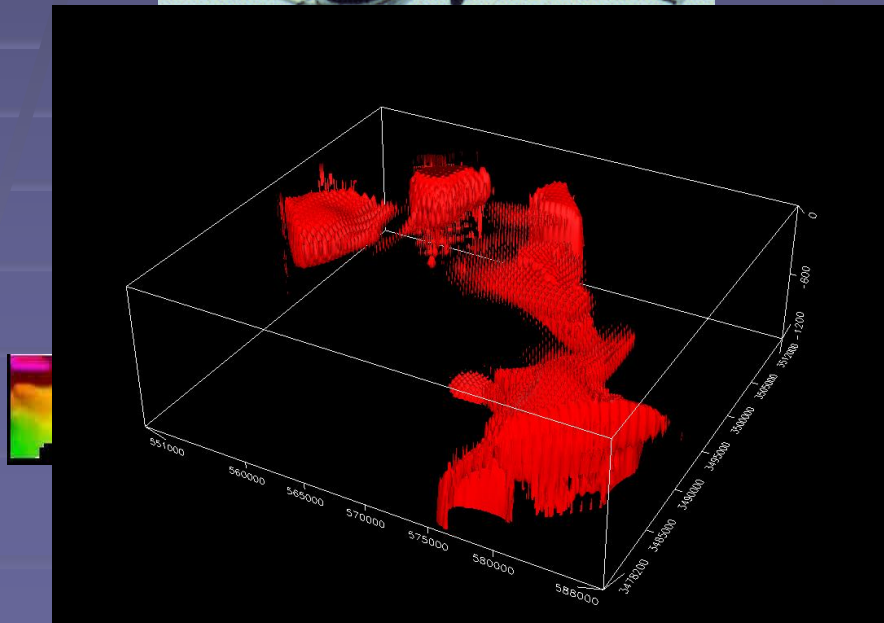


Interpretação de dados de eletromagnetometria aerotransportada (AEM) do sistema GEOTEM (domínio do tempo)



Objetivos

- Aplicar técnicas de imageamento
- Sistemática de interpretação - AEM
 - - Histórico
 - - CDI
 - - Inversão
 - - Aplicação aos dados reais

Sistemas AEM

1946: EM portátil - lago congelado

1950/60: Geometria e plataforma
avião, ch
INPUT



VTEM - 2002

Spectrem - 2000



Sistemas AEM



Sistemas Aéreos - AEM

Sistemas EM - Helicóptero



Sistema EM - avião

Sistemas no domínio da freq.

- Dighem / Resolve
- HiSense
- Hummingbird

Sistemas no domínio da freq.

- Indian / Finnish Geological Survey
- Hawk (McPhar)

Sistemas no domínio do tempo

Sistemas on time

- ExplorHEM

Sistema - Pulso

- Hoistem
- AeroTEM
- THEM
- NewTEM
- VTEM
- HeliGeoTem

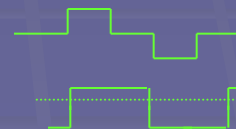
Sistemas no domínio do tempo

Sistemas on time

- Tempest
- Spectrem₂₀₀₀
- Genesis

Sistema - Pulso

- GeoTem
- MegaTEM
- Questem 450



Step Transmitter



Pulso transmitido

Sistema AEM GEOTEM

- **Bobina transmissora:**

- 6 voltas
- Área: 231 m²
- Pico de corrente: 500 A
- Onda senoidal
- Domínio do tempo
- 120 m do chão

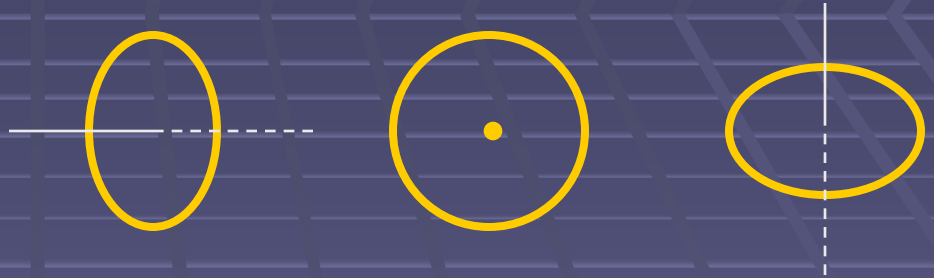


Sistema AEM - GEOTEM

- Receptor:

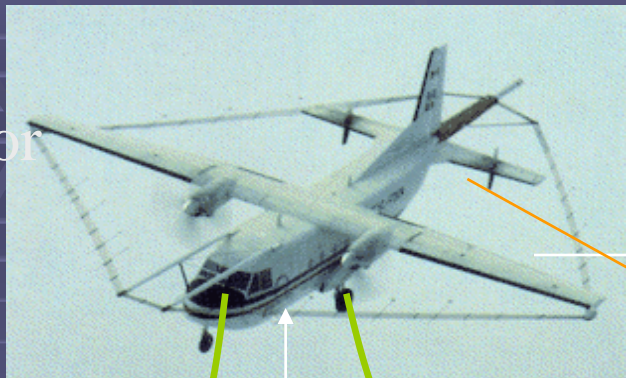
- 3 eixos perpendiculares

- Charuto a 70 do chão



Princípio do método AEM

Transmissor



Altura de vôo

50m

Campo Primário

120m

Subsuperfície

Condutor

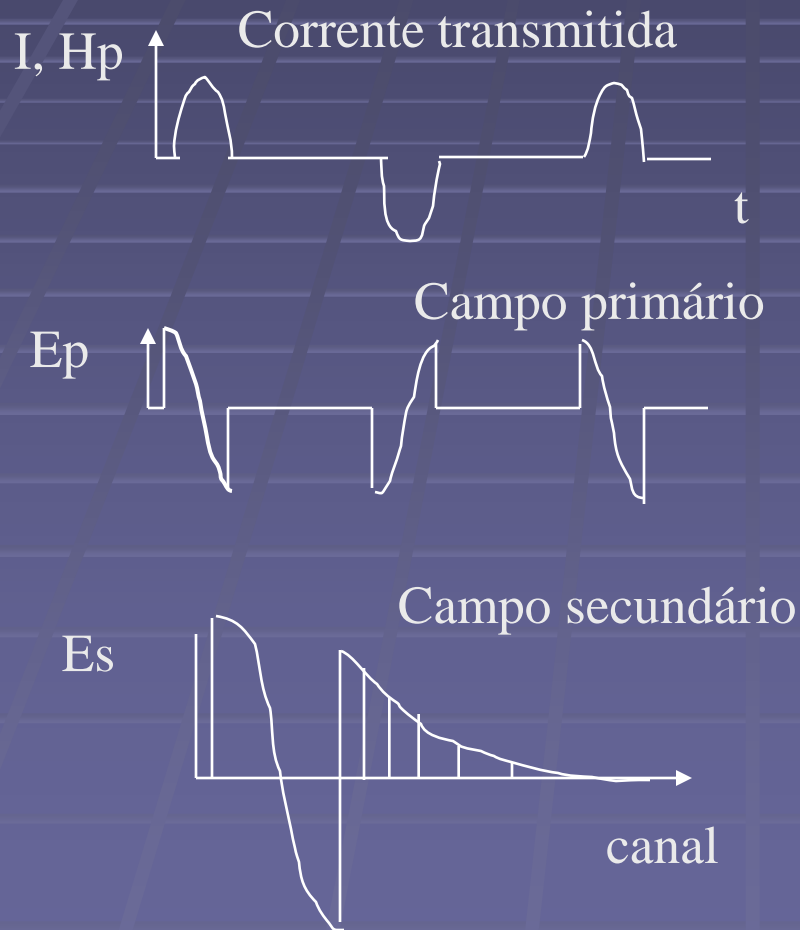
Campo Secundário

Receptor



ATDEM

- INPUT / GEOTEM
- Funcionamento:



- Corrente (off time)



Campo magnético

- corrente



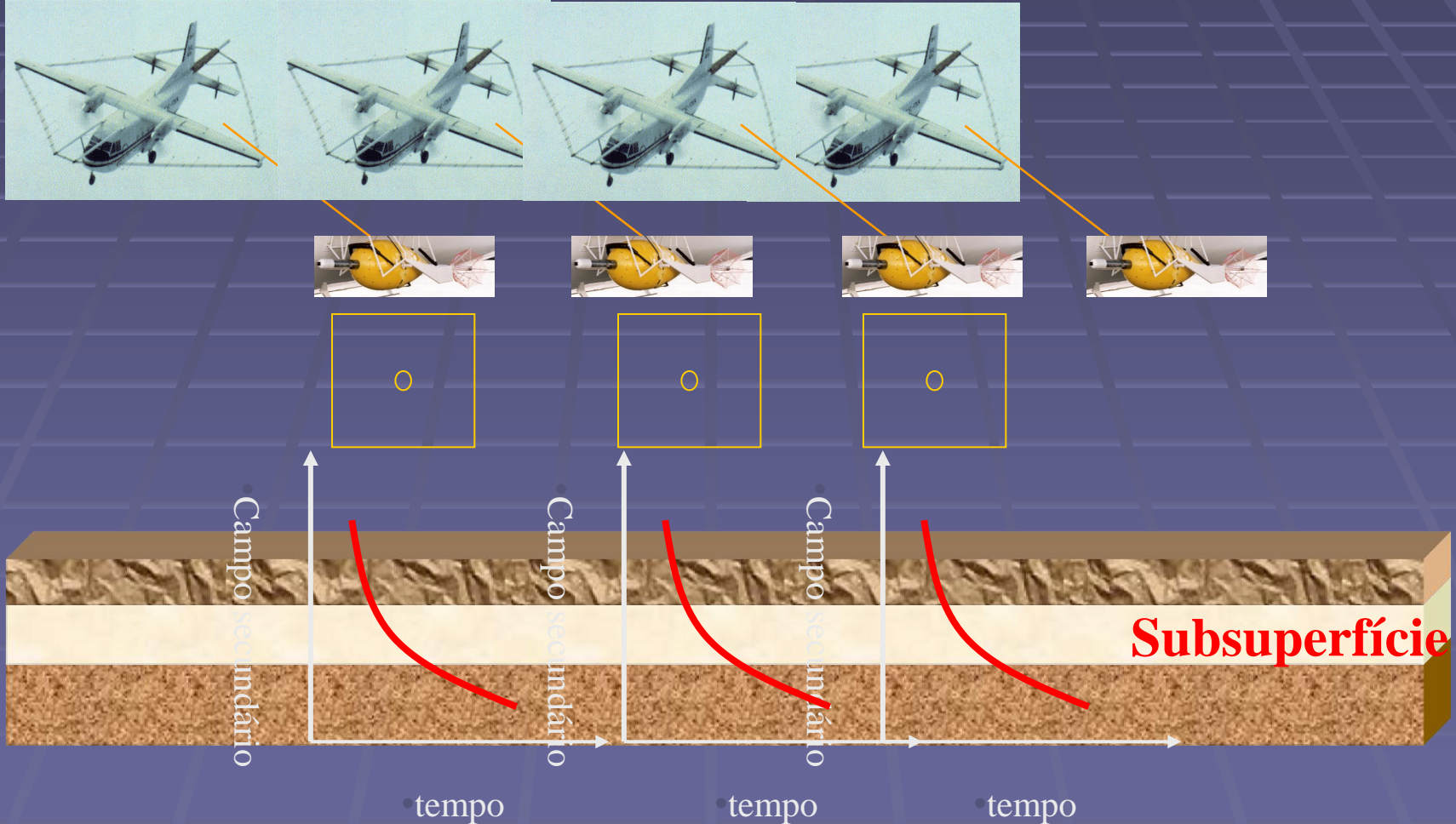
- **Corrente invariante**
(tempo tardio)

Algoritmo NLSTCI (Inversão)

- Projetado

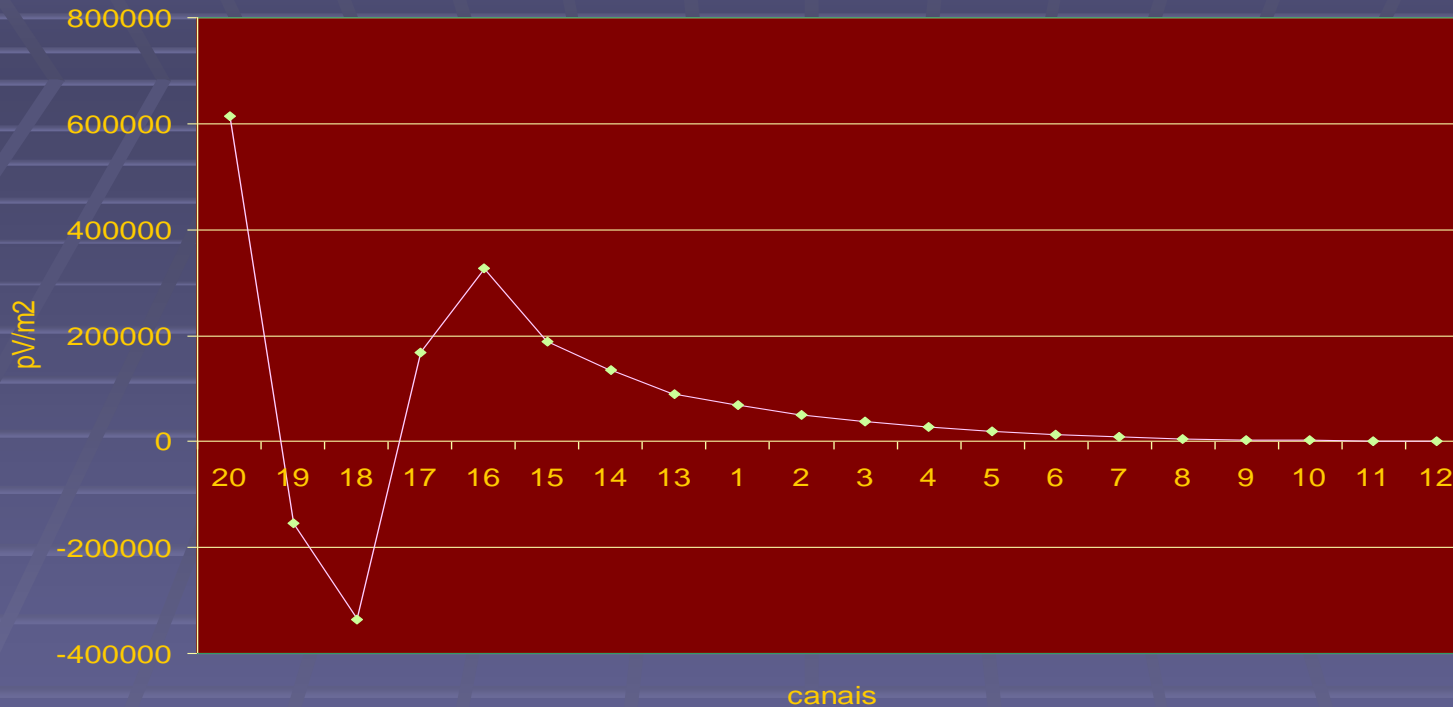
- Camadas horizontais
controlizadas

Bobinas



Transmissão do sinal

Curva de Decaimento



- Aplica corrente: on time 4037 μ s
- Campo Secundário medido: 12530 μ s
- Ciclo: 16667 μ s

