

# Formulação do Problema Direto

# Estrutura

- Exemplos
  - Movimento uniformemente acelerado
  - Ajuste de rede
  - Perfilagem Sísmica Vertical
  - Sísmica de Reflexão
    - Refletor plano paralelo
    - Refletor plano inclinado (Perpendicular ao strike)
  - Determinação Epicentral
  - Sinal Climático
    - Perturbação Abrupta
    - Perturbação Linear
  - Gravimetria
    - Bacia Triangular
    - Bacia Trapezoidal
  - Magnetometria
    - Separação regional-residual
    - Esfera

# Movimento uniformemente acelerado

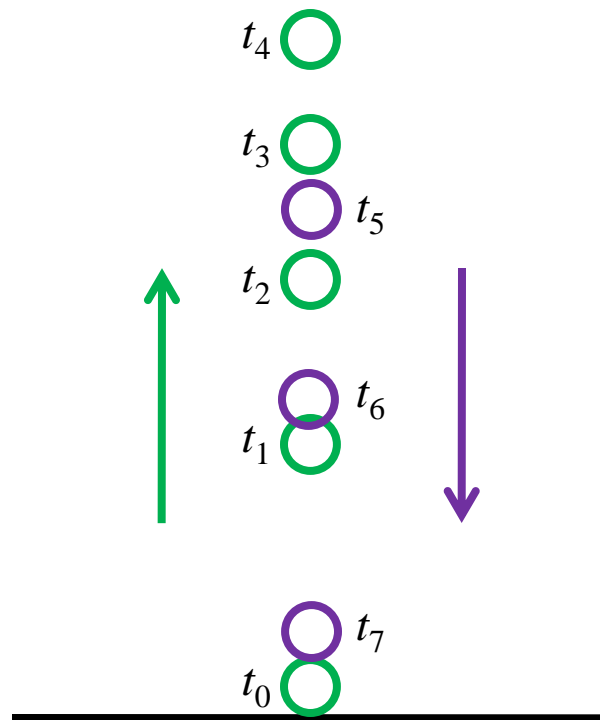
Problema Geofísico

Cálculo da aceleração da gravidade

# Movimento uniformemente acelerado

- Sabe-se que uma massa atirada para cima sofre efeito da aceleração da gravidade
- A massa experimenta um movimento uniformemente acelerado
- As **observações** são medições da posição da massa em diferentes instantes no decorrer de sua trajetória

# Movimento uniformemente acelerado



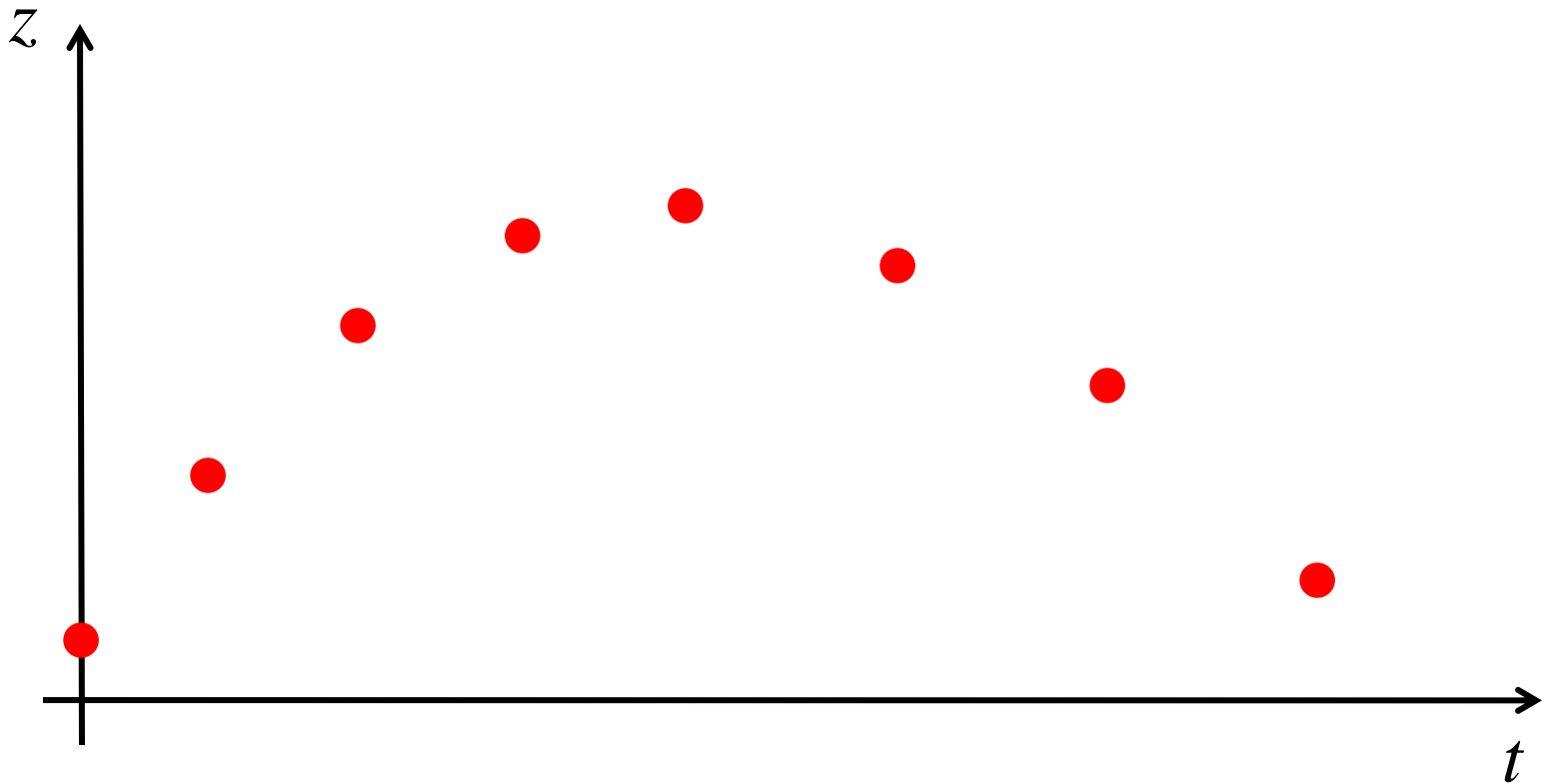
# Movimento uniformemente acelerado

- Sabe-se que uma massa atirada para cima sofre efeito da aceleração da gravidade
- A massa experimenta um movimento uniformemente acelerado
- As **observações** são medições da posição da massa em diferentes instantes no decorrer de sua trajetória

# Movimento uniformemente acelerado

- Sabe-se que uma massa atirada para cima sofre efeito da aceleração da gravidade
- A massa experimenta um movimento uniformemente acelerado
- As **observações** são medições da posição da massa em diferentes instantes no decorrer de sua trajetória

# Movimento uniformemente acelerado





# Movimento uniformemente acelerado

## Parametrização

Desconsiderando a resistência do ar, o movimento de uma massa atirada para cima pode ser descrito em termos da:

- Posição inicial  $S_0$  da massa
- Velocidade inicial  $V_0$  com que a massa foi atirada
- Aceleração da Gravidade  $g$

# Movimento uniformemente acelerado

## Relação funcional

Nessas condições, a relação entre a posição da massa em diferentes instantes e os parâmetros  $S_0$ ,  $V_0$  e  $g$  pode ser escrita como:

$$z(S_0, V_0, g) = S_0 + V_0 t + 0,5 g t^2$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Relação funcional

Nessas condições, a relação entre a posição da massa em diferentes instantes e os parâmetros  $\cancel{s_0}$ ,  $V_0$  e  $g$  pode ser escrita como:

$$z(\cancel{s_0}, V_0, g) = \cancel{s_0} + V_0 t + 0,5 g t^2$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Relação funcional

Nessas condições, a relação entre a posição da massa em diferentes instantes e os parâmetros  $\cancel{s_0}$ ,  $V_0$  e  $g$  pode ser escrita como:

$= 0$

$$z(V_0, g) = V_0 t + 0,5 g t^2$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$\vdots$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$$\vdots$$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5 t_1^2 \\ t_2 & 0,5 t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5 t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$$\vdots$$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5 t_1^2 \\ t_2 & 0,5 t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5 t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{\bar{A}} \bar{p}$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:


$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$$\vdots$$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5 t_1^2 \\ t_2 & 0,5 t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5 t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$


$$\boxed{\bar{z}(\bar{p})} = \bar{\mathbf{A}} \bar{p}$$

vetor de dados preditos



# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$$\vdots$$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5 t_1^2 \\ t_2 & 0,5 t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5 t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{A} \bar{p}$$

vetor de parâmetros

# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$$\vdots$$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5 t_1^2 \\ t_2 & 0,5 t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5 t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{A} \bar{p}$$

matriz de sensibilidade

# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

derivada (sensibilidade) do **dado predito 1**  
em relação ao **parâmetro 1**

$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$$\vdots$$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5 t_1^2 \\ t_2 & 0,5 t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5 t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{A} \bar{p}$$

matriz de sensibilidade

# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

derivada (sensibilidade) do **dado predito 1**  
em relação ao **parâmetro 2**

$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$$\vdots$$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5 t_1^2 \\ t_2 & 0,5 t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5 t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{A} \bar{p}$$

matriz de sensibilidade

# Movimento uniformemente acelerado

## Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

derivada (sensibilidade) do **dado predito  $N$**   
em relação ao **parâmetro 2**

$$z_1(V_0, g) = V_0 t_1 + 0,5 g t_1^2$$

$$z_2(V_0, g) = V_0 t_2 + 0,5 g t_2^2$$

$$\vdots$$

$$z_3(V_0, g) = V_0 t_3 + 0,5 g t_3^2$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5 t_1^2 \\ t_2 & 0,5 t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5 t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{A} \bar{p}$$

matriz de sensibilidade

# Movimento uniformemente acelerado

## Norma

Para quantificar a diferença entre os dados observados e os dados preditos é comum utilizar a norma L2:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p}) \right] \quad \begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5t_1^2 \\ t_2 & 0,5t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{\bar{A}}\bar{p}$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Norma

Para quantificar a diferença entre os **dados observados** e os **dados preditos** é comum utilizar a norma L2:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p}) \right] \quad \begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5t_1^2 \\ t_2 & 0,5t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{A}\bar{p}$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Norma

Para quantificar a diferença entre os **dados observados** e os **dados preditos** é comum utilizar a norma L2:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p}) \right] \quad \begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5t_1^2 \\ t_2 & 0,5t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

Função escalar e que depende dos parâmetros

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{\bar{A}}\bar{p}$$



# Movimento uniformemente acelerado

## Norma

Para quantificar a diferença entre os **dados observados** e os **dados preditos** é comum utilizar a norma L2:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p})]^T [\bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p})]$$

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{z}^{obs} - \bar{A}\bar{p}]^T [\bar{z}^{obs} - \bar{A}\bar{p}]$$

$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5t_1^2 \\ t_2 & 0,5t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{A}\bar{p}$$

# Movimento uniformemente acelerado

## Norma

Para quantificar a diferença entre os **dados observados** e os **dados preditos** é comum utilizar a norma L2:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p})]^T [\bar{z}^{obs} - \bar{z}(\bar{p})]$$
$$\phi(\bar{p}) = [\bar{z}^{obs} - \bar{A}\bar{p}]^T [\bar{z}^{obs} - \bar{A}\bar{p}]$$
$$\begin{bmatrix} z_1(V_0, g) \\ z_2(V_0, g) \\ \vdots \\ z_N(V_0, g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & 0,5t_1^2 \\ t_2 & 0,5t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ t_N & 0,5t_N^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ g \end{bmatrix}$$

$$\phi(\bar{p}) = \sum_{i=1}^N [z_i^{obs} - z_i(\bar{p})]^2$$

$$\bar{z}(\bar{p}) = \bar{A}\bar{p}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

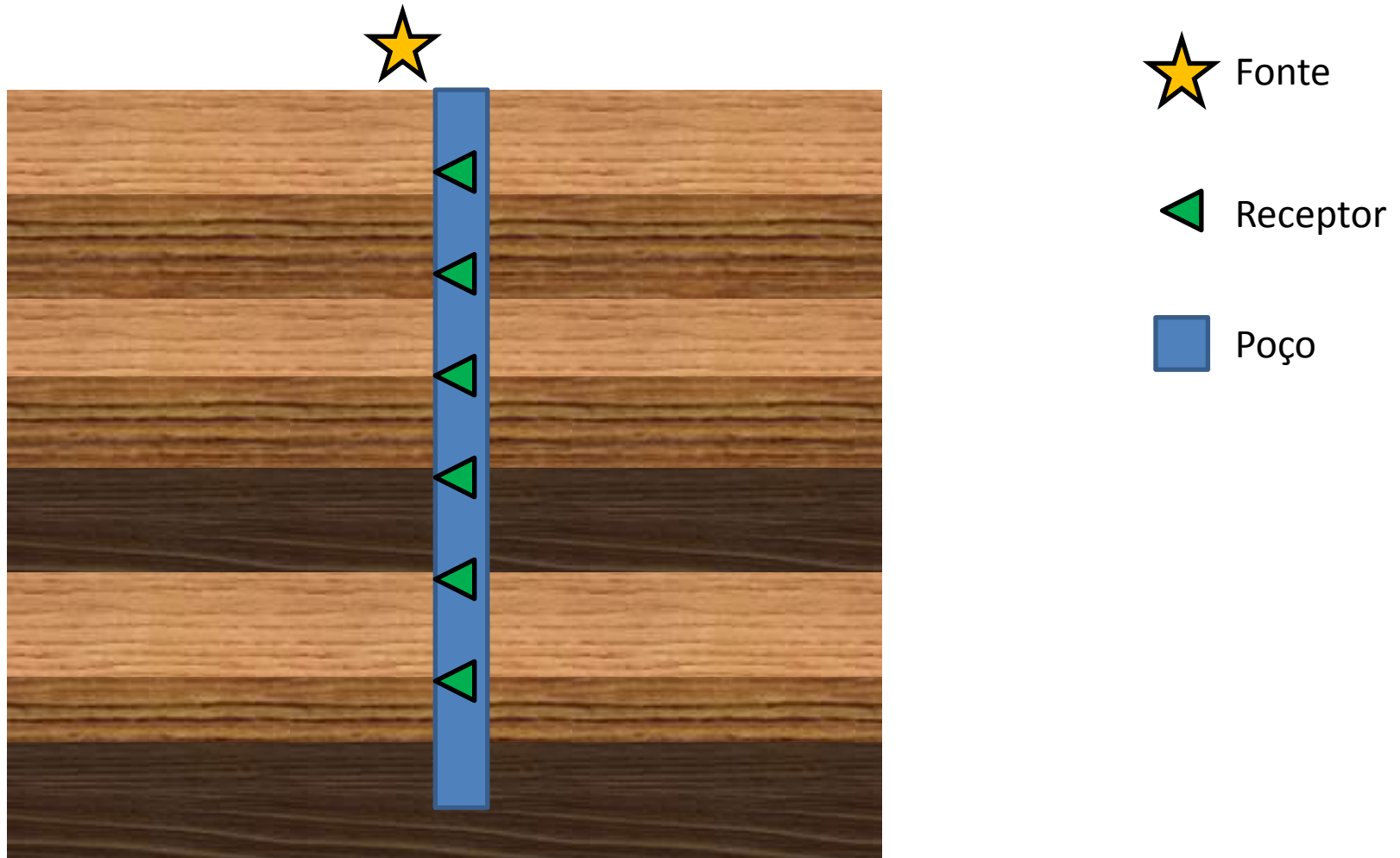
## Problema Geofísico

Cálculo da velocidade sísmica (vertical) dos materiais ao redor do poço

# Perfilagem Sísmica Vertical

- Uma fonte localizada na superfície do poço gera ondas, que se propagam em subsuperfície e são detectadas por um arranjo de receptores localizados dentro do poço
- As **observações** são medições do tempo de chegada da primeira onda em cada receptor

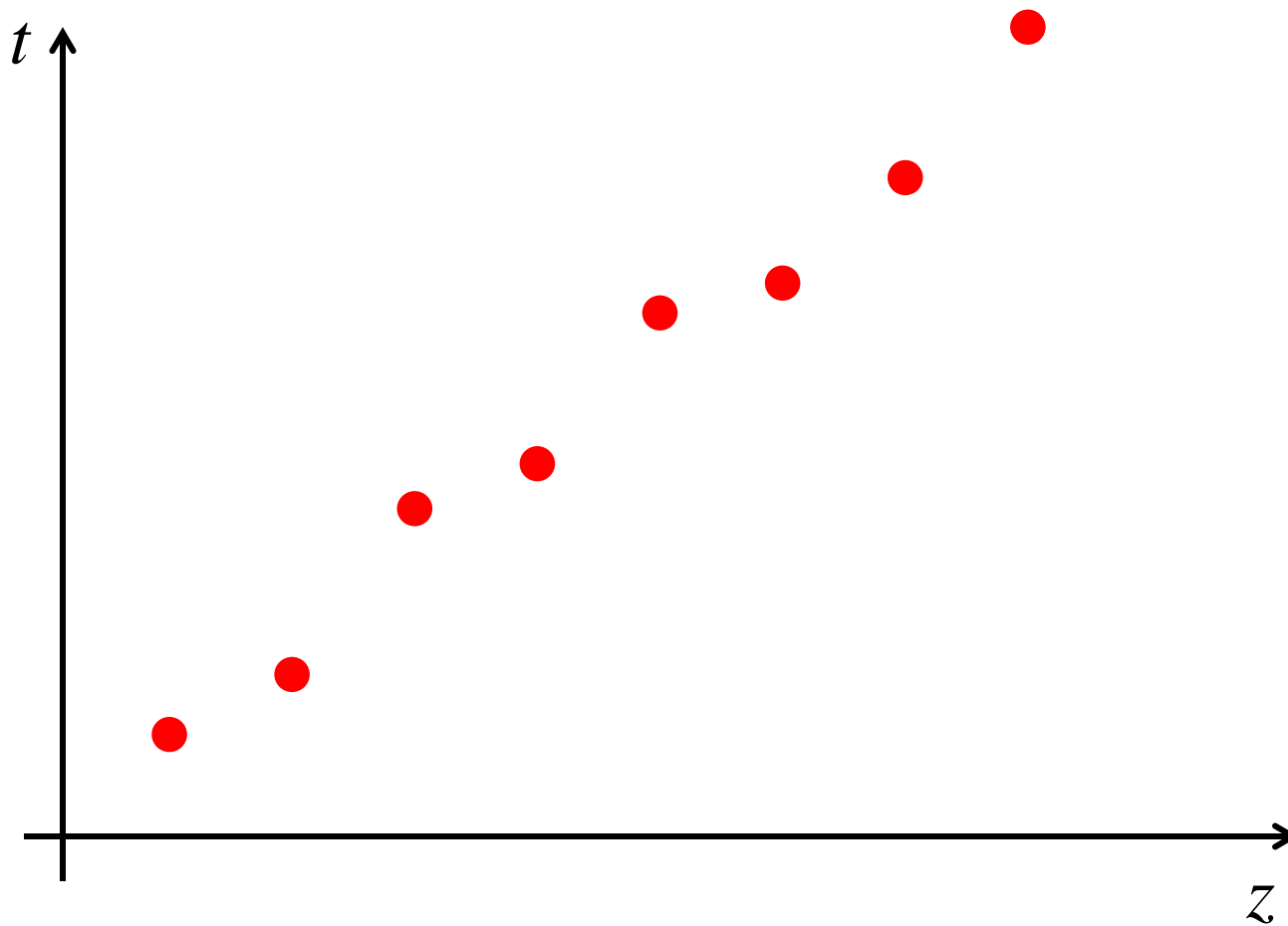
# Perfilagem Sísmica Vertical



# Perfilagem Sísmica Vertical

- Uma fonte localizada na superfície do poço gera ondas, que se propagam em subsuperfície e são detectadas por um arranjo de receptores localizados dentro do poço
- As **observações** são medições do tempo de chegada da primeira onda em cada receptor

# Perfilagem Sísmica Vertical



# Perfilagem Sísmica Vertical

## Parametrização

Considerando raios sísmicos sem curvatura e que a subsuperfície é formada por uma sucessão de camadas homogêneas, o tempo gasto para uma onda atingir um receptor pode ser descrito em termos dos parâmetros:

- Espessura  $s$  de cada camada
- Velocidade  $v$  em cada camada



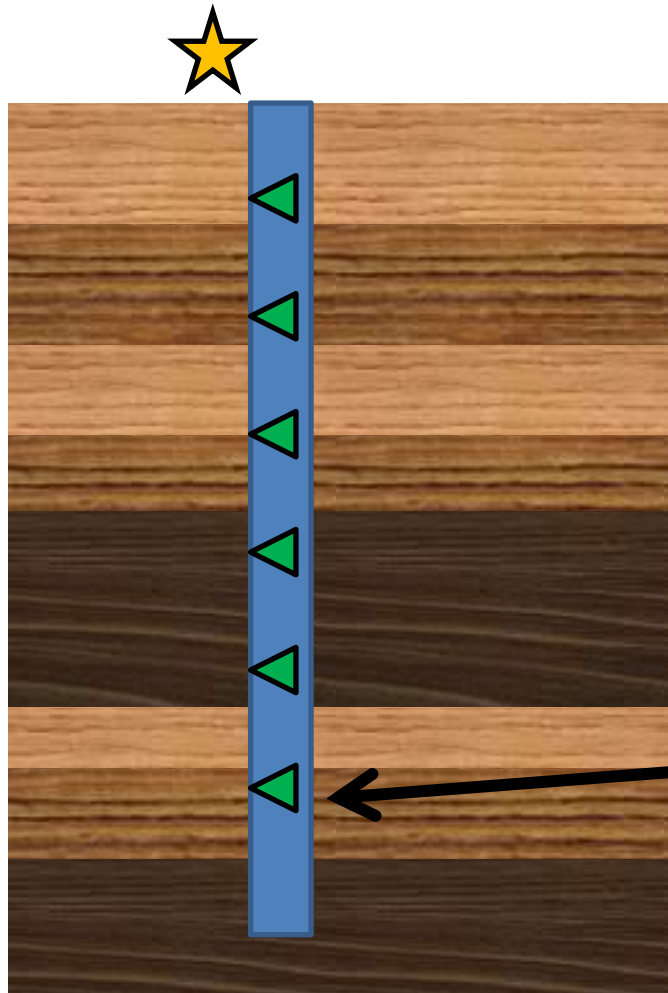
# Perfilagem Sísmica Vertical

## Relação funcional

Nessas condições, a relação entre o tempo gasto para uma onda atingir um receptor e os parâmetros  $s$  e  $v$  em cada camada pode ser escrita como:

$$t_j(\bar{s}, \bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \dots + \frac{s_j}{v_j}$$

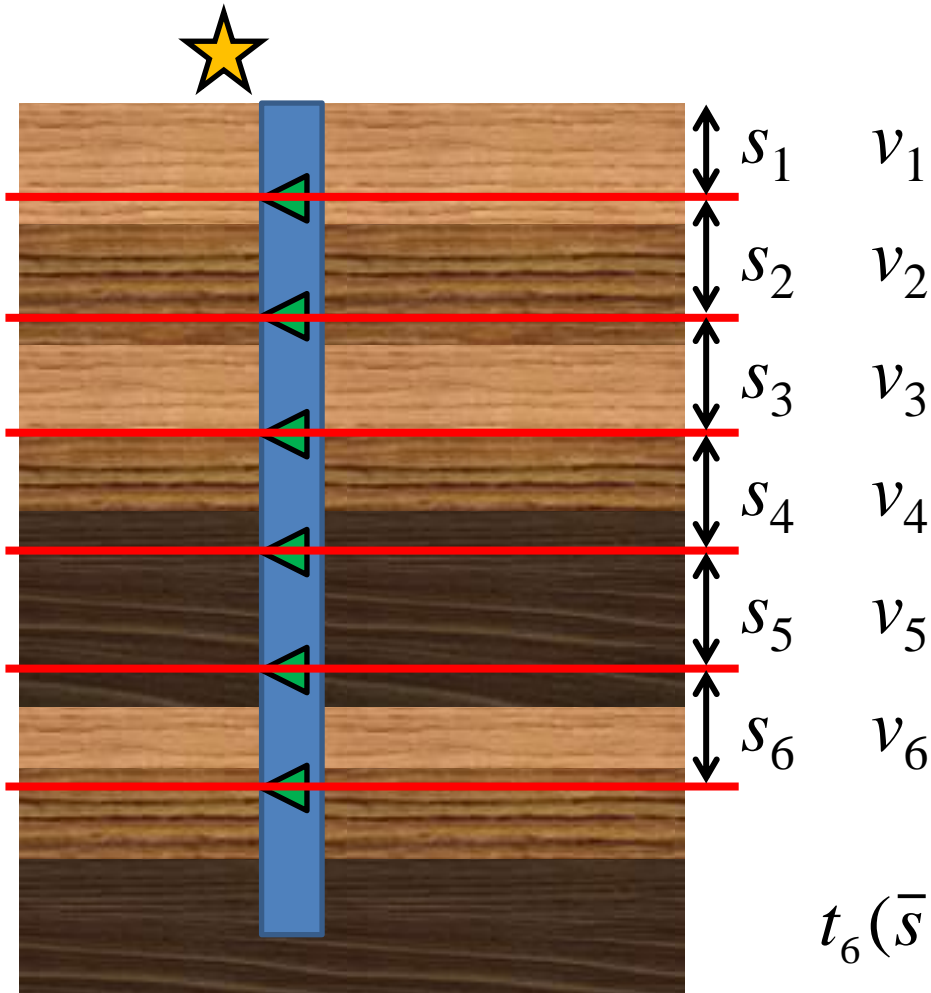
# Perfilagem Sísmica Vertical



Tempo até o  
sexto receptor

$$t_6(\bar{s}, \bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \frac{s_3}{v_3} + \frac{s_4}{v_4} + \frac{s_5}{v_5} + \frac{s_6}{v_6}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical




$$t_6(\bar{s}, \bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \frac{s_3}{v_3} + \frac{s_4}{v_4} + \frac{s_5}{v_5} + \frac{s_6}{v_6}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

