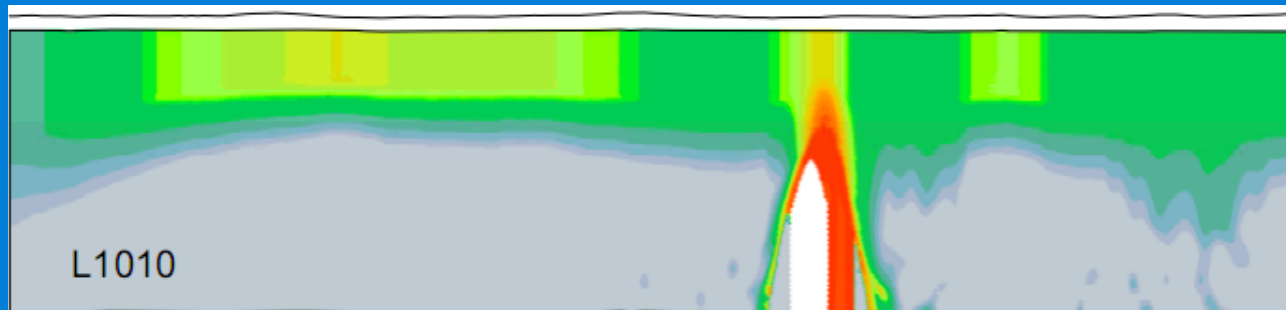


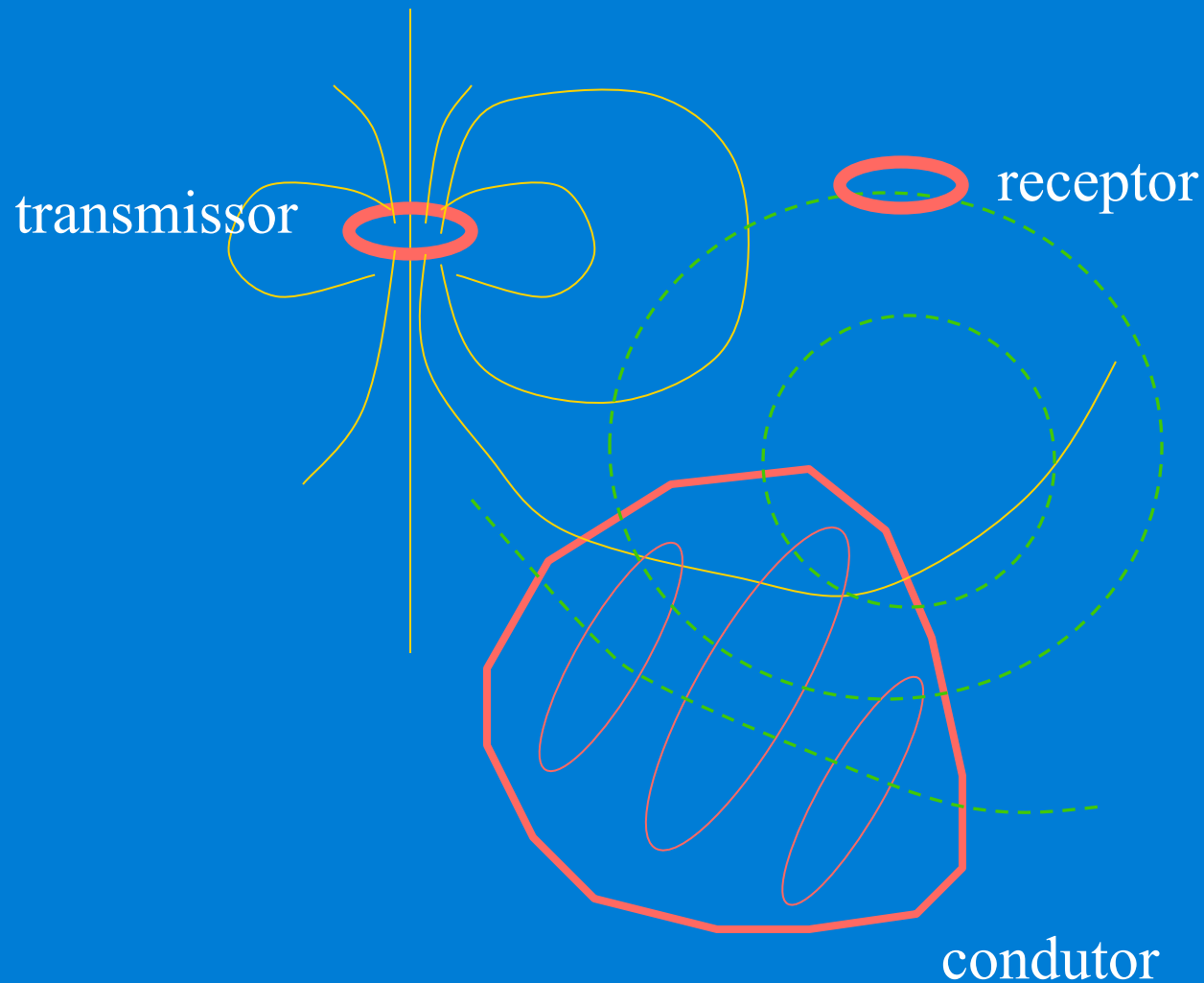
Métodos EM em exploração Mineral

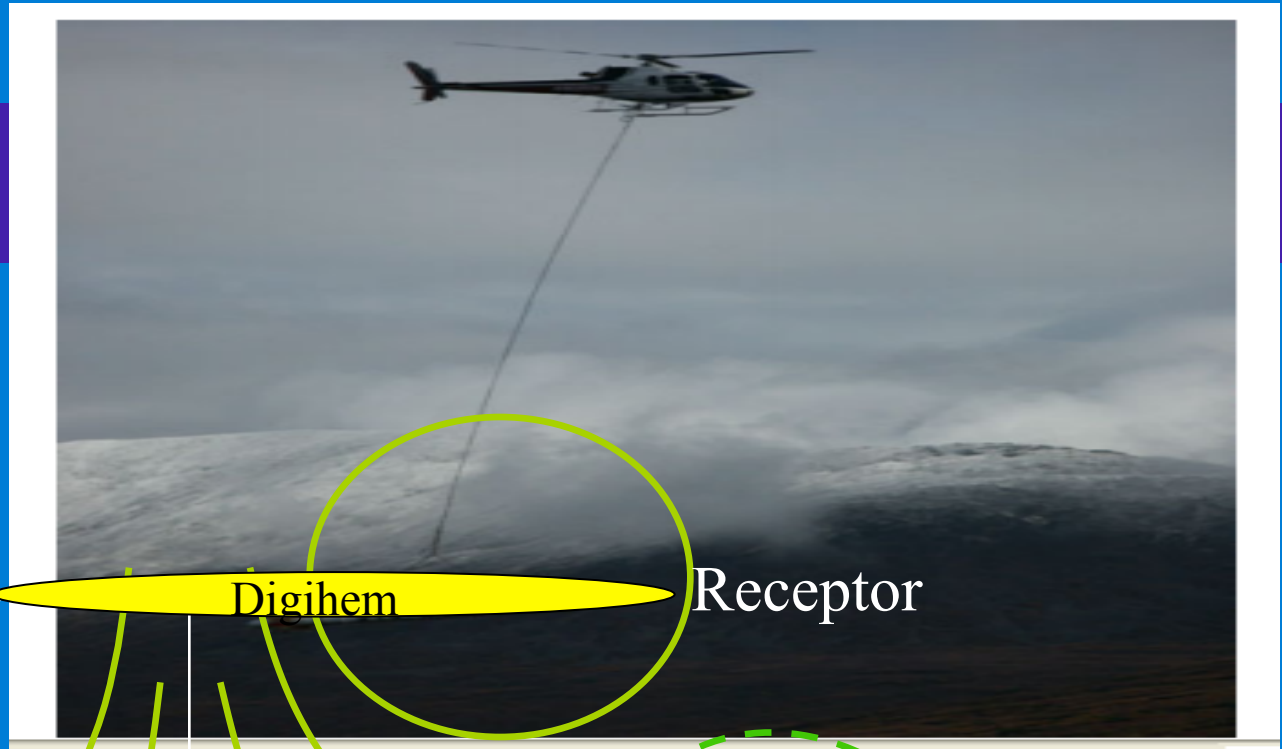
Profa. Mônica G. Von Huelsen



Métodos eletromagnéticos

PRINCÍPIO do método AEM





Transmissor

Digihem

Receptor

Campo Primário

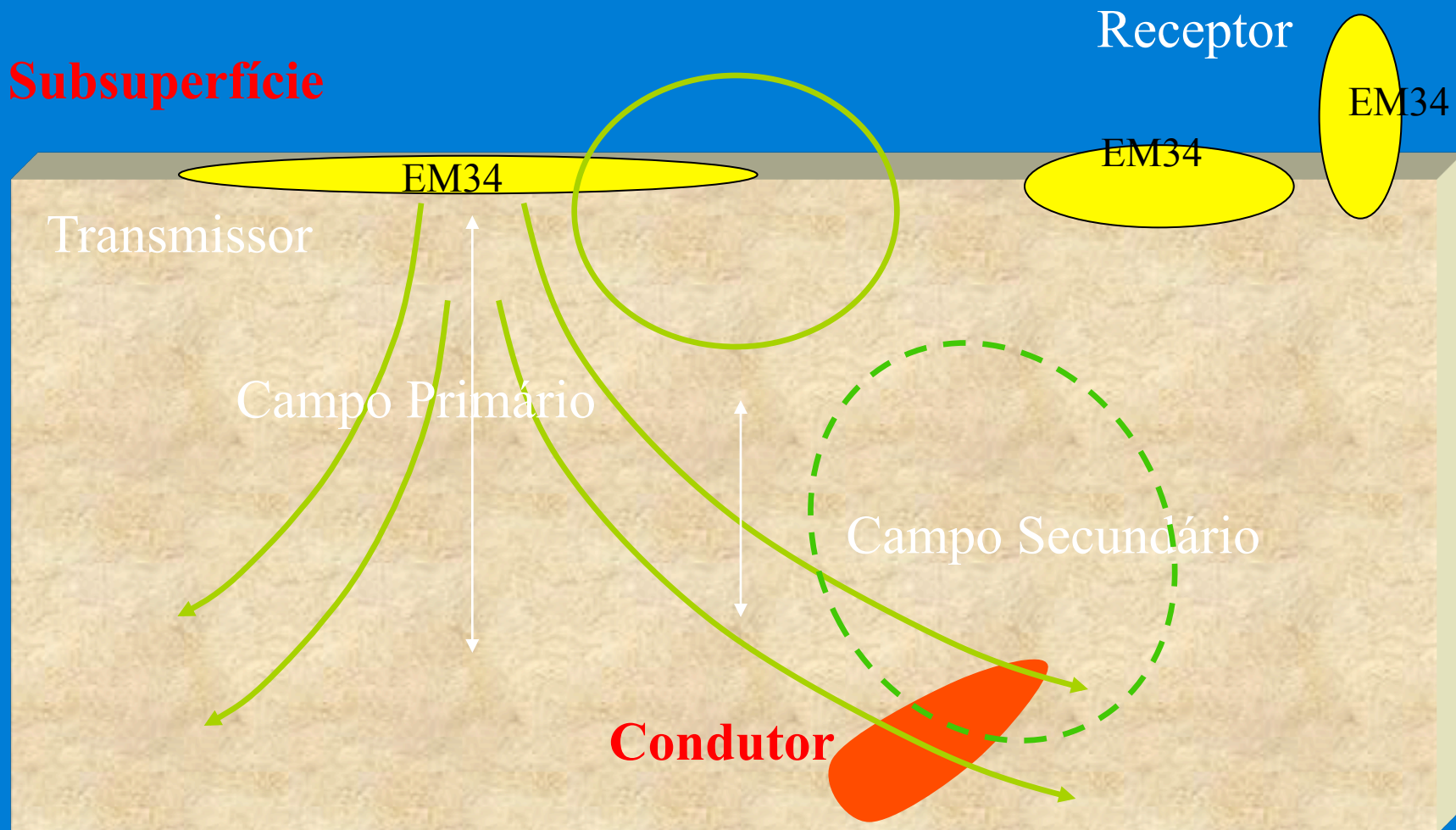
Altura do receptor
Campo Secundário

Subsuperfície