Corrente invertida

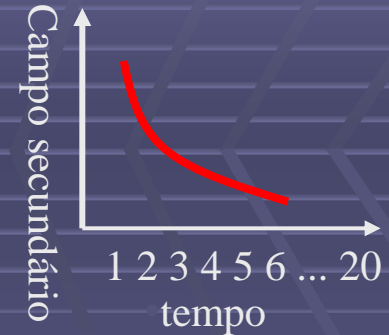
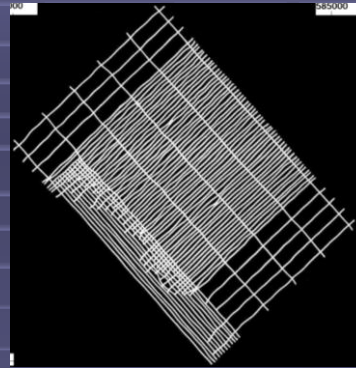
Total: 256 amostras em 32ms

1s – 7680 amostras/ bobina

Linha de 20 km: 2.363.077 (3 bobinas)

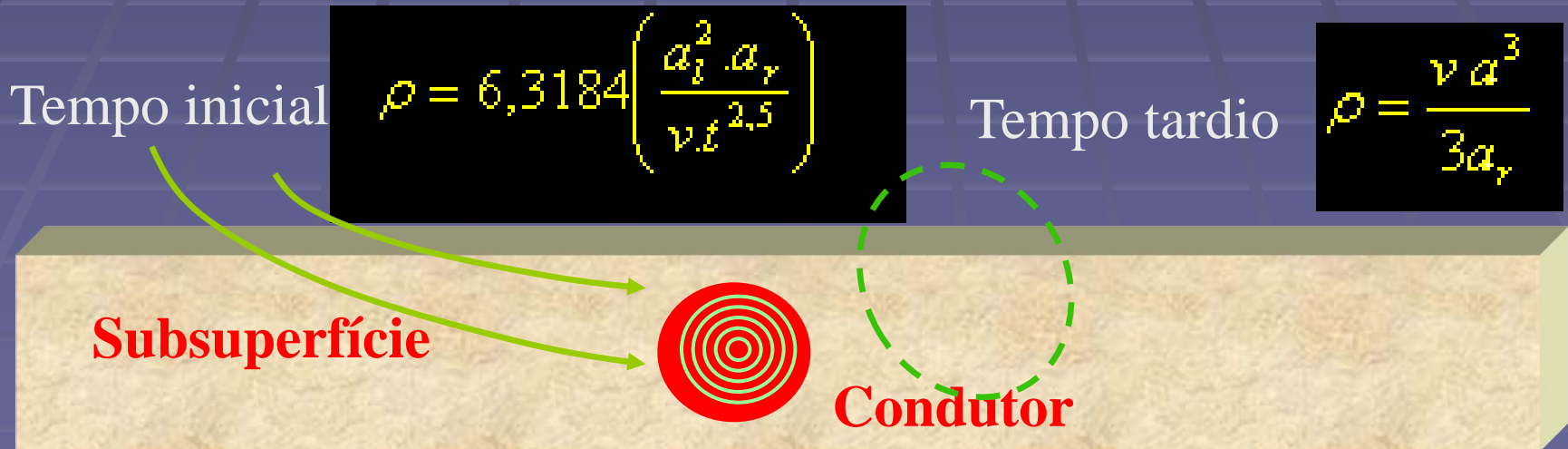
Pré-processamento

- Estaqueamento
- Janelamento
- 20 km – 1500 sondagens – 30.000 amostras
- 1 sondagem – 20 canais
- Cada canal – uma profundidade
- Total de sondagens: 160.000

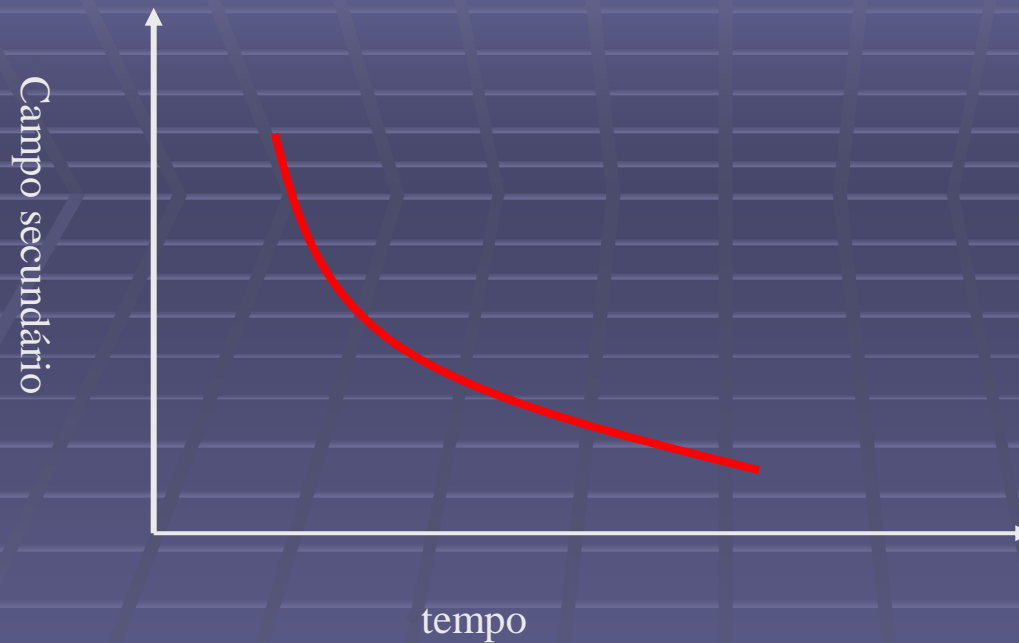


CDI- Metodologia

- Software adaptado – RAMPRES
- Parâmetros de entrada – tensão normalizada (pV/A) e tempo
- Cálculo da resistividade:
 - t = tempo
 - v = impedância (V/A)
 - a = raio do transmissor
 - a_r = área efetiva do receptor
 - al = comprimento do transmissor



CDI- Metodologia



R = raio da bobina T

a_l = área do T

μ = permeabilidade mag

a_r = área efetiva do receptor.

$X = \log(\text{resistividade})$

K = no. de iterações ($R = k/2$)

Delta = corte de rampa (s)

$$f(t, \rho) = \frac{\left(\frac{\mu \cdot r \cdot a_e \cdot 0.886226}{\delta \cdot a_t} \right) \cdot (1 - 2R) \cdot \left[\left(\frac{\mu r^2}{t \cdot x} \right)^{k+1,5} - \left(\frac{\mu \cdot r^2}{(t + \delta \cdot x)} \right)^{k+1,5} \right]}{4^k k! (2k + 5) \cdot (2k + 3)}$$

Algoritmo - saídas

Resistividade

$$\rho = \left[\frac{\nu \cdot a^3}{3a_r} \right]$$

Profundidade

$$g = 750 \sqrt{\frac{t}{\sigma}} \left[1 - 5,67 e^{-24,0\lambda} \right]$$

Eaton, 1998

$$\lambda = \sqrt{\frac{t}{\sigma h^2}}$$

h = altura do T

σ = condutividade

t = tempo

O problema inverso

- Base de dados
- Modelador direto
- Tratamento matemático para minimização do erro

Dificuldades

- Problema mal condicionado
- Problema não linear
- Enorme quantidade de dados

Condições

- EXISTÊNCIA Encontrar N_1 e N_2 (N é natural),
tal que
- UNICIDADE Encontrar N_1 e N_2 (N é natural),
tal que
- ESTABILIDADE $0,000001 + x^{N_1} = y^{N_2}$ tal que: $8,3$
 $x = y / (1,000001)^{N_1} = 8 / 10,000001$

O problema inverso

1ª. Fase: base informativa – geológica e geofísica
(1940)

2ª. Fase: base material
(1940/60)

3ª. Fase: base metodológica – informação teórica
(1969/70) – Problema mal posto – Bakus e Gilbert

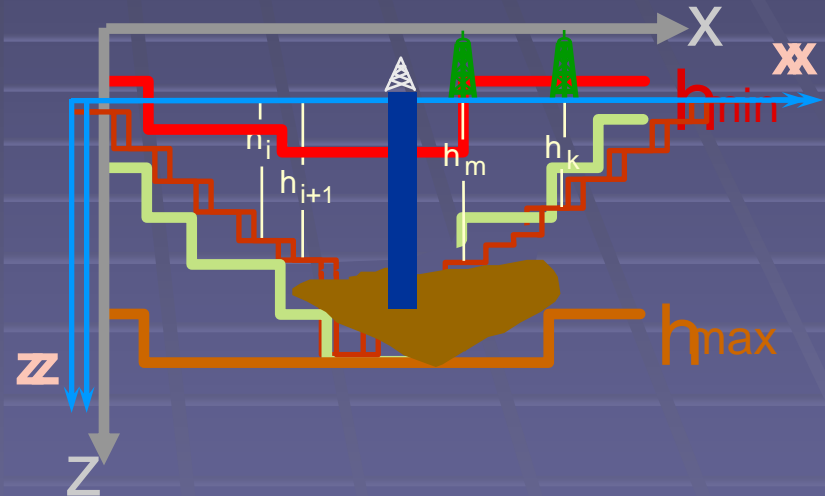
4ª. Fase: técnicas – algoritmos

Funcionais estabilizadores: (Tikhonov)

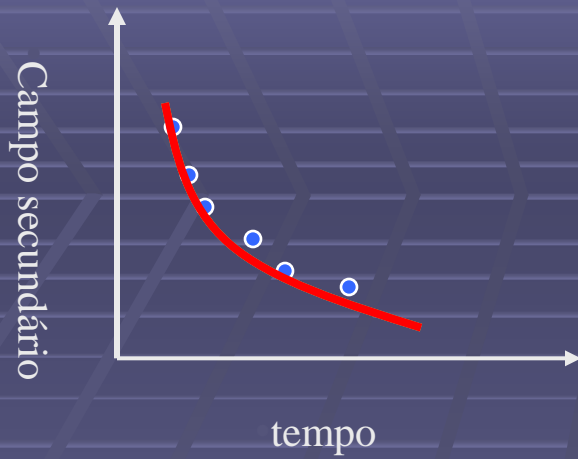
Desigualdade

Funcional não estabilizador

- Igualdade absoluta
- Igualdade relativa



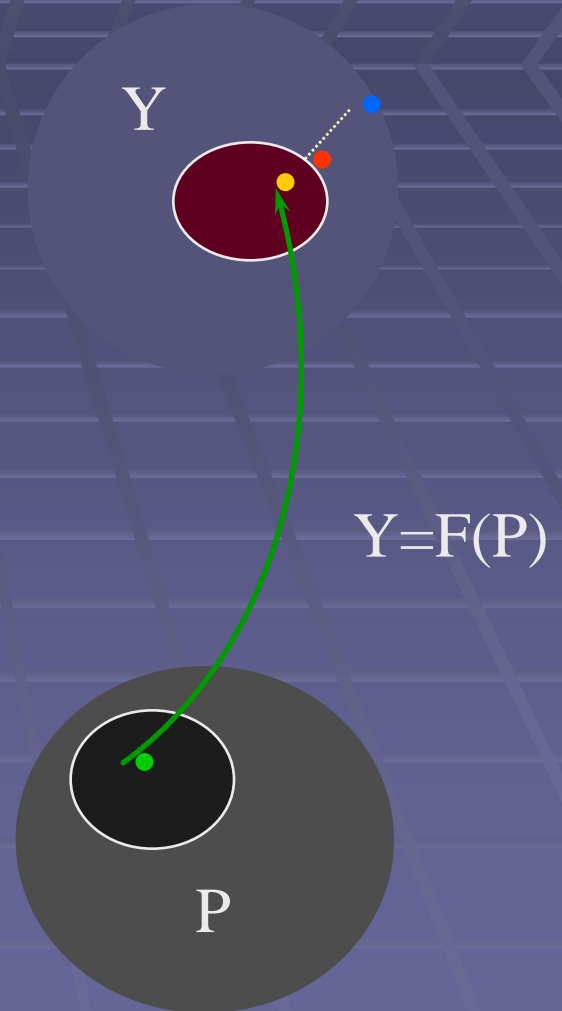
Modelamento sintético



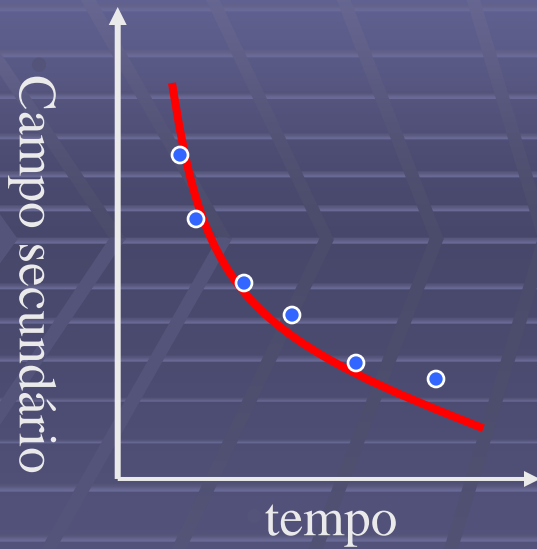
$$V(t) = \frac{2}{\pi} C \int_0^{\infty} \text{Re} \left[H_z(\sqrt{b}) / DC \right] \cos(bt) db$$