## Relação funcional

Como as espessuras  $s$  são conhecidas, uma vez que representam o espaçamento entre a fonte e o primeiro receptor e entre receptores adjacentes:


$$t_j(\bar{s}, \bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \dots + \frac{s_j}{v_j}$$
$$t_j(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \dots + \frac{s_j}{v_j}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

## Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1}$$

$$t_2(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2}$$

$$\vdots$$

$$t_N(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \dots + \frac{s_N}{v_N}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

## Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1}$$

$$t_2(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2}$$

$$\vdots$$

$$t_N(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \dots + \frac{s_N}{v_N}$$

$$\begin{bmatrix} t_1(\bar{v}) \\ t_2(\bar{v}) \\ \vdots \\ t_N(\bar{v}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1/v_1 \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 \\ \vdots \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 + \dots + s_N/v_N \end{bmatrix}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

## Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1}$$

$$t_2(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2}$$

$$\vdots$$

$$t_N(\bar{v}) = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \cdots + \frac{s_N}{v_N}$$

$$\begin{bmatrix} t_1(\bar{v}) \\ t_2(\bar{v}) \\ \vdots \\ t_N(\bar{v}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1/v_1 \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 \\ \vdots \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 + \cdots + s_N/v_N \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{v}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{v}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{v}) = \left[ \bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v}) \right]^T \left[ \bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v}) \right] \quad \begin{bmatrix} t_1(\bar{v}) \\ t_2(\bar{v}) \\ \vdots \\ t_N(\bar{v}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1/v_1 \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 \\ \vdots \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 + \cdots + s_N/v_N \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{v}) \neq \overline{\mathbf{B}} \bar{v}$$



# Perfilagem Sísmica Vertical

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{v}) = \left[ \bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v}) \right]^T \left[ \bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v}) \right] \quad \begin{bmatrix} t_1(\bar{v}) \\ t_2(\bar{v}) \\ \vdots \\ t_N(\bar{v}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1/v_1 \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 \\ \vdots \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 + \cdots + s_N/v_N \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{v}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{v}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{v}) = \left[ \bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v}) \right]^T \left[ \bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v}) \right] \quad \begin{bmatrix} t_1(\bar{v}) \\ t_2(\bar{v}) \\ \vdots \\ t_N(\bar{v}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1/v_1 \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 \\ \vdots \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 + \cdots + s_N/v_N \end{bmatrix}$$

$$\phi(\bar{v}) = \left[ \bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{v} \right]^T \left[ \bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{v} \right]$$

$$\bar{t}(\bar{v}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{v}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{v}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v})]$$

~~$$\phi(\bar{v}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{B}\bar{v}]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{B}\bar{v}]$$~~

$$\begin{bmatrix} t_1(\bar{v}) \\ t_2(\bar{v}) \\ \vdots \\ t_N(\bar{v}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1/v_1 \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 \\ \vdots \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 + \cdots + s_N/v_N \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{v}) \neq \bar{B}\bar{v}$$

# Perfilagem Sísmica Vertical

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{v}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{v})]$$

~~$$\phi(\bar{v}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}}\bar{v}]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}}\bar{v}]$$~~

$$\phi(\bar{v}) = \sum_{j=1}^N [t_j^{obs} - t_i(\bar{v})]^2$$

$$\begin{bmatrix} t_1(\bar{v}) \\ t_2(\bar{v}) \\ \vdots \\ t_N(\bar{v}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1/v_1 \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 \\ \vdots \\ s_1/v_1 + s_2/v_2 + \cdots + s_N/v_N \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{v}) \neq \bar{\mathbf{B}}\bar{v}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Problema Geofísico

Cálculo da profundidade do embasamento  
e da velocidade da camada subjacente

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

- Uma fonte localizada na superfície gera ondas, que se propagam em subsuperfície e são detectadas por um arranjo de receptores que também são localizados na superfície
- As **observações** são medições do tempo de chegada da onda refletida em cada receptor

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

★ Fonte

▼ Receptor



# Sísmica de Reflexão

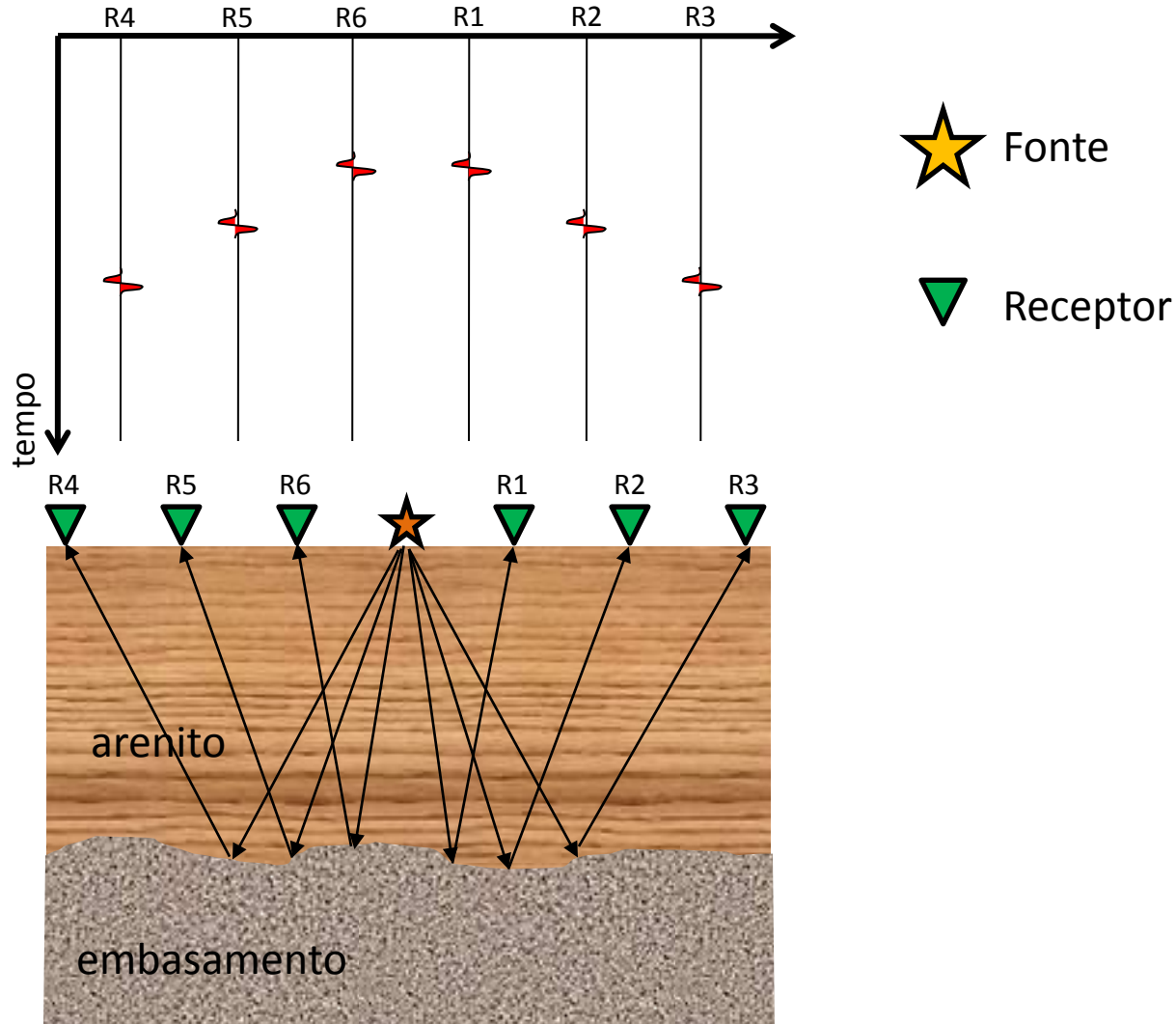
## (Refletor plano-paralelo)

- Uma fonte localizada na superfície gera ondas, que se propagam em subsuperfície e são detectadas por um arranjo de receptores que também são localizados na superfície
- As **observações** são medições do tempo de chegada da onda refletida em cada receptor



# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)



# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Parametrização

Considerando raios sísmicos sem curvatura, que a camada sobre o embasamento é homogênea, isotrópica e plano-paralela, o tempo gasto para uma onda refletida atingir um receptor pode ser descrito em termos dos parâmetros:

- Espessura  $h$  da camada
- Velocidade  $v$  da camada
- Distância  $x$  entre a fonte e o receptor

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

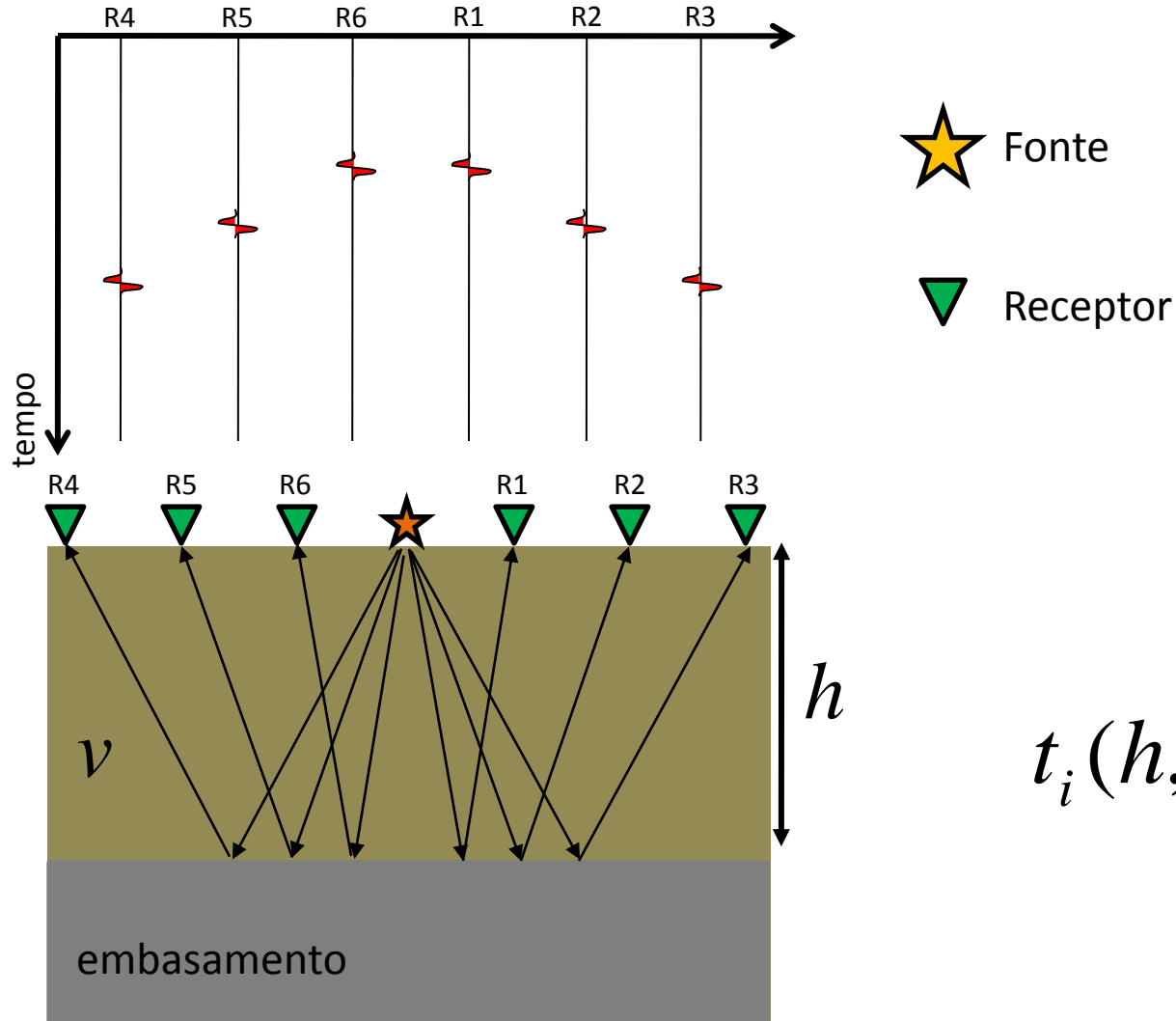
### Relação funcional

Nessas condições, a relação entre o tempo de chegada de uma onda refletida e os parâmetros  $h$ ,  $v$  e  $x$  em cada receptor:

$$t_i(h, v) = \frac{x_i^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)



$$t_i(h, v) = \frac{x_i^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(h, v) = \frac{x_1^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

$$t_2(h, v) = \frac{x_2^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

$\vdots$

$$t_N(h, v) = \frac{x_N^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(h, v) = \frac{x_1^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

$$t_2(h, v) = \frac{x_2^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

$\vdots$

$$t_N(h, v) = \frac{x_N^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h, v) \\ t_2(h, v) \\ \vdots \\ t_N(h, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h/v)^2 \\ (x_2/v)^2 + (2h/v)^2 \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h/v)^2 \end{bmatrix}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(h, v) = \frac{x_1^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

$$t_2(h, v) = \frac{x_2^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

$\vdots$

$$t_N(h, v) = \frac{x_N^2}{v^2} + \frac{4h^2}{v^2}$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h, v) \\ t_2(h, v) \\ \vdots \\ t_N(h, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h/v)^2 \\ (x_2/v)^2 + (2h/v)^2 \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h/v)^2 \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h, v) \\ t_2(h, v) \\ \vdots \\ t_N(h, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h/v)^2 \\ (x_2/v)^2 + (2h/v)^2 \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h/v)^2 \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\bar{B}} \bar{p}$$



# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\underline{\bar{t}^{obs}} - \underline{\bar{t}(\bar{p})}]^T [\underline{\bar{t}^{obs}} - \underline{\bar{t}(\bar{p})}]$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h, v) \\ t_2(h, v) \\ \vdots \\ t_N(h, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h/v)^2 \\ (x_2/v)^2 + (2h/v)^2 \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h/v)^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\bar{t}(\bar{p})} \neq \overline{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]$$

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h, v) \\ t_2(h, v) \\ \vdots \\ t_N(h, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h/v)^2 \\ (x_2/v)^2 + (2h/v)^2 \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h/v)^2 \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h, v) \\ t_2(h, v) \\ \vdots \\ t_N(h, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h/v)^2 \\ (x_2/v)^2 + (2h/v)^2 \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h/v)^2 \end{bmatrix}$$

~~$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$~~

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

## (Refletor plano-paralelo)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h, v) \\ t_2(h, v) \\ \vdots \\ t_N(h, v) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h/v)^2 \\ (x_2/v)^2 + (2h/v)^2 \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h/v)^2 \end{bmatrix}$$

~~$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$~~

$$\phi(\bar{p}) = \sum_{j=1}^N [t_j^{obs} - t_i(\bar{p})]^2$$

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Problema Geofísico

Cálculo da profundidade e mergulho do embasamento e também da velocidade da camada sobrejacente

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

- Uma fonte localizada na superfície gera ondas, que se propagam em subsuperfície e são detectadas por um arranjo de receptores que também são localizados na superfície
- As **observações** são medições do tempo de chegada da onda refletida em cada receptor

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)



Fonte



Receptor



# Sísmica de Reflexão

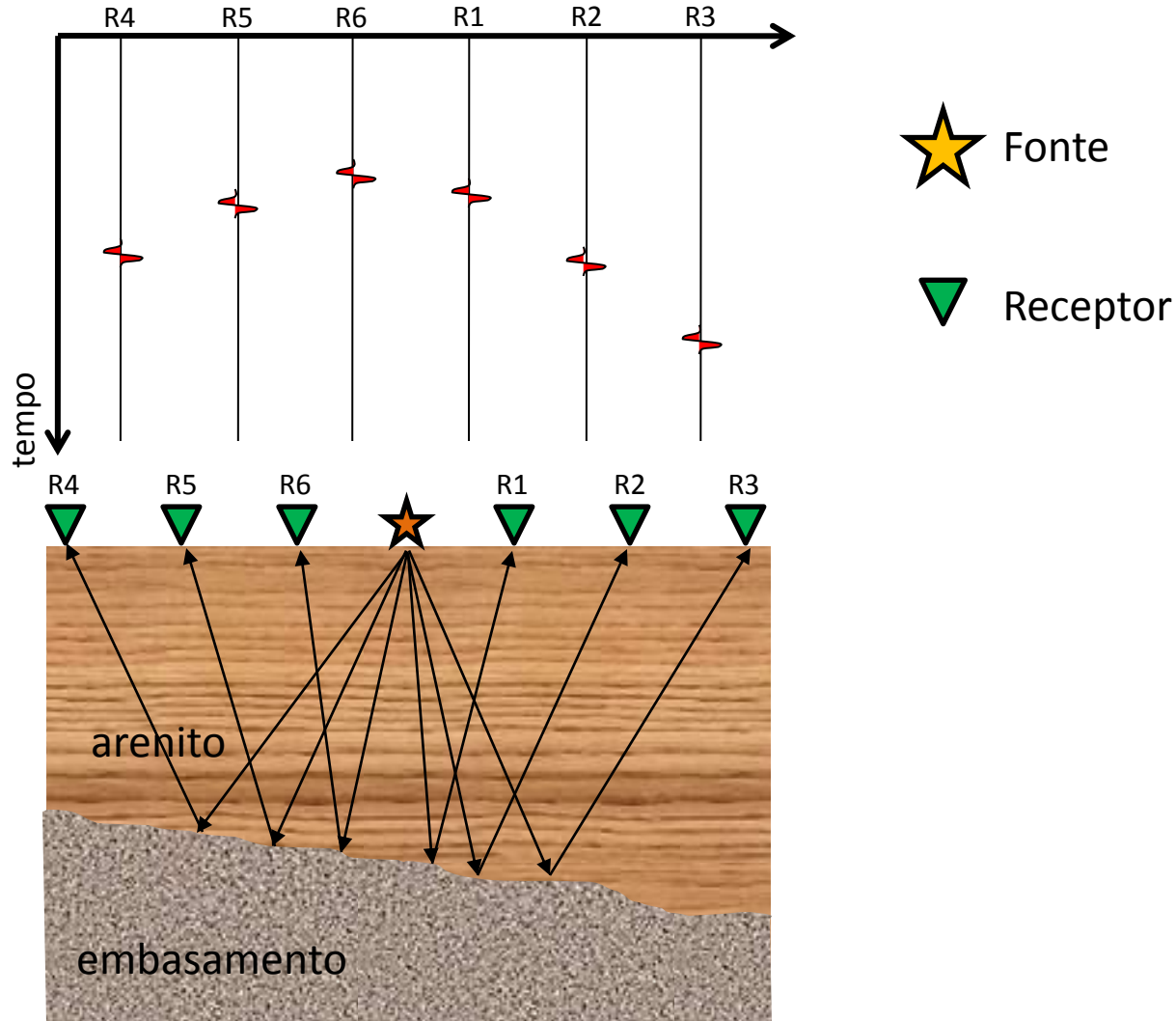
(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

- Uma fonte localizada na superfície gera ondas, que se propagam em subsuperfície e são detectadas por um arranjo de receptores que também são localizados na superfície
- As **observações** são medições do tempo de chegada da onda refletida em cada receptor



# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)



# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Parametrização

Considerando raios sísmicos sem curvatura e que a camada sobre o embasamento é homogênea e isotrópica, o tempo gasto para uma onda refletida atingir um receptor pode ser descrito em termos dos parâmetros:

- Espessura  $h$  ao longo do perfil sísmico
- Velocidade  $v$  da camada
- Distância  $x$  entre a fonte e o receptor
- Mergulho  $\beta$  do embasamento

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

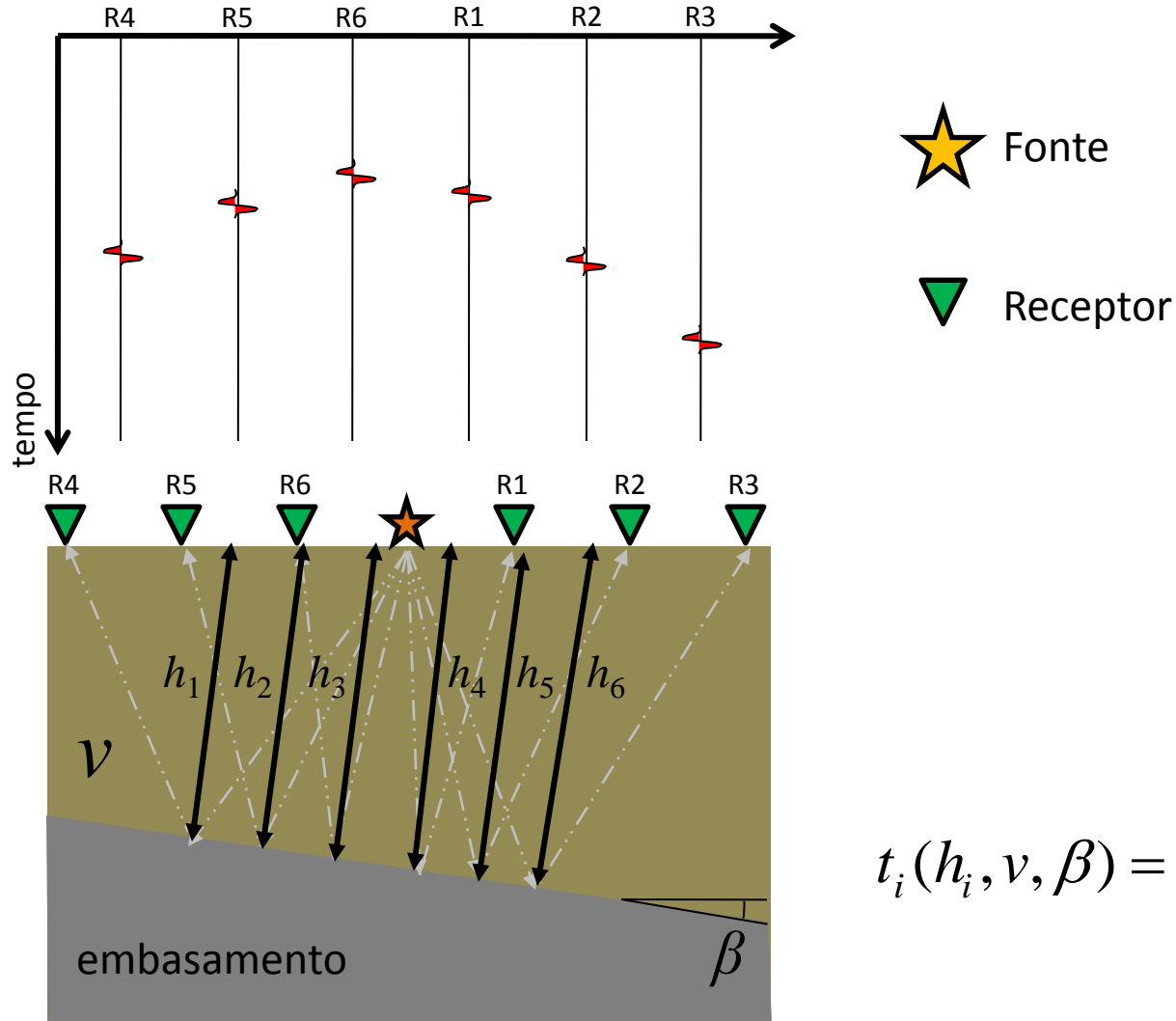
## Relação funcional

Nessas condições, a relação entre o tempo de chegada de uma onda refletida e os parâmetros  $h$ ,  $v$ ,  $x$  e  $\beta$  em cada receptor:

$$t_i(h_i, v, \beta) = \frac{x_i^2}{v^2} + \frac{4h_i^2}{v^2} + 4h_i x_i \operatorname{sen}\beta$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)



$$t_i(h_i, v, \beta) = \frac{x_i^2}{v^2} + \frac{4h_i^2}{v^2} + 4h_i x_i \sin \beta$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(h_1, v, \beta) = \frac{x_1^2}{v^2} + \frac{4h_1^2}{v^2} + 4h_1 x_1 \operatorname{sen}\beta$$

$$t_2(h_2, v, \beta) = \frac{x_2^2}{v^2} + \frac{4h_2^2}{v^2} + 4h_2 x_2 \operatorname{sen}\beta$$

⋮

$$t_N(h_N, v, \beta) = \frac{x_N^2}{v^2} + \frac{4h_N^2}{v^2} + 4h_N x_N \operatorname{sen}\beta$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(h_1, v, \beta) = \frac{x_1^2}{v^2} + \frac{4h_1^2}{v^2} + 4h_1 x_1 \operatorname{sen}\beta$$

$$t_2(h_2, v, \beta) = \frac{x_2^2}{v^2} + \frac{4h_2^2}{v^2} + 4h_2 x_2 \operatorname{sen}\beta$$

$\vdots$

$$t_N(h_N, v, \beta) = \frac{x_N^2}{v^2} + \frac{4h_N^2}{v^2} + 4h_N x_N \operatorname{sen}\beta$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h_1, v, \beta) \\ t_2(h_2, v, \beta) \\ \vdots \\ t_N(h_N, v, \beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h_1/v)^2 + (4h_1 x_1 \operatorname{sen}\beta) \\ (x_2/v)^2 + (2h_2/v)^2 + (4h_2 x_2 \operatorname{sen}\beta) \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h_N/v)^2 + (4h_N x_N \operatorname{sen}\beta) \end{bmatrix}$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Problema Direto

Sendo assim, para todos os receptores:

$$t_1(h_1, v, \beta) = \frac{x_1^2}{v^2} + \frac{4h_1^2}{v^2} + 4h_1 x_1 \operatorname{sen}\beta$$

$$t_2(h_2, v, \beta) = \frac{x_2^2}{v^2} + \frac{4h_2^2}{v^2} + 4h_2 x_2 \operatorname{sen}\beta$$

$\vdots$

$$t_N(h_N, v, \beta) = \frac{x_N^2}{v^2} + \frac{4h_N^2}{v^2} + 4h_N x_N \operatorname{sen}\beta$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h_1, v, \beta) \\ t_2(h_2, v, \beta) \\ \vdots \\ t_N(h_N, v, \beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h_1/v)^2 + (4h_1 x_1 \operatorname{sen}\beta) \\ (x_2/v)^2 + (2h_2/v)^2 + (4h_2 x_2 \operatorname{sen}\beta) \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h_N/v)^2 + (4h_N x_N \operatorname{sen}\beta) \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Norma