Condutor



Subsuperfície



Métodos eletromagnéticos

Configurações usuais do domínio da frequência

Máximo Acoplamento
HCP, VCP, VCA



HCP – Horizontal coplanar

PERP (perpendicular)



VCP (Vertical coplanar)



VCA (vertical Coaxial)



NULL



PAR (paralela)



H wavetilt



V wavetilt



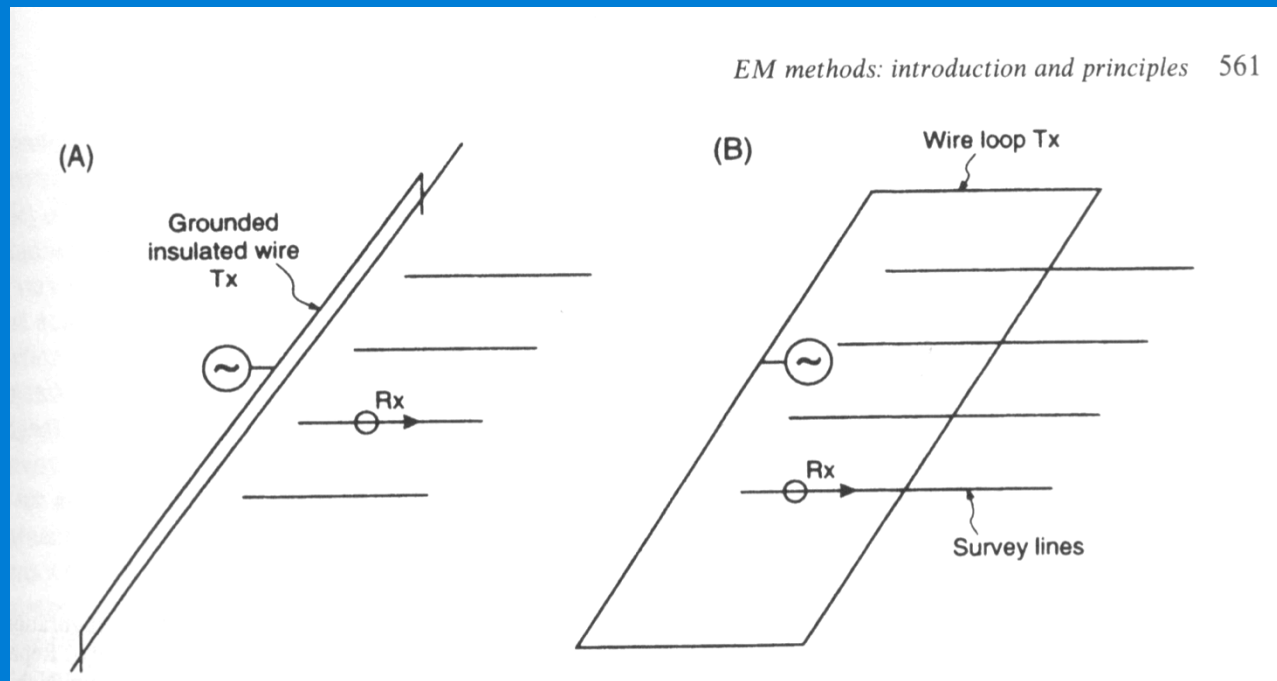
Mínimo Acoplamento:
PERP, NULL, PAR a 54,74 graus

