

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

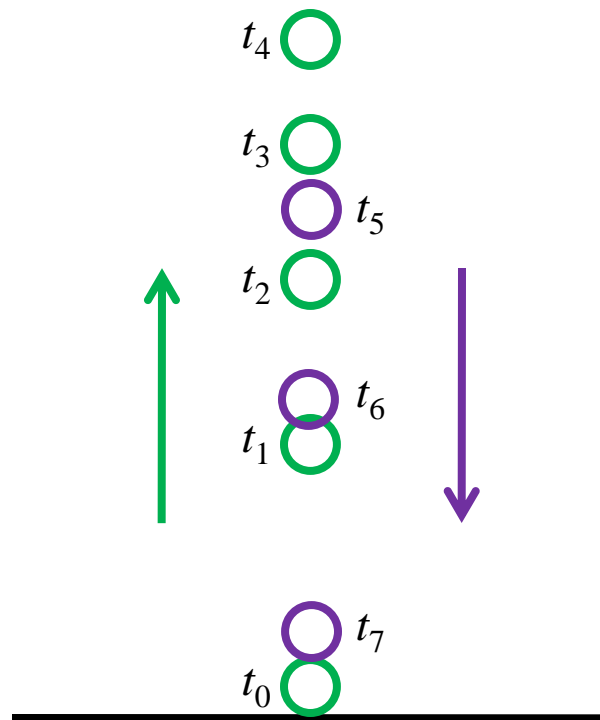
Problema Geofísico

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



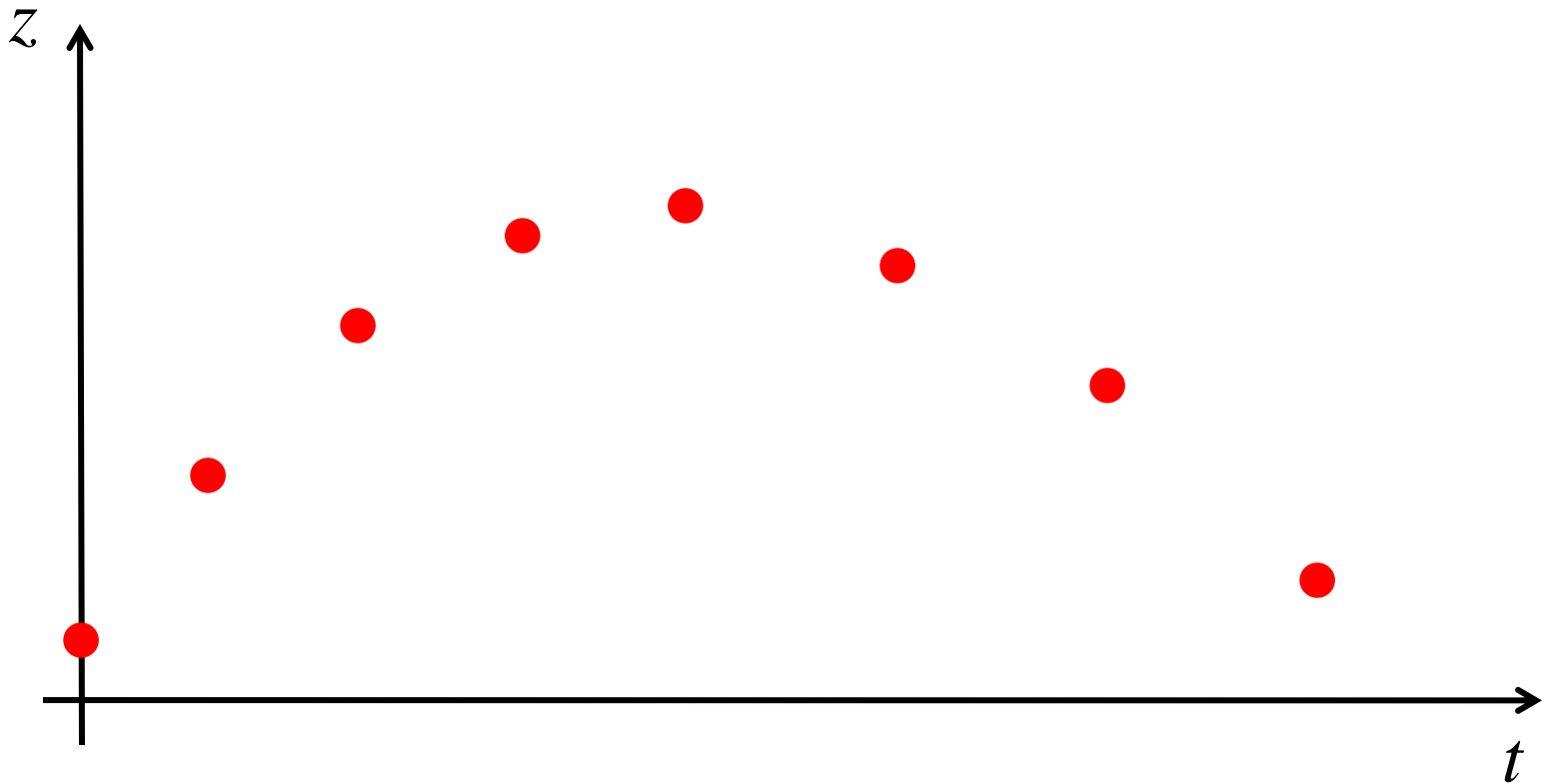
Movimento uniformemente acelerado

- 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:

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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

Movimento uniformemente acelerado

Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

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

Movimento uniformemente acelerado

Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

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

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

Movimento uniformemente acelerado

Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:


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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

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


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

vetor de dados preditos

Movimento uniformemente acelerado

Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:

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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

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

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

vetor de parâmetros

Movimento uniformemente acelerado

Problema Direto

Sendo assim, para posições em diferentes instantes:


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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

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

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


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**

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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

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

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

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**

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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

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

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

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**

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

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

$$\vdots$$

$$z_N(V_0, g) = V_0 t_N + 0,5 g t_N^2$$

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

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

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:

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

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

Movimento uniformemente acelerado

Norma

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

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

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:

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

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

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

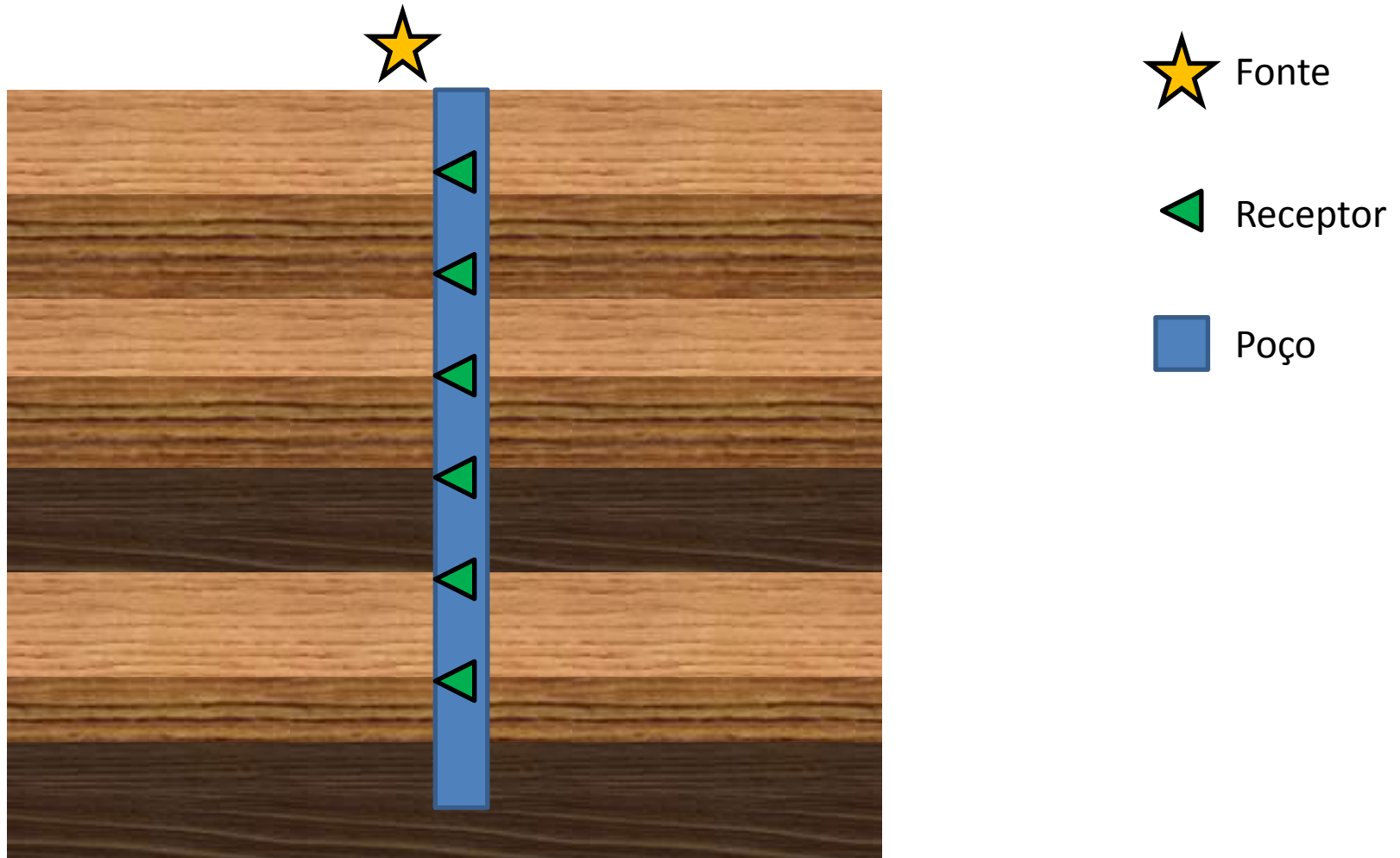
Problema Geofísico

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

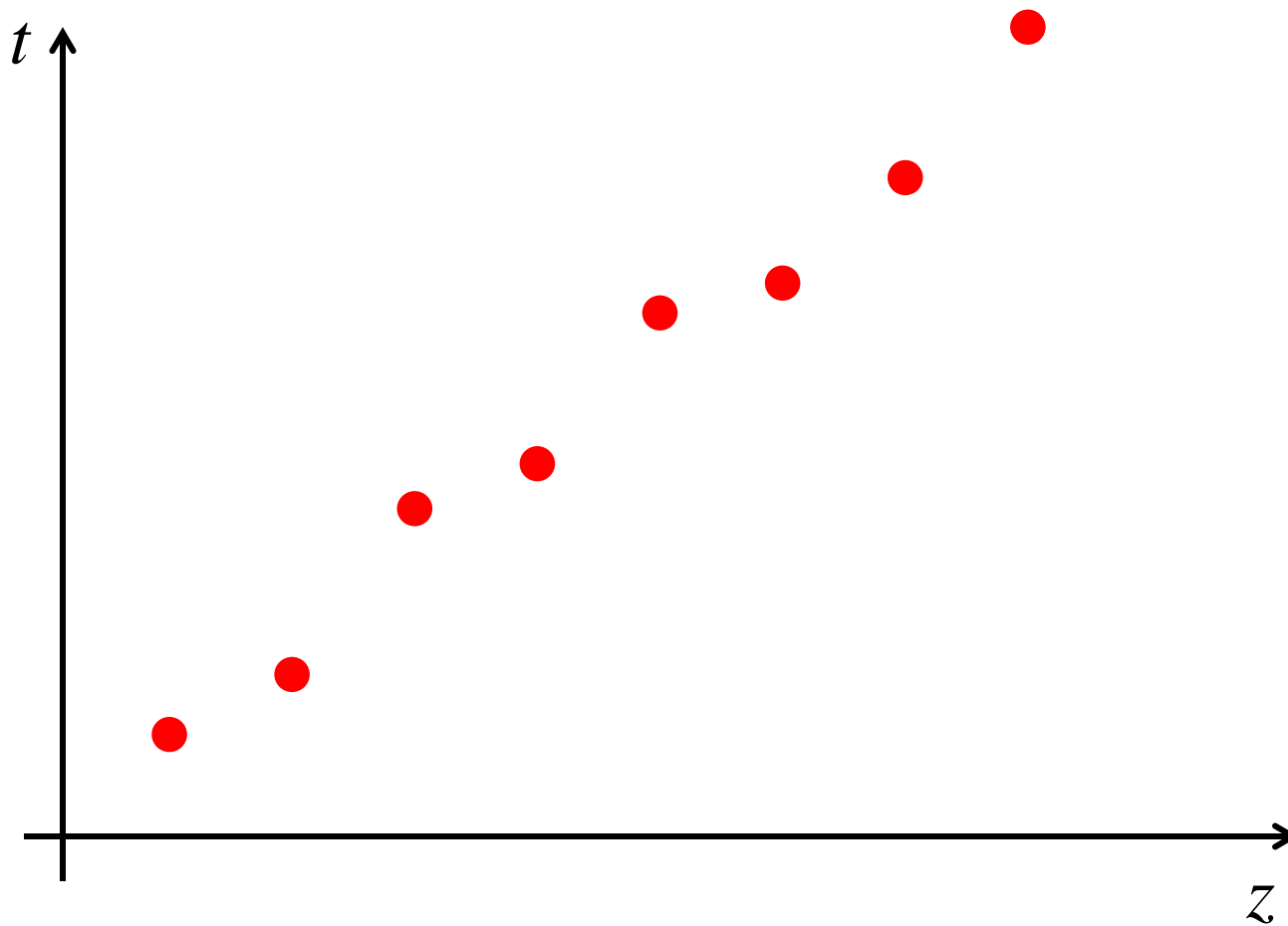
Perfilagem Sísmica Vertical



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

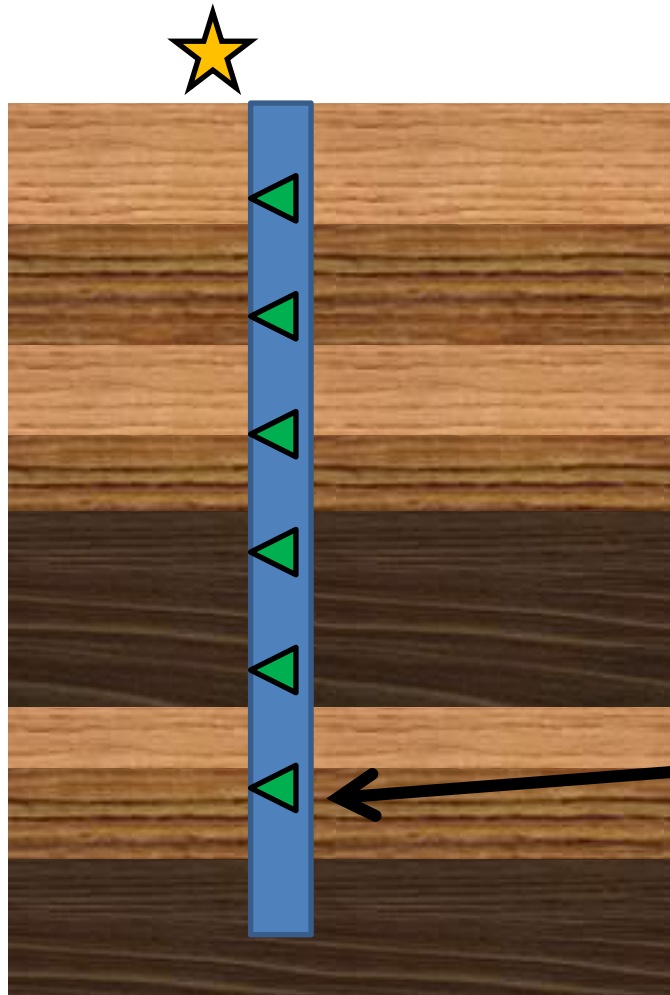
Perfilagem Sísmica Vertical

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:

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

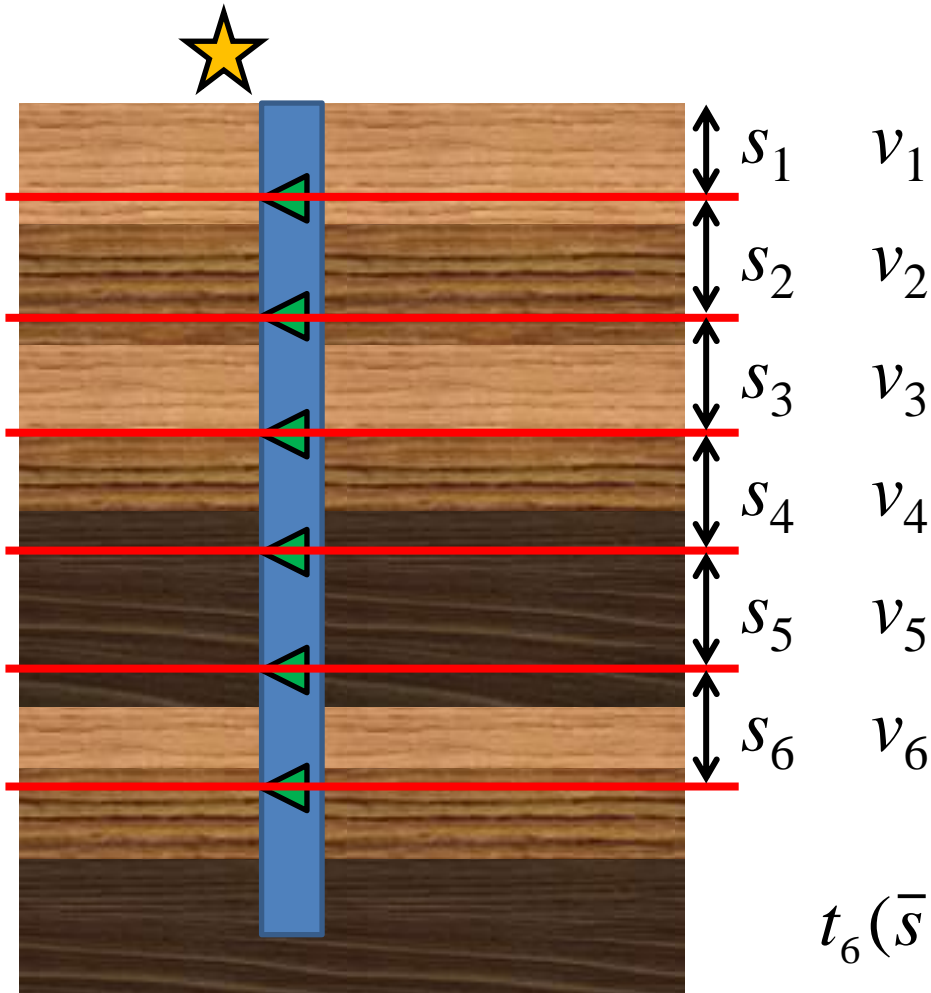
Perfilagem Sísmica Vertical



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



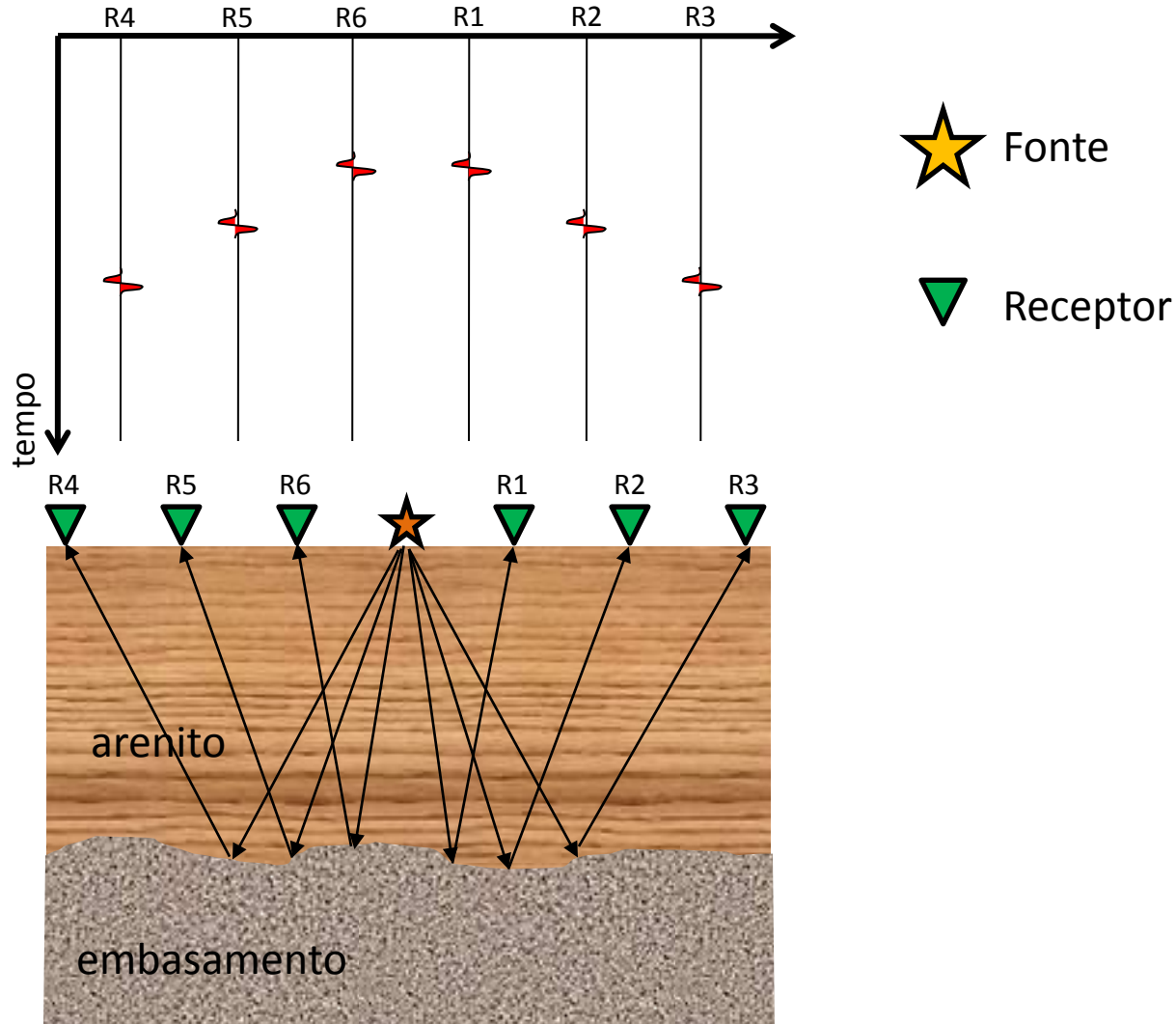
Sísmica de Reflexão

(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)