Existência



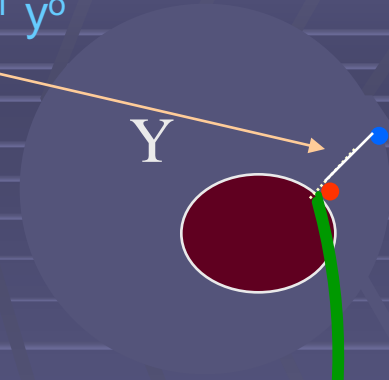
Modelamento sintético - inversão



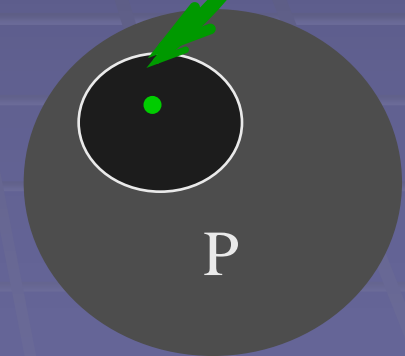
$$\vec{E}(x_0, y_0, z_0) = \vec{E}_p(x_0, y_0, z_0) + \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \vec{G}(x_0 - x, y_0 - y, z_0 - z) \vec{E}(x, y, z) dx dy \sigma_a(z) dz$$



$$A^T p \neq A^T y^o$$



Operador inverso: $p = (A^T A)^{-1} A^T y^o$



Inversão

- Baseado na eq. Integral (Ward e Holmann)

$$\vec{E}(x_0, y_0, z_0) = \vec{E}_p(x_0, y_0, z_0) + \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \vec{G}(x_0 - x, y_0 - y, z_0 - z) \vec{E}(x, y, z) dx dy \sigma_a(z) dz$$

- Estimativa dos parâmetros

- Modelador direto: $\vec{y} = A\vec{p}$

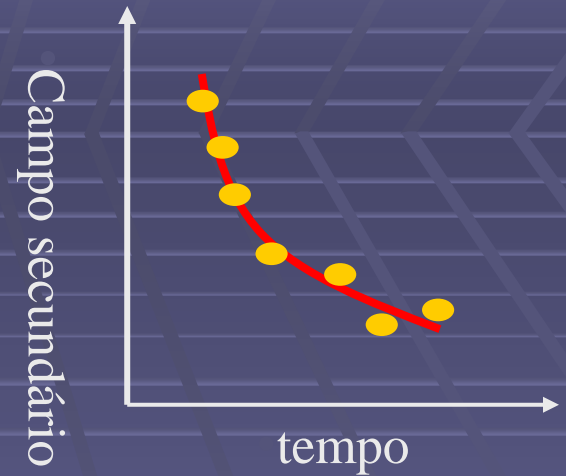
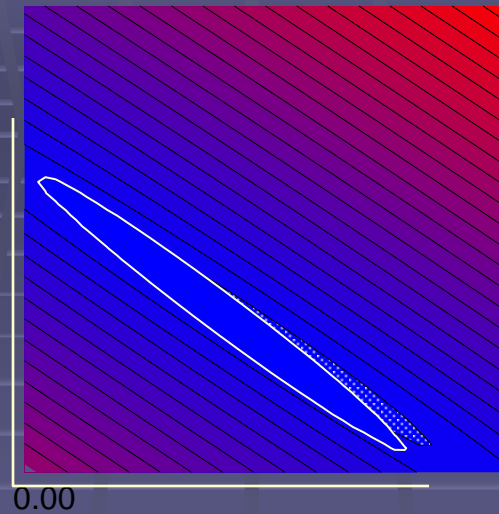
- Operador Inverso $\tilde{p} = (A^T A)^{-1} A^T y^o$

- Correção dos parâmetros $p^{(k+1)} = p^{(k)} + \Delta p^{(k)}$

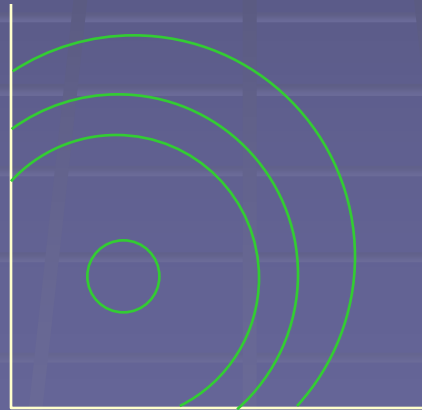
Incorpora – novos modelos – novos resultados

Unicidade e estabilidade

sujeito a
 $(\mathbf{y}^o - \mathbf{A}\mathbf{p})^T (\mathbf{y}^o - \mathbf{A}\mathbf{p}) = \delta$

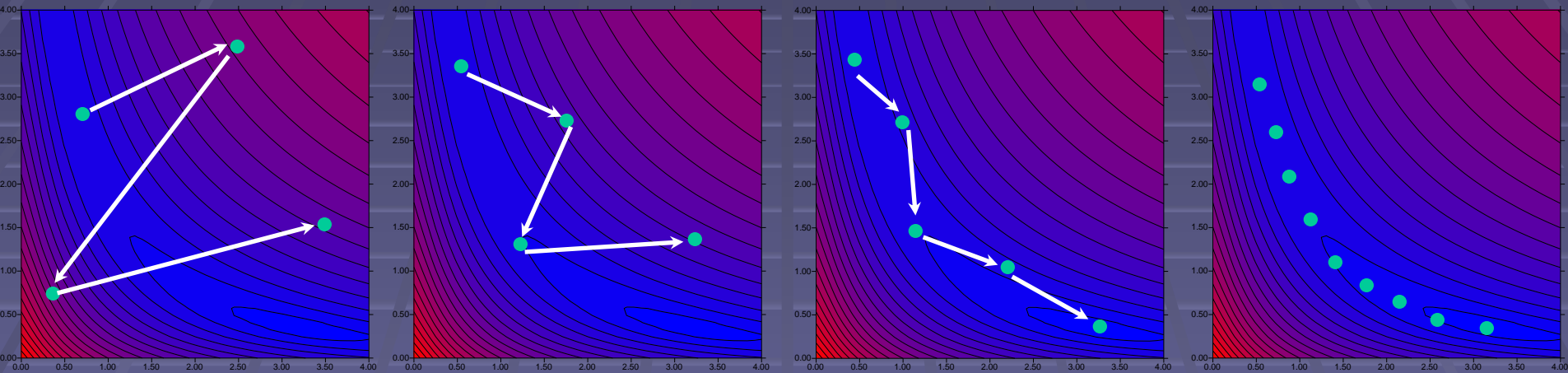


$\min \Phi(\mathbf{p})$



Método de Marquadt e Levenberg

Problema não linear



Parâmetro de Marquardt

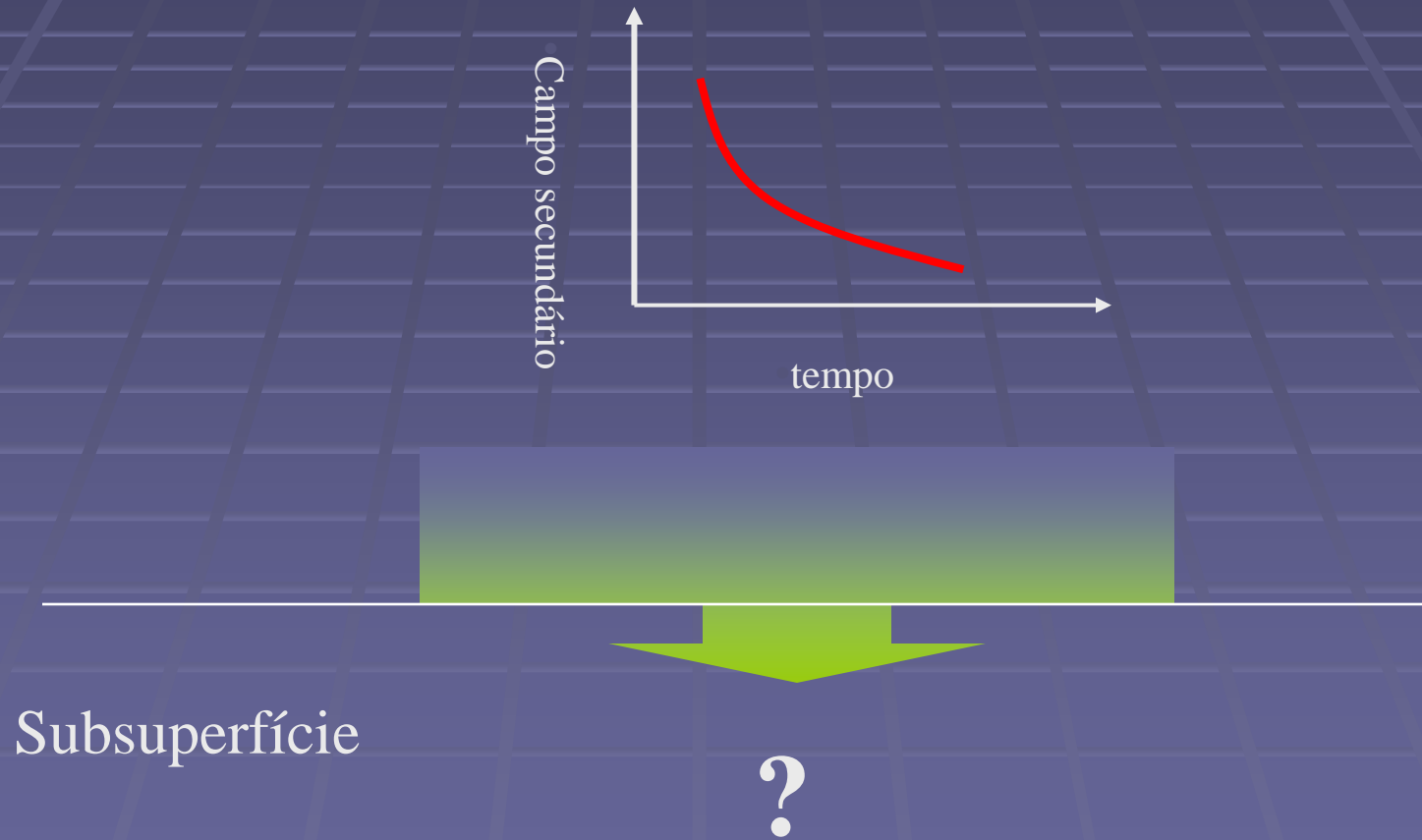


Aplicações

- Exploração de metais (1950/1970)
- 1959: corpo de sulfeto em Ontário
- Prospecção de Kimberlitos (1970)
 - Mapeamento geológico
 - Exploração geotermal
- Detecção de Paleocanais (1980)
- Mapeamento de salinidade
- Determinação da espessura do gelo
- Exploração de Urânio (GEOTEM - 420 e 600m)
- **Água subterrânea**

