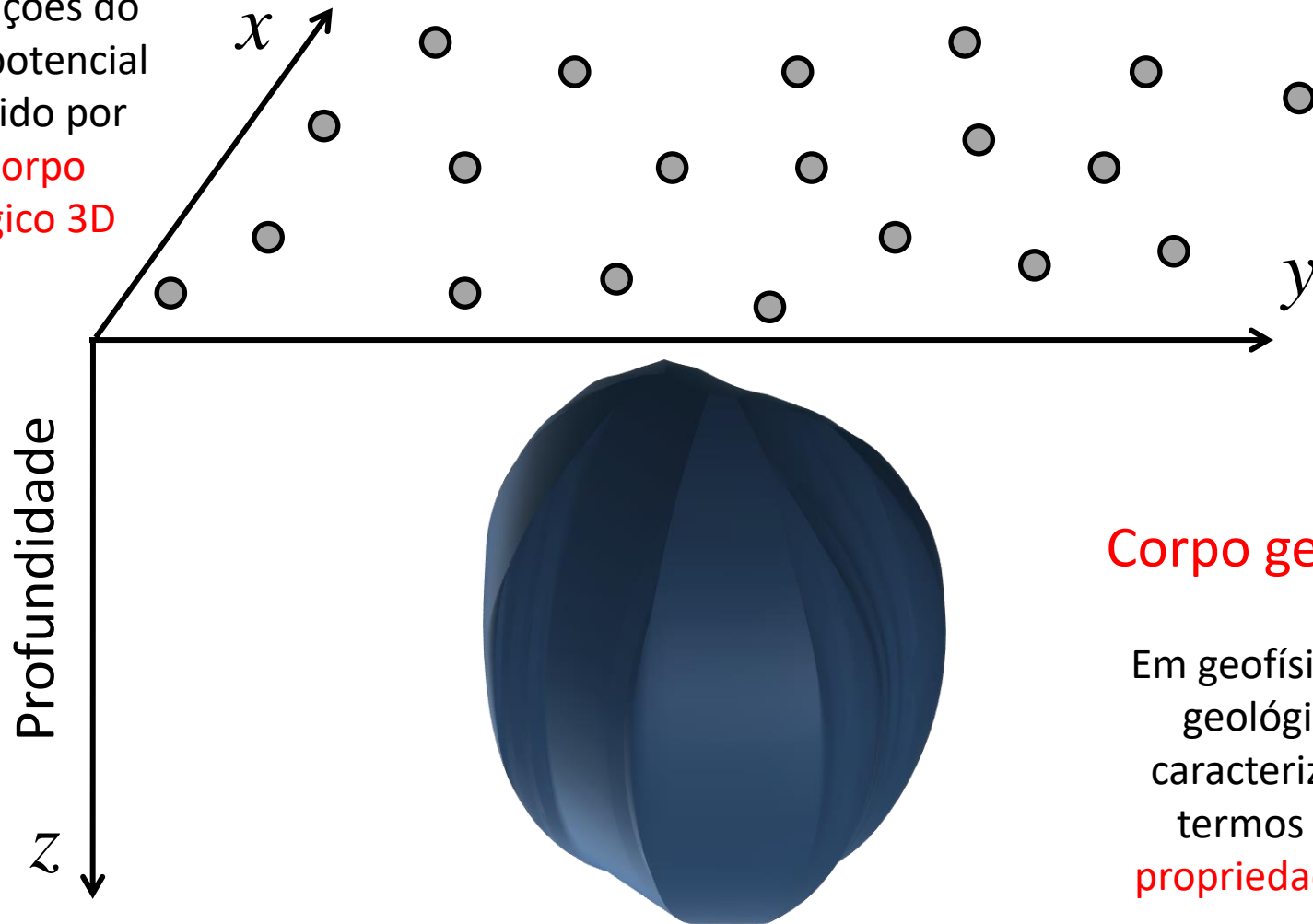
# Isso serve pra quê?

Conjunto de  $N$   
observações do  
campo potencial  
produzido por  
um corpo  
geológico 3D



# Isso serve pra quê?

Conjunto de  $N$  observações do campo potencial produzido por um corpo geológico 3D

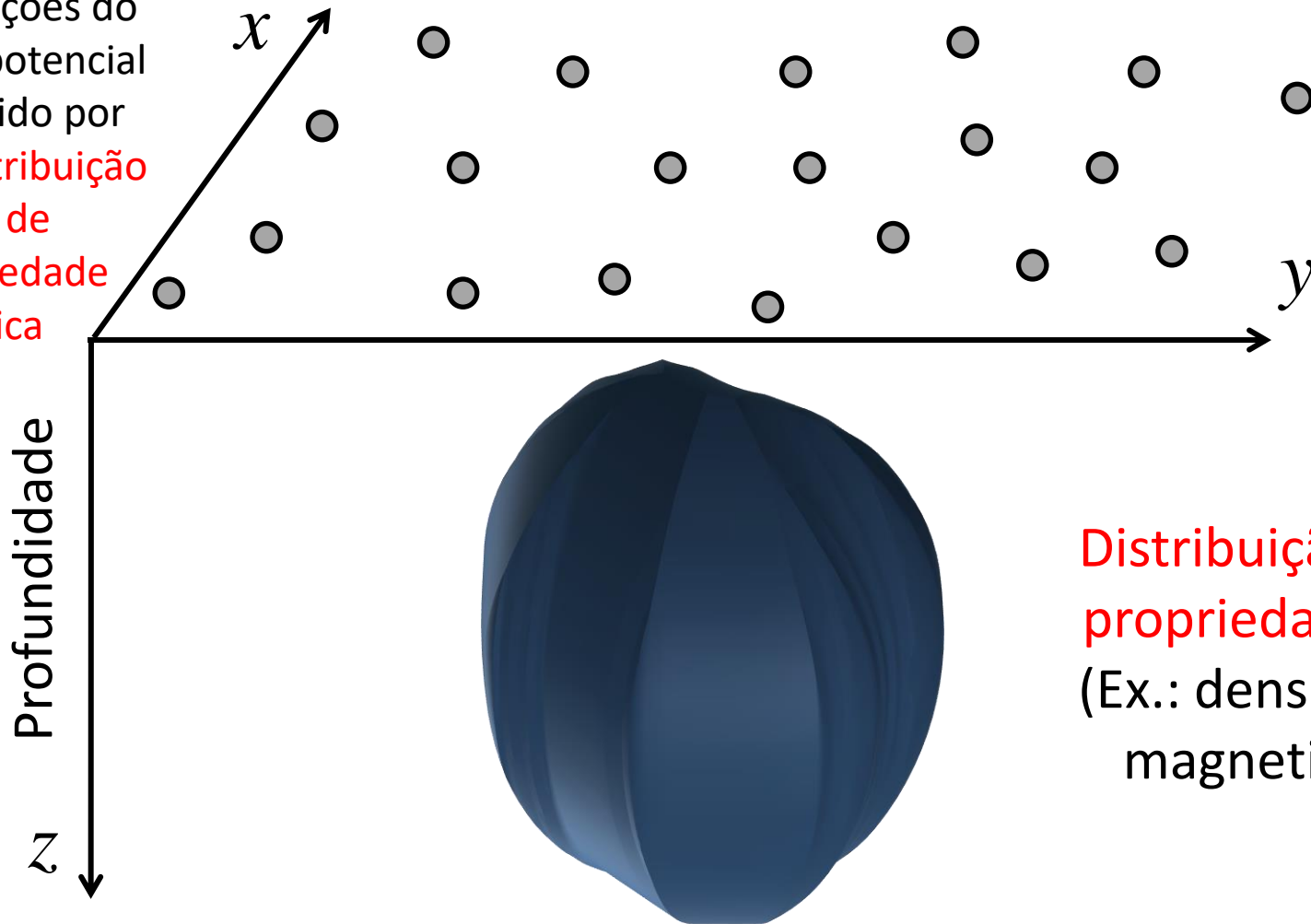


Corpo geológico

Em geofísica, corpos geológicos são caracterizados em termos de suas propriedades físicas

# Isso serve pra quê?

Conjunto de  $N$   
observações do  
campo potencial  
produzido por  
uma distribuição  
3D de  
propriedade  
física

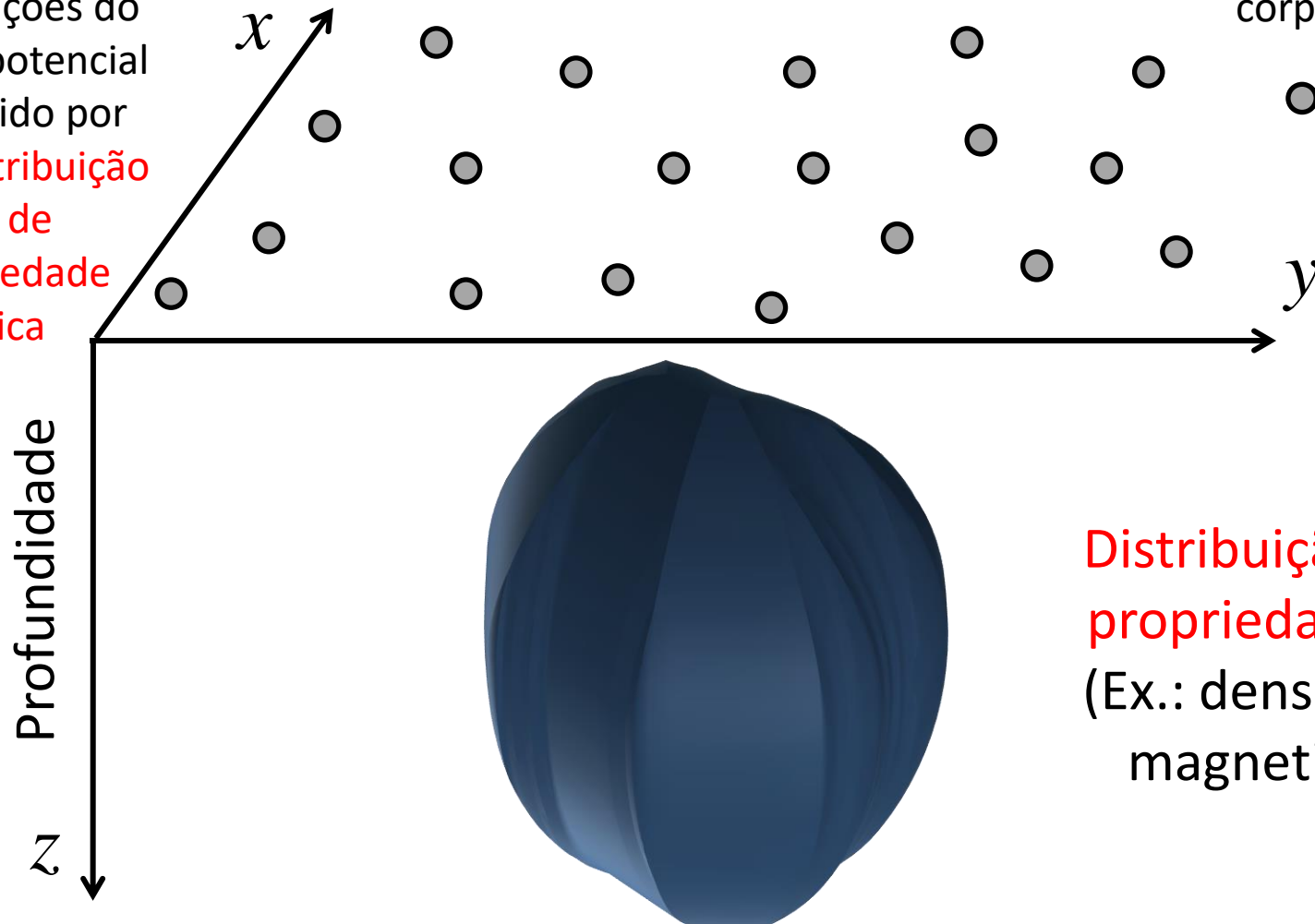


Distribuição 3D de  
propriedade física  
(Ex.: densidade ou  
magnetização)

# Isso serve pra quê?

Os dados medidos nestes pontos em cinza são utilizados, em geral, para estimar alguma informação sobre o corpo geológico