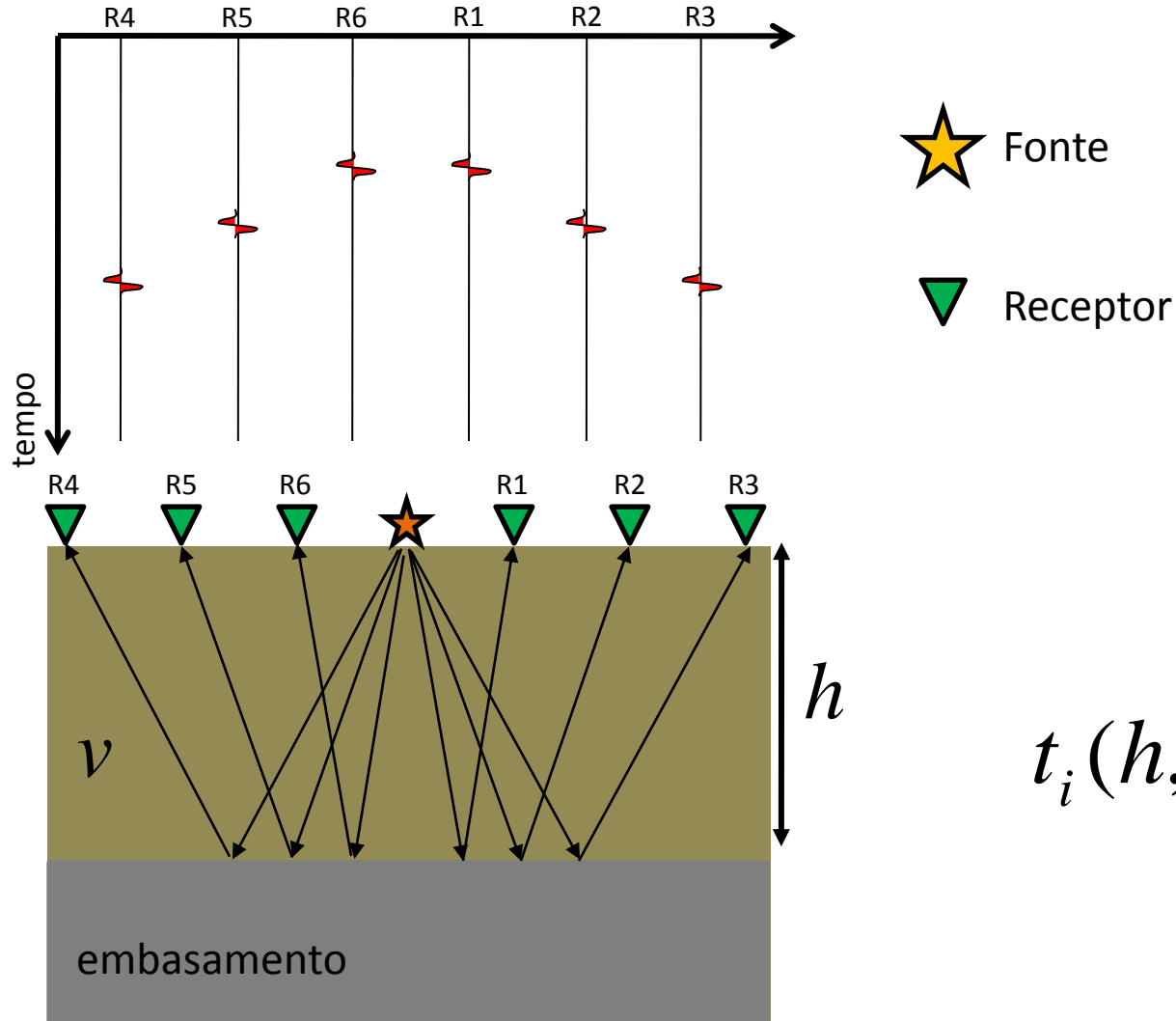
Relação funcional

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



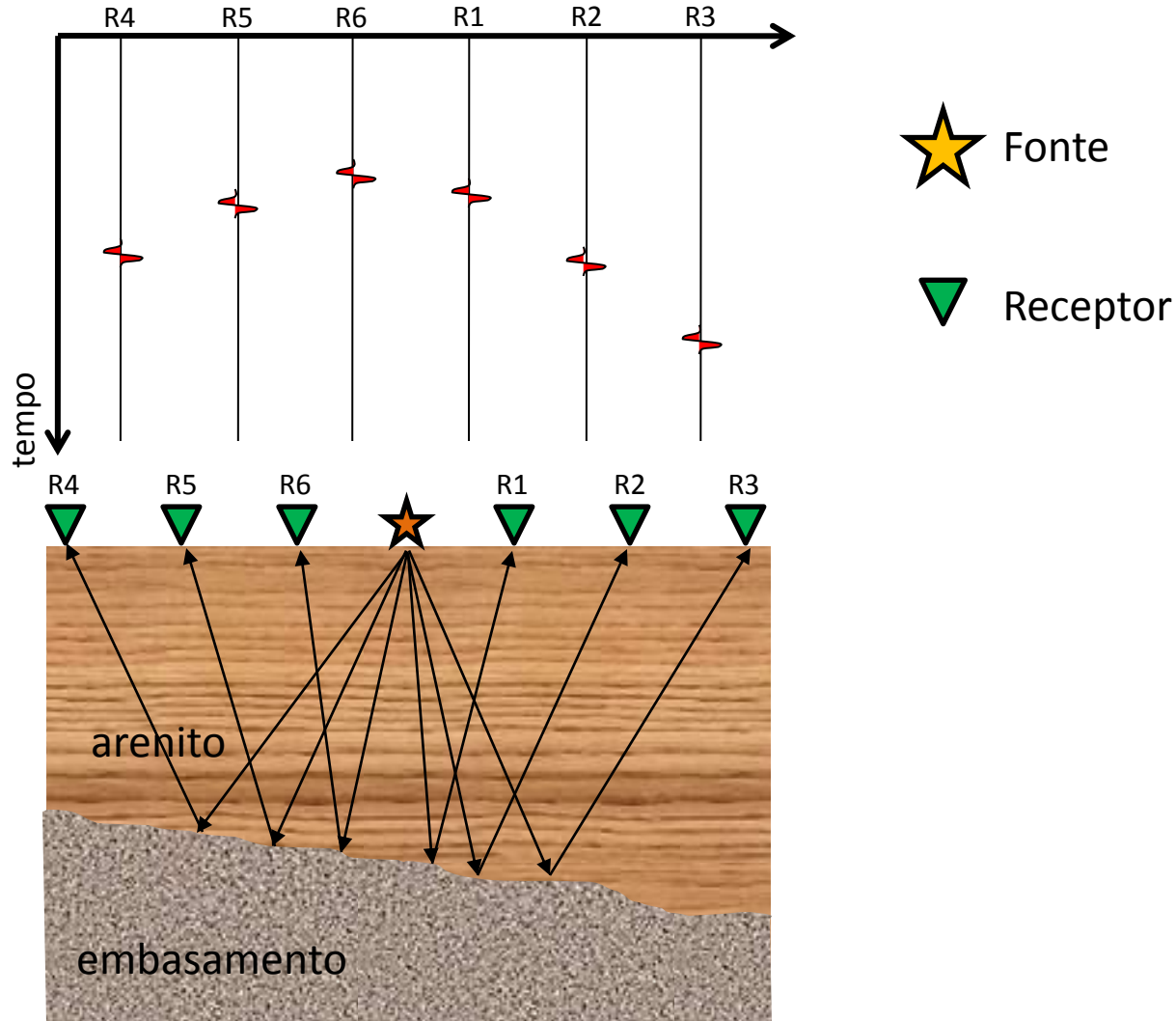
Sísmica de Reflexão

(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 β do embasamento

Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

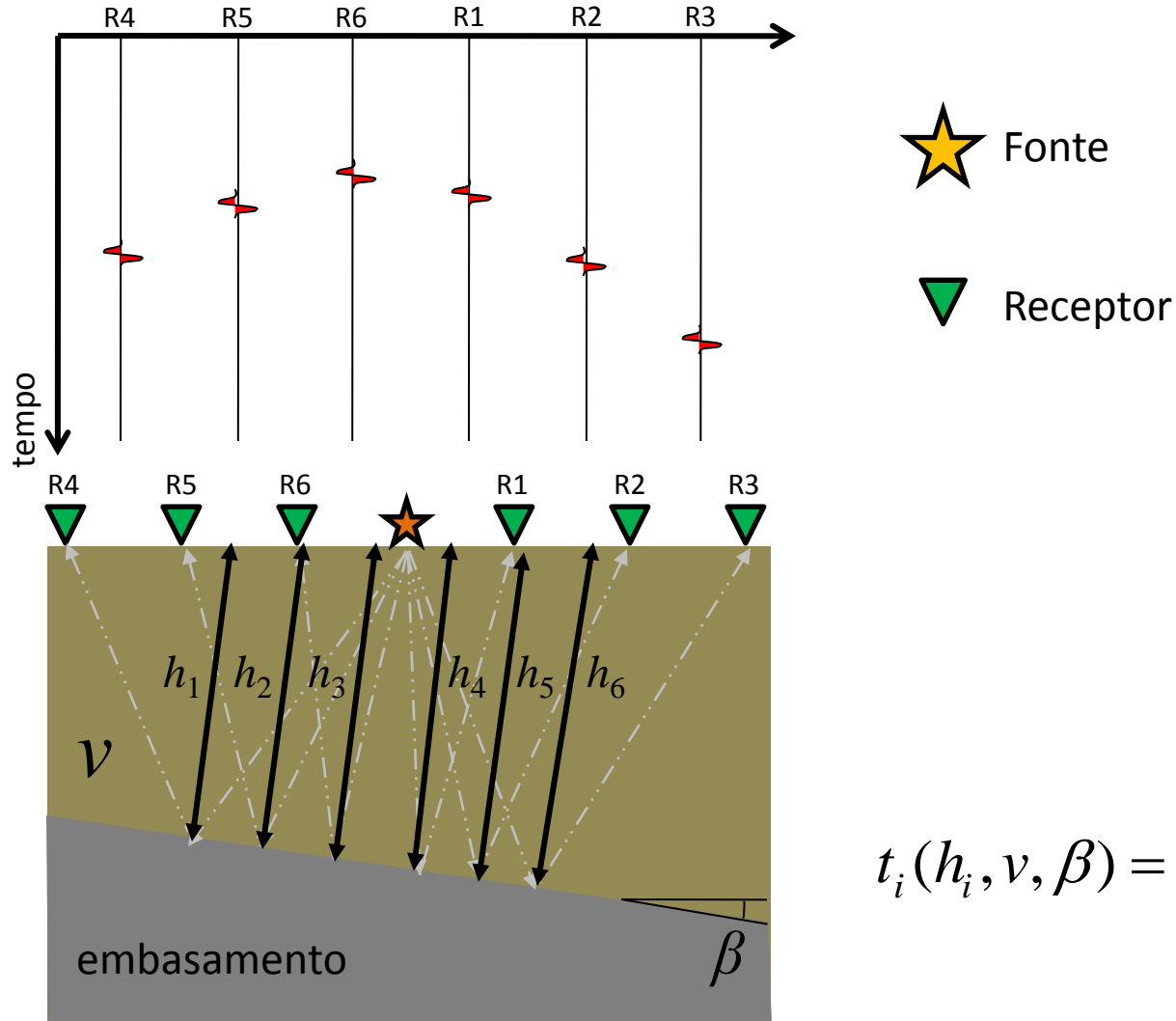
Relação funcional

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

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

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

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:

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

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

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

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

Sísmica de Reflexão

(Refletor inclinado – perpendicular ao strike)

