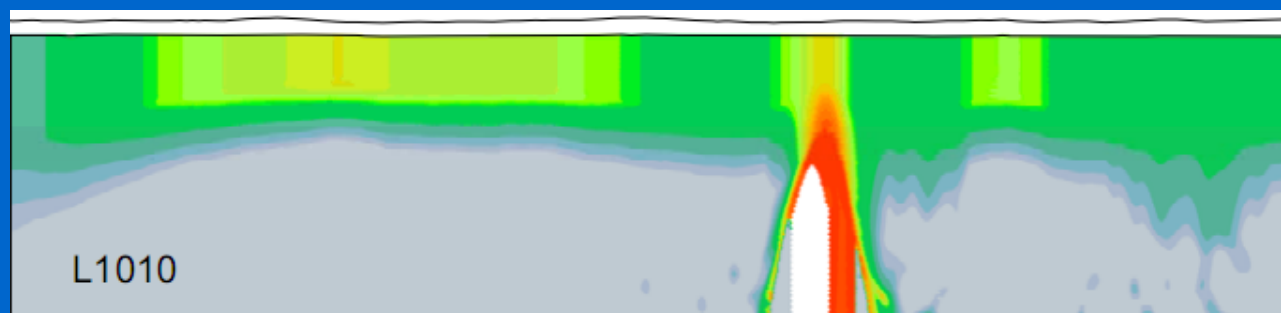


# Métodos EM em exploração Mineral

Profa. Mônica G. Von Huelsen



•  
•  
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico  
•

*Bibliografia:*

•  
Livros:  
•  
•  
•

An Introduction to Applied and Environmental Geophysics  
(Paperback)

by John M. Reynolds (Author)

Applied Geophysics

by W. M. Telford (Author), L. P. Geldart (Author), R. E. Sheriff

Electromagnetic Methods Vol.1: Theory (Investigations in  
Geophysics Series No. 2)

by Misac N. Nabighian (Author), M. N. Nabighian (Editor)

Electromagnetic Methods Appl Geophys., Vol 2 (Investigations in  
Geophysics, No. 3)

by Misac N. Nabighian (Editor)

•  
•  
T  
•

## jet

- 
- 
- 
- 

•

**Fundamentação teórico-prática**  
**Planejamento, aquisição e processamento de dados de**  
**eletromagnetometria terrestre.**

## Planejamento, aquisição e processamento de dados de eletromagnetometria terrestre.

**Pré-Requisitos:** a princípio não há

**Conteúdo: Histórico da EM aplicada. Conceitos básicos do método eletromagnético, o sinal EM e as diversas geometrias de campo, EM aplicado, exemplos históricos.**

**Metodologia:** Aula expositiva, utilização de recursos multimídia, campo e processamento

# T



- 
- 
- Método eletromagnetométrico
- 
- 
- 

*No. de créditos (aula): 4*

*Carga horária total: 60 h*

**Tipo: semestral**

*Docente responsável:* Dra. Mônica G. Von  
Huelsen

*Atividade/ Método*

*Provas /exercícios*

*Aulas teóricas*

- 
- 
- Método eletromagnetométrico
- 
- 
- 

*Programa:*

Introdução

Fundamentos Teóricos

Princípios e aquisição de dados

Processamento

Dados no domínio da Frequência

Dados no domínio do tempo

Exemplos e

Aplicações



- 
- 
- Método eletromagnetométrico
- 
- 
- 

*Ementa:*

Introdução e conceitos

Fundamentos Teóricos

Levantamentos Magnetotelúricos

Levantamentos Eletromagnéticos

Domínio da Frequência

Domínio do Tempo

Aerolevantamentos

Exemplos e Aplicações



•  
•  
•  
•  
Método eletromagnetométrico

•  
•  
*Bibliografia:*

•  
•  
Livros:

•  
•  
An Introduction to Applied and Environmental Geophysics  
(Paperback)

by (Author)

Applied Geophysics

by W. M. Telford (Author), L. P. Geldart (Author), R. E. Sheriff

Electromagnetic Methods Vol.1: Theory (Investigations in  
Geophysics Series No. 2)

by Misac N. Nabighian (Author), M. N. Nabighian (Editor)

Electromagnetic Methods Appl Geophys., Vol 2 (Investigations in  
Geophysics, No. 3)

by Misac N. Nabighian (Editor).

