

Inversão 3D de Dados Magnetotelúricos da Bacia do Iguatu - CE



Artur Santos Benevides

Orientador: Sergio Luiz Fontes

Setembro 18, 2017

1 Objetivos

2 Área de Estudo

3 Método Magnetotelúrico

4 Metodologia

1. Processamento

2. Modelagem

3. Inversão

5 Cronograma

Objetivos

Objetivos

- 1 Processar dados de MT de 49 estações da bacia do Iguatu

Objetivos

- 1 Processar dados de MT de 49 estações da bacia do Iguatu
- 2 Fazer inversão 3D dos dados MT

Como proceder?

Como proceder?

- 1 Conhecer a área de estudo

Como proceder?

- 1 Conhecer a área de estudo
- 2 Entender os princípios do método Magnetotelúrico

Como proceder?

- 1 Conhecer a área de estudo
- 2 Entender os princípios do método Magnetotelúrico
- 3 Processar os dados

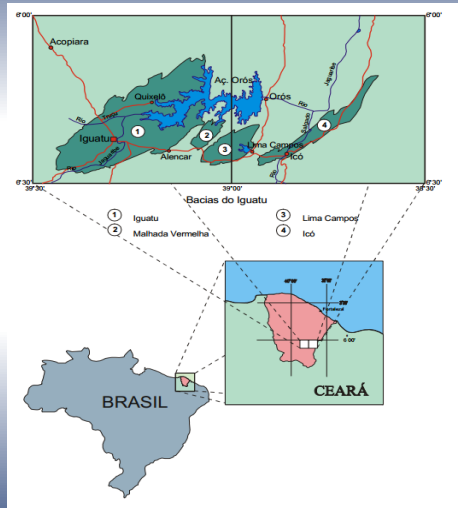
Como proceder?

- 1 Conhecer a área de estudo
- 2 Entender os princípios do método Magnetotelúrico
- 3 Processar os dados
- 4 Inverter os dados

Bacia do Iguatu

Característica gerais:

- Faz parte de um conjunto com Malhada Vermelha, Lima Campos e Icó;
- Bacia intracratônica
- Área total 820 km^2
- Formato aproximadamente elíptico
 - eixo maior $\approx 60 \text{ km}$
 - eixo menor $\approx 24 \text{ km}$



- Província Borborema
 - Diversos domínios orogênicos
 - Contexto tectônico associado à transcorrência
- Embasamento está sobre o Terreno Ceará Central - TCC

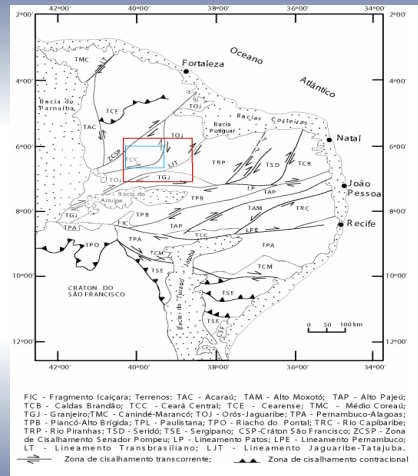


Figura: (Arima, 2007)
Inversão 3D MT - Bacia do Iguatú

Método Magnetotelúrico (MT)

Definição

O MT é um método eletromagnético de exploração que consiste em obter informações de resistividade elétrica de um meio utilizando como sinal flutuações dos campos elétricos e magnéticos induzidos por fontes naturais.

Definição

O MT é um método eletromagnético de exploração que consiste em obter informações de resistividade elétrica de um meio utilizando como sinal flutuações dos campos elétricos e magnéticos induzidos por fontes naturais.

1 Fontes naturais

- $f > 1\text{Hz}$ Descargas elétricas na superfície da terra associada a fenômenos que ocorrem entre a atmosfera e ionosfera.
- $f < 1\text{Hz}$ São gerados pela interação do vento solar com a magnetosfera e da terra

Definição

O MT é um método eletromagnético de exploração que consiste em obter informações de resistividade elétrica de um meio utilizando como sinal flutuações dos campos elétricos e magnéticos induzidos por fontes naturais.

1 Fontes naturais

$f > 1\text{Hz}$ Descargas elétricas na superfície da terra associada a fenômenos que ocorrem entre a atmosfera e ionosfera.