Métodos eletromagnéticos

Configuração – método Sundberg

a) Fio de centenas de metros a kms

B) bobina 1200m x 400m



Reynolds, 1997

Métodos eletromagnéticos

Introdução e princípios

- BOREHOLE
- Terrestre
- aéreo
- navegáveis

Métodos eletromagnéticos

Introdução e princípios

- Vantagem – não requer contato direto com o chão.
- Levantamento é realizado com maior velocidade

-
-
-

Métodos eletromagnéticos

Introdução e princípios

- Exploração mineral
- Hidrocarbonetos
- Engenharia
- Hidrogeologia
- Fontes geotermal
- Mapeamento geológico

Métodos eletromagnéticos

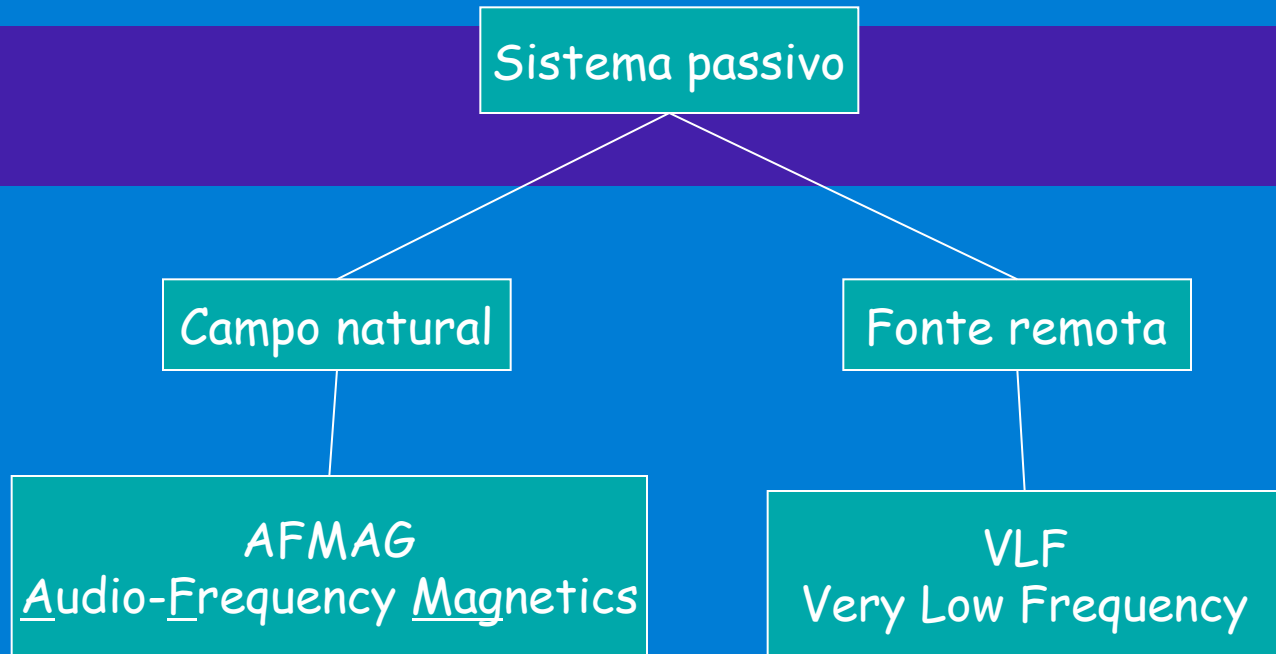
Introdução e princípios

tipos de sistemas:

- TEM
- FEM
- Sistema Passivo: correntes magnetotélúricas (correntes naturais);
- Sistema Ativo: Transmissor artificial.

Métodos eletromagnéticos

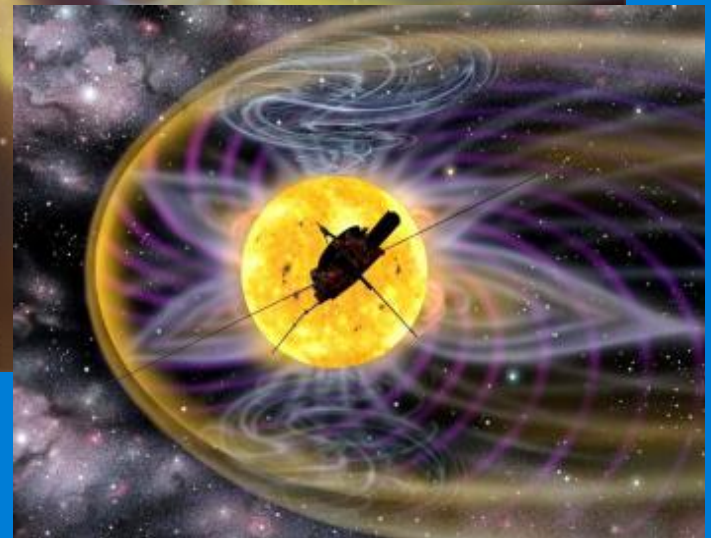
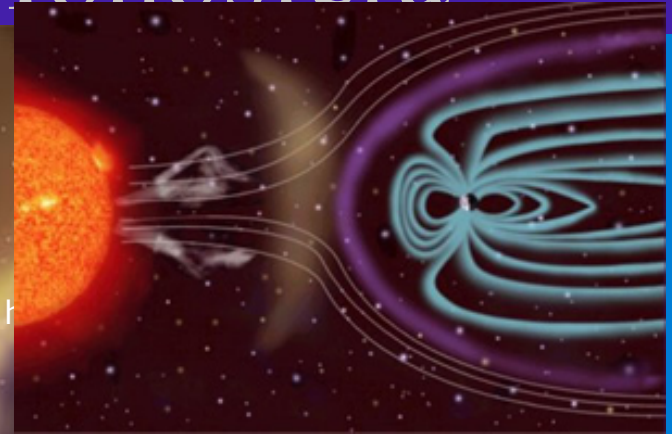
Classificação do Método EM



Métodos eletromagnéticos

Magnetosfera e Ionosfera

- 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.