A norma L2 entre os dados observados e os dados preditos é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})] \quad \begin{bmatrix} t_1(h_1, v, \beta) \\ t_2(h_2, v, \beta) \\ \vdots \\ t_N(h_N, v, \beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h_1/v)^2 + (4h_1x_1\text{sen}\beta) \\ (x_2/v)^2 + (2h_2/v)^2 + (4h_2x_2\text{sen}\beta) \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h_N/v)^2 + (4h_Nx_N\text{sen}\beta) \end{bmatrix}$$

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\bar{B}} \bar{p}$$



# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Norma

A norma L2 entre os dados observados e os dados preditos é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \underline{\bar{t}^{obs}} - \underline{\bar{t}(\bar{p})} \right]^T \left[ \underline{\bar{t}^{obs}} - \underline{\bar{t}(\bar{p})} \right] = \begin{bmatrix} t_1(h_1, v, \beta) \\ t_2(h_2, v, \beta) \\ \vdots \\ t_N(h_N, v, \beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h_1/v)^2 + (4h_1x_1\text{sen}\beta) \\ (x_2/v)^2 + (2h_2/v)^2 + (4h_2x_2\text{sen}\beta) \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h_N/v)^2 + (4h_Nx_N\text{sen}\beta) \end{bmatrix}$$

$$\underline{\bar{t}(\bar{p})} \neq \overline{\overline{\mathbf{B}}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Norma

A norma L2 entre os dados observados e os dados preditos é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h_1, v, \beta) \\ t_2(h_2, v, \beta) \\ \vdots \\ t_N(h_N, v, \beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h_1/v)^2 + (4h_1x_1\text{sen}\beta) \\ (x_2/v)^2 + (2h_2/v)^2 + (4h_2x_2\text{sen}\beta) \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h_N/v)^2 + (4h_Nx_N\text{sen}\beta) \end{bmatrix}$$

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h_1, v, \beta) \\ t_2(h_2, v, \beta) \\ \vdots \\ t_N(h_N, v, \beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h_1/v)^2 + (4h_1x_1\text{sen}\beta) \\ (x_2/v)^2 + (2h_2/v)^2 + (4h_2x_2\text{sen}\beta) \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h_N/v)^2 + (4h_Nx_N\text{sen}\beta) \end{bmatrix}$$

~~$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$~~

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{t}(\bar{p})]$$

$$\begin{bmatrix} t_1(h_1, v, \beta) \\ t_2(h_2, v, \beta) \\ \vdots \\ t_N(h_N, v, \beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_1/v)^2 + (2h_1/v)^2 + (4h_1x_1\text{sen}\beta) \\ (x_2/v)^2 + (2h_2/v)^2 + (4h_2x_2\text{sen}\beta) \\ \vdots \\ (x_N/v)^2 + (2h_N/v)^2 + (4h_Nx_N\text{sen}\beta) \end{bmatrix}$$

~~$$\phi(\bar{p}) = [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{t}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$~~

$$\phi(\bar{p}) = \sum_{j=1}^N [t_j^{obs} - t_i(\bar{p})]^2$$

$$\bar{t}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Determinação Epicentral

Problema Geofísico

Cálculo das coordenadas de um epicentro

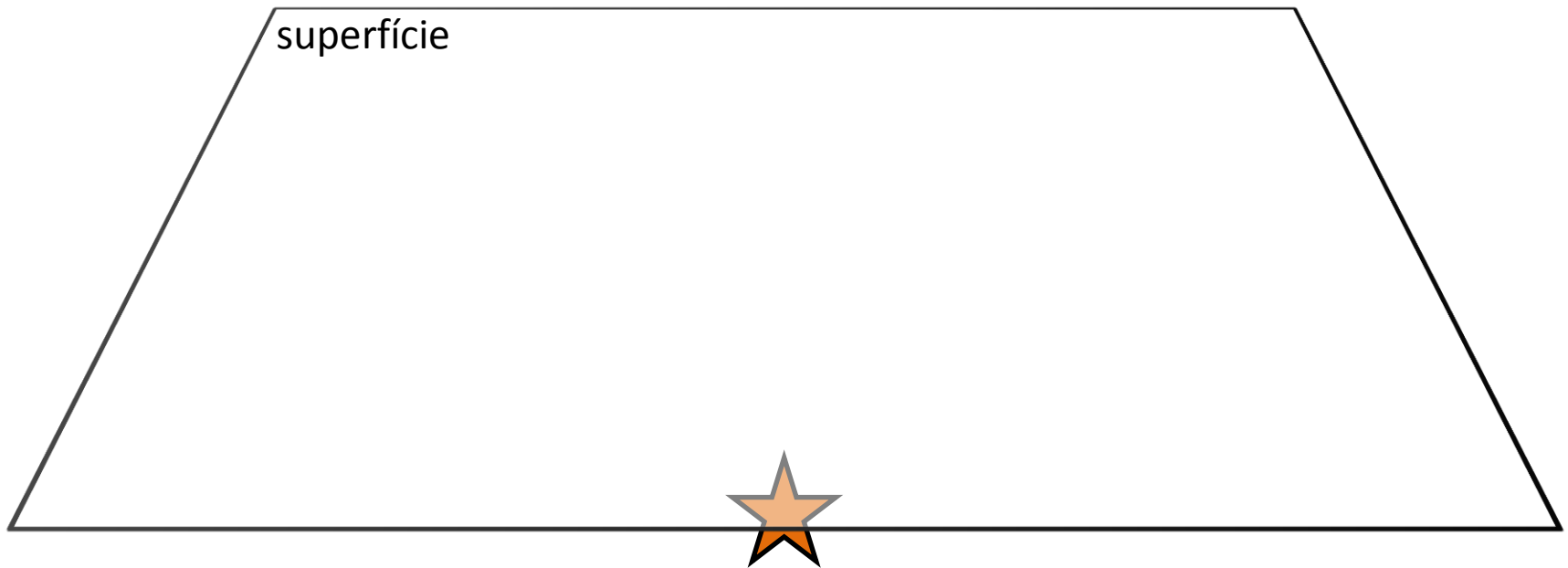
# Determinação Epicentral

- Um terremoto gera ondas, que se propagam em subsuperfície e são detectadas por um arranjo de estações sismográficas localizadas na superfície
- As **observações** são medições da diferença entre o tempo de chegada das ondas P e S em cada estação

# Determinação Epicentral



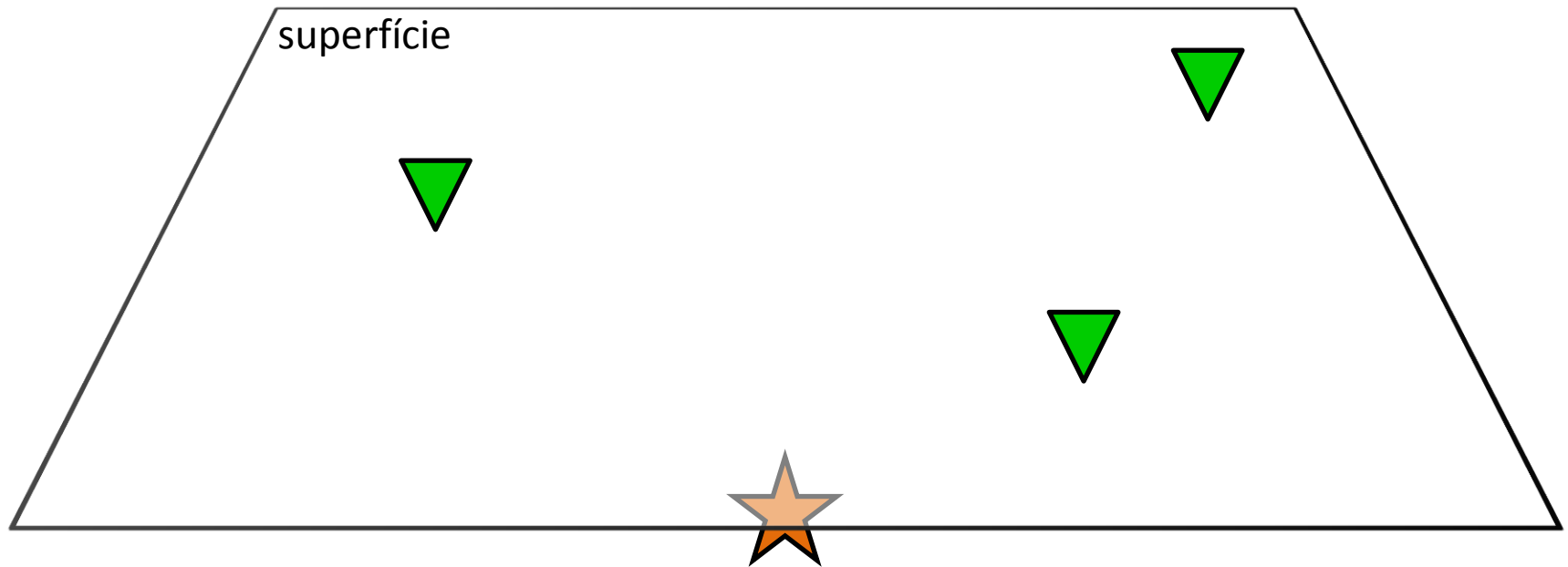
# Determinação Epicentral




fonte do terremoto



# Determinação Epicentral



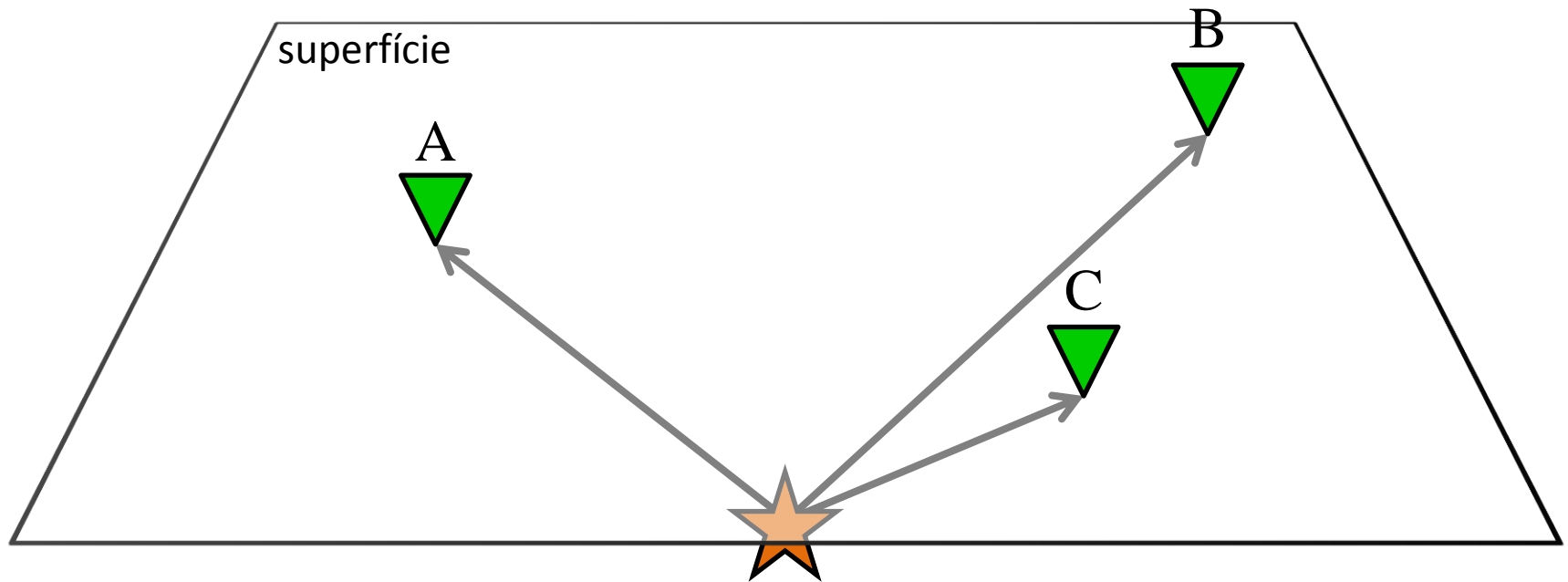
 fonte do terremoto


 estação sismográfica

# Determinação Epicentral

- Um terremoto gera ondas, que se propagam em subsuperfície e são detectadas por um arranjo de estações sismográficas localizadas na superfície
- As **observações** são medições da diferença entre o tempo de chegada das ondas P e S em cada estação

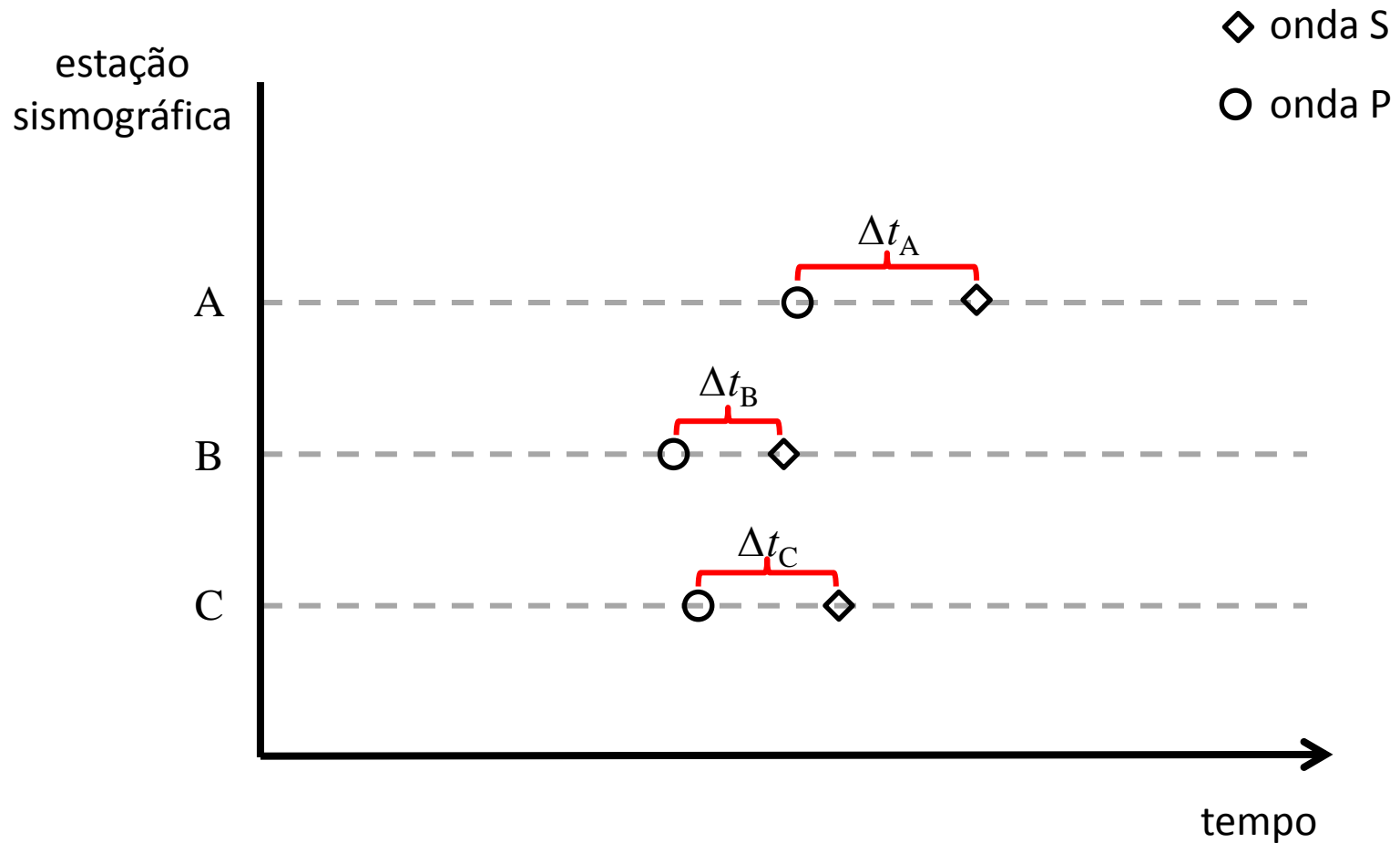
# Determinação Epicentral



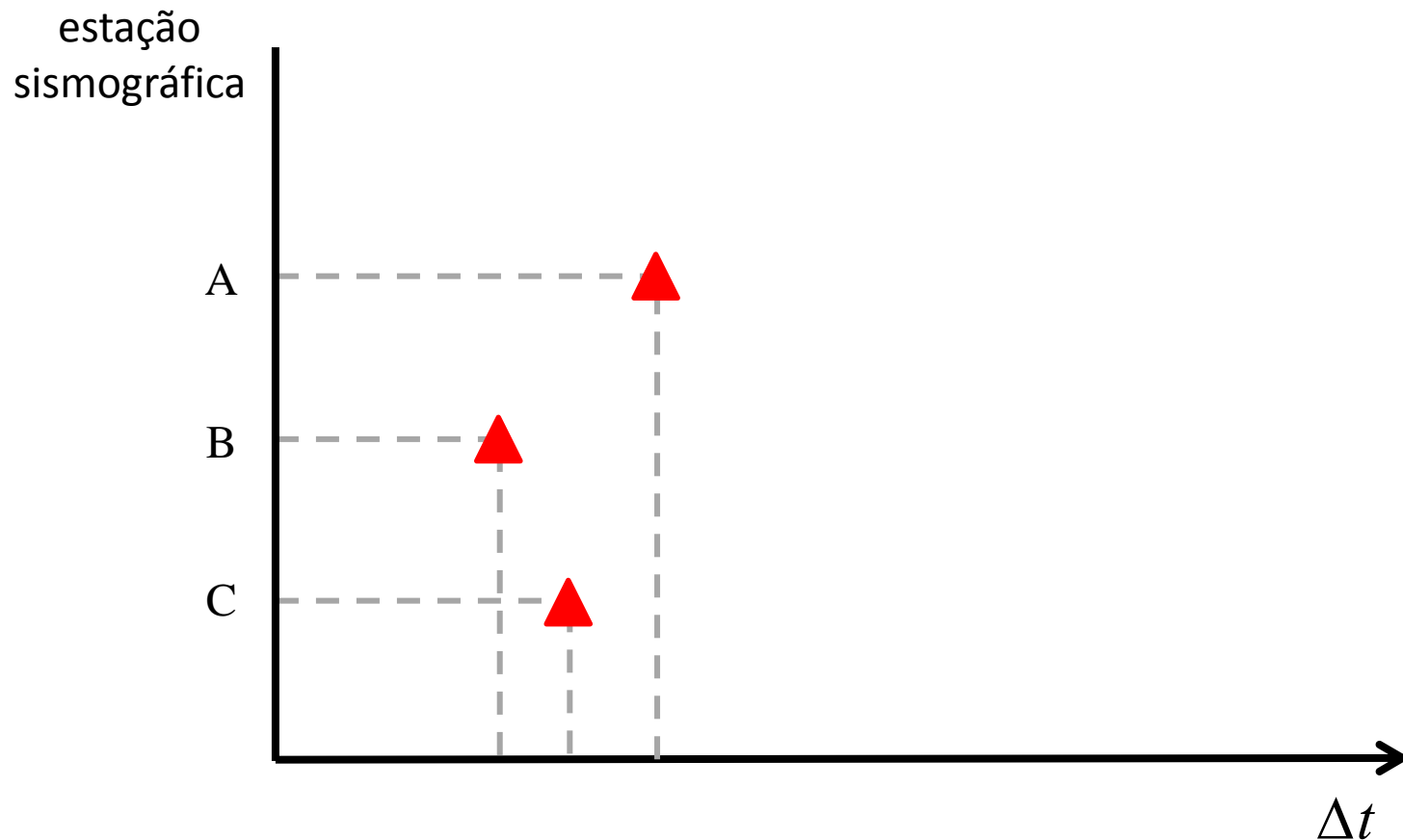
 fonte do terremoto

 estação sismográfica

# Determinação Epicentral



# Determinação Epicentral



# Determinação Epicentral

## Parametrização

Considerando raios sísmicos sem curvatura, que a profundidade do terremoto pode ser desprezada e que o meio é homogêneo e isotrópico, a diferença de tempo entre as ondas P e S em uma determinada estação pode ser descrito em termos dos parâmetros:

- Velocidades  $v_P$  e  $v_S$
- Coordenadas  $x$  e  $y$  da estação
- Coordenadas  $x_0$  e  $y_0$  da estação

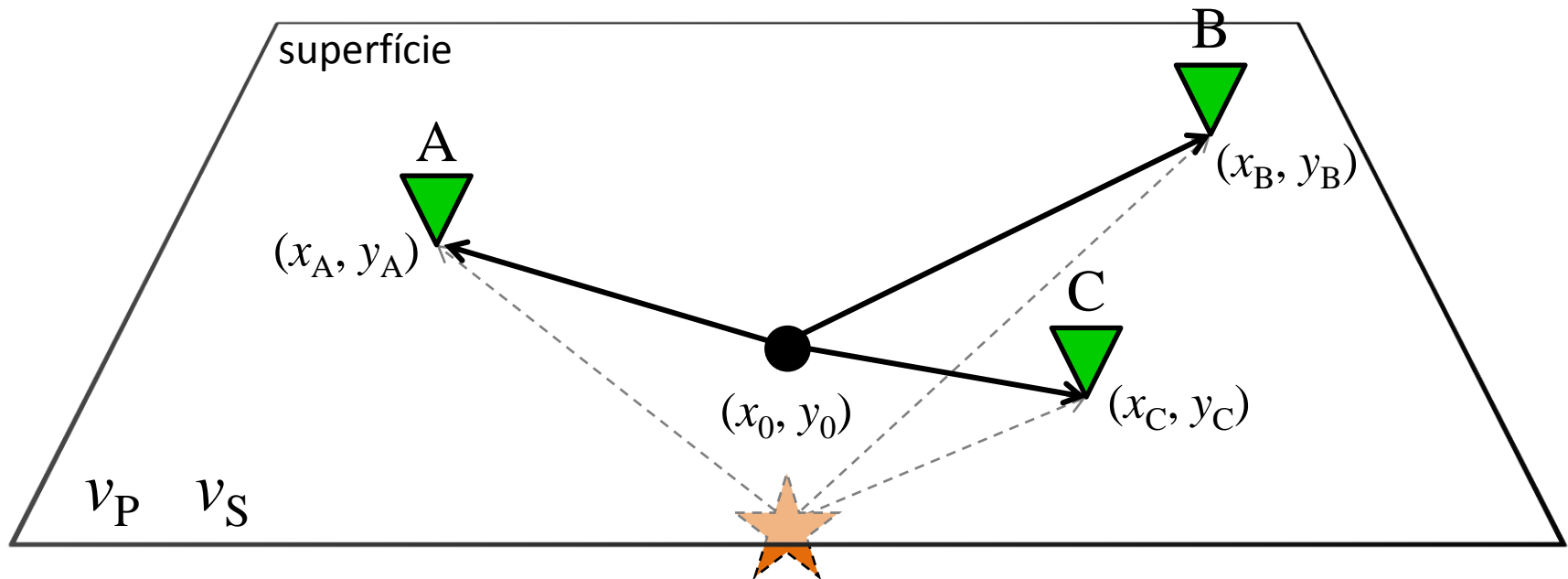
# Determinação Epicentral

## Relação funcional

Nessas condições, a relação entre a diferença de tempo de chegada das ondas P e S e os parâmetros  $v_P$ ,  $v_S$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $x_0$ , e  $y_0$  em uma estação:

$$\Delta t_i(x_0, y_0) = \left( \frac{1}{v_P} - \frac{1}{v_S} \right) [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]^{1/2}$$

# Determinação Epicentral



★ fonte do terremoto

▼ estação sismográfica

$$\Delta t_i(x_0, y_0) = \left( \frac{1}{v_P} - \frac{1}{v_S} \right) [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]^{1/2}$$



# Determinação Epicentral

## Problema Direto

Sendo assim, para todas as estações:

$$\Delta t_A(x_0, y_0) = \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2}$$

$$\Delta t_B(x_0, y_0) = \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2}$$

$\vdots$

$$\Delta t_C(x_0, y_0) = \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2}$$

$$\alpha = \left( \frac{1}{v_P} - \frac{1}{v_S} \right)$$

# Determinação Epicentral

## Problema Direto

Sendo assim, para todas as estações:

$$\Delta t_A(x_0, y_0) = \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2}$$

$$\begin{array}{l} \Delta t_B(x_0, y_0) = \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \vdots \\ \Delta t_C(x_0, y_0) = \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{array} \quad \begin{bmatrix} \Delta t_A(x_0, y_0) \\ \Delta t_B(x_0, y_0) \\ \Delta t_C(x_0, y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{bmatrix}$$

$$\Delta t_C(x_0, y_0) = \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2}$$

$$\alpha = \left( \frac{1}{v_P} - \frac{1}{v_S} \right)$$

# Determinação Epicentral

## Problema Direto

Sendo assim, para todas as estações:

$$\Delta t_A(x_0, y_0) = \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2}$$

$$\begin{array}{c} \Delta t_B(x_0, y_0) = \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \vdots \\ \Delta t_C(x_0, y_0) = \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{array} \quad \begin{bmatrix} \Delta t_A(x_0, y_0) \\ \Delta t_B(x_0, y_0) \\ \Delta t_C(x_0, y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{bmatrix}$$

$$\Delta t_C(x_0, y_0) = \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2}$$

$$\alpha = \left( \frac{1}{v_P} - \frac{1}{v_S} \right)$$

$$\overline{\Delta t}(\bar{p}) \neq \bar{B} \bar{p}$$

# Determinação Epicentral

## Norma

A norma L2 entre os dados observados e os dados preditos é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\Delta t}(\bar{p}) \right]^T \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\Delta t}(\bar{p}) \right] \quad \begin{bmatrix} \Delta t_A(x_0, y_0) \\ \Delta t_B(x_0, y_0) \\ \Delta t_C(x_0, y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{bmatrix}$$

$$\overline{\Delta t}(\bar{p}) \neq \overline{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Determinação Epicentral