Three Dimensional Electromagnetics, Oristaglio, M; Spies, B.(  
Geophysical Developments no.7



# Método eletromagnetométrico

## Artigos

- ANNAN, R. S. & ANNAN, A.P. 1997. Advances in airborne time-domain EM technology. *Electrical and Electromagnetic methods*, paper 64, 498-504.
- COLLET, L.S. 1986. Development of the airborne electromagnetic technique. In: PALACKY, G.J. ed. *Airborne resistivity mapping*. *Geol. Survey Can Paper* 86-22, 9-18.
- ELLIOT, P. 1998. The principles and practice of FLAIRTEM. In: Exploration Geophysics. *The Bulletin of the Australian Society of Exploration Geophysicists*, **29**: 58, 60.
- FILTERMAN, D. V., 1990, Ed., Developments and applications of modern airborne electromagnetic surveys: *U. S. Geol. Surv. Bull.* 125, 216.
- FOUNTAIN, D. 1998. Airborne electromagnetic systems – 50 years of development. *Exploration Geophysics*, **29**: 1-11.
- FRASER, D. C. 1972. A new multicoil aerial electromagnetic prospecting system. *Geophysics*, **37**(3): 518- 537.
- 1978. Resistivity Mapping with an airborne multicoil electromagnetic system, *Geophysics*, **43**(1), 144-172.
- 1979. The multicoil II airborne electromagnetic system. *Geophysics*, **44**(8): 1367-1394.
- GEOTERREX – DIGHEM. 1999. Airborne & Ground Geophysics.  
[http://www.cgg.com/acquisition/geoterrex/xacana/airborne/t\\_system.html](http://www.cgg.com/acquisition/geoterrex/xacana/airborne/t_system.html). (acessado em 20 out. 2000).
- MOGI, T., TANAKA, Y., KUSUNOKI, K., MORIKAWA, T. & JOMORI, N. 1998. Development of grounded electrical source airborne transient EM (GRETEM). In: Exploration Geophysics. *The Bulletin of the Australian Society of Exploration Geophysicists*, **29**: 61-64.
- Nabighian, M.N., Macnae, J. C.. 2005. Electrical and EM methods, 1980-2005. . *Society of Exploration Geophysicists. The Leading Edge*, v. 24; no. Supplement; p. S42-S45; DOI: 10.1190/1.2112391
- PALACKY, G. J. 1975. Interpretation of INPUT AEM measurements in areas of conductive overburden. *Geophysics*, **40** (3): 490-501.
- 1976. Use of decay patterns for the classification of anomalies in time-domain AEM measurements. *Geophysics*, **41** (5): 1031-1041.
- 1978. Selection of a suitable model for quantitative interpretation of two-bird AEM measurements. *Geophysics*, **43**(3): 576 – 587.
- 1981. The airborne electromagnetic method as tool of geological mapping. *Geophys. Prosp.*, **29**, 60-88.
- RYU, J., MORRISON, H. F. & WARD, S. H. 1970. Electromagnetic fields about a loop source of current. *Geophysics*, **35**: 862-896.
- SENGPIEL, K. P. 1983. Resistivity/depth mapping with airborne electromagnetic survey data. *Geophysics*, **48**(2): 181-196.
- 1986. Groundwater prospecting by multifrequency airborne electromagnetic techniques. In: PALACKY, G. J. ed. *Airborne resistivity mapping*: *Geol. Surv. Can. Paper* 86-22: 131-138
- SENGPIEL K. P. & FLUCHE, B. 1992. Application of airborne electromagnetics to groundwater exploration in Pakistan. - *Z. dt. geol. Ges.*, **143**: 254-261, Hannover.
- WAIT, J. R. 1951. A conducting sphere in a time varying magnetic field. *Geophysics*, **16**, 666-672.
- 1967. Fields about an oscillating magnetic dipole over a two layer earth, and application to ground and airborne electromagnetic surveys. *Quarterly of the Colorado School of Mines*, **62**, 1: 1-25.