Processamento

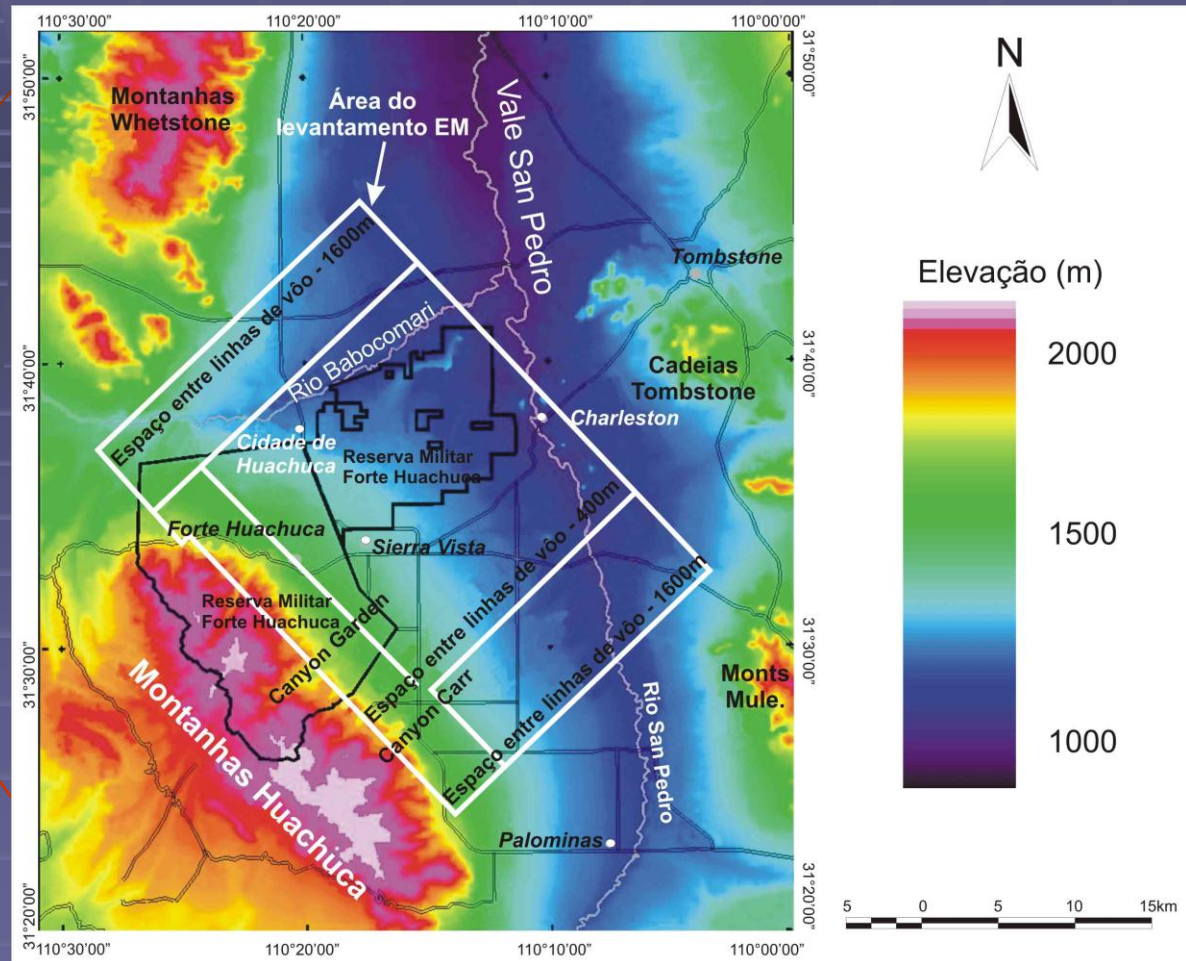
Inversão de dados AEM - 1D



Localização da área



- Dados - USGS
- Localização:
- Bacia San Pedro
- latitude: $31^{\circ} 25'N$
- $31^{\circ} 45'N$
- longitude: $110^{\circ} 05'W$
- $110^{\circ} 30'W$



Geologia da área

Bacia San Pedro

- Bacias e montanhas
- Bacias sedimentares: 17 Ma
- Extensão crustal:
- E-NE, W-SW
- Topograficamente:
 - N-NW
 - 3 subbacias
- Montanhas:
 - Huachuca, Wheastone

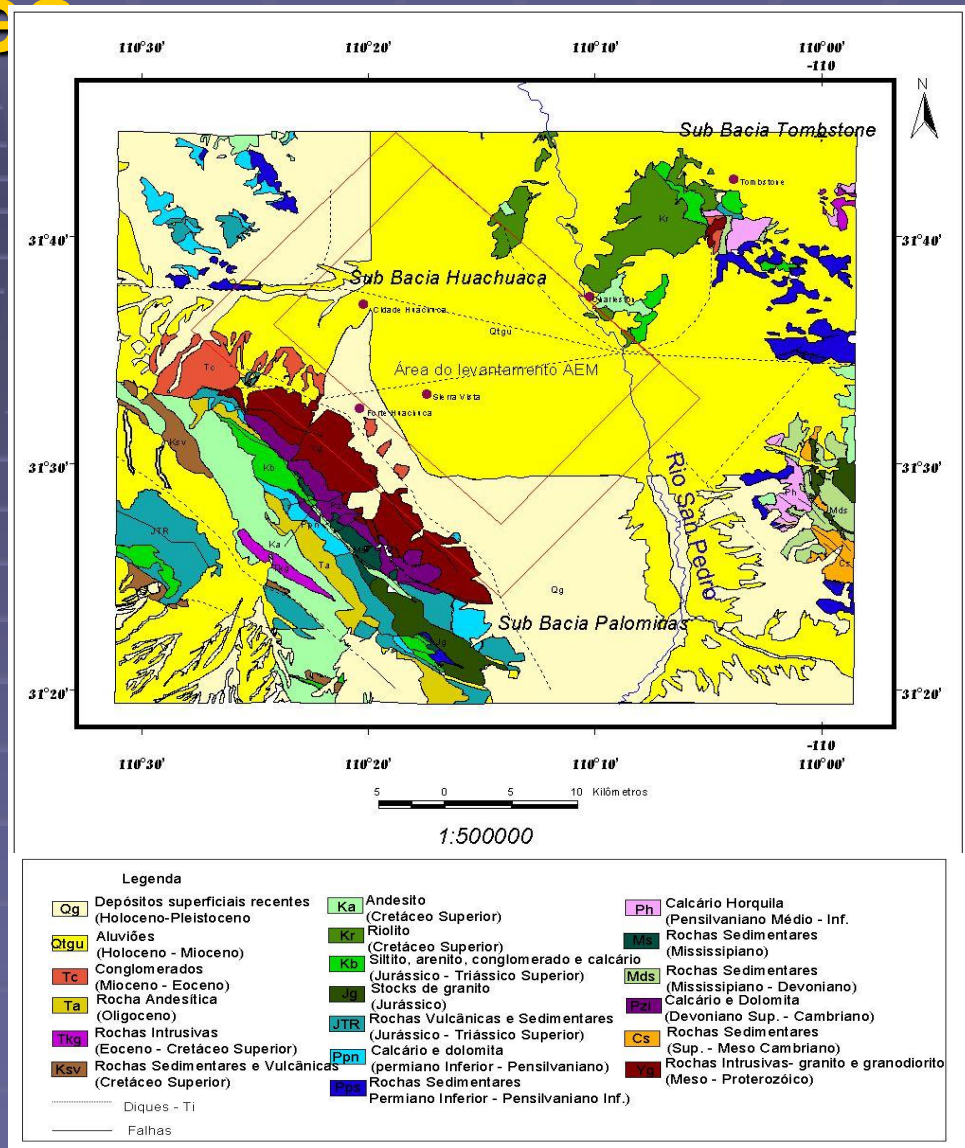
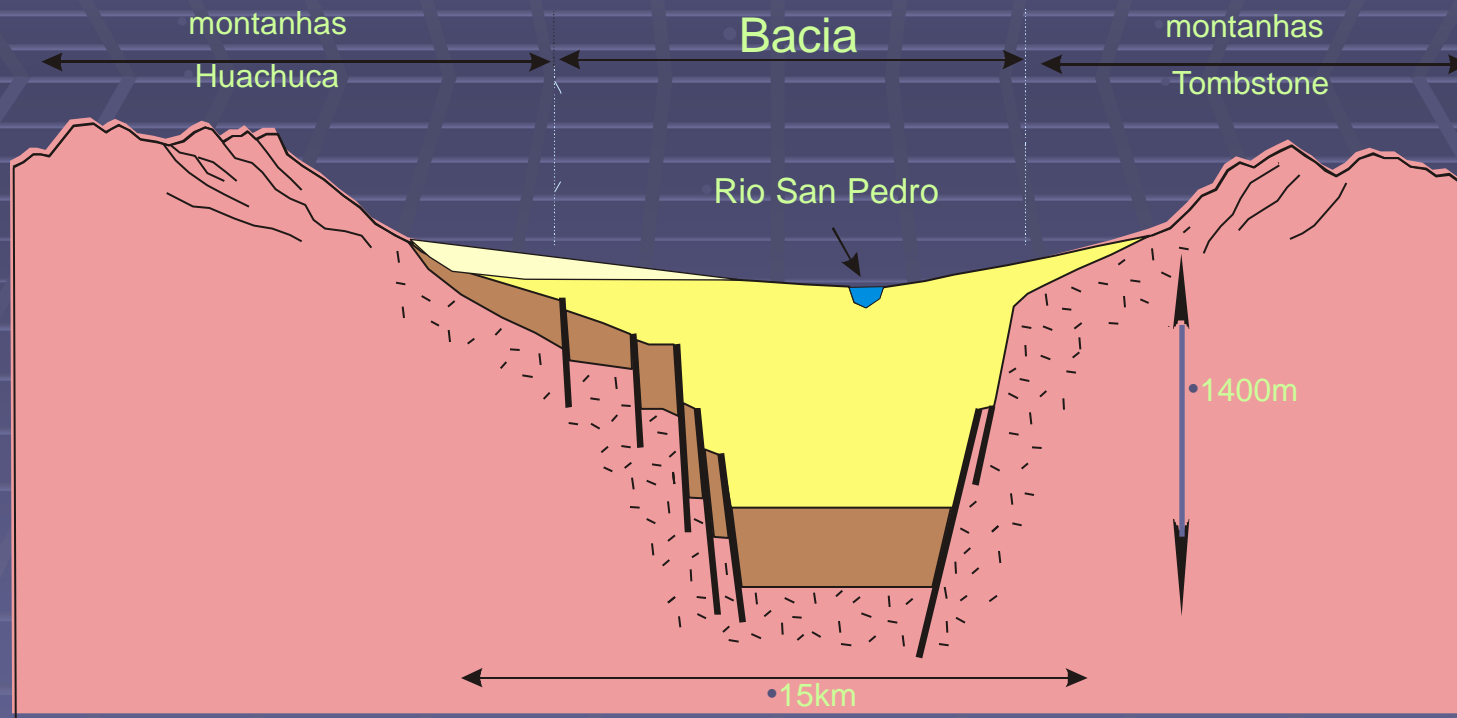


Diagrama esquemático

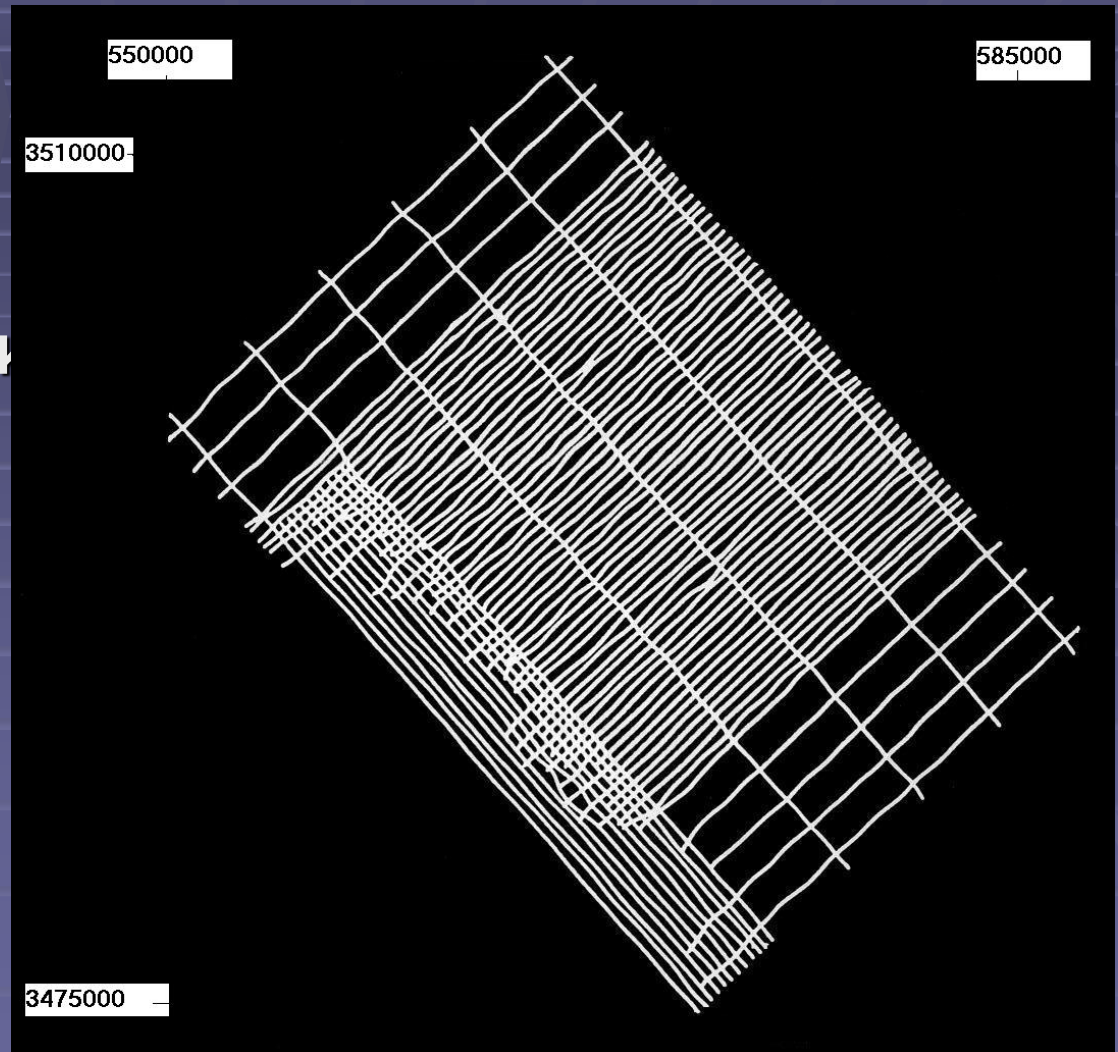


- Unidade Superior da Bacia
(Plioceno Superior - Pleistoceno)
- Unidade inferior da Bacia
(Mioceno inf. - sup.)