$f < 1\text{Hz}$ São gerados pela interação do vento solar com a magnetosfera e da terra

2 Indução EM

- Equações de Maxwell
- Relações constitutivas

Equações de Maxwell

- Lei de Gauss (Elet.) $\longrightarrow \nabla \cdot \vec{D} = \bar{\rho}.$
- Lei de Gauss (Mag) $\longrightarrow \nabla \cdot \vec{B} = 0.$
- Lei de Faraday $\longrightarrow \nabla \times \vec{E} = -i\omega\vec{B}.$
- Lei de Ampère-Maxwell $\longrightarrow \nabla \times \vec{H} = i\omega\vec{D} + \vec{J}.$

Equações constitutivas

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H} \quad \text{e} \quad \vec{J} = \sigma \vec{E}$$

Conceitos básicos do método MT

Considerando as relações constitutivas, as equações de Maxwell podem ser expressas em termos de campo elétrico e campo magnético:

$$\nabla \times \vec{E} = -i\mu\omega\vec{H}, \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma\vec{E} + i\omega\epsilon\vec{E}, \quad (2)$$

Conceitos básicos do método MT

Considerando as relações constitutivas, as equações de Maxwell podem ser expressas em termos de campo elétrico e campo magnético:

$$\nabla \times \vec{E} = -i\mu\omega\vec{H}, \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma\vec{E} + i\omega\epsilon\vec{E}, \quad (2)$$

aplicando o rotacional em (1) e substituindo (2) em (1), tem-se:

$$\nabla^2 \vec{E} = -\mu\omega(i\sigma + \epsilon\omega)\vec{E}, \quad (3)$$

As fonte do campo EM utilizado no MT estão relativamente afastado da superfície e são tratados como ondas planas, os campos variam harmonicamente com o tempo, sua solução é do tipo:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{-i(kz - \omega t)}$$

portanto,

$$\nabla^2 \vec{E}_0 = -\mu\omega(i\sigma + \epsilon\omega)\vec{E}_0. \quad (4)$$

Conceitos básicos do método MT

A faixa de frequência no MT ($10^6 \text{ Hz} - 10^6 \text{ s}$), condição de ($\sigma \gg \varepsilon\omega$), obtêm-se as equações da difusão eletromagnética:

$$\nabla^2 \vec{E}_0 = k^2 \vec{E}_0. \quad (5)$$

em que $k^2 \cong i\mu\sigma\omega$.

Se a onda EM estiver polarizada na direção (x) $\vec{E}_0 = (E_x, 0, 0)$ e $\vec{H}_0 = (0, H_y, 0)$ incide na interface ar-Terra, têm-se:

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -ikE_x = -i\mu\omega H_y, \quad (6)$$

elevando os dois membros ao quadrado e reagrupando os termos obtêm-se:

$$\left[\frac{E_x}{H_y} \right]^2 = \omega\mu\rho_{xy}, \quad (7)$$

em que $|Z_{xy}|^2 = \omega\mu_0\rho_{xy}$ é uma das componentes do tensor de impedância Z que relaciona E e H em uma direção adotada:

$$E_x = Z_{xy} H_y \quad (8)$$

Conceitos básicos do método MT

De modo geral, o tensor de impedância pode ser definido como:

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad (9)$$

A resistividade ρ_{xy} pode ser determinada então:

$$\rho_{xy} = \frac{|Z_{xy}|^2}{\omega \mu_0}, \quad (10)$$

e a fase:

$$\phi = \arctan \left[\frac{\Im\{Z_{xy}\}}{\Re\{Z_{xy}\}} \right] \quad (11)$$

Fluxograma de trabalho

- 1 Aquisição dos dados
- 2 Processamento de dados
- 3 Modelagem direta
- 4 Inversão

Aquisição de dados

- Os dados foram adquiridos em 2004.

Aquisição de dados

- Os dados foram adquiridos em 2004.
- Existem 4 perfis

Aquisição de dados

- Os dados foram adquiridos em 2004.
- Existem 4 perfis
 - Perfil 1: 31 estações
 - Perfil 2: 6 estações
 - Perfil 3: 8 estações
 - Perfil 4: 5 estações

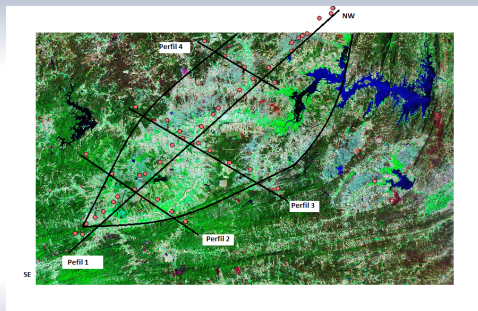


Figura: Localização das estações, bacia de Iguatu.