Conjunto de  $N$  observações do campo potencial produzido por uma distribuição 3D de propriedade física

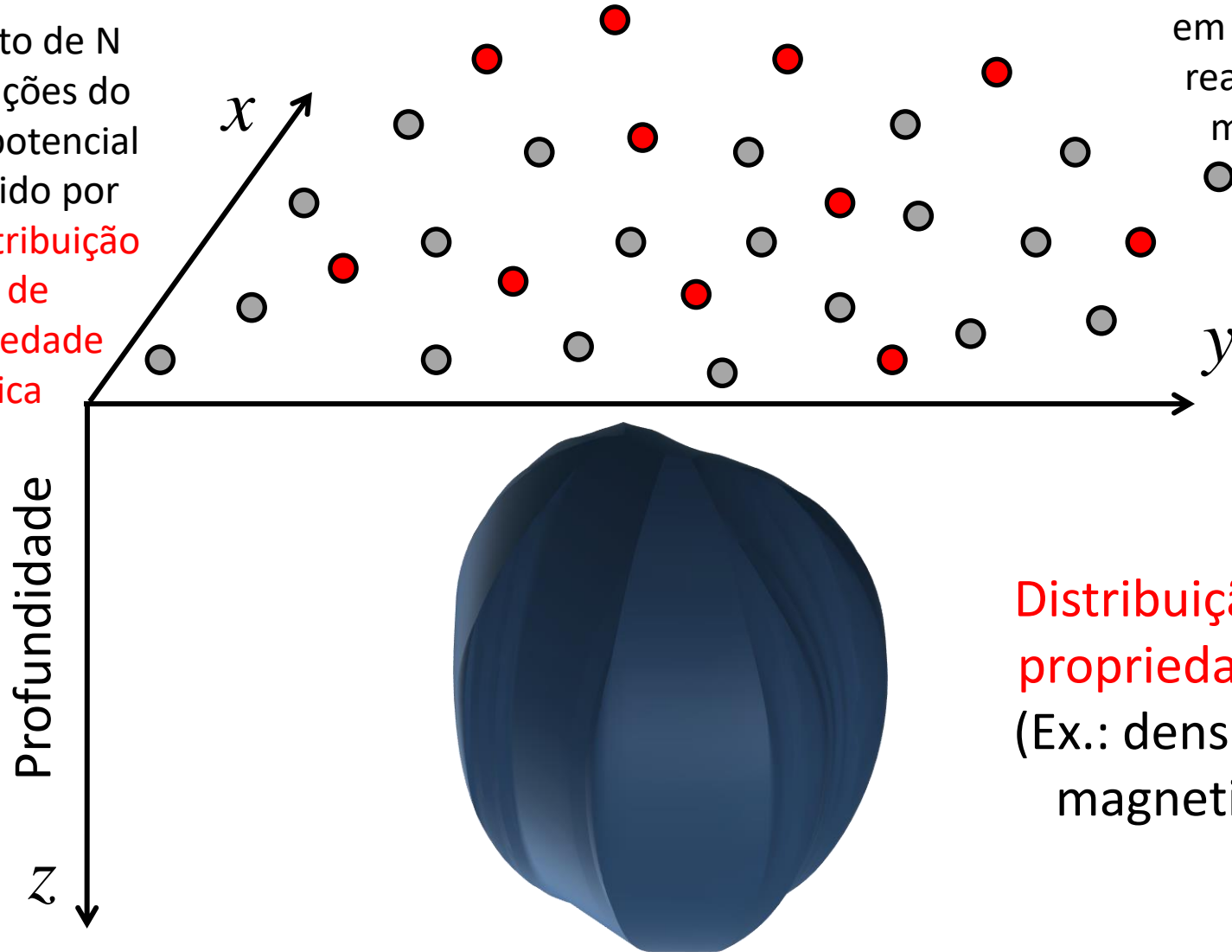


Distribuição 3D de propriedade física  
(Ex.: densidade ou magnetização)

# Isso serve pra quê?

Para tanto, às vezes,  
é necessário  
conhecer o valor do  
dato em pontos  
diferentes daqueles  
em que foram  
realizadas as  
medições

Conjunto de  $N$   
observações do  
campo potencial  
produzido por  
uma distribuição  
3D de  
propriedade  
física

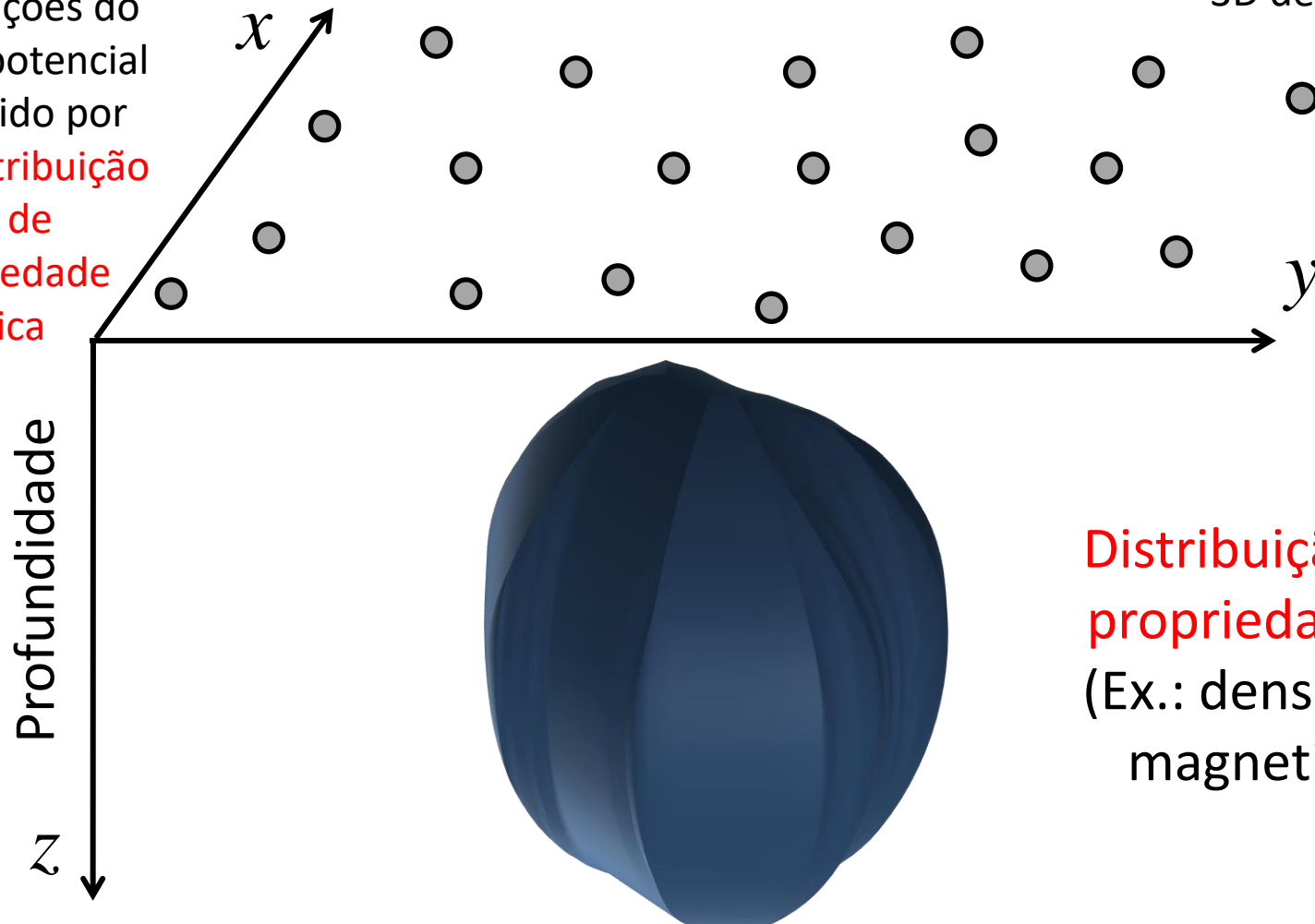


Distribuição 3D de  
propriedade física  
(Ex.: densidade ou  
magnetização)

# Isso serve pra quê?

ou calcular alguma  
outra quantidade  
derivada dos dados  
e útil para estimar  
alguma informação  
sobre a distribuição  
3D de propriedade  
física

Conjunto de N  
observações do  
campo potencial  
produzido por  
uma distribuição  
3D de  
propriedade  
física



**Distribuição 3D de  
propriedade física**  
(Ex.: densidade ou  
magnetização)



Isso serve pra quê?

ou calcular alguma  
outra quantidade  
derivada dos dados

para estimar  
na informação  
a distribuição  
e propriedade  
física

A camada  
equivalente

pode ser usada  
pra fazer essas  
coisas!

ção 3D de  
ade física  
sidade ou  
tização)

Conjunto de N  
observações do  
campo potencia  
produzido por  
uma distribuição  
3D de  
propriedade  
física

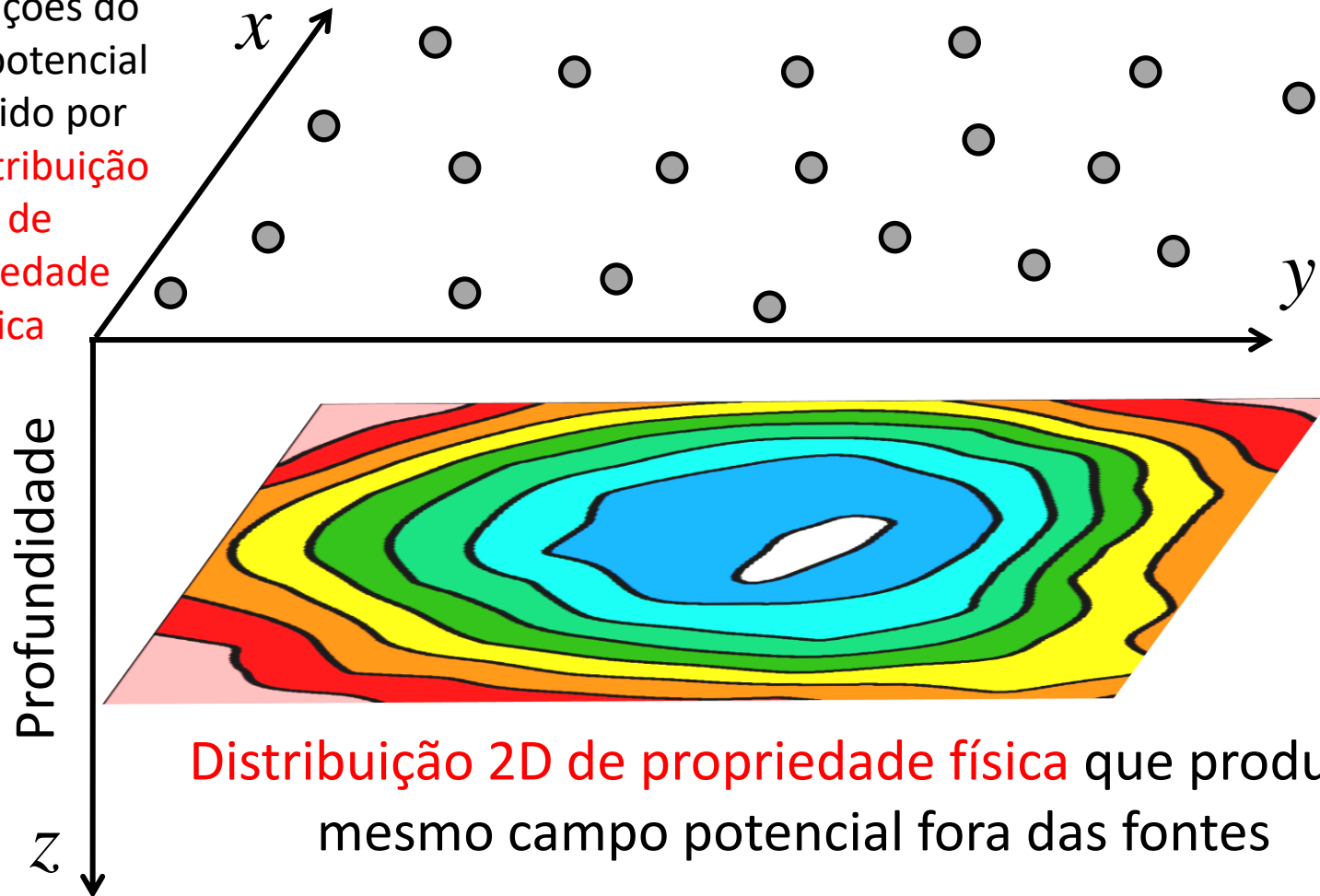
Profundidade

$z$



# O que é uma camada equivalente?

Conjunto de  $N$   
observações do  
campo potencial  
produzido por  
uma distribuição  
3D de  
propriedade  
física



?