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \underline{\overline{\Delta t}}^{obs} - \underline{\overline{\Delta t}}(\bar{p}) \right]^T \left[ \underline{\overline{\Delta t}}^{obs} - \underline{\overline{\Delta t}}(\bar{p}) \right] \quad \begin{bmatrix} \Delta t_A(x_0, y_0) \\ \Delta t_B(x_0, y_0) \\ \Delta t_C(x_0, y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\overline{\Delta t}}(\bar{p}) \neq \bar{B} \bar{p}$$

# Determinação Epicentral

## Norma

A norma L2 entre os dados observados e os dados preditos é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\Delta t}(\bar{p}) \right]^T \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\Delta t}(\bar{p}) \right]$$

$$\begin{bmatrix} \Delta t_A(x_0, y_0) \\ \Delta t_B(x_0, y_0) \\ \Delta t_C(x_0, y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{bmatrix}$$

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\mathbf{B}} \bar{p} \right]^T \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\mathbf{B}} \bar{p} \right]$$

$$\overline{\Delta t}(\bar{p}) \neq \overline{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Determinação Epicentral

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\Delta t}(\bar{p}) \right]^T \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\Delta t}(\bar{p}) \right]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{B} \bar{p} \right]^T \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{B} \bar{p} \right]$$~~

$$\begin{bmatrix} \Delta t_A(x_0, y_0) \\ \Delta t_B(x_0, y_0) \\ \Delta t_C(x_0, y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{bmatrix}$$

$$\overline{\Delta t}(\bar{p}) \neq \overline{B} \bar{p}$$

# Determinação Epicentral

## Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\Delta t}(\bar{p}) \right]^T \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\Delta t}(\bar{p}) \right]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\mathbf{B}} \bar{p} \right]^T \left[ \overline{\Delta t}^{obs} - \overline{\mathbf{B}} \bar{p} \right]$$~~

$$\begin{bmatrix} \Delta t_A(x_0, y_0) \\ \Delta t_B(x_0, y_0) \\ \Delta t_C(x_0, y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha[(x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2]^{1/2} \\ \alpha[(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2]^{1/2} \end{bmatrix}$$

$$\overline{\Delta t}(\bar{p}) \neq \overline{\mathbf{B}} \bar{p}$$

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \Delta t_A^{obs} - \Delta t_A(\bar{p}) \right]^2 + \left[ \Delta t_B^{obs} - \Delta t_B(\bar{p}) \right]^2 + \left[ \Delta t_C^{obs} - \Delta t_C(\bar{p}) \right]^2$$



# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Problema Geofísico

Cálculo da amplitude e do tempo em que  
ocorreu uma perturbação climática

# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

- Uma mudança abrupta no clima gera uma perturbação na temperatura da superfície, que se propaga em subsuperfície e é detectada por um sensor movido ao longo de um poço
- As **observações** são medições da diferença entre a temperatura ao longo do poço e a temperatura predita pelo campo térmico regional

# Sinal Climático

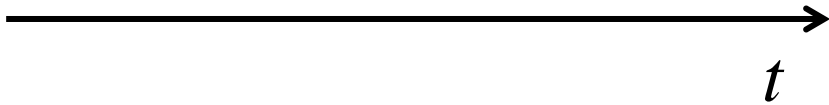
## (Perturbação Abrupta)



subsuperfície

# Sinal Climático

(Perturbação Abrupta)



# Sinal Climático

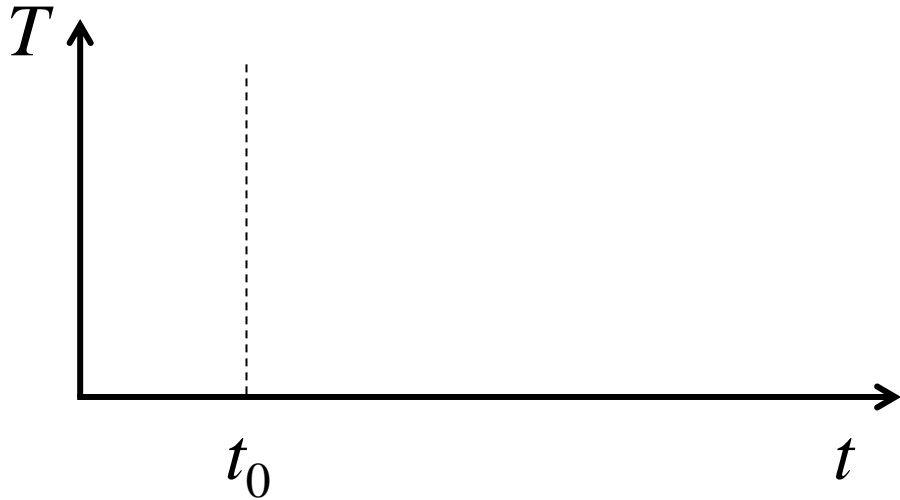
(Perturbação Abrupta)



subsuperfície

# Sinal Climático

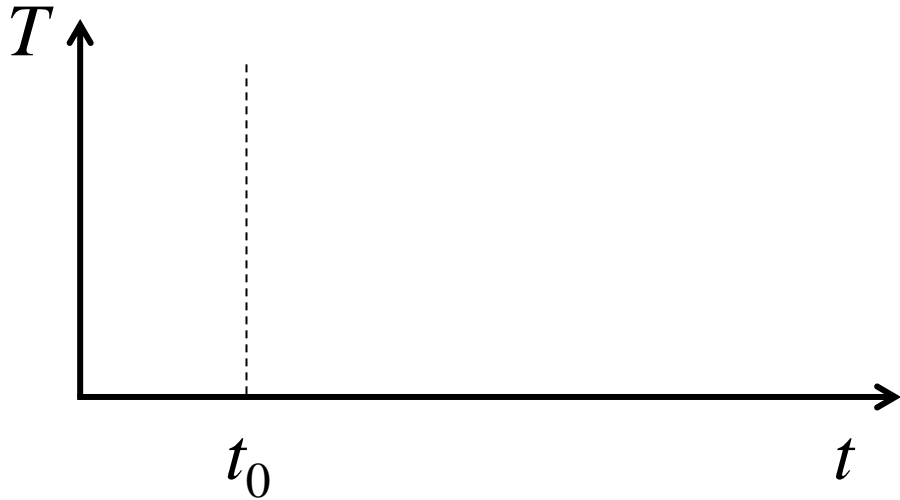
## (Perturbação Abrupta)



$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática



# Sinal Climático (Perturbação Abrupta)

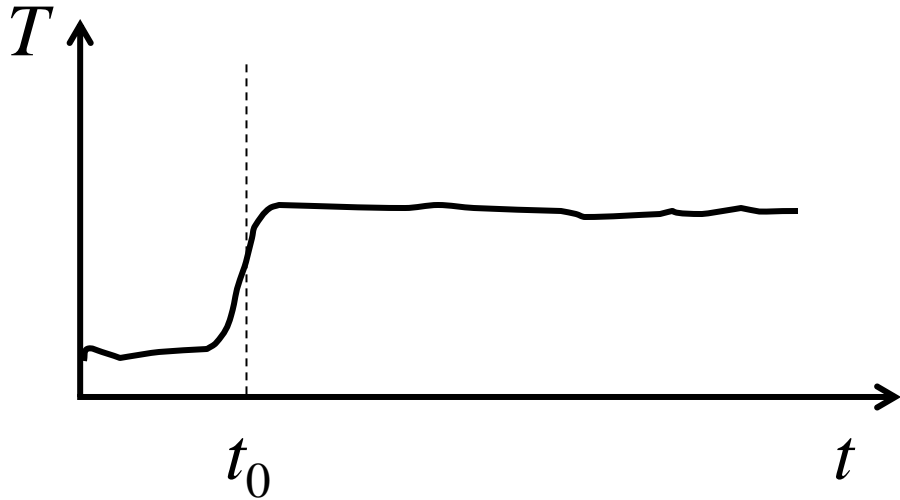


$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática

o tempo é positivo em direção  
ao presente



# Sinal Climático (Perturbação Abrupta)



$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática

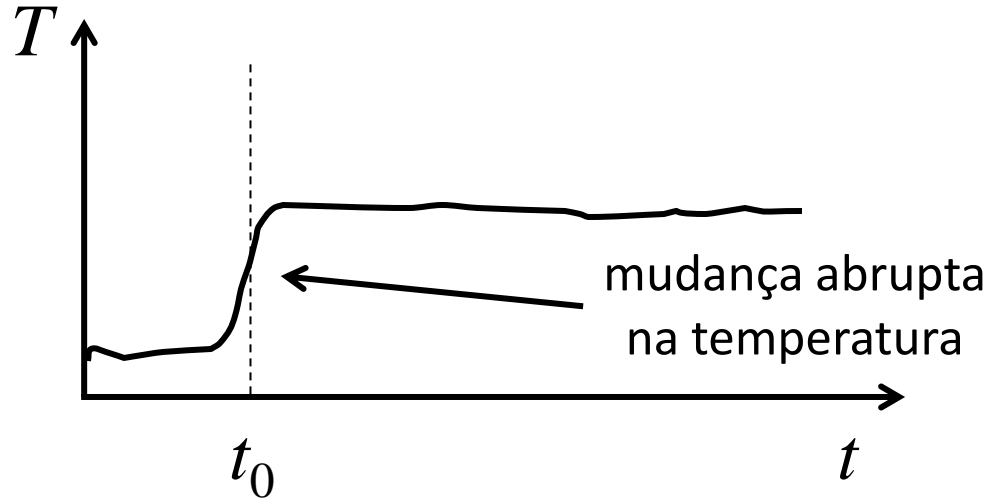


subsuperfície



# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

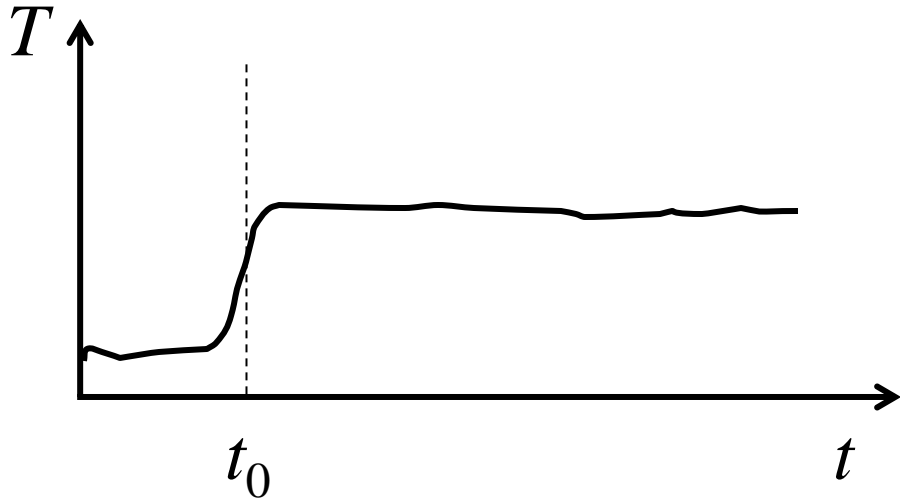


$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática



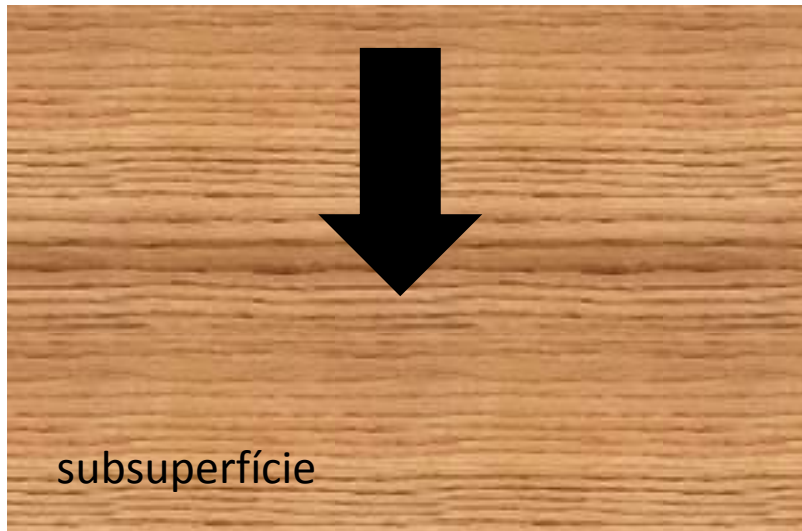
subsuperfície

# Sinal Climático (Perturbação Abrupta)



$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática

a mudança abrupta na  
temperatura, induzida  
por uma perturbação  
climática, propaga-se  
em subsuperfície



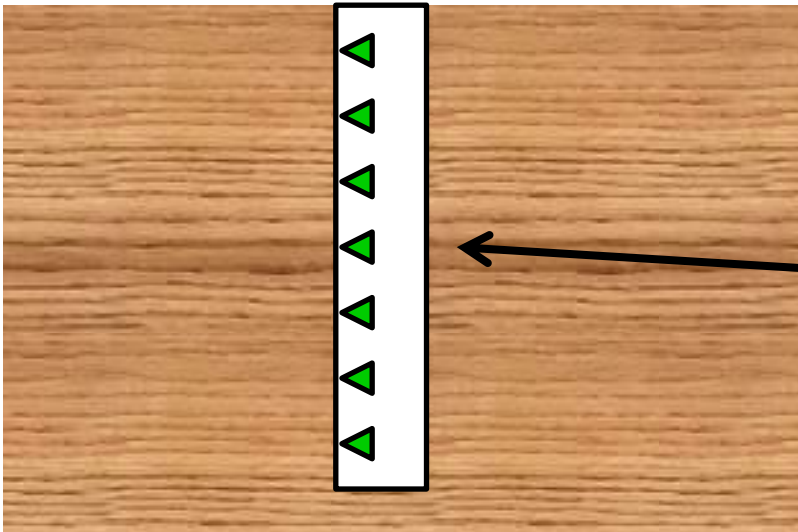
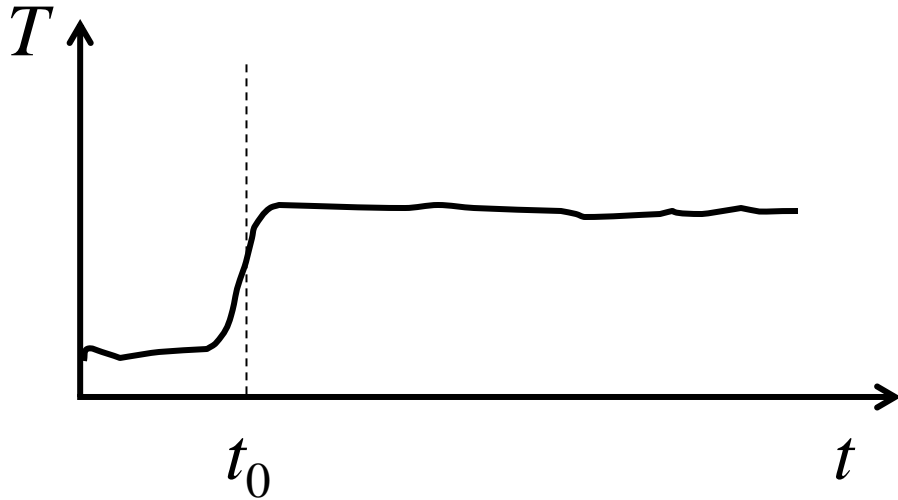
# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

- Uma mudança abrupta no clima gera uma perturbação na temperatura da superfície, que se propaga em subsuperfície e é detectada por um sensor movido ao longo de um poço
- As **observações** são medições da diferença entre a temperatura ao longo do poço e a temperatura do campo térmico regional

# Sinal Climático

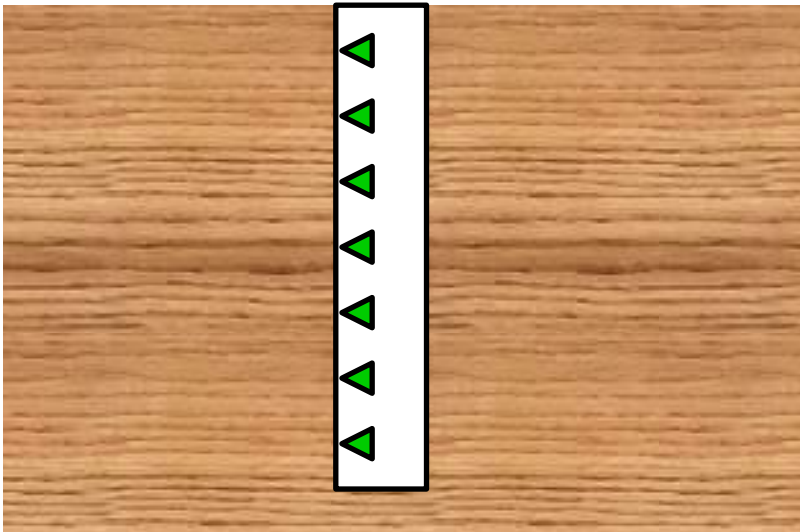
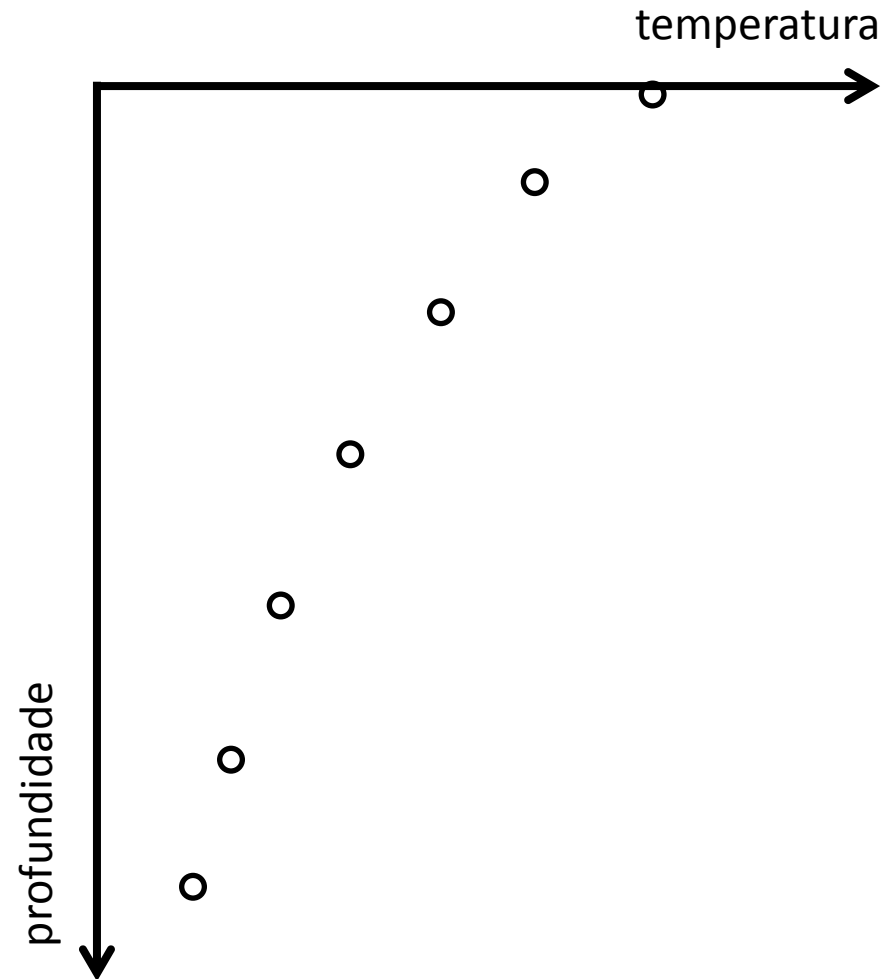
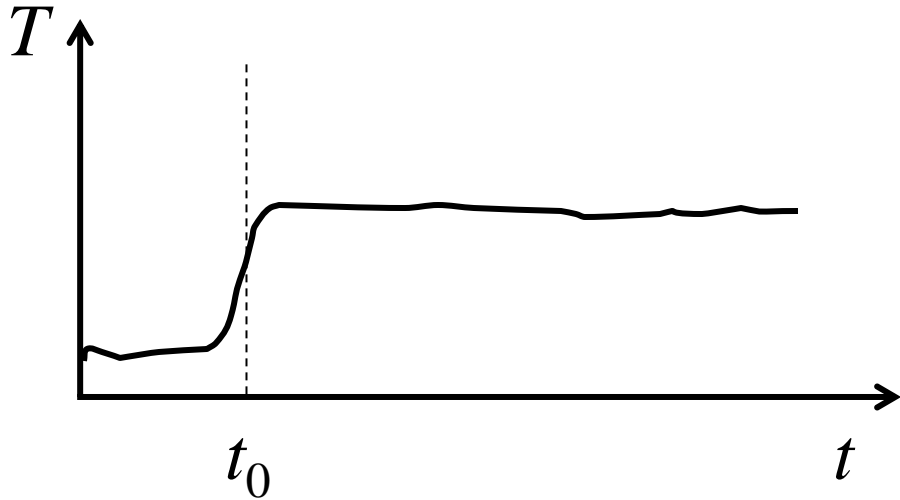
## (Perturbação Abrupta)



medidas da  
temperatura ao longo  
do poço

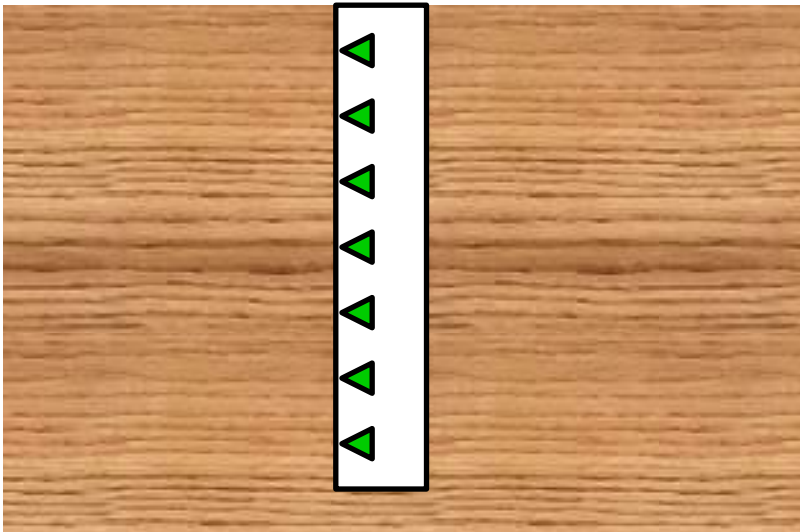
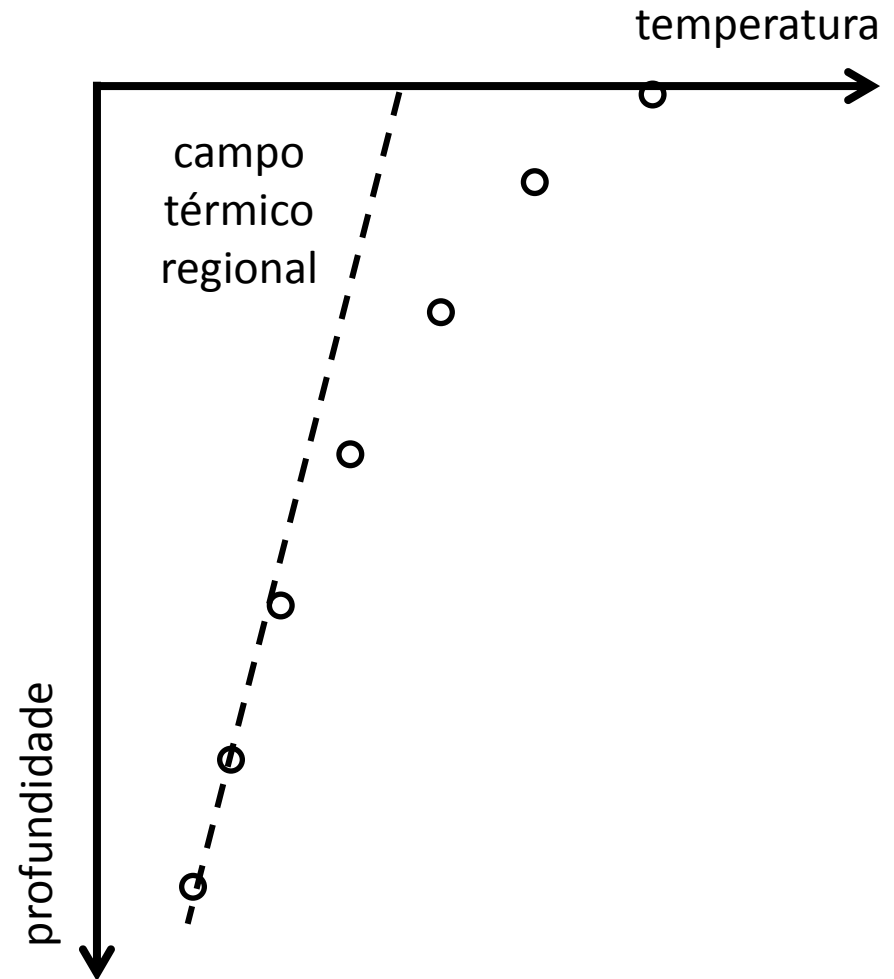
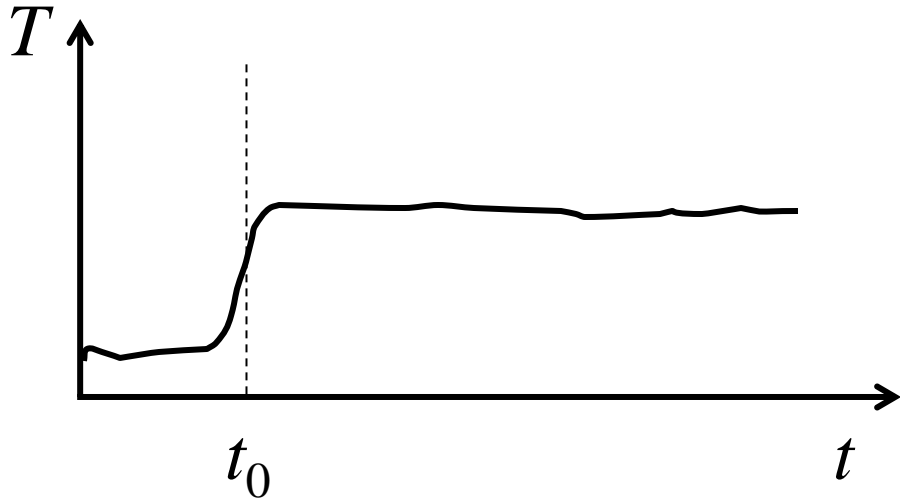
# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)