- Formação Pântano
(Oligoceno Superior - Mioceno Superior)
- Embasamento da Bacia
(Proterozóico Superior - Oligoceno inferior)

Levantamento AEM

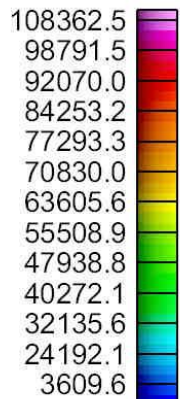
- In loop
- Espaçamento: 400 m
- Direção: N47° E
- Controle: 4 km
- 3 linhas NW e 4 SE: 1,7 km
- Faixa de 4,5 km NW/SE



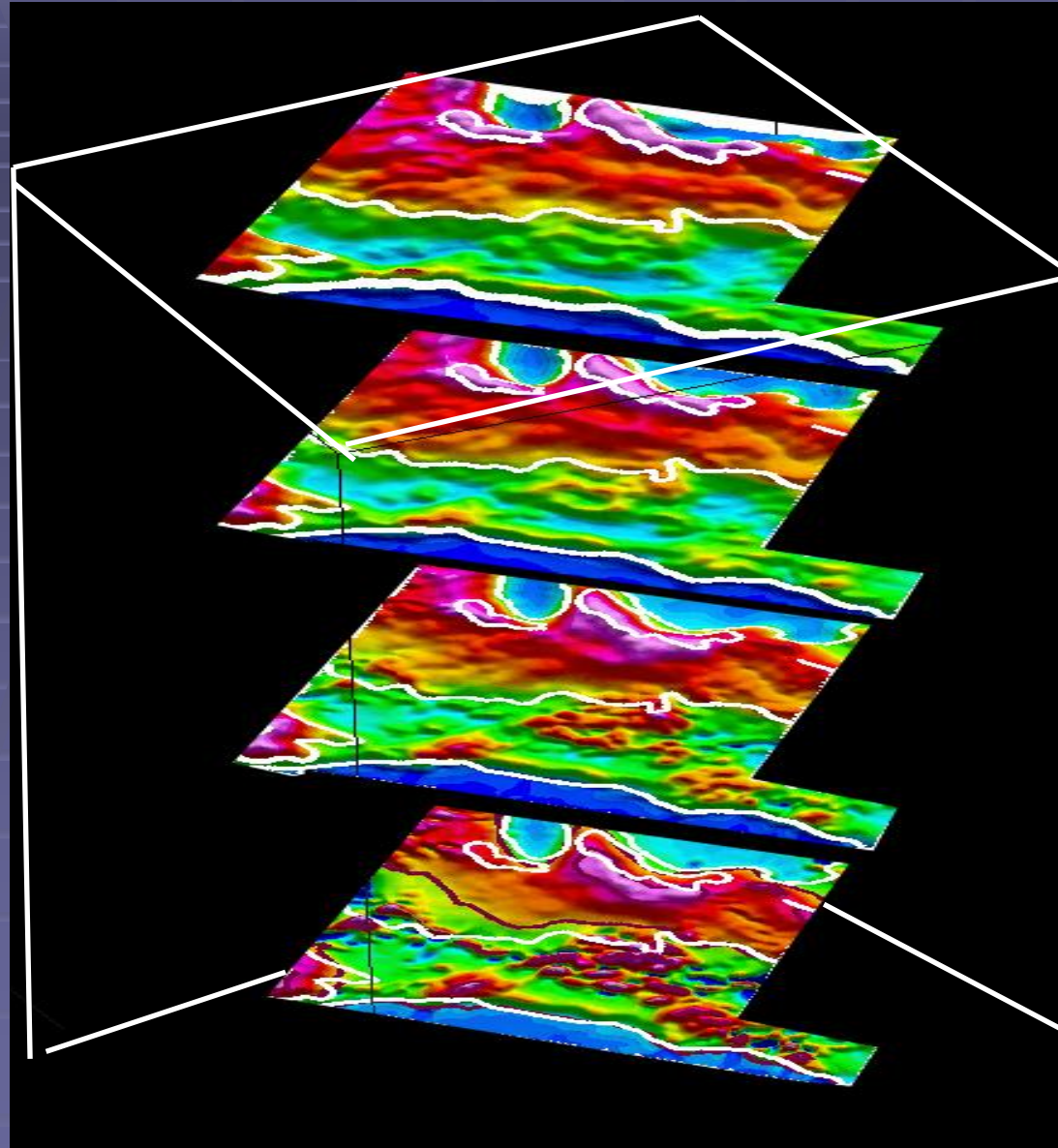
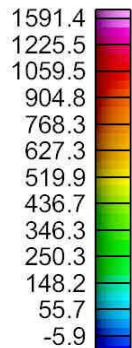
Processamento: Pré-análise dos dados

pV/m²

Canal 14



Canal 10



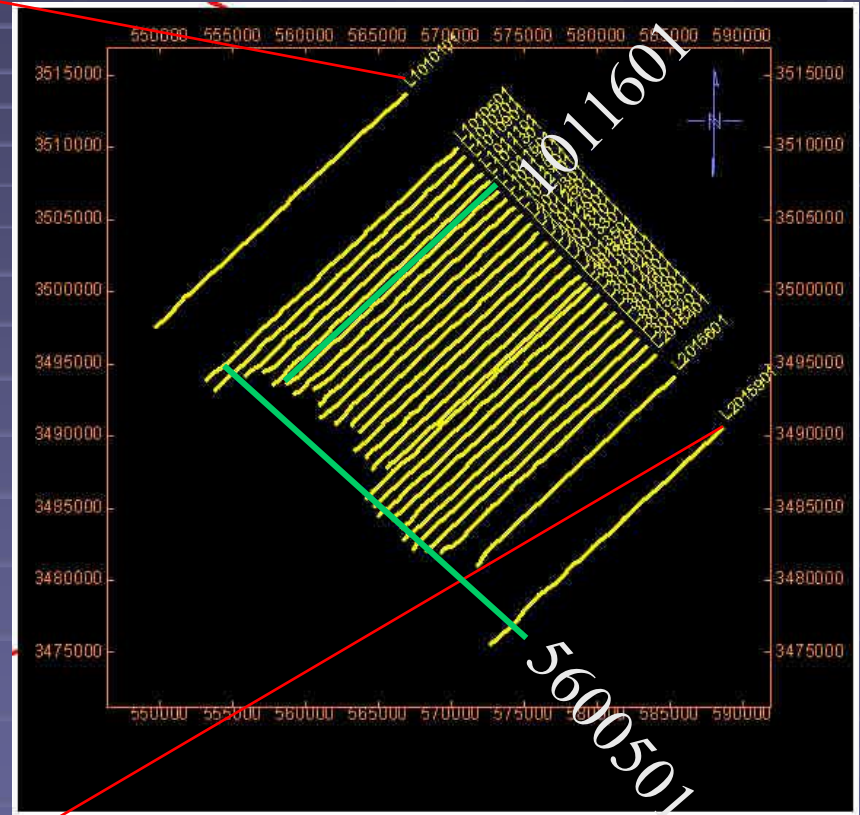
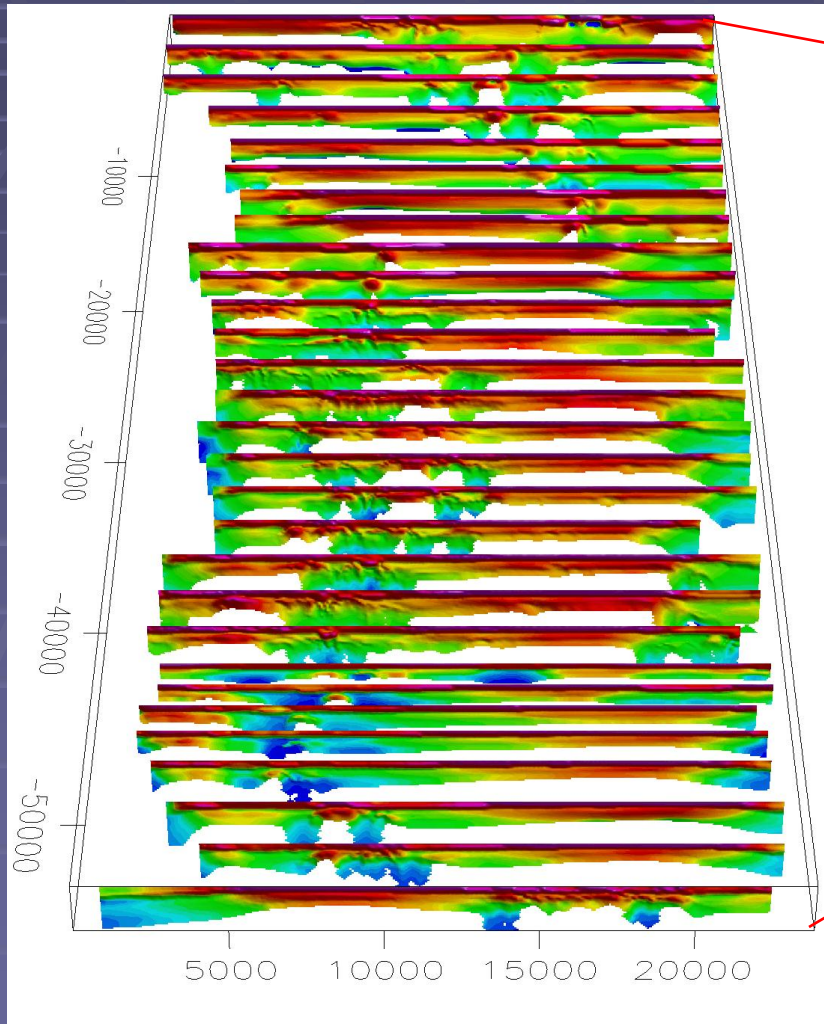
Canal 14

Canal 2

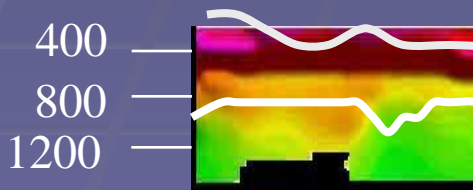
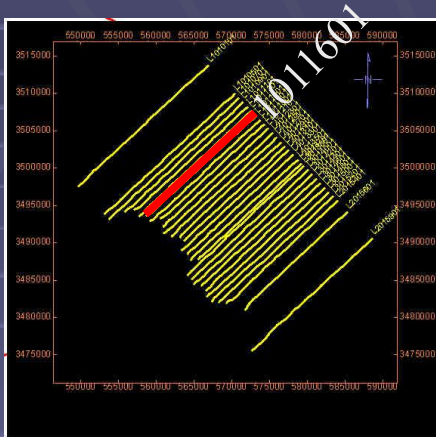
Canal 6