# O que é uma camada equivalente?

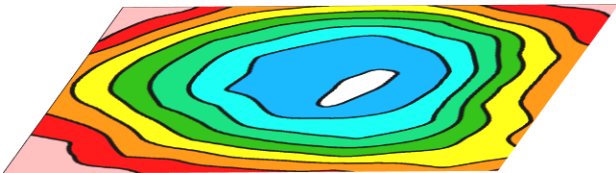


Fonte verdadeira  
(corpo geológico)

# O que é uma camada equivalente?



Fonte verdadeira  
(corpo geológico)

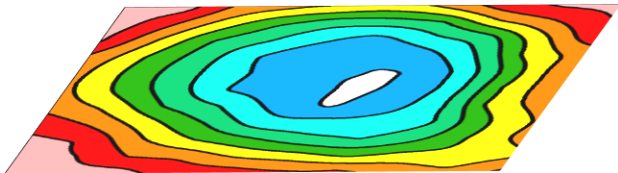


Fonte fictícia  
diferente da  
verdadeira

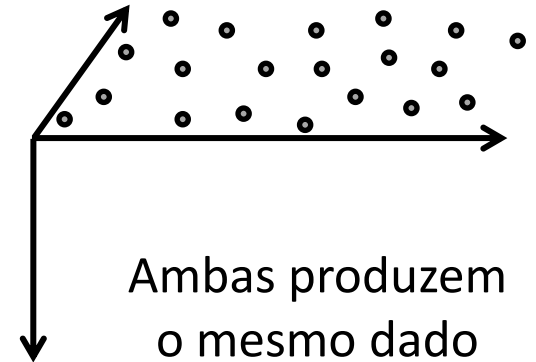
# O que é uma camada equivalente?



Fonte verdadeira  
(corpo geológico)



Fonte fictícia  
diferente da  
verdadeira

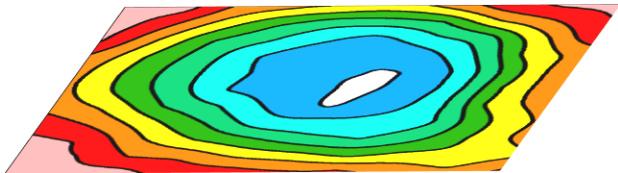


Ambas produzem  
o mesmo dado  
nos **pontos de  
observação**

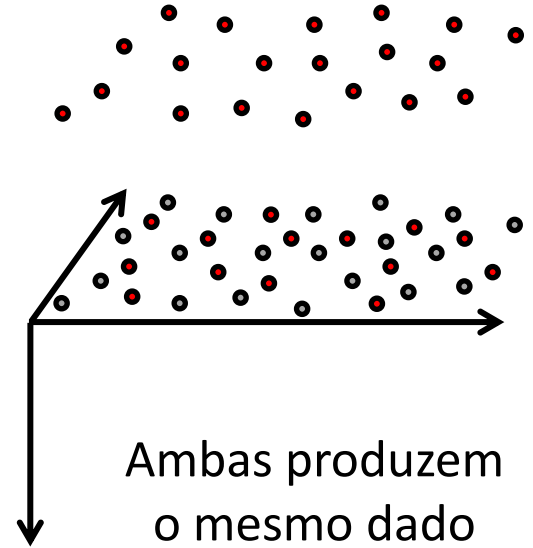
# O que é uma camada equivalente?



Fonte verdadeira  
(corpo geológico)



Fonte fictícia  
diferente da  
verdadeira



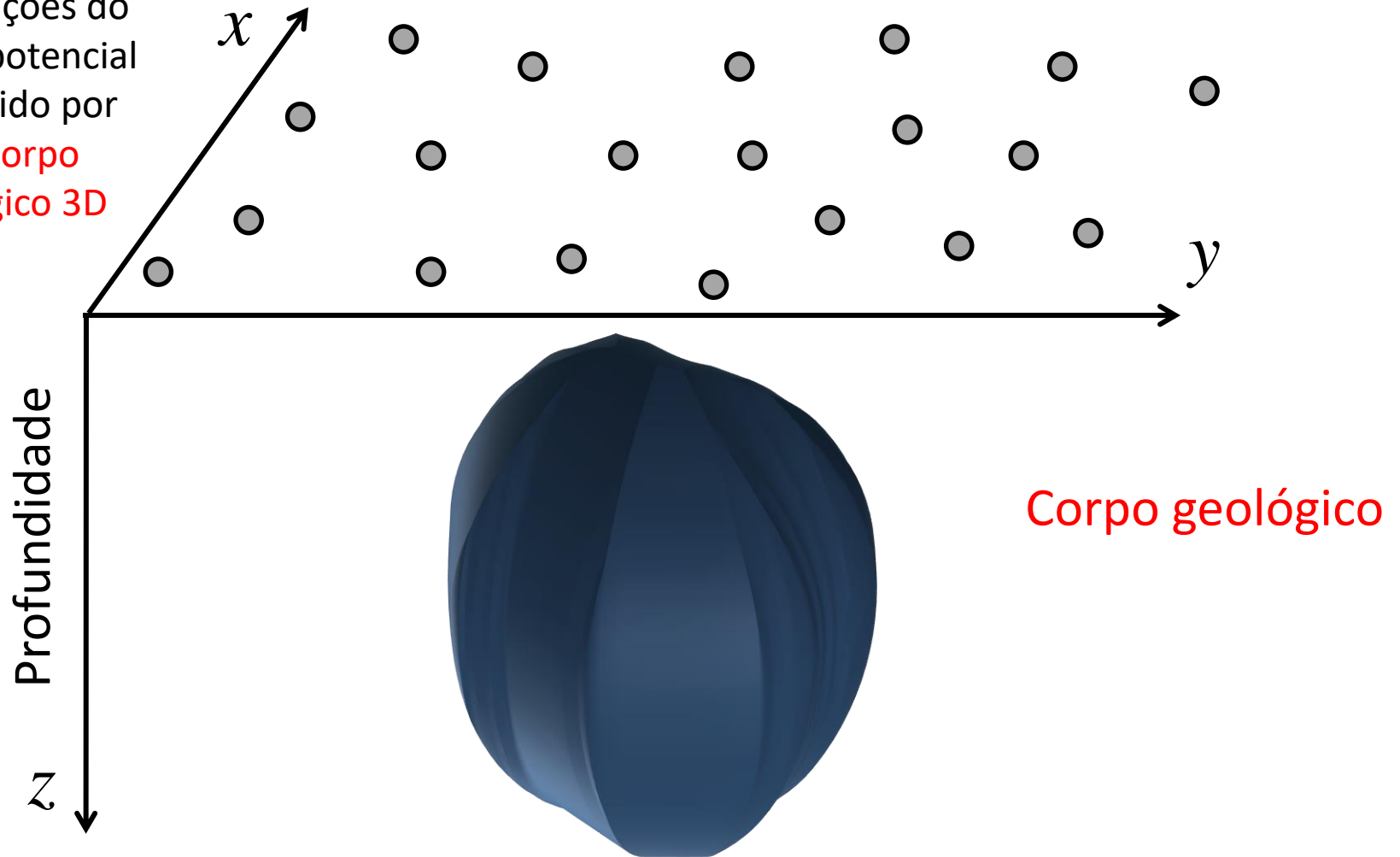
Ambas produzem  
o mesmo dado  
nos **pontos de  
observação e  
também em  
outros pontos  
próximos**

E daí?



# Como usar isso?

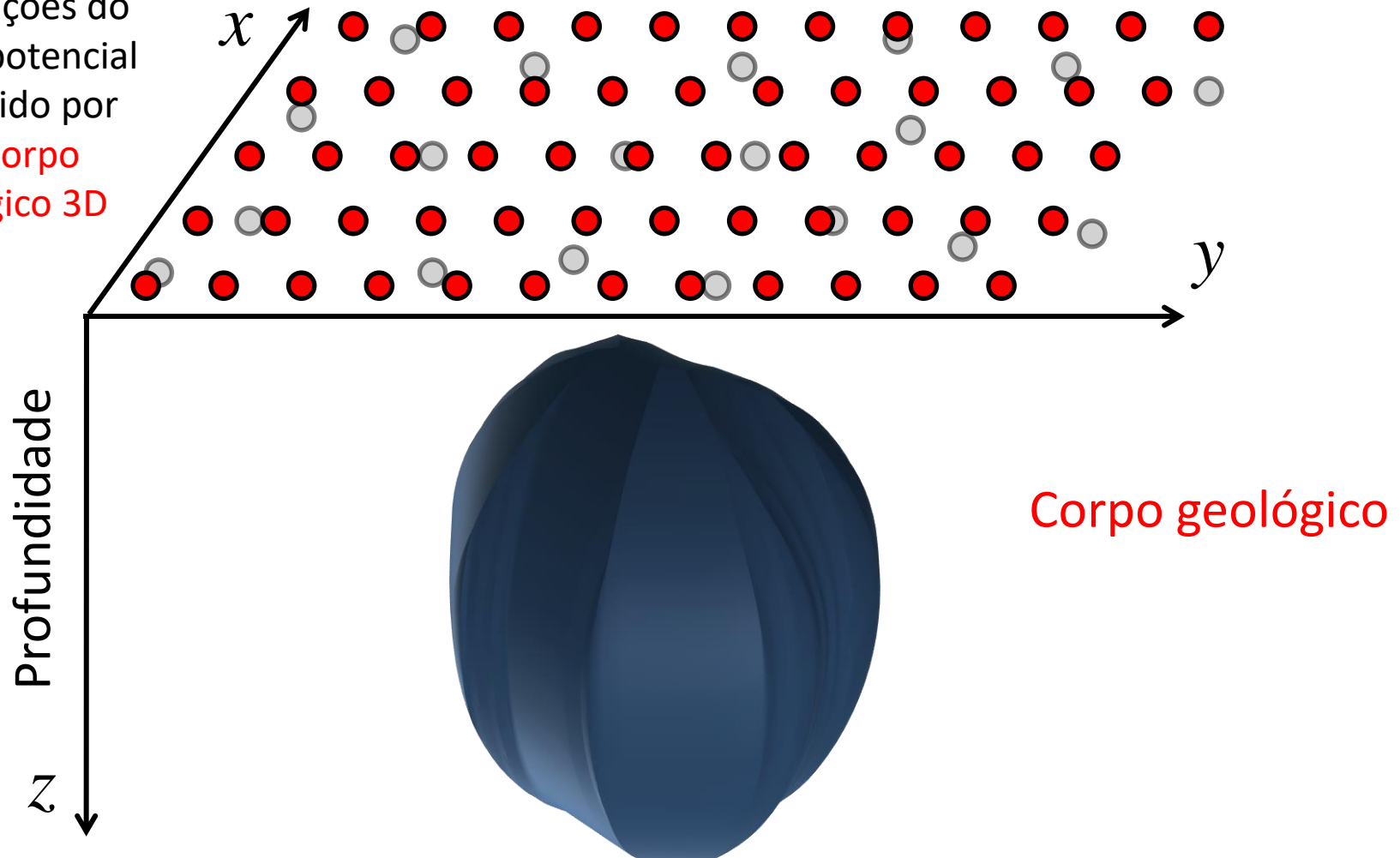
Conjunto de  $N$   
observações do  
campo potencial  
produzido por  
um corpo  
geológico 3D



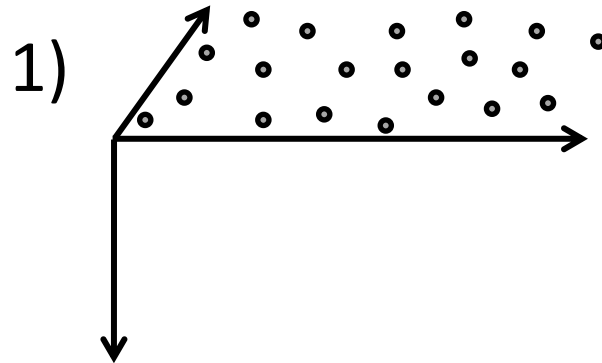
# Como usar isso?