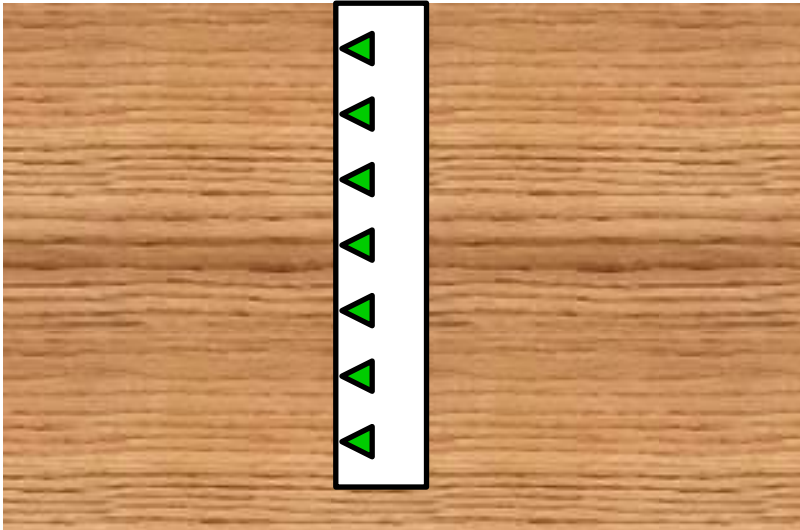
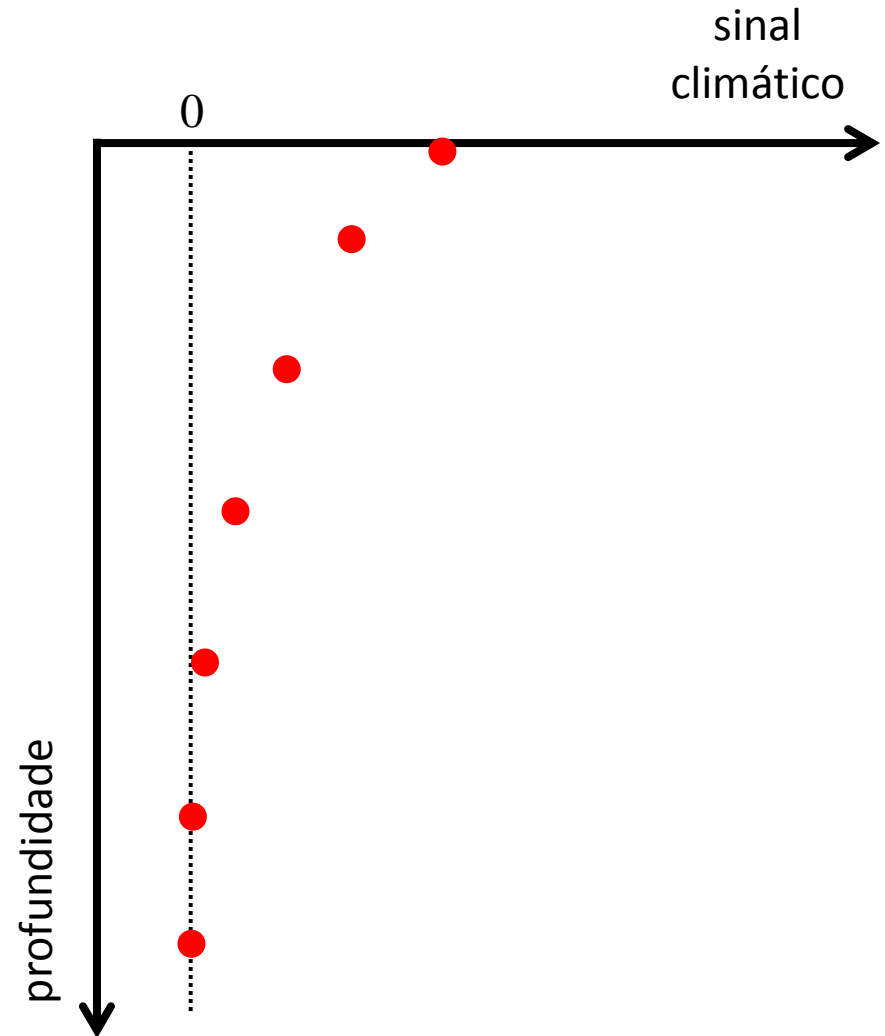
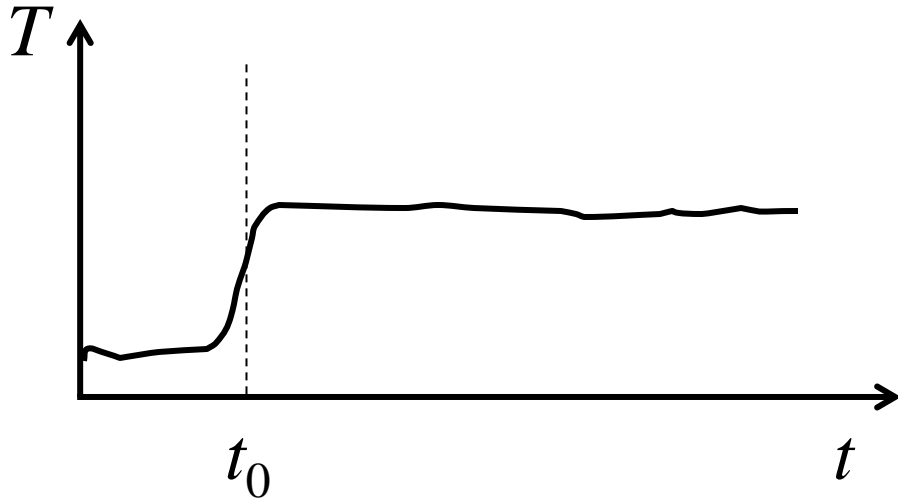
# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)



# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)



# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Parametrização

Considerando que a subsuperfície é um semi-espaco infinito e homogêneo, o sinal climático em uma determinada profundidade pode ser descrito em termos dos parâmetros:

- Difusividade térmica  $\lambda$
- Tempo  $t'$  decorrido desde a perturbação climática
- Amplitude  $A$  da perturbação climática
- Profundidade  $z$  dentro do poço



# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

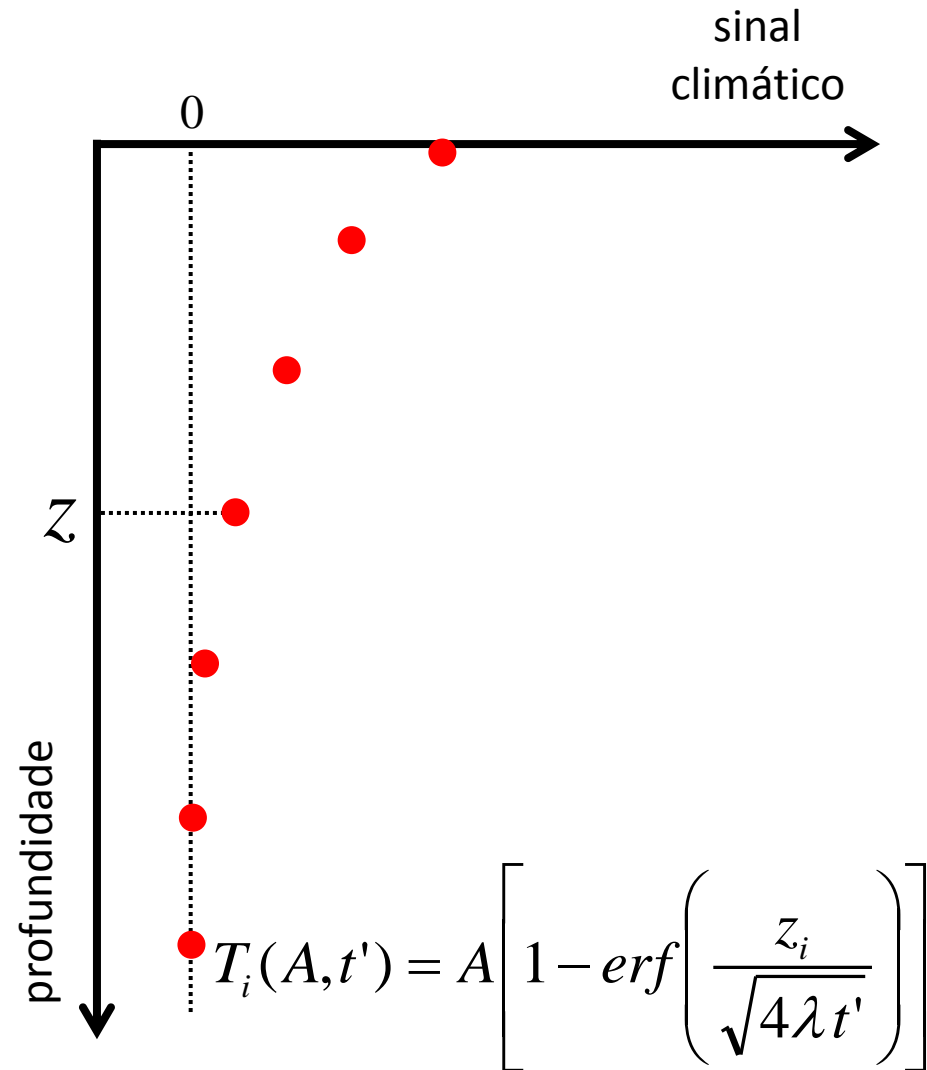
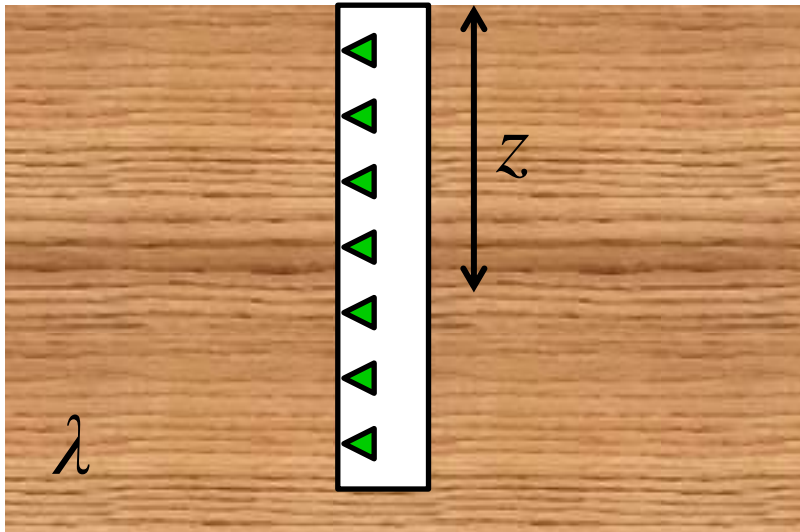
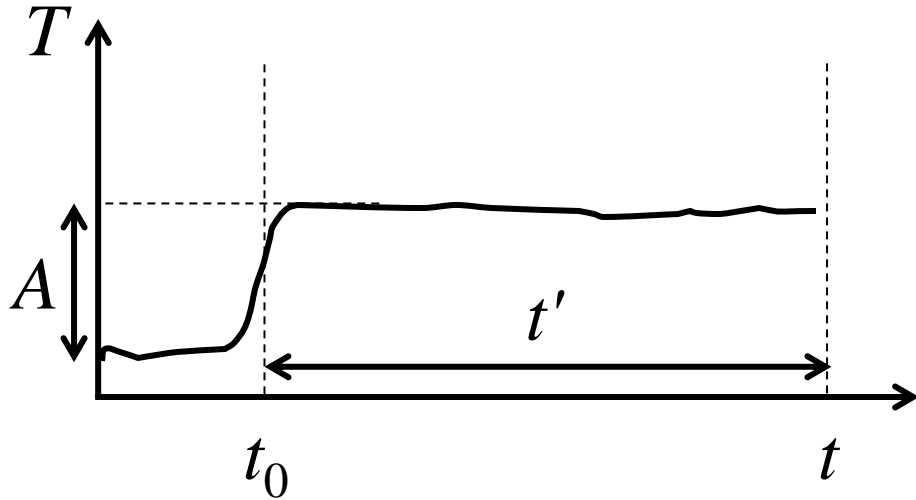
### Relação funcional

Nessas condições, a relação entre o sinal climático em uma determinada profundidade e os parâmetros  $\lambda$ ,  $t'$  e  $A$  é dada por:

$$T_i(A, t') = A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_i}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right]$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)



# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes profundidades:

$$\begin{aligned}T_1(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_1}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] \\T_2(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_2}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] \\&\vdots \\T_N(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_N}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right]\end{aligned}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes profundidades:

$$\begin{aligned} T_1(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_1}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] \\ T_2(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_2}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] \\ &\vdots \\ T_N(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_N}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] \end{aligned}$$
$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A[1 - \operatorname{erf}(z_1/\sqrt{4\lambda t'})] \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_2/\sqrt{4\lambda t'})] \\ \vdots \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_N/\sqrt{4\lambda t'})] \end{bmatrix}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes profundidades:

$$\begin{aligned} T_1(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_1}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] \\ T_2(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_2}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] \\ &\vdots \\ T_N(A, t') &= A \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z_N}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] \end{aligned}$$
$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A[1 - \operatorname{erf}(z_1/\sqrt{4\lambda t'})] \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_2/\sqrt{4\lambda t'})] \\ \vdots \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_N/\sqrt{4\lambda t'})] \end{bmatrix}$$
$$\overline{T}(\overline{p}) \neq \overline{\mathbf{B}} \overline{p}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]$$

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A[1 - \operatorname{erf}(z_1 / \sqrt{4\lambda t'})] \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_2 / \sqrt{4\lambda t'})] \\ \vdots \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_N / \sqrt{4\lambda t'})] \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}(\bar{p}) \neq \bar{\bar{B}} \bar{p}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \underline{\bar{T}^{obs}} - \underline{\bar{T}(\bar{p})} \right]^T \left[ \underline{\bar{T}^{obs}} - \underline{\bar{T}(\bar{p})} \right]$$

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A[1 - \operatorname{erf}(z_1 / \sqrt{4\lambda t'})] \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_2 / \sqrt{4\lambda t'})] \\ \vdots \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_N / \sqrt{4\lambda t'})] \end{bmatrix}$$

$$\underline{\bar{T}(\bar{p})} \neq \bar{\bar{B}} \bar{p}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]$$

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A[1 - \operatorname{erf}(z_1 / \sqrt{4\lambda t'})] \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_2 / \sqrt{4\lambda t'})] \\ \vdots \\ A[1 - \operatorname{erf}(z_N / \sqrt{4\lambda t'})] \end{bmatrix}$$

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \right]$$

$$\bar{T}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$



# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{B}\bar{p} \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{B}\bar{p} \right]$$~~

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A[1 - \text{erf}(z_1/\sqrt{4\lambda t'})] \\ A[1 - \text{erf}(z_2/\sqrt{4\lambda t'})] \\ \vdots \\ A[1 - \text{erf}(z_N/\sqrt{4\lambda t'})] \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}(\bar{p}) \neq \bar{B}\bar{p}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Abrupta)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{B} \bar{p} \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{B} \bar{p} \right]$$~~

$$\phi(\bar{p}) = \sum_{i=1}^N [T_i^{obs} - T_i(\bar{p})]^2$$

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A[1 - \text{erf}(z_1 / \sqrt{4\lambda t'})] \\ A[1 - \text{erf}(z_2 / \sqrt{4\lambda t'})] \\ \vdots \\ A[1 - \text{erf}(z_N / \sqrt{4\lambda t'})] \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}(\bar{p}) \neq \bar{B} \bar{p}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Problema Geofísico

Cálculo da amplitude e do tempo em que  
ocorreu uma perturbação climática

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

- Uma mudança linear no clima gera uma perturbação na temperatura da superfície, que se propaga em subsuperfície e é detectada por um sensor movido ao longo de um poço
- As **observações** são medições da diferença entre a temperatura ao longo do poço e a temperatura predita pelo campo térmico regional

# Sinal Climático

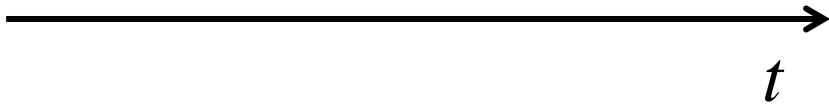
## (Perturbação Linear)



subsuperfície

# Sinal Climático

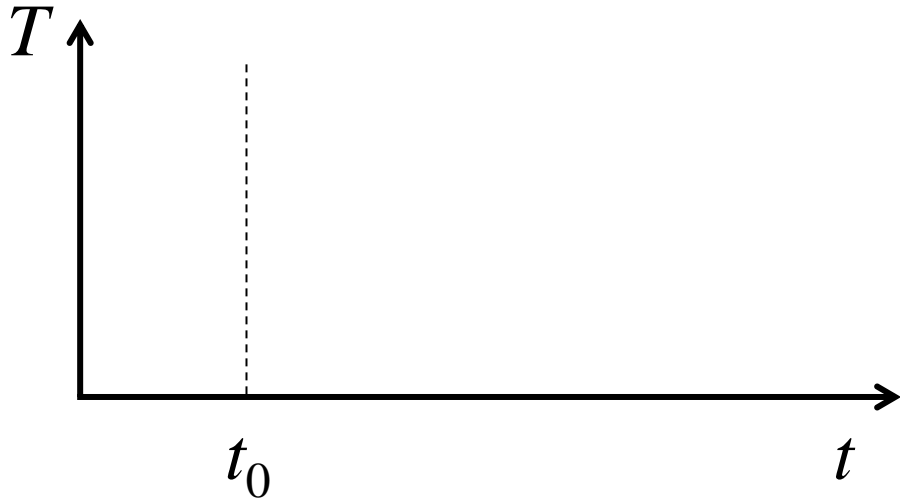
(Perturbação Linear)



# Sinal Climático (Perturbação Linear)



# Sinal Climático (Perturbação Linear)



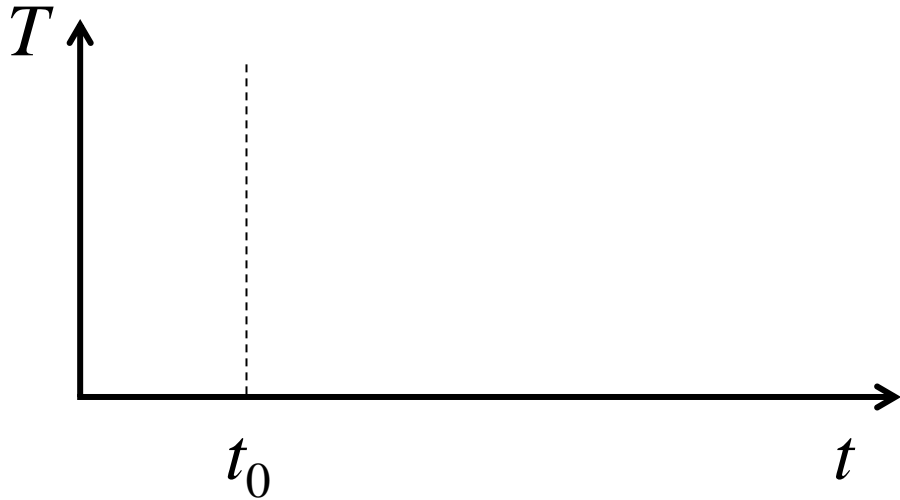
$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática



subsuperfície



# Sinal Climático (Perturbação Linear)

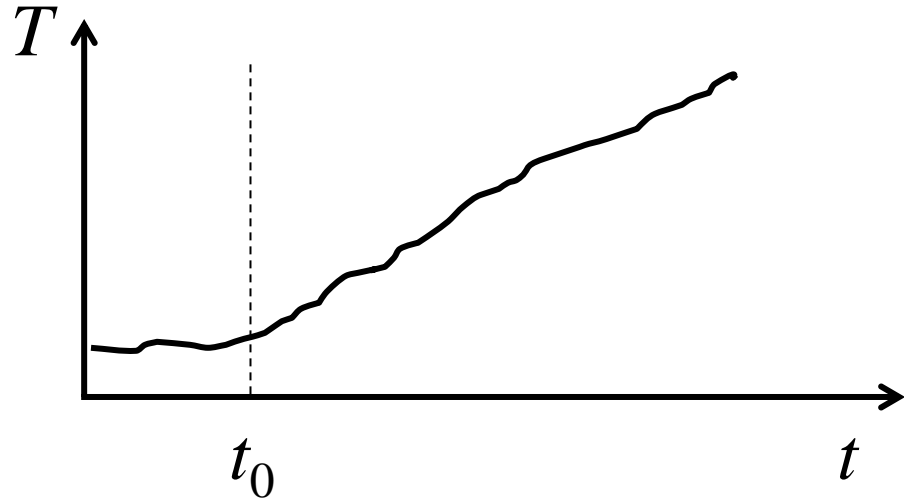


$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática

o tempo é positivo em direção  
ao presente



# Sinal Climático (Perturbação Linear)

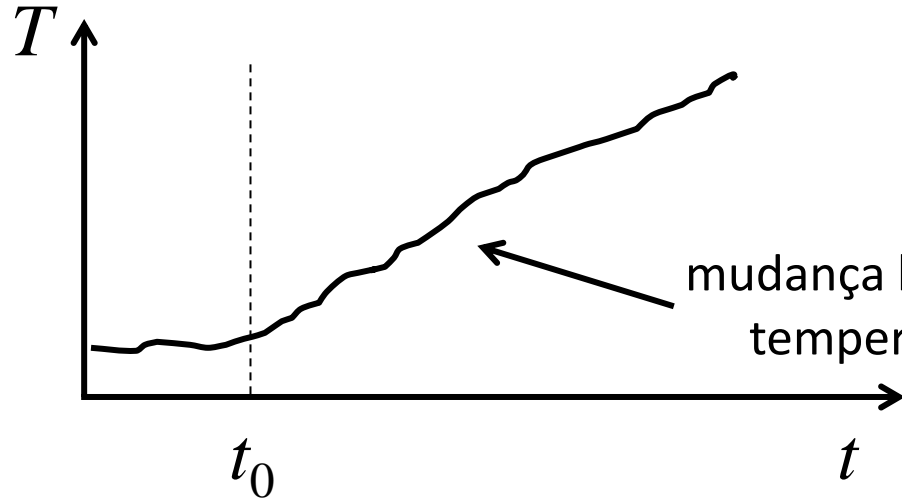


$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática



subsuperfície

# Sinal Climático (Perturbação Linear)



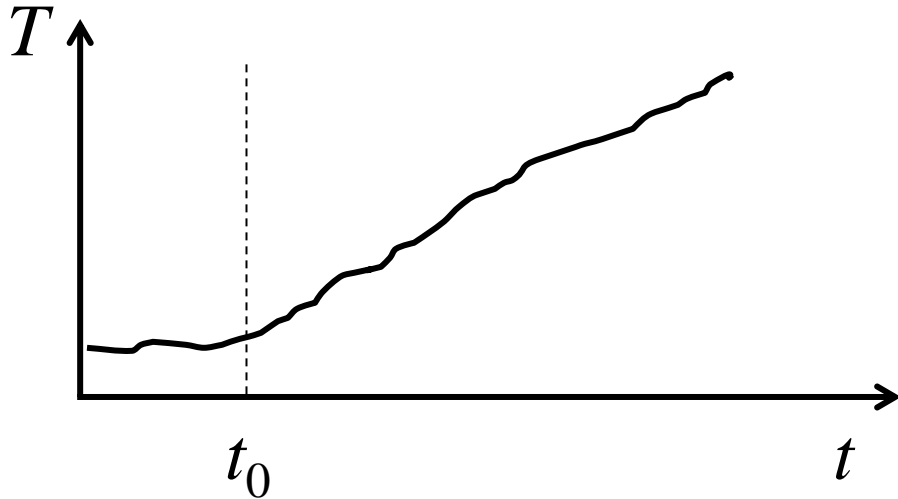
$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática

mudança linear na  
temperatura



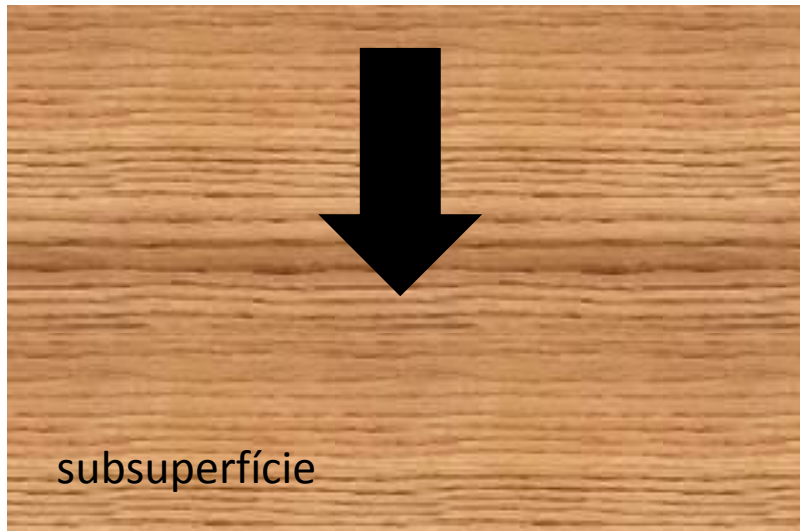
subsuperfície

# Sinal Climático (Perturbação Linear)



$t_0$  tempo em que ocorreu a  
perturbação climática

a mudança linear na  
temperatura, induzida  
por uma perturbação  
climática, propaga-se  
em subsuperfície