# Método eletromagnético

## Artigos

Xue, G. Q., Li, X., Quan H. J., Jaggar S., 2012. Physical simulation and application of a new TEM configuration. Environ Earth Sci..



## Método eletromagnetométrico

Março/2012							Abril/2012							Maio/2012						
D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2	3	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26
25	26	27	28	29	30	31	29	30						27	28	29	30	31		
12 - Período de Aulas (Primeiro Dia)							6 - Paixão de Cristo (Feriado) 7 - Sábado de Aleluia (Ponto Facultativo) 21 - Tiradentes (Feriado)							1 - Dia do Trabalho (Feriado)						

Avaliação 1: 02 de maio

## Método eletromagnetométrico

Junho/2012							Julho/2012						
D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2	1	2	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	8	9	8	9	10	11	12	13	14
10	11	12	13	14	15	16	15	16	17	18	19	20	21
17	18	19	20	21	22	23	22	23	24	25	26	27	28
24	25	26	27	28	29	30	29	30	31				
7 - Corpus Christi (Feriado)							14 - Período de Aulas (Último Dia)						

Prova 2: 29 de junho a 4 de julho

# Método eletromagnetométrico

## Plano de aula

Desenvolver profissionais com:

1 – conhecimento técnico

2 – capacidade de interagir

3 – capacidade de criar e desenvolver

4 – consciência com o meio ambiente e a sociedade



- 
- 
- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico
- 
- 

Junho/2012						
D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
7 – Corpus Christi (Feriado)						

Julho/2012						
D	S	T	Q	Q	S	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				
14 - Período de Aulas (Último Dia)						

• • • T • •

\_\_\_\_\_

- 
- 
- 

## Métodos eletromagnéticos

### *Histórico*

- Karl Sundberg (Sueco) – 1931
- 1934 – mapeamento estrutural
- V.R. Bursian (Russo) – início da década de 1930



- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

- 
- 
- 

**Pré Guerra** - Os métodos geofísicos mostraram que muitos tipos de depósitos minerais eram bastante condutivos, particularmente os sulfetos metamorfizados Pré-Cambrianos, os quais são importantes fontes para os metais básicos. Assim, o mapeamento da **resistividade**, usando-se os métodos eletromagnéticos terrestres, começou e ser realizado regularmente na detecção destes metais.



- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

- *Histórico*

- Após a Segunda Guerra Mundial

- reconstrução da economia pós-guerra exigiu grande demanda por recursos minerais.

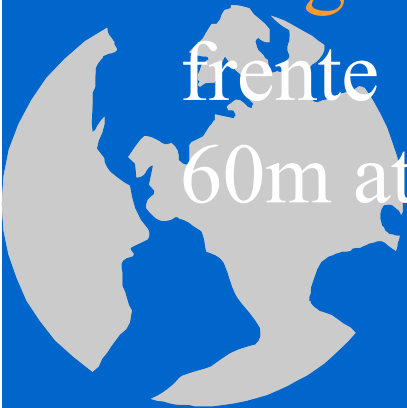
Guerra Fria - busca de recursos em países politicamente fechados.

Canadá: país vasto e pouco explorado

Com população esparsa; de clima frio; com depósitos estratégicos de cobre, zinco, níquel e chumbo.

- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

- origem dos sistemas AEM data de 1946 quando a Stanmac e a McPhar Engineering desenvolveram um sistema EM portátil o qual foi reprojetoado para mapear um lago congelado, tendo o transmissor colocado na frente de um trailer e o receptor, rebocado a 60m atrás.



# Sistemas AEM

- 1946: EM portátil - lago congelado



- 
- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico
- 
- 
- 

Com o sucesso do método, em 1947 foi montado um sistema semelhante num avião configuração que obteve êxito e serviu de base no desenvolvimento de outros sistemas (Collet, 1986).