Considere, por exemplo, que os dados precisam ser “gridados”

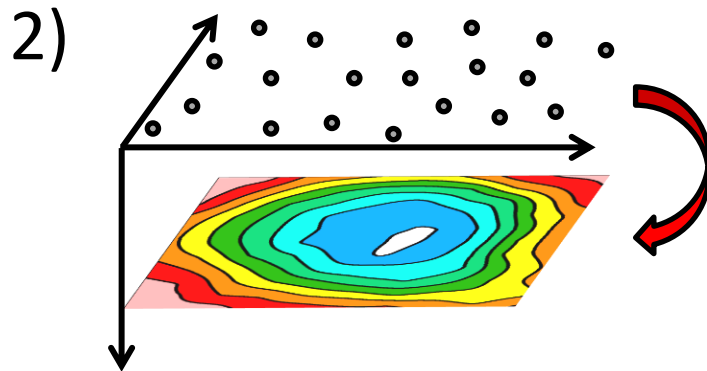
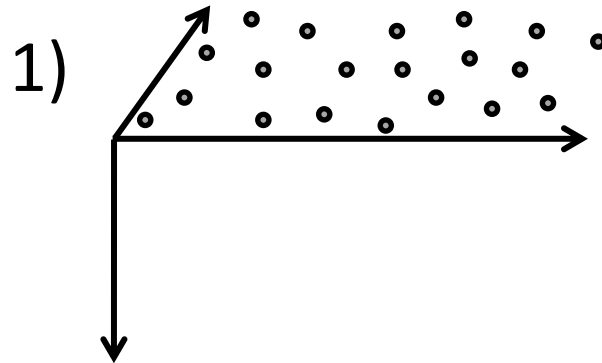
Conjunto de  $N$  observações do campo potencial produzido por um corpo geológico 3D



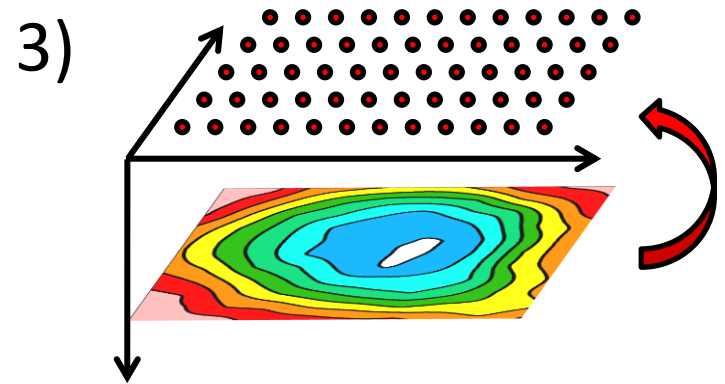
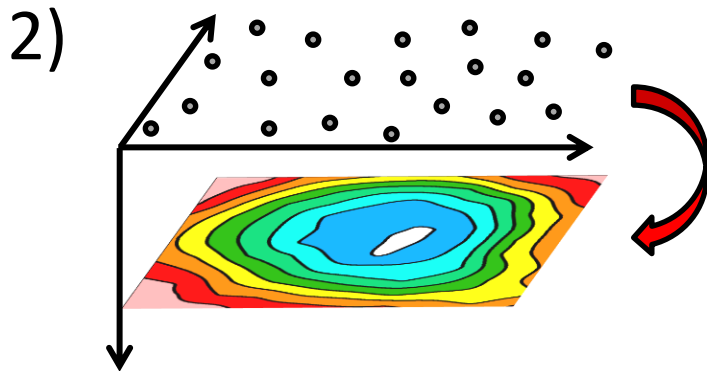
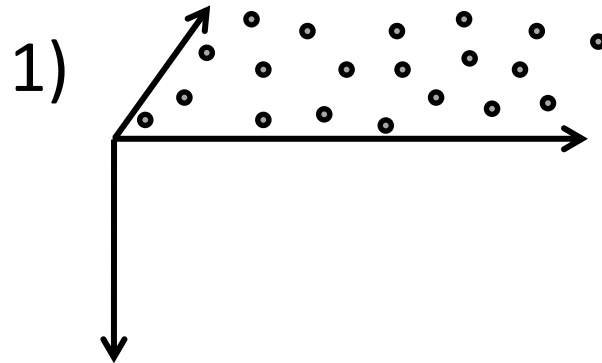
# Como usar isso?



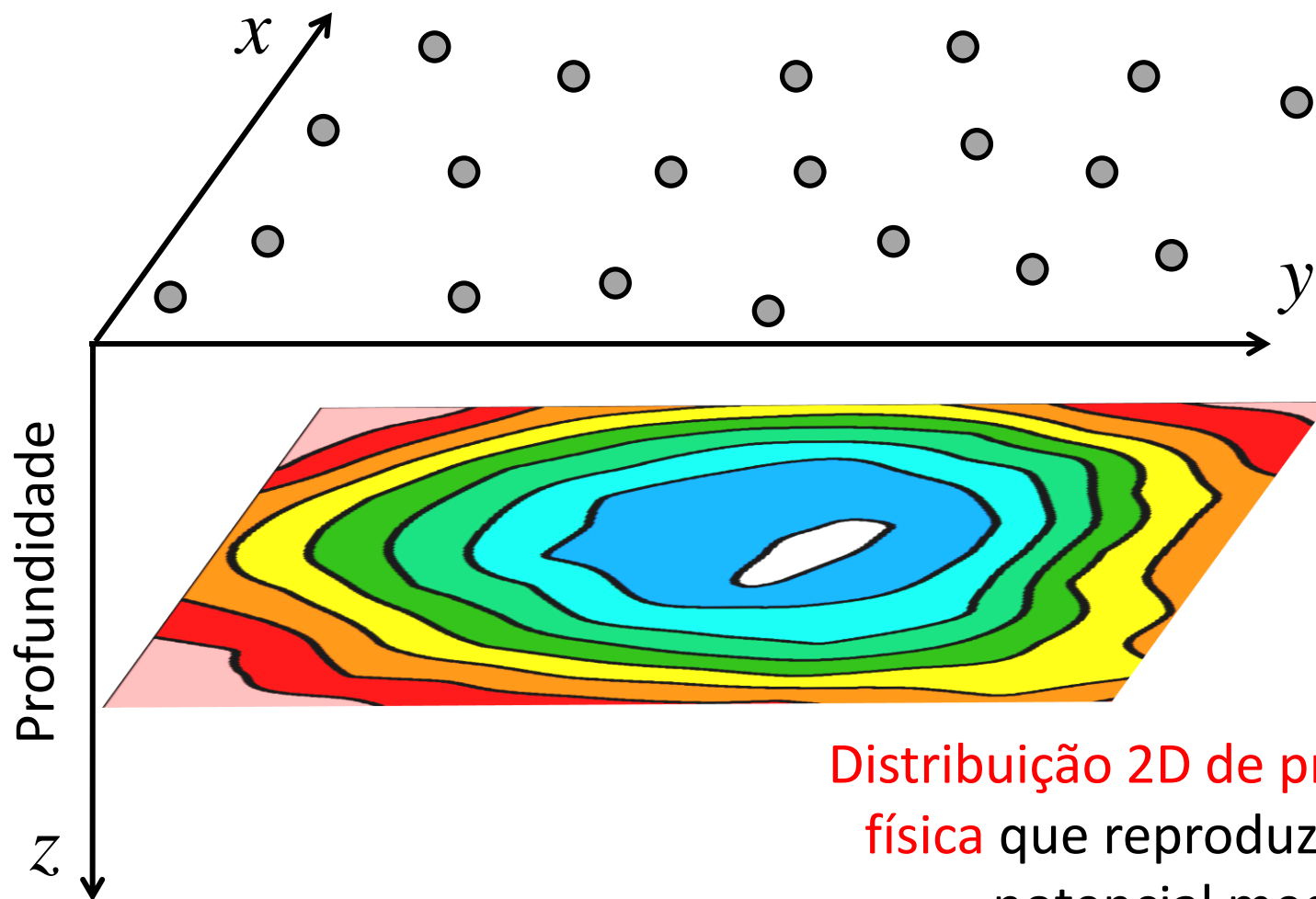
# Como usar isso?