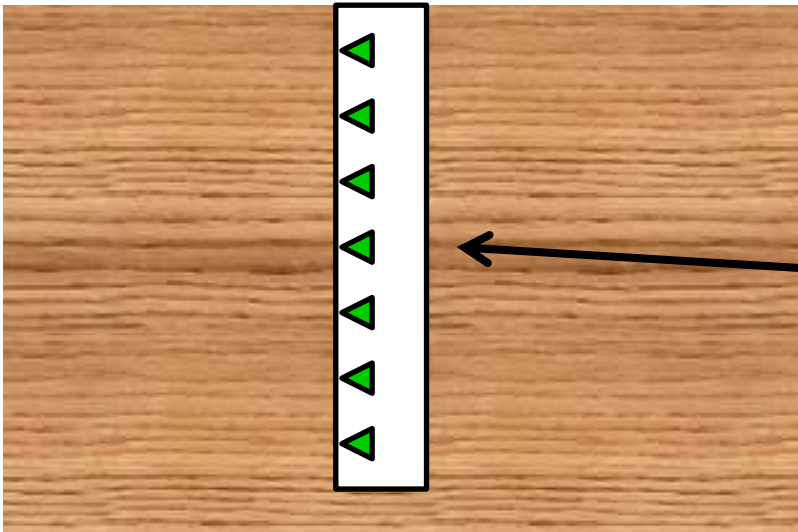
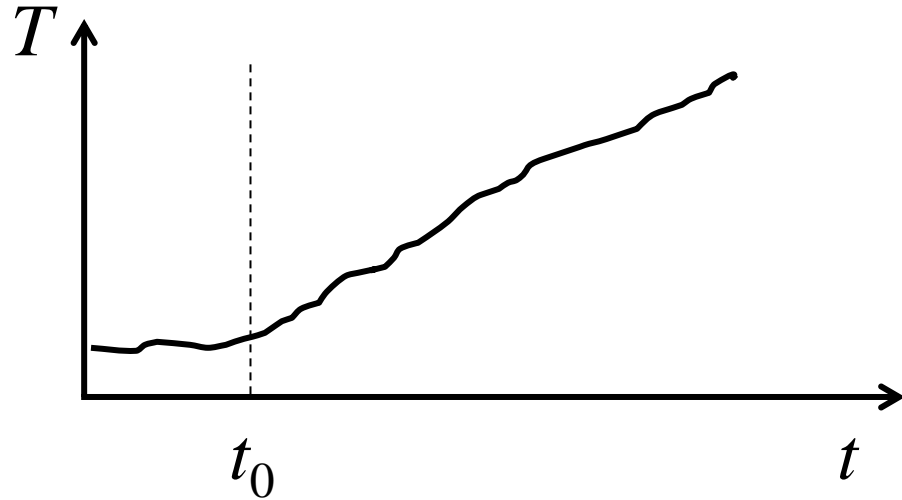


# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

- Uma mudança linear no clima gera uma perturbação na temperatura da superfície, que se propaga em subsuperfície e é detectada por um sensor movido ao longo de um poço
- As **observações** são medições da diferença entre a temperatura ao longo do poço e a temperatura do campo térmico regional

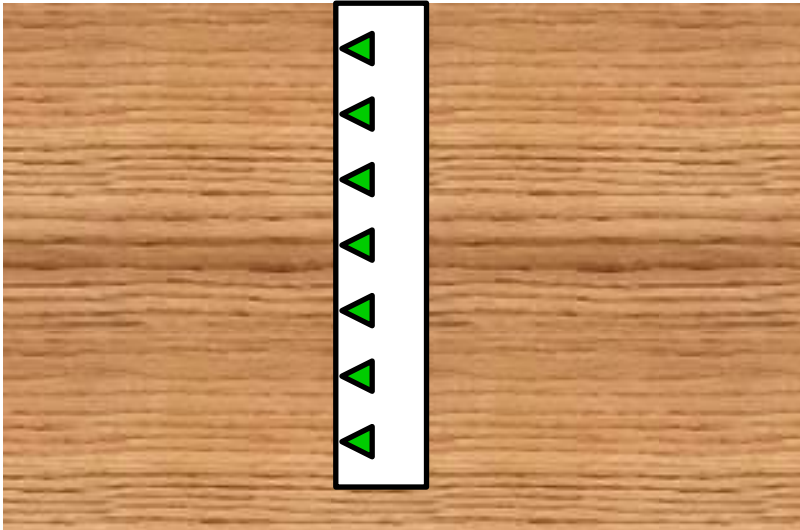
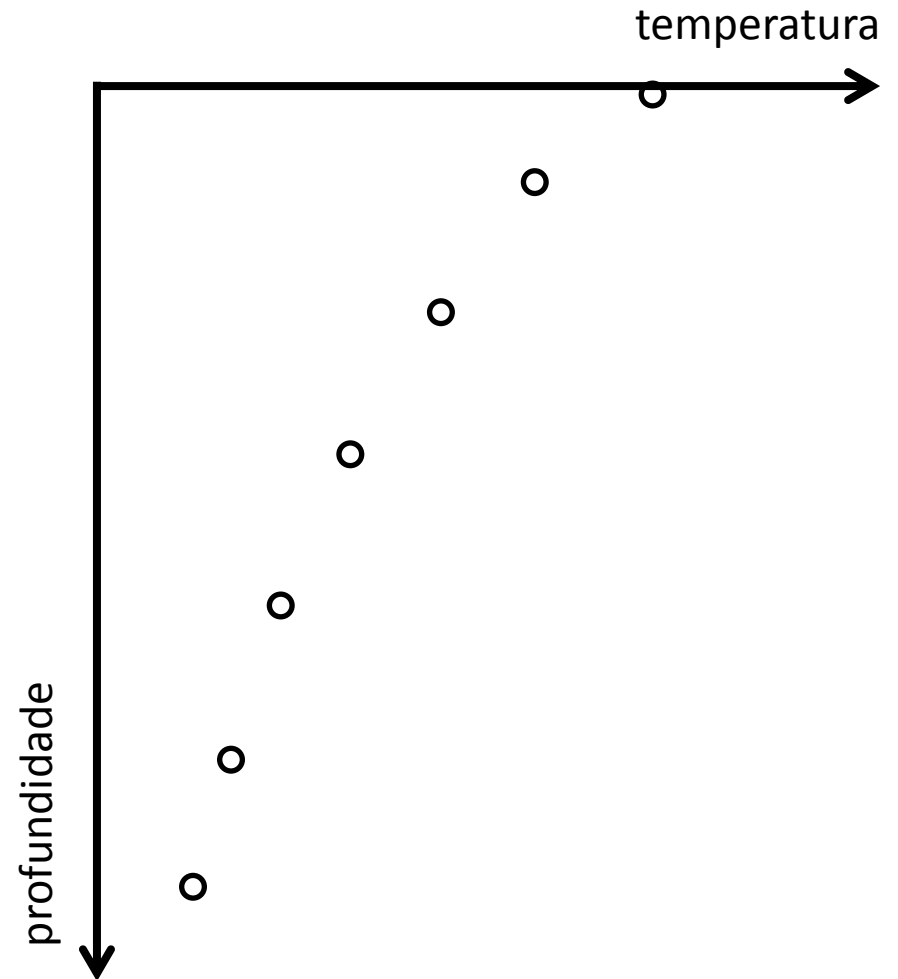
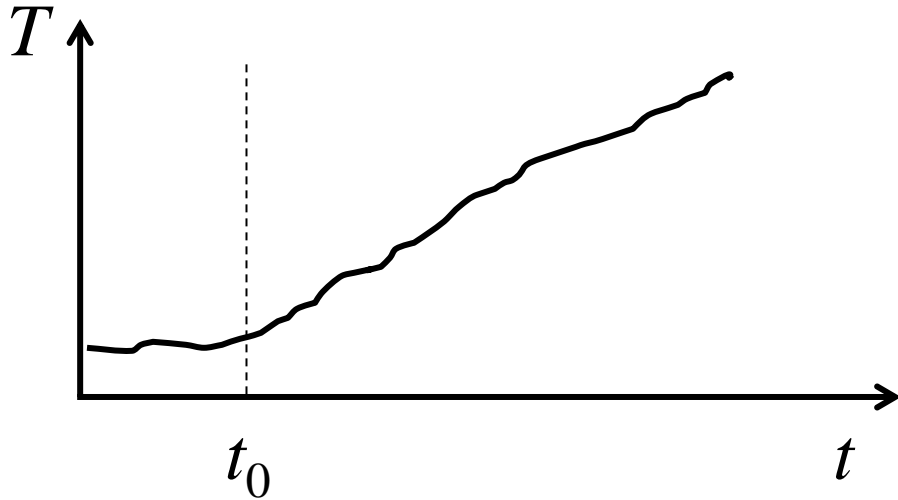
# Sinal Climático (Perturbação Linear)



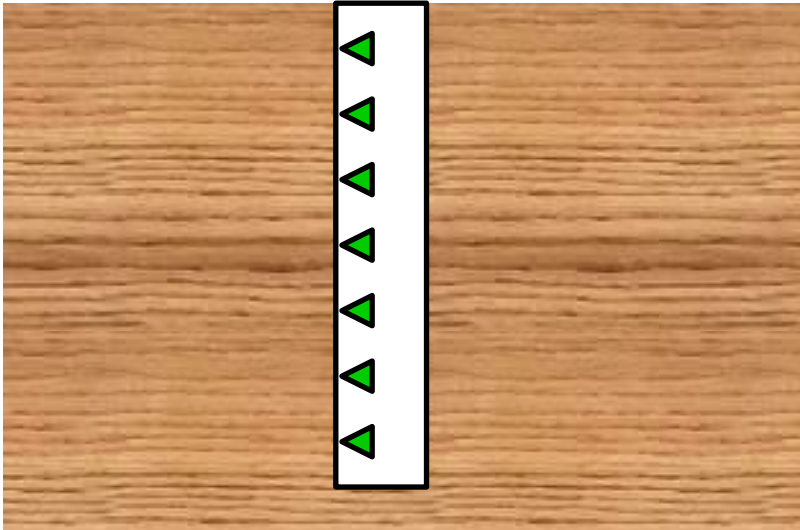
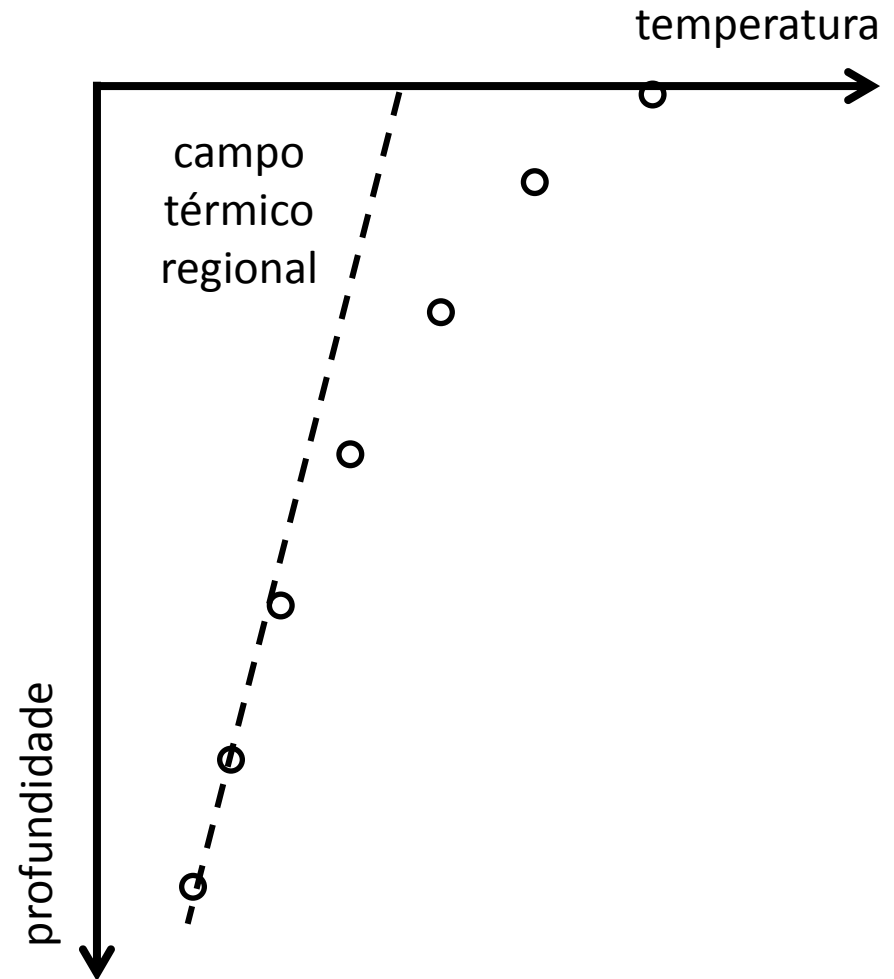
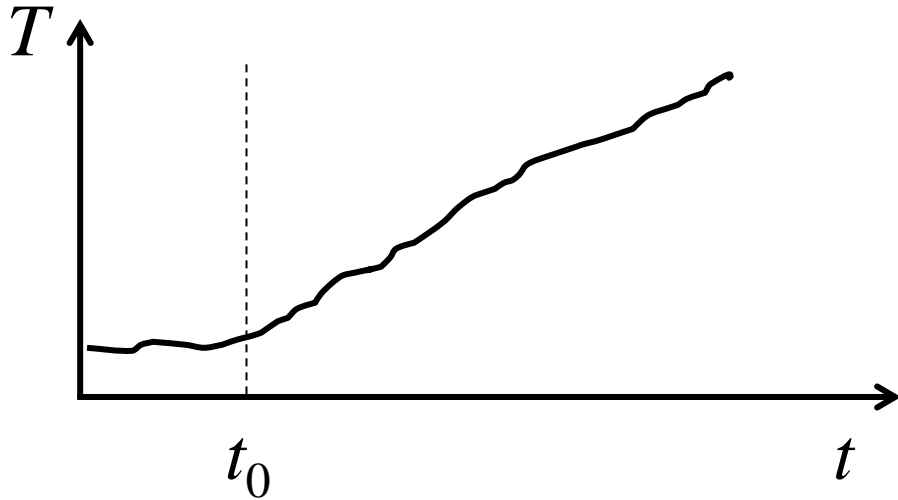
medidas da  
temperatura ao longo  
do poço

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)



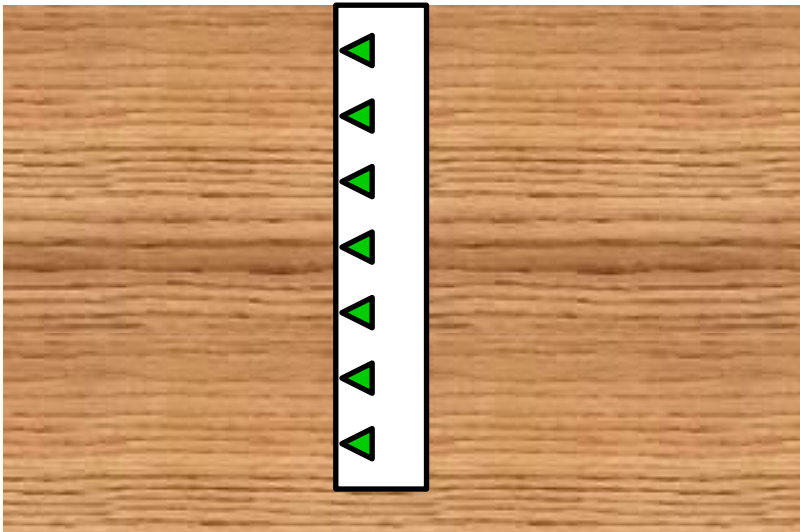
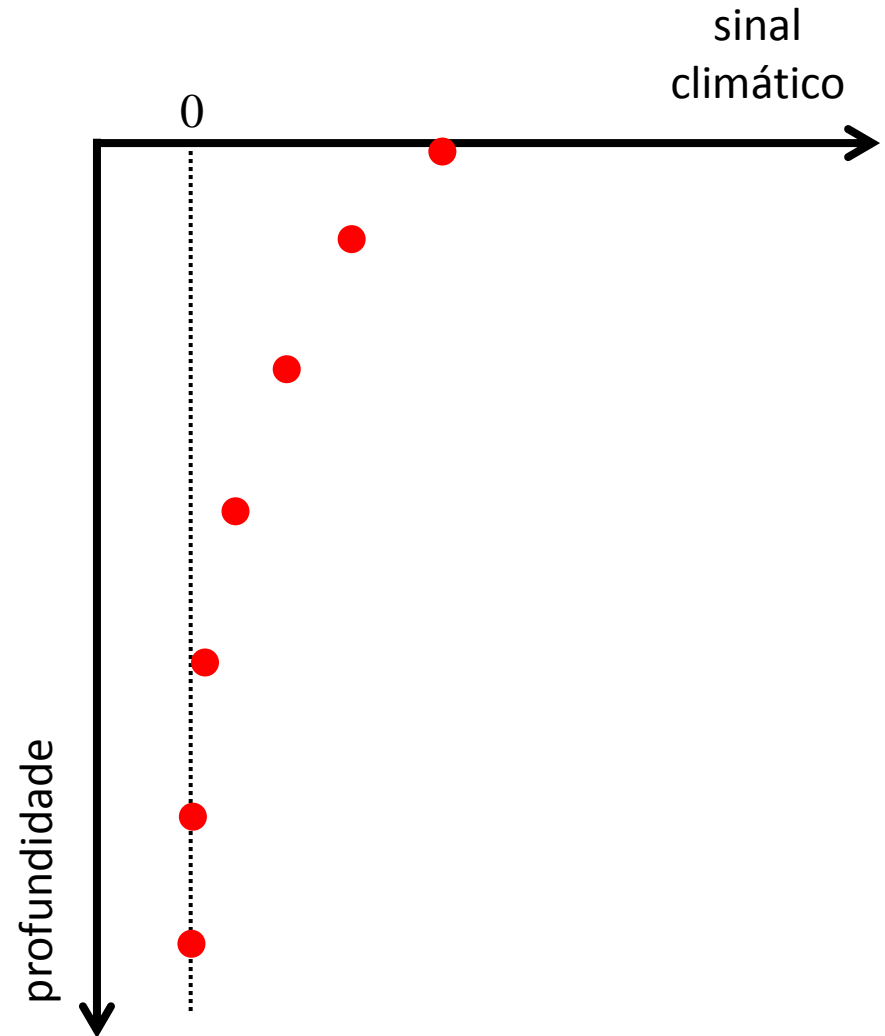
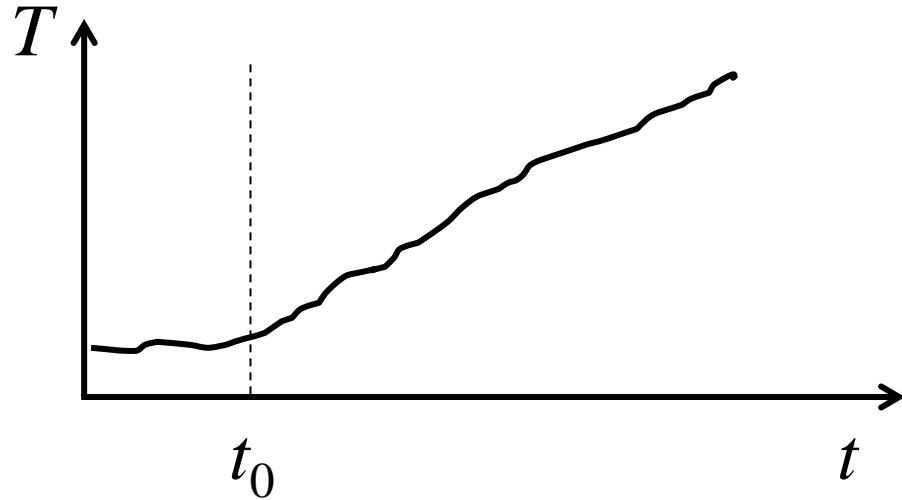
# Sinal Climático (Perturbação Linear)





# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)



# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Parametrização

Considerando que a subsuperfície é um semi-espaco infinito e homogêneo, o sinal climático em uma determinada profundidade pode ser descrito em termos dos parâmetros:

- Difusividade térmica  $\lambda$
- Tempo  $t'$  decorrido desde a perturbação climática
- Amplitude  $A$  da perturbação climática
- Profundidade  $z$  dentro do poço

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

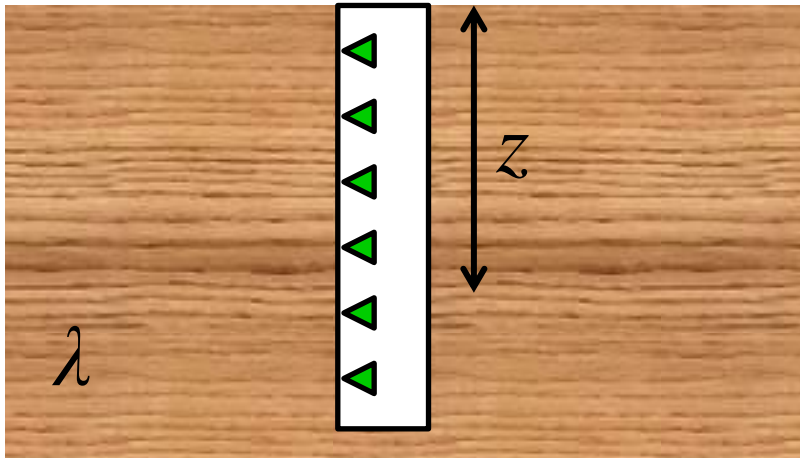
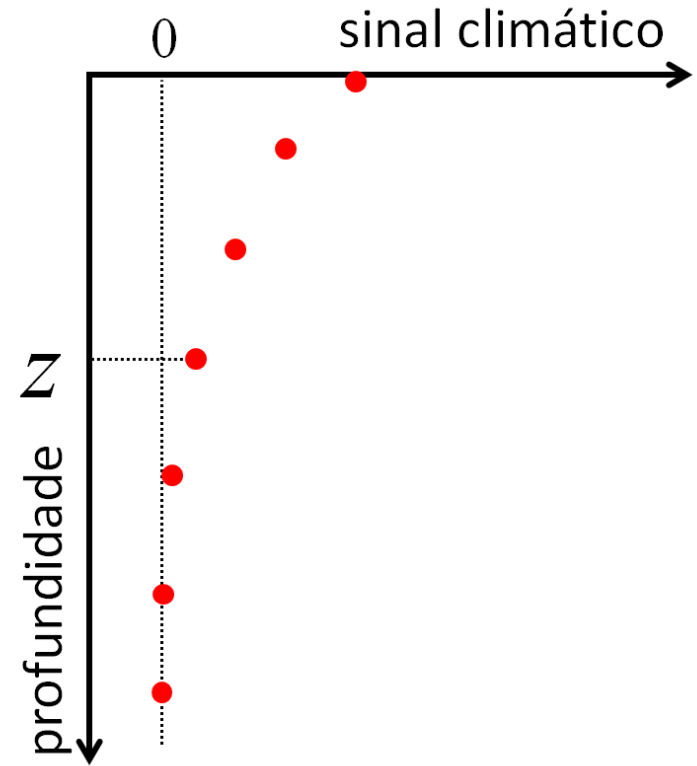
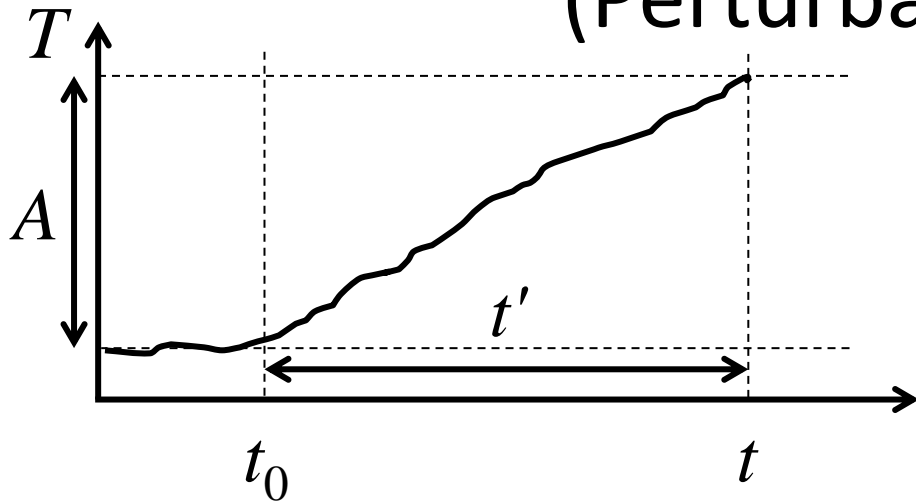
### Relação funcional

Nessas condições, a relação entre o sinal climático em uma determinada profundidade e os parâmetros  $\lambda$ ,  $t'$  e  $A$  é dada por:

$$T_i(A, t') = A \left\{ \left[ \left( 1 + \frac{2z_i^2}{4\lambda t'} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{z_i}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] - \left[ \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{z_i}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \exp \left( \frac{-z_i^2}{4\lambda t'} \right) \right] \right\}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)



$$T_i(A, t') = A \left\{ \left[ \left( 1 + \frac{2z_i^2}{4\lambda t'} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{z_i}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \right] - \left[ \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{z_i}{\sqrt{4\lambda t'}} \right) \exp \left( \frac{-z_i^2}{4\lambda t'} \right) \right] \right\}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes profundidades:

$$\begin{aligned} T_1(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ T_2(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ &\vdots \\ T_N(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{aligned}$$

$$\alpha_i = z_i / \sqrt{4\lambda t'}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes profundidades:

$$\begin{aligned}
 T_1(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\
 T_2(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\
 &\vdots \\
 T_N(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ \vdots \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{bmatrix}$$

$$\alpha_i = z_i / \sqrt{4\lambda t'}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes profundidades:

$$\begin{aligned}
 T_1(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\
 T_2(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\
 &\vdots \\
 T_N(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 \begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ \vdots \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{bmatrix} \\
 \overline{T}(\bar{p}) &\neq \overline{\mathbf{B}} \bar{p}
 \end{aligned}$$

$$\alpha_i = z_i / \sqrt{4\lambda t'}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]$$

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \left\{ [(1 + 2\alpha_1)erfc(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_2)erfc(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ \vdots \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_N)erfc(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \quad \alpha_i = z_i / \sqrt{4\lambda t'}$$



# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \underline{\bar{T}^{obs}} - \underline{\bar{T}(\bar{p})} \right]^T \left[ \underline{\bar{T}^{obs}} - \underline{\bar{T}(\bar{p})} \right]$$