# Sistemas AEM

1950/60: plataforma aérea



- 
- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico
- 
- 
- 
- 
- final de 50 - começa a ser esboçado um sistema que utiliza o domínio do tempo, o INPUT (Pulso Transiente Induzido - *Induced Pulse Transient*).



- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

- 1985 - No mesmo ano a Geotech Ltda. completou o desenvolvimento do GEOTEM, sistema no domínio do tempo e pulso senoidal (Palacky & West, 1991; Smith & Klein, 1996). Este sistema foi seguido pelo QUESTEM em 1988 e pelo SPECTREM em 1989.





- 
- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico
- 
- 



# Sistemas AEM

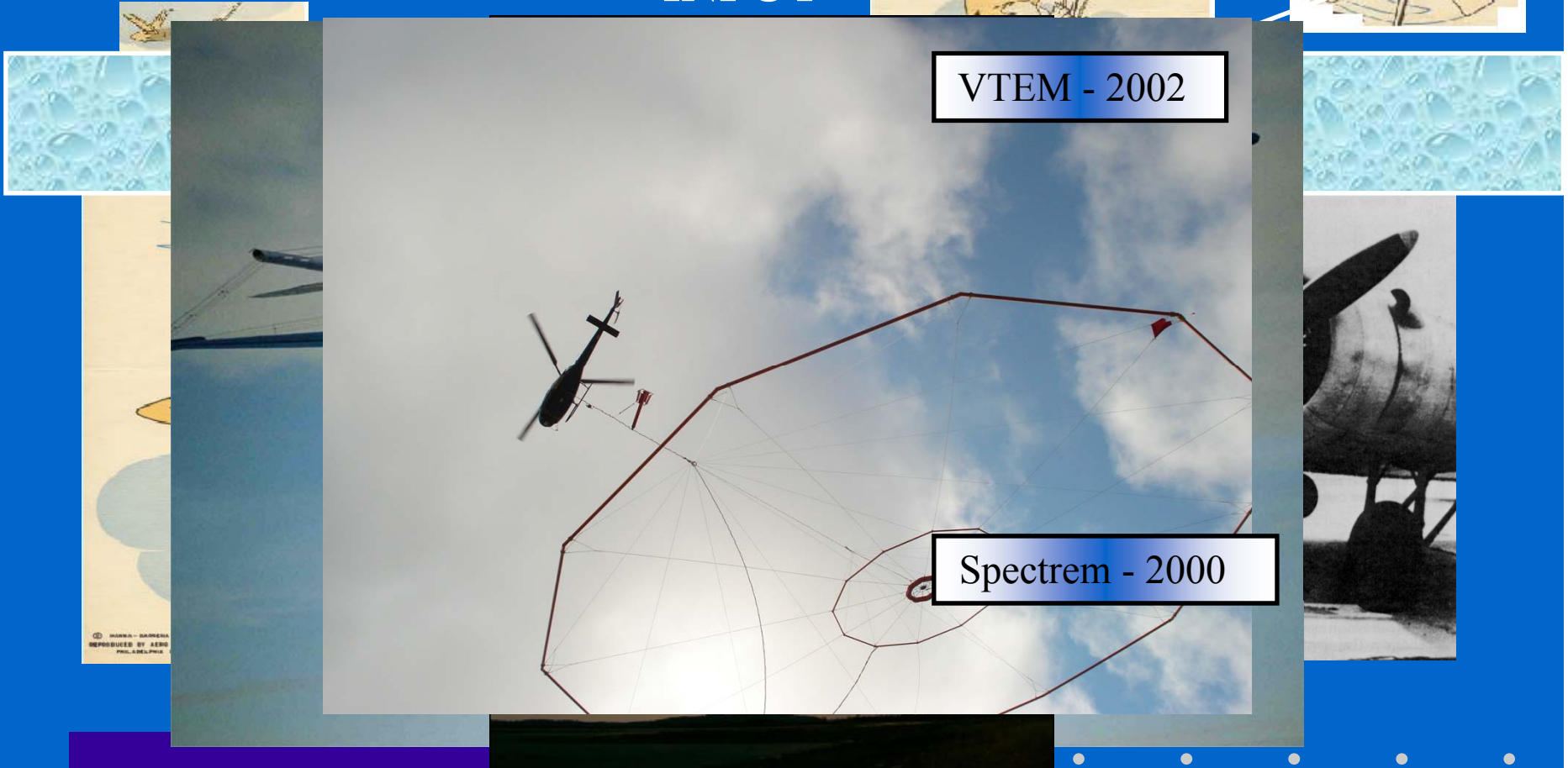
- 1946: EM portátil - lago congelado

1950/60: Geometria e plataforma  
avião, ch  
INPUT



VTEM - 2002

Spectrem - 2000



- 
- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

ZTEM (2010): Fonte magnetotelúrica



Estação BAs



RECEPTOR



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

# T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Em Terrestre: Em 34



•

# T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

## PROTEM

•  
•  
•  
•  
•  
•



Receptor



TEM67



Borehole

• • • • • • • • •