# Como usar isso?

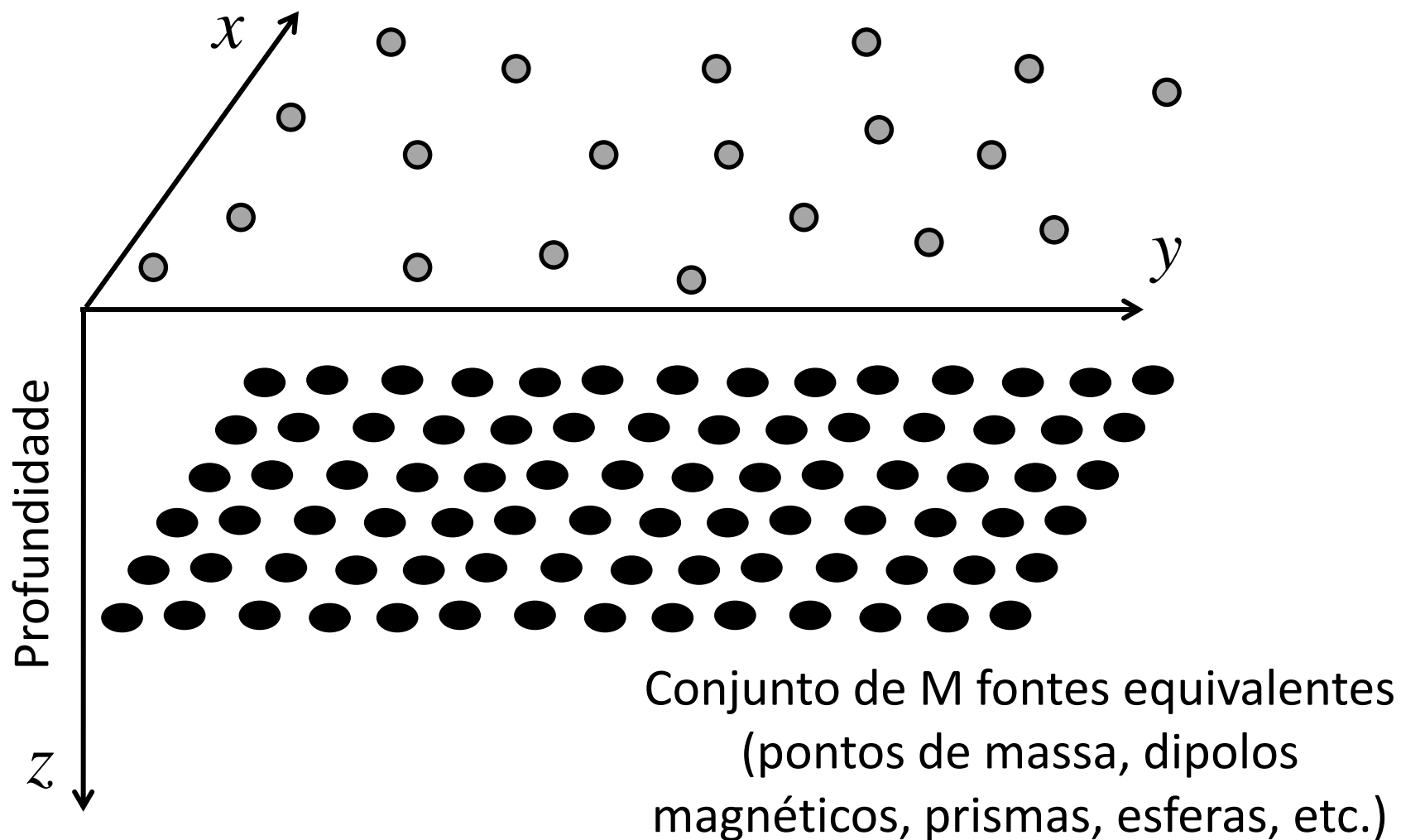


# E na prática?

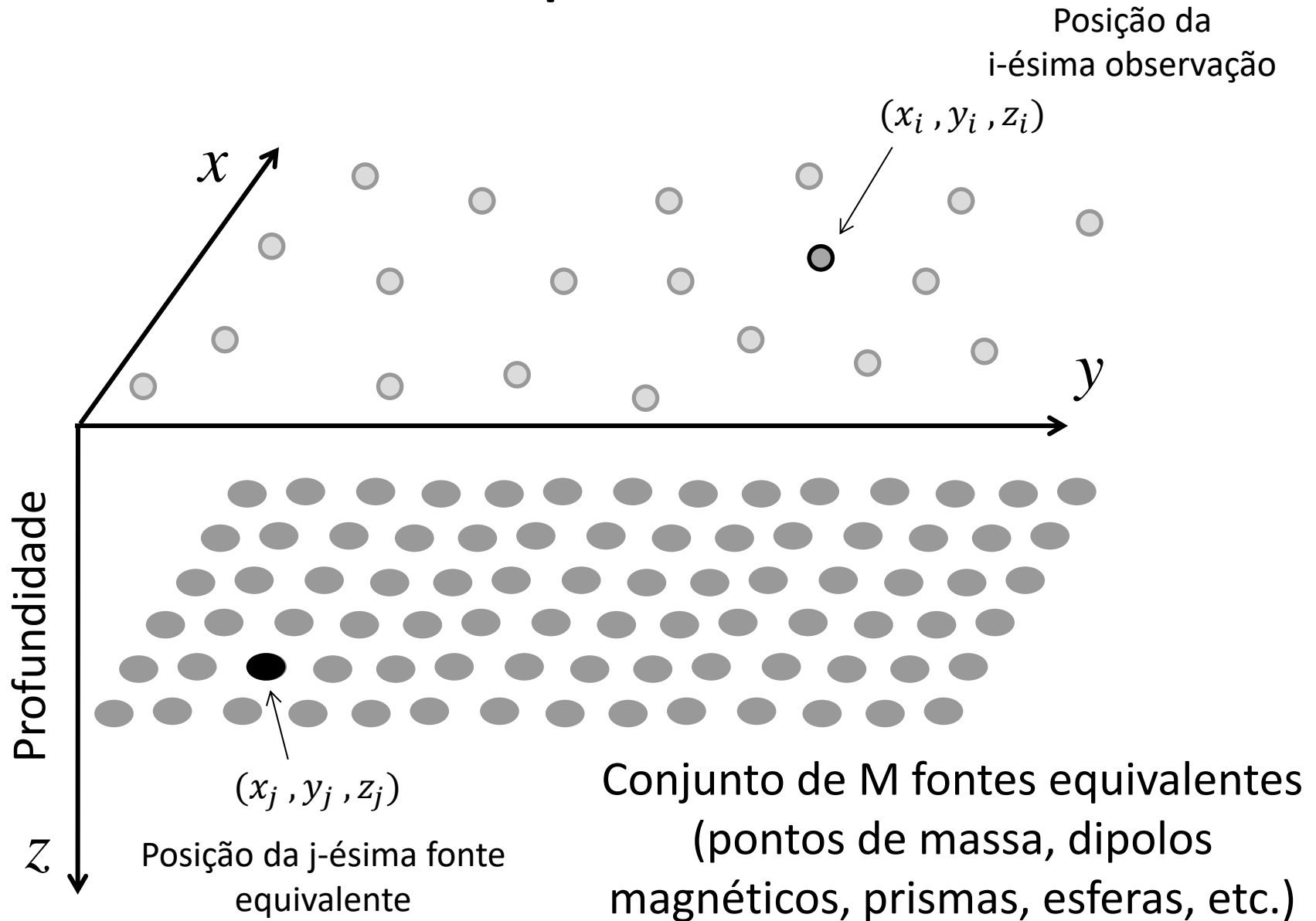


Distribuição 2D de propriedade física que reproduz o campo potencial medido

# E na prática?



# E na prática?





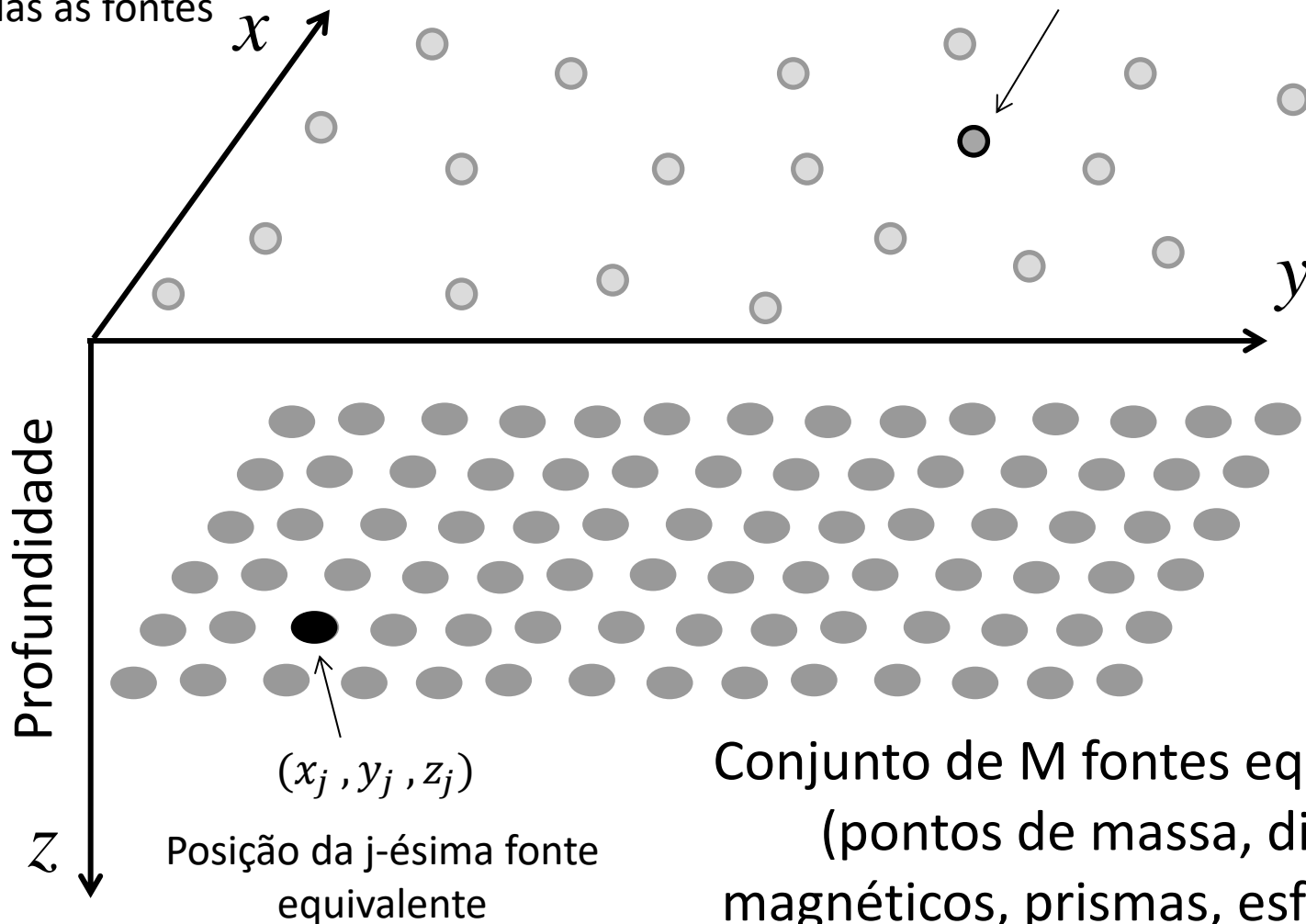
$$d_i \approx \sum p_j g_{ij}$$

A i-ésima observação é  
aproximada pela  
soma do campo  
potencial produzido por  
todas as fontes

# E na prática?

Posição da  
i-ésima observação

$(x_i, y_i, z_i)$



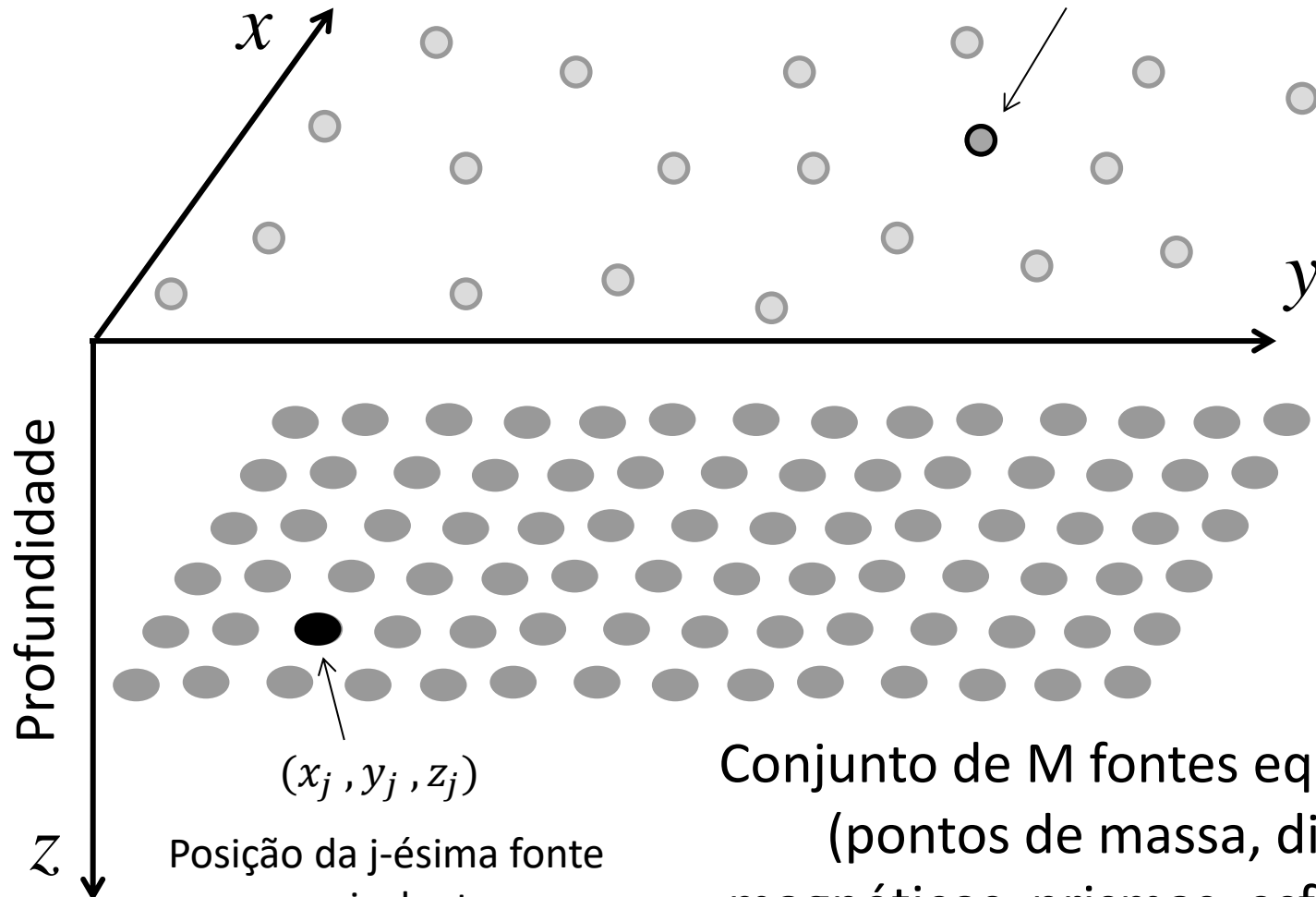
$$d_i \approx \sum p_j g_{ij}$$

i-ésima  
observação

# E na prática?

Posição da  
i-ésima observação

$(x_i, y_i, z_i)$



Posição da j-ésima fonte  
equivalente

Conjunto de  $M$  fontes equivalentes  
(pontos de massa, dipolos  
magnéticos, prismas, esferas, etc.)