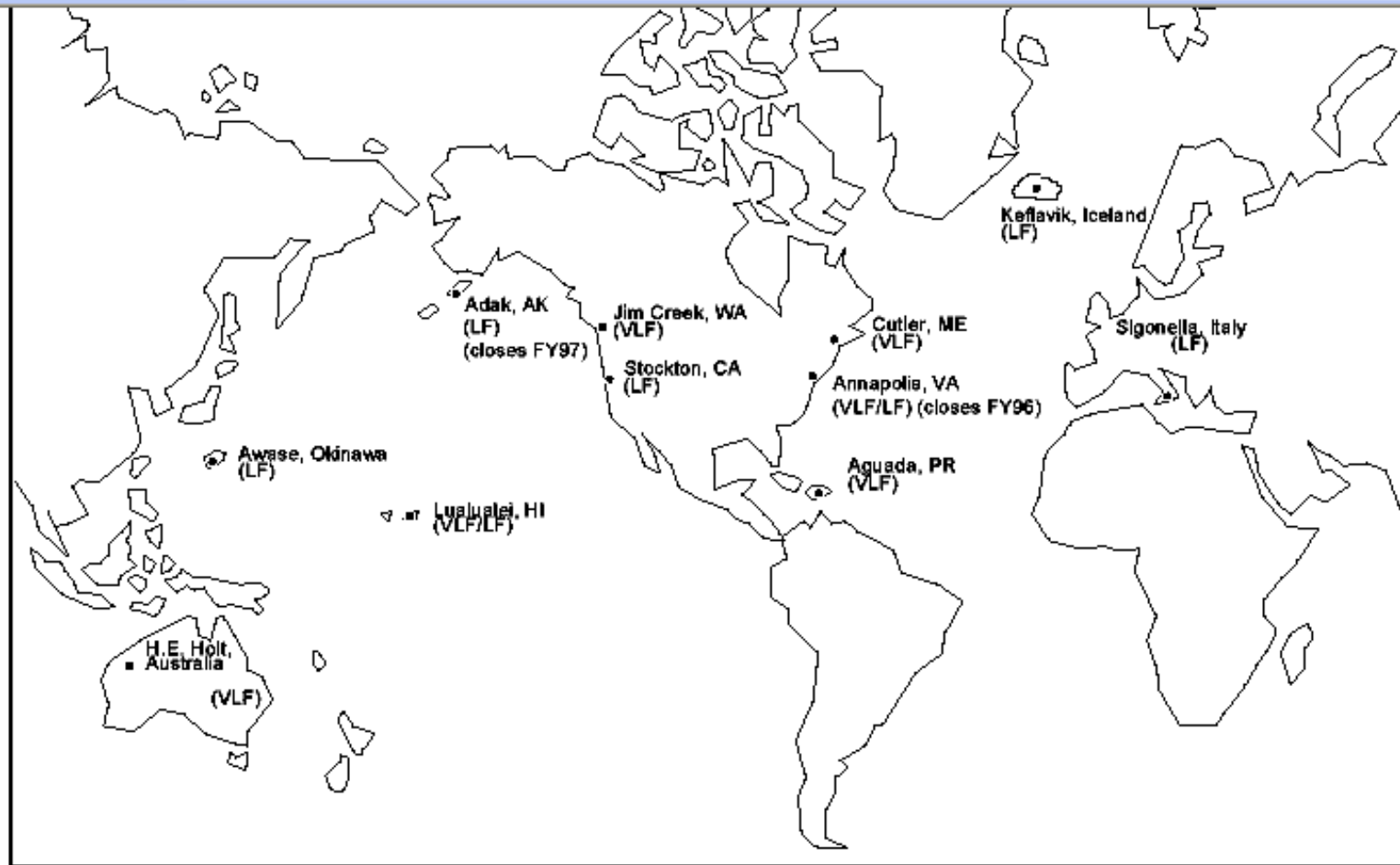


•
•
•

Métodos eletromagnéticos

- VLF – very low frequency
- 3kHz a 30 kHz
- 11 transmissores para comunicação militar

Métodos eletromagnéticos



Very Low Frequency/Low Frequency Site Locations

-
-
-

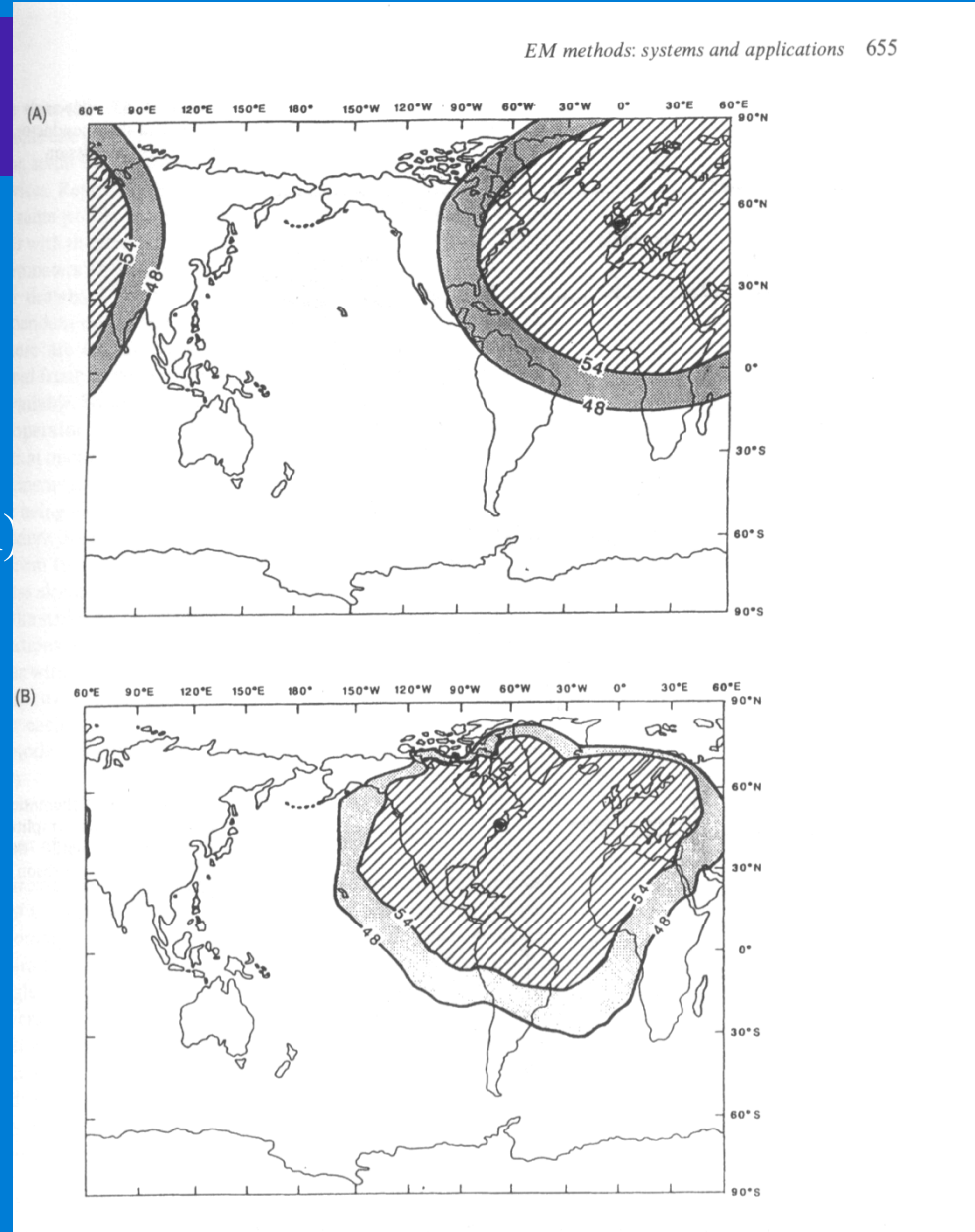
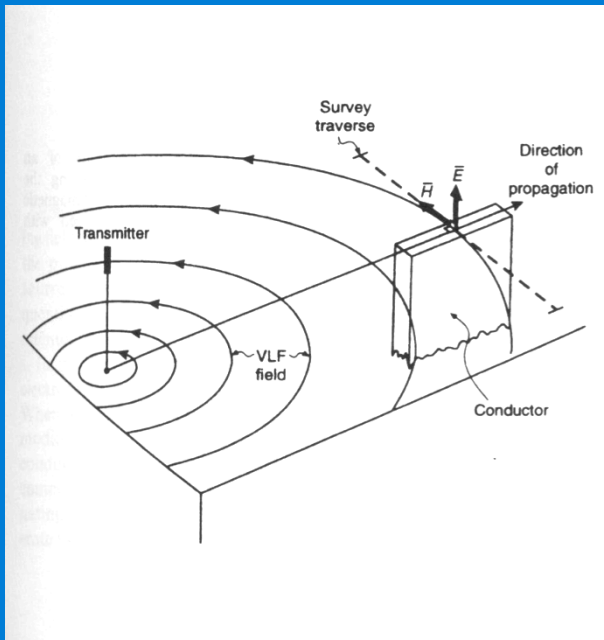
Métodos eletromagnéticos