# Métodos eletromagnéticos

## INTRODUÇÃO

Desde 1950 estudos vem sendo realizados na aplicação da condutividade elétrica ao mapeamento geológico, com ênfase nos sistemas aroeletromagnéticos. Estes sistemas usam o campo eletromagnético **secundário** obtido por contrastes em **propriedades elétricas em subsuperfície** em resposta a perturbações criadas por fontes eletromagnéticas **naturais ou artificiais**.

A diversificação na aplicação do sistema EM, que são geralmente portáteis, permite inúmeras combinações geométricas e eletrônicas do par de bobinas transmissora e receptora. Sua portabilidade permite que sejam utilizados nas vários levantamentos geofísicos, como nos de **superfície** que usam transmissores fixos e móveis e o receptor móvel, de subsuperfície (*drill holes*), e naqueles em que são portados em **plataformas móveis** (marítimas ou aéreas).

Todo processo segue as **leis de Maxwell** e as respostas que são medidas dependem do modo em que se processa a medição (domínio da **frequência ou do tempo**), dos equipamentos empregados e da geometria transmissor/receptor que formam com o alvo energizado.

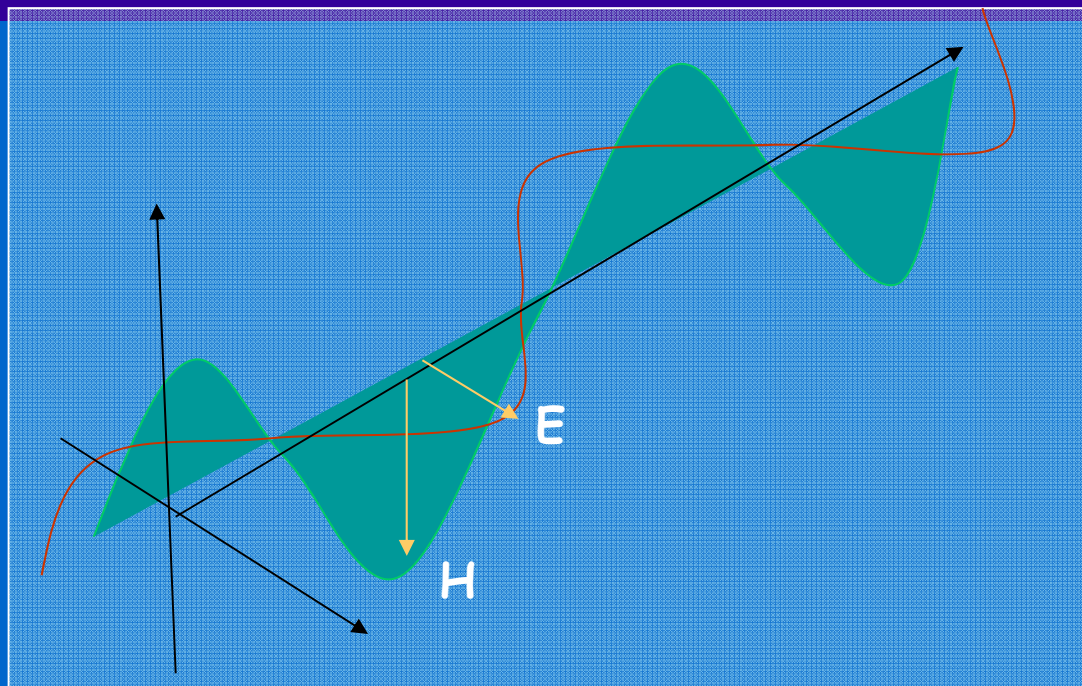
Propõe-se embasar o aluno com os assuntos: **Equações de Maxwell; Equação da onda; Soluções da equação da onda e Princípios físicos dos equipamentos EM. Fornecendo subsídio, aos estudantes em pós-graduação, para a compreensão das técnicas aroeletromagnéticas empregadas num levantamento geofísico que visa à prospecção mineral**