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ \vdots \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\bar{T}(\bar{p})} \neq \bar{\bar{\mathbf{B}}} \bar{p} \quad \alpha_i = z_i / \sqrt{4\lambda t'}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]$$

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \right]$$

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ \vdots \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

$$\alpha_i = z_i / \sqrt{4\lambda t'}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{B} \bar{p} \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{B} \bar{p} \right]$$~~

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ \vdots \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}(\bar{p}) \neq \bar{B} \bar{p}$$

$$\alpha_i = z_i / \sqrt{4\lambda t'}$$

# Sinal Climático

## (Perturbação Linear)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{T}(\bar{p}) \right]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{B} \bar{p} \right]^T \left[ \bar{T}^{obs} - \bar{B} \bar{p} \right]$$~~

$$\phi(\bar{p}) = \sum_{i=1}^N [T_i^{obs} - T_i(\bar{p})]^2$$

$$\begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ \vdots \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}(\bar{p}) \neq \bar{B} \bar{p}$$

$$\alpha_i = z_i / \sqrt{4\lambda t'}$$

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Problema Geofísico

Cálculo da profundidade do embasamento

# Gravimetria

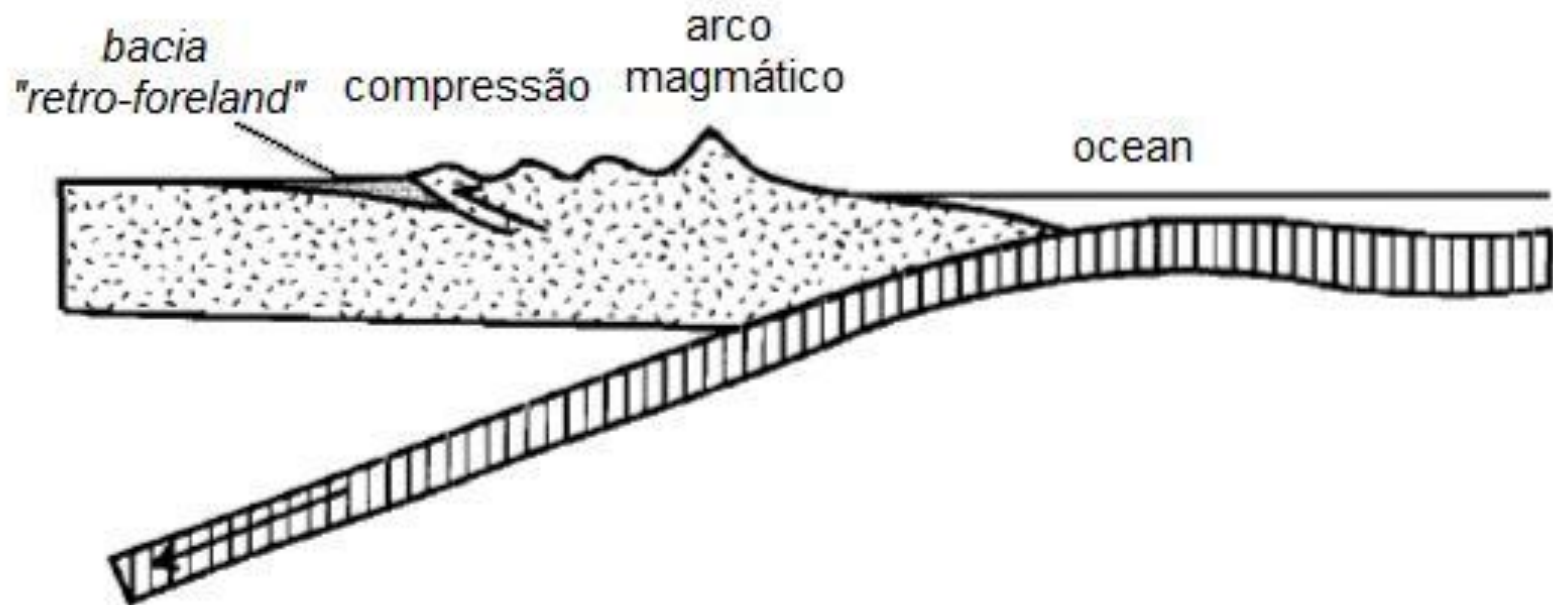
## (Bacia Triangular)

- O relevo do embasamento sob uma bacia sedimentar produz uma anomalia na Aceleração da Gravidade
- As **observações** são medições da componente vertical da Anomalia de Gravidade

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

Limite oceano-continente  
Margem tipo "Andina"

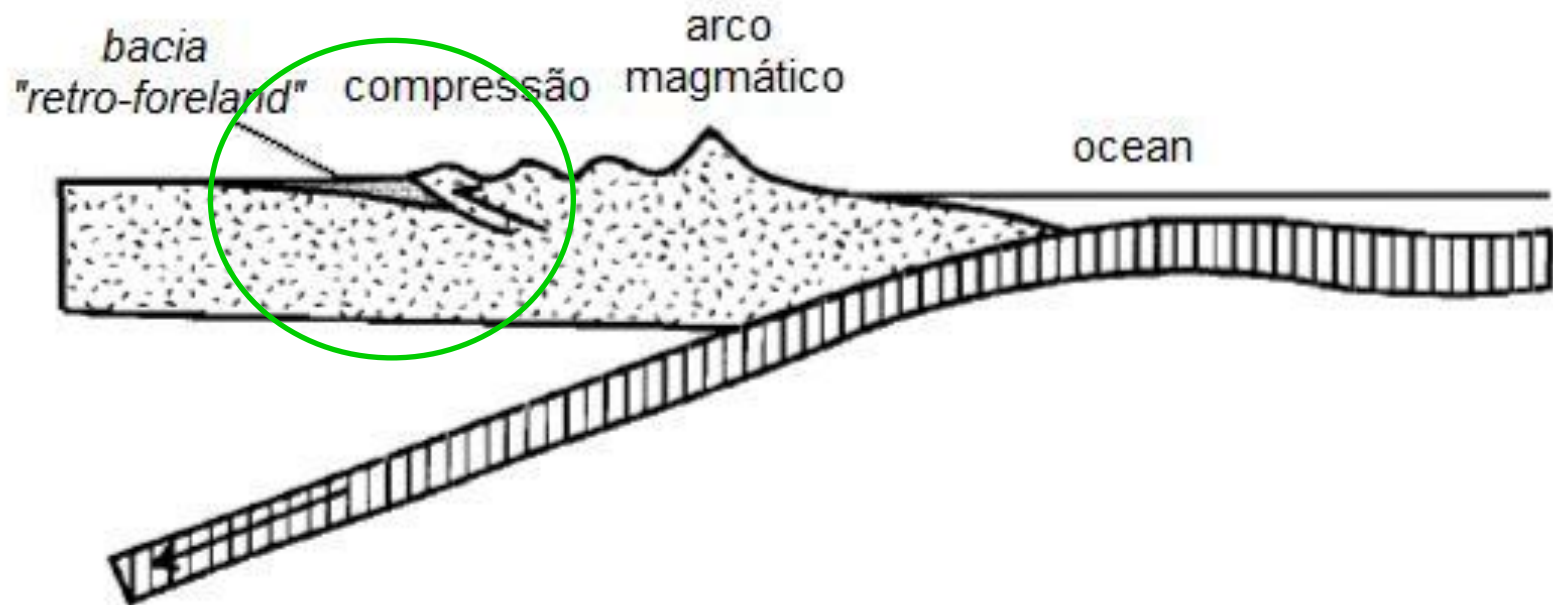


Modificado de Allen e Allen (2005)

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

Limite oceano-continente  
Margem tipo "Andina"





# Gravimetria

## (Bacia Triangular)



# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

- O relevo do embasamento sob uma bacia sedimentar produz uma anomalia na Aceleração da Gravidade
- As **observações** são medições da componente vertical da Anomalia de Gravidade

# Gravimetria

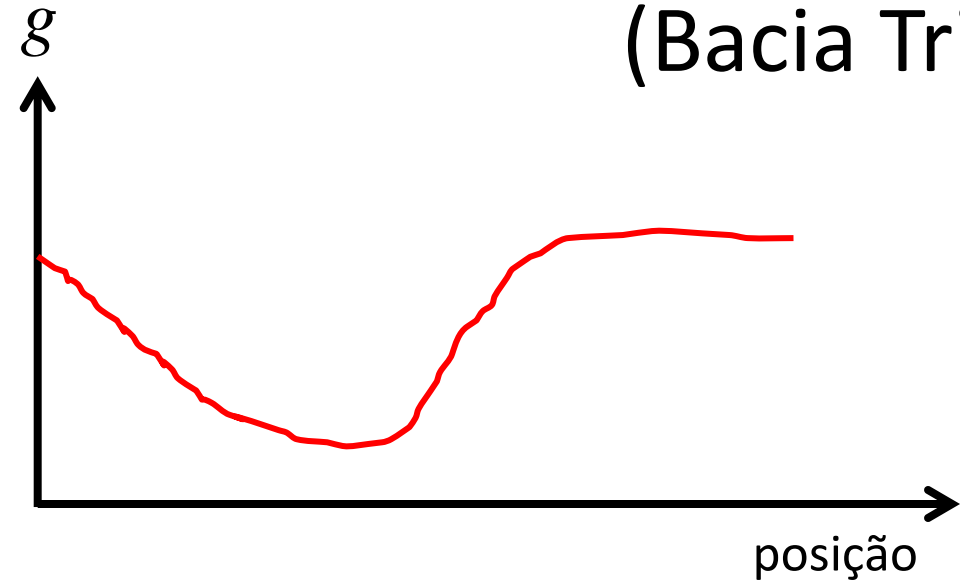
## (Bacia Triangular)

### Parametrização

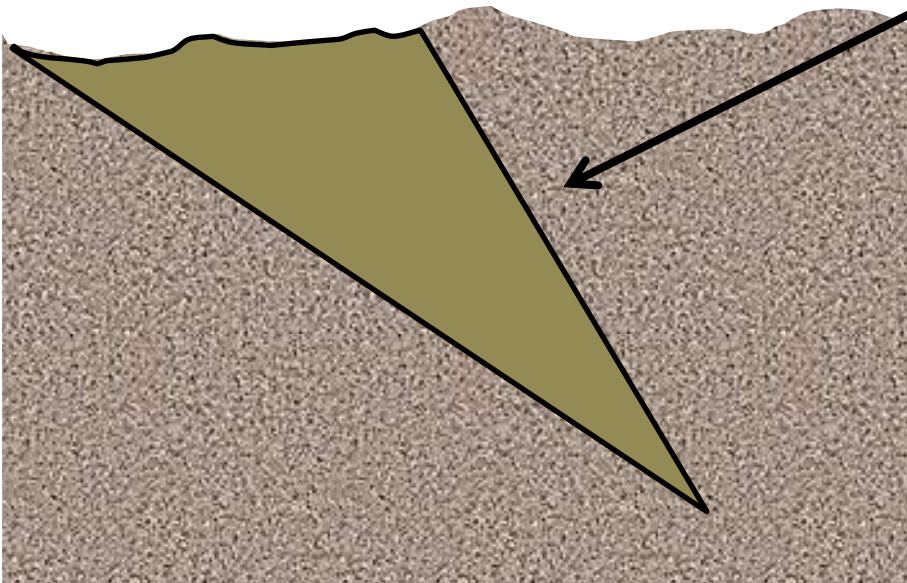
Considerando que o pacote sedimentar e o embasamento são homogêneos, a anomalia de gravidade pode ser descrita em termos dos parâmetros:

- Contraste  $\rho$  de densidade dos sedimentos
- Relevo do embasamento

# Gravimetria (Bacia Triangular)

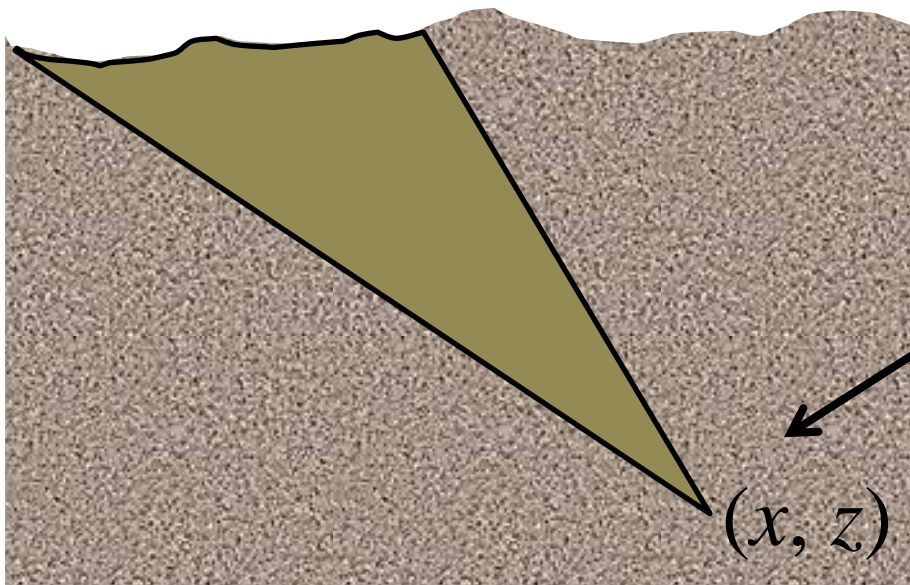
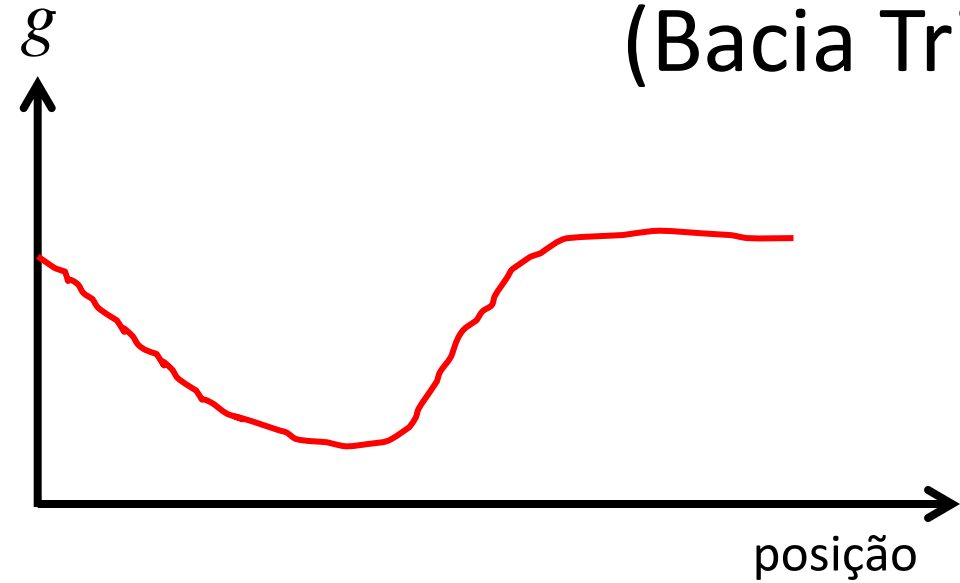


A bacia sedimentar pode ser aproximada por um polígono triangular

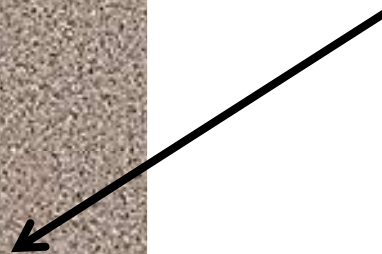


# Gravimetria

## (Bacia Triangular)



Cujo formato é definido  
pelas coordenadas do  
vértice inferior



# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Relação funcional

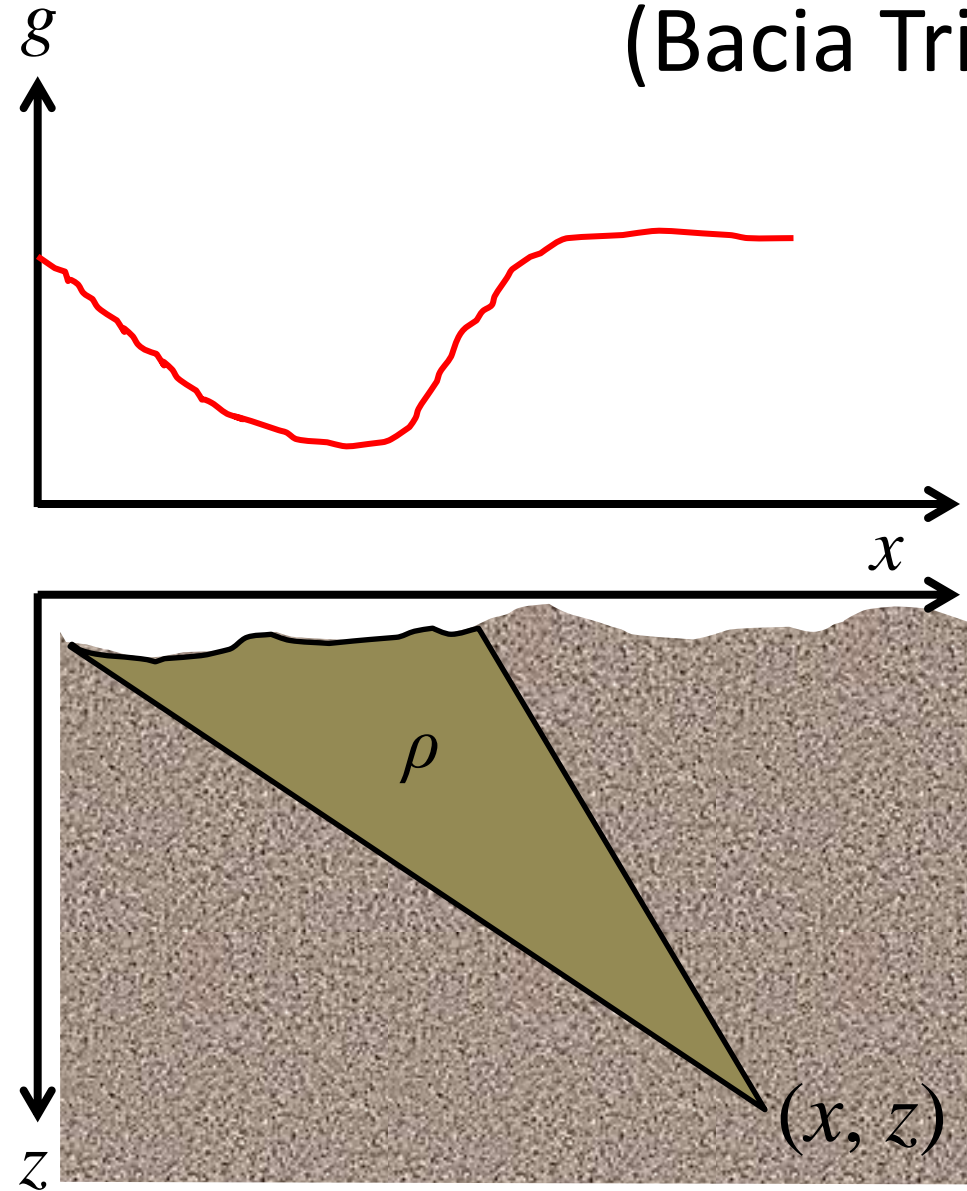
Nessas condições, a relação entre a anomalia de gravidade em uma determinada posição e os parâmetros  $\rho$ ,  $x$  e  $z$  é dada por uma função:

$$g_i(x, z) = \rho G f_i(x, z)$$

Que pode ser baseada, por exemplo, no trabalho de Talwani (1959)

# Gravimetria

(Bacia Triangular)



$$g_i(x, z) = \rho G f_i(x, z)$$

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

$$g_1(x, z) = \rho G f_1(x, z)$$

$$g_2(x, z) = \rho G f_2(x, z)$$

$$\vdots$$

$$g_N(x, z) = \rho G f_N(x, z)$$



# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

$$g_1(x, z) = \rho G f_1(x, z)$$

$$g_2(x, z) = \rho G f_2(x, z)$$

$$\vdots$$

$$g_N(x, z) = \rho G f_N(x, z)$$

$$\begin{bmatrix} g_1(x, z) \\ g_2(x, z) \\ \vdots \\ g_N(x, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(x, z) \\ \rho G f_2(x, z) \\ \vdots \\ \rho G f_N(x, z) \end{bmatrix}$$

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

$$g_1(x, z) = \rho G f_1(x, z)$$

$$g_2(x, z) = \rho G f_2(x, z)$$

$$\vdots$$

$$g_N(x, z) = \rho G f_N(x, z)$$

$$\begin{bmatrix} g_1(x, z) \\ g_2(x, z) \\ \vdots \\ g_N(x, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(x, z) \\ \rho G f_2(x, z) \\ \vdots \\ \rho G f_N(x, z) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \overset{=}{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]$$
$$\begin{bmatrix} g_1(x, z) \\ g_2(x, z) \\ \vdots \\ g_N(x, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(x, z) \\ \rho G f_2(x, z) \\ \vdots \\ \rho G f_N(x, z) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \overset{=}{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \underline{\bar{g}^{obs}} - \underline{\bar{g}(\bar{p})} \right]^T \left[ \underline{\bar{g}^{obs}} - \underline{\bar{g}(\bar{p})} \right] \quad \begin{bmatrix} g_1(x, z) \\ g_2(x, z) \\ \vdots \\ g_N(x, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(x, z) \\ \rho G f_2(x, z) \\ \vdots \\ \rho G f_N(x, z) \end{bmatrix}$$

$$\underline{\bar{g}(\bar{p})} \neq \overset{=}{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]$$

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \right]^T \left[ \bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \right]$$

$$\begin{bmatrix} g_1(x, z) \\ g_2(x, z) \\ \vdots \\ g_N(x, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(x, z) \\ \rho G f_2(x, z) \\ \vdots \\ \rho G f_N(x, z) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$~~

$$\begin{bmatrix} g_1(x, z) \\ g_2(x, z) \\ \vdots \\ g_N(x, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(x, z) \\ \rho G f_2(x, z) \\ \vdots \\ \rho G f_N(x, z) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Triangular)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$~~

$$\phi(\bar{p}) = \sum_{i=1}^N [g_i^{obs} - g_i(\bar{p})]^2$$

$$\begin{bmatrix} g_1(x, z) \\ g_2(x, z) \\ \vdots \\ g_N(x, z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(x, z) \\ \rho G f_2(x, z) \\ \vdots \\ \rho G f_N(x, z) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Problema Geofísico

Cálculo da profundidade do embasamento



# Gravimetria

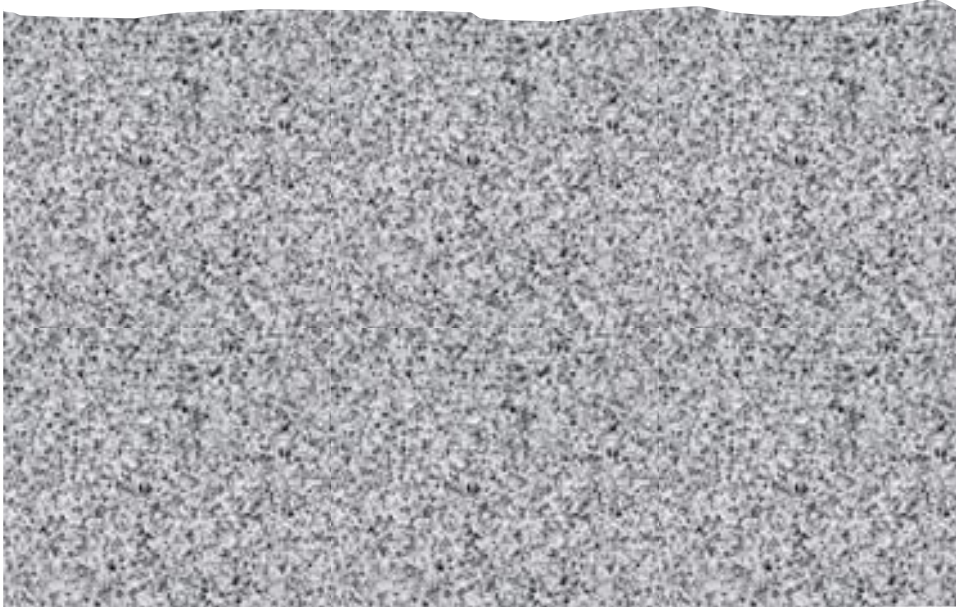
## (Bacia Trapezoidal)

- O relevo do embasamento sob uma bacia sedimentar produz uma anomalia na Aceleração da Gravidade
- As **observações** são medições da componente vertical da Anomalia de Gravidade