Canal 10

Visão panorâmica - CDIs



Linha 1011601



Condutividade máxima 0.081 S/m

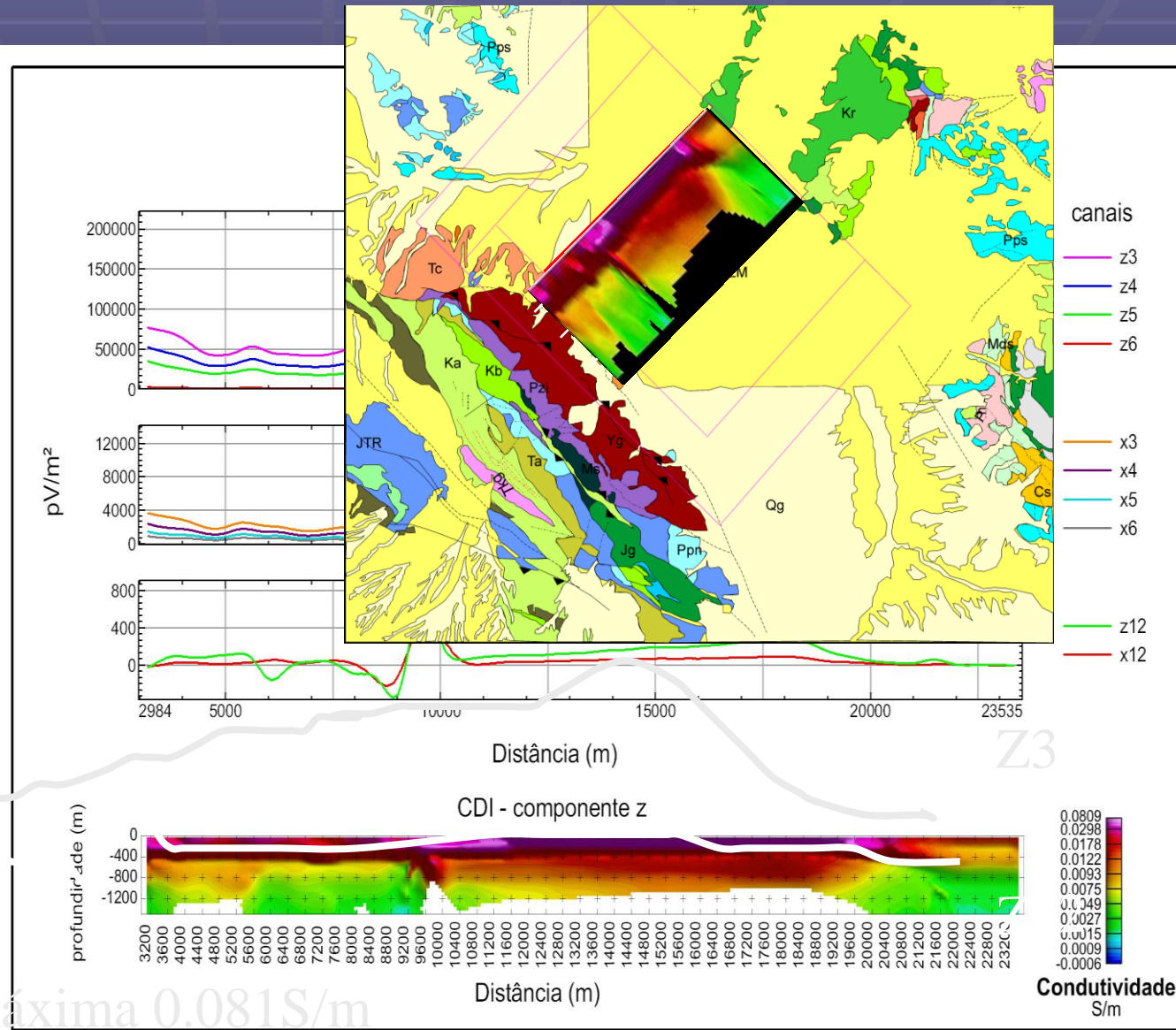
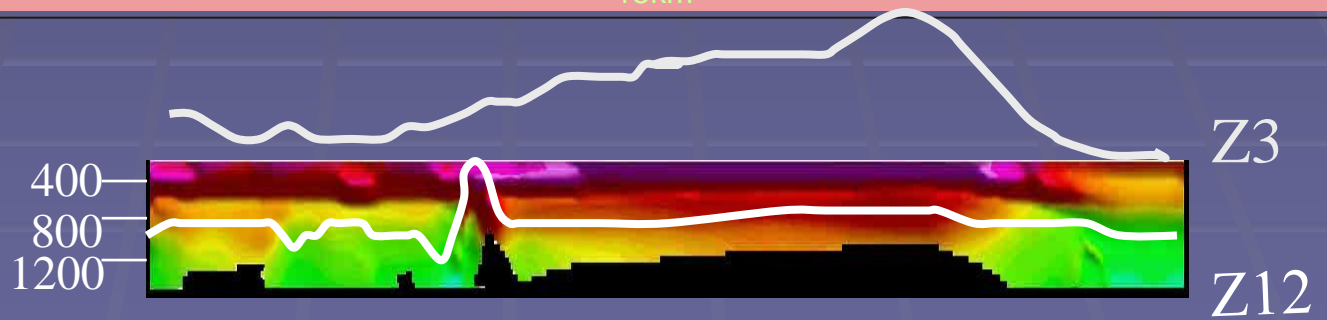
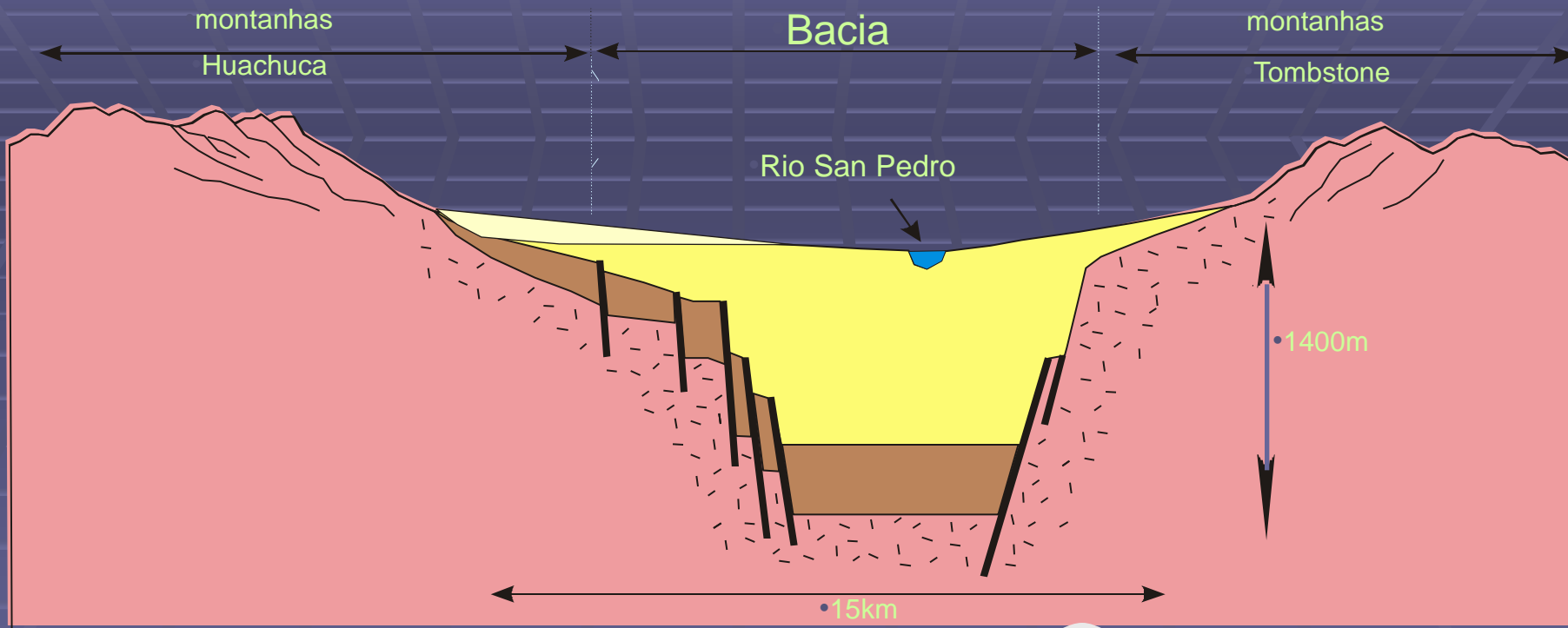
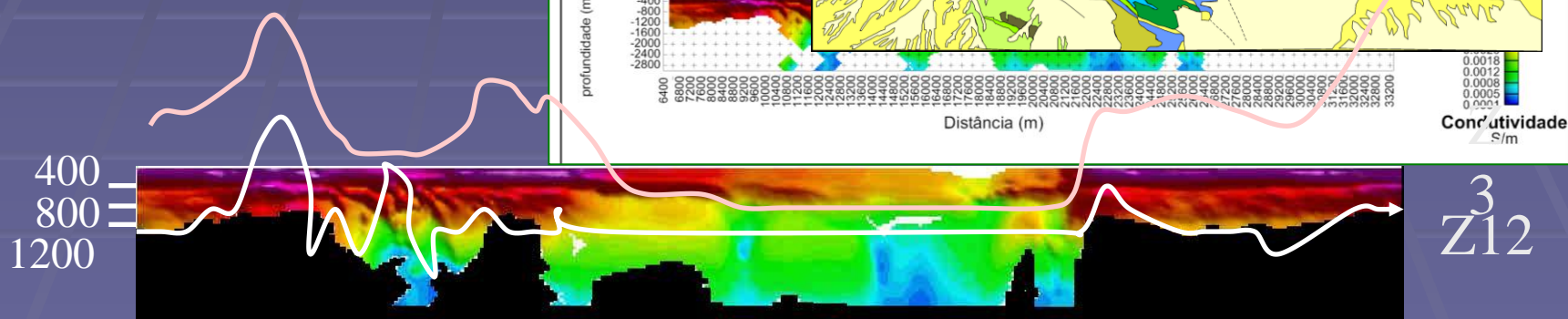
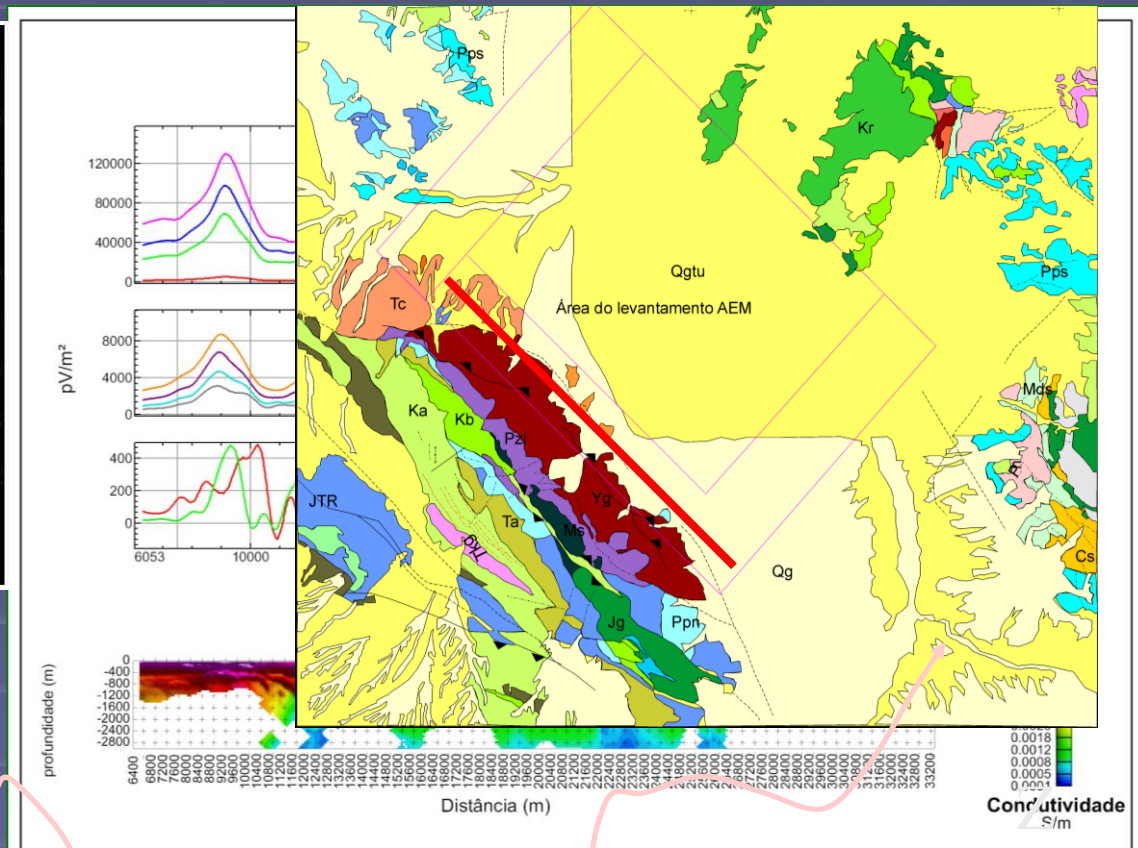
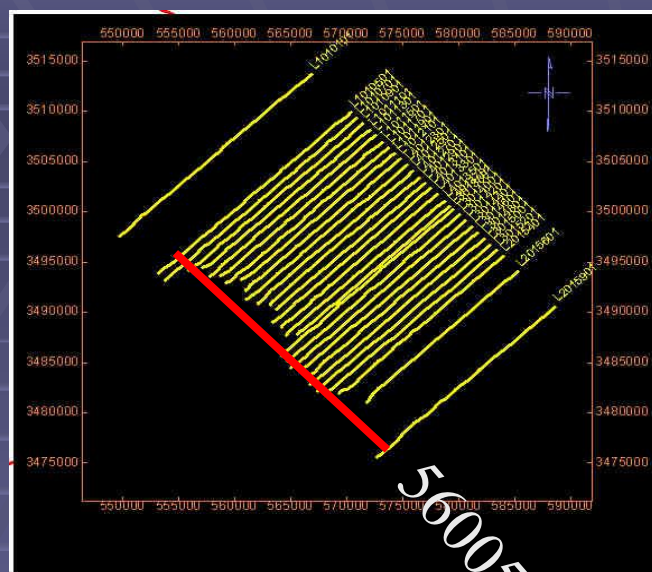