As etapas do processamento podem ser subdivididas em:

As etapas do processamento podem ser subdivididas em:

- 1 Transformada de Fourier;

As etapas do processamento podem ser subdivididas em:

- 1 Transformada de Fourier;
- 2 Estimativa do Tensor de Impedância

As etapas do processamento podem ser subdivididas em:

- 1 Transformada de Fourier;
- 2 Estimativa do Tensor de Impedância
 - 1 Referência Remota;
 - 2 Processamento robusto;

As etapas do processamento podem ser subdivididas em:

- 1 Transformada de Fourier;
- 2 Estimativa do Tensor de Impedância
 - 1 Referência Remota;
 - 2 Processamento robusto;
- 3 Análise de dimensionalidade;

As etapas do processamento podem ser subdivididas em:

- ➊ Transformada de Fourier;
- ➋ Estimativa do Tensor de Impedância
 - ➊ Referência Remota;
 - ➋ Processamento robusto;
- ➌ Análise de dimensionalidade;
- ➍ Definição do *strike* geoeletrico;

As etapas do processamento podem ser subdivididas em:

- 1 Transformada de Fourier;
- 2 Estimativa do Tensor de Impedância
 - 1 Referência Remota;
 - 2 Processamento robusto;
- 3 Análise de dimensionalidade;
- 4 Definição do *strike* geoeletrico;
- 5 Determinação da resistividade aparente.

- A modelagem faz parte do processo de inversão;
- Construção de um modelo, informações geológicas e ou geofísicas:
 - Número de camadas;
 - Espessuras;
 - Litologia;
 - Topo do embasamento.
- Modelo de resistividade --> Modelos matemáticos --> curvas sintéticas de resistividade.
- Quanto maior a quantidade de informações, mais próximo do verdadeiro será o modelo e portanto, melhor será sua inversão.

Na análise de dados geofísico o ponto inicial é descrevê-los, onde uma forma prática de representar seria.

- Modelagem: parte-se dos parâmetros do modelo para obtenção dos dados:

$$\vec{d} = G(\vec{m}), \quad (12)$$

- No problema inverso, partimos das observações para obtenção dos parâmetros do modelo:

$$\vec{m}^{est} = G^{-1} \vec{d}^{obs}. \quad (13)$$

A matriz G é uma aproximação de um operador g e pode ser não linear. A solução do sistema não linear pode ser alcançado por exemplo, com métodos iterativos de linearização e convergência, utilizando resíduos.

A metodologia para inversão de dados MT 3D é relativamente nova e será desenvolvida utilizando o algoritmo modeEM (Kelbert et al. 2014).
O método de solução do problema inverso no MT é alcançado via processos iterativos utilizando o algoritmo conjugado gradiente não linear.

Inversão 2D, Perfil 1 da bacia do Iguatu (Marçal et al. 2004).

- 1 As curvas de resistividade elétrica e fase não foram obtidas por uso de técnicas robustas;
- 2 da mesma forma, técnicas que atenuam distorções superficiais e permitem determinar o *strike* geoeletrico regional não foram utilizados.

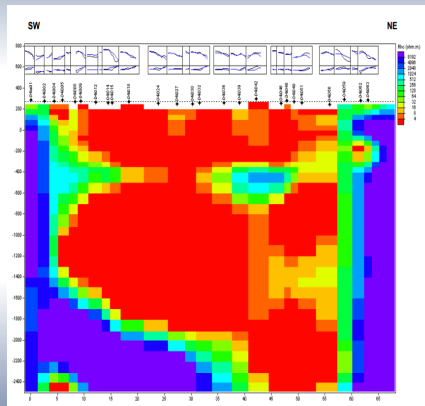


Figura: (Marçal et al. 2004)
Inversão 3D MT - Bacia do Iguatu

Cronograma

Atividades	Trim 2 2017	Trim 3 2017	Trim 4 2017	Trim 1 2018	Trim 2 2018	Trim 3 2018	Trim 4 2018	Trim 1 2019
i. Cursar disciplinas	X	X	X					
ii. Revisão bibliográfica			X	X				
iii. Processamento dos dados MT			X	X				
iv. Análise dimensional				X				
v. Modelagem e inversão				X	X			
vi. Integração de dados geofísicos					X	X		
vii. Interpretação					X	X		
viii. Redação da dissertação e do artigo						X	X	
ix. Submissão do artigo e defesa da dissertação								X

Viabilidade do projeto

- Boa parte dos créditos em disciplinas já foram completados;
- Pelo cronograma, a quantidade de tempo disponível é razoável para cumprir as atividades;
- Os dados já foram adquiridos e já estão em posse;
- Os programas necessários para o processamento dos dados são em sua maioria livres e alguns que não são, possuímos as licenças.

Inversão 3D de Dados Magnetotelúricos da Bacia do Iguatu - CE



Artur Santos Benevides

Orientador: Sergio Luiz Fontes

Setembro 18, 2017