



# Método Magnetotelúrico



Profa. Mônica G. Von Huelsen

# • Métodos eletromagnéticos

## Magnetotelúrico

- Mede campo elétrico e magnético
- Atinge grandes profundidade ~100km
- Bom para investigação rasa
- Fonte natural
- Fonte controlada CSAMT

# Métodos eletromagnéticos

## O que é MT

- Método eletromagnético no domínio da frequência, que
- estima a condutividade elétrica em sub-superfície, a
- partir de medidas das variações no tempo dos campos
- magnético e elétrico naturais na superfície terrestre;
- **Faixa de frequências típicas**
- - AMT (audiomagnetotelúrica): 10 Hz – 100 KHz
- MT (banda larga) – 1000 Hz – 0.001Hz
- MT (longo período) – 1 Hz - 0.000025 Hz

## Magnetotelúrico - Aplicações

- Arcabouço de Bacias
- Estruturas profundas da crosta
- Estudos Geotermiais
- Água Subterrânea
- Petróleo e Gás
- Depósitos Minerais
- Estudos ambientais

# Métodos eletromagnéticos

## Vantagens e desvantagens

### Prós

- Grande profundidade de penetração (10's de kms)
- Obtém informações em áreas onde o sinal sísmico é pobre.
- Equipamento leve e portátil, não necessita transmissor
- Resolução superior a grav/mag
- Técnicas de interpretação rápidas e bem desenvolvidas
- Praticamente não provoca impacto ambiental
- Medidas podem ser feitas em praticamente qualquer lugar

### Contras

- Sinal natural pode ser irregular e ruído industrial é um problema
- Resolução é inferior à da sísmica
- Processamento e interpretação são complexos
- Efeito estático nas curvas de resistividade aparente pode ser significativa
- Técnicas de inversão ainda são baseadas em modelos suaves, de difícil interpretação em áreas complexas
- Acoplamento com condutores laterais (por exemplo oceano) tem que ser considerado na modelagem

# ⋮ Métodos eletromagnéticos ⋮

## Magnetotelúrico

- Mede campo elétrico e magnético

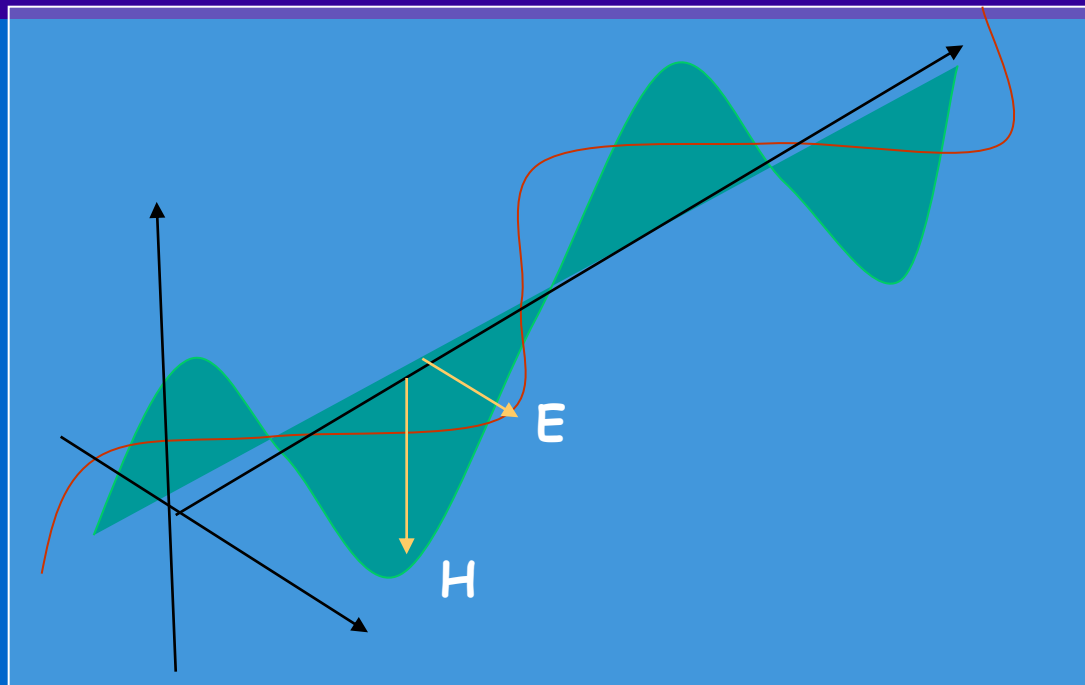
Medidas simultâneas das variações dos campo elétricos e magnéticos em duas direções horizontais e perpendiculares entre si e ainda medem a variação da componente vertical do campo magnéticos

# Métodos eletromagnéticos

## Conceitos e Princípios

INTENSIDADE ELÉTRICA (E) –  $E_x$  e  $E_y$

INTENSIDADE MAGNÉTICA (H) –  $H_x$  e  $H_y$



# · Métodos eletromagnéticos

## Magnetotelúrico

- Atinge grandes profundidade ~100km
- Bom para investigação rasa

MT - Usa gama de frequências de  $10^{-3}$  a 10 Hz

AMT or AFMAG - 10 a  $10^4$  Hz



# Métodos eletromagnéticos

- *A fonte magneto telúrica é uma **fonte natural**, ou um processo geofísico eletromagnético natural da imagem de correntes latentes abaixo da superfície da terra. As variações do campo magnético **induzem correntes** elétricas sob a superfície. As medidas simultâneas de **componentes ortogonais dos campos elétricos e magnéticos** permitem o cálculo do **tensor de impedância**, que é **complexo e dependente da frequência**. Usando este tensor, é possível descobrir a estrutura da resistência do material circunvizinho. A **condutividade** elétrica é um parâmetro físico importante das rochas e de sedimentos da terra.*

# Métodos eletromagnéticos

- Correntes Telúricas – registradas no final do século XIX em Paris e em Berlim.

- Fonte: externa à Terra

Flutuações periódicas e transientes - Correlação - variação diurna do campo magnético terrestre.

Aurora e emissão solar - influencia as corrente na Ionosfera.

Campo magnetolelúrico penetra na subsuperfície terrestre.

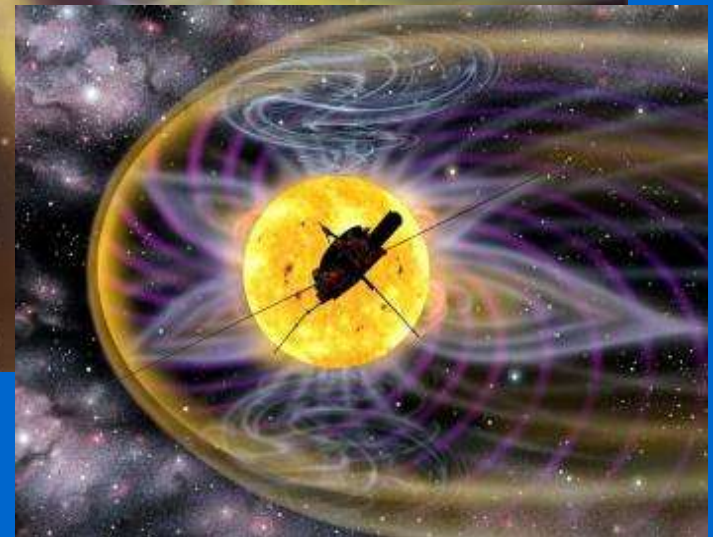
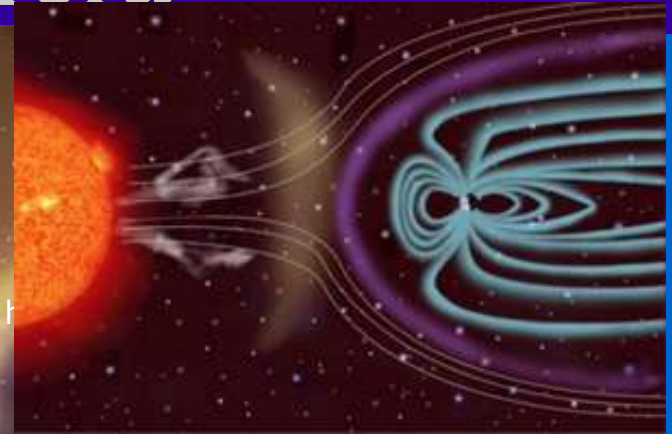
Padrão da corrente terrestre - Mapa



# Métodos eletromagnéticos

## Magnetosfera

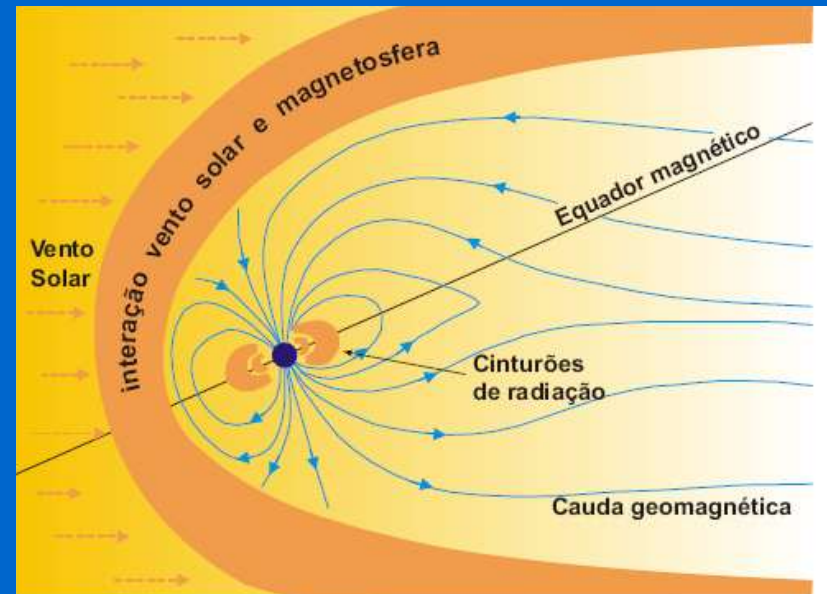
- A região ocupada pelo CMT.
  - Apesar de fraco, o CMT ocupa um volume muito grande, com suas linhas estendendo-se a distâncias de 10 a 13 raios terrestres.
- Característica assimétrica em relação a terra.
- Essa forma é consequência do vento solar.
- O vento solar gera um campo de intensidade  $\sim 5$  nT. (Backus et al. 1996)



# Métodos eletromagnéticos

## Magnetosfera

- Entre o Sol e a terra espaço preenchido por um gás ionizado constitui de partículas com diferentes energias, que são emitidas pelo Sol e por isso chamado de Vento Solar.
- Velocidade de 300 a 500 km/s.
- Blindagem – CMT – impedindo que as partículas solares atinjam a superfície terrestre.
- Erupções solares – há emissões de grande quantidades de partículas de alta velocidade.
  - Parte é bloqueada pelo CMT
  - Nas regiões polares – onde as linhas de força do CMT colocam-se perpendicularmente a superfície da Terra, as partículas penetram ate atmosfera superior ou ionosfera inferior (60 a 100 km de altitude) conduzidas pelas próprias linhas de campo.

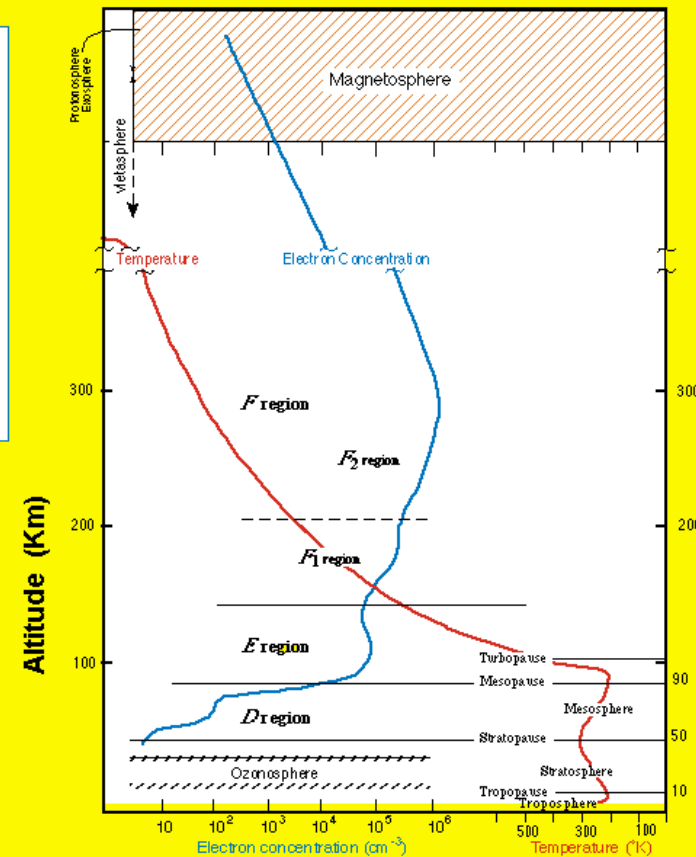
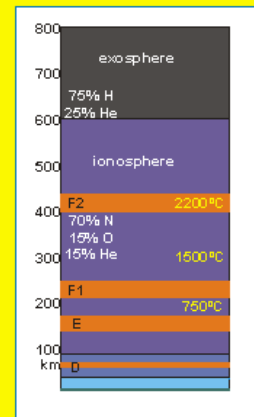


# Métodos eletromagnéticos

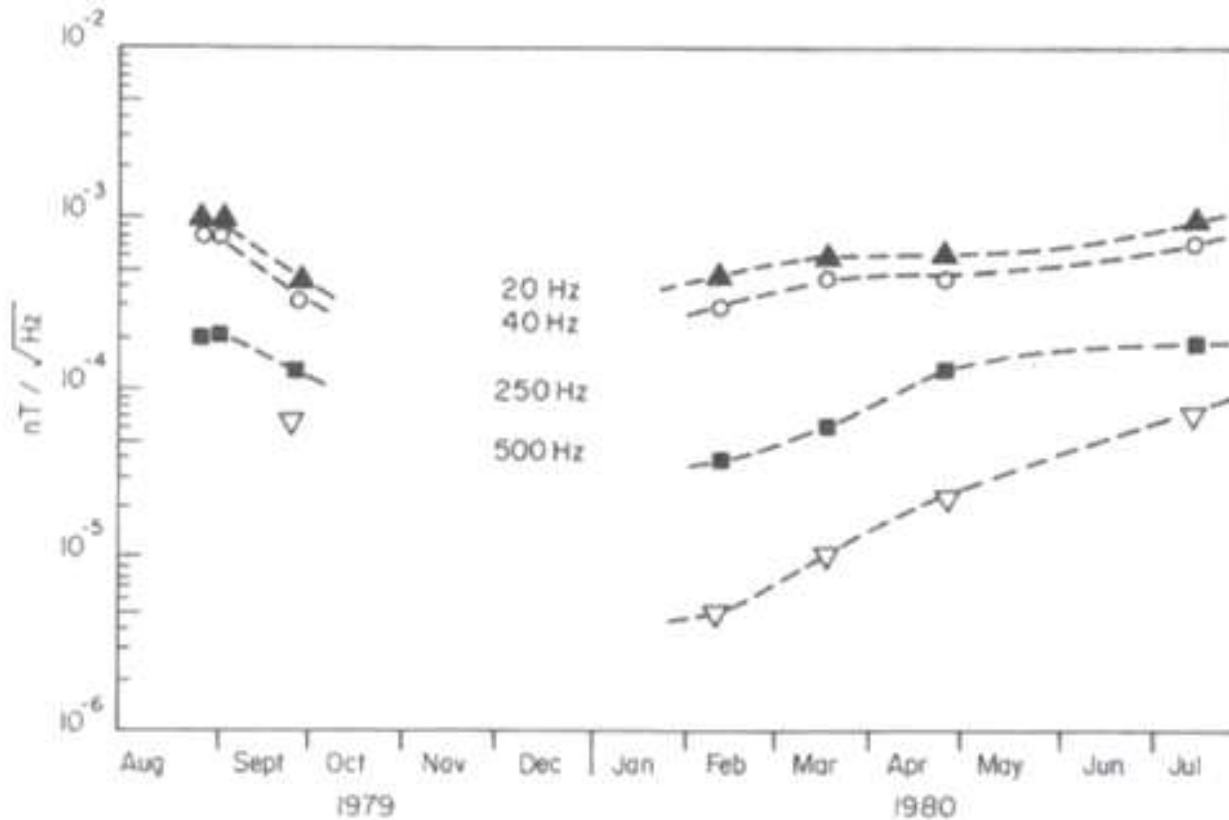
## Ionosfera

- Camada mais externa da atmosfera da terra
- É uma camada eletricamente condutora (íons e outras partículas carregadas)
- Usada na radiocomunicação, propagando e refletindo ondas de rádio.
- Condutividade altera quando é invadida por um fluxo de radiação solar mais intenso. 80 nT

### Ionosfera



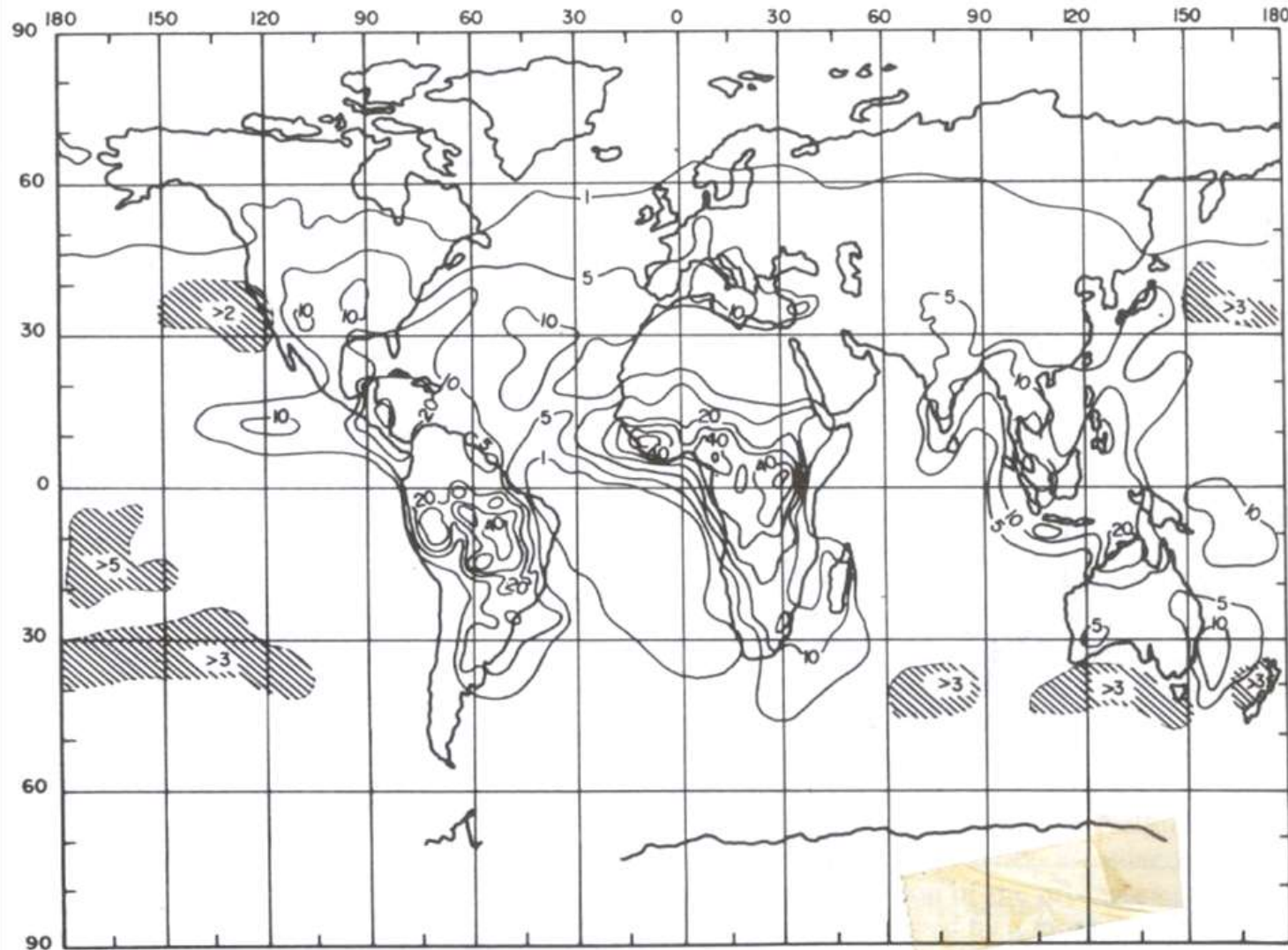
# Métodos eletromagnéticos



Varição da  
densidade  
espectral do  
campo  
magnético



# Métodos eletromagnéticos



Frequência de  
ocorrência de  
tempestades,  
Setembro a  
outubro

# Métodos eletromagnéticos

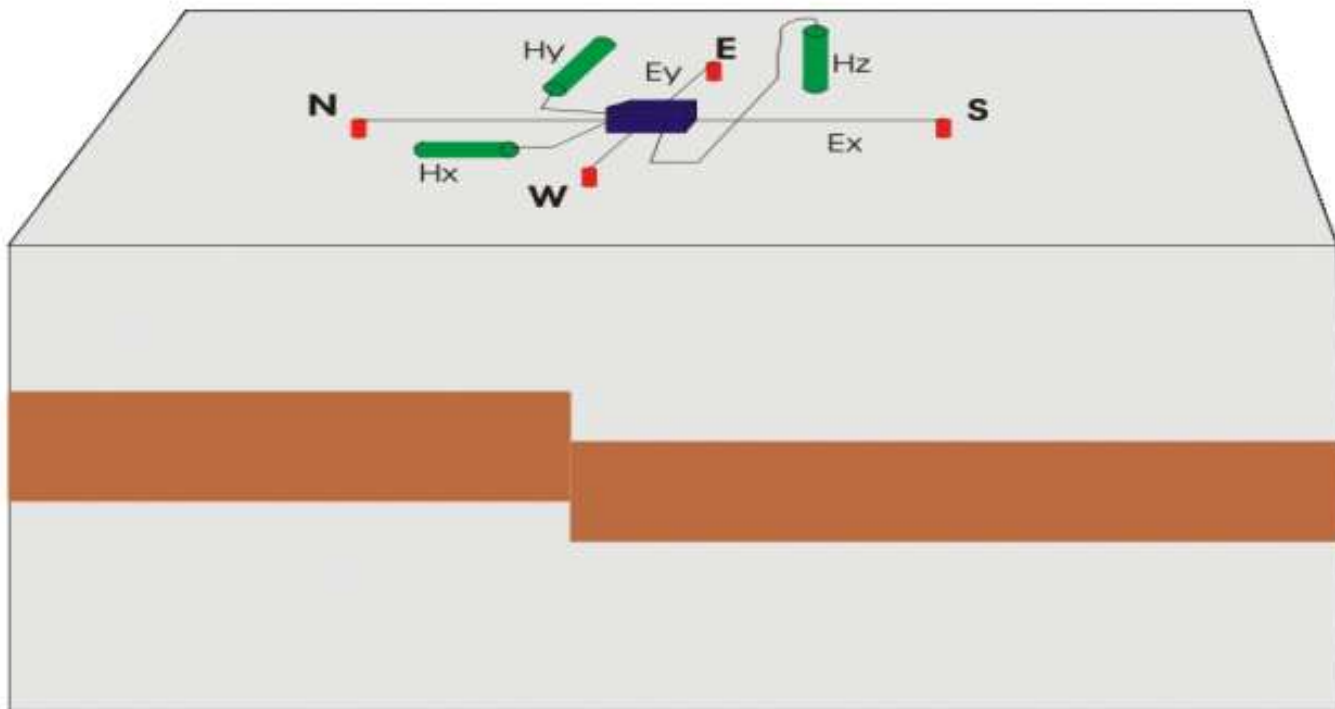
## Histórico

- 1 – anos 50 Cagniard e Tikonov propõe teoria para o método
- 2 – anos 60/70 – Aplicação na academia - geotermia
- 3 – anos 80 – sistemas comerciais para hidrocarbonetos  
– **Shell, Amoco, Sohio, ARCO, CGG**
- 4 – anos 90: tecnologias novas – Petróleo
- 5 – atual: Petróleo: terrestre e em mar - CSAMT



# Métodos eletromagnéticos

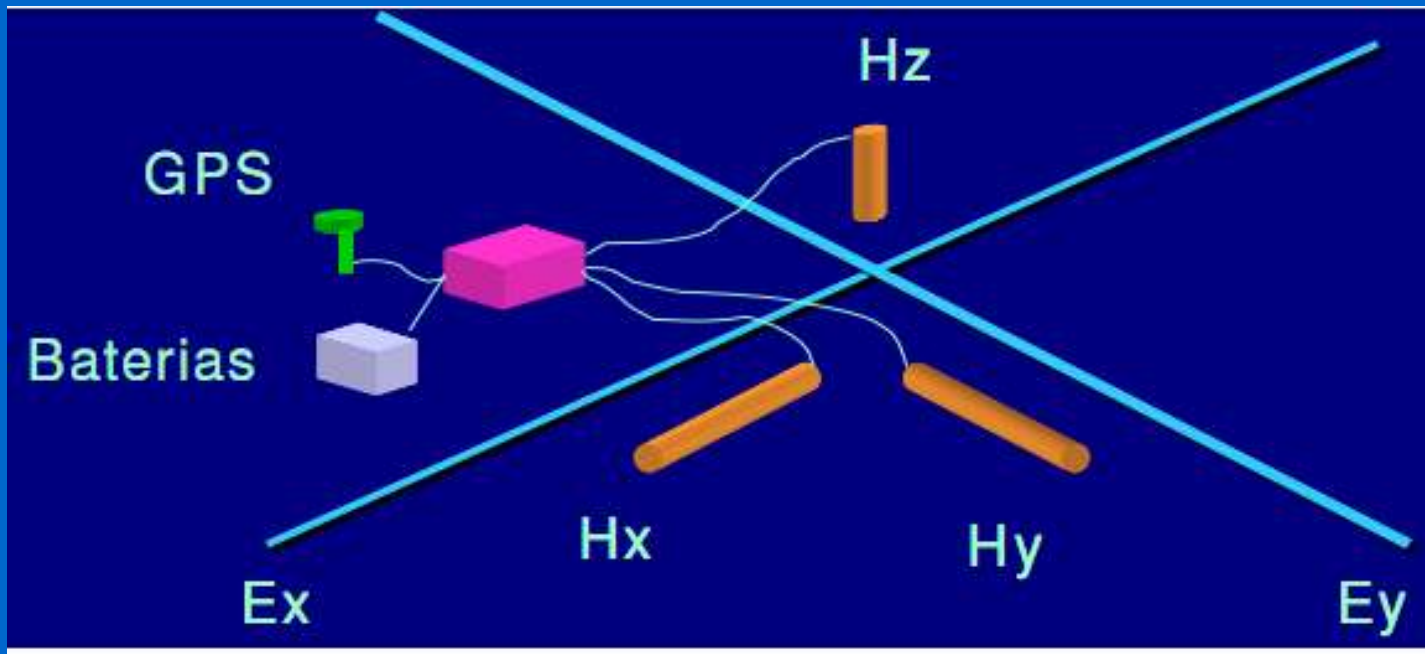
## Estação MT



Fonte: [www.igidl.ul.pt/FMSantos/PG1-Capitulo4-Parte3.pdf](http://www.igidl.ul.pt/FMSantos/PG1-Capitulo4-Parte3.pdf)

# Métodos eletromagnéticos

## Estação MT



Fonte: [www.igidl.ul.pt/FMSantos/PG1-Capitulo4-Parte3.pdf](http://www.igidl.ul.pt/FMSantos/PG1-Capitulo4-Parte3.pdf)

# Métodos eletromagnéticos



**Figura 4.6.16.** Instalação de um magnetômetro horizontal.

# Métodos eletromagnéticos



**Figura 4.6.17.** Instalação de um magnetômetro vertical.



# Métodos eletromagnéticos



Figura 4.6.18. Instalação de um eléctrodo.

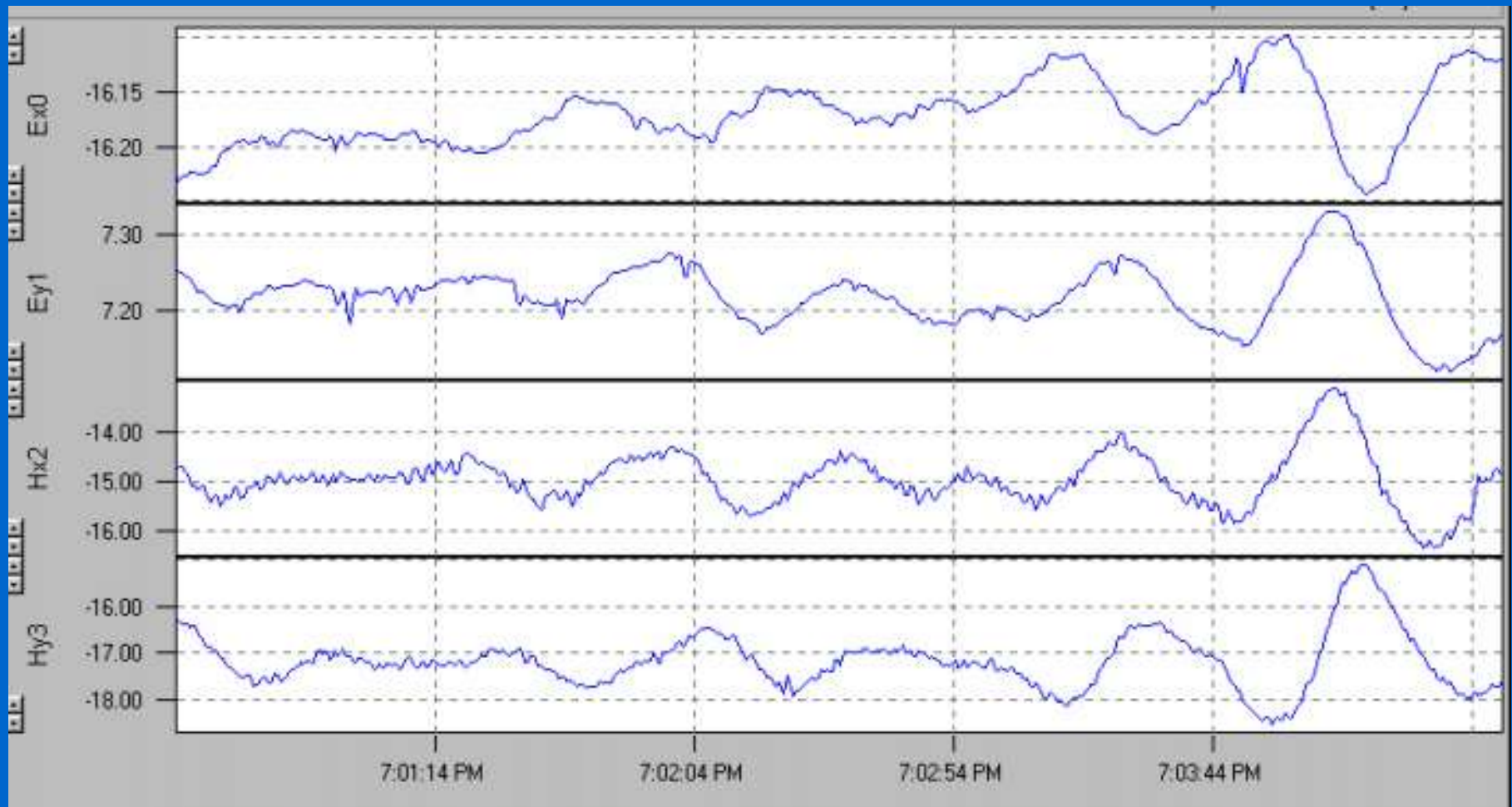
# Métodos eletromagnéticos



**Figura 4.6.19.** Programação da aquisição de dados (estação Metronix ADU06).

# Métodos eletromagnéticos

## Exemplo de dados Magnetotelúricos

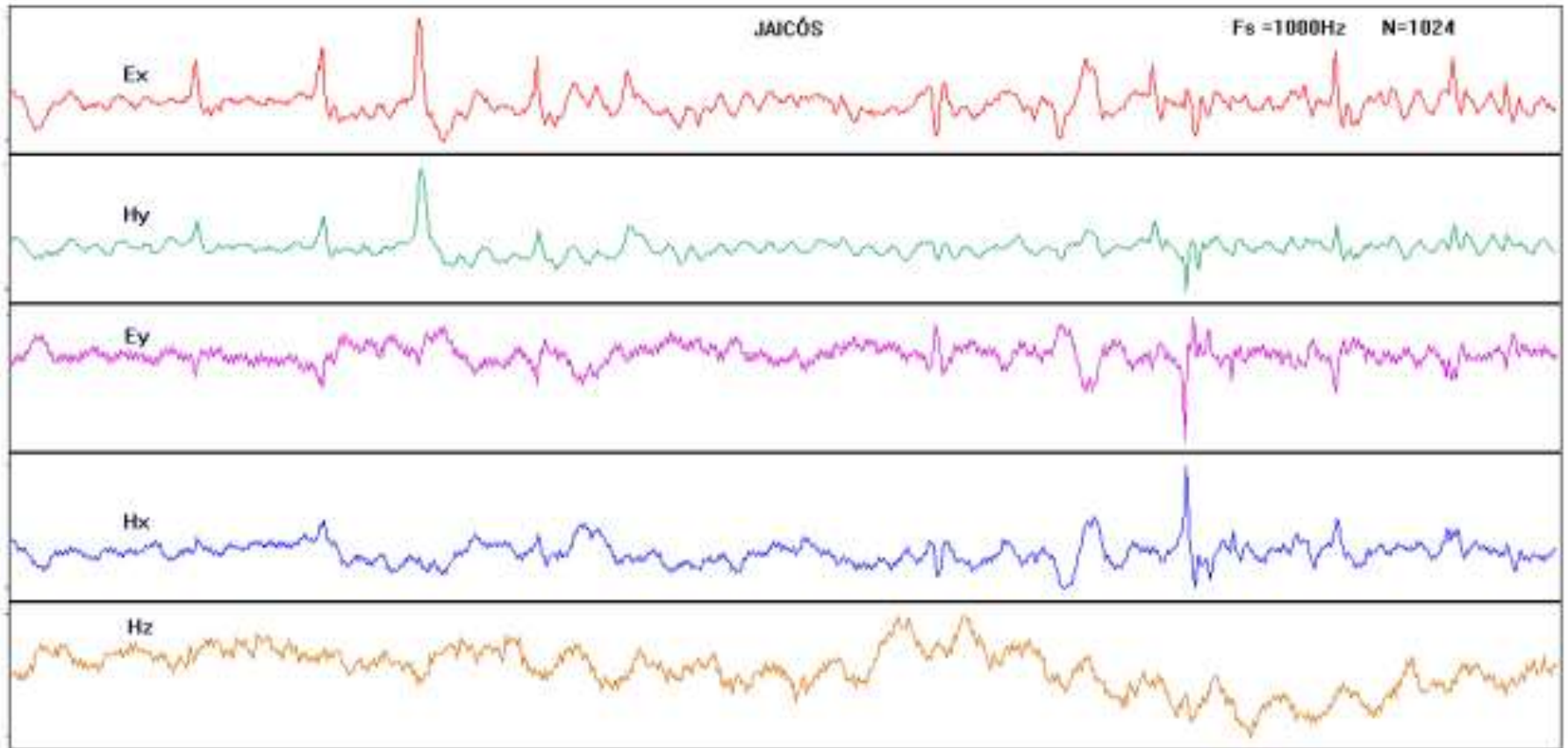


Fonte: [www.igidl.ul.pt/FMSantos/PG1-Capitulo4-Parte3.pdf](http://www.igidl.ul.pt/FMSantos/PG1-Capitulo4-Parte3.pdf)



# Métodos eletromagnéticos

## Exemplo de dados Magnetotelúricos





# Métodos eletromagnéticos

## Aquisição

MT – A variação da direção e da amplitude da fonte requer um bom tempo de aquisição (5 a 10 horas).

MT – caro

AMT – pode ser mais rápido. Tempestades e atenuação do sinal (1 a 2KHz podem degradar a qualidade dos dados).

No início da década de 70 David Strangway e Myron Goldstein – introduziram o princípio da fonte artificial.

Aumento da aquisição dos dados e melhores resultados  
CSAMT – frequência de 0,1 a 10 kHz

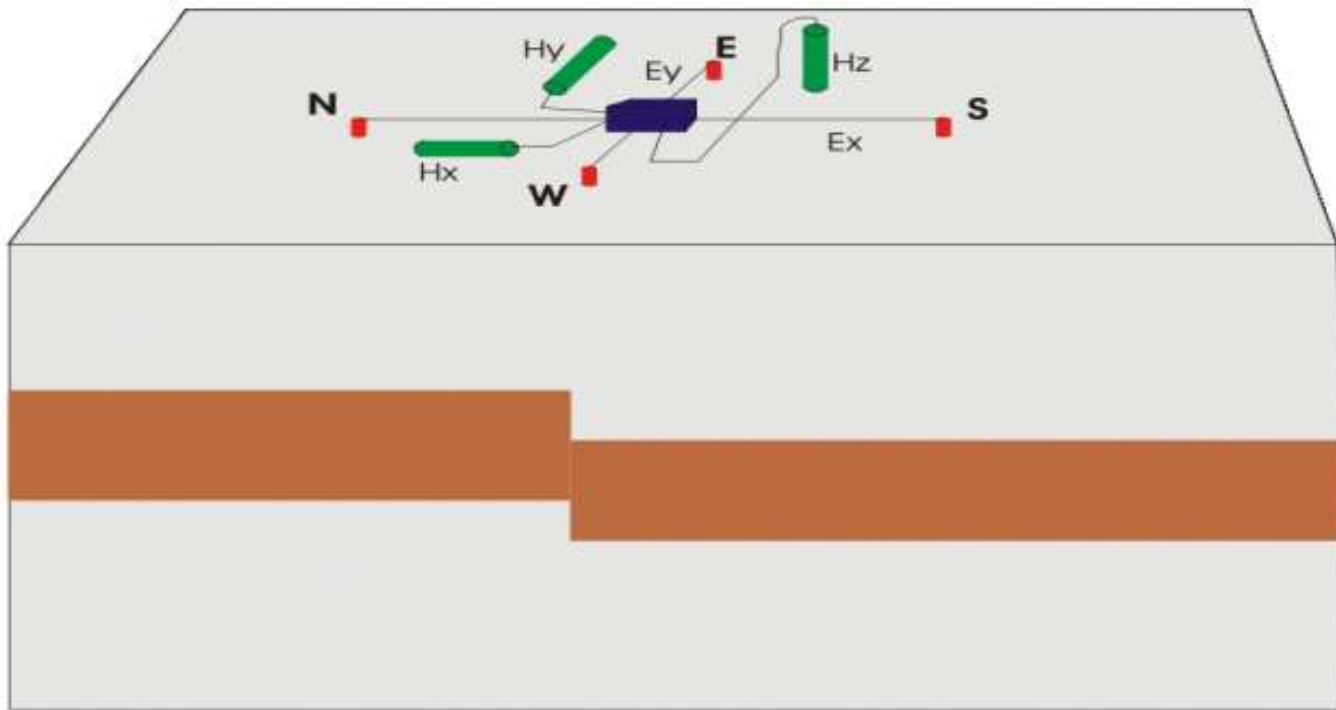
1º. Sistema comercial da Zong

David Strangway T



# Métodos eletromagnéticos

## Campos Medidos



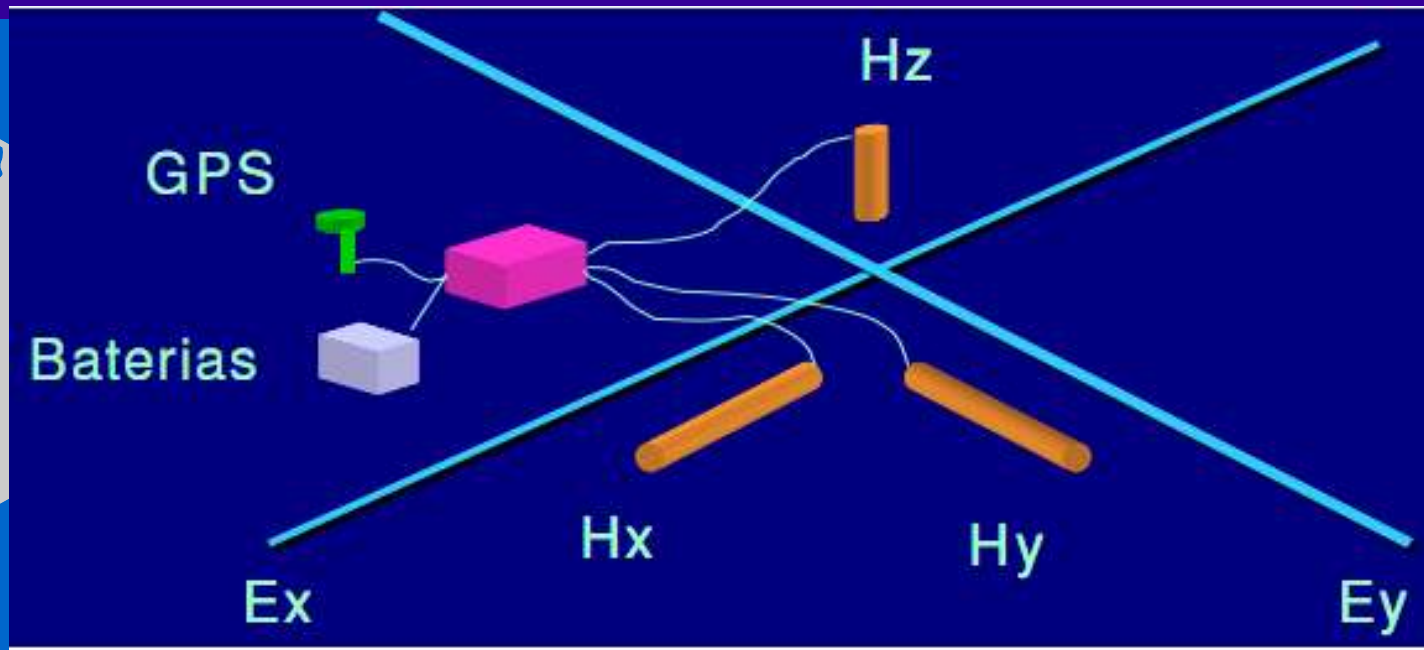
# Métodos eletromagnéticos

Campos Medidos

2 dipolos elétricos

2 sensores magnéticos + 1 vertical

5 parâmetros são medidos simultaneamente



# Métodos eletromagnéticos

Dados:

São plotados em log-log: Resistividade  $A\rho$  x Frequência ( ou período).

Para Terra UNIFORME – as componentes ortogonais diferem de  $\pi/4$ .

Se a diferença de fase não for de  $\pi/4$  indica que a subsuperfície não é uniforme.



# Métodos eletromagnéticos

## **PRINCÍPIO do método AEM**

Hipótese de Cagniard e Tikonov

Modelo da Terra estratificado

- 1 – as fontes estão suficientemente afastadas para que o campo eletromagnético incidente seja uma onda plana;
- 2 – a incidência do campo EM é vertical;
- 3 – os campos induzidos são horizontais;
- 4 – os campos E e H cumprem as equações de Helmholtz.

# Métodos eletromagnéticos

Formulação dos Parâmetros magnetotelúricos:

Formulado por Cogniard - 1953




**Impedância** - é a razão, das componentes horizontais, entre os campos elétrico e magnético.

Terra – camadas horizontais – modelo da Terra estratificada

# Métodos eletromagnéticos

Formulação – resistividade aparente

$$\rho_a = \frac{0,2}{f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 = \frac{0,2}{f} |Z|^2$$



Onde  $E_x$  (nV/km) e  $H_y$  (A/m) são as componentes horizontais dos campos elétricos e magnéticos.  
 $Z$  é a impedância

# Métodos eletromagnéticos

Formulação - Fase

$$\phi = \arctg \left[ \frac{\text{Im } Z}{\text{Re } Z} \right]$$



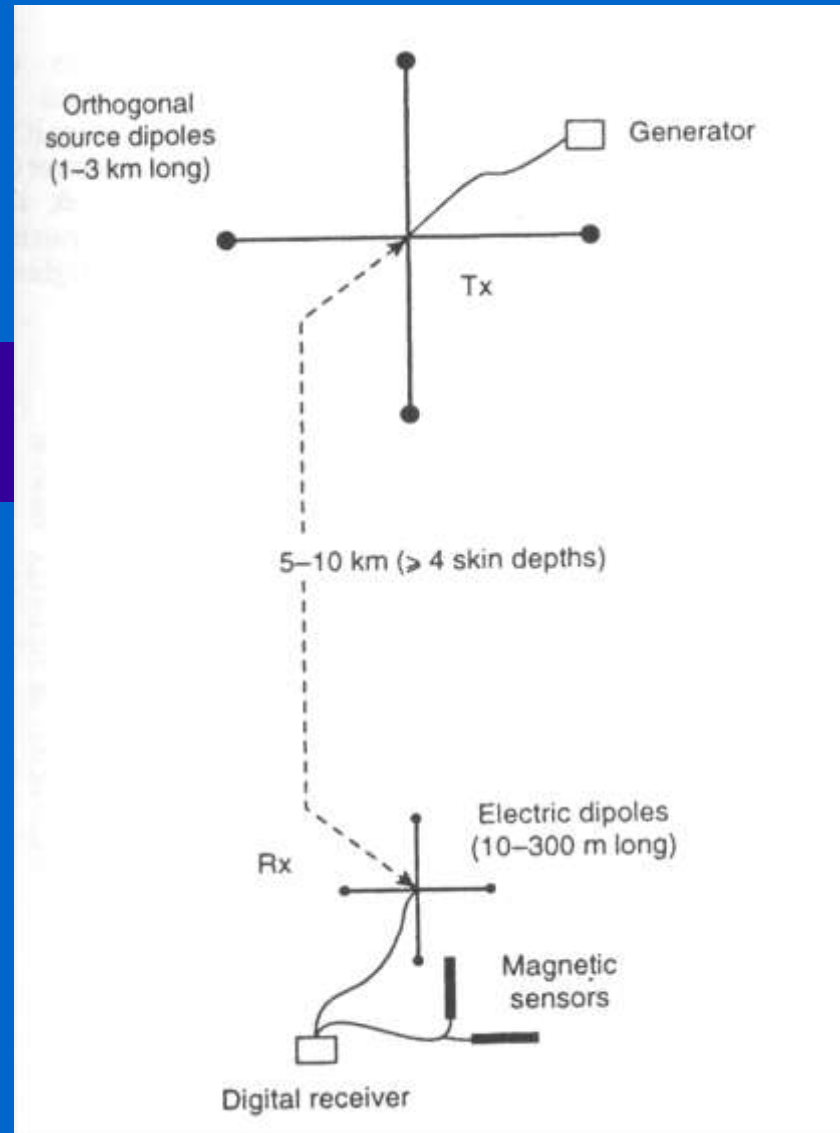


# Métodos eletromagnéticos

Fontes controladas:

Para fontes controladas MT –

Transmissor – Bobina ou dipolo (1 a 3 km)  
Configuração receptora é a mesma.



Fonte: Reynolds, 2007

# Métodos eletromagnéticos

Fontes controladas:

Transmissor

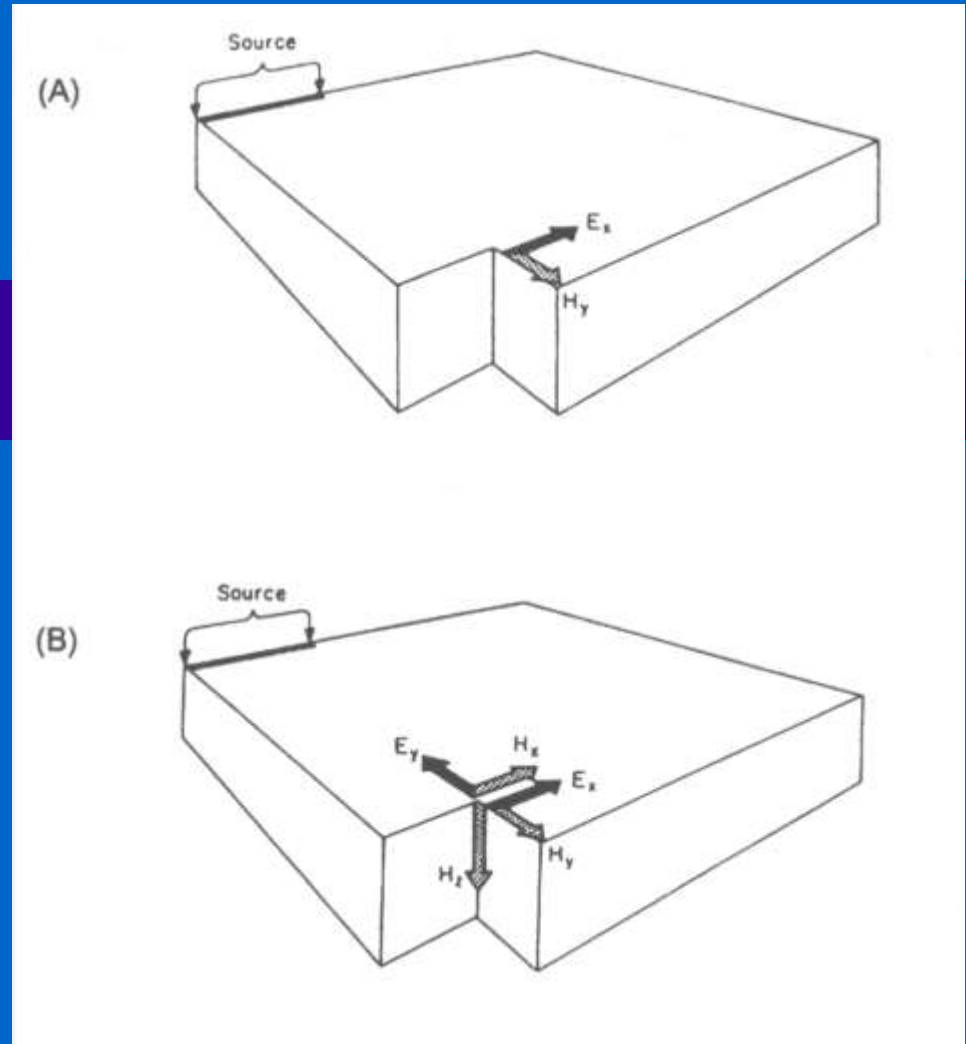
Importante:  
Localização e  
orientação da fonte e  
tem implicações na  
interpretação (estilo)

T<sub>x</sub>

# Métodos eletromagnéticos

Fontes controladas:

Variedade nas configurações

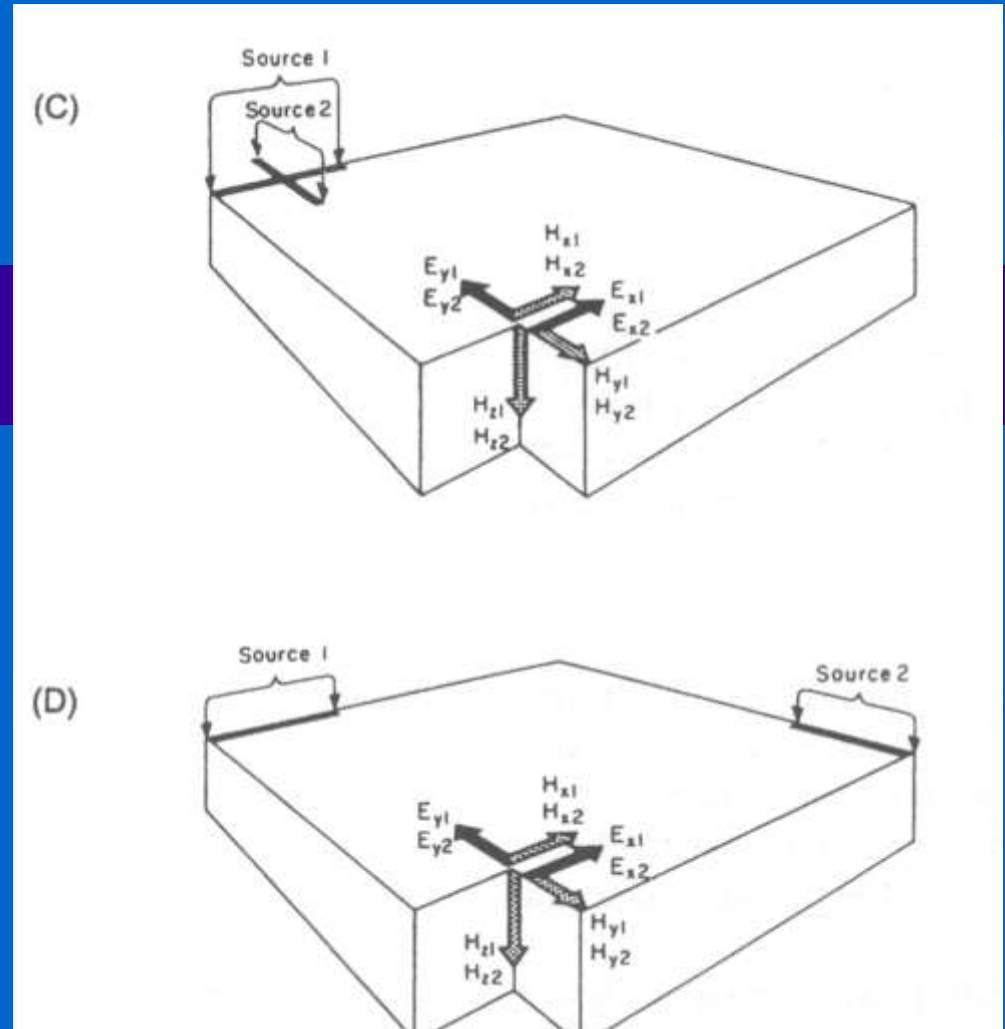


Fonte: Reynolds, 2007

# Métodos eletromagnéticos

Fontes controladas:

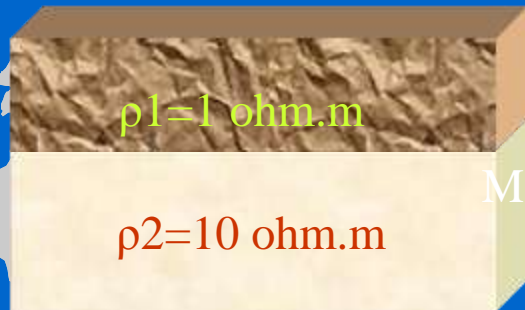
Variedade nas configurações



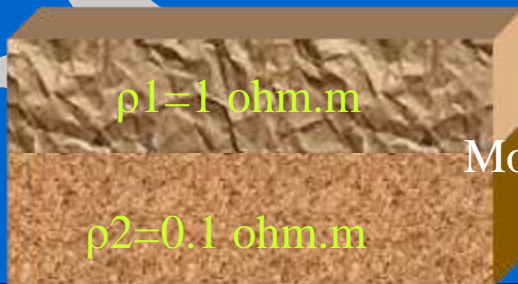
Fonte: Reynolds, 2007

# Métodos eletromagnéticos

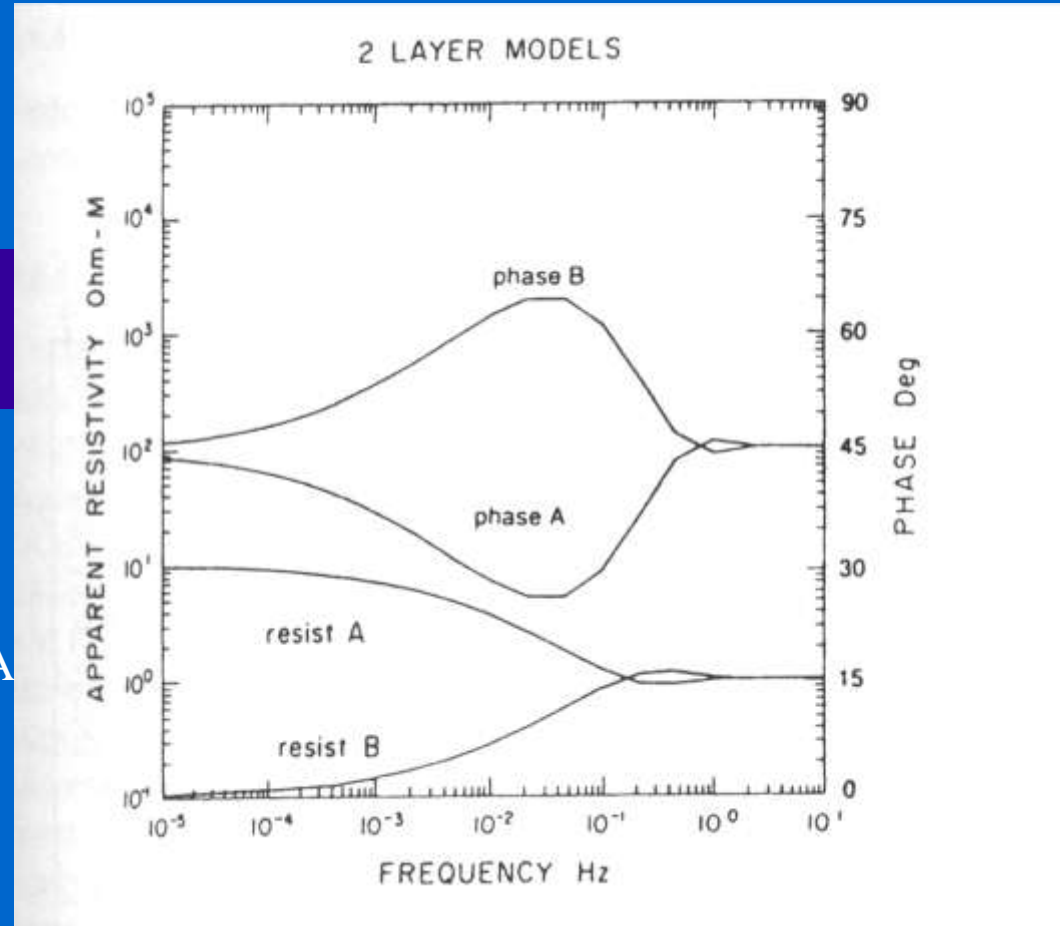
- Interpretações:
  - Feições rasas podem
  - não ser evidentes na
- diferença de fase mas  
sim na resistividade  
aparente



Modelo A



Modelo B



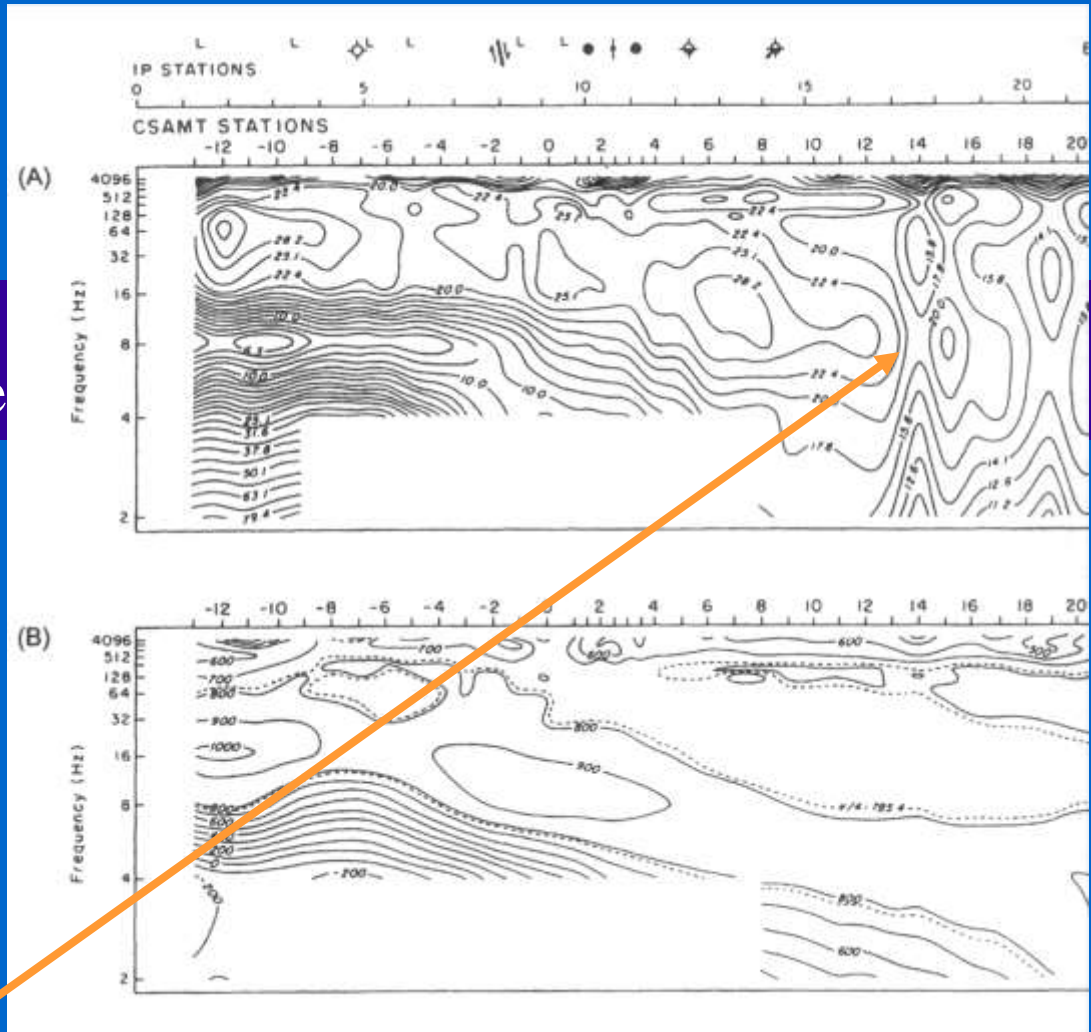
Fonte: Reynolds, 2007

# Métodos eletromagnéticos

- Aplicações :
- CSAMT
- A – resistividade

Aparente

B – diferença de fase  
(mrad).

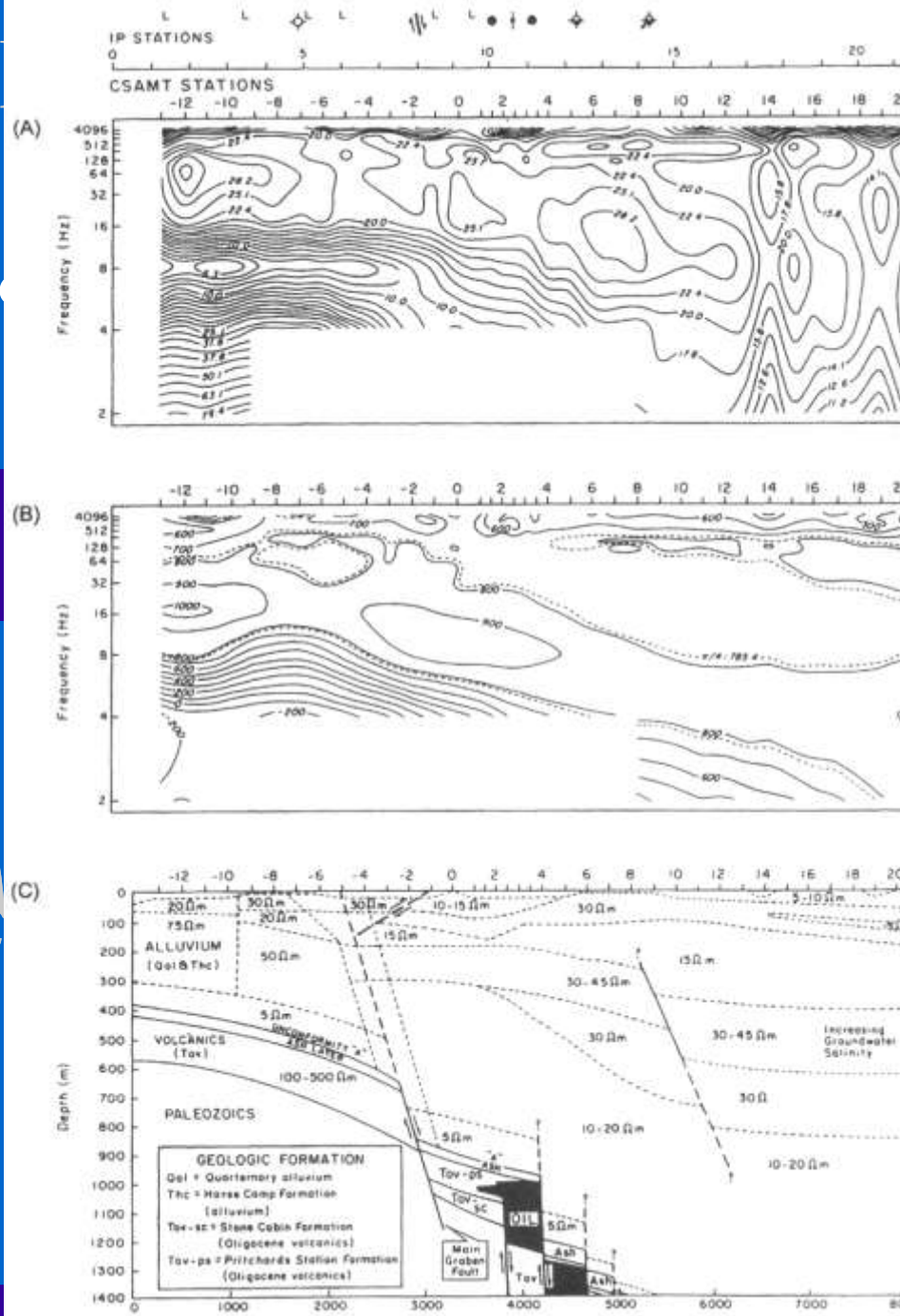


Descontinuidade lateral – margem da Bacia

Fonte: Reynolds, 2007

# Aplica

icos



Fonte: Reynolds, 2007