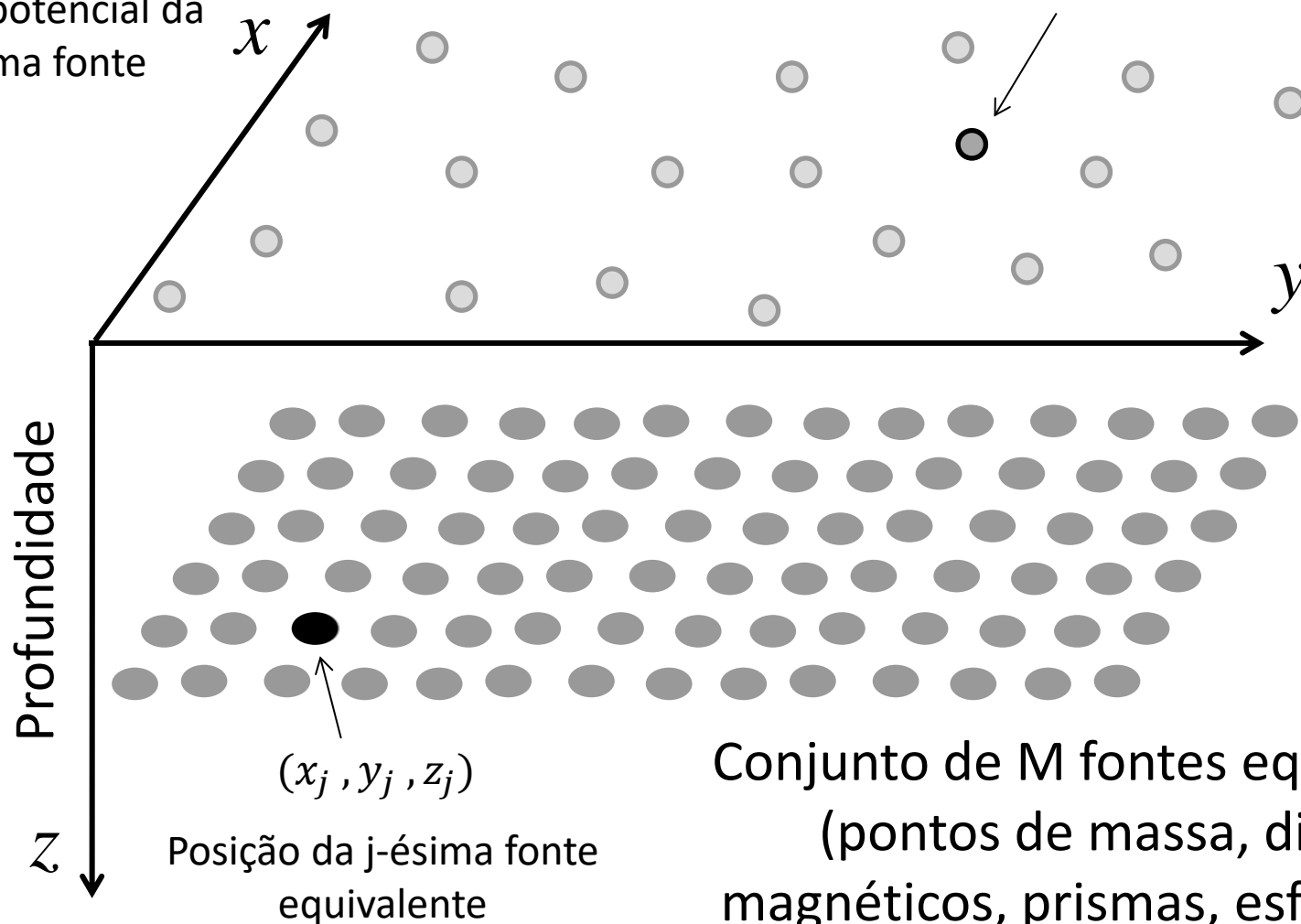
$$d_i \approx \sum p_j g_{ij}$$

# E na prática?

Função harmônica  
que representa o  
campo potencial da  
j-ésima fonte

Posição da  
i-ésima observação

$(x_i, y_i, z_i)$



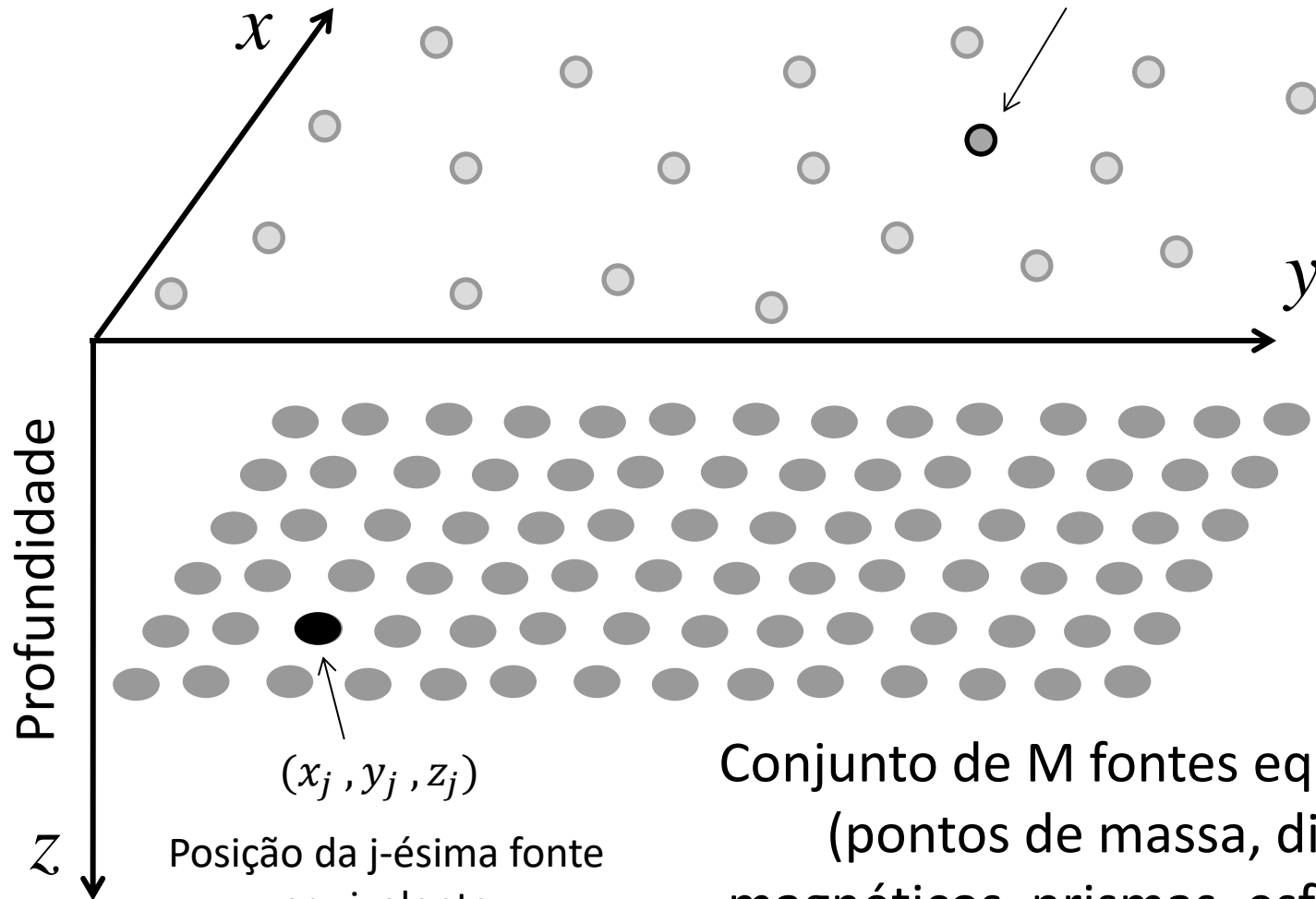
$$d_i \approx \sum p_j g_{ij}$$

Propriedade física  
da j-ésima fonte

# E na prática?

Posição da  
i-ésima observação

$(x_i, y_i, z_i)$



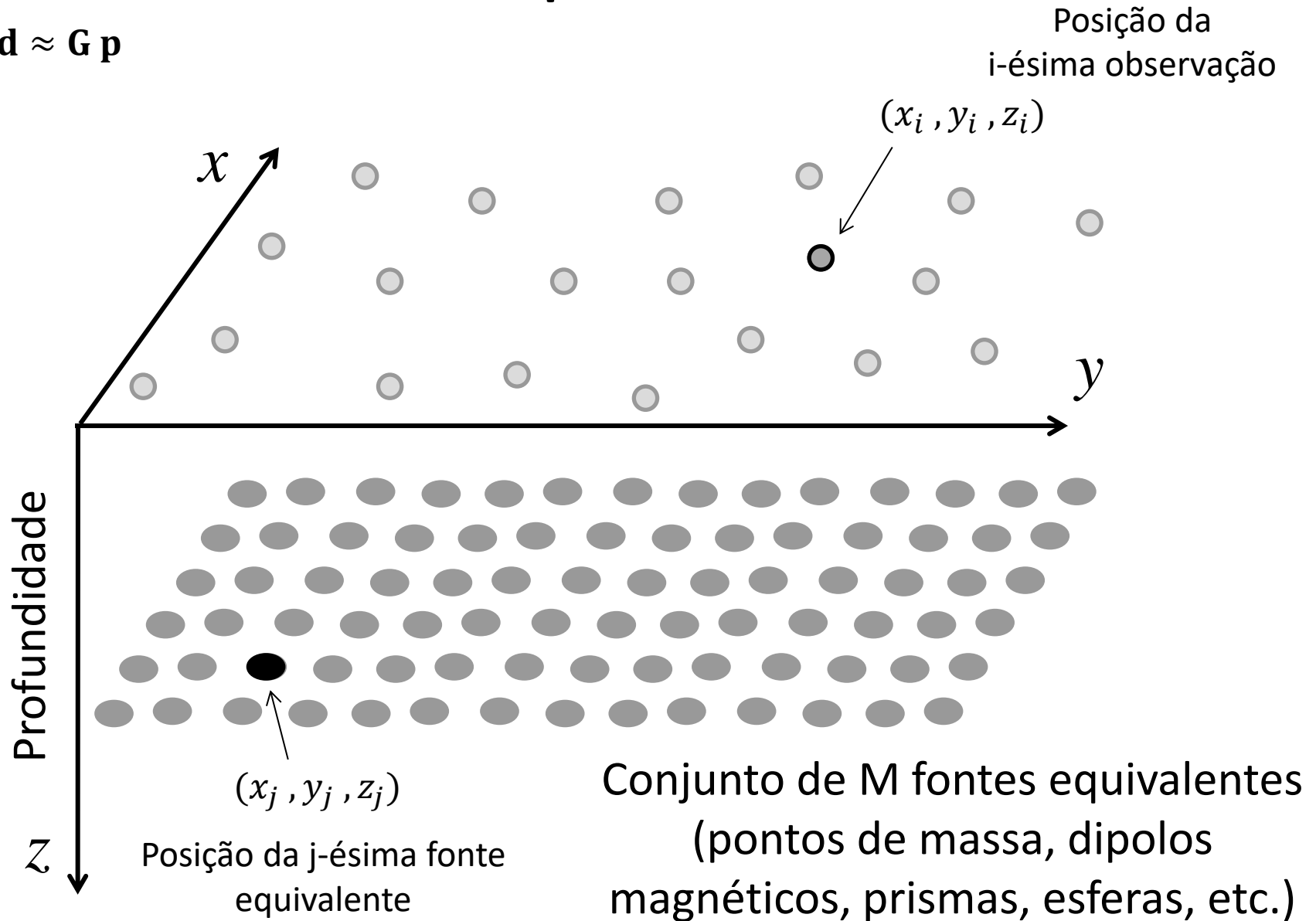
Posição da j-ésima fonte  
equivalente

Conjunto de M fontes equivalentes  
(pontos de massa, dipolos  
magnéticos, prismas, esferas, etc.)