Norma

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

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

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

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

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

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

Determinação Epicentral

Problema Geofísico

Cálculo das coordenadas de um epicentro

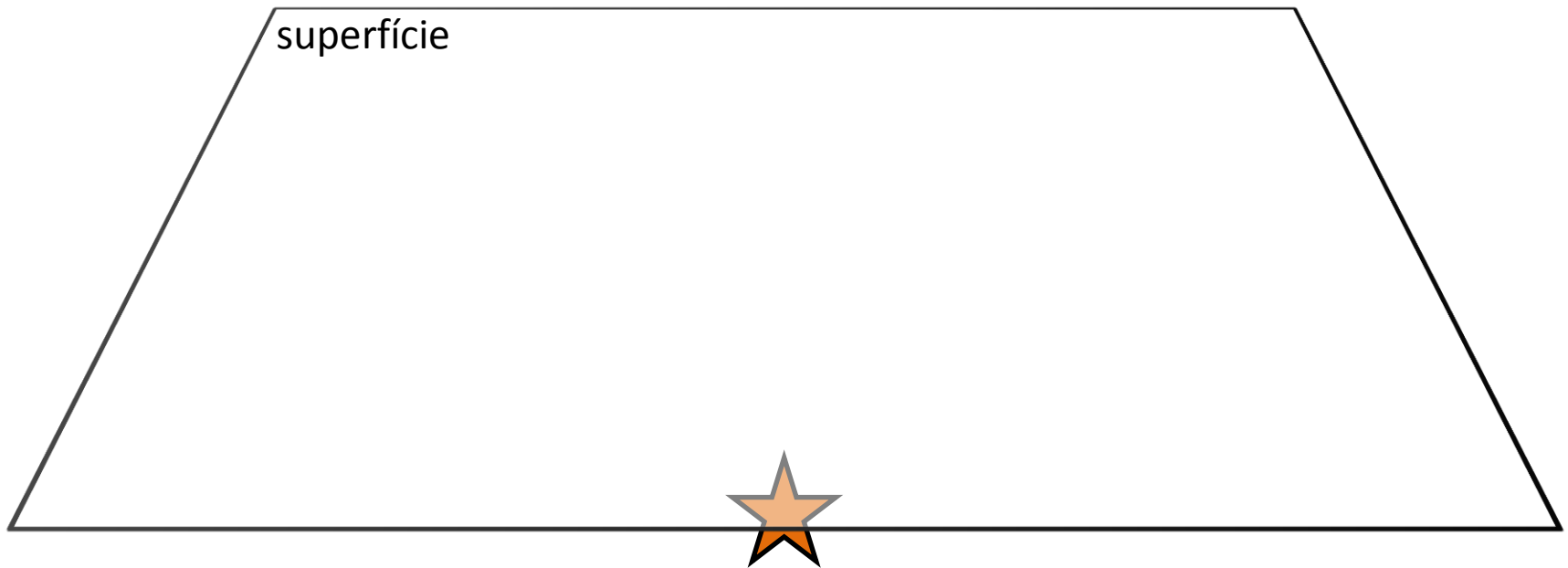
Determinação Epicentral

- 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

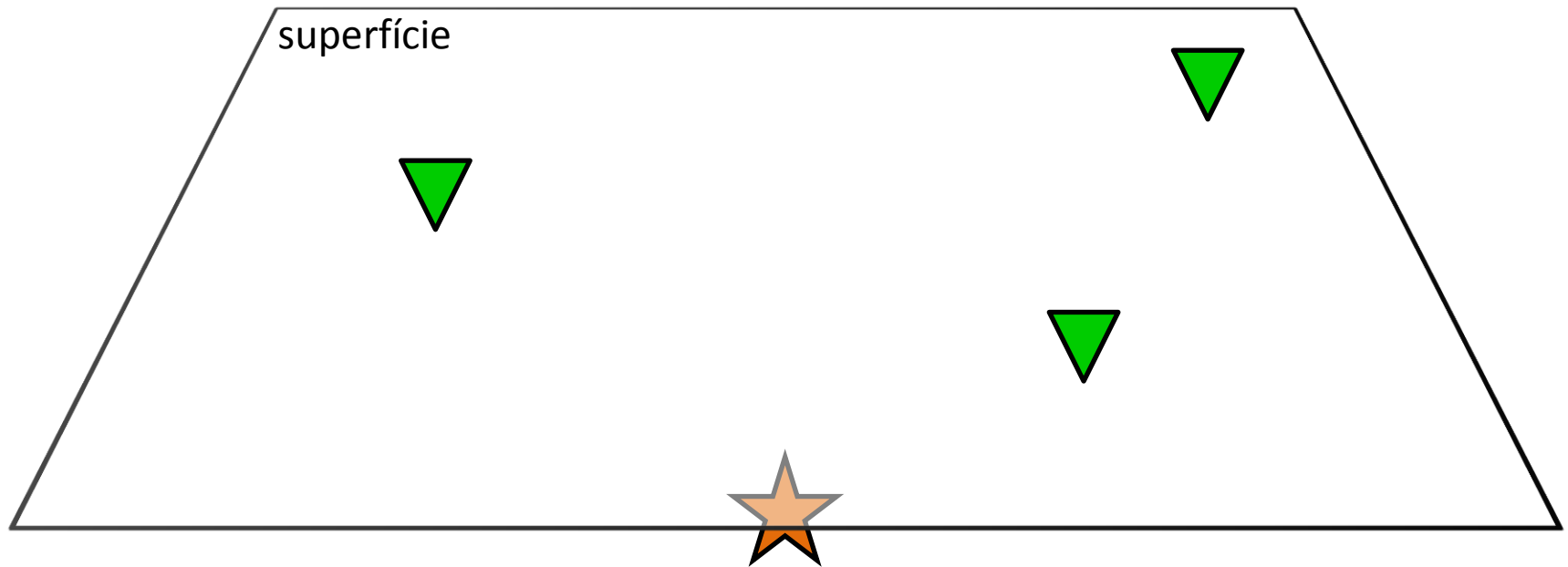



Determinação Epicentral



fonte do terremoto

Determinação Epicentral



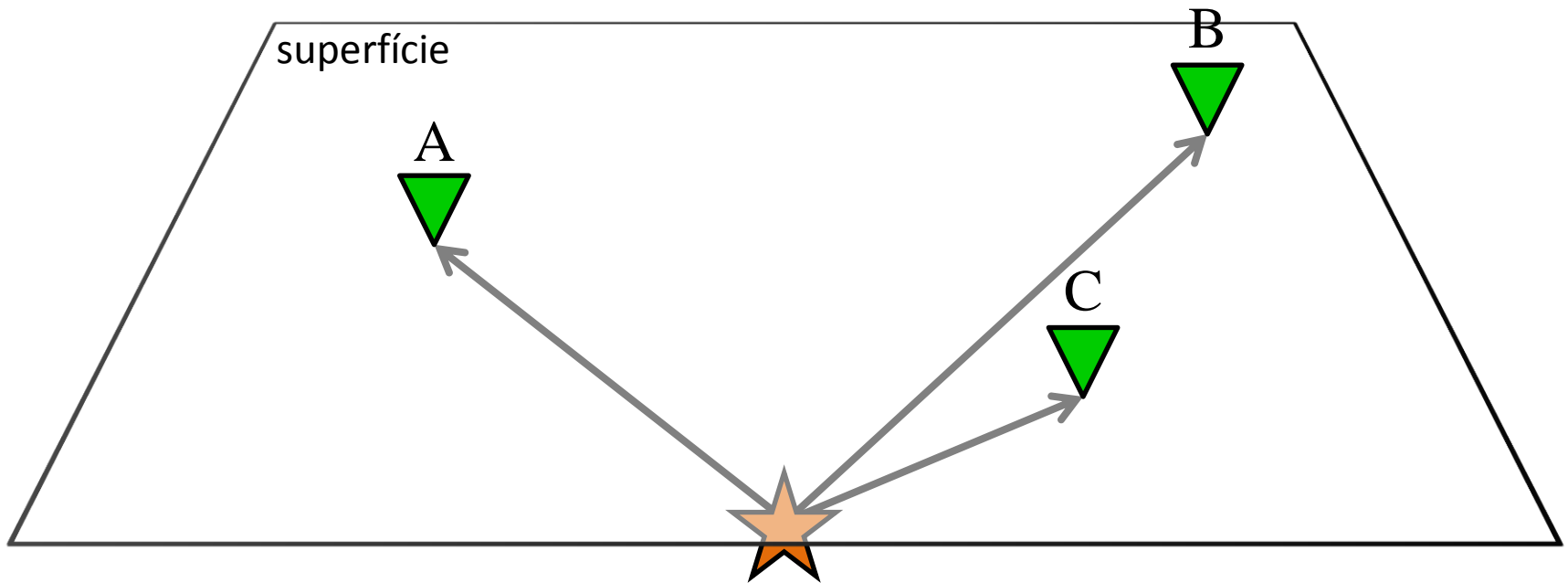
 fonte do terremoto


 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

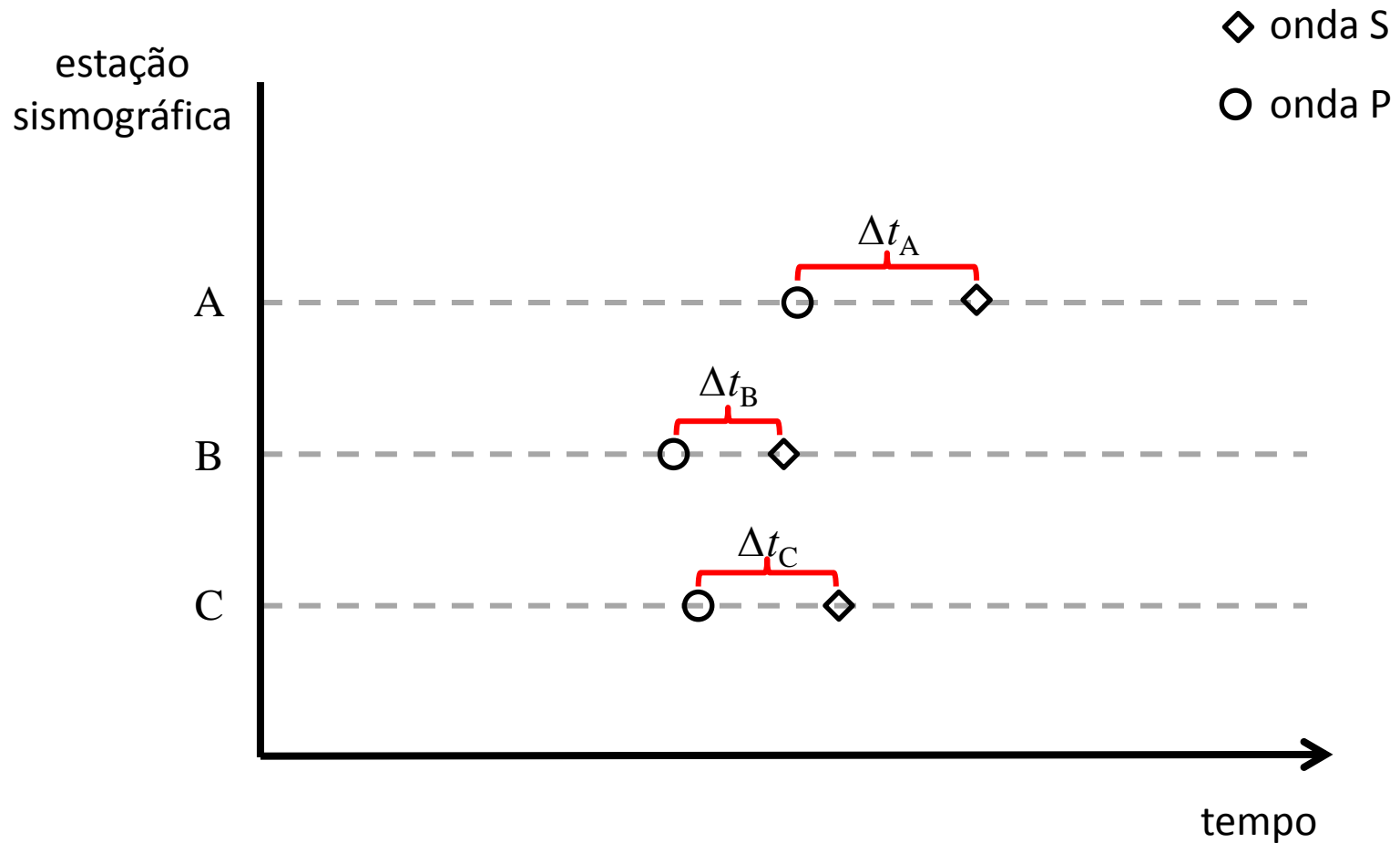
Determinação Epicentral



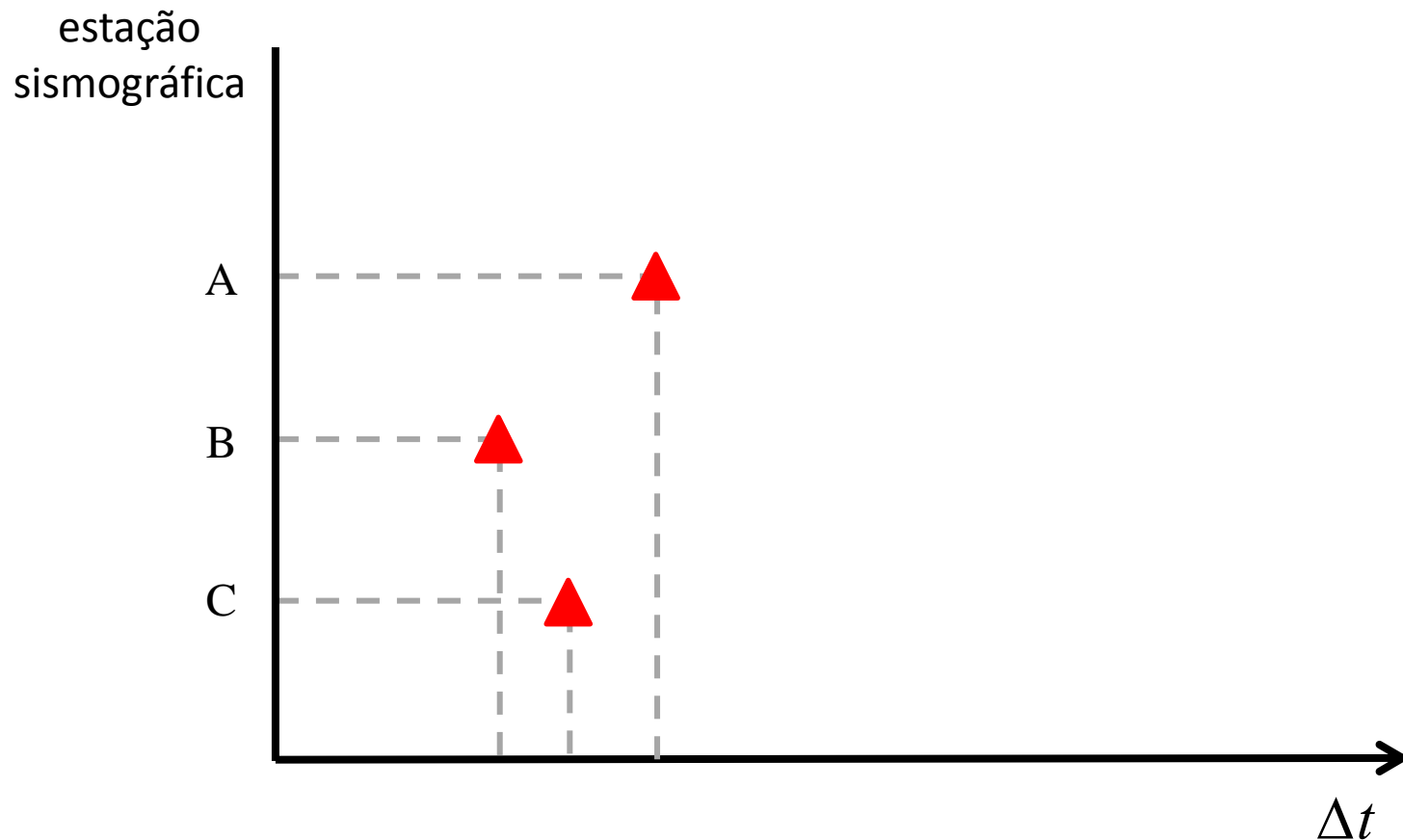
 fonte do terremoto

 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

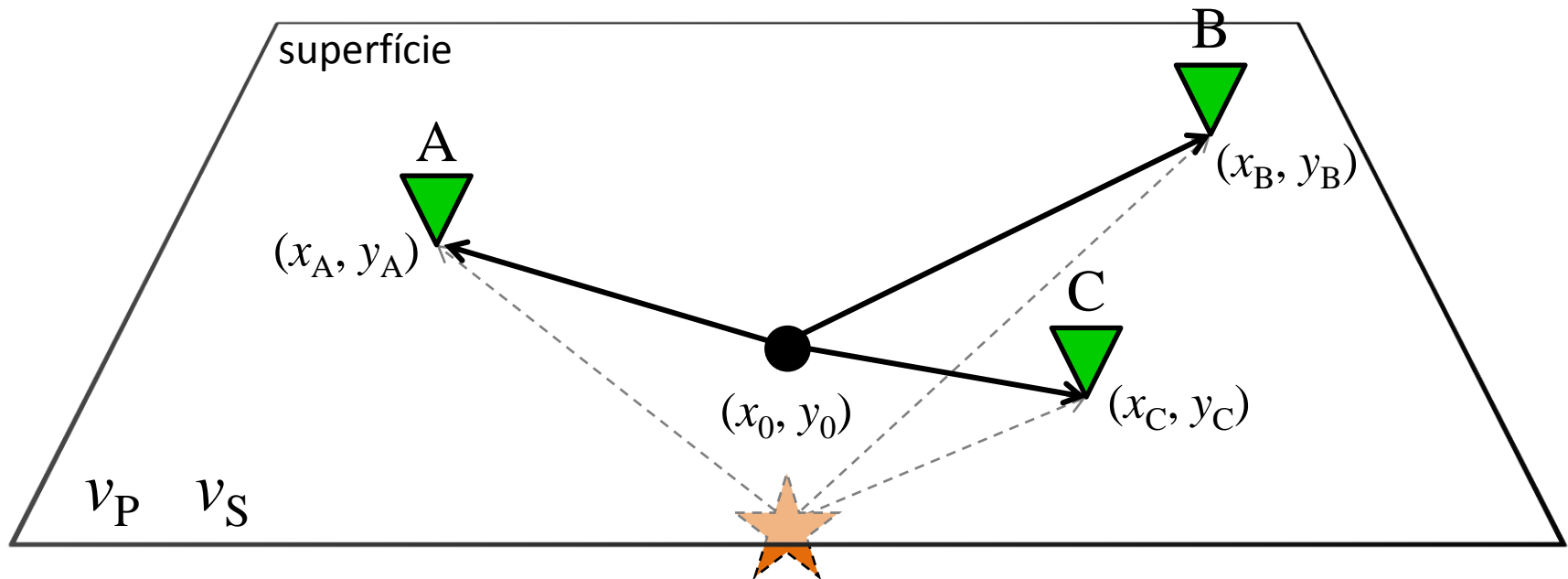
Determinação Epicentral

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:

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

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

\vdots

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

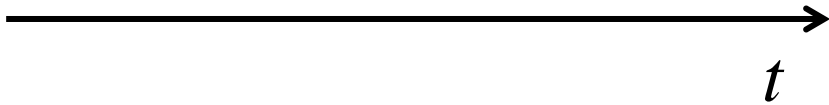
(Perturbação Abrupta)



subsuperfície

Sinal Climático

(Perturbação Abrupta)



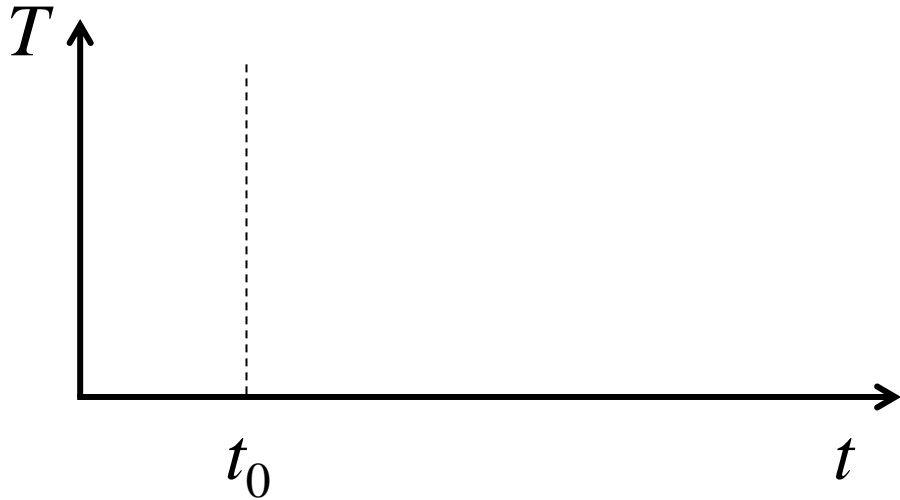
Sinal Climático

(Perturbação Abrupta)



Sinal Climático

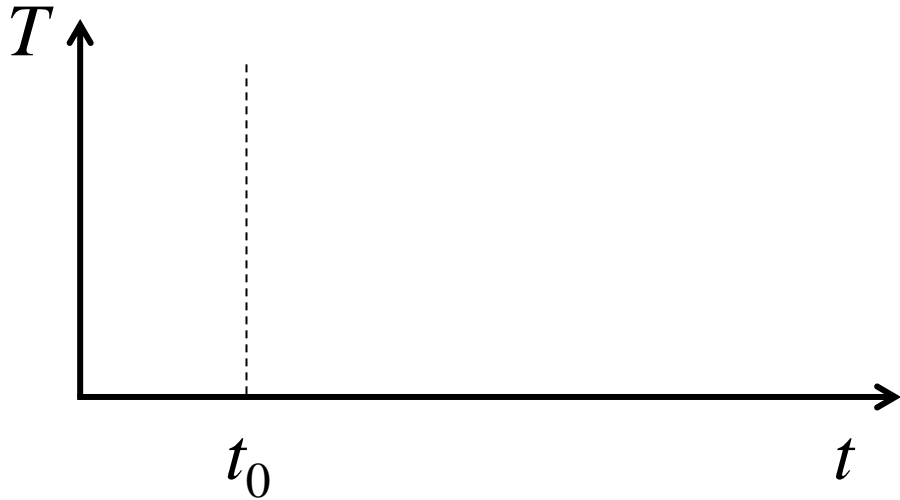
(Perturbação Abrupta)



t_0 tempo em que ocorreu a
perturbação climática



Sinal Climático (Perturbação Abrupta)



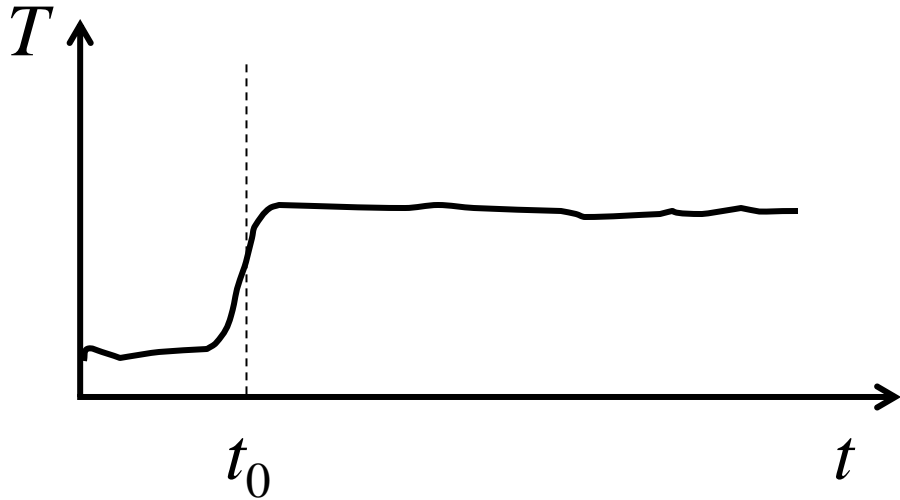
t_0 tempo em que ocorreu a
perturbação climática

o tempo é positivo em direção
ao presente



Sinal Climático

(Perturbação Abrupta)

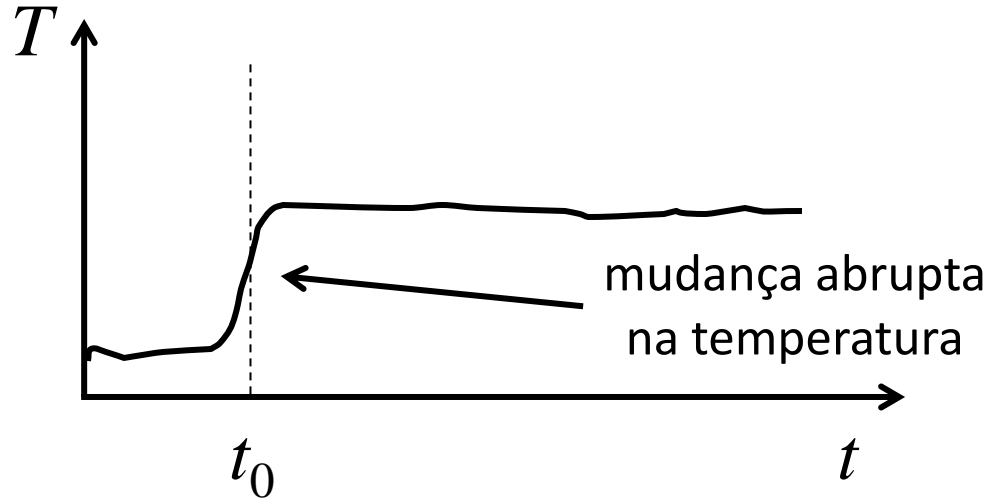


t_0 tempo em que ocorreu a
perturbação climática



subsuperfície

Sinal Climático (Perturbação Abrupta)

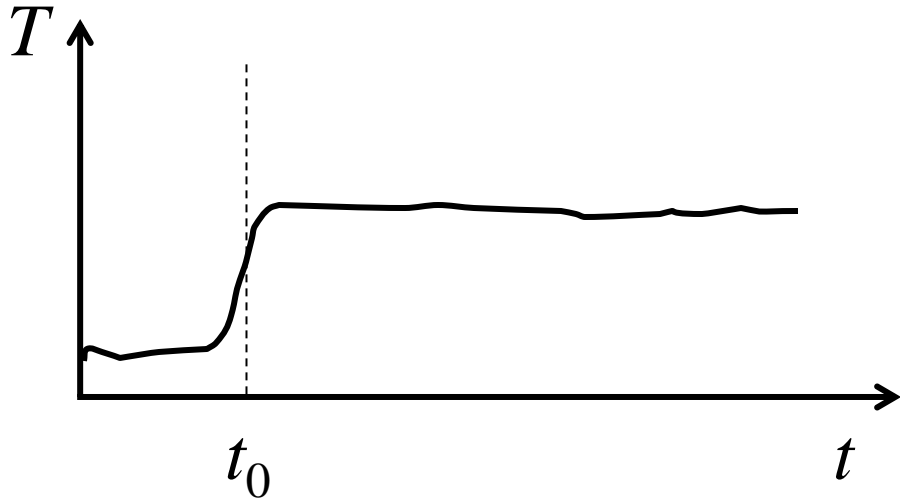


t_0 tempo em que ocorreu a
perturbação climática



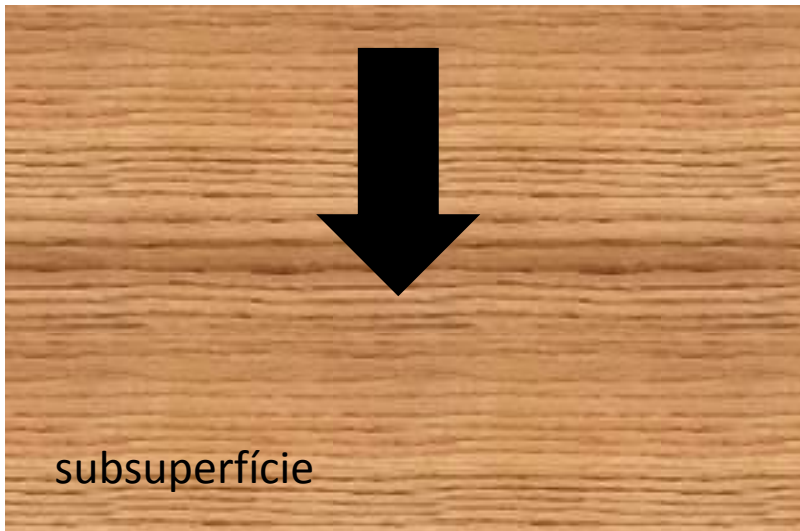
subsuperfície

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



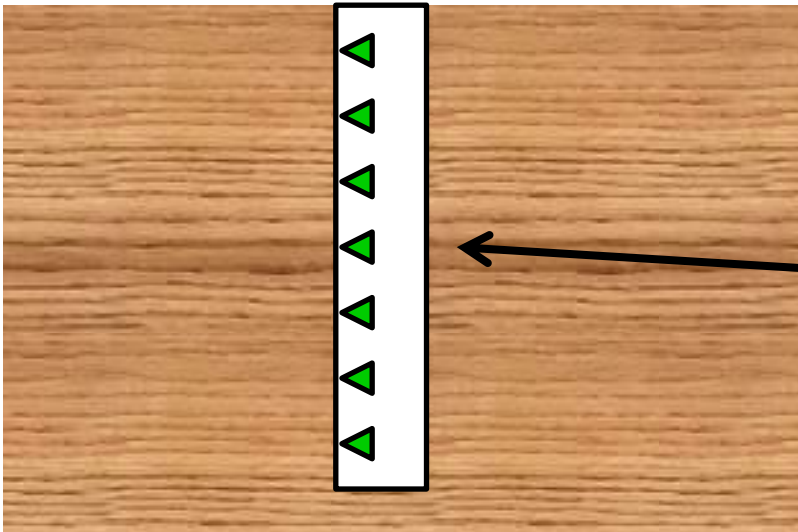
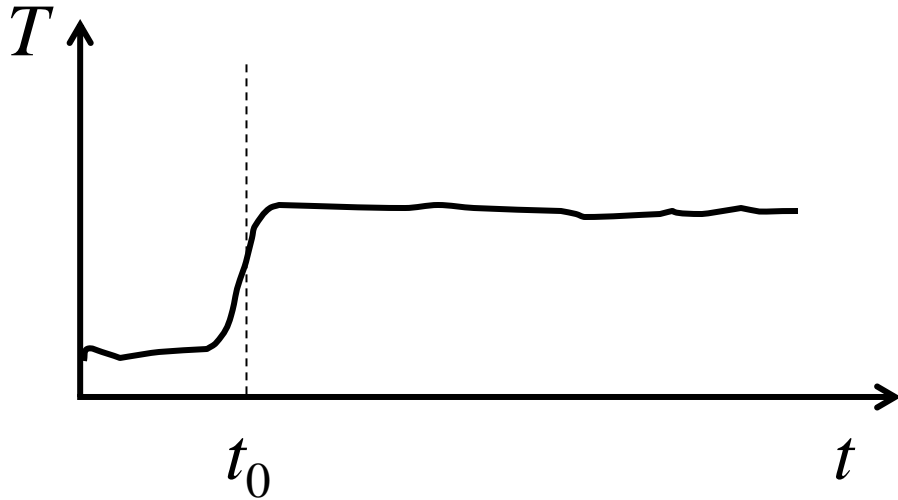
Sinal Climático

(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

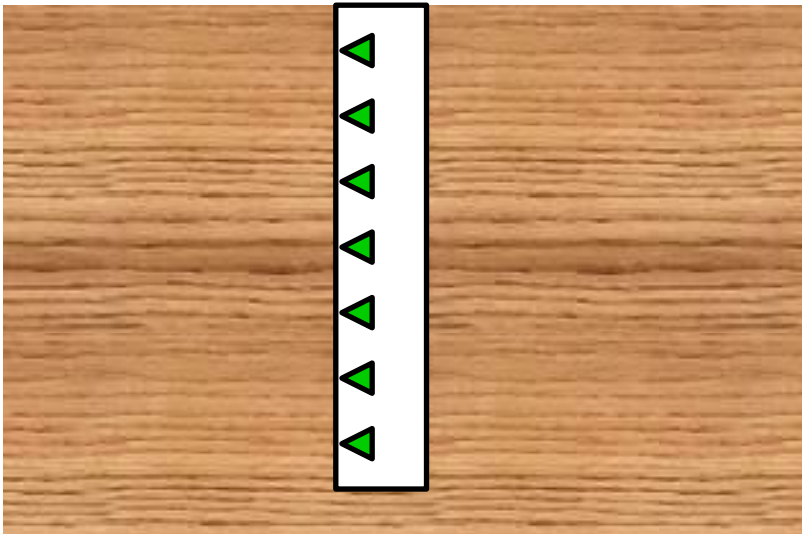
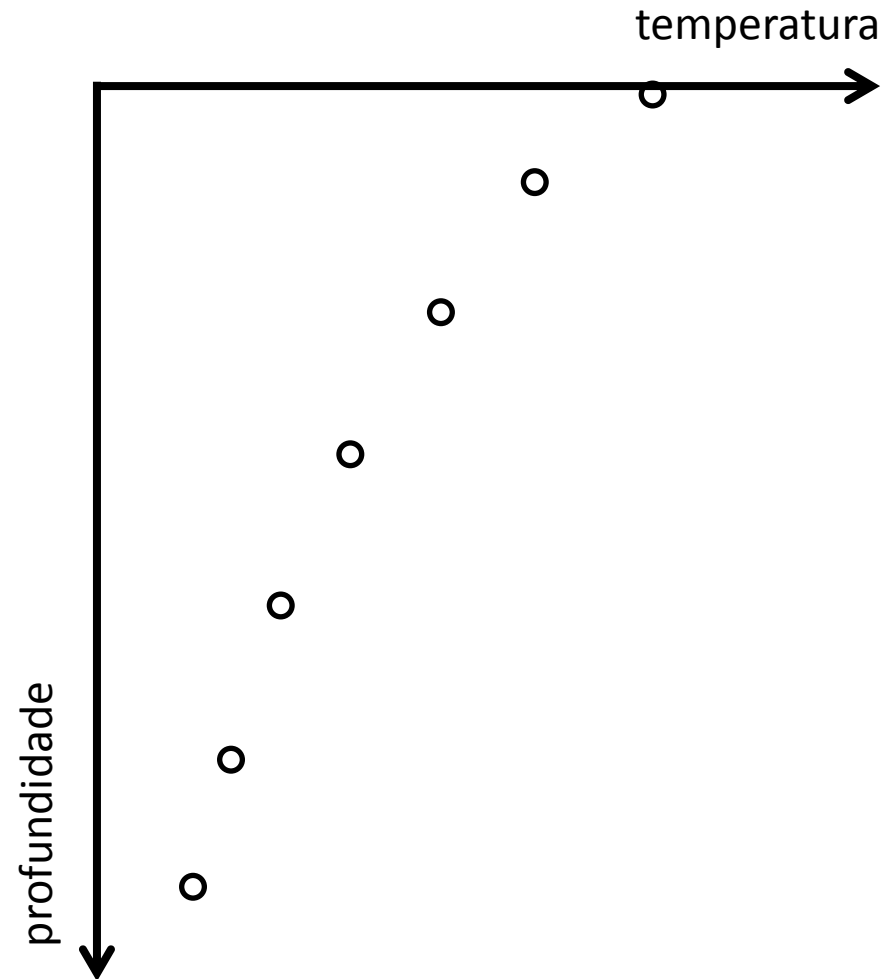
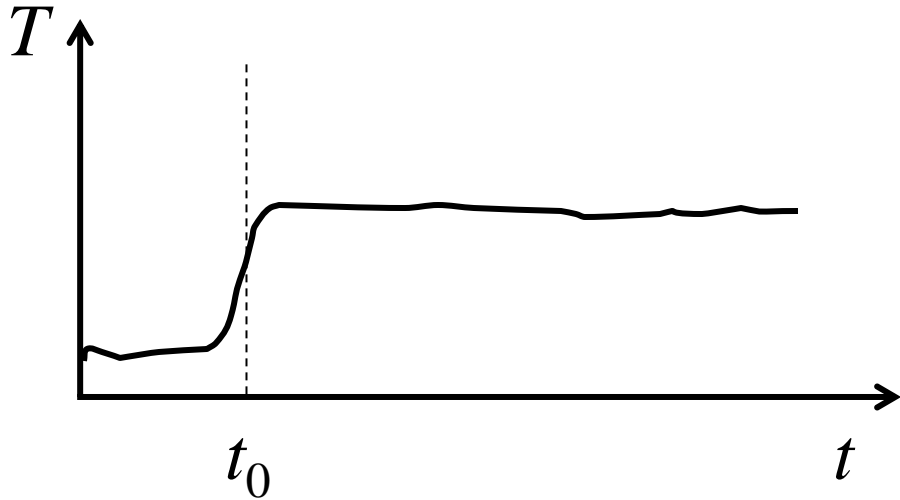
(Perturbação Abrupta)



medidas da
temperatura ao longo
do poço

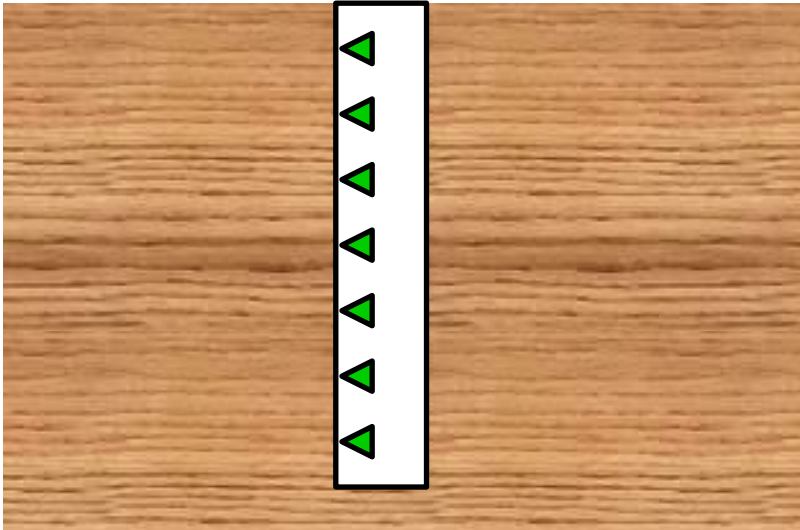
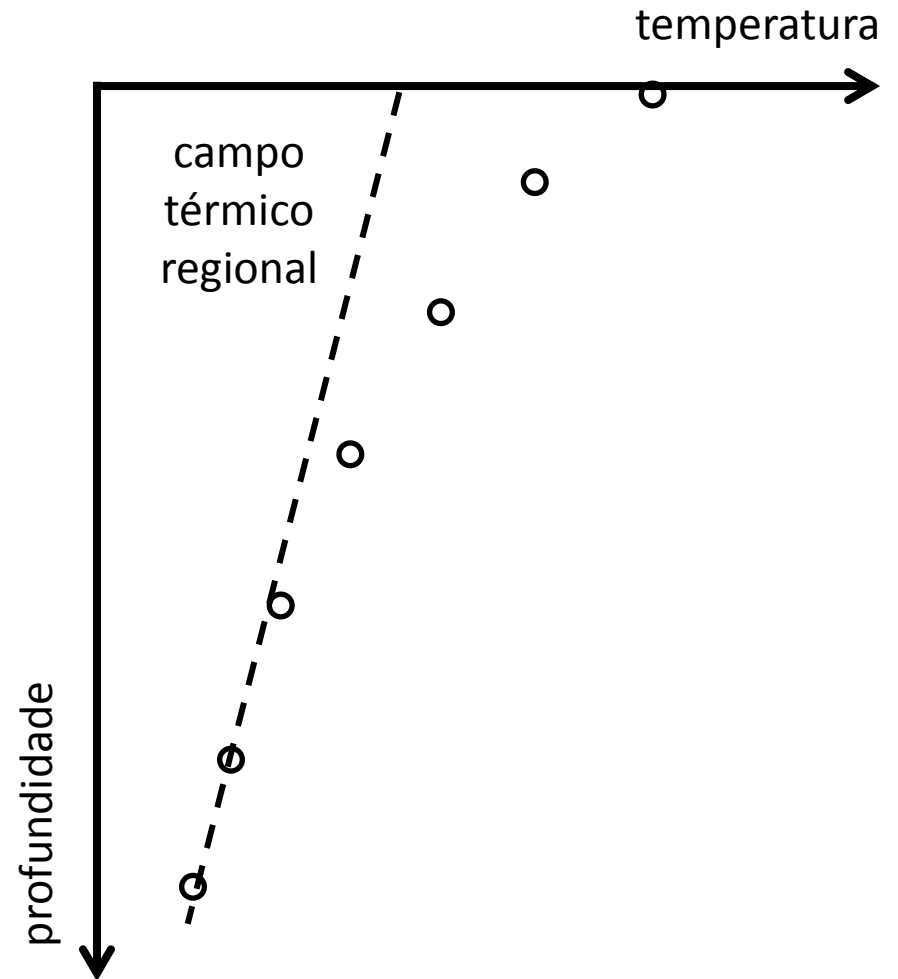
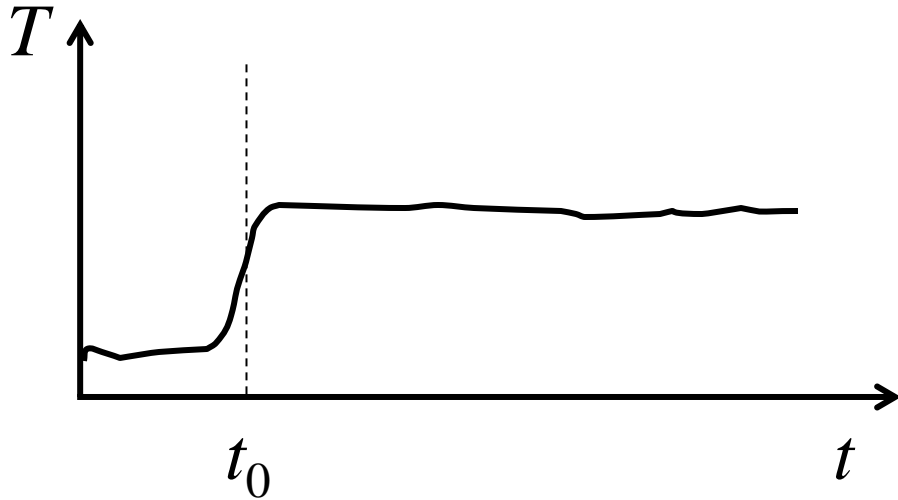
Sinal Climático