Diagrama x CDI



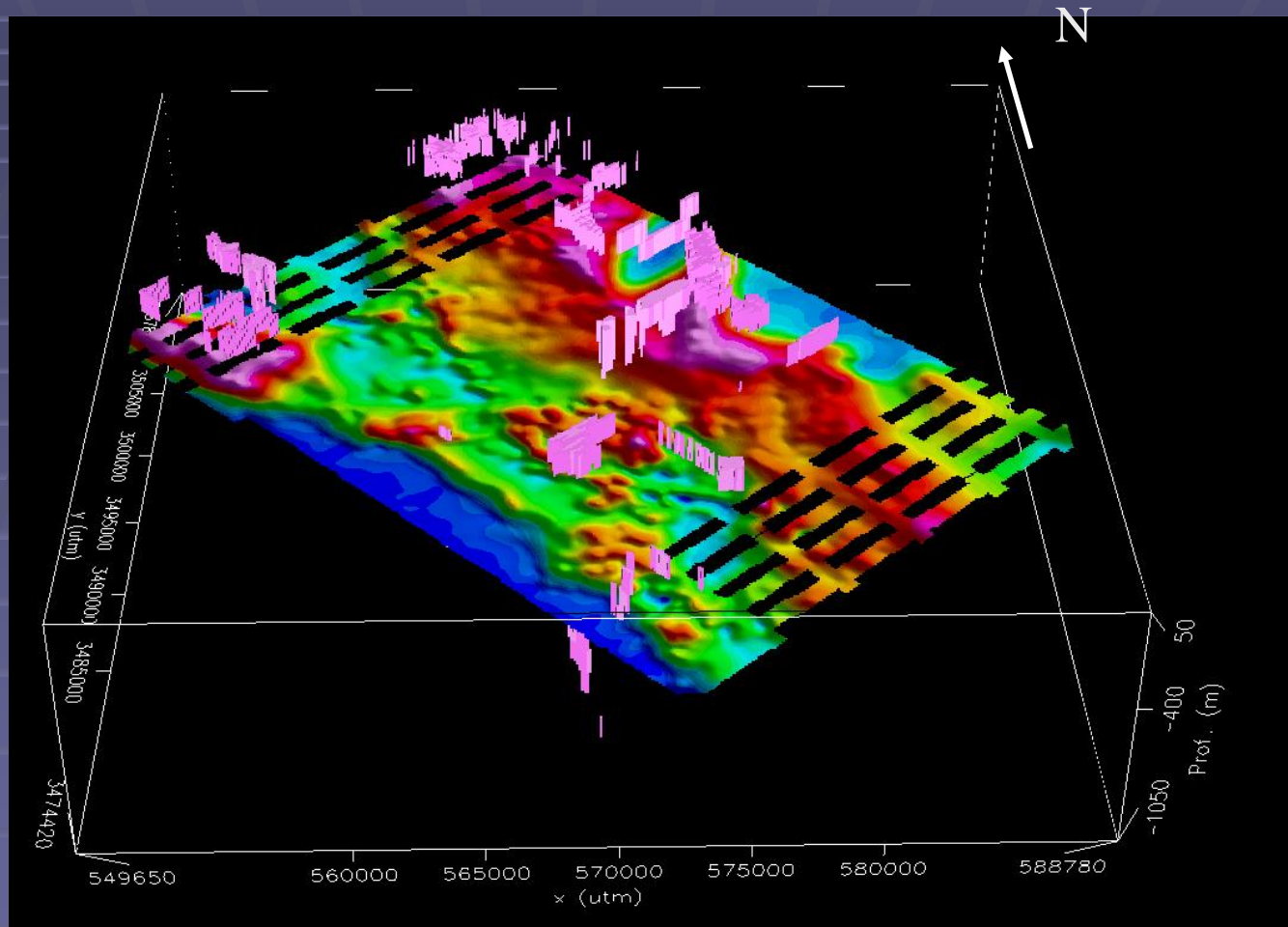
Linha 5600501



Condutividade máxima 0.06S/m

3
Z12

3D

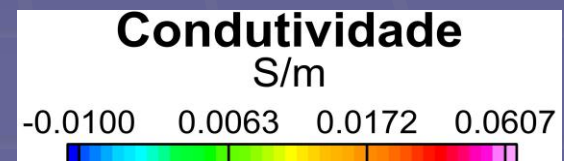
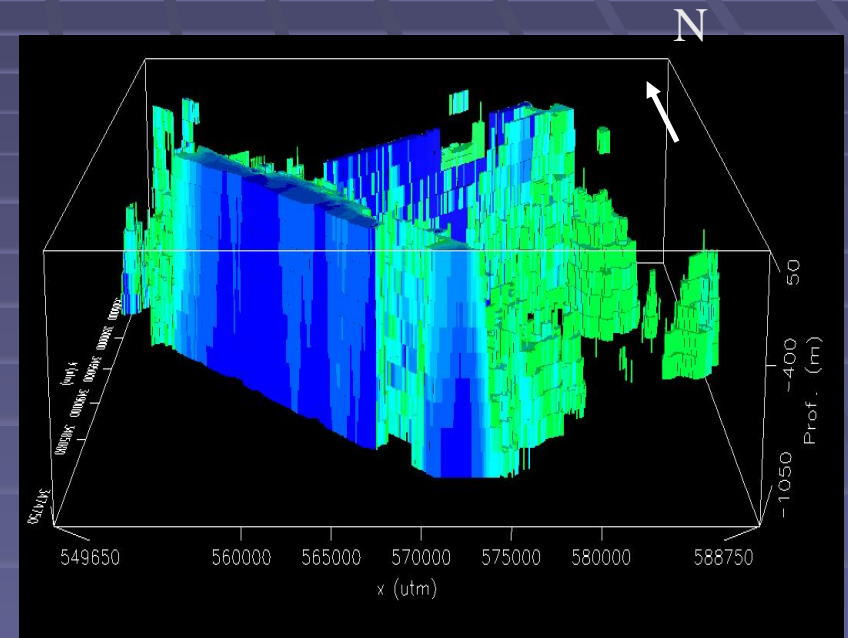
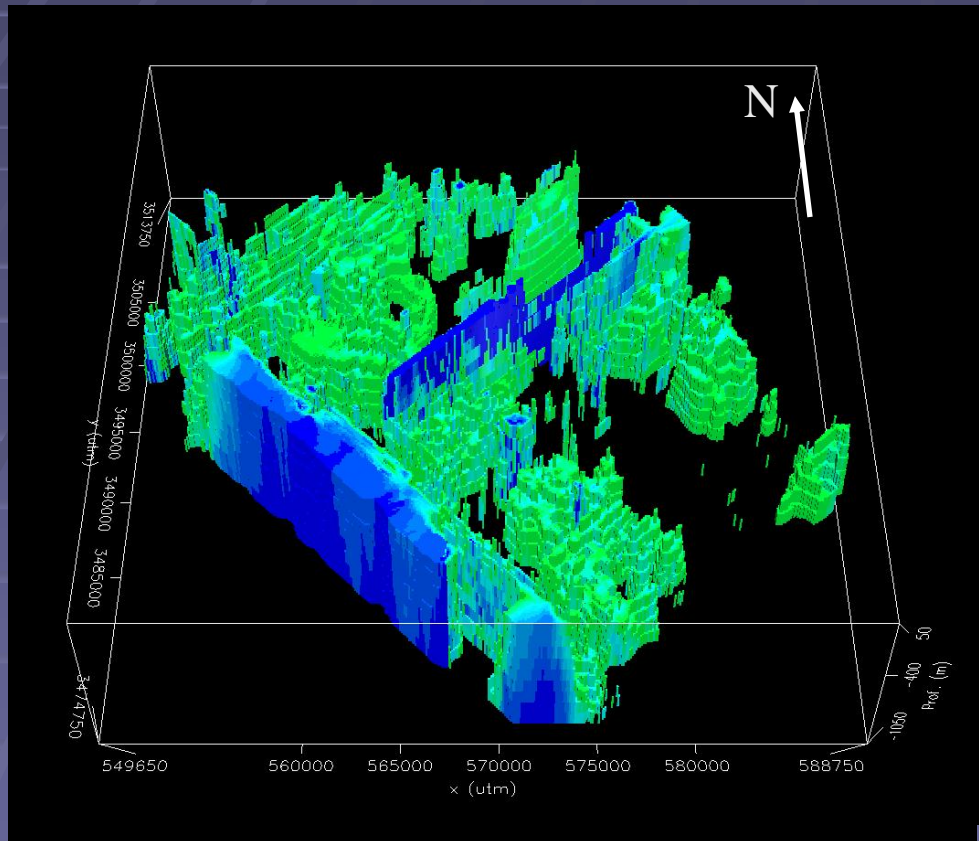


Condutividade
S/m

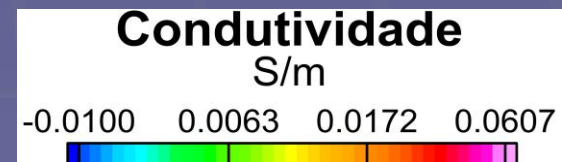
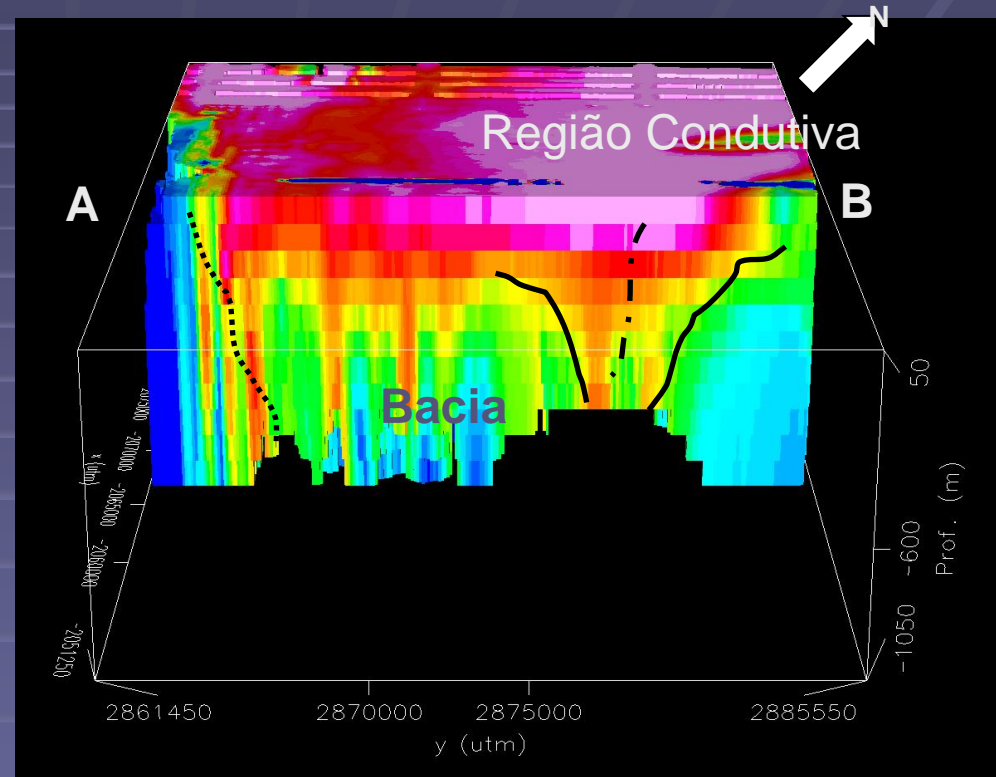
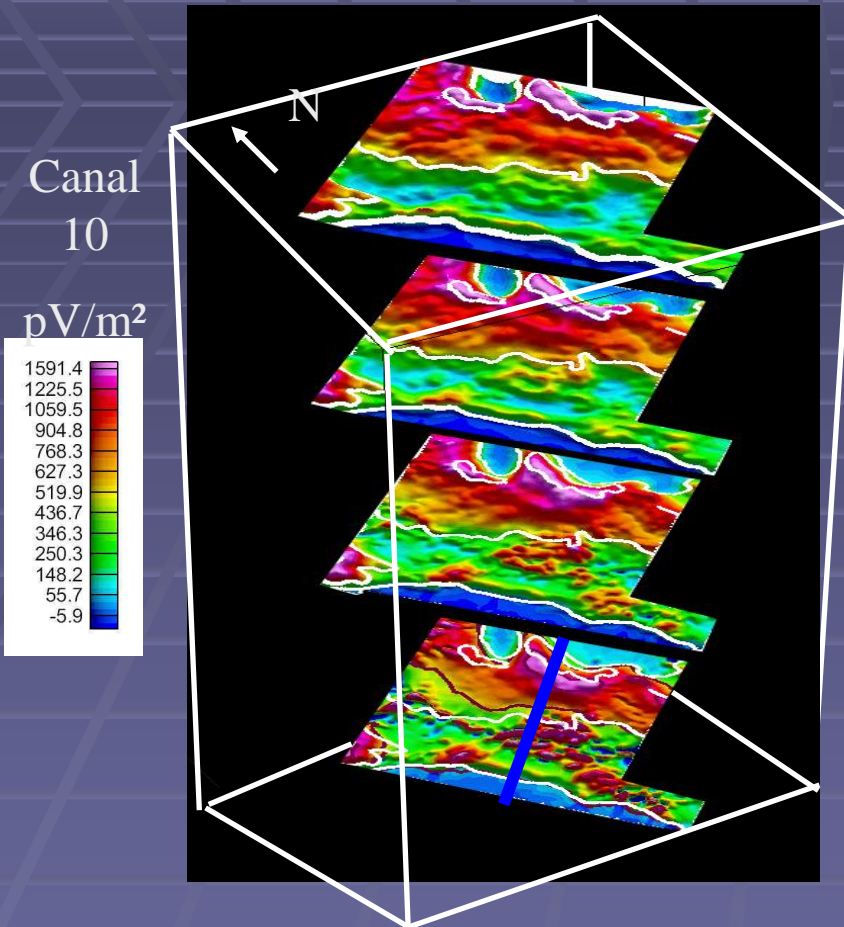
-0.0100 0.0063 0.0172 0.0607



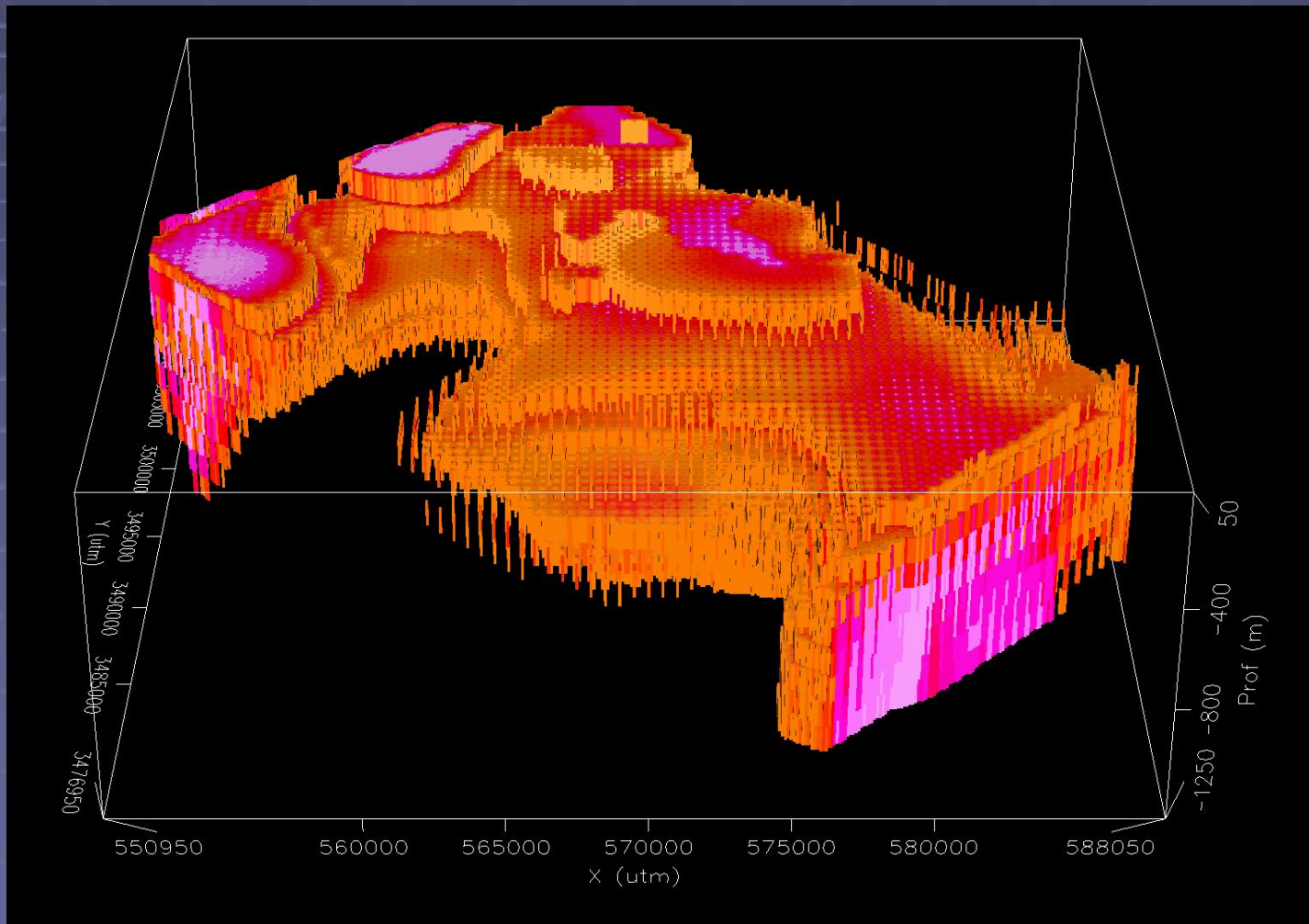
Volume - 3D (cond < 0,005 S/m)