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

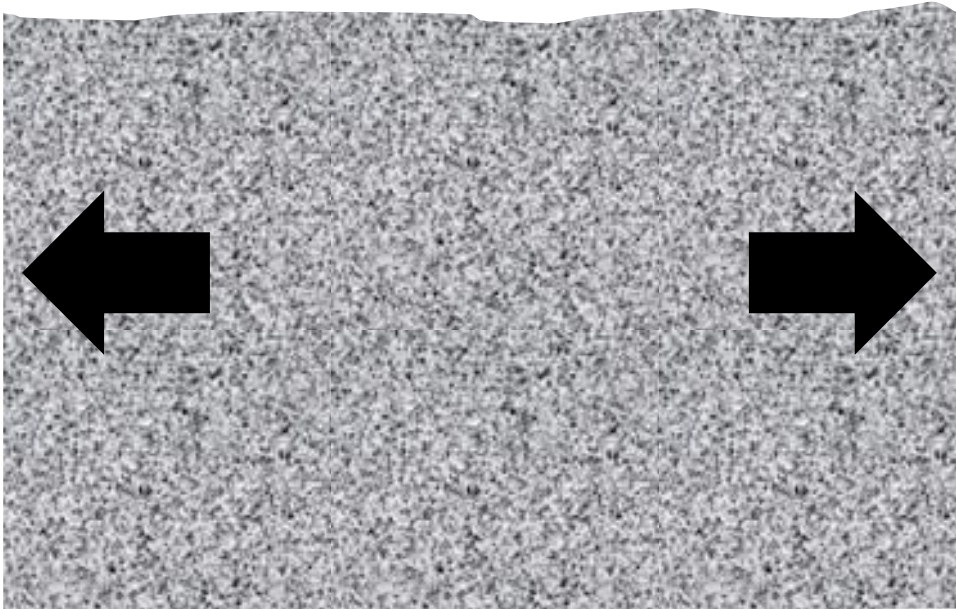
crosta



# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

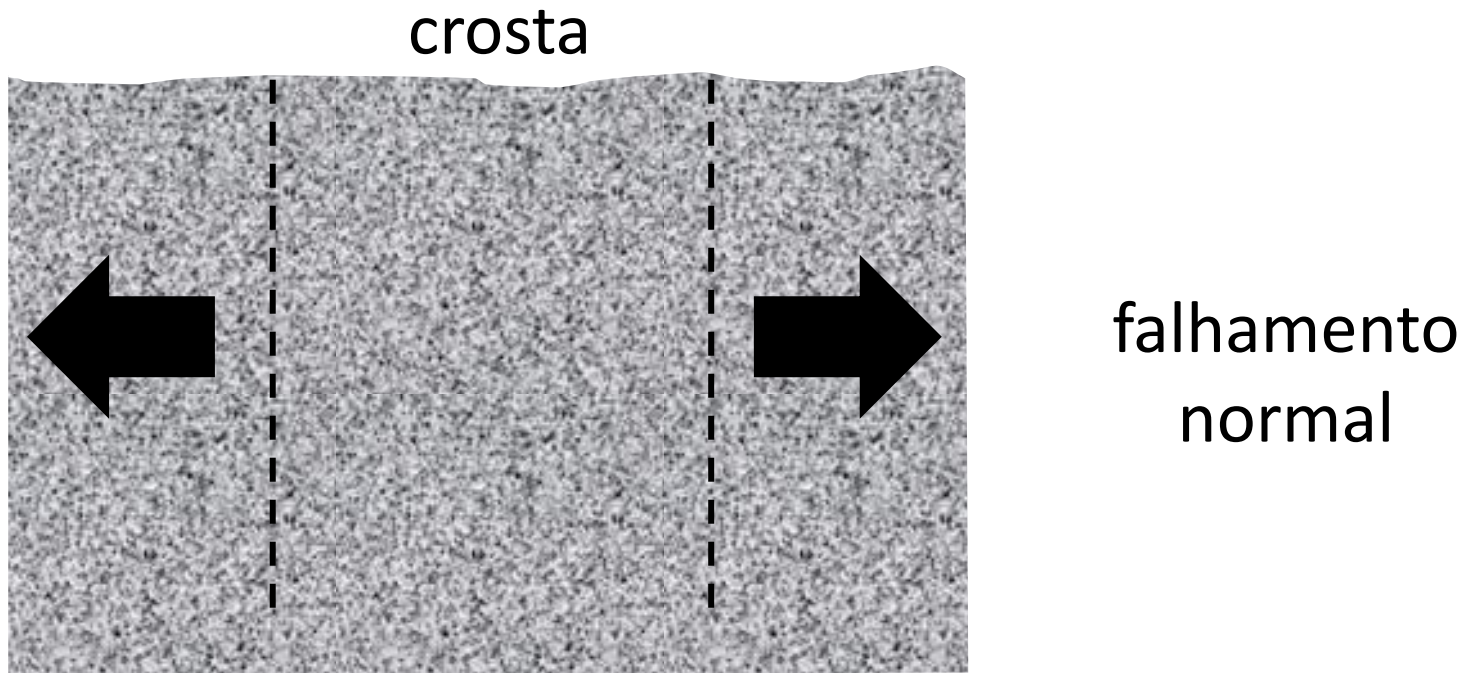
crosta



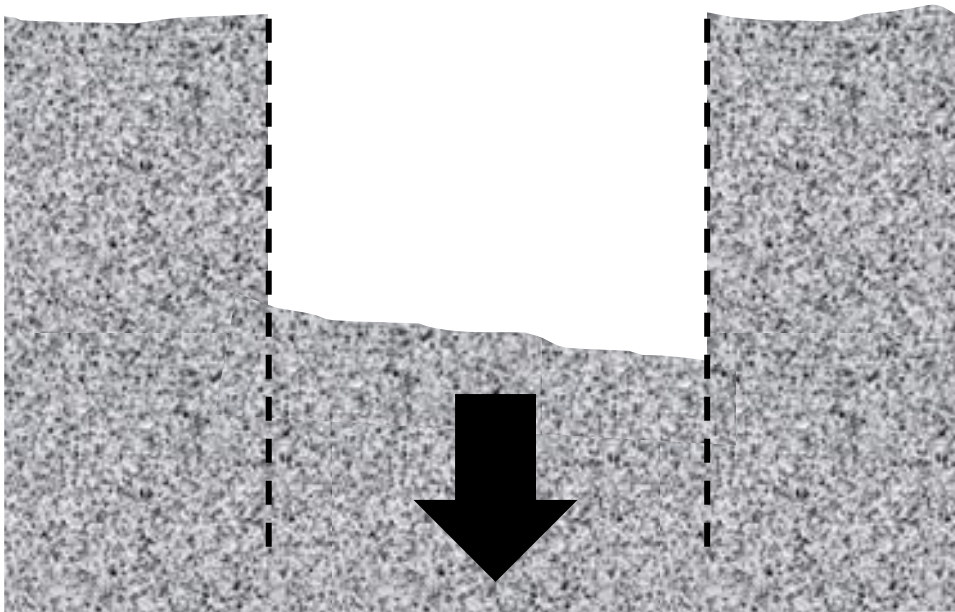
estiramento

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)



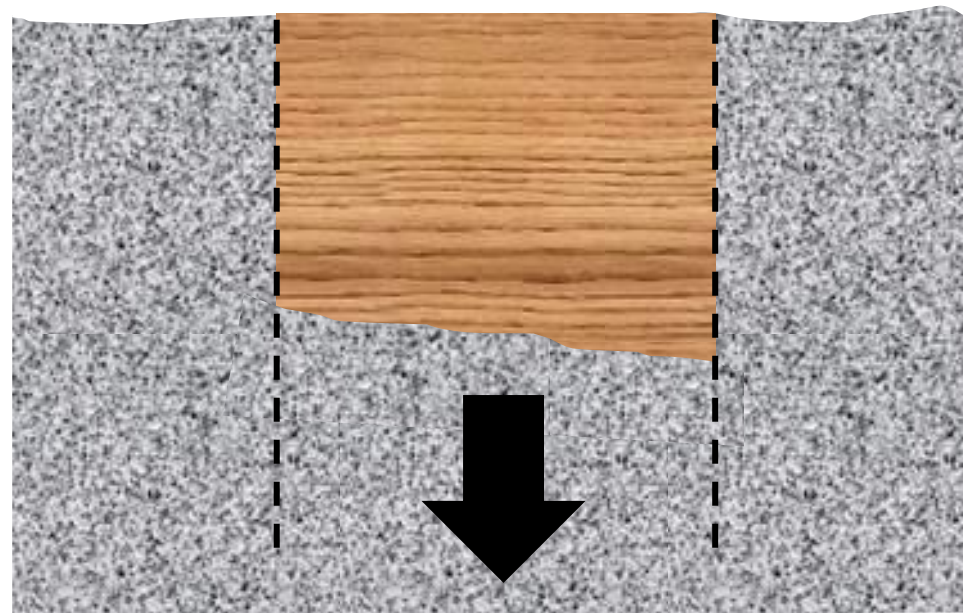
# Gravimetria (Bacia Trapezoidal)



subsidência

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)



bacia  
sedimentar

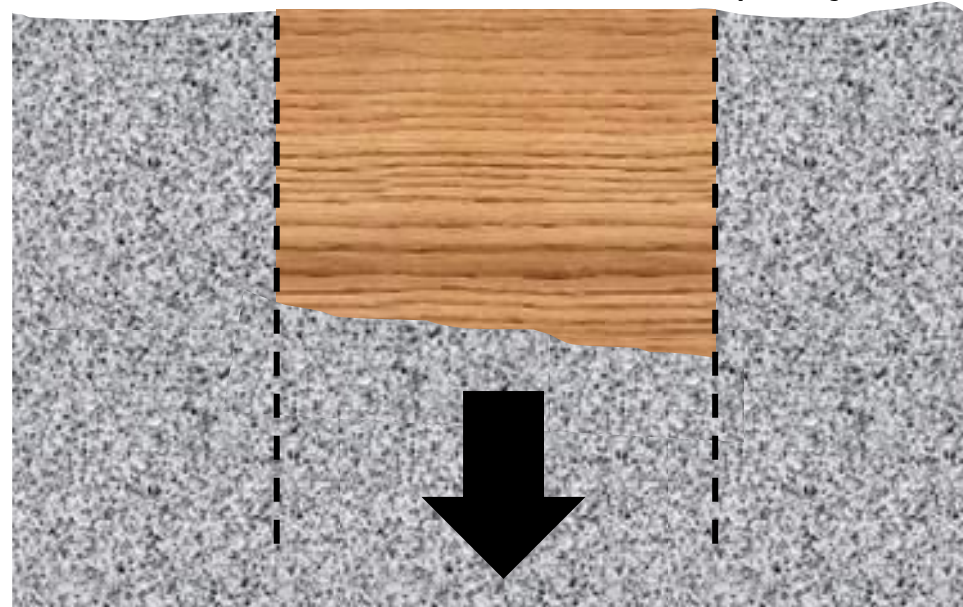
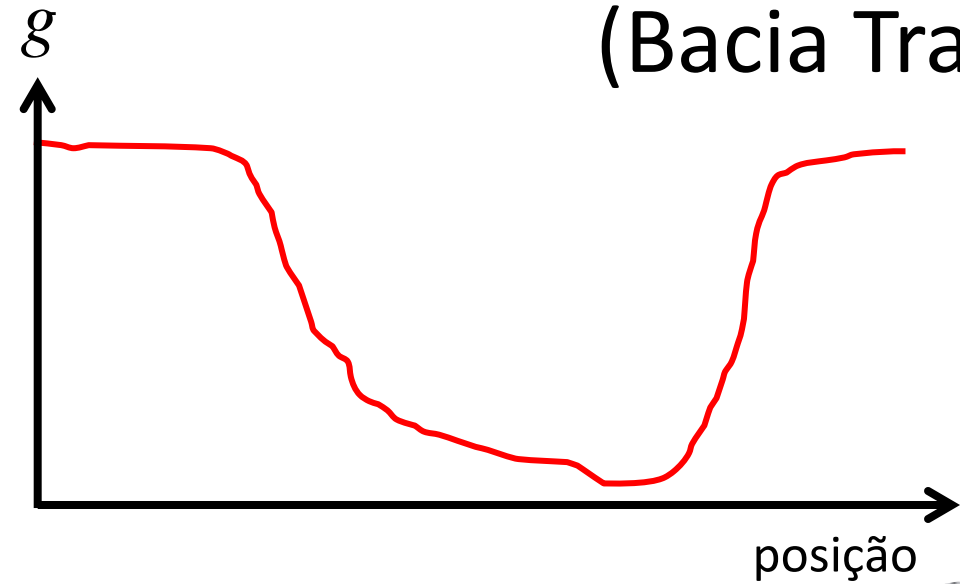
# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

- O relevo do embasamento sob uma bacia sedimentar produz uma anomalia na Aceleração da Gravidade
- As **observações** são medições da componente vertical da Anomalia de Gravidade

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)





# Gravimetria

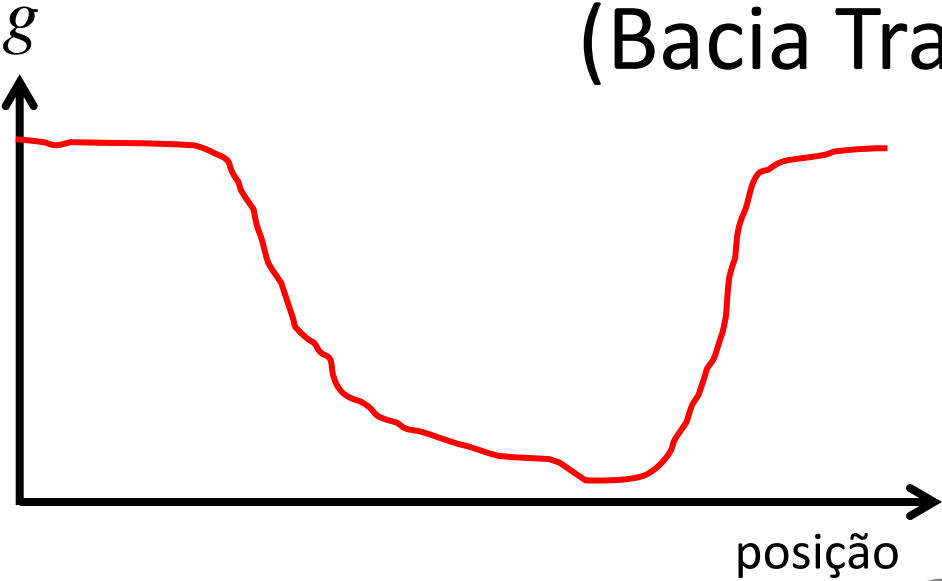
## (Bacia Trapezoidal)

### Parametrização

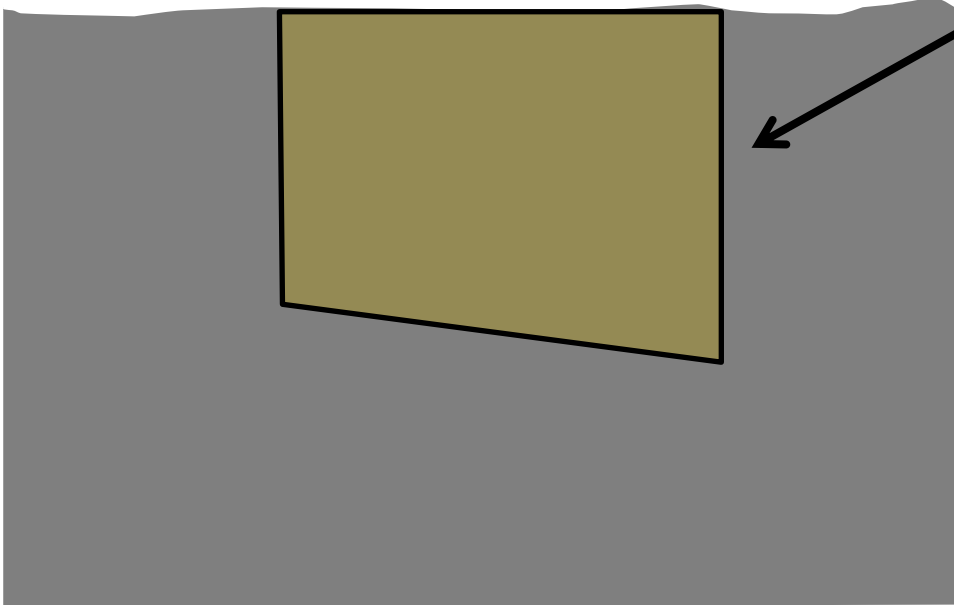
Considerando que o pacote sedimentar e o embasamento são homogêneos, a anomalia de gravidade pode ser descrita em termos dos parâmetros:

- Contraste  $\rho$  de densidade dos sedimentos
- Relevo do embasamento

# Gravimetria (Bacia Trapezoidal)

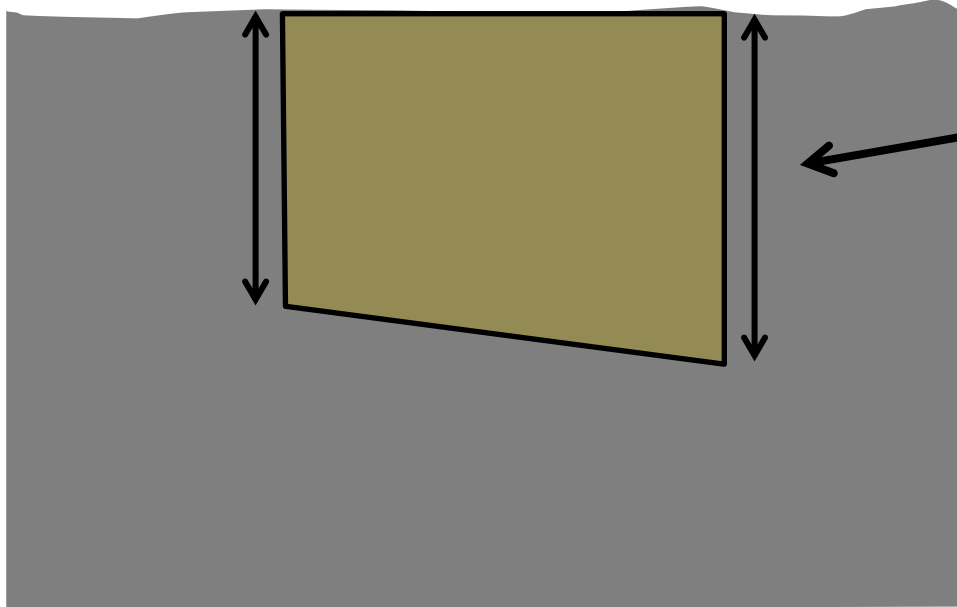
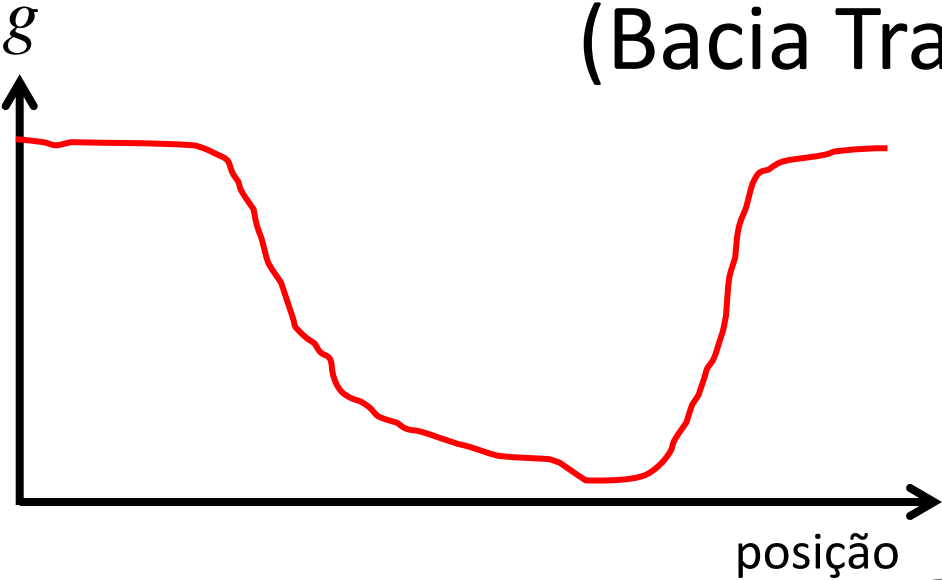


A bacia sedimentar pode ser aproximada por um polígono trapezoidal



# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)



Cujo formato é definido  
pela profundidade dos  
vértices inferiores

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Relação funcional

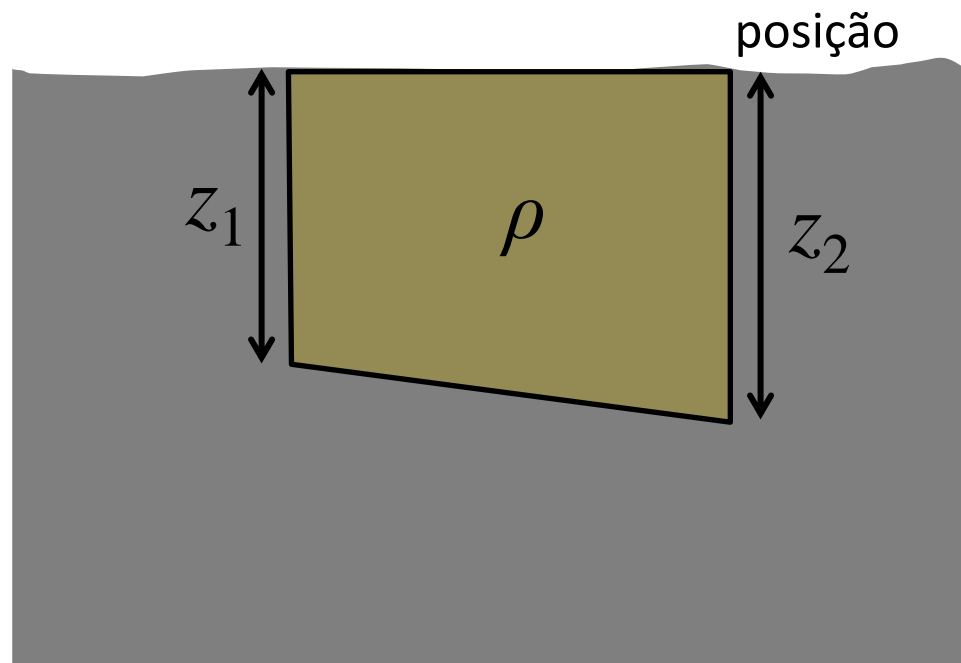
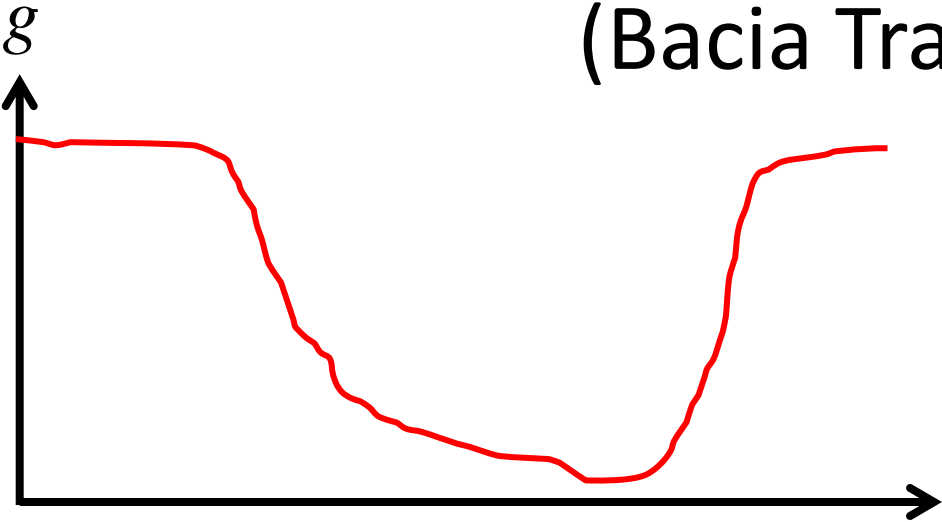
Nessas condições, a relação entre a anomalia de gravidade em uma determinada posição e os parâmetros  $\rho$ ,  $z_1$  e  $z_2$  é dada por uma função:

$$g_i(z_1, z_2) = \rho G f_i(z_1, z_2)$$

Que pode ser baseada, por exemplo, no trabalho de Talwani (1959)

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)



# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

$$g_1(z_1, z_2) = \rho G f_1(z_1, z_2)$$

$$g_2(z_1, z_2) = \rho G f_2(z_1, z_2)$$

$$\vdots$$

$$g_N(z_1, z_2) = \rho G f_N(z_1, z_2)$$

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

$$g_1(z_1, z_2) = \rho G f_1(z_1, z_2)$$

$$g_2(z_1, z_2) = \rho G f_2(z_1, z_2)$$

$$\vdots$$

$$g_N(z_1, z_2) = \rho G f_N(z_1, z_2)$$

$$\begin{bmatrix} g_1(z_1, z_2) \\ g_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ g_N(z_1, z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(z_1, z_2) \\ \rho G f_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ \rho G f_N(z_1, z_2) \end{bmatrix}$$

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

$$g_1(z_1, z_2) = \rho G f_1(z_1, z_2)$$

$$g_2(z_1, z_2) = \rho G f_2(z_1, z_2)$$

$$\vdots$$

$$g_N(z_1, z_2) = \rho G f_N(z_1, z_2)$$

$$\begin{bmatrix} g_1(z_1, z_2) \\ g_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ g_N(z_1, z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(z_1, z_2) \\ \rho G f_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ \rho G f_N(z_1, z_2) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$



# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})] \quad \begin{bmatrix} g_1(z_1, z_2) \\ g_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ g_N(z_1, z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(z_1, z_2) \\ \rho G f_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ \rho G f_N(z_1, z_2) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \overset{=}{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \underline{\bar{g}^{obs}} - \underline{\bar{g}(\bar{p})} \right]^T \left[ \underline{\bar{g}^{obs}} - \underline{\bar{g}(\bar{p})} \right] \quad \begin{bmatrix} g_1(z_1, z_2) \\ g_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ g_N(z_1, z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(z_1, z_2) \\ \rho G f_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ \rho G f_N(z_1, z_2) \end{bmatrix}$$

$$\underline{\bar{g}(\bar{p})} \neq \overset{=}{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]$$

$$\phi(\bar{p}) = \left[ \bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \right]^T \left[ \bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p} \right]$$

$$\begin{bmatrix} g_1(z_1, z_2) \\ g_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ g_N(z_1, z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(z_1, z_2) \\ \rho G f_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ \rho G f_N(z_1, z_2) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$~~

$$\begin{bmatrix} g_1(z_1, z_2) \\ g_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ g_N(z_1, z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(z_1, z_2) \\ \rho G f_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ \rho G f_N(z_1, z_2) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$

# Gravimetria

## (Bacia Trapezoidal)

### Norma

A norma L2 entre os **dados observados** e os **dados preditos** é dada por:

$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{g}(\bar{p})]$$

~~$$\phi(\bar{p}) = [\bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]^T [\bar{g}^{obs} - \bar{\mathbf{B}} \bar{p}]$$~~

$$\phi(\bar{p}) = \sum_{i=1}^N [g_i^{obs} - g_i(\bar{p})]^2$$

$$\begin{bmatrix} g_1(z_1, z_2) \\ g_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ g_N(z_1, z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho G f_1(z_1, z_2) \\ \rho G f_2(z_1, z_2) \\ \vdots \\ \rho G f_N(z_1, z_2) \end{bmatrix}$$

$$\bar{g}(\bar{p}) \neq \bar{\mathbf{B}} \bar{p}$$