(Perturbação Abrupta)



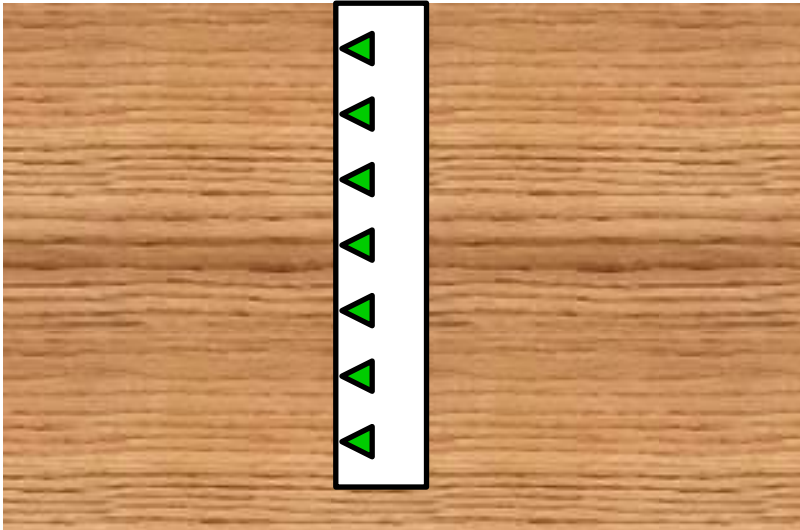
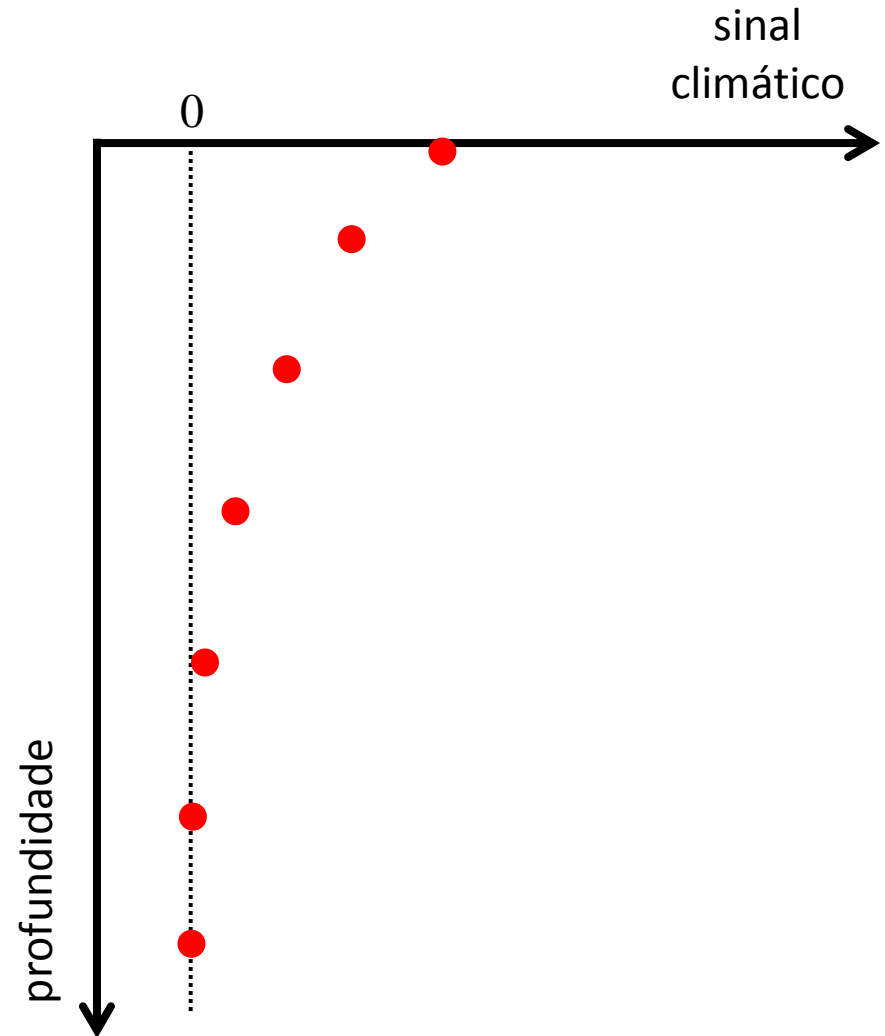
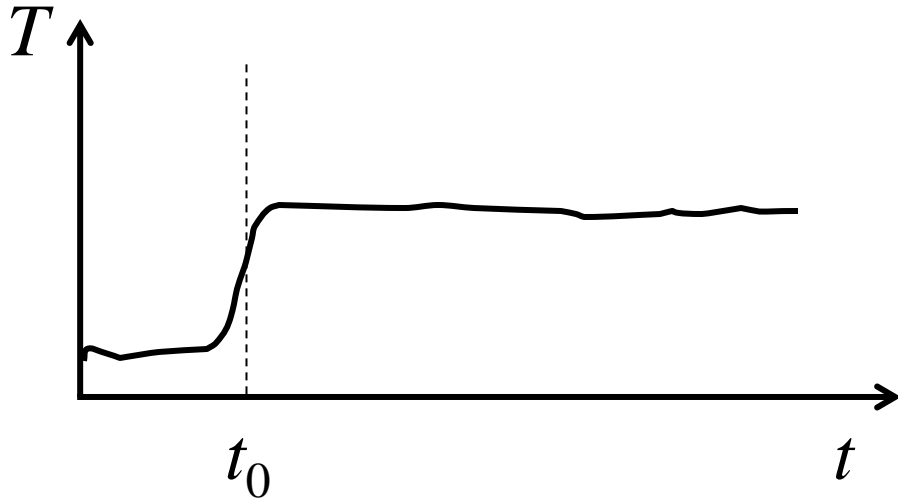
Sinal Climático

(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 λ
- Tempo t' decorrido desde a perturbação climática
- Amplitude A da perturbação climática
- Profundidade z dentro do poço

Sinal Climático

(Perturbação Abrupta)

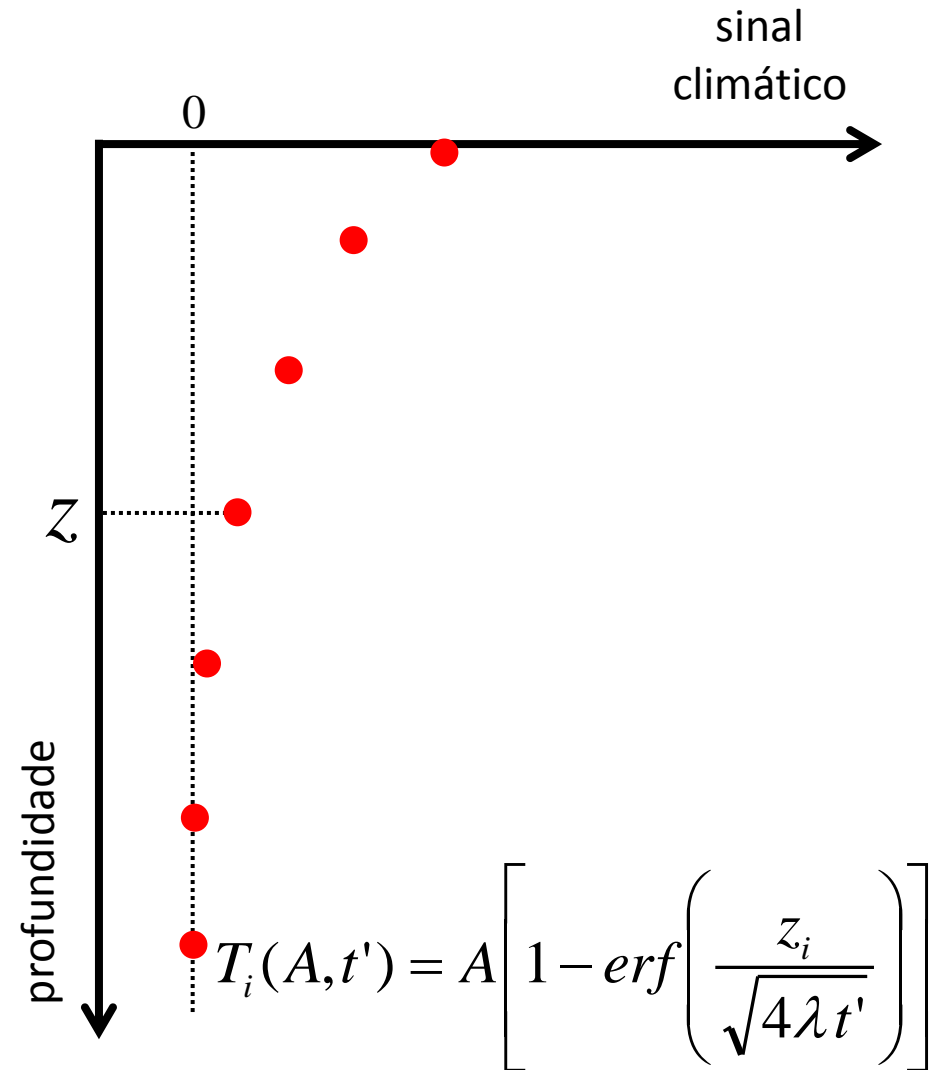
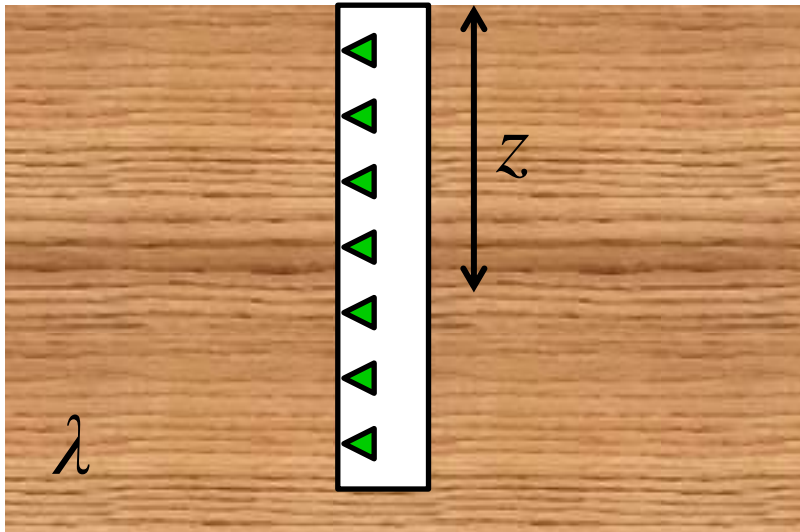
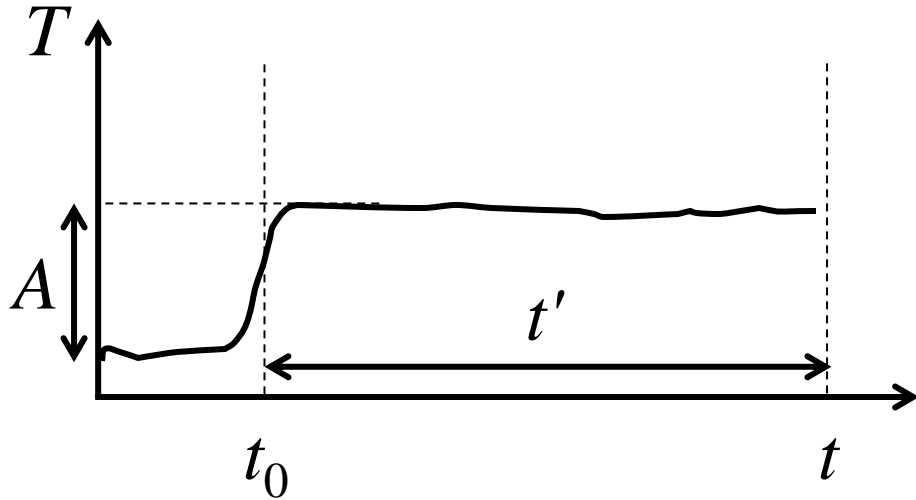
Relação funcional

Nessas condições, a relação entre o sinal climático em uma determinada profundidade e os parâmetros λ , 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:

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

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

Sinal Climático

(Perturbação Abrupta)

Norma

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

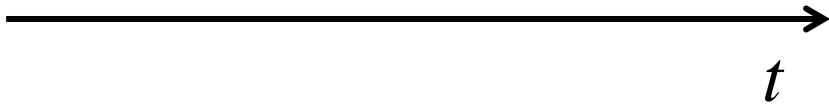
(Perturbação Linear)



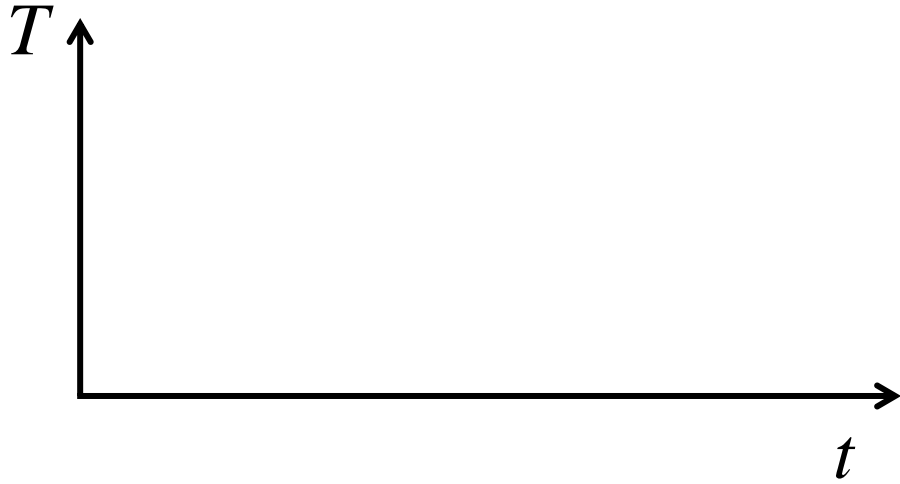
subsuperfície

Sinal Climático

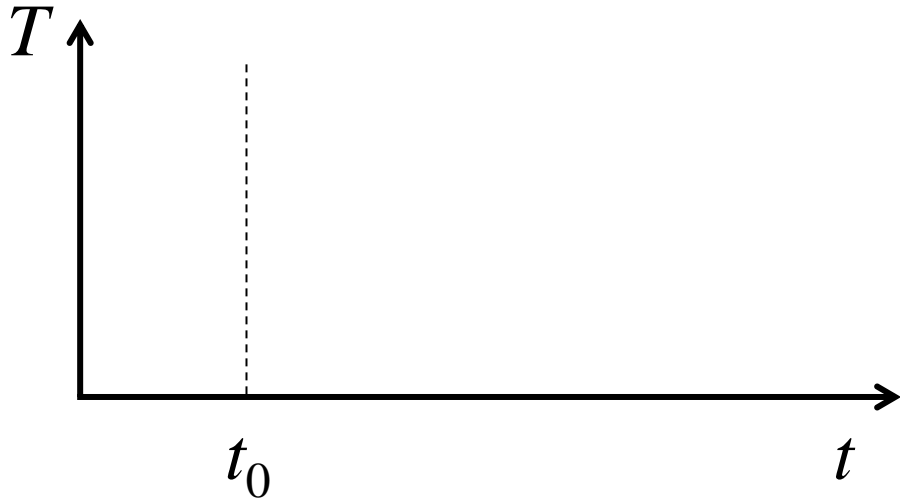
(Perturbação Linear)



Sinal Climático (Perturbação Linear)



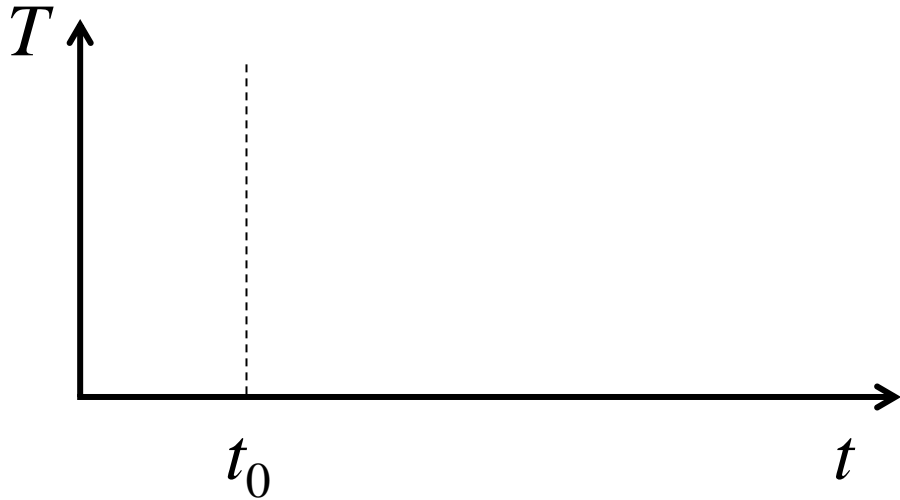
Sinal Climático (Perturbação Linear)



t_0 tempo em que ocorreu a
perturbação climática



Sinal Climático (Perturbação Linear)

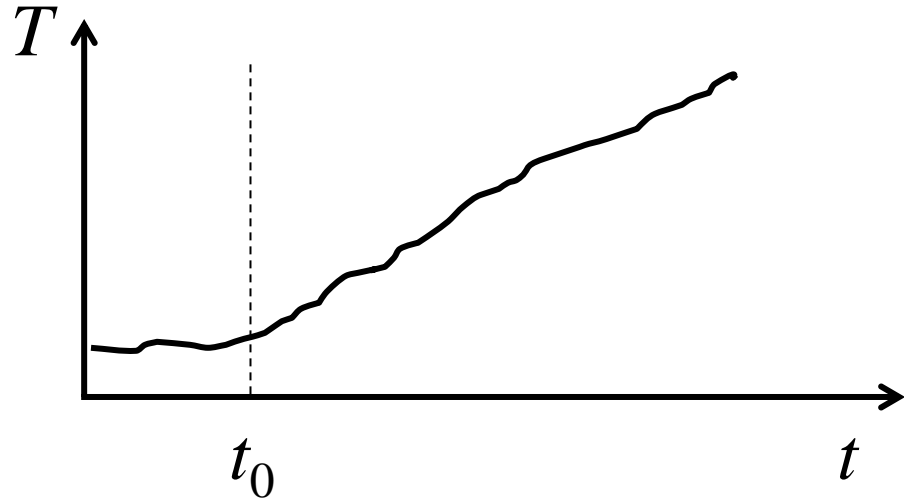


t_0 tempo em que ocorreu a
perturbação climática

o tempo é positivo em direção
ao presente



Sinal Climático (Perturbação Linear)

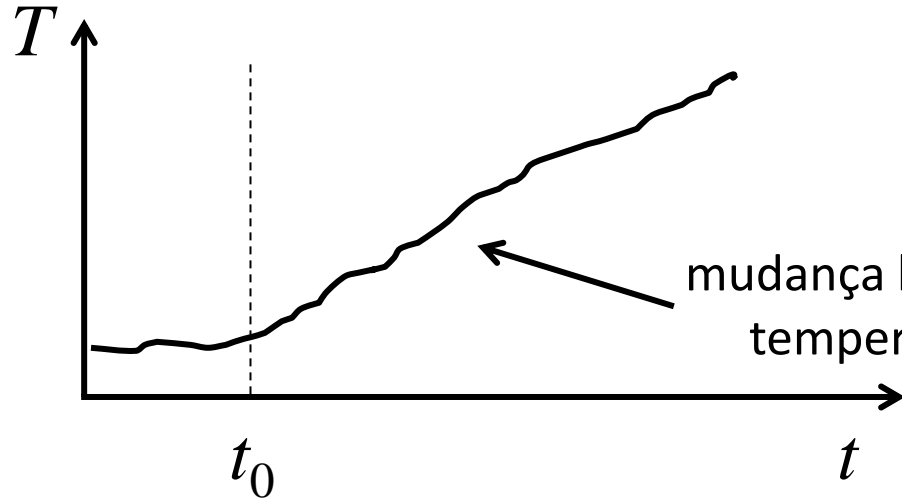


t_0 tempo em que ocorreu a
perturbação climática



subsuperfície

Sinal Climático (Perturbação Linear)