- Antena transmissora

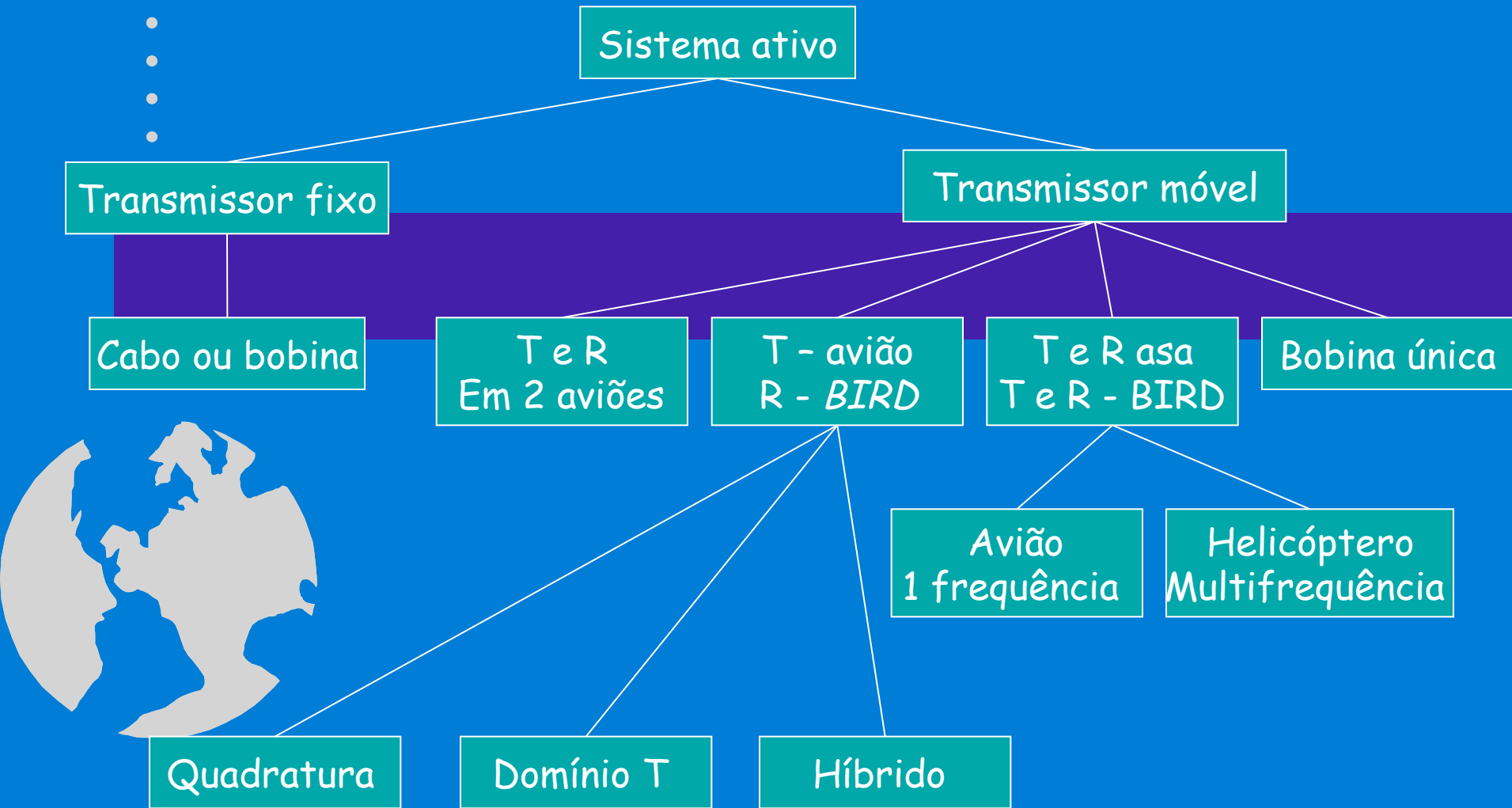


Métodos eletromagnéticos

- Linhas de contorno
- - transmissores VLF
- A)GBR (UK)
- B)NOAA – National Oceanic
- atmosferic administration (USA)