# Métodos eletromagnéticos

## Conceitos e Princípios

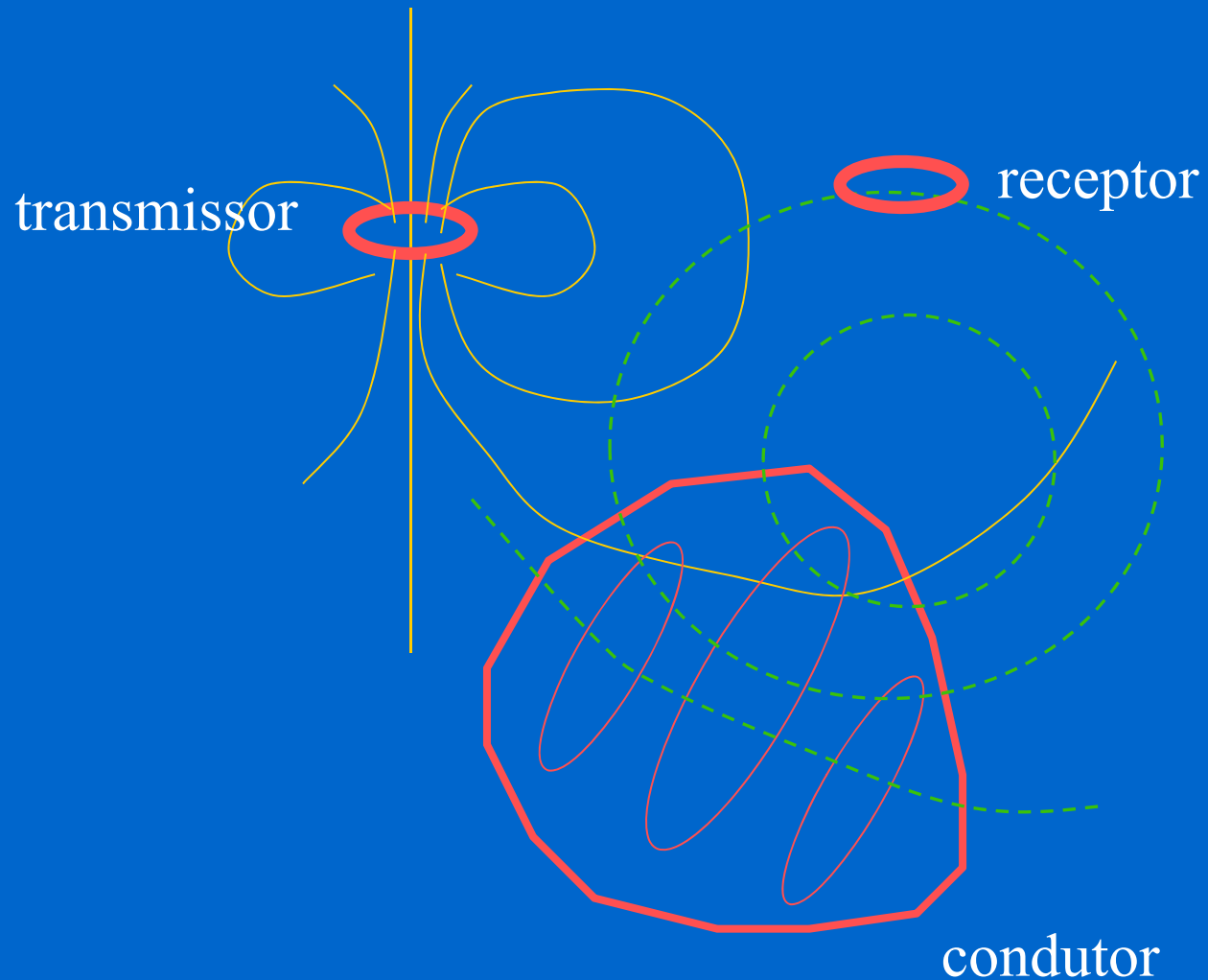
INTENSIDADE ELÉTRICA (E) –  $E_x$  e  $E_y$