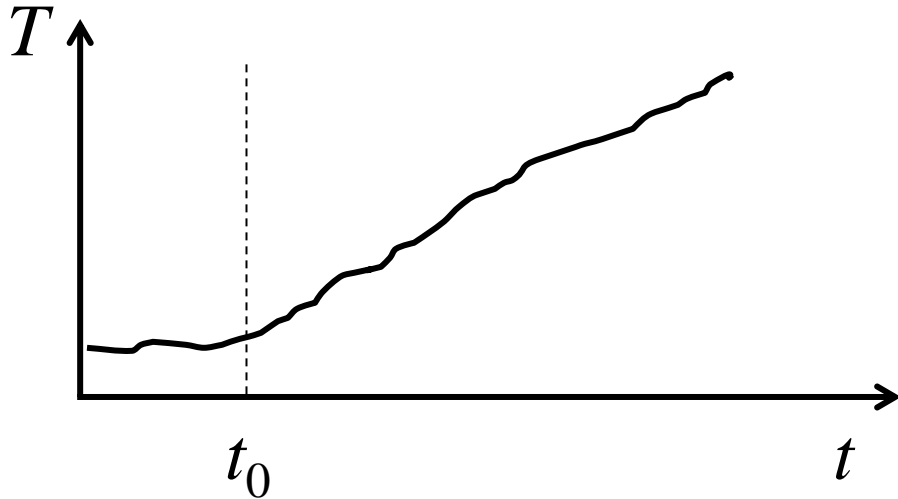


t_0 tempo em que ocorreu a
perturbação climática



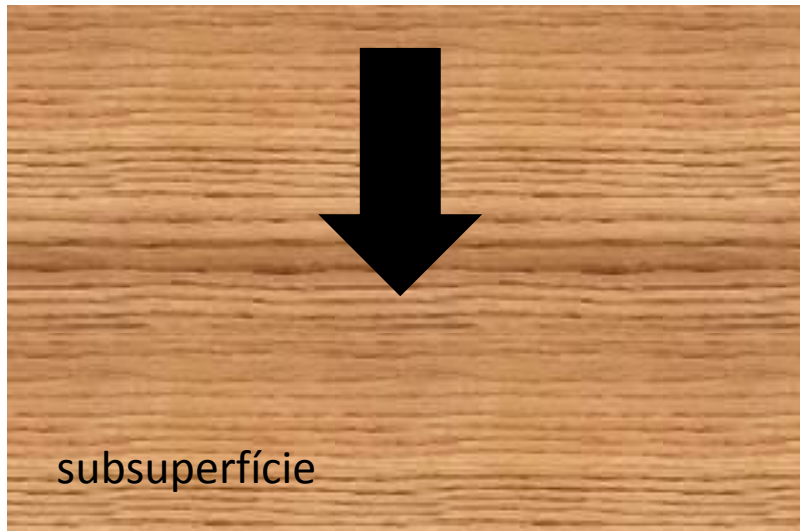
subsuperfície

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

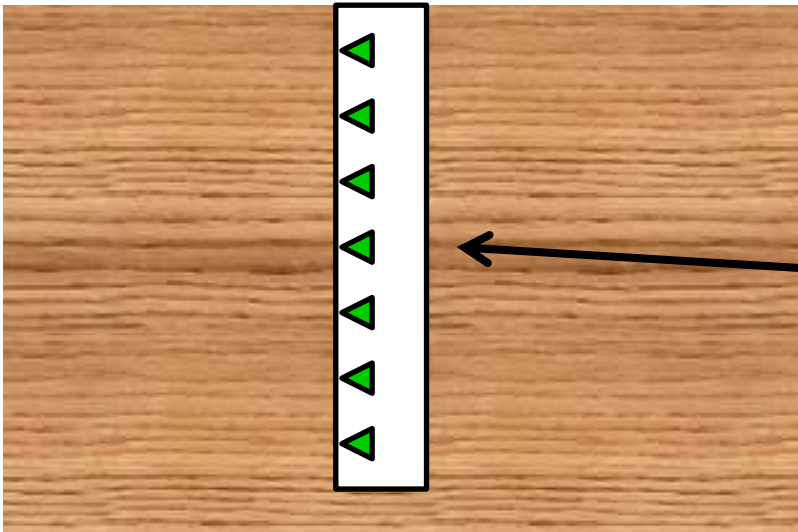
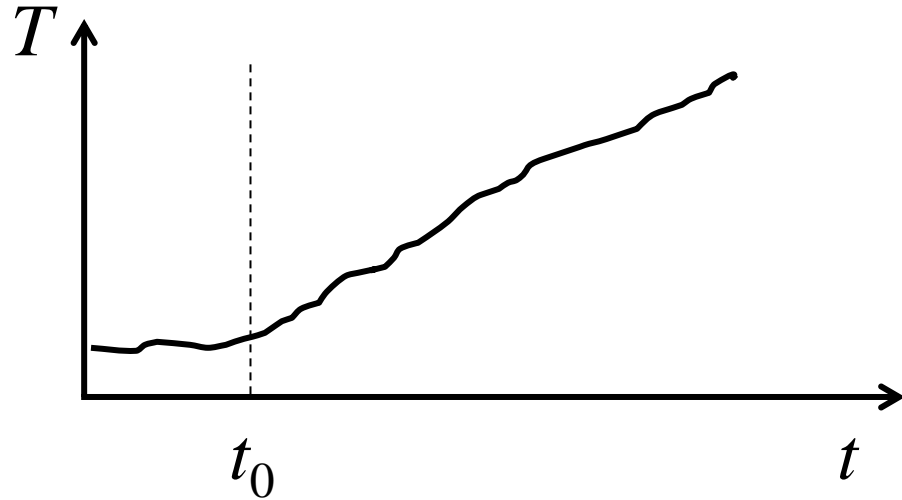


Sinal Climático

(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

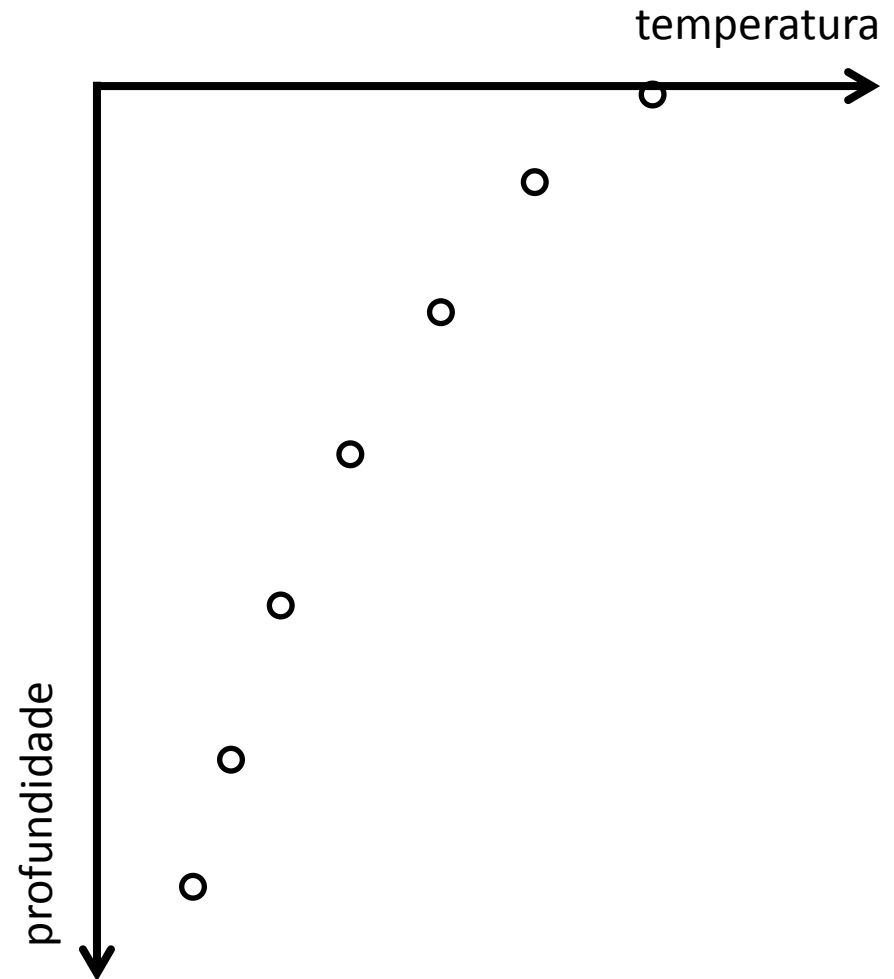
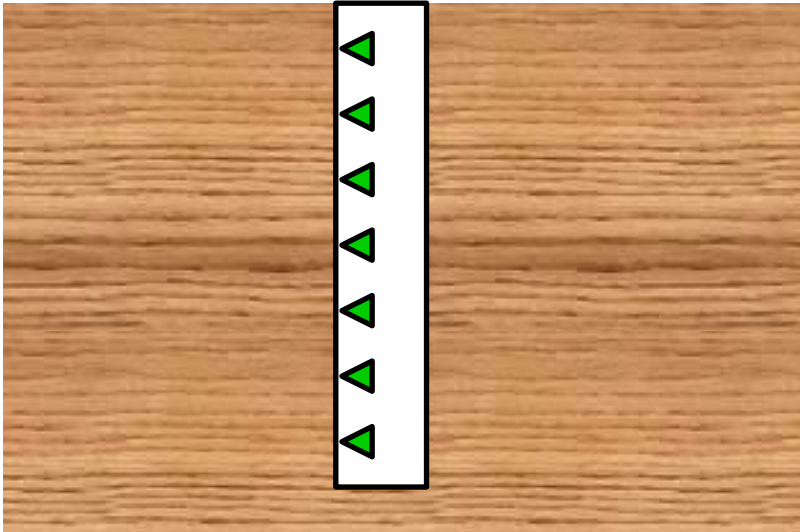
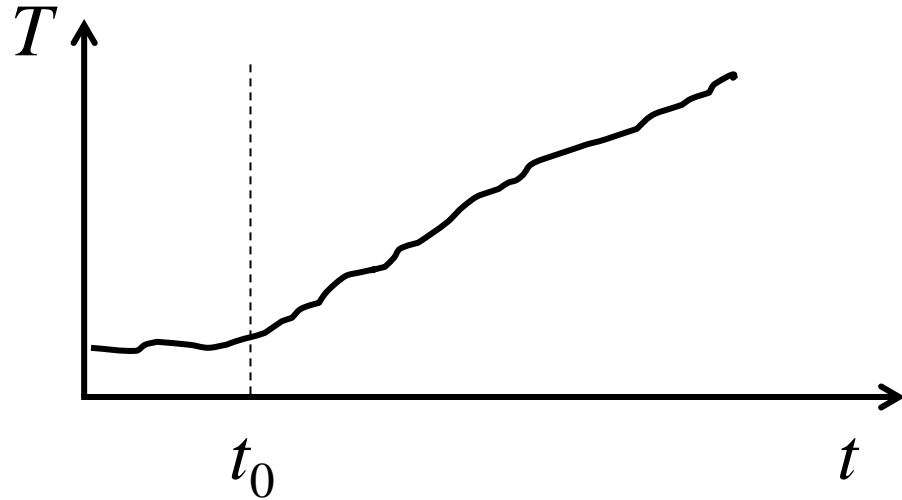
Sinal Climático (Perturbação Linear)



medidas da
temperatura ao longo
do poço

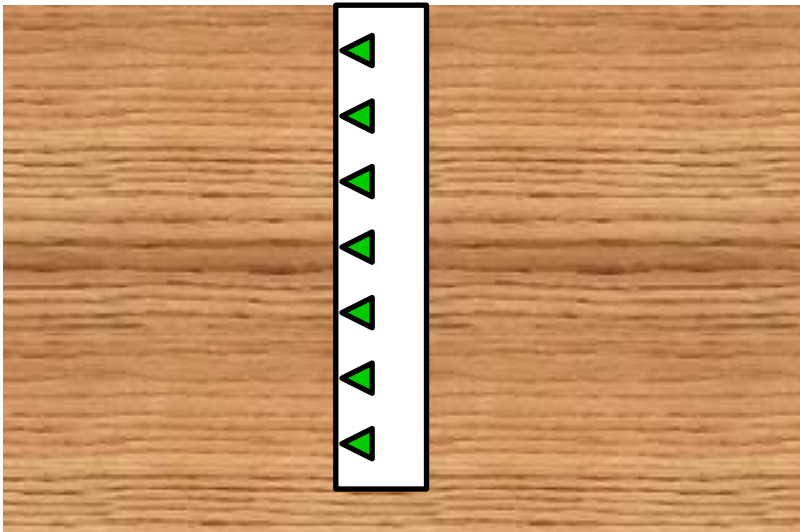
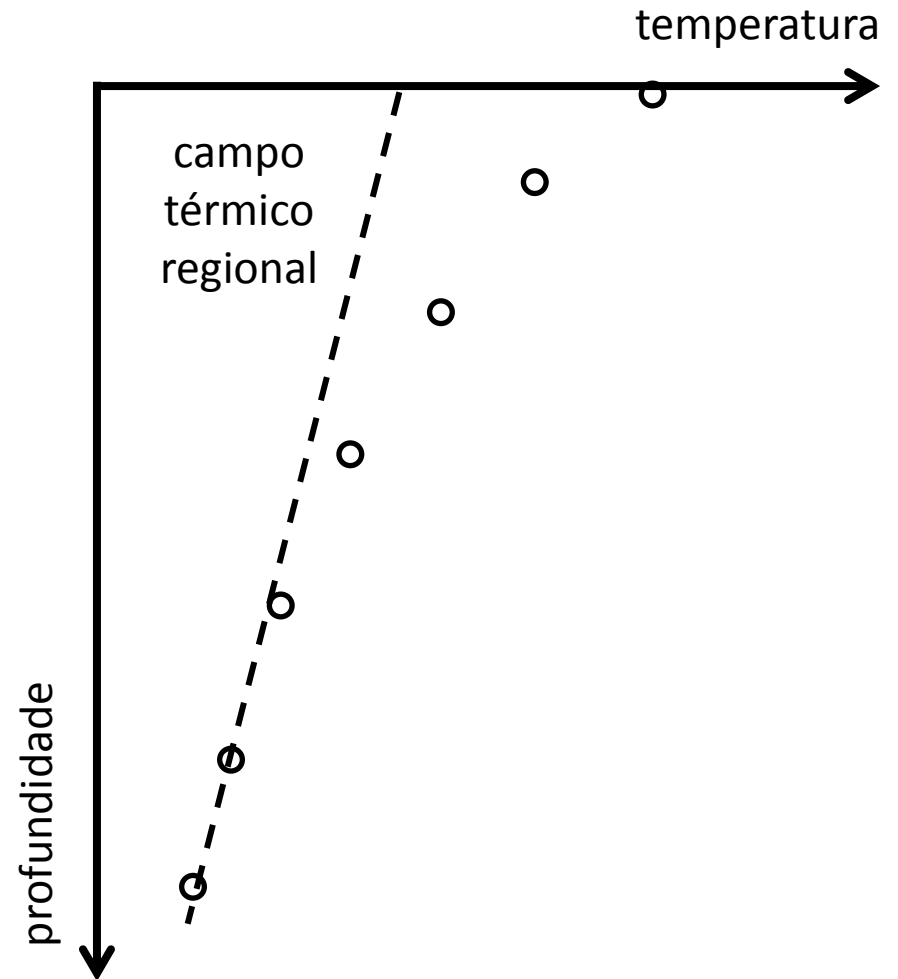
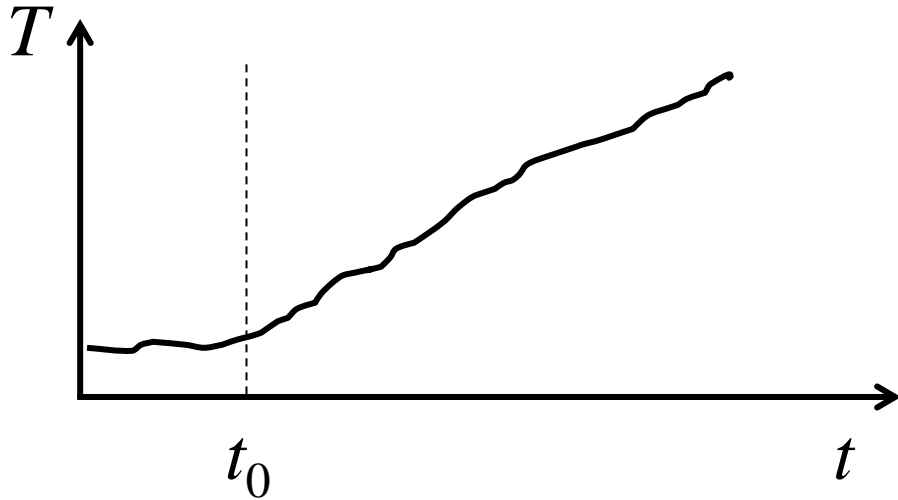
Sinal Climático

(Perturbação Linear)



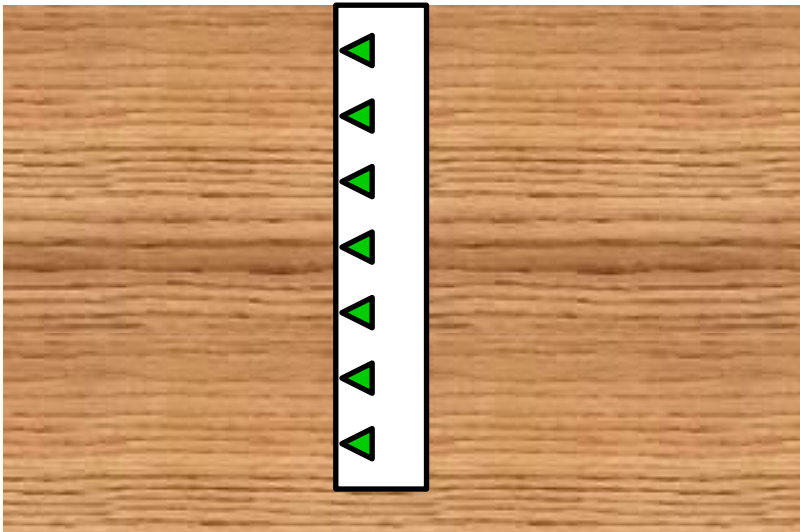
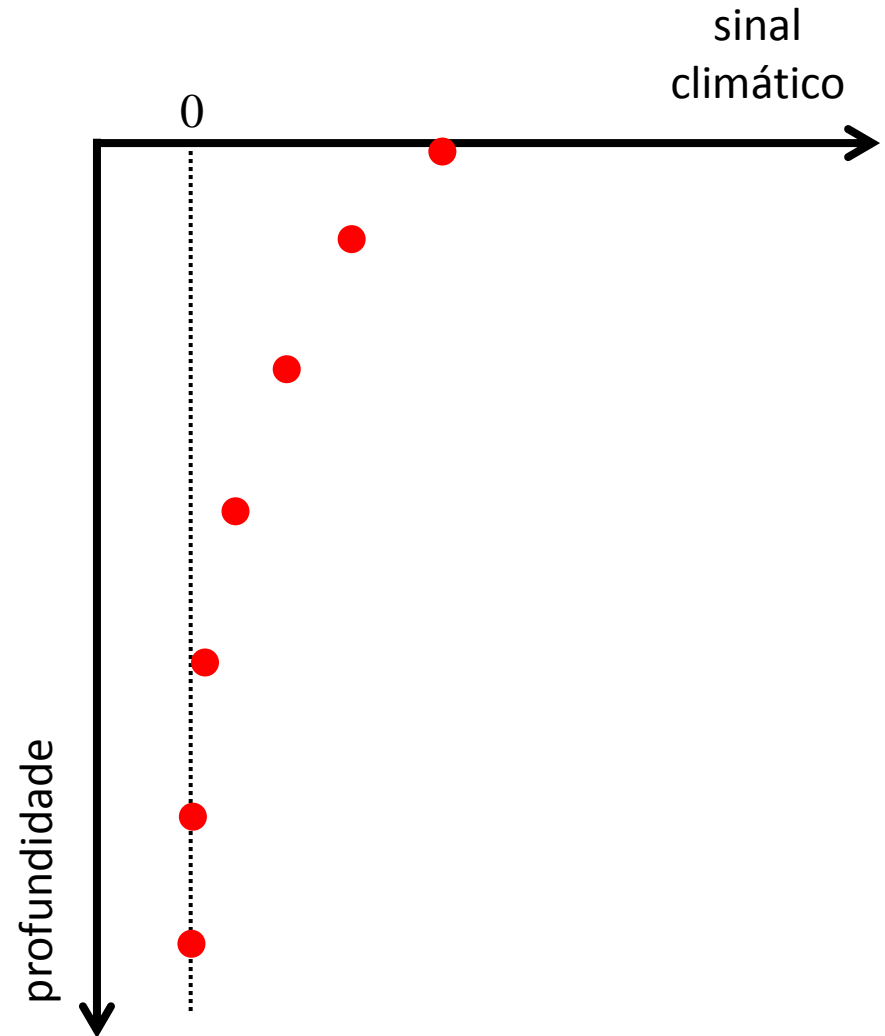
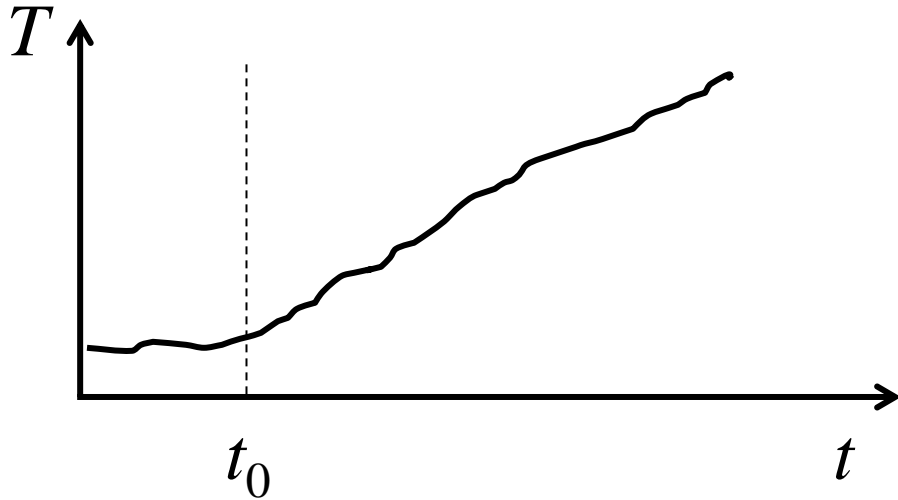
Sinal Climático

(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 λ
- Tempo t' decorrido desde a perturbação climática
- Amplitude A da perturbação climática
- Profundidade z dentro do poço

Sinal Climático

(Perturbação Linear)

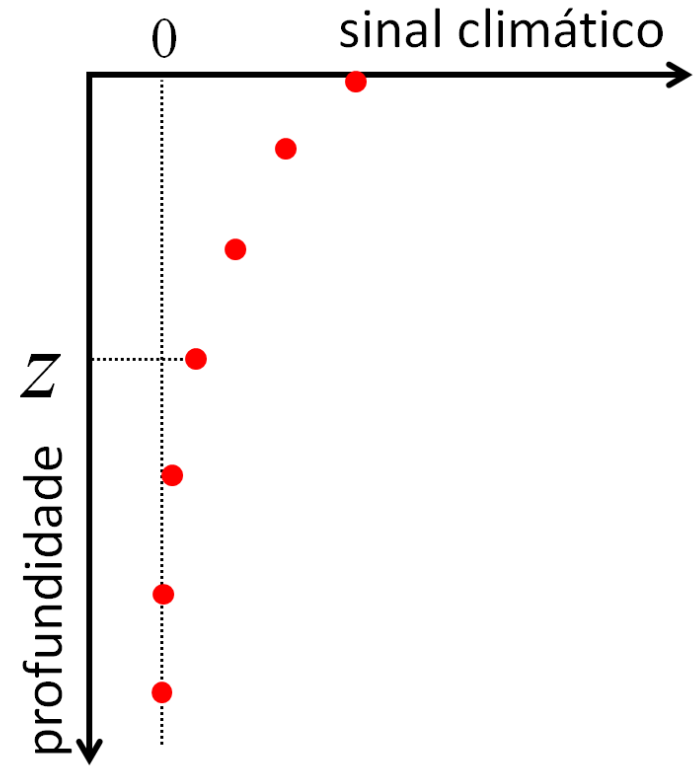
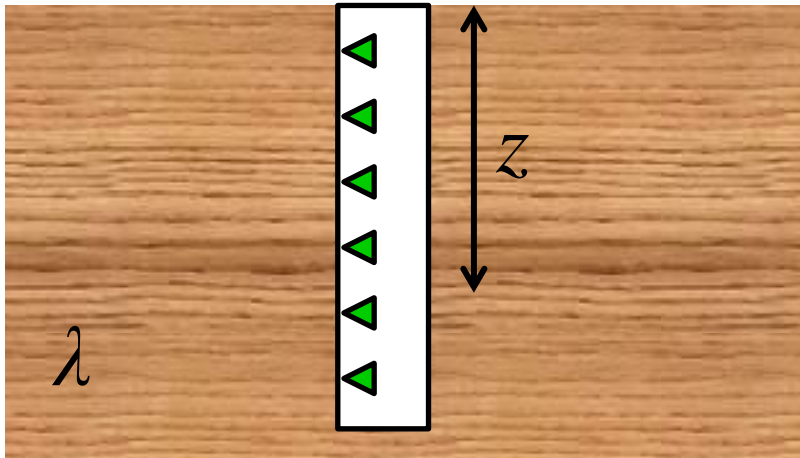
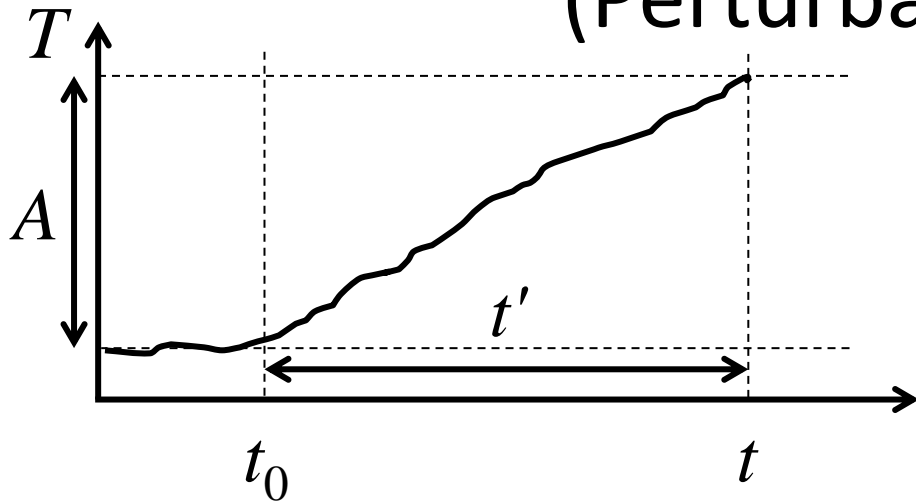
Relação funcional