$$d_i \approx \sum p_j g_{ij}$$

# E na prática?

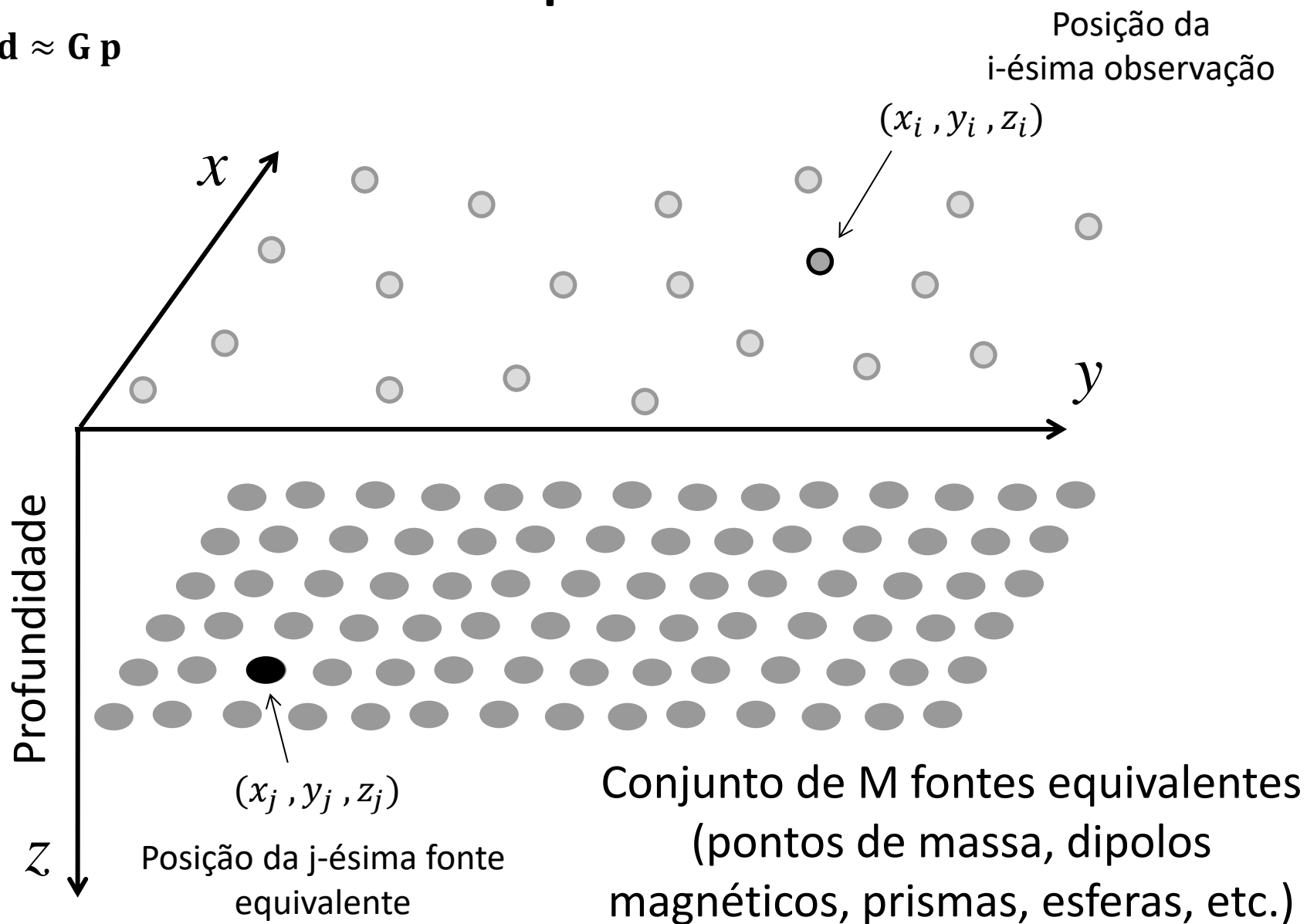
$$\mathbf{d} \approx \mathbf{G} \mathbf{p}$$



$$d_i \approx \sum p_j g_{ij}$$

$$\mathbf{d} \approx \mathbf{G} \mathbf{p}$$

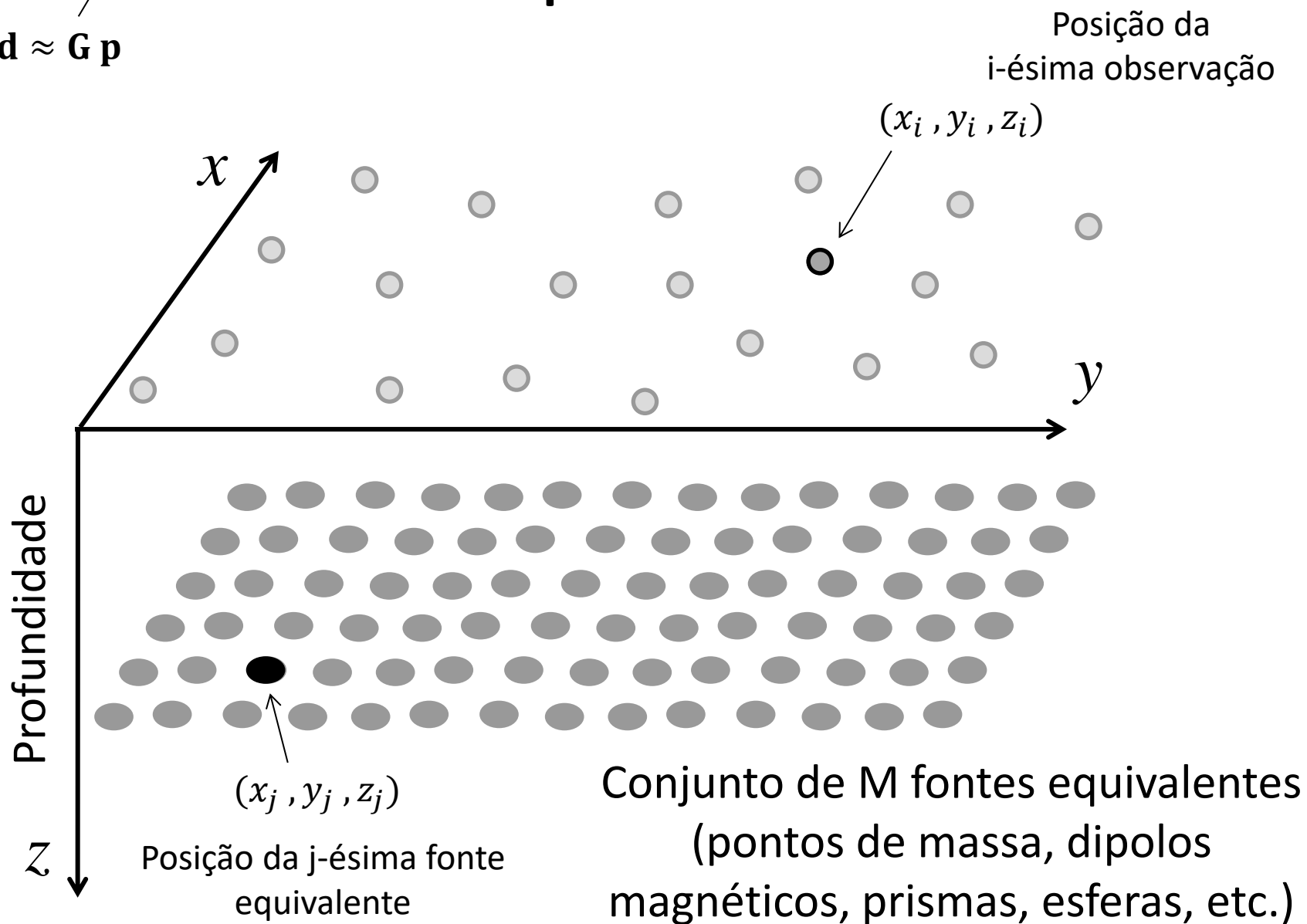
# E na prática?



$$d_i \approx \sum p_j g_{ij}$$

$$\mathbf{d} \approx \mathbf{G} \mathbf{p}$$

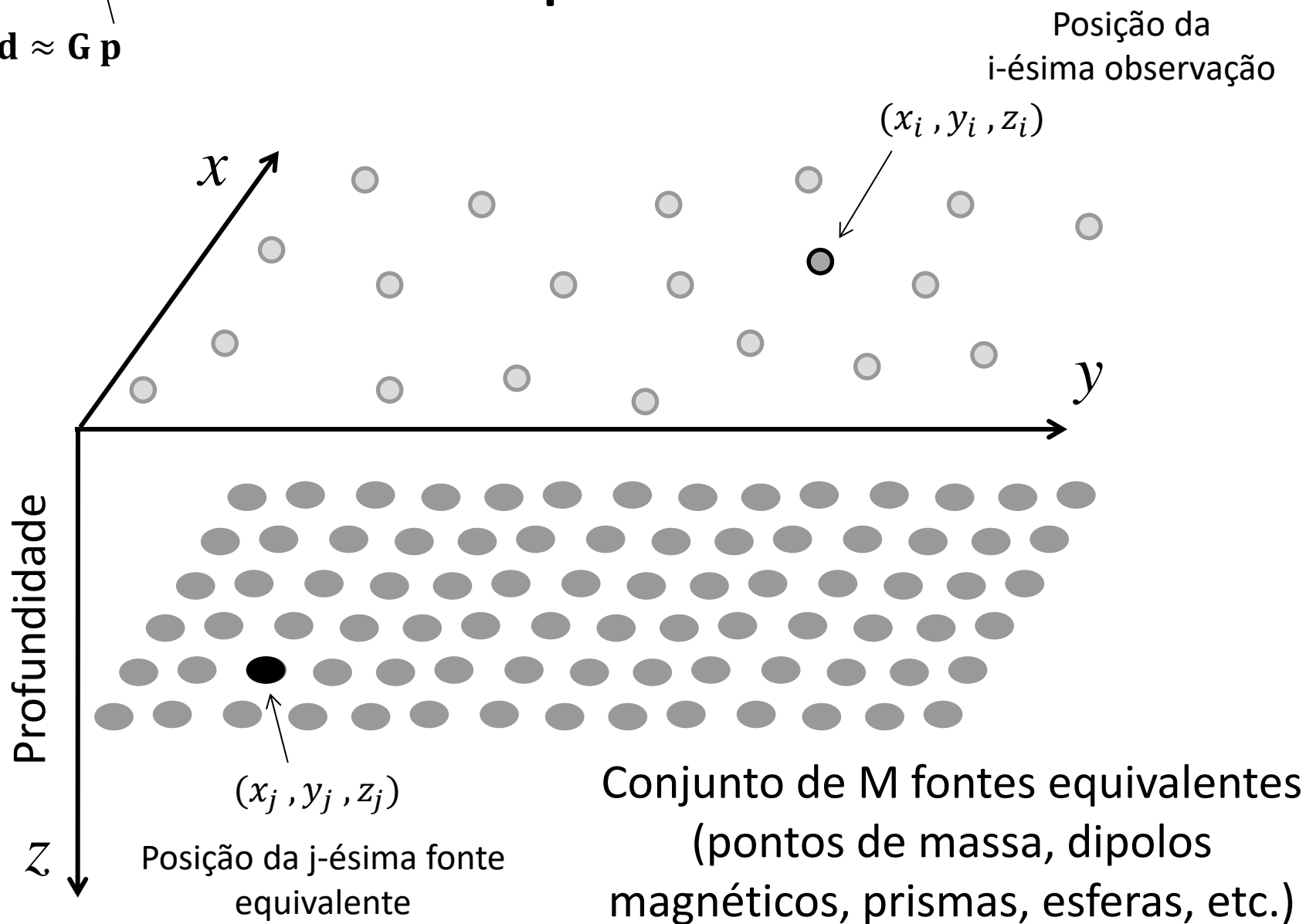
# E na prática?