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



# Métodos eletromagnéticos

## PRINCÍPIO do método AEM





- 
- 
- 

Transmissor

Digihem

Receptor

Campo Primário

Altura do receptor

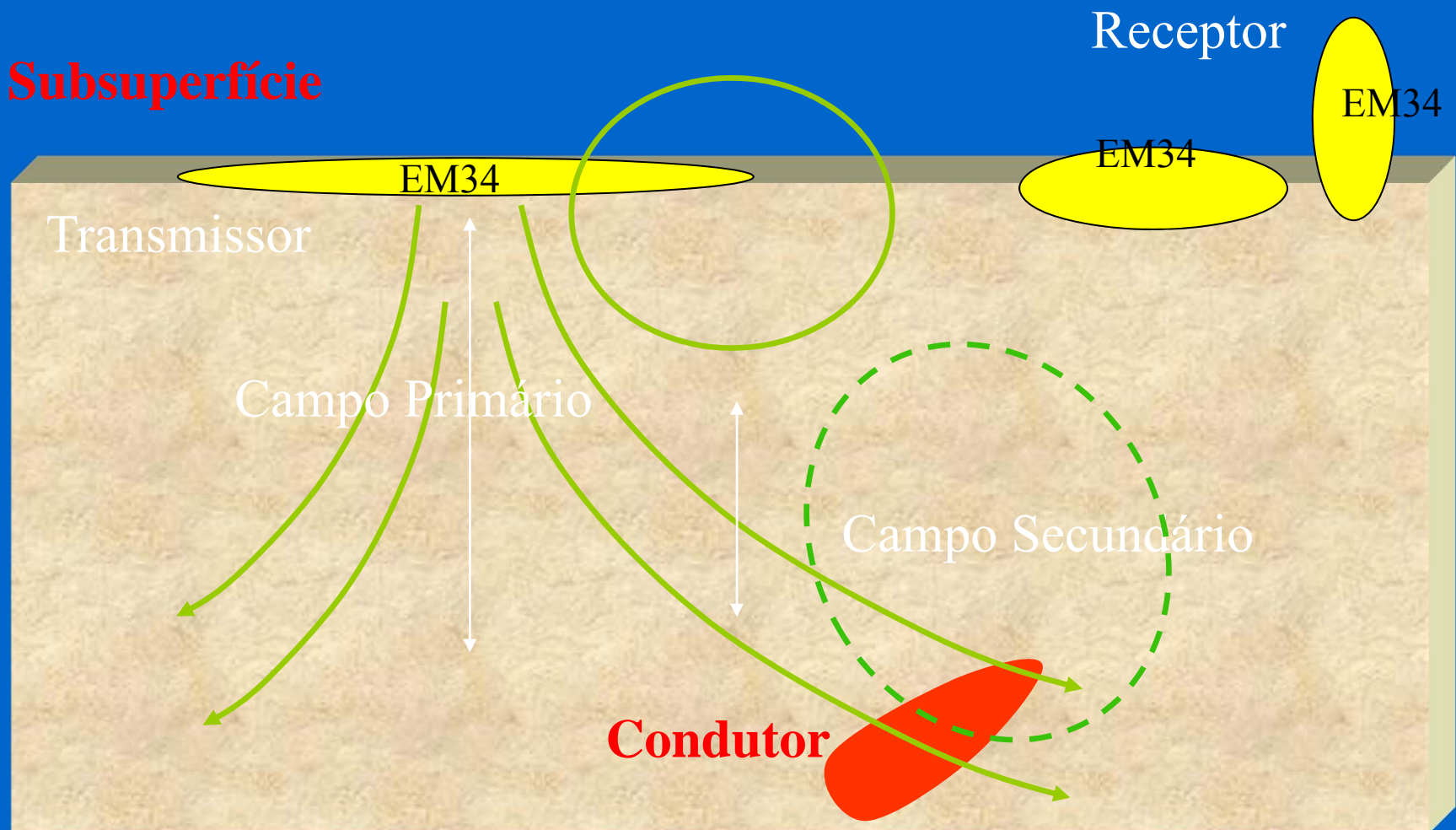
Campo Secundário

Subsuperfície

Condutor



**Subsuperfície**



# Métodos eletromagnéticos

## *Configurações usuais do domínio da frequência*

- Máximo Acoplamento  