Nessas condições, a relação entre o sinal climático em uma determinada profundidade e os parâmetros λ , 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:

$$\begin{aligned}
 T_1(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\
 T_2(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\
 &\vdots \\
 T_N(A, t') &= A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 \begin{bmatrix} T_1(A, t') \\ T_2(A, t') \\ \vdots \\ T_N(A, t') \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A \left\{ [(1 + 2\alpha_1) \operatorname{erfc}(\alpha_1)] - \frac{2\alpha_1 e^{-\alpha_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_2) \operatorname{erfc}(\alpha_2)] - \frac{2\alpha_2 e^{-\alpha_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \\ \vdots \\ A \left\{ [(1 + 2\alpha_N) \operatorname{erfc}(\alpha_N)] - \frac{2\alpha_N e^{-\alpha_N^2}}{\sqrt{\pi}} \right\} \end{bmatrix} \\
 \alpha_i &= z_i / \sqrt{4\lambda t'}
 \end{aligned}$$

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

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:

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

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

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

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

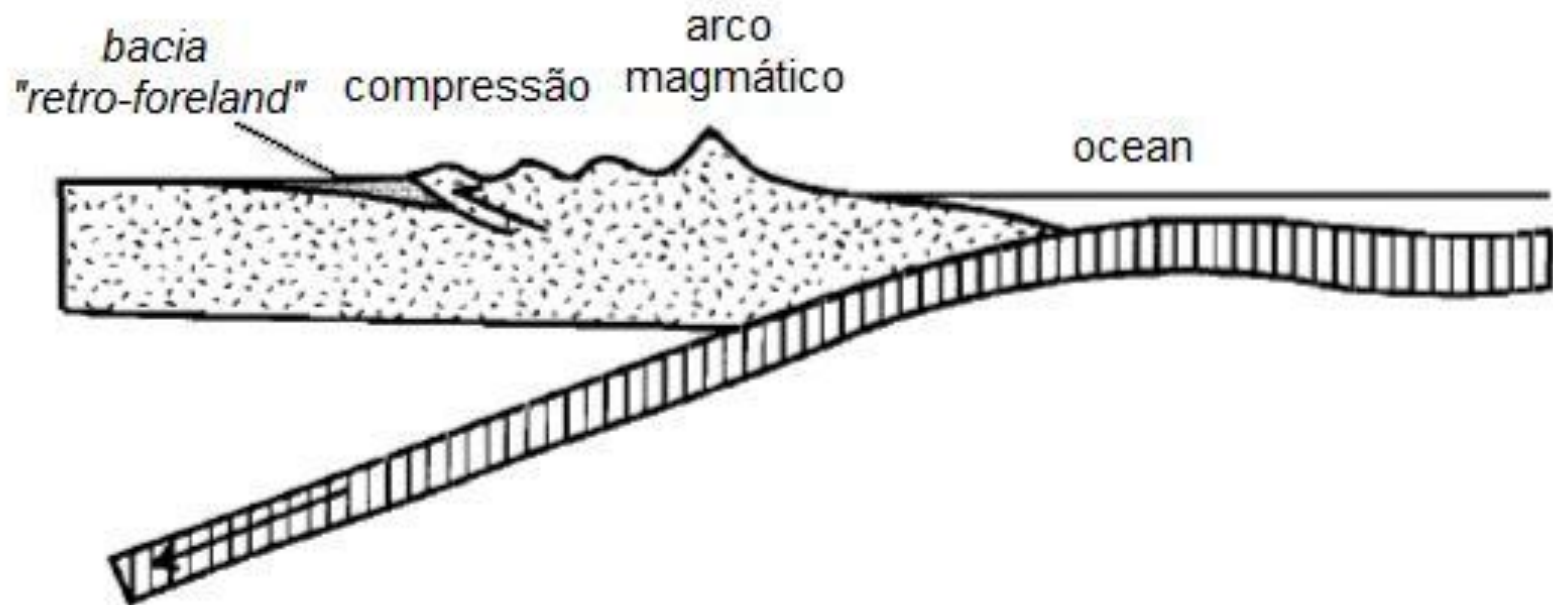
(Bacia Triangular)

- 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)

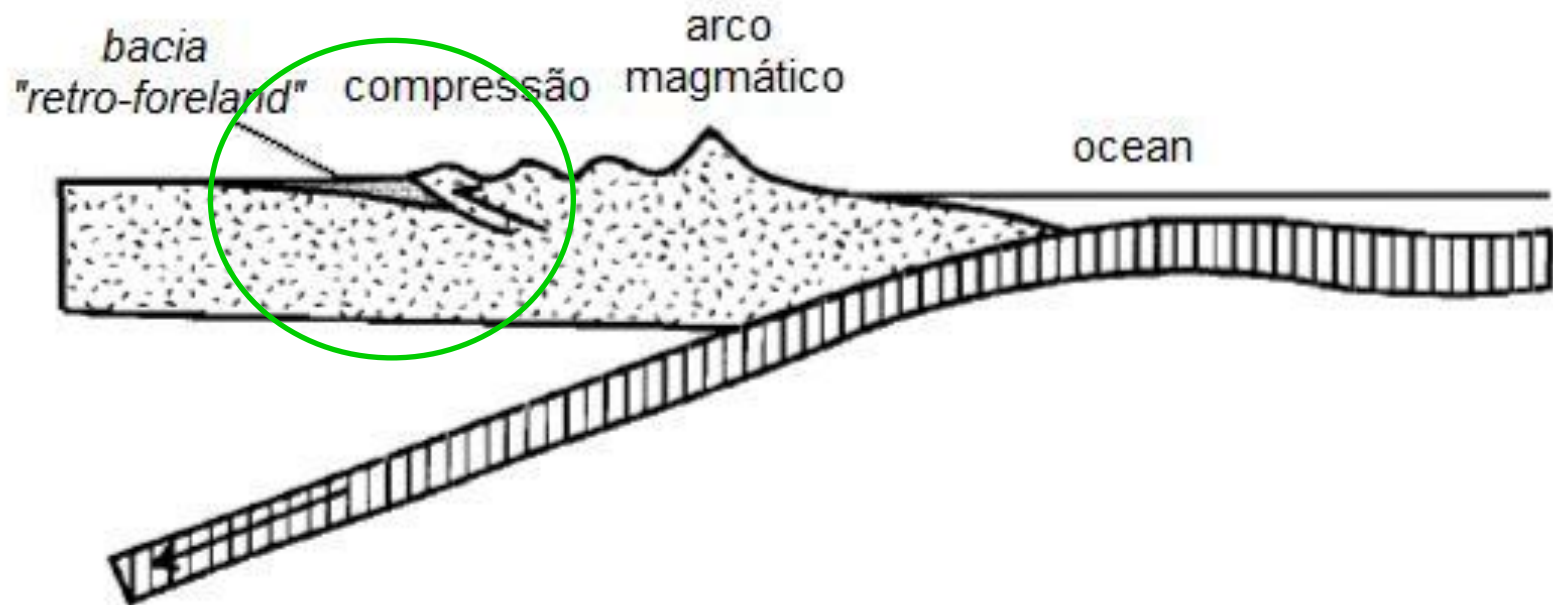
Limite oceano-continente
Margem tipo "Andina"



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

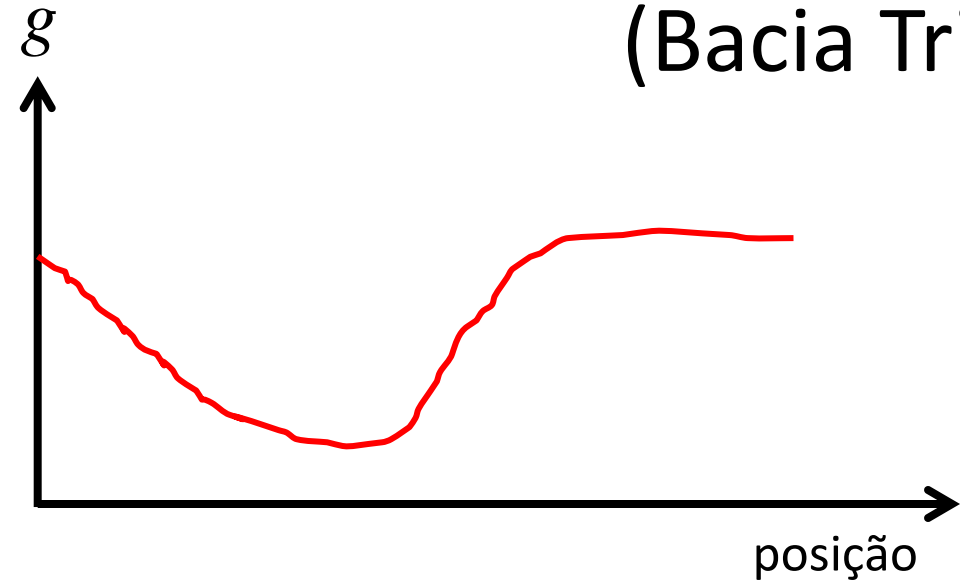
(Bacia Triangular)

Parametrização

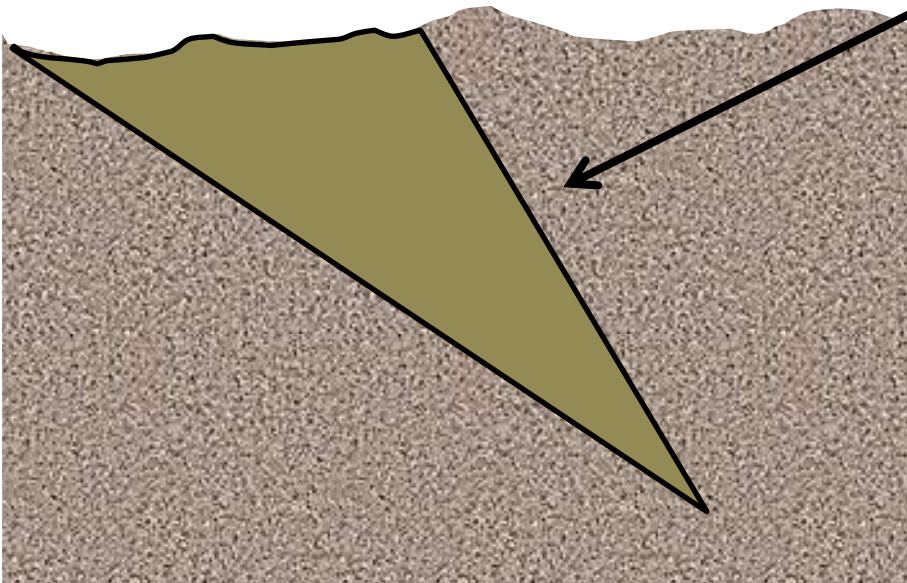
Considerando que o pacote sedimentar e o embasamento são homogêneos, a anomalia de gravidade pode ser descrita em termos dos parâmetros:

- Contraste ρ de densidade dos sedimentos
- Relevo do embasamento

Gravimetria (Bacia Triangular)

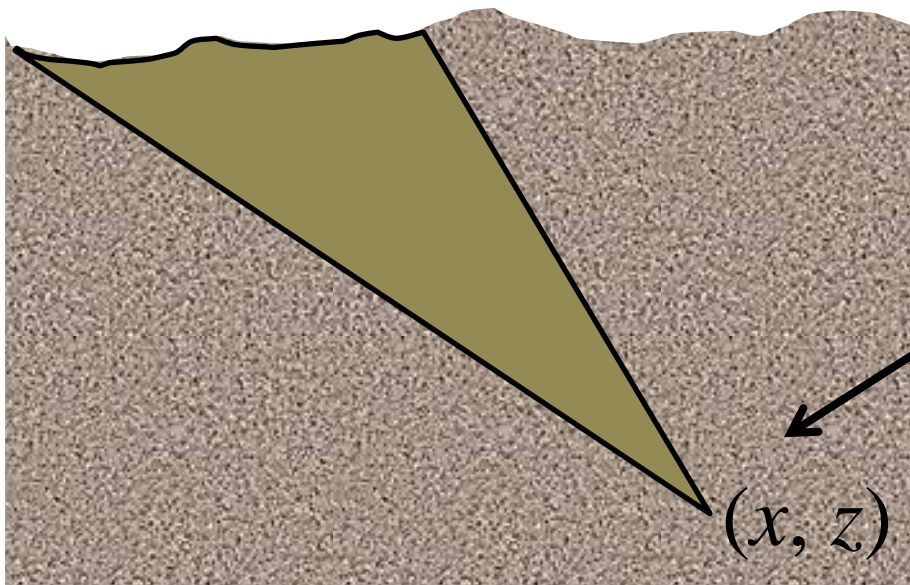
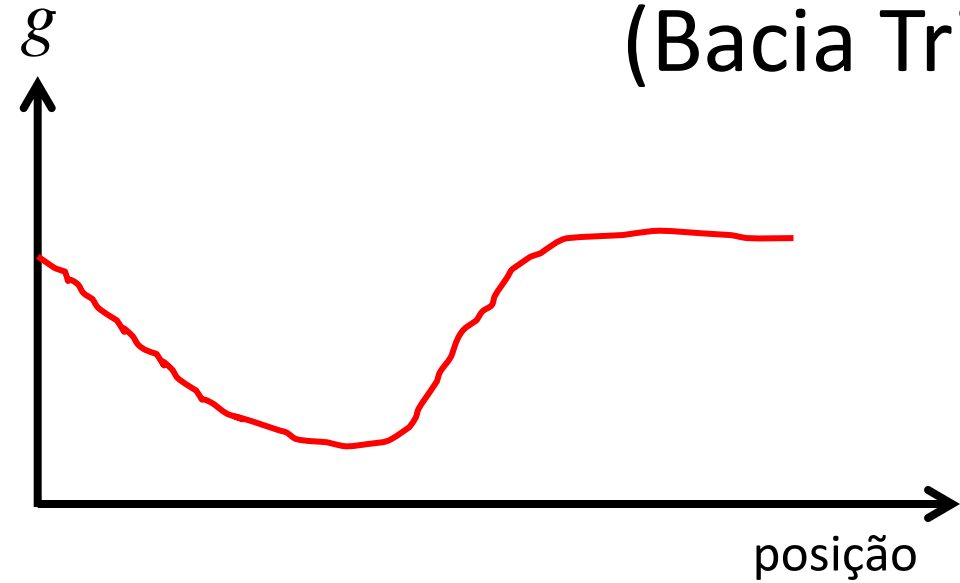


A bacia sedimentar pode ser aproximada por um polígono triangular



Gravimetria

(Bacia Triangular)



Cujo formato é definido
pelas coordenadas do
vértice inferior

Gravimetria

(Bacia Triangular)

Relação funcional

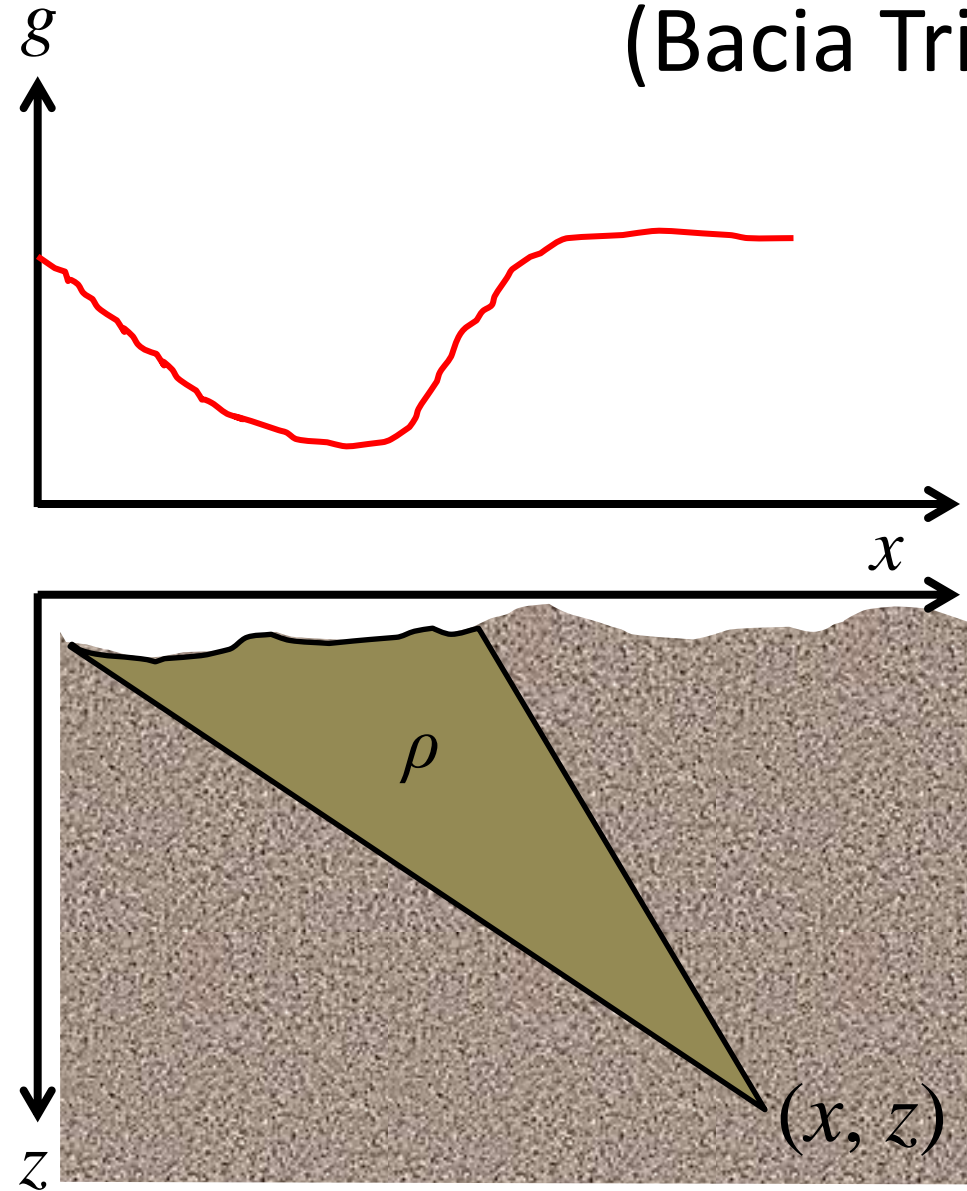
Nessas condições, a relação entre a anomalia de gravidade em uma determinada posição e os parâmetros ρ , x e z é dada por uma função:

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

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:

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

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

$$\vdots$$

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

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

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

Gravimetria

(Bacia Triangular)

Norma

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

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

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

Gravimetria

(Bacia Triangular)

Norma

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

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

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

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:

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

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

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

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

Gravimetria

(Bacia Triangular)

Norma

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

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

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

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

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

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

Gravimetria

(Bacia Trapezoidal)

Problema Geofísico

Cálculo da profundidade do embasamento

Gravimetria

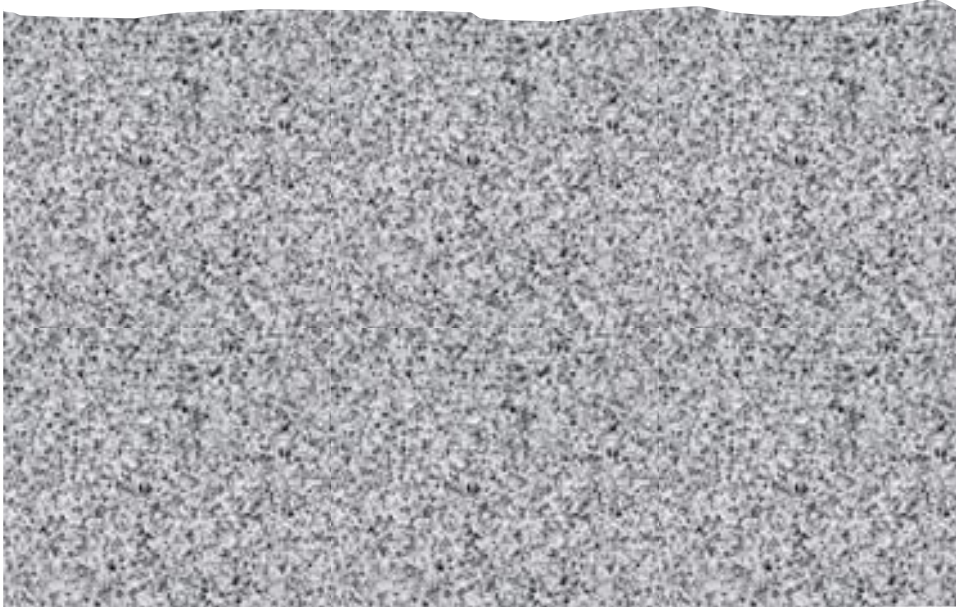
(Bacia Trapezoidal)

- 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)

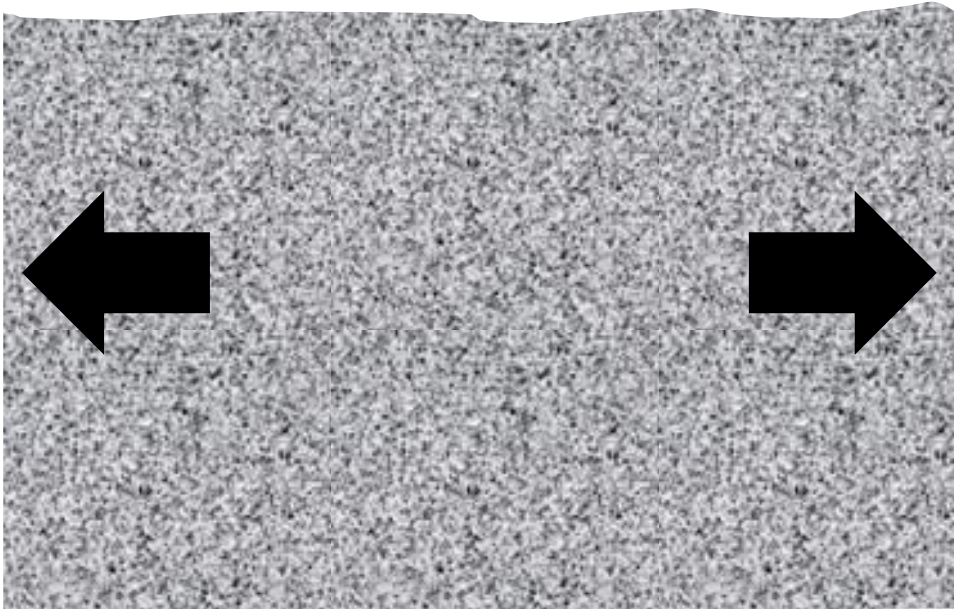
crosta



Gravimetria

(Bacia Trapezoidal)