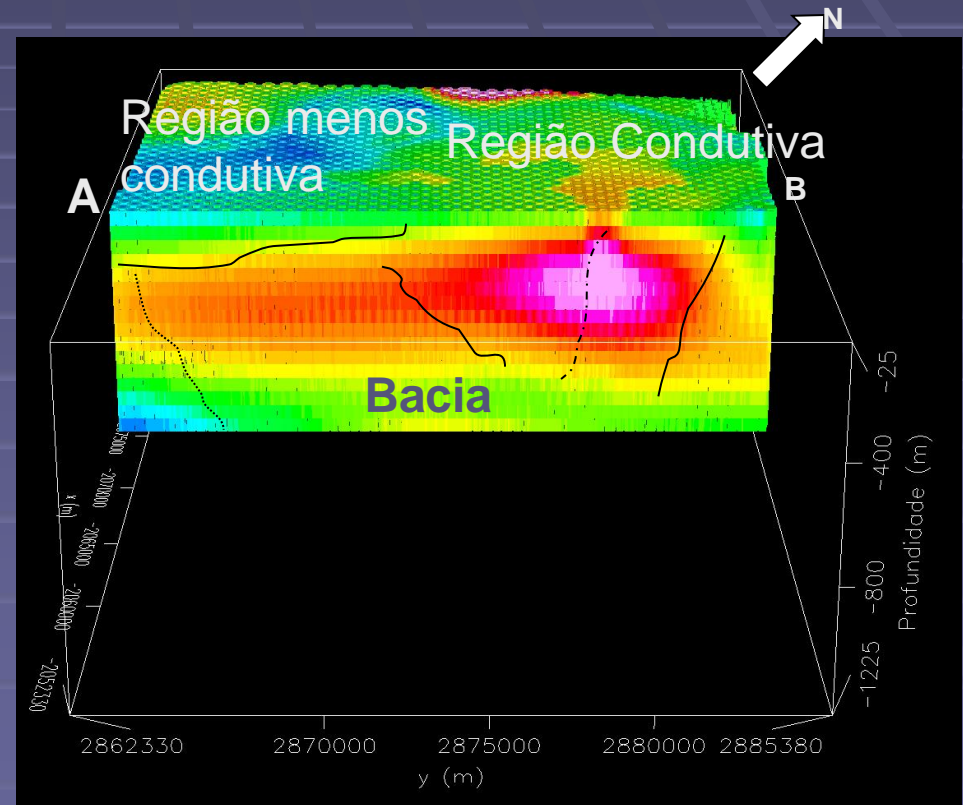
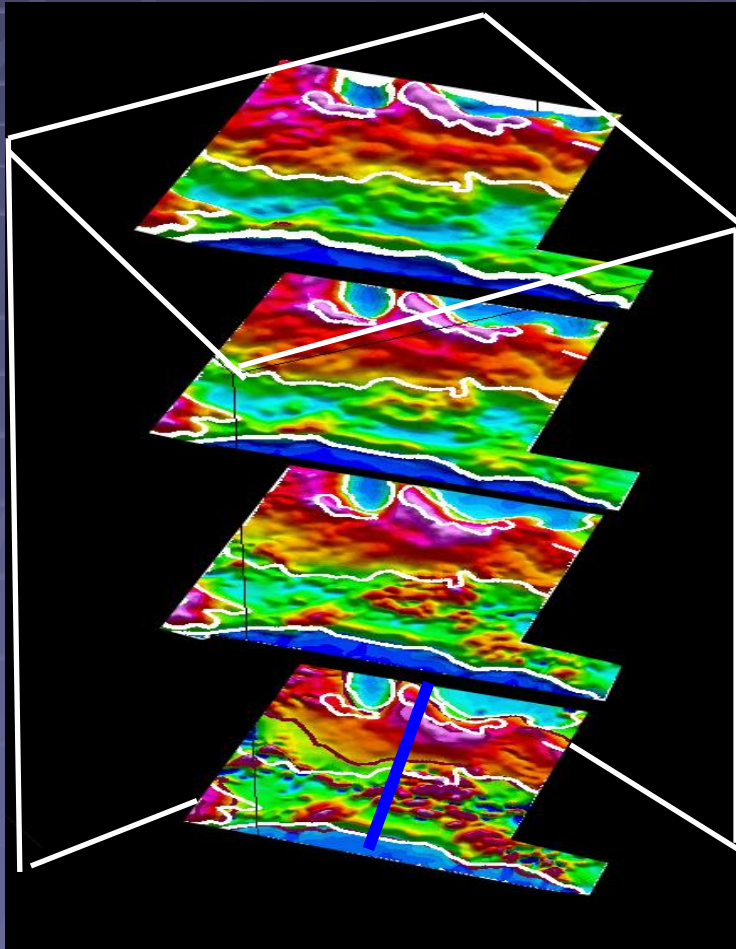
Campo secundário / Condutividade - CDI



Modelo 3D - inversão

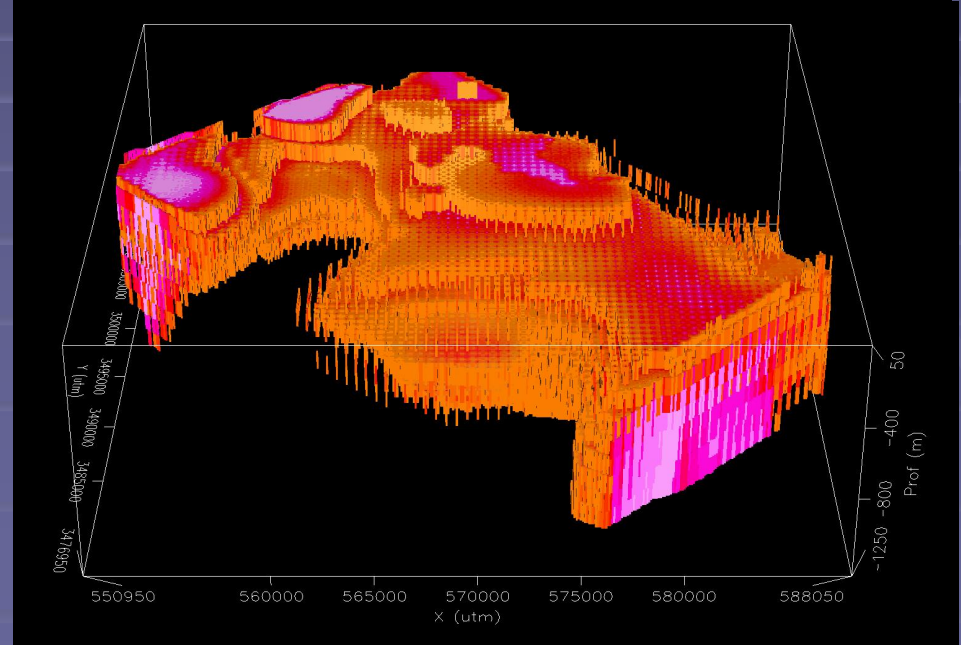
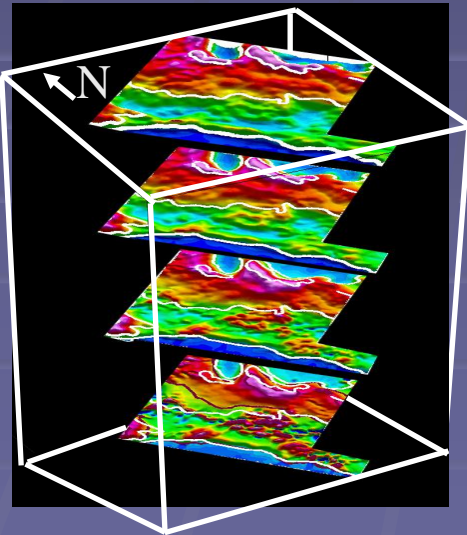


Campo secundário / Inversão

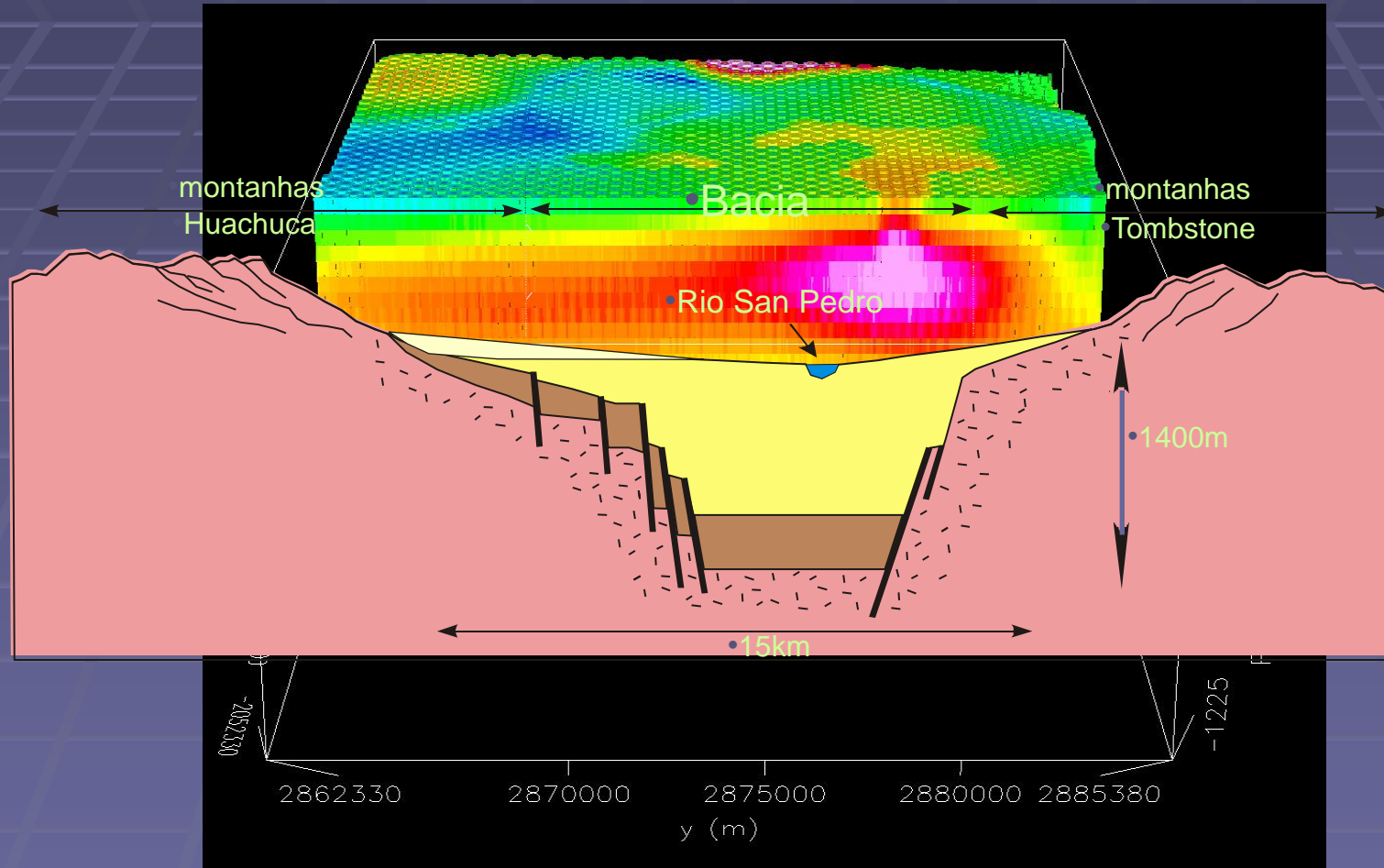


Conclusão

- Softwares (adaptados – RAMPRES e NLSTCI):
 - Resultado imediato
 - Idéia do comportamento da condutividade em subsuperfície (visão 3D)
 - Concordância com a pré análise



Conclusão



Conclusões

Tópicos	CDI (1ª)	Inversão NLSTCI (2ª)
Modelos	Camadas subverticais. Verticais e horizontais	Camadas horizontalizadas
Análise quantitativa	Semi-quantitativa	quantitativa
Processo de inversão	rápido	moroso
Informação a priori	Não existe	Existe
Soluções	Podem ocorrer soluções indesejáveis	Por ser um processo controlado dificilmente ocorrem soluções indesejáveis

FIM