HCP, VCP, VCA



HCP – Horizontal coplanar

PERP (perpendicular)



VCP (Vertical coplanar)



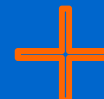
VCA (vertical Coaxial)



NULL



PAR (paralela)



H wavetilt



V wavetilt

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

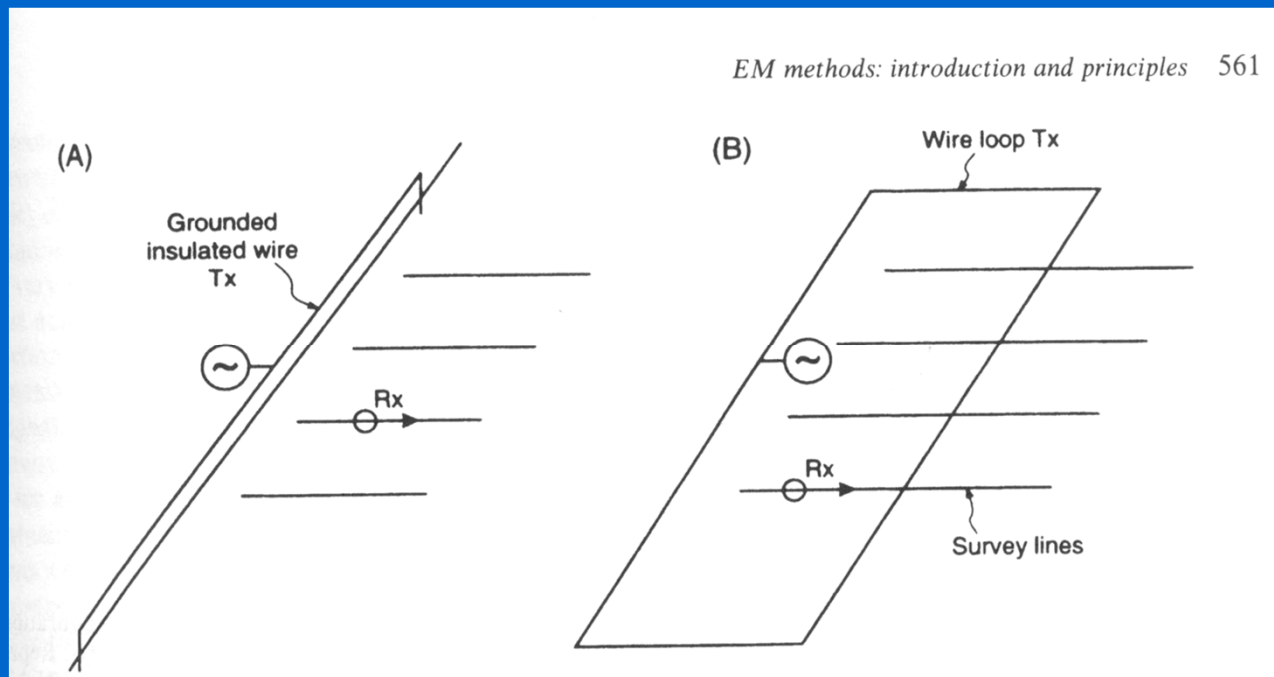


# Métodos eletromagnéticos

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.