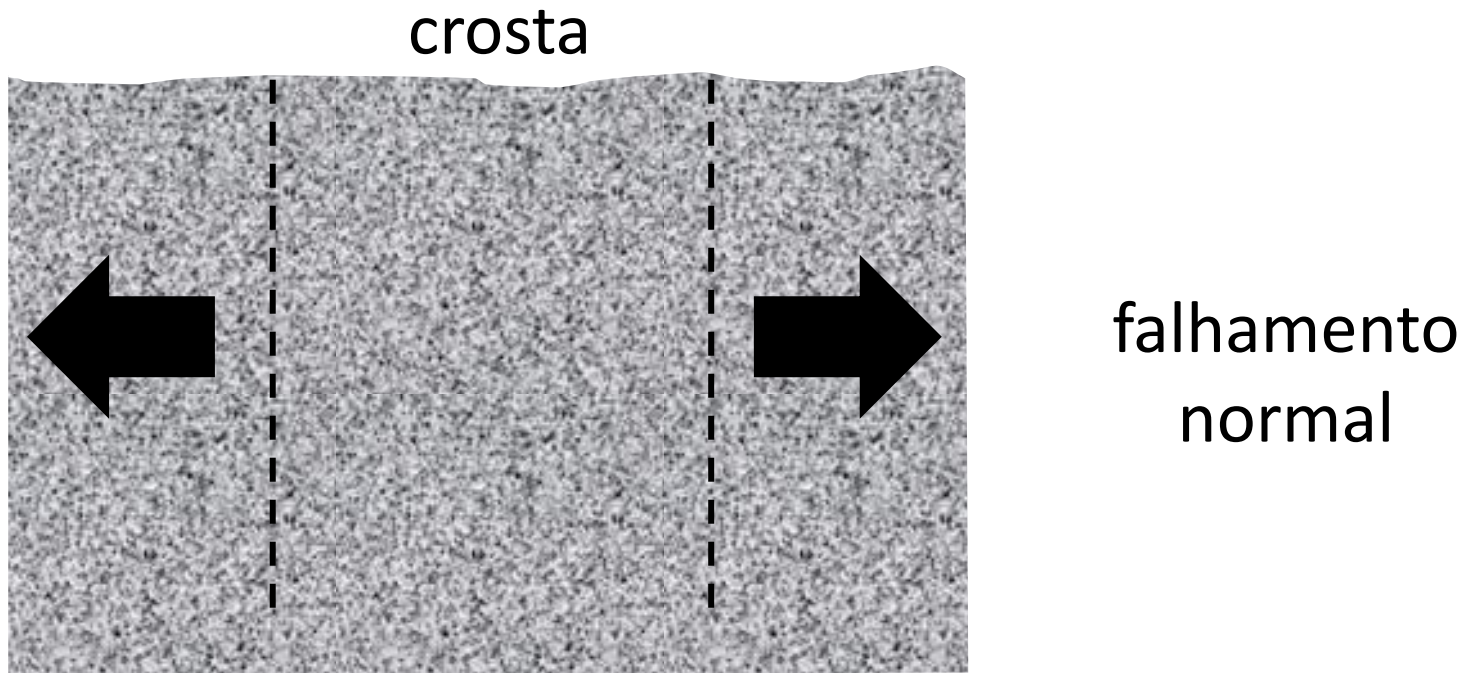
crosta



estiramento

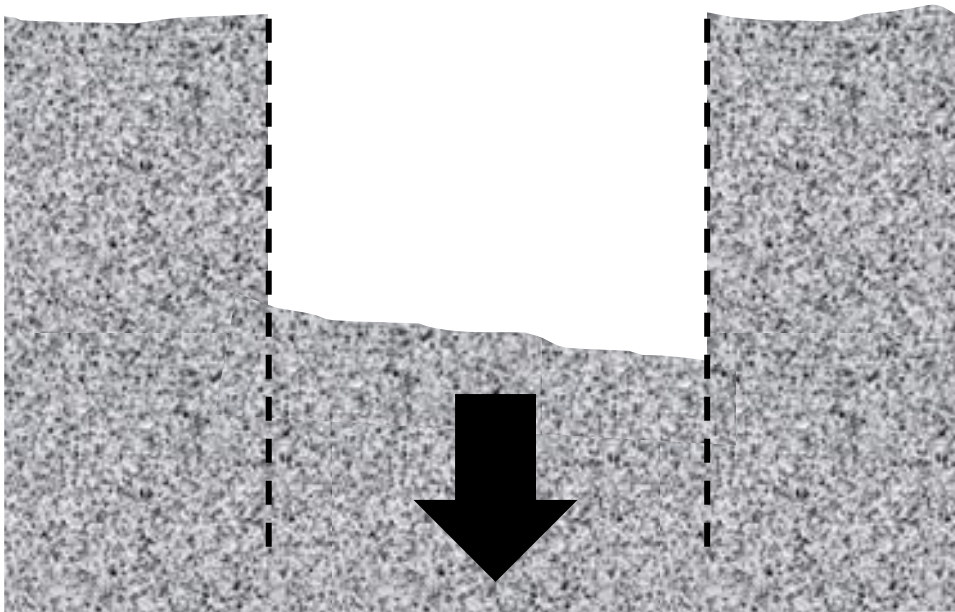
Gravimetria

(Bacia Trapezoidal)



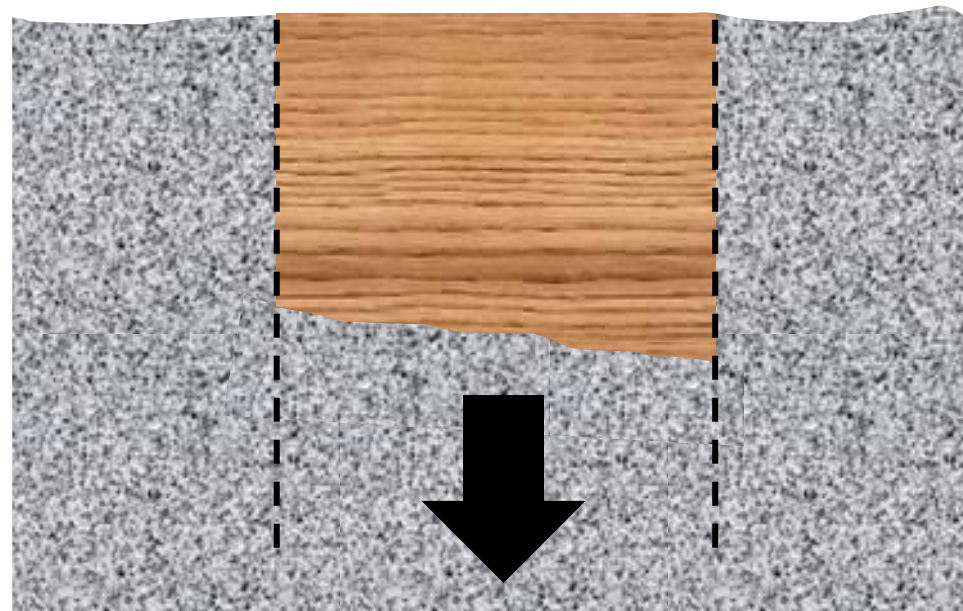
Gravimetria

(Bacia Trapezoidal)



subsidência

Gravimetria (Bacia Trapezoidal)



bacia
sedimentar

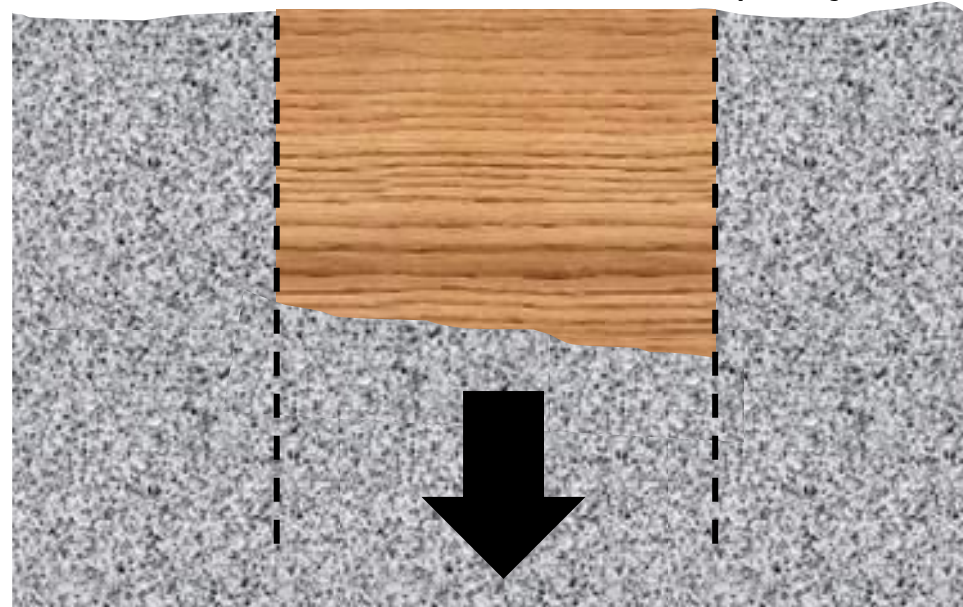
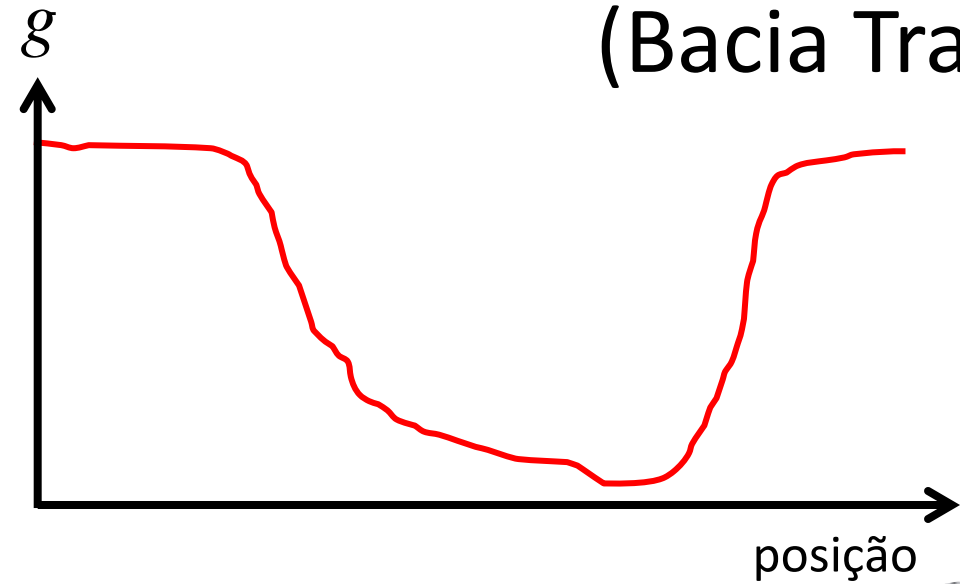
Gravimetria

(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)

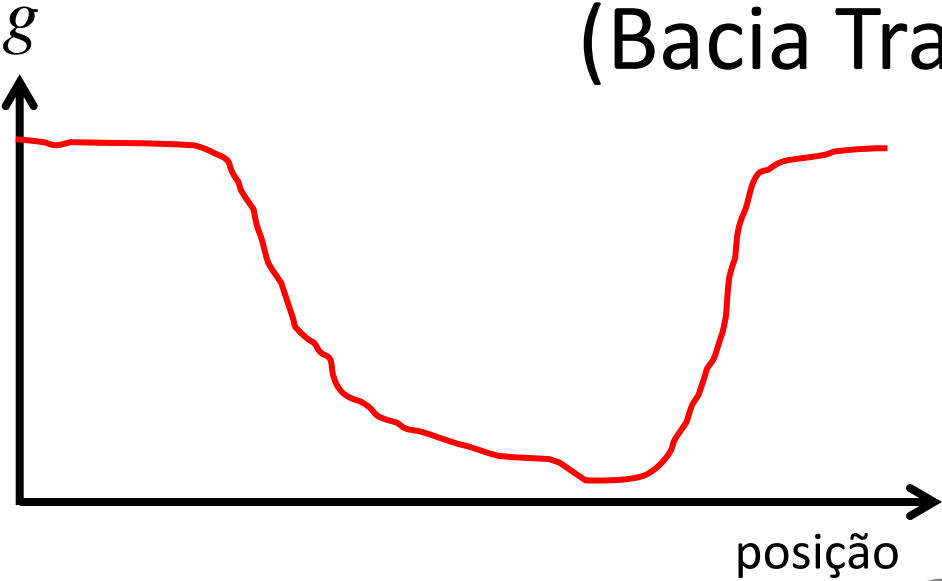
Parametrização

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

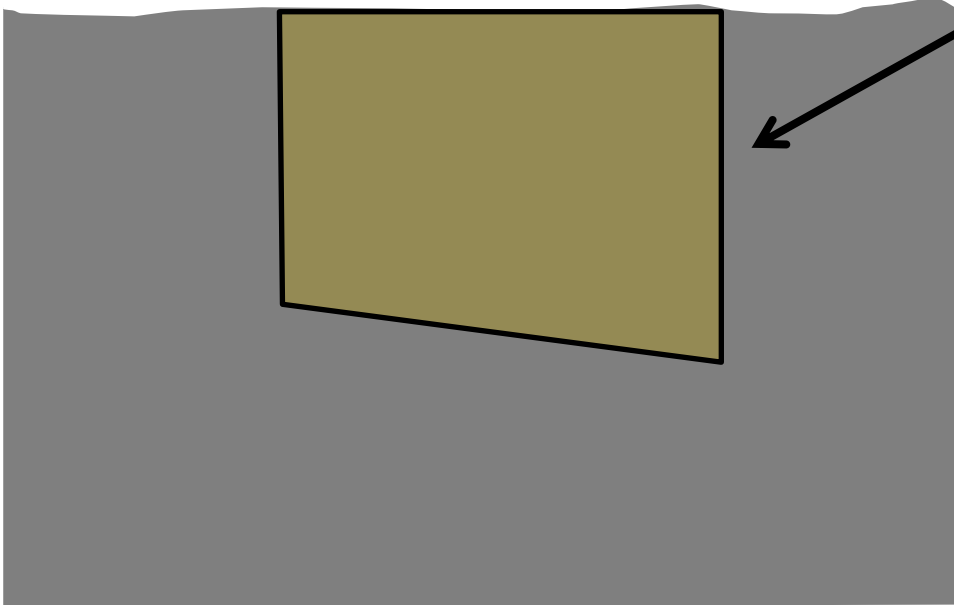
- Contraste ρ de densidade dos sedimentos
- Relevo do embasamento

Gravimetria

(Bacia Trapezoidal)

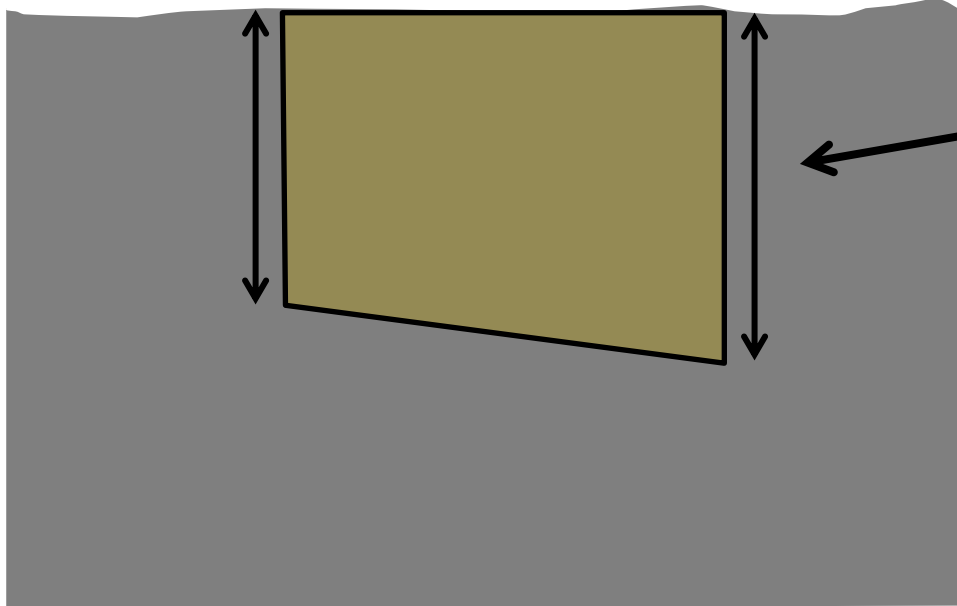
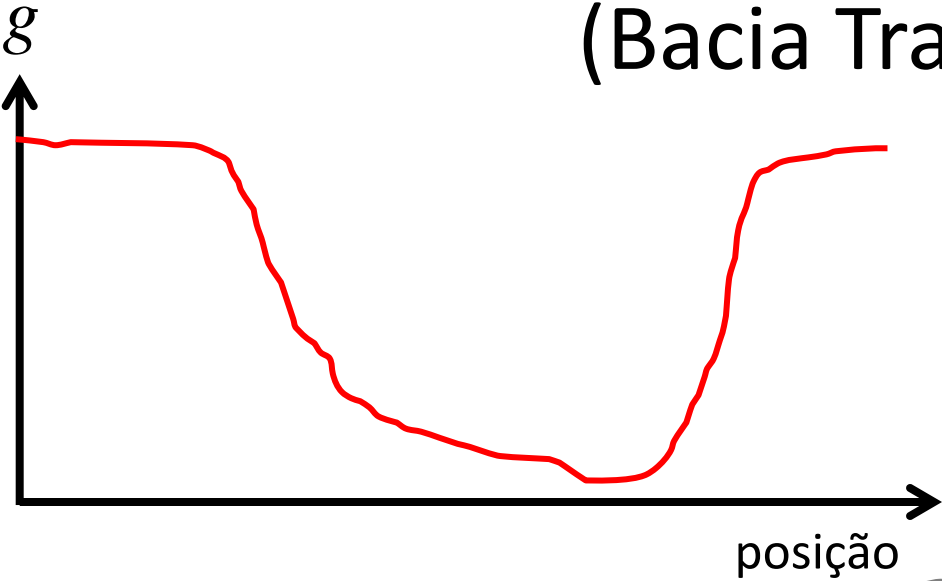


A bacia sedimentar pode ser aproximada por um polígono trapezoidal



Gravimetria

(Bacia Trapezoidal)



Cujo formato é definido
pela profundidade dos
vértices inferiores

Gravimetria

(Bacia Trapezoidal)

Relação funcional

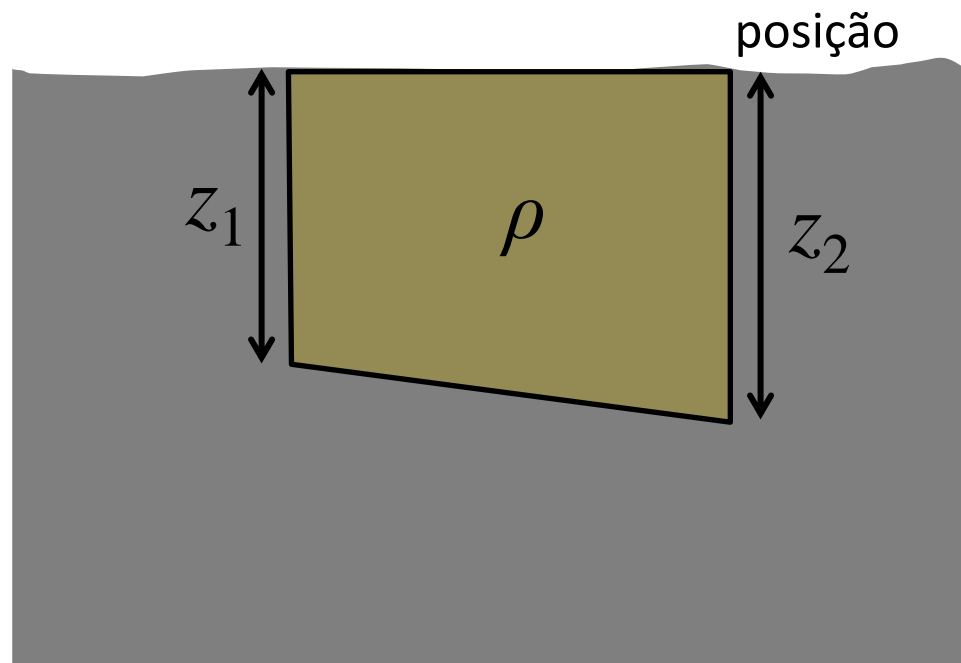
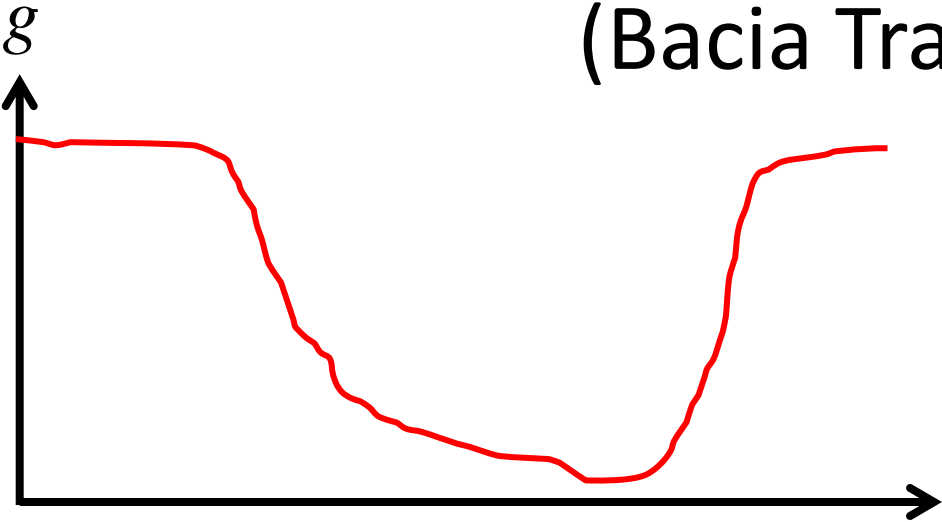
Nessas condições, a relação entre a anomalia de gravidade em uma determinada posição e os parâmetros ρ , z_1 e z_2 é dada por uma função:

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

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:

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

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

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

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

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

Magnetometria

(Dipolo)

Problema Geofísico

Determinação da localização de um dipolo
em subsuperfície

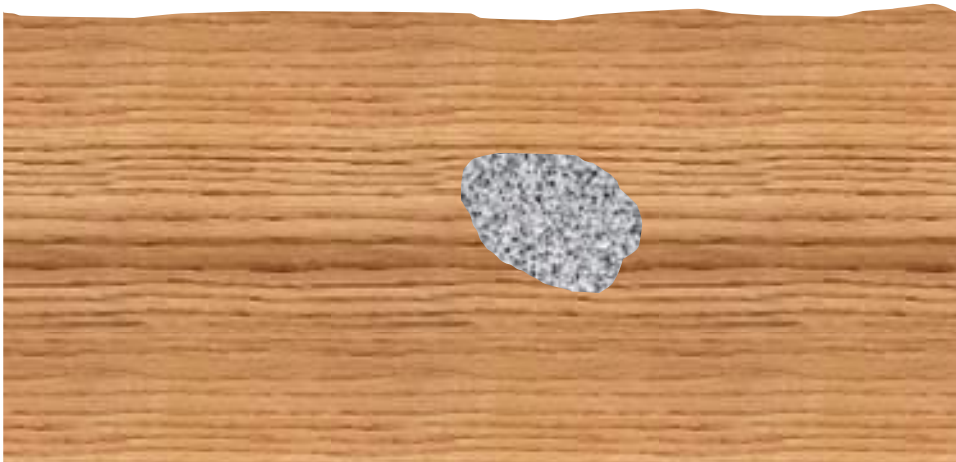
Magnetometria

(Dipolo)

- Um corpo magnetizado em subsuperfície produz um campo magnético
- O campo magnético produzido é uma grandeza vetorial, que é somado ao campo Geomagnético e produz um campo resultante
- As **observações** são medições da intensidade do campo magnético resultante na superfície (Anomalia de Campo Total)

Magnetometria

(Dipolo)



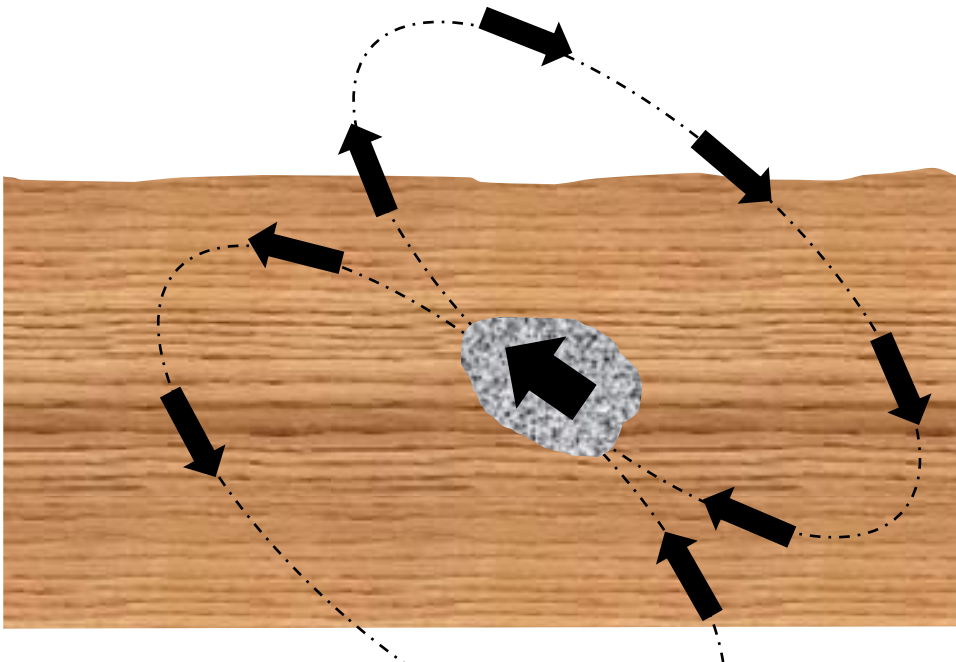
Magnetometria (Dipolo)