$$d_i \approx \sum p_j g_{ij}$$

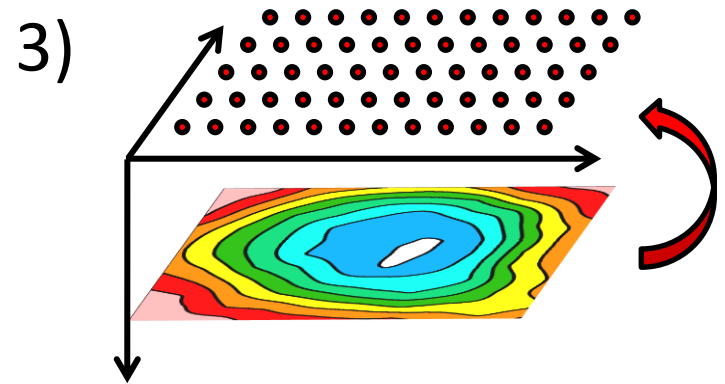
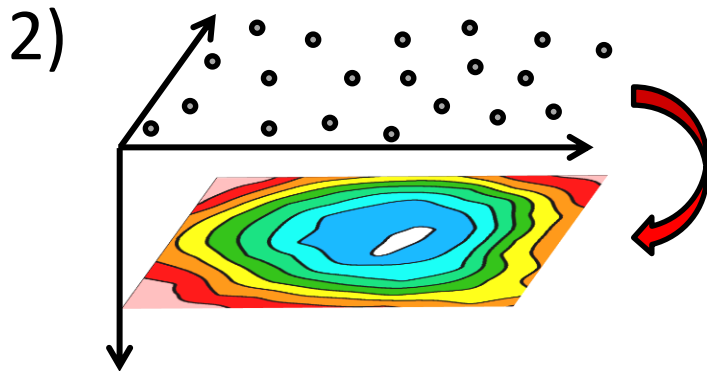
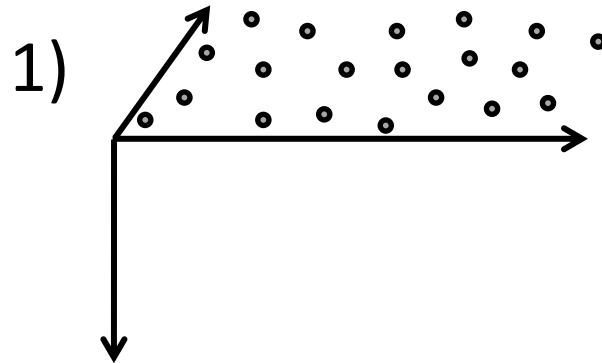
$$\mathbf{d} \approx \mathbf{G} \mathbf{p}$$

# E na prática?

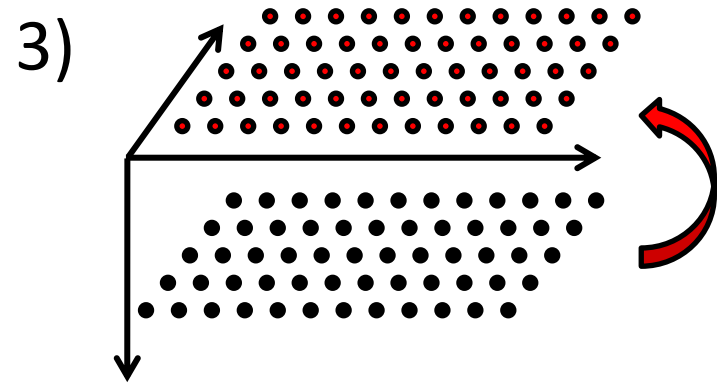
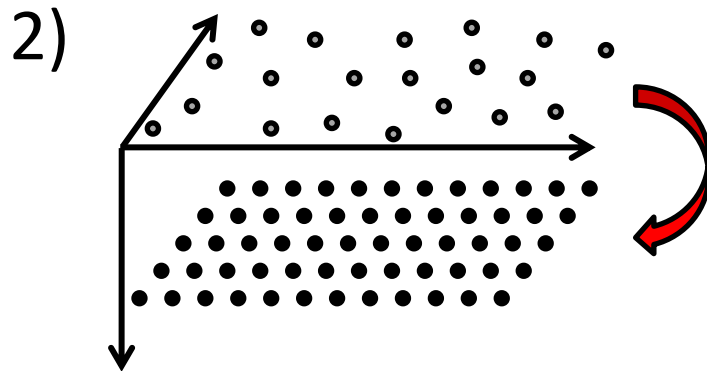
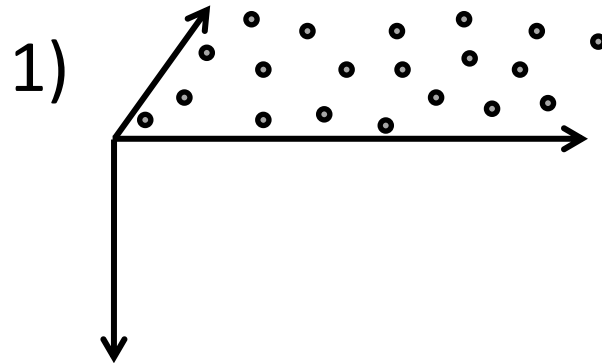




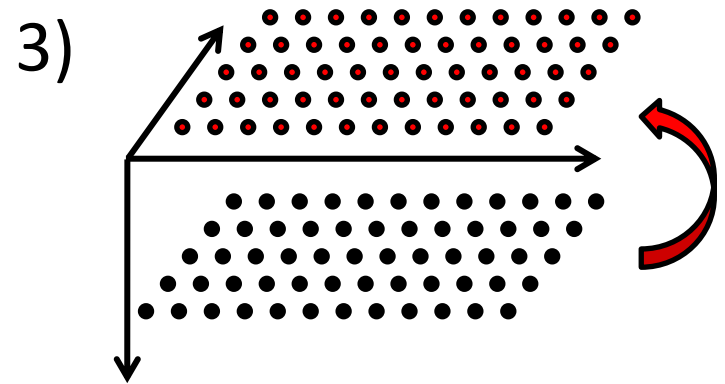
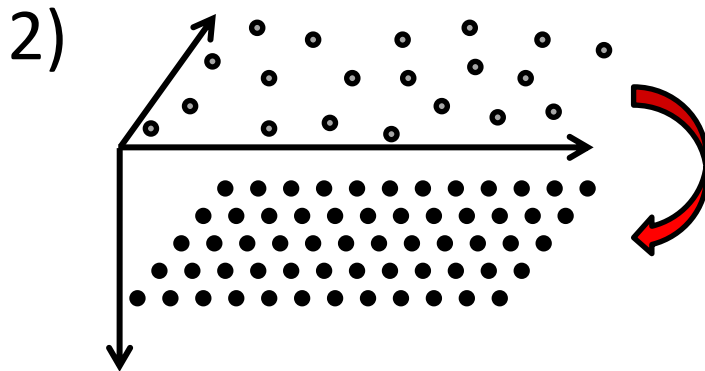
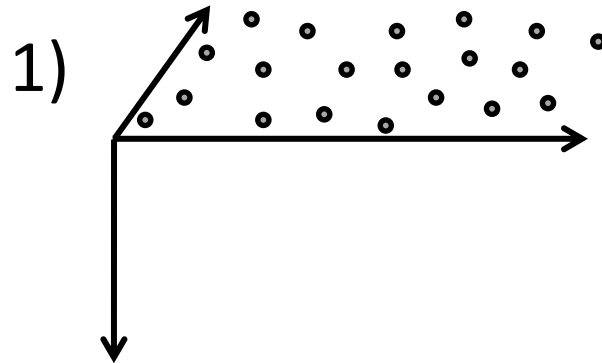
# E na prática?



# E na prática?

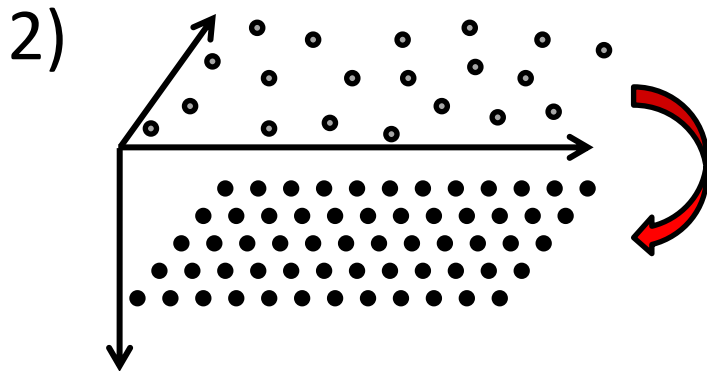
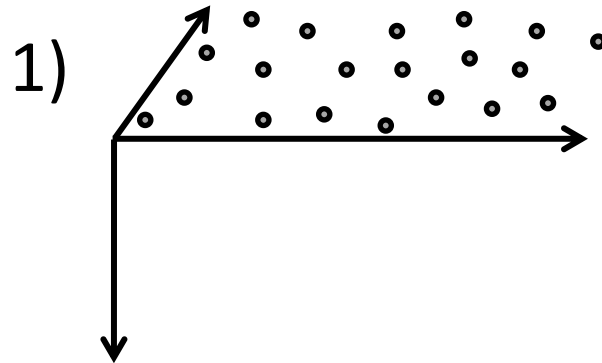


# E na prática?

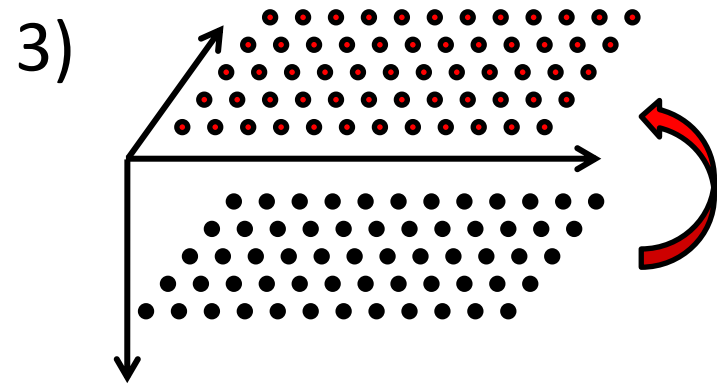


$$\mathbf{d} \approx \mathbf{G} \mathbf{p}$$

# E na prática?



$$\mathbf{d} \approx \mathbf{G} \mathbf{p}$$



$$\mathbf{t} = \mathbf{T} \mathbf{p}$$

# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais





# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Sobre este curso

Dados de  
grav e mag

Teoria do Potencial

Camada  
equivalente  
clássica

Anomalia de  
Campo Total

Identidades  
de Green

Distúrbio de  
Gravidade

Equação de  
continuação  
para cima

Aspectos  
computacionais

Funções  
harmônicas

Modelagem  
grav e mag



Avaliação  
numérica  
desta equação



Aplicações a  
dados sintéticos e  
reais



# Referências

- Dampney, C. N. G., 1969, The equivalent source technique: GEOPHYSICS, 34, 39-53.
- Emilia, D. A., 1973, Equivalent sources used as an analytic base for processing total magnetic field profiles: GEOPHYSICS, 38, 339-348.
- Hansen, R. O., and Y. Miyazaki, 1984, Continuation of potential fields between arbitrary surfaces: GEOPHYSICS, 49, 787-795.
- Silva, J. B. C., 1986, Reduction to the pole as an inverse problem and its application to low-latitude anomalies: GEOPHYSICS, 51, 369-382.
- Leão, J. W. D., and J. B. C. Silva, 1989, Discrete linear transformations of potential field data: GEOPHYSICS, 54, 497-507.
- Cordell, L., 1992, A scattered equivalent-source method for interpolation and gridding of potential-field data in three dimensions: GEOPHYSICS, 57, 629-636.
- Mendonça, C. A., and J. B. C. Silva, 1994, The equivalent data concept applied to the interpolation of potential field data: GEOPHYSICS, 59, 722-732.
- Gusp, F., and I. Novara, 2009, Reduction to the pole and transformations of scattered magnetic data using newtonian equivalent sources: GEOPHYSICS, 74, L67-L73.
- Li, Y., and D. W. Oldenburg, 2010, Rapid construction of equivalent sources using wavelets: GEOPHYSICS, 75, L51-L59.
- Barnes, G., and J. Lumley, 2011, Processing gravity gradient data: GEOPHYSICS, 76, I33-I47.
- Oliveira Jr., V. C., V. C. F. Barbosa, and L. Uieda, 2013, Polynomial equivalent layer: GEOPHYSICS, 78, G1-G13.