Métodos eletromagnéticos

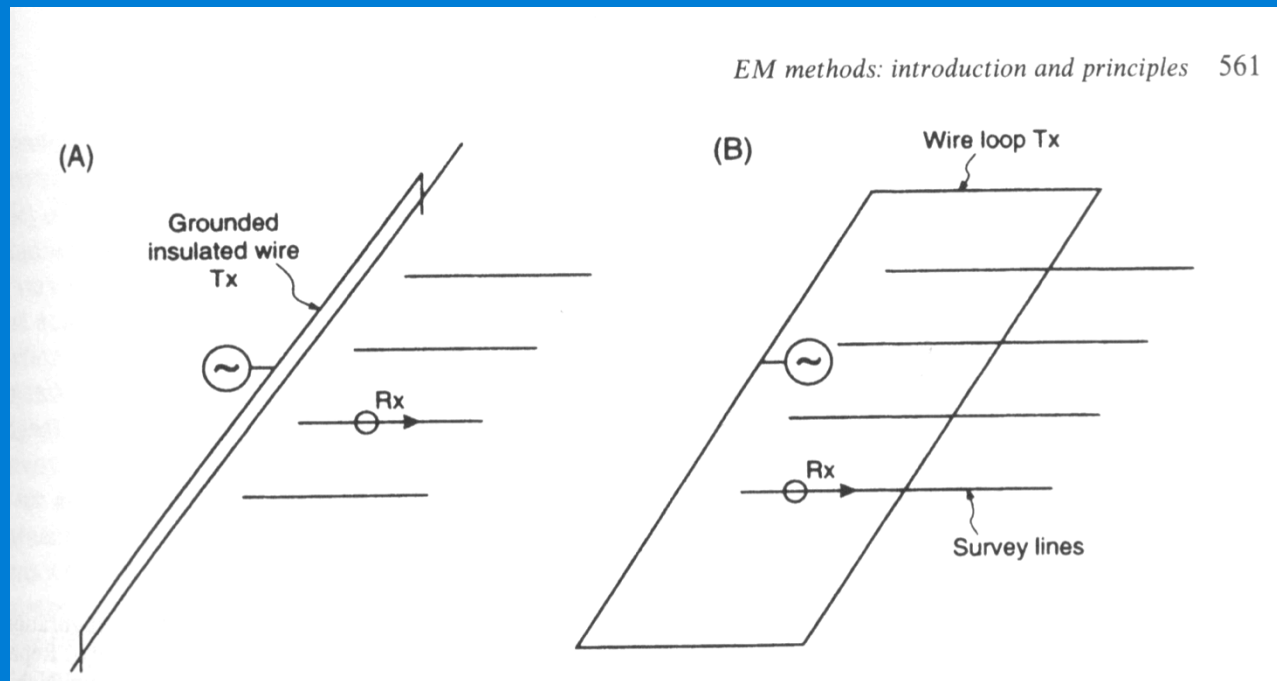


Métodos eletromagnéticos

Configuração – método Sundberg

a) Fio de centenas de metros a kms

B) bobina 1200m x 400m

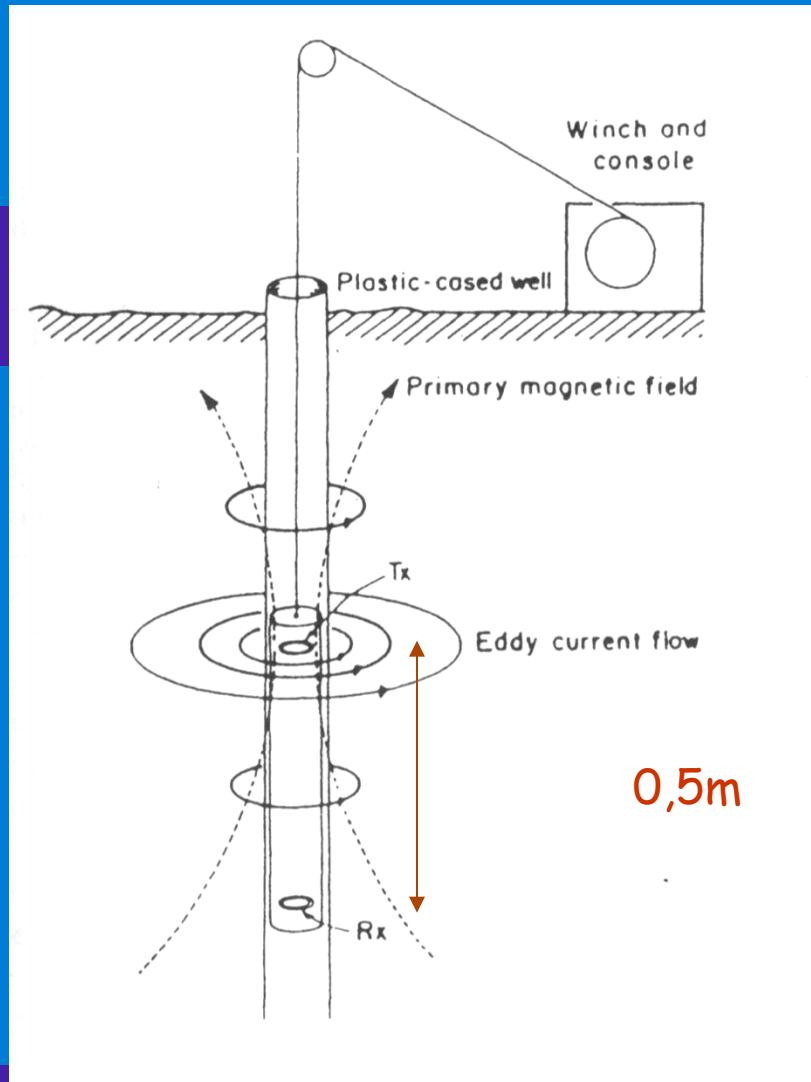


Reynolds, 1997

Transmissor e receptor - terrestre



Sistemas Borehole (sondagem)



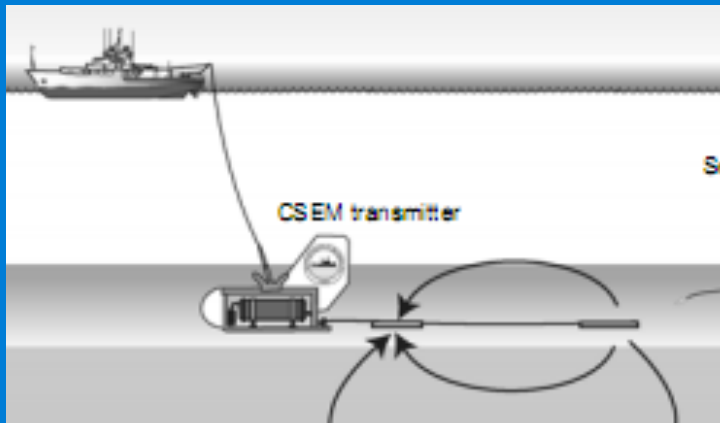
5 a 20 cm de diâmetro

Reynolds, 1997

-
-
-

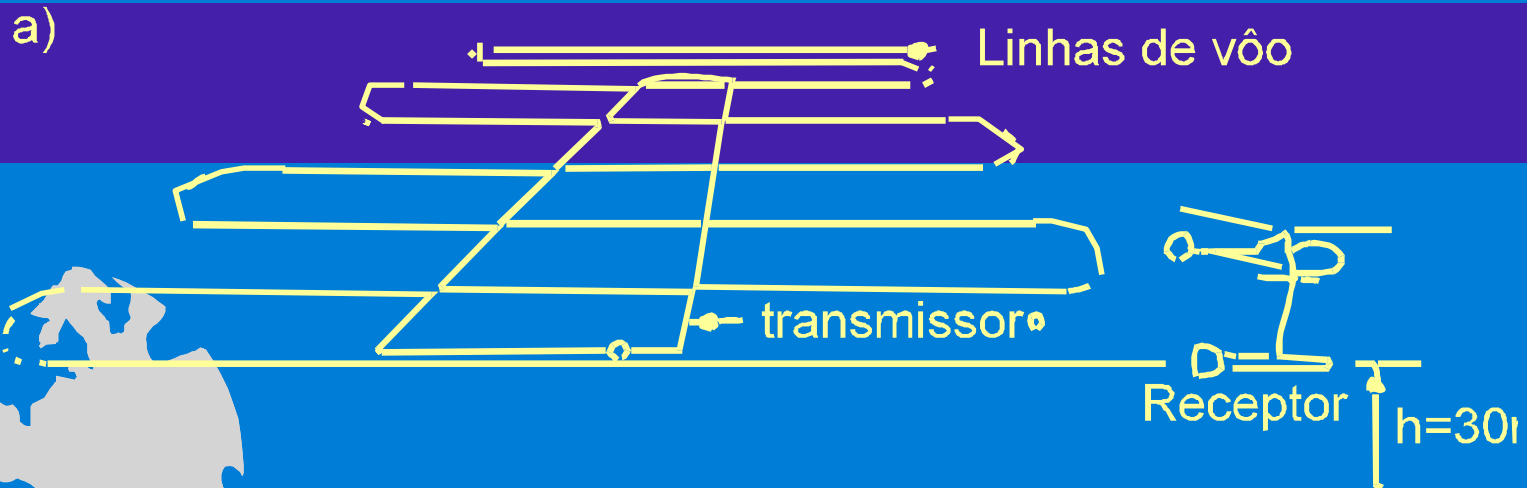
Perfilagem eletromagnética de fonte controlada

- Equipamentos utilizados:
- Gerador eletromagnético de fonte controlada

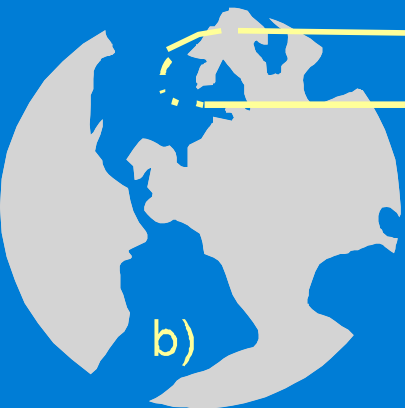


T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Sistema Ativo
Transmissor fixo



b)



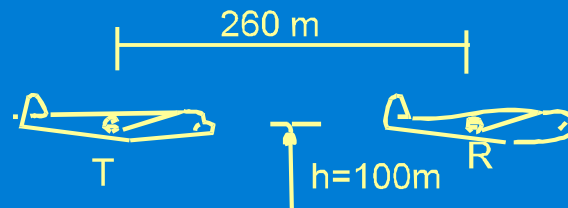
...

T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

b)

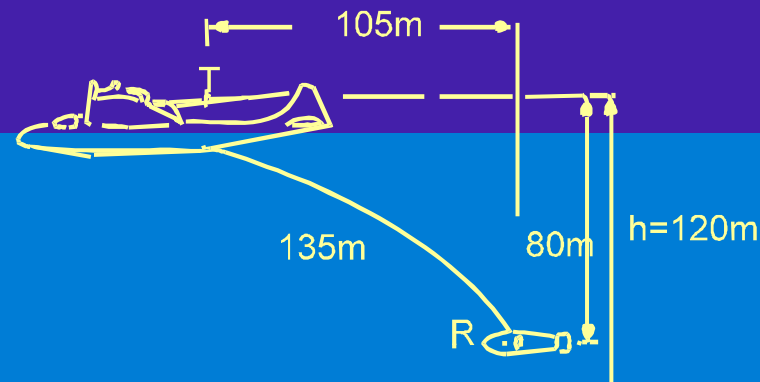
Sistema Ativo
Transmissor móvel

1 - duas aeronaves



c)

2 - T – avião R no bird

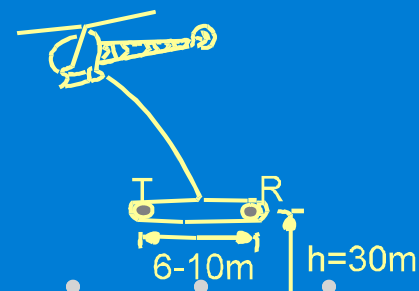
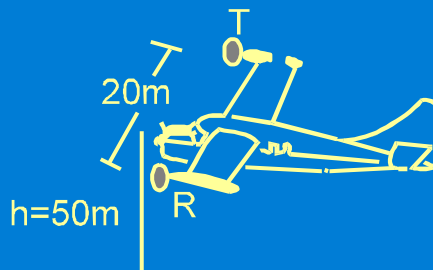


3 - T e R nas asas ou no Bird

d)

Wing Tip

Helicóptero



- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Sistema VTEM – loop de 26m de diâmetro



Métodos eletromagnéticos

Os levantamentos e.m. não requerem contacto físico do receptor/emissor com o solo, podendo ser feitos de avião.

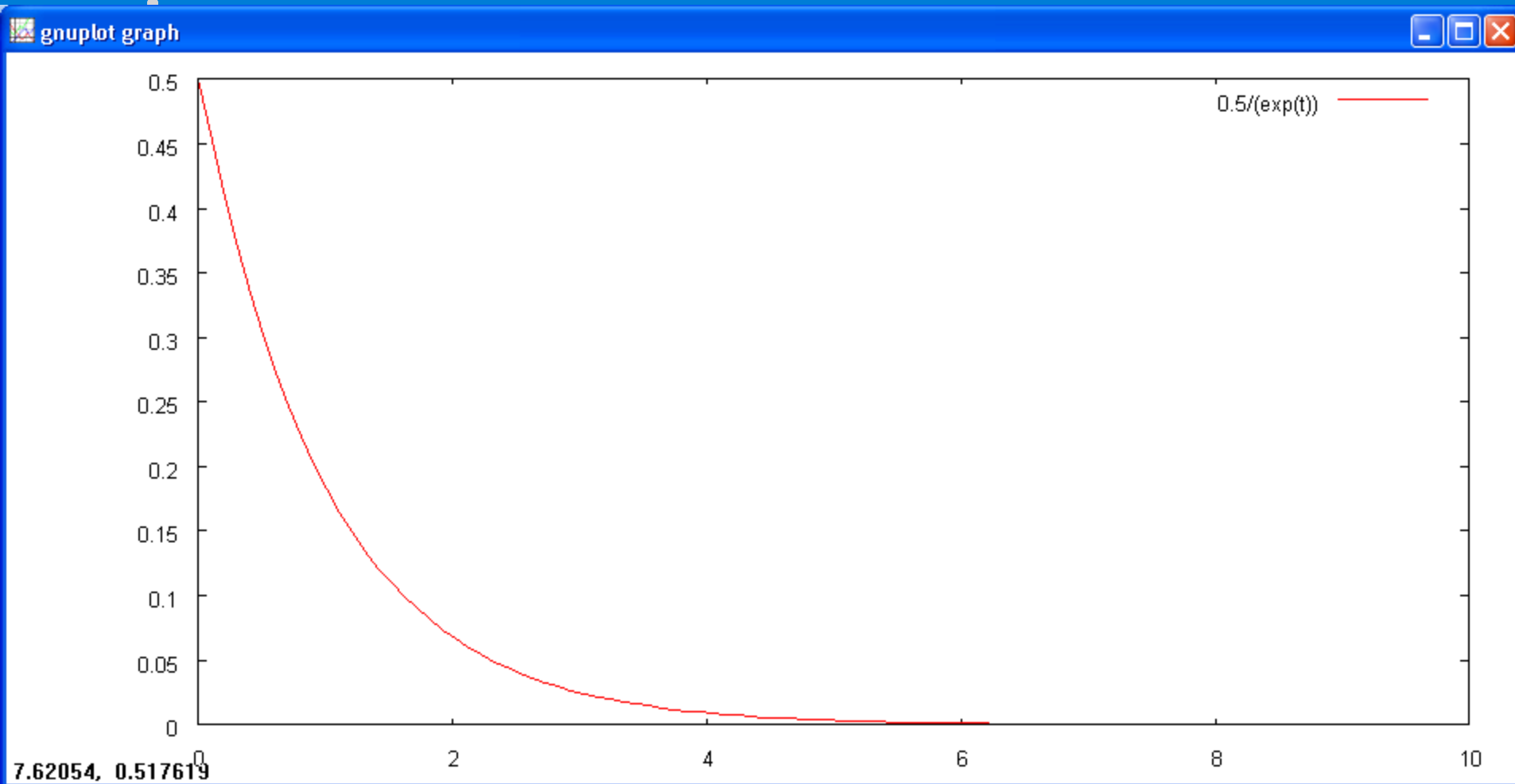
A profundidade de penetração de uma onda electromagnética depende

- da sua frequência
- da condutividade eléctrica ($\sigma=1/\rho$) do meio

A profundidade de penetração, d , pode ser definida como a profundidade para a qual a amplitude do campo, A_z , decresce por um factor $1/e$ (comparada com a amplitude à superfície, A_0):

$$A_z = A_0 e^{-1}$$

Métodos eletromagnéticos



A_0 :

$$Az = A_0 e^{-1}$$

Métodos eletromagnéticos

A profundidade de penetração é aproximadamente dada por :

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} = 503 \left(\frac{1}{f \sigma} \right)^{1/2}$$

($\omega = 2\pi f$; $\sigma = \text{S m}^{-1}$; $f = \text{Hz}$; $\mu = 1 = \text{permeabilidade magnética}$)

A maioria dos instrumentos não vai abaixo dos 100 Hz, e as frequências na banda 800-7000 Hz são as mais utilizadas



Métodos eletromagnéticos

A profundidade de penetração é aproximadamente dada por :

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} = 503 \left(\frac{1}{f \sigma} \right)^{1/2}$$

($\omega = 2\pi f$; $\sigma = \text{S m}^{-1}$; $f = \text{Hz}$; $\mu = 1 = \text{permeabilidade magnética}$)

Resistividade: 10 ohm.m

Condutividade: $\sigma = 1/10 = 0,1 \text{ S/m}$

$f_1 = 100 \text{ Hz}$ e $f_2 = 5000 \text{ Hz}$

F1 Profundidade = $503(1/(100 \cdot 0,1))^{1/2} = 159 \text{ m}$

F2 Profundidade = $503(1/(5000 \cdot 0,1))^{1/2} = 22 \text{ m}$

Resistividade Geológica

Prata nativa $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$

Enxofre puro $1 \cdot 10^{16} \Omega\text{m}$

Ígnea

$> \rho$

Matamórfica

Sedimentar

$< \rho$

Idade

- Rocha vulcânica quaternário
10-200 Ωm
- Mesma Pré Cambriano ($\rho >$)
- Antiga – susceptível a processos de mineralização e compactação (interstícios). DIMINUINDO permeabilidade e porosidade

Resistividade de material

Material	Resistividade (Ωm)
<i>Sulfetos</i>	
Calcopirita (semi cond)	$1,2 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-1}$
Pirita (semi cond)	$2,9 \cdot 10^{-5} - 1,5$
Pirrotita (semi cond)	$7,5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-2}$
Galena (semi cond)	$3 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^2$
Esfalerita (Diel.)	$5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-2}$
Óxidos	$1,5 \cdot 10^7$
Hematita (Diel)	$3,5 \cdot 10^{-3} - 10^7$
Limonita	$10^3 - 10^7$
Magnetita	$5 \cdot 10^{-5} - 5,7 \cdot 10^3$
Ilmenita	$10^{-3} - 5 \cdot 10$
Xisto (calcáreo e mica)	$20 - 10^4$
Xisto (grafite)	$10 - 10^2$
Ardósia	$6 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^7$
Marble	$10^2 - 3,5 \cdot 10^8$
Folhelho	$20 - 2 \cdot 10^2$
Conglomerado	$2 \cdot 10^3 - 10^4$
Arenito	$1 - 7,4 \cdot 10^8$
Calcário	$5 \cdot 10 - 10^7$
Dolomita	$3 \cdot 5 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^3$

Material	Resistividade (Ωm)
Mars	3 – 70
Argila	1 – 100
Aluvião e areia	10 – 800
Moraine	10 – $5 \cdot 10^3$
Arenito Sherwood	100 – 400
Solo (40% argila)	8
Solo (20% argila)	33
Solo	250 – 1700
Argila London	4- 20
Argila lias	10 – 15
Argila bouder	15 – 35
Argila (seca)	50-150
Lamito-Mercia	20 –60
Carvão/argila	50
Carvão	100
Chalk	50 – 150
Coke	0,2 – 8
Pedregulho (seco)	1400
Pedregulho (saturado)	100
Areia (Quaternário)	50 – 100

Resistividade de material

Minerais metálicos $T=0^{\circ}\text{C}$

Material	Resistividade (Ωm)
Alumínio	$2,5 \times 10^{-8}$
Titânio	$15,3 \times 10^{-8}$
Cobalto	$6,3 \times 10^{-8}$
Níquel	$6,35 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,6 \times 10^{-8}$
Zinco	$1,5 \times 10^{-8}$
Prata	$2,0 \times 10^{-8}$
Ouro	

Resistividade de material

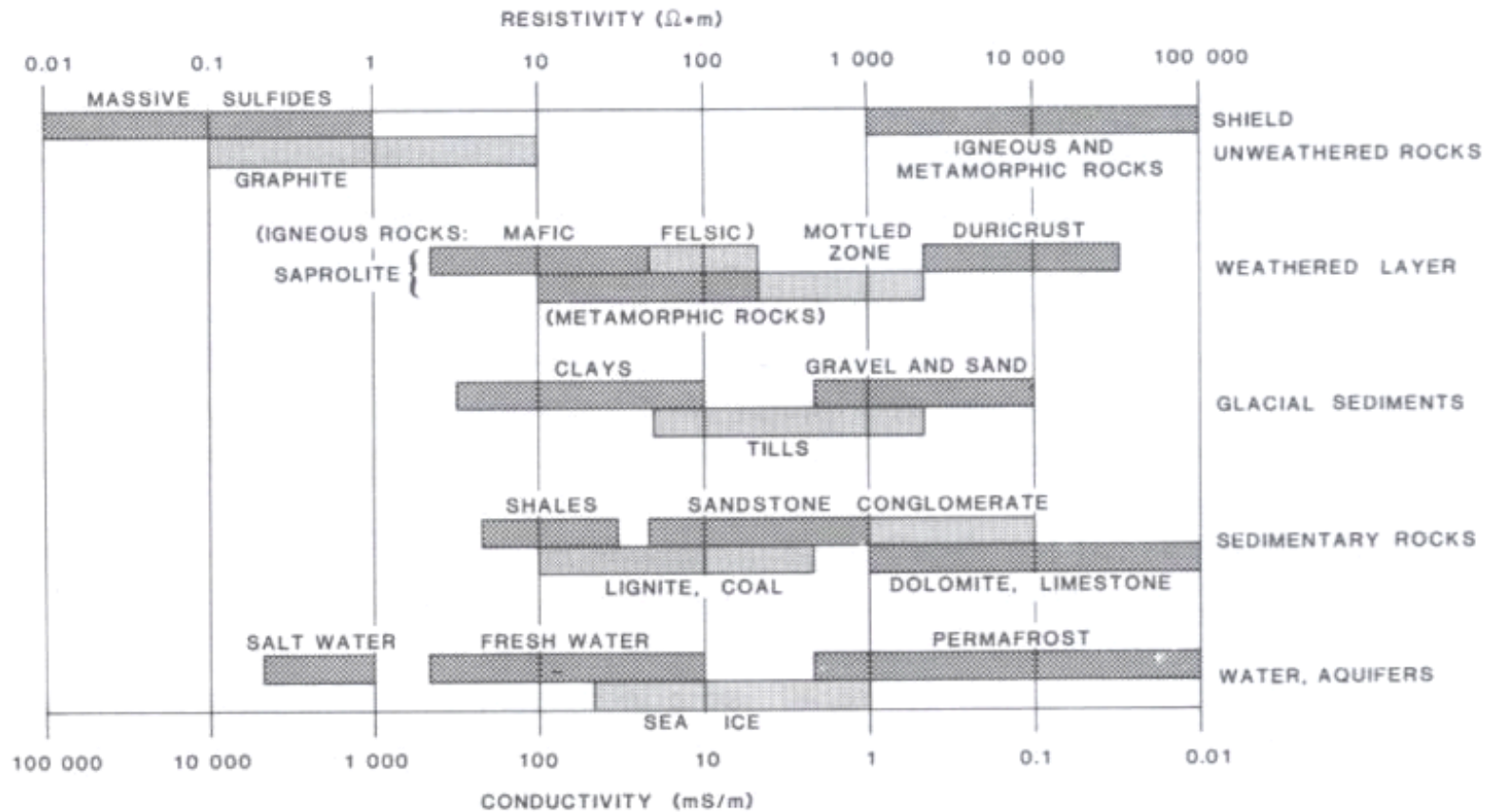


FIG. 2. Typical ranges of resistivities of earth materials.

Métodos eletromagnéticos

- Aplicações e casos Históricos