O corpo adquire
magnetização



Magnetometria (Dipolo)

E produz um campo
magnético

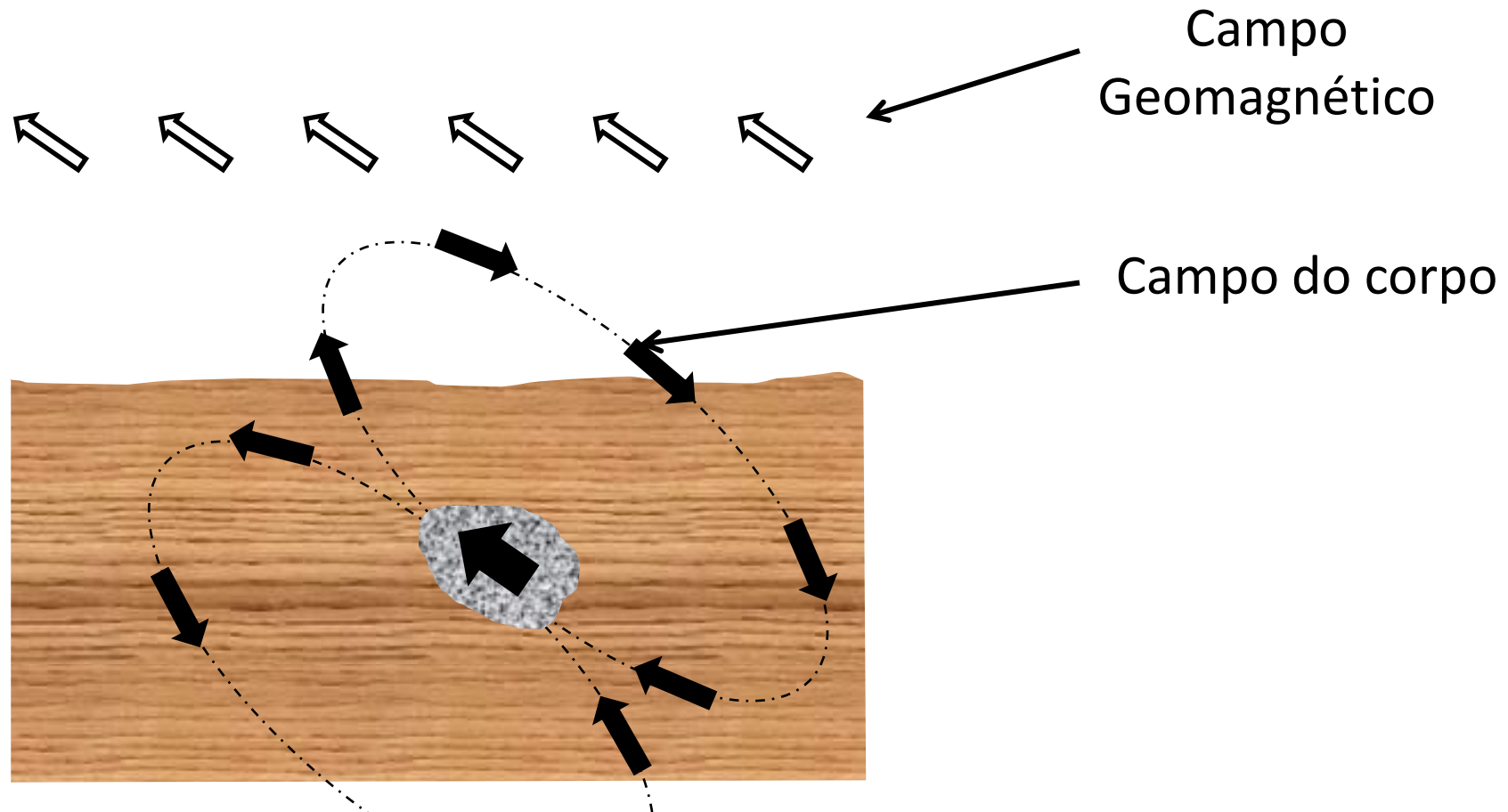


Magnetometria

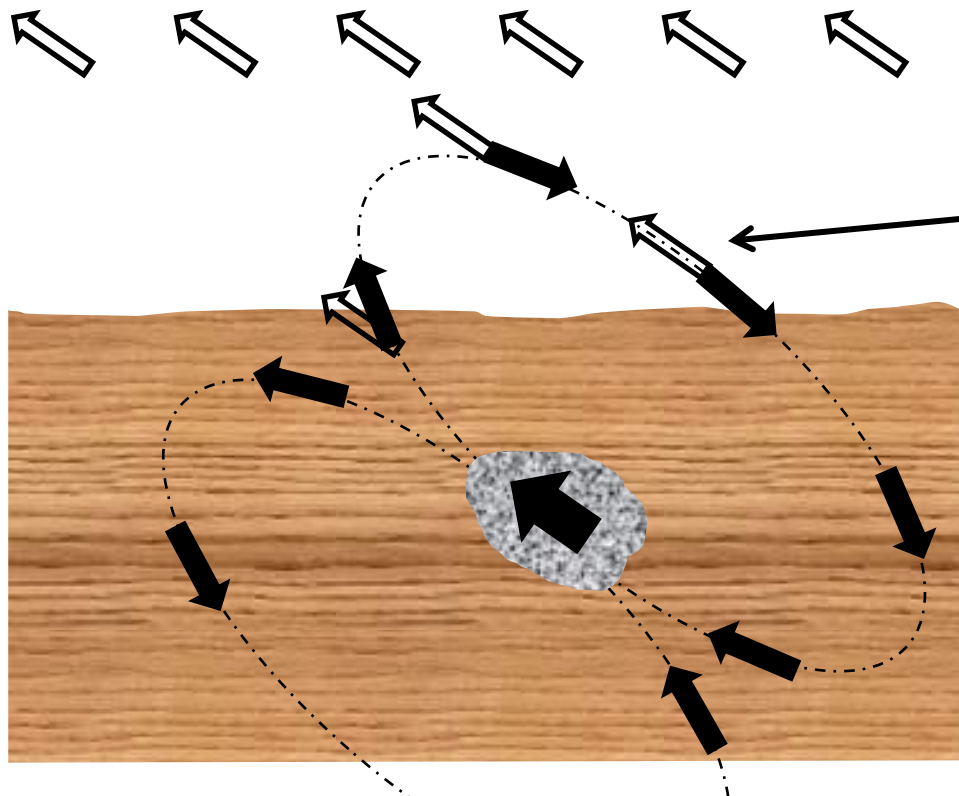
(Dipolo)

- Um corpo magnetizado em subsuperfície produz um campo magnético
- O campo magnético produzido é uma grandeza vetorial, que é somado ao campo Geomagnético e gera um campo resultante
- As **observações** são medições da intensidade do campo magnético resultante na superfície (Anomalia de Campo Total)

Magnetometria (Dipolo)



Magnetometria (Dipolo)



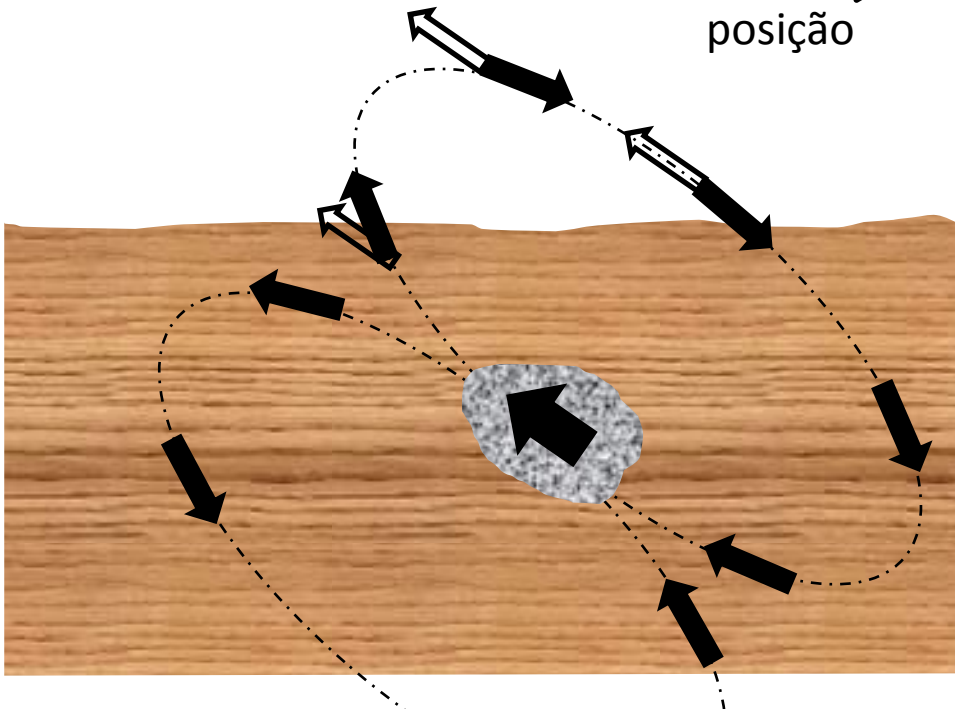
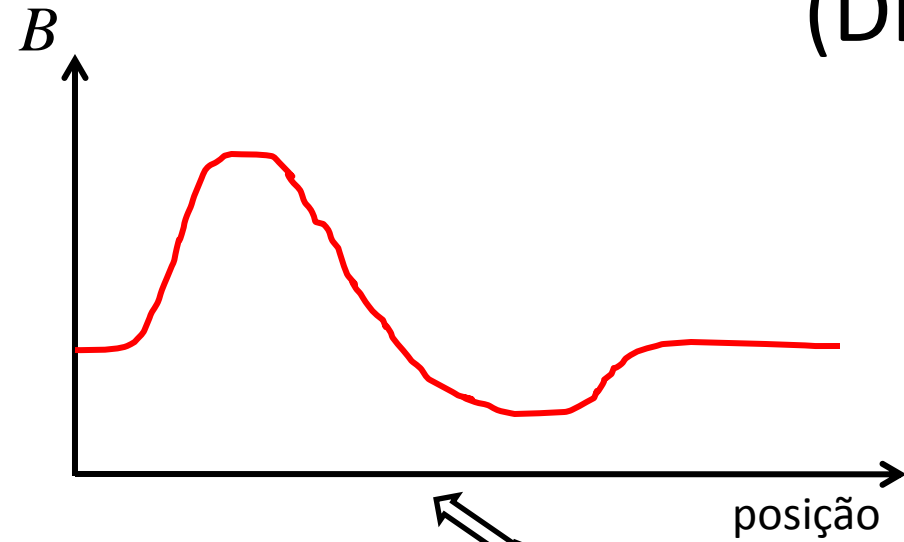
O campo resultante é
uma soma vetorial

Magnetometria

(Dipolo)

- Um corpo magnetizado em subsuperfície produz um campo magnético
- O campo magnético produzido é uma grandeza vetorial, que é somado ao campo Geomagnético e gera um campo resultante
- As **observações** são medições da intensidade do campo magnético resultante na superfície (Anomalia de Campo Total)

Magnetometria (Dipolo)



Magnetometria

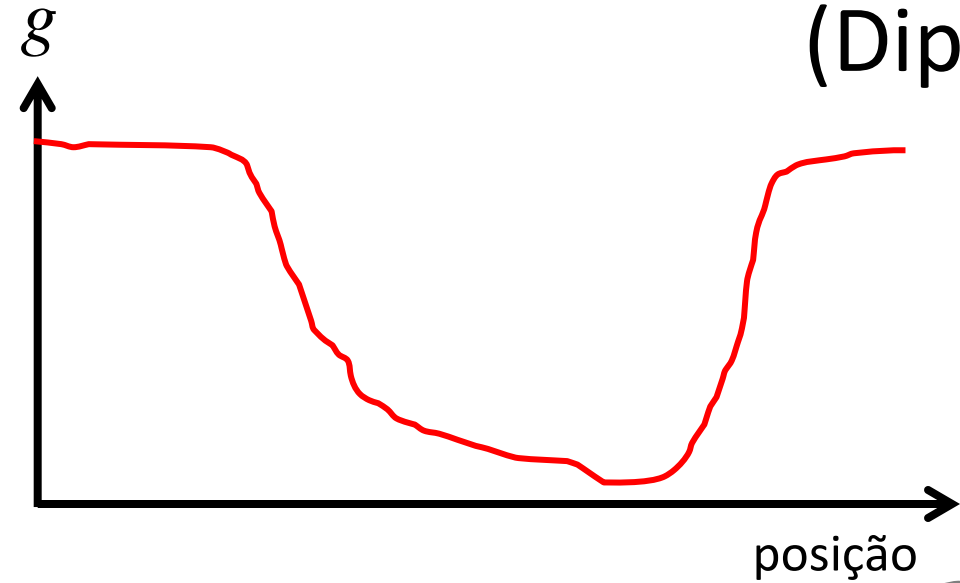
(Dipolo)

Parametrização

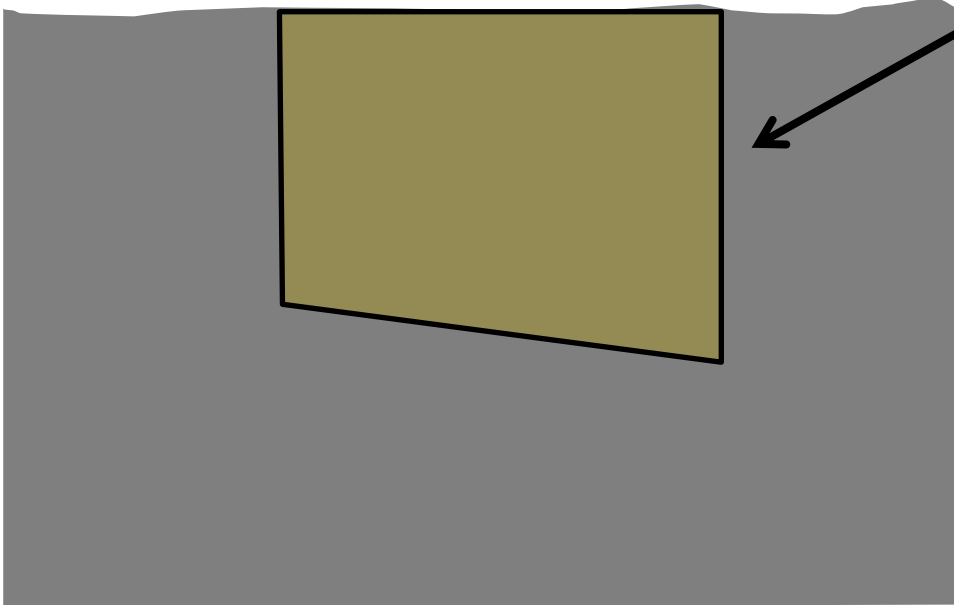
Considerando que a rocha encaixante é não-magnética, que o campo geomagnético é constante, que a magnetização é induzida e que o corpo pode ser aproximado por um dipolo, a anomalia de campo total pode ser descrita em termos dos parâmetros:

- Suscetibilidade magnética χ do corpo
- Componentes B_x , B_y e B_z do campo geomagnético
- Coordenadas x , y e z do dipolo

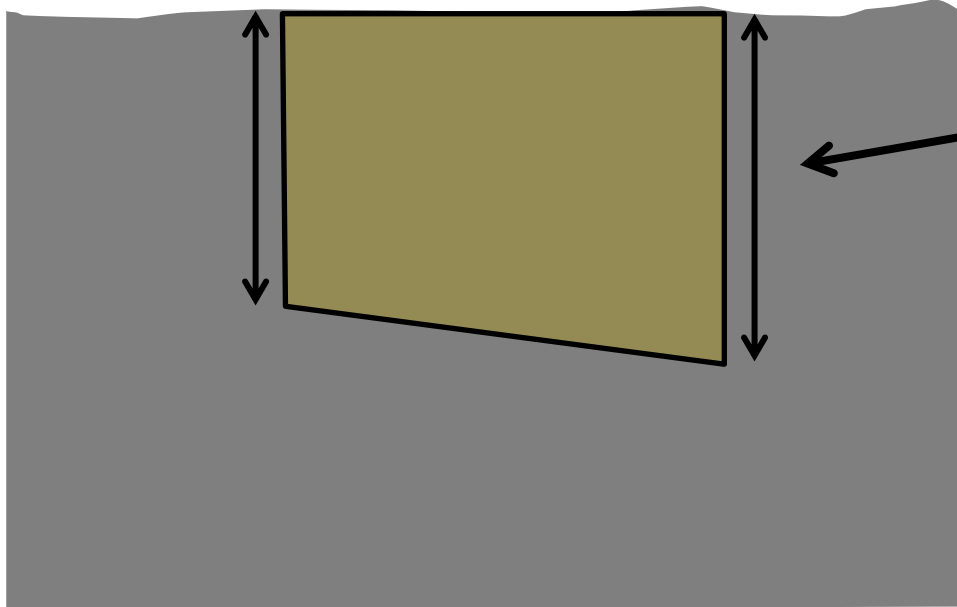
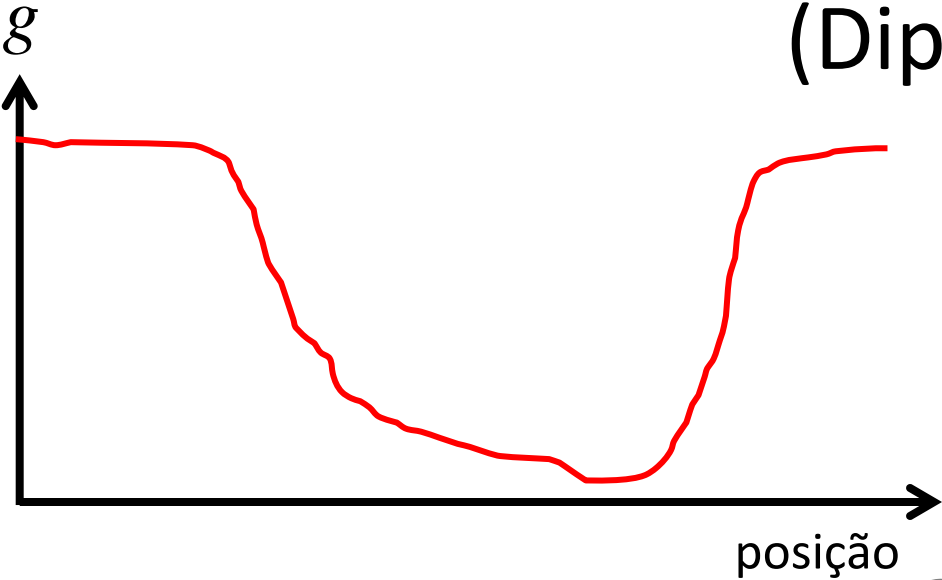
Magnetometria (Dipolo)



A bacia sedimentar pode
ser aproximada por um
polígono trapezoidal



Magnetometria (Dipolo)



Cujo formato é definido
pela profundidade dos
vértices inferiores

Magnetometria

(Dipolo)

Relação funcional

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

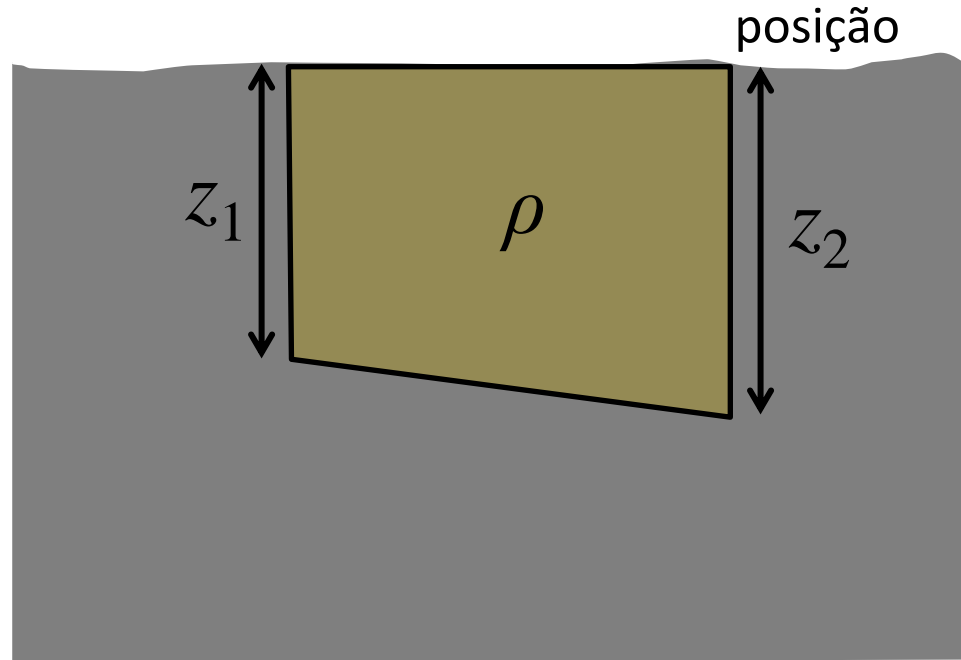
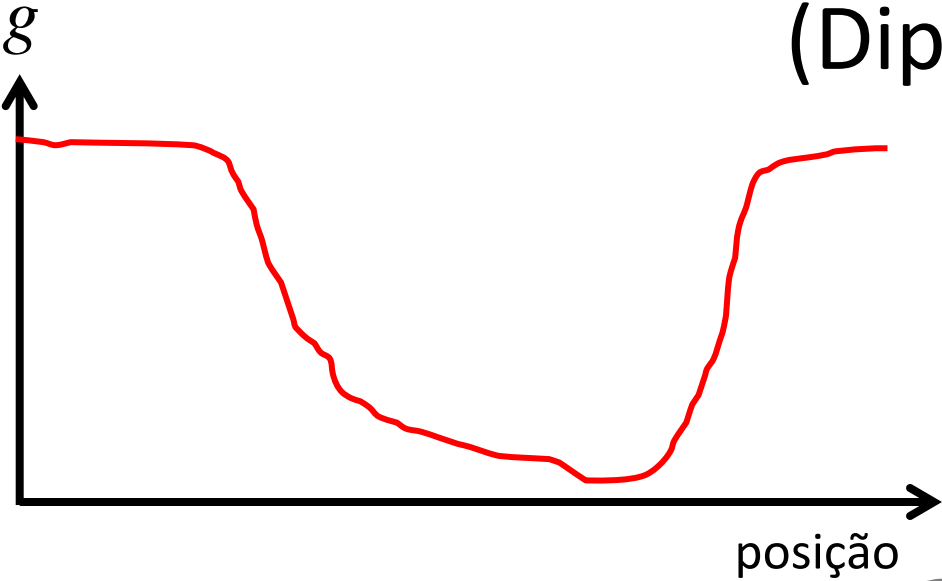
$$\bar{B} = \mu_0(1 + \chi)\bar{H}$$

$$\bar{M} = \chi\bar{H}$$

$$\|\bar{M}\| = \frac{\chi}{\mu_0(1 + \chi)}\|\bar{B}\|$$

$$\begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} = \|\bar{M}\| \begin{bmatrix} 3 \\ \\ \end{bmatrix}$$

Magnetometria (Dipolo)



Magnetometria

(Dipolo)

Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

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

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

$$\vdots$$

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

Magnetometria

(Dipolo)

Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

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

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

$$\vdots$$

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

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

Magnetometria

(Dipolo)

Problema Direto

Sendo assim, para diferentes posições:

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

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

$$\vdots$$

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

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

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

Magnetometria

(Dipolo)

Norma

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

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

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

Magnetometria (Dipolo)

Norma

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

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

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

Magnetometria

(Dipolo)

Norma

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

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

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

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

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

Magnetometria

(Dipolo)

Norma

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

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

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

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

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

Magnetometria

(Dipolo)

Norma

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

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

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

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